T.C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI AÇIK MADEN İŞLETMELERİNDE PARTİKÜL MADDE SALINIM ÖLÇÜMÜ VE DEĞİŞİMİNİN METEOROLOJİK KOŞULLAR, MALZEME VE İŞ MAKİNESİ ÖZELLİKLERİ İLE MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Zekeriya DURAN
(20179223002)

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent ERDEM

SİVAS
Kasım 2022

Zekeriya Duran'ın hazırladığı ve "**BAZI AÇIK MADEN İŞLETMELERİNDE PARTİKÜL MADDE SALINIM ÖLÇÜMÜ VE DEĞİŞİMİNİN METEOROLOJİK KOŞULLAR, MALZEME VE İŞ MAKİNESİ ÖZELLİKLERİ İLE MODELLENMESİ**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Bülent ERDEM** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. İsmail Göktay EDİZ** Kütahya Dumlupınar Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Suphi URAL** Çukurova Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Fuat ÖZYONAR** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	.....

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nevcihan GÜRSOY
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-780 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Zekeriya DURAN, 2022

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

09.11.2022

Zekeriya Duran

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Tezin tüm aşamalarında birlikte çalıştığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bülent ERDEM'e çok teşekkür ederim.

Tezin saha çalışması bölümünü oluşturan Partikül Madde (PM) ve termal konfor ölçümlerinde yöntem ve veri alımı süreçlerinde destek olan Maden Mühendisleri İbrahim ERDOĞAN ve İsmail DEMİRHAN'a, istatistiksel analizlerde ve önerilerde her zaman desteğini esirgemeyen Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Dr. öğretim üyesi Tuğba DOĞAN ile Ekonometri Bölümü araştırma görevlisi Yağız Can BAYHAN'a ve laboratuvarların kullanımı konusunda destek veren Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya KURŞUN'a müteşekkirim.

Jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. İsmail Göktay EDİZ, Sayın Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU, Sayın Prof. Dr. Suphi URAL ve Sayın Doç. Dr. Fuat ÖZYONAR'a gerek tezin okunması gerekse tez savunmasında gösterdikleri anlayış ve destek için teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca manevi destekleriyle her zaman yanımda olan anneme, babama, eşime ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı'na da tez çalışması için gerekli maddi desteği sağladığından dolayı teşekkür ederim.

ÖZET

BAZI AÇIK MADEN İŞLETMELERİNDE PARTİKÜL MADDE SALINIM ÖLÇÜMÜ VE DEĞİŞİMİNİN METEOROLOJİK KOŞULLAR, MALZEME VE İŞ MAKİNESİ ÖZELLİKLERİ İLE MODELLENMESİ

Zekeriya DURAN

Doktora Tezi
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Bülent ERDEM
2022, 360+xxi sayfa

Bu doktora tez çalışması kapsamında, Sivas ilinde bulunan bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri sırasında açığa çıkan ve özellikle insan sağlığı için risk teşkil eden PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ve eş zamanlı olarak termal konfor parametrelerinin (hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, yan rüzgâr, karşı rüzgâr/kuyruk rüzgârı, bağıl nem, istasyon basıncı ve rüzgâr hızı) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken çalışma koşullarındaki malzemenin özelliklerini temsil eden numuneler (~5 dak/numune) alınmış olup laboratuvarda nem ile silt+kil analizleri yapılmış ve makine özellikleri de kayıt altına alınmıştır. Yapılan çalışma ile atmosferik ve meteorolojik koşulların, ekipman ve malzeme özelliklerinin PM salınımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Bağımlı değişken olarak alınan PM salınımı ile atmosferik koşullar, malzeme ve ekipman özelliklerinden oluşan bağımsız değişken grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olası varlığı ve PM salınım kestirim denklemlerinin oluşturulması için iki farklı istatistiksel analiz paketinden (SPSS ve WEKA) faydalanılmış ve sonuçları yorumlanmıştır. İlk aşamada bir istatistiksel analiz paketi yardımıyla delme, yükleme ve taşıma faaliyetlerinden kaydedilen ham verilerin normal dağılıma uygunlukları test edilmiş ve tüm ham (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) veri setlerinin çoğunlukla normal dağılıma uymadıkları görülmüştür. Bu nedenle ham veri setleri doğal logaritma (ln), logaritma (log), tersi (1/ham) ve bölümü (ham/1000) alınarak dönüştürülmüş ve oluşturulan yeni veri setlerinin normal dağılıma uygunlukları test edilmiştir. Normal dağılıma uygunluk sağlayan veriler, bu istatistiksel paket yardımıyla üç farklı yöntemle (toplu giriş, aşamalı ve ileriye doğru seçim) regresyon analizleri yapılmıştır. Delme, yükleme ve taşıma faaliyeti için yapılan doğrusal regresyon modelleri incelendiğinde, düzeltilmiş belirlilik katsayısının düşük olduğu ($R^2 \leq \%45$) görülmüştür.

İkinci aşamada, modelleri daha iyi yansıtacak M5P karar ağacı algoritması kullanılmıştır. Karar ağacı algoritmasıyla her bir PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) boyutu için birbirinden bağımsız olarak salınım tahmin formülleri türetilmiş ve modellerin açıklama kapasitesini yansıtabilecek düzeyde yüksek düzeltilmiş belirlilik katsayıları elde edilmiştir. Regresyon analiz sonuçlarına

göre; maden işletmelerinde benzer faaliyetlerdeki PM salınımlarına etki eden parametrelerin benzer olduğu, ancak salınım değerlerinin çok fazla değişim göstermiş olduğu belirlenmiştir.

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri sırasında ölçümü yapılan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Yapılan ölçüm ve değerlendirmeler ışığında madencilik faaliyetlerinden salınan PM miktarı; maden sahasının bulunduğu bölgeye özgü meteorolojik koşullar (hava sıcaklığı, bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı "karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil", istasyon basıncı gibi), ekipman özellikleri (yükleyici kova hacmi, kamyon kütlesi, kamyon hızı, kamyon teker sayısı gibi) ve çalışma yapılan bölgedeki malzemenin nem ile silt+kil içeriklerine bağlı olarak değişmiştir. Ölçüm yapılan işletmelerdeki PM salınımları dikkate alındığında, en yüksek PM salınım değerleri delik delme sırasında gerçekleşmiş, bunu taşıma ve yükleme faaliyetleri takip etmiştir. Ancak, taşıma sırasında yolun sulanması özellikle TAPM ve PM_{10} salınım değerlerini önemli oranlarda düşürdüğü, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım değerlerini çok fazla etkilemediği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Delme, yükleme, taşıma, partikül madde, TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$, PM_1, termal konfor, veri madenciliği, M5P, karar ağacı algoritması, regresyon modeli.

ABSTRACT

PARTICULATE MATTER EMISSION MEASUREMENT AND MODELING OF VARIATION IN SOME SURFACE MINES WITH METEOROLOGICAL CONDITIONS, MATERIAL AND HEAVY MINING EQUIPMENT PROPERTIES

Zekeriya DURAN

Doctorate Thesis
Department of Mining Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Bülent ERDEM
2022, 360+xxi pages

Particle matter (TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$ and PM_1) emission during drilling, loading, and hauling operations, which may pose a risk to human health, and thermal comfort parameters (air temperature, dew point temperature, crosswind, headwind/tailwind, relative humidity, station pressure and wind speed) measurements were carried out in a gypsum and two limestone quarries in Sivas province as part of this doctoral thesis. While the measurements were being taken, samples were collected (5 min/sample) to represent the properties of the dust-producing material. Moisture and silt+clay content analyses were performed in the laboratory, and the heavy mining equipment's characteristics were recorded. The aim of this study was to investigate the effects of atmospheric and meteorological conditions, mining equipment and material properties on PM emission.

The results were interpreted for the potential existence of a statistically significant relationship between the PM emission, which was taken as the dependent variable, and the independent variable groups consisting of atmospheric conditions, material and equipment properties, and to establish the PM emission estimation equations. Two different statistical analysis packages (SPSS and WEKA) were utilized. The raw data recorded from drilling, loading, and hauling operations were tested for normal distribution using a statistical analysis package in the first stage. None of the raw data sets (TAPM, PM_{10}, $PM_{2.5}$, and PM_1) fit the normal distribution. Then, raw data sets were transformed using the natural logarithm (ln), logarithm (log), inverse (1/raw), and quotient (raw/1000), and their normal distribution conformity was tested. Regression analyses were performed on these data sets using three different methods (enter, stepwise selection and forward selection). For drilling, loading, and hauling operations, the adjusted coefficients of determination were low ($R^2 \leq \%45$).

The M5P decision tree method was applied in the second stage to more accurately reflect the models. The decision tree approach was used to create independent emission estimating equations for each PM (TSP, PM_{10}, $PM_{2,5}$ and PM_1) size, and it was discovered that the adjusted coefficients of determination were at a level to reflect the models. The regression

analysis results showed that the parameters affecting PM emissions in similar mining operations were similar, but the emission values varied greatly.

In order to estimate the TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$ and PM_{1} emissions from drilling, loading, and hauling operations in gypsum and limestone operations, regression models have been created utilizing an inclusive PM emission. The amount of PM released from mining activities varies depending on the meteorological conditions (air temperature, relative humidity, dew point temperature, wind speed including tailwind and crosswind speeds, station pressure, etc.) specific to the region where the mining site is located, the features of the equipment (truck mass, speed, number of wheels, loader bucket volume, etc.), and the humidity and silt+clay content of the material in the study area. Considering the PM emission in mine sites, the highest PM emission values were observed during drilling, followed by hauling and then loading operations. It has been discovered that watering haul roads significantly reduces TSP and PM_{10} emissions while having little effect on $PM_{2.5}$ and PM_{1}.

Key words: Drilling, loading, hauling, particulate matter, TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$, PM_{1}, thermal comfort, data mining, M5P, decision tree algorithm, regresion model.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **VI**
ABSTRACT ..... **VIII**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **XIII**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **XVI**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **XXI**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**
2.1 Partikül Madde (PM) 3
2.2 Partikül Maddelerin Olumsuz Etkileri 7
2.2.1 Sağlık etkileri 8
2.2.2 Çevresel etkileri 13
2.3 Emisyon Miktarı Belirleme Teknikleri 13
2.3.1 Partikül madde konsantrasyon ölçüm yöntemleri 15
2.3.1.1 gravimetrik yöntem 16
2.3.1.2 optik yöntem 18
2.3.1.3 mikro terazi prensibi 19
2.3.1.4 beta ışını zayıflatma prensibi (BAM) 21
2.4 PM ile İlgili Standartlar ve Ülkemizdeki Yasal Mevzuat 22
2.5 Açık işletme Madenciliğinde Toz ve PM Salınımı Konusunda Bilimsel Çalışmalar 26
2.5.1 Dünyada Yapılan Çalışmalar 26
2.5.2 Ülkemizde Yapılan Çalışmalar 31
2.6 Veri Madenciliği 36
2.6.1 Karar Ağaçları 39
2.6.2 Verilerin değerlendirilmesi 41
3. MATERYAL VE METOT **44**
3.1 Giriş 44
3.2 Jeolojik ve coğrafik özellikler 44
3.3 Çalışma metodolojisi 46
3.4 Ölçülen ve Türetilen Büyüklükler 48
3.5 Hesaplanan büyüklükler 50
3.5.1 Silt+kil içeriği ve nem tayini 50
3.6 PM ve Termal Konfor Ölçümü 52
3.6.1 PM ölçüm cihazı 52
3.6.2 Termal konfor ölçüm cihazı 52
3.6.3 Verinin işlenmesi 53
3.7 Çalışma uzayı 55
4. PARTİKÜL MADDE, TERMAL KONFOR PARAMETRELERİ VE MALZEME ÖZELLİKLERİ ÖRNEKLEME SONUÇLARI **56**
4.1 Alçıtaşı İşletmesi Delme Faaliyeti 56
4.2 Kalker İşletmesi (A) Delme Faaliyeti 58
4.3 Kalker İşletmesi (B) Delme Faaliyeti 61
4.4 Kalker İşletmeleri Delme Faaliyeti 64
4.5 Tüm İşletmelerin Delme Faaliyeti 65
4.6 Alçıtaşı İşletmesi Yükleme Faaliyeti 66
4.7 Kalker İşletmesi (A) Yükleme Faaliyeti 69
4.8 Kalker İşletmesi (B) Yükleme Faaliyeti 72
4.9 Kalker İşletmeleri Yükleme Faaliyeti 75
4.10 Tüm İşletmelerin Yükleme Faaliyeti 76
4.11 Alçıtaşı İşletmesi Taşıma Faaliyeti 77
4.12 Kalker İşletmesi (A) Taşıma Faaliyeti 81
4.13 Kalker İşletmesi (B) Taşıma Faaliyeti 84
4.14 Kalker İşletmeleri Taşıma Faaliyeti 88
4.15 Tüm İşletmelerin Taşıma Faaliyeti 89
5. DELME FAALİYETİNDE PM SALINIMI MODELLENMESİ **91**
5.1 Giriş 91
5.2 Alçıtaşı İşletmesi Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 92

5.2.1 Regresyon analizi 92
5.2.2 Alçıtaşı İşletmesi delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 99
5.3 Kalker işletmesi (A) Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 105
5.3.1 Regresyon analizi 106
5.3.2 Kalker İşletmesi (A) delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 110
5.4 Kalker İşletmesi (B) Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 117
5.4.1 Regresyon analizi 117
5.4.2 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 120
5.5 Kalker İşletmeleri Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 125
5.5.1 Regresyon analizi 126
5.5.2 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 127
5.6 Tüm İşletmelerin Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 133
5.6.1 Regresyon analizi 133
5.6.2 Tüm İşletmelerin delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 135
6. YÜKLEME FAALİYETİNDE PM SALINIMI MODELLENMESİ 141
6.1 Giriş 141
6.2 Alçıtaşı İşletmesi Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 141
6.2.1 Regresyon analizi 142
6.2.2 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 148
6.3 Kalker İşletmesi (A) Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 153
6.3.1 Regresyon analizi 154
6.3.2 Kalker İşletmesi (A) yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 158
6.4 Kalker İşletmesi (B) Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 163
6.4.1 Regresyon analizi 164
6.4.2 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 167
6.5 Kalker İşletmeleri Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 172
6.5.1 Regresyon analizi 173
6.5.2 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 174
6.6 Tüm İşletmelerin Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 180
6.6.1 Regresyon analizi 181
6.6.2 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 182
7. TAŞIMA FAALİYETİNDE PM SALINIMI MODELLENMESİ 189
7.1 Giriş 189
7.2 Alçıtaşı İşletmesi Taşıma Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 189
7.2.1 Regresyon analizi 190
7.2.2 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 196
7.3 Kalker İşletmesi (A) Taşıma Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 200
7.3.1 Regresyon analizi 201
7.3.2 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 205
7.4 Kalker İşletmesi (B) Taşıma Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi 210
7.4.1 Regresyon analizi 211
7.4.2 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 214
7.5 Kalker İşletmeleri Taşıma Faaliyeti PM Salınım Modellenmesi 219
7.5.1 Regresyon analizi 220
7.5.2 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınımlarının karar ağacı ile modellenmesi 221
7.6 Tüm işletmelerin Taşıma Faaliyeti PM Salınımlarının Modellenmesi 228
7.6.1 Regresyon analizi 228
7.6.2 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi 230
8. ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 237
8.1 Giriş 237
8.2 Delme Faaliyeti Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi 241
8.3 Yükleme Faaliyeti Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi 251

8.4 Taşıma Faaliyeti Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....261
8.5 Kalker İşletmeleri Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....270
8.6 Tüm İşletmelerin Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....273
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 275
9.1 Sonuçlar.....275
9.2 Öneriler 279
KAYNAKLAR 281
EKLER.....298

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Atmosferde birincil ve ikincil PM'lerin kaynakları ve ince PM kirliliği (NSW EPA, 2015). 4
Şekil 2.2 PM boyut aralığı sınıflandırılması, ölçeksiz (Hime vd., 2015). 4
Şekil 2.3 Tipik partikül boyut dağılımı (Cao vd., 2013). 5
Şekil 2.4 Karşılaştırmalı PM boyutları (Url-2, 2021) 6
Şekil 2.5 PM kirliliğinin insan sağlığı üzerine olan etkileri (Hollander vd., 1999; Hime vd., 2015) 9
Şekil 2.6 Çeşitli toz partiküllerin boyut aralıkları (Url-4, 2021). 11
Şekil 2.7 Farklı çapta toz partiküllerinin vücudumuzdaki toplanma bölgeleri (Kim vd., 2015). 12
Şekil 2.8 Emisyon tahmin yaklaşımı (USEPA, 1995). 14
Şekil 2.9 PM konsantrasyonu ölçüm yöntemleri (Amaral vd., 2015'den değiştirilerek) 16
Şekil 2.10 Konik eleman salınımlı mikro terazisi (TEOM) çalışma prensibi (Url-6, 2021). 20
Şekil 2.11 Bir BAM analizörünün çalışma şeması "1. Hava girişi, 2. Bisiklet şeridi, 3 ve 4. Beta radyasyon kaynağı, D1 ve D2 Beta radyasyon dedektörleri, 5 hava pompası, 6. Hava egzozu" (Url-8, 2021). 22
Şekil 2.12 Bilgi keşfi sürecinde veri madenciliği (Bramer, 2007). 36
Şekil 2.13 Sınıflama için genel bir karar ağacı örneği (Barros vd., 2015) 40
Şekil 2.14 Veri setinin eğitim ve test verileri üzerinden tahmin modeli (Bramer, 2013). 43
Şekil 2.15 Veri setinin k-katlı çapraz doğrulama üzerinden tahmin modeli (Bramer, 2013). 43
Şekil 3.1 PM ve termal konfor ölçüm donanımı. 47
Şekil 3.2 PM salınım kestirim denklemlerinin türetilmesi ve değerlendirme aşamaları 48
Şekil 3.3 Yan ve karşı/kuyruk rüzgâr yönleri (Url-13, 2021) 50
Şekil 3.4 Delme ve taşıma operasyonlarında örnekleme 50
Şekil 3.5 Konileme-dörtleme yöntemi ve mevcut elek serisi ile kuru eleme 51
Şekil 3.6 Nem analizinde kullanılan etüv ve hassas terazi 51
Şekil 3.7 PM ölçüm cihazı (Url-15, 2021). 52
Şekil 3.8 Termal konfor cihazı (Kestrel, 2020). 53
Şekil 3.9 Taşıma örneklemesi için zaman kütüğü 54
Şekil 4.1 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınımı 57
Şekil 4.2 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınım histogramları 57
Şekil 4.3 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti termal konfor parametreleri 58
Şekil 4.4 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği 58
Şekil 4.5 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM salınımı 60
Şekil 4.6 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM salınım histogramları 60
Şekil 4.7 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti termal konfor parametreleri 61
Şekil 4.8 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği 61
Şekil 4.9 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınımı 63
Şekil 4.10 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınım histogramları 63
Şekil 4.11 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti termal konfor parametreleri 64
Şekil 4.12 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği 64
Şekil 4.13 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınım histogramları 65
Şekil 4.14 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM salınım histogramları 66
Şekil 4.15 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınımı 68
Şekil 4.16 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınım histogramları 68
Şekil 4.17 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti termal konfor parametreleri 69
Şekil 4.18 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti malzeme nemi ve yükleyici kova hacimleri 69
Şekil 4.19 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti PM salınımı 71
Şekil 4.20 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti PM salınım histogramları 71
Şekil 4.21 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti termal konfor parametreleri 72

Şekil 4.22 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti malzeme nemi ve yükleyici kova hacimleri 72
Şekil 4.23 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınımı....74
Şekil 4.24 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınım histogramları....74
Şekil 4.25 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti termal konfor parametreleri 75
Şekil 4.26 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti malzeme nemi ve yükleyici kova hacimleri 75
Şekil 4.27 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınım histogramları 76
Şekil 4.28 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM salınım histogramları 77
Şekil 4.29 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınımı 79
Şekil 4.30 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınım histogramları 79
Şekil 4.31 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti termal konfor parametreleri 80
Şekil 4.32 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği....80
Şekil 4.33 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti kamyon tonaj, hız ve tekerlek sayıları 81
Şekil 4.34 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM salınımı 82
Şekil 4.35 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM salınım histogramları 83
Şekil 4.36 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti termal konfor parametreleri....83
Şekil 4.37 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği 84
Şekil 4.38 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti kamyon tonajları, hızları ve tekerlek sayıları 84
Şekil 4.39 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınımı 86
Şekil 4.40 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınım histogramları 86
Şekil 4.41 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti termal konfor parametreleri....87
Şekil 4.42 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti malzeme nem ve silt+kil içeriği 87
Şekil 4.43 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti kamyon tonajları, hızları ve tekerlek sayıları 88
Şekil 4.44 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınım histogramları 89
Şekil 4.45 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM salınım histogramları 90
Şekil 5.1 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti parametrik ilgileşim matrisi 92
Şekil 5.2 Kalker işletmesi (A) delme faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi 106
Şekil 5.3 Kalker işletmesi (B) delme faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi 117
Şekil 5.4 Kalker işletmelerinde delme faaliyetinde tüm parametrelerin ilgileşim matrisi 126
Şekil 5.5 Tüm işletmelerdeki delme faaliyetinde parametrelerin ilgileşim matrisi 133
Şekil 6.1 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti parametrik ilgileşim matrisi 141
Şekil 6.2 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi 154
Şekil 6.3 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi 164
Şekil 6.4 Kalker işletmelerinde yükleme faaliyetinde tüm parametrelerin ilgileşim matrisi 173
Şekil 6.5 Tüm işletmelerdeki yükleme faaliyetindeki parametrelerin ilgileşim matrisi 181
Şekil 7.1 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti parametrik ilgileşim matrisi 189
Şekil 7.2 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi 201
Şekil 7.3 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi 211
Şekil 7.4 Kalker işletmelerinde taşıma sırasında tüm parametrelerin ilgileşim matrisi 220
Şekil 7.5 Tüm işletmelerdeki taşıma faaliyetinde parametrelerin ilgileşim matrisi 228
Şekil 8.1 Nihai PM salınım modelleri (kalker (A) işletmesi delme faaliyeti nihai TAPM salınım modeli (a), Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti nihai TAPM salınım modeli (b), Kalker (B) işletmesi taşıma faaliyeti nihai 1/TAPM salınım modeli (c), Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti nihai TAPM salınım modeli (d)) 240
Şekil EK-1.1 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı 299
Şekil EK-1.2 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(PM_{10}) karar ağacı 300
Şekil EK-1.3 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı 301
Şekil EK-1.4 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı....302

Şekil EK-1.5 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti TAPM karar ağacı 303
Şekil EK-1.6 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM_{10} karar ağacı 304
Şekil EK-1.7 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti $PM_{2,5}$ karar ağacı 305
Şekil EK-1.8 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı 306
Şekil EK-1.9 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı 307
Şekil EK-1.10 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(PM_{10}) karar ağacı 308
Şekil EK.1-11 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı 309
Şekil EK-1.12 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı 310
Şekil EK-1.13 Kalker işletmeleri delme faaliyeti TAPM karar ağacı 311
Şekil EK-1.14 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM_{10} karar ağacı 312
Şekil EK-1.15 Kalker İşletmeleri delme faaliyeti $PM_{2,5}$ karar ağacı 313
Şekil EK-1.16 Kalker işletmeleri delme faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı 314
Şekil EK-1.17 Tüm işletmelerin delme faaliyeti TAPM karar ağacı 315
Şekil EK-1.18 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM_{10} karar ağacı 316
Şekil EK-1.19 Tüm işletmelerin delme faaliyeti $PM_{2,5}$ karar ağacı 317
Şekil EK-1.20 Tüm işletmelerin delme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı 318
Şekil EK-1.21 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı 319
Şekil EK-1.22 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı 320
Şekil EK-1.23 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı 321
Şekil EK-1.24 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı 322
Şekil EK-1.25 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı 323
Şekil EK-1.26 Kalker işletmesi (A) yükleme faliyeti log(PM_{10}) karar ağacı 324
Şekil EK-1.27 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı 325
Şekil EK-1.28 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı 326
Şekil EK-1.29 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı 327
Şekil EK-1.30 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı 328
Şekil EK-1.31 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı 329
Şekil EK-1.32 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı 330
Şekil EK-1.33 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı 331
Şekil EK-1.34 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_{10}) karar ağacı 332
Şekil EK-1.35 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı 333
Şekil EK-1.36 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı 334
Şekil EK-1.37 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti TAPM karar ağacı 335
Şekil EK-1.38 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM_{10} karar ağacı 336
Şekil EK-1.39 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı 337
Şekil EK-1.40 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı 338
Şekil EK-1.41 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı 339
Şekil EK-1.42 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı 340
Şekil EK-1.43 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı 341
Şekil EK-1.44 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı 342
Şekil EK-1.45 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı 343
Şekil EK-1.46 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_{10}) karar ağacı 344
Şekil EK-1.47 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı 345
Şekil EK-1.48 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_1) karar ağacı 346
Şekil EK-1.49 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı 347
Şekil EK-1.50 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı 348
Şekil EK-1.51 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı 349
Şekil EK-1.52 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı 350
Şekil EK-1.53 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı 351
Şekil EK-1.54 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı 352
Şekil EK-1.55 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı 353
Şekil EK-1.56 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti log(PM_1) karar ağacı 354
Şekil EK-1.57 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı 355
Şekil EK-1.58 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı 356
Şekil EK-1.59 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı 357
Şekil EK-1.60 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı 358

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 PM ($PM_{2,5}$ ve PM_{10}) ile hava kalitesi indeksi arasındaki ilişki (EPA, 2018).....7
Çizelge 2.2 HKİ indeksine göre uyarılar (EPA, 2018).....8
Çizelge 2.3 PM'lerin insan sağlığı üzerine etkileri (EPA, 2019).....12
Çizelge 2.4 PM_{10} ve $PM_{2,5}$ Partikül Madde Konsantrasyonu ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması (Pilling vd., 2005; EPA, 2008; Environment Agency, 2011; .23; Winkel vd., 2014; Amaral vd., 2015; Walley ve Zandi, 2016).....23
Çizelge 2.5 Tesis etki alanında uzun vadeli (UVS) ve kısa vadeli (KVS) sınır değerler ve azaltım tablosu (ÇŞB, 2014).....24
Çizelge 2.6 Ülkemizde ve gelişmiş ülkelerde partikül madde (PM_{10} ve $PM_{2,5}$) sınır değerleri (ÇSGB, 2014; Ren vd., 2017; CCME, 2012; EPA, 2020b; EU, 2020; NSW, 2020).....24
Çizelge 2.7 Açık işletme faaliyetlerinde PM salınım kestirim denklemlerinde kullanılan parametreler.....32
Çizelge 2.8 Açık maden işletmelerinde PM salınım kestirim denklemleri.....33
Çizelge 2.8 Açık maden işletmelerinde PM salınım kestirim denklemleri (devam ediyor)..34
Çizelge 2.8 Açık maden işletmelerinde PM salınım kestirim denklemleri (devam ediyor)..35
Çizelge 3.1 Çalışma sırasında ölçüm alınan maden işletmeleri ve veri sayıları.....55
Çizelge 5.1 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınımı normallik test sonuçları.....93
Çizelge 5.2 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri.....94
Çizelge 5.3 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki 95
Çizelge 5.4 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti toplu giriş regresyon modeli.....96
Çizelge 5.5 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti aşamalı regresyon modeli.....98
Çizelge 5.6 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınım verisinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları.....100
Çizelge 5.7 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları.....101
Çizelge 5.8 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri 101
Çizelge 5.9 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları.....102
Çizelge 5.10 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri 103
Çizelge 5.11 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları 104
Çizelge 5.12 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri 104
Çizelge 5.13 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları 105
Çizelge 5.14 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri.....105
Çizelge 5.15 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti normallik test analiz sonuçları 107
Çizelge 5.16 Kalker (A) işletmesi delme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri.....108
Çizelge 5.17 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki 109
Çizelge 5.18 Tüm işletmelerin delme faaliyeti veri setlerinin toplu giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları.....109
Çizelge 5.19 Tüm işletmelerin delme faaliyeti veri setlerinin aşamalı giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları.....110
Çizelge 5.20 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM verilerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları.....112
Çizelge 5.21 Kalker İşletmesi (A) delme faaliyeti TAPM salınım kestirim kuralları.....113
Çizelge 5.22 Kalker İşletmesi (A) delme faaliyeti TAPM salınım kestirim denklemleri.....113
Çizelge 5.23 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim kuralları.....114
Çizelge 5.24 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim denklemleri 114
Çizelge 5.25 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları 115
Çizelge 5.26 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri 115
Çizelge 5.27 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları.....115
Çizelge 5.28 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri ...116
Çizelge 5.29 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM verilerinin normallik test analiz sonuçları 118
Çizelge 5.30 Kalker işletmesi (B) delme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri.....119

Çizelge 5.31 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki 120
Çizelge 5.32 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile modelleme sonuçları 121
Çizelge 5.33 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları.....122
Çizelge 5.34 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri 122
Çizelge 5.35 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları.....123
Çizelge 5.36 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri..123
Çizelge 5.37 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları 124
Çizelge 5.38 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri 124
Çizelge 5.39 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları 125
Çizelge 5.40 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri 125
Çizelge 5.41 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınımı verisi normallik test sonuçları 126
Çizelge 5.42 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki.....127
Çizelge 5.43 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 129
Çizelge 5.44 Kalker işletmeleri delme faaliyeti TAPM salınım kestirim kuralları 130
Çizelge 5.45 Kalker İşletmeleri delme faaliyeti TAPM salınım kestirim denklemleri.....130
Çizelge 5.46 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim kuralları 130
Çizelge 5.47 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim denklemleri.....131
Çizelge 5.48 Kalker İşletmeleri delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları.....131
Çizelge 5.49 Kalker İşletmeleri delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri 131
Çizelge 5.50 Kalker işletmeleri delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları.....132
Çizelge 5.51 Kalker işletmeleri delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri 132
Çizelge 5.52 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM salınımlarının normallik test sonuçları .134
Çizelge 5.53 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki.....134
Çizelge 5.54 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM veri setlerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 136
Çizelge 5.55 Tüm İşletmelerin delme faaliyeti TAPM salınım kestirim kuralları 137
Çizelge 5.56 Tüm işletmelerin delme faaliyeti TAPM salınım kestirim denklemleri.....137
Çizelge 5.57 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim kuralları 138
Çizelge 5.58 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim denklemleri.....138
Çizelge 5.59 Tüm işletmelerin delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları.....139
Çizelge 5.60 Tüm işletmelerin delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri 139
Çizelge 5.61 Tüm işletmelerin delme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları 140
Çizelge 5.62 Tüm işletmelerin delme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri.....140
Çizelge 6.1 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınımı normallik test sonuçları 142
Çizelge 6.2 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri 143
Çizelge 6.3 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki.....144
Çizelge 6.4 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti toplu giriş regresyon modeli 145
Çizelge 6.5 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti aşamalı regresyon modeli 147
Çizelge 6.6 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınım verisinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 149
Çizelge 6.7 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları 150
Çizelge 6.8 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri 150
Çizelge 6.9 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları 151
Çizelge 6.10 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri.....151
Çizelge 6.11 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları 152
Çizelge 6.12 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri..152
Çizelge 6.13 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları 153
Çizelge 6.14 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri....153
Çizelge 6.15 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti normallik test analiz sonuçları.....154
Çizelge 6.16 Kalker (A) işletmesi yükleme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri 156
Çizelge 6.17 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki.....157
Çizelge 6.18 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti veri setlerinin toplu giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları.....157
Çizelge 6.19 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti veri setlerinin aşamalı giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları.....158

Çizelge 6.20 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti PM verilerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 160
Çizelge 6.21 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları ..161
Çizelge 6.22 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri.....161
Çizelge 6.23 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları 161
Çizelge 6.24 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri.....162
Çizelge 6.25 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları ...162
Çizelge 6.26 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri.....162
Çizelge 6.27 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları 163
Çizelge 6.28 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri163
Çizelge 6.29 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM verilerinin normallik test analiz sonuçları.....164
Çizelge 6.30 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri 166
Çizelge 6.31 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki.....167
Çizelge 6.32 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile modelleme sonuçları 168
Çizelge 6.33 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları ..169
Çizelge 6.34 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri.....169
Çizelge 6.35 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları 170
Çizelge 6.36 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri...170
Çizelge 6.37 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları 171
Çizelge 6.38 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri..171
Çizelge 6.39 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları 172
Çizelge 6.40 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri....172
Çizelge 6.41 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınım verisi normallik test analiz sonuçları.....174
Çizelge 6.42 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki 174
Çizelge 6.43 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 176
Çizelge 6.44 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları.....177
Çizelge 6.45 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri177
Çizelge 6.46 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları.....177
Çizelge 6.47 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri..178
Çizelge 6.48 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları.....179
Çizelge 6.49 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri .179
Çizelge 6.50 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları.....180
Çizelge 6.51 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri ...180
Çizelge 6.52 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM salınımlarının normallik test analiz sonuçları.....182
Çizelge 6.53 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki 182
Çizelge 6.54 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM veri setlerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 183
Çizelge 6.55 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti TAPM salınım kestirim kuralları.....184
Çizelge 6.56 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti TAPM salınım kestirim denklemleri 184
Çizelge 6.57 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim kuralları.....185
Çizelge 6.58 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim denklemleri 185
Çizelge 6.59 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları 186
Çizelge 6.60 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri ..187
Çizelge 6.61 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları.....188
Çizelge 6.62 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri 188
Çizelge 7.1 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınımı normallik test sonuçları 190
Çizelge 7.2 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri 191
Çizelge 7.3 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki 192
Çizelge 7.4 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti toplu giriş regresyon modeli.....193

Çizelge 7.5 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti aşamalı regresyon modeli 195
Çizelge 7.6 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınım verisinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 197
Çizelge 7.7 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları 198
Çizelge 7.8 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri 198
Çizelge 7.9 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları 198
Çizelge 7.10 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri 199
Çizelge 7.11 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları 199
Çizelge 7.12 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri.....200
Çizelge 7.13 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları 200
Çizelge 7.14 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri.....200
Çizelge 7.15 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti normallik test analiz sonuçları 202
Çizelge 7.16 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri 203
Çizelge 7.17 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki 204
Çizelge 7.18 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti veri setlerinin toplu giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları.....204
Çizelge 7.19 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti veri setlerinin aşamalı giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları.....205
Çizelge 7.20 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM verilerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 206
Çizelge 7.21 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları.....207
Çizelge 7.22 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri ...207
Çizelge 7.23 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları.....208
Çizelge 7.24 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri.208
Çizelge 7.25 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları.....209
Çizelge 7.26 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri 209
Çizelge 7.27 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları.....210
Çizelge 7.28 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri ..210
Çizelge 7.29 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM verilerinin normallik test analiz sonuçları 212
Çizelge 7.30 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri 213
Çizelge 7.31 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki 214
Çizelge 7.32 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile modelleme sonuçları 215
Çizelge 7.33 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları.....216
Çizelge 7.34 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri ...216
Çizelge 7.35 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları.....216
Çizelge 7.36 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri 217
Çizelge 7.37 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları 217
Çizelge 7.38 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri 218
Çizelge 7.39 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları 219
Çizelge 7.40 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri 219
Çizelge 7.41 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınım verisi normallik test analiz sonuçları.....221
Çizelge 7.42 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki.....221
Çizelge 7.43 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 222
Çizelge 7.44 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları 223
Çizelge 7.45 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri.....224
Çizelge 7.46 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları 225
Çizelge 7.47 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri.....225
Çizelge 7.48 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları.....226
Çizelge 7.49 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri 226
Çizelge 7.50 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları 227
Çizelge 7.51 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri.....227
Çizelge 7.52 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM salınımlarının normallik test analiz sonuçları.....229
Çizelge 7.53 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki.....229

Çizelge 7.54 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM veri setlerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları 231
Çizelge 7.55 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları 232
Çizelge 7.56 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri.....232
Çizelge 7.57 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları 233
Çizelge 7.58 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri.....233
Çizelge 7.59 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları.....234
Çizelge 7.60 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri 235
Çizelge 7.61 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları.....236
Çizelge 7.62 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri 236
Çizelge 8.1 İşletme bazında delme faaliyeti PM salınım verilerinin dağılımı 241
Çizelge 8.2 İşletmelerdeki delme faaliyeti için hesaplanan model, düğüm sayısı, ilgileşim katsayısı ve önemli parametreler 247
Çizelge 8.3 Delme faaliyeti nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri.....249
Çizelge 8.4 Delme faaliyeti PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınımlarının, Ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standartlara göre değerlendirilmesi 251
Çizelge 8.5 İşletme bazında yükleme faaliyeti PM salınım verilerinin dağılımı 252
Çizelge 8.6 Ölçüm yapılan işletmelerdeki yükleme faaliyeti için hesaplanan model, düğüm sayısı, ilgileşim katsayısı ve önemli parametreler.....258
Çizelge 8.7 Yükleme faaliyeti nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri 259
Çizelge 8.8 Yükleme faaliyeti PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınımlarının, Ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standartlara göre değerlendirilmesi 260
Çizelge 8.9 İşletme bazında taşıma faaliyeti PM salınım verilerinin dağılımı 261
Çizelge 8.10 Ölçüm yapılan işletmelerdeki taşıma faaliyeti için hesaplanan model, düğüm sayısı, ilgileşim katsayısı ve etkin parametreler.....267
Çizelge 8.11 Taşıma faaliyeti nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri 268
Çizelge 8.12 Taşıma faaliyeti PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınımlarının, Ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standartlara göre değerlendirilmesi 269
Çizelge 8.13 Kalker işletmeleri nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri 272
Çizelge 8.14 Tüm işletmelerin nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri 274

KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
AERMOD	: Amerikan Meteoroloji Derneği/Çevre Koruma Ajansı, Atmosferik Dağılım Modelleme Sistemi
AP-42	: USEPA Hava Kirliliği Emisyon Faktörleri Derlemesi
BC	: Yükleyici kova hacmi (m^3)
CCME	: Kanada Çevre Koruma Ajansı
CEPA	: Kanada Çevre Koruma Yasası
CW	: Yan rüzgâr hızı (m/s)
CWS	: Kanada Standardı
ÇEDB	: Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
ÇSGB	: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
DWPT	: Çiğ noktası sıcaklığı (°C)
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
EU	: Avrupa Birliği
HKİ	: Hava Kalitesi İndeksi
HW	: Karşı rüzgâr hızı (m/s)
KVS	: Kısa Vadeli Sınır Değer
MASS	: Kamyon kütlesi (ton)
MSTR	: Malzemenin nem içeriği (%)
NAAQO	: Kanada Ulusal Ortam Hava Kalitesi Hedefleri
NPI	: Ulusal Kirletici Envanteri (Avustralya)
NSW	: Avustralya Çevre Koruma Ajansı
One-way ANOVA	: Tek yönlü varyans analizi
PAN	: Peroksi asetil nitrat
PBN	: Peroksi benzol nitrat
PM	: Partikül Madde
$PM_{0.1}$	: Aerodinamik çapı 0,1 µm ve daha küçük partikül madde – Ultra ince PM'ler
PM_{1}	: Aerodinamik çapı 1 µm ve daha küçük partikül madde
PM_{10}	: Aerodinamik çapı 10 µm ve daha küçük partikül madde
$PM_{10-2,5}$	: Aerodinamik çapı 10 ile 2,5 µm arasında olan partikül madde – Kaba PM'ler
$PM_{2,5}$	: Aerodinamik çapı 2.5 µm ve daha küçük partikül madde – İnce PM'ler
PPM	: Milyonda bir
RH	: Bağıl nem (%)
SKHKKY	: Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği
SLT&CLY	: Malzemenin silt+kil içeriği (%)
SP	: İstasyon basıncı (mb)
SPD	: Kamyon hızı (km/sa)
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
TAPM	: Toplam Askıda Partikül Madde
TMP	: Hava sıcaklığı (°C)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TWA	: Zaman Ağırlıklı Ortalama
UFP	: Ultra ince partikül maddeler
USEPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
UVS	: Uzun Vadeli Sınır Değer
VOC	: Uçucu organik bileşikler
WEKA	: Waikato Environment for Knowledge Analysis
WHL	: Kamyon teker sayısı (adet)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
WS	: Rüzgâr hızı (m/s)
ZAOD	: Zaman Ağırlıklı Ortalama Değer

1. GİRİŞ

WHO, günümüzde dünya genelinde her yıl yaklaşık yedi milyon insanın hava kirliliği sonucu meydana gelen hastalıklardan dolayı yaşamını yitirdiğini ve on kişiden dokuzunun yüksek düzeyde kirletici içeren hava soluduğunu ifade etmektedir. Ayrıca, hava kirliliği izlenen kentsel alanlarda yaşayan insanların yaklaşık %90'ının yönerge sınırlarını aşan kirlilik seviyelerine maruz kalmakta olduğunu, düşük ve orta gelirli ülkelerin hem iç hem de dış mekânlarda en yüksek hava kirliliğine maruz kaldıklarını da belirtmektedir (Url-1, 2022). Günümüzde hava kirliliğinin kontrol altına alınamaması, başta insanlar olmak üzere diğer canlılar ve doğal çevre için de yüksek düzeyde risk teşkil etmektedir. Hava kirliliğine sebep olan bileşenlerden birisi de partikül maddeler olup (Choudhary ve Garg 2013; Kim vd., 2015; Beloconi vd., 2018; THHP, 2019) madencilik faaliyetleri sonucu üretilen ana kirleticiler arasındadır. Madencilik sektörü, Avrupa'da PM kaynakları bakımından 10 μm'den daha ince partiküller için (PM_{10}) üçüncü sırada, 2,5 μm'den daha ince partiküller ($PM_{2,5}$) için dördüncü sırada yer almaktadır (Evyapan vd., 2012). Madencilik sektöründe çalışanlar hava kirliliğine bağlı PM'lerin zararlı etkilerine yüksek düzeyde maruz kalabilmektedir. Madencilik faaliyetleri sonucu salınan PM miktarı; sahaya özgü meteorolojik faktörlere (rüzgâr hızı ve yönü, bağıl nem, sıcaklık, mevsim koşulları vb.), ekipman özelliklerine (kova kapasitesi, yürüme hızı, çalışma periyodu vb.) ve malzemenin kendine özgü fiziksel özelliklerine (nem içeriği, silt+kil içeriği) bağlı olarak değişmektedir.

Literatür incelendiğinde, yerüstü madencilik faaliyetleri kaynaklı PM salınımı modellerinin çoğunlukla kömür madenleri için geliştirilmiş ve diğer yerüstü madencilik faaliyetleri için AP-42 ve NPI emisyon faktörlerine başvurulmuştur (USEPA, 1998; NPI, 2012; Badu, 2014; Patra vd., 2016a; Richardson vd., 2019). Madenlerdeki PM salınım değerleri arasında belirgin farklılıklar bulunmakta olup bu farklılık, aynı cevher türünün çıkartıldığı madenler için de geçerliliğini korumaktadır. PM salınım değerlerinin işletmeye özgü olmasından dolayı en iyi yöntemin sürekli ölçüm yapılması ancak bunun mümkün olmadığı durumlarda salınım faktörlerinden yararlanılması önerilmiştir (USEPA, 1995; NPI, 2012; Lashgari ve Kecojevic, 2016).

PM'lerin madencilik sektöründe çalışanlar üzerinde sağlık riski oluşturmasından dolayı bu sektörlerde çalışanların maruz kaldığı PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) düzeylerinin tespiti önemlidir. Diğer yandan, atmosferik koşullar ve meteorolojik olaylar ile malzeme ve ekipman özelliklerinin de PM salınımı üzerindeki etkileri araştırılmalıdır.

Bu çalışmanın amacı kömür çıkartılmayan açık maden işletmelerinde patlatma haricindeki temel faaliyetlerden (delme, yükleme ve taşıma) kaynaklanan PM salınımını modellemektir. Çalışmanın asal özgünlüğü, modellemenin kömür harici işletmelerde yapılacak olmasından, kısmi özgünlüğü ise insan sağlığı için büyük tehdit oluşturabilen PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1

boyutundaki çok ince partiküllerin de ortam atmosferindeki yoğunluğunun izlenmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Halen birçok ülke mevzuatında ve bilimsel yayınlarda USEPA (1998) ve NPI (2012) referans salınım faktörlerinin kullanıldığı göz önüne alındığında, bu tez kapsamında yapılan araştırma ve modelleme çalışmalarının ilgili bilimsel literatüre katkı yapması umulmaktadır. Ayrıca, diğer madencilik faaliyetlerine kıyasla sıklıkla açık kömür madenciliğinde PM ölçüm ve değerlendirme çalışmaları yapıldığından, bu tez çalışmasından elde edilecek veriler kömür dışı açık maden işletmeciliği için de referans olarak kullanım potansiyeline sahiptir. Saha+laboratuvar+ofis çalışmasından elde edilen çıktıların değerlendirilmesi ile kazanılacak deneyim sayesinde, diğer cevher türlerinin çıkartıldığı madenlerde PM salınımı için kestirim modellerinin geliştirilebileceği projeler için altyapı hazırlanmış olacaktır. Bu çalışma genel olarak üç bölümden oluşmaktadır. İlk olarak literatür araştırması, ikinci olarak arazi ölçümleri ve laboratuvar deneylerinin yapılması, son olarak da PM salınım kestirim denklemlerinin oluşturulması için iki farklı istatistiksel analiz paketinden (SPSS ve WEKA) faydalanılmış ve sonuçları yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

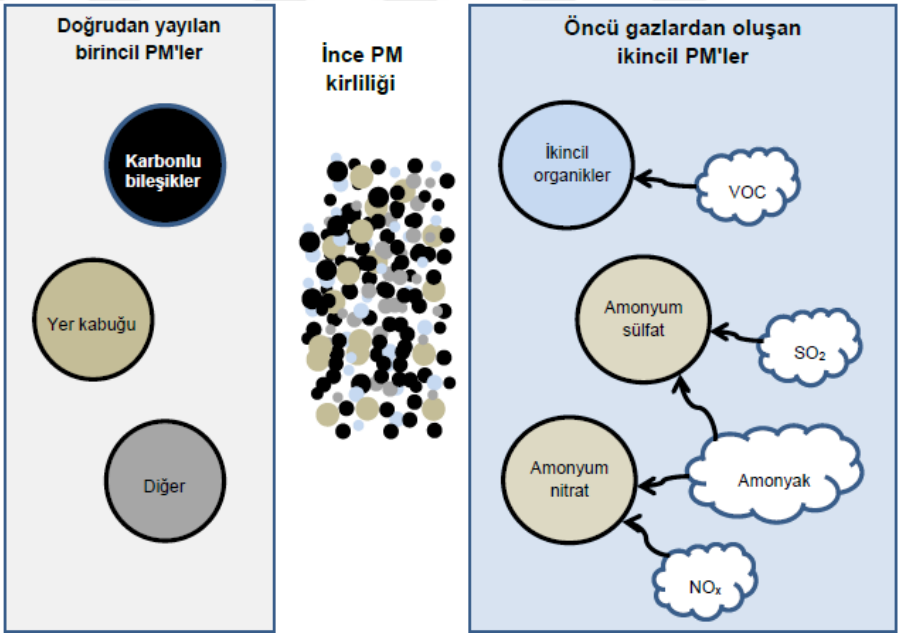
2.1 Partikül Madde (PM)

Genel olarak “toz” deyimi belli süre havada asılı kalabilen 75 µm altındaki partiküller için kullanılmaktadır (WHO, 1999). Ayrıca tozlar, çeşitli inorganik ve organik maddelerin delme, kırma, taşınma, aşınma, öğütme, parçalanma, yanma vb. olaylara maruziyeti sonucu oluşan, tane boyut aralıkları 1 µm ile 100 µm arasında değişebilen ve yerçekimi etkisiyle yavaş yavaş çöken maddeler olarak tanımlanmıştır (WHO, 1999; Vidinli vd., 2016).

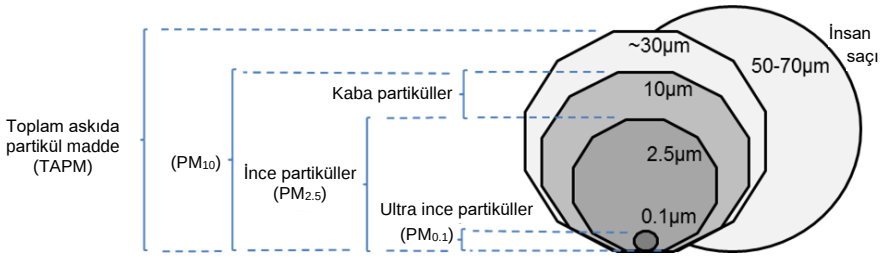
Partikül maddeler, hava içinde askıda bulunan katı ve sıvı parçacıklar (aerosoller) olarak ta tanımlanmıştır (WHO 2003, 2006; Choudhary ve Garg 2013). Atmosferik aerosollerin çapları yaklaşık olarak 0,002 µm ile 100 µm arasında değişmektedir (Hinds, 1999; Stefan vd., 2006; Després vd., 2012; Maduna ve Tomašić, 2017; DI vd., 2019; Knight vd., 2021). Partikül maddeler; nitratlar, sülfatlar, organik kimyasallar, metaller, toprak veya toz parçacıkları ve alerjenler (polen veya küf sporları gibi) gibi çeşitli bileşenlerden oluşabilmektedirler. PM’lerin kaynakları doğal ya da insan faaliyetleri (antropojenik) sonucu olabilmektedir. Başlıca doğal PM kaynakları arasında deniz aerosolleri ve tuzları, rüzgârlarla savrulan toprak parçacıkları, volkanik aktiviteler, yangınlar, çöl kumları, organik bileşikler ve mikroorganizmalar sayılabilmektedir (CAFE, 2004; WHO, 2006; Perrino, 2010; Hime vd., 2015). Antropojenik PM’lerin temel kaynakları arasında ise şantiyeler, fabrikalar, asfaltsız yollar, bacalar, enerji üretim tesisleri, madencilik, çimento fabrikaları ve yangınlar sayılabilmektedir (Rodriguez, vd., 2007; Perrino, 2010; Şahin, 2012; Choudhary ve Garg 2013; Adams vd., 2015; Fuzzi vd., 2015; Hime vd., 2015; THHP, 2019). Dünyadaki PM kaynaklarının yaklaşık %10’luk (Perrino, 2010), başka bir çalışmada da %(10-50)’lik bölümünün insan kaynaklı olduğu ifade edilmektedir (Hinds, 1999; Hime vd., 2015). Kirletici kaynaktan atmosfere doğrudan yayılan PM’lere birincil (primer), birincil kaynaktan atmosfere yayılan yüzeye adsorplanma ve yoğunlaşma süreçleri ile kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan yeni partiküllere ikincil (secondary) PM adı verilmektedir (CAFE, 2004; EPA, 2004; Hime vd., 2015; NSW EPA, 2015). Birincil kirleticiler doğal ve antropojenik kaynaklardan, ikincil kirleticiler ise atmosferde bulunan kirleticilerin atmosferik dinamiklerin de etkisiyle gaz fazı reaksiyonları veya partiküllerle reaksiyonları sonucu oluşmaktadırlar. Bu kirleticiler doğrudan bir kaynaktan atmosfere salınmış kirleticiler olmayıp, atmosferde üretilmiş olan kirleticilerdir. En iyi bilinen ikincil kirleticilere örnek olarak ozon, diğer oksidanlar, peroksi asetil nitrat (PAN) ve peroksi benzol nitrat (PBN) verilebilir (Keskinkılıç vd., 2010). Atmosferde temel olarak bulunan birincil ve ikincil PM kaynakları ve ince PM kirliliğinin oluşumu Şekil 2.1’de verilmiştir (NSW EPA; 2015).

PM boyutu genellikle, hâkim olan sıcaklık, basınç ve bağıl nem şartları altındaki partiküller, durgun havada yerçekimi etkisiyle aynı çökme hızına sahip olan 1 g/cm³ yoğunluğa sahip kürenin çapı olarak tanımlanan *aerodinamik çap* olarak ifade edilmekte olup birkaç nanometreden (nm) onlarca mikrometreye (µm) değişebilmektedir (Keskinkılıç vd., 2010). PM

boyut aralığını tanımlamak için birbiriyle çelişebilen yaklaşımlar bulunmaktadır. TAPM, ~40 µm ve altı tüm askıda kalan partiküller (Chow ve Watson, 1998; US EPA, 1998b) veya 50 µm ve tüm askıda kalan partikülleri için kullanılmıştır (Araújo vd., 2014). TAPM; 0 µm ile ~ 30 µm - 50 µm arasındaki partiküller (Cao vd., 2013), 30 µm ve altı askıda kalan tüm partiküller olarak da tanımlanmıştır (Evyapan vd., 2012, Hime vd., 2015; NSW EPA, 2015; Patra vd., 2016a). Ayrıca ≤10 µm partiküller PM_{10}, ≤2,5 µm partiküller de $PM_{2,5}$ olarak kodlanmıştır (WHO, 2006; Keskinkılıç vd., 2010; Evyapan vd., 2012; Araújo vd., 2014; Hime, vd., 2015; NSW EPA, 2015; EPA, 2020a). Diğer taraftan, çapları 2,5 µm - 10 µm arasında olanlar *kaba partiküller*, çapları ≤2,5 µm olanlar *ince partiküller* (EPA, 1999a; USEPA, 2004; WHO, 2006; Evyapan vd., 2012; Hime, vd., 2015; Li vd., 2017; EPA, 2020a) ve çapları ≤0,1 µm olan partiküller *ultra ince* (UFP) partiküller olarak isimlendirilmiştir (WHO, 2006; Evyapan vd., 2012; Hime, vd., 2015). PM'lerin boyut aralıklarının sınıflandırılması Şekil 2.2'de verilmiştir. Bir diğer bakış açısından, dane çapı 75 µm ile 2 µm arasında olanlar *silt*, ≤2 µm olanlar ise *kil* olarak adlandırılmaktadır (TS 1900-1, 2006).

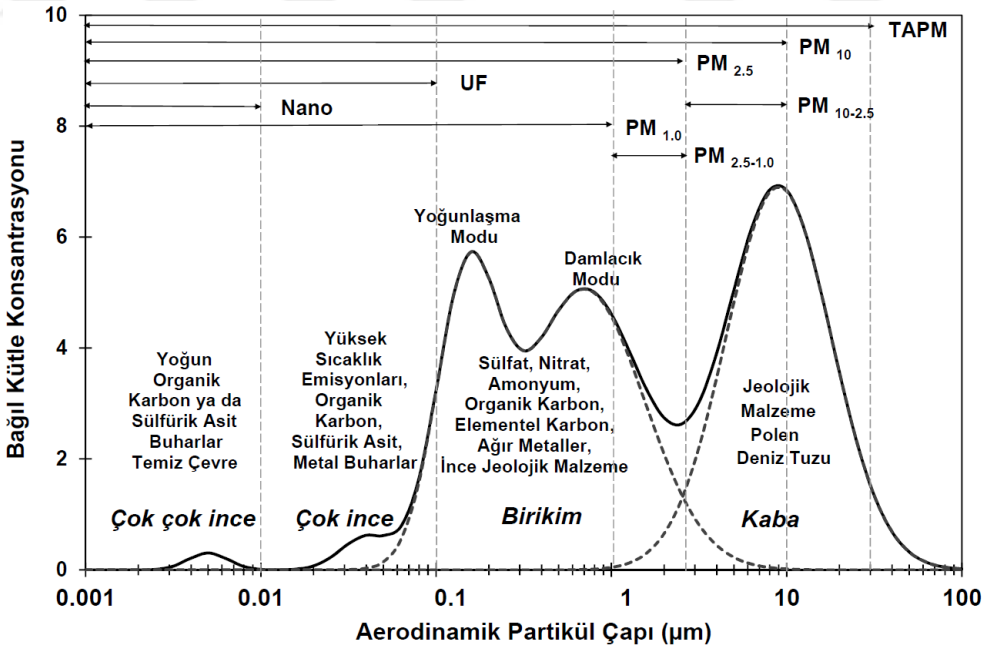


Şekil 2.1 Atmosferde birincil ve ikincil PM'lerin kaynakları ve ince PM kirliliği (NSW EPA, 2015).



Şekil 2.2 PM boyut aralığı sınıflandırılması, ölçeksiz (Hime vd., 2015).

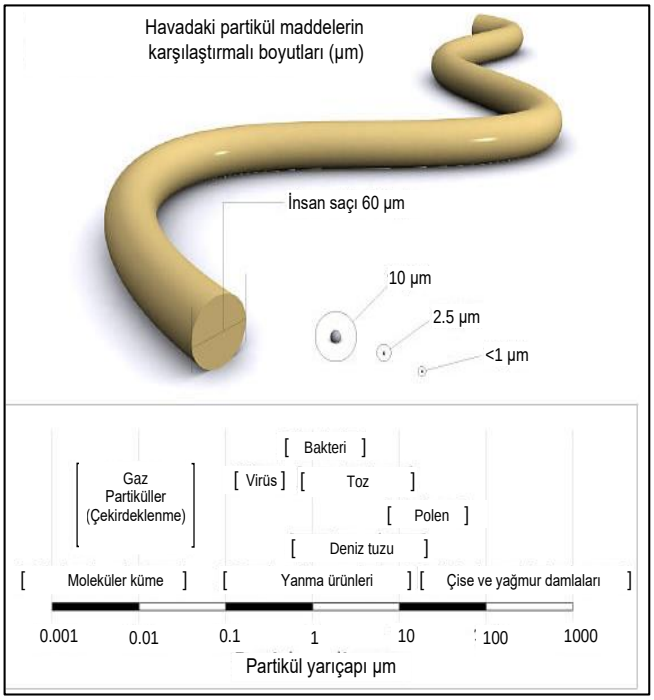
Temel olarak kırma ve aşınma gibi mekanik kuvvetler sonucu oluşan kaba partikül (EPA, 1999a; WHO, 2006) kaynakları arasında tarım, asfaltsız yollar ve madencilik faaliyetleri de bulunmaktadır (WHO, 2006; Hime vd., 2015). Zeminden aşınmış tozlar, polenler, mantar sporları, biyolojik kalıntılar ve deniz tuzu kaba partikül örnekleri arasındadır (Hime vd., 2015). Örnek olarak bakteriler, virüsler, sülfatlar, nitratlar ve organik bileşiklerin verilebildiği ince partiküller (USEPA, 2009; Hime vd., 2015) ise motorlu taşıtlar, enerji santralleri, odun yakma, orman yangınları, tarımsal yakma ve bazı endüstriyel süreçler sonucu ortaya çıkmaktadır (USEPA, 2004; WHO, 2006; Araújo vd., 2014; EPA, 2020a). Atmosferik boyut dağılımlarının temel formu Whitby vd. (1972) tarafından tanımlanmış ve Liu vd. (1974), tipik partikül büyüklüğü dağılımlarının birbirleriyle örtüşen iki log-normal eğri ile en az 1 µm - 3 µm bölgesinde açıklanabileceği sonucuna varmışlardır (Şekil 2.3) (Cao vd., 2013). Buna göre; aerodinamik çapı 0,01 µm'den küçük partiküller *çok çok ince* (nano), 0,01 µm ile 0,1 µm arasındaki partiküller *çok ince* (ultra), ~ 0,1 µm ile ~ 2,0 µm arasındaki partiküller *ince*, ~ 0,2 µm *yoğunlaşma*, ~ 0,7 µm *damlacık oluşumu*, ~2 µm ~ 3 µm ile 100 µm arasındaki partiküller *kaba* (coarse) ve 0 ile ~ 30 - 50 µm arasındaki partiküller *toplam askıda partikül madde* (TAPM) olarak tanımlanmıştır (Cao vd., 2013). Partikül madde boyutları çok geniş bir aralığa sahiptir. Toz, duman, is gibi bazı partiküller gözle görülebilecek kadar büyük iken ancak mikroskopla görülebilen boyutlarda partiküller de bulunmaktadır (Keskinkılıç vd., 2010). PM_{10} ve $PM_{2,5}$ boyutları çıplak gözle görülemezler (Url-2, 2021). Karşılaştırmalı PM boyutları Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.3 Tipik partikül boyut dağılımı (Cao vd., 2013).

Kaba partiküllerin ince partiküllere oranla havada askıda kalma süreleri daha kısadır (EPA, 1999a; WHO, 2006). Toz parçacıkları havaya bırakıldığında, boyutlarıyla orantılı bir oranda yere düşme eğilimi gösterirler. Aerodinamik çapı >50 µm ve <1 µm olan PM'lerin çökelme

hızları sırasıyla 7 cm/s ve 0,03 mm/s (WHO, 1999) iken, (20 - 30) μm'den daha büyük partiküller atmosferde hızla düşme eğilimindedirler. Çapı 10 μm olan bir parçacığın çökelme hızı yaklaşık 0,5 cm/s iken, 100 μm çapındaki bir parçacığın çökelme hızı yaklaşık 45 cm/s'dir. Normal koşullar altında ince parçacıklar (PM_{10}) geniş bir alana yayılma eğiliminde iken daha büyük parçacıklar basitçe kaynağın yakın çevresinde çökmektedir (Good Practice, 2016). Toz partiküllerinin atmosferde sürüklenme mesafesi toz kaynağından salınma yüksekliğine, çökelme hızına ve atmosferik türbülansa bağlı olarak değişmektedir. Toz emisyonlarının atmosferde sürüklenme mesafesi partikül çapı ve rüzgâr hızının ortalaması baz alınarak hesaplanabilmektedir. 16 km/sa ortalama rüzgâr hızında 100 μm'den büyük partiküllerin yol kenarının veya diğer noktasal salınım kaynağının 6 m - 9 m ilerisinde, 30 μm ile 100 μm arasında aerodinamik çapa sahip partiküllerin atmosferik çalkantı düzeyine bağlı olarak yoldan en az 30 m ilerisinde çökme ihtimalinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Daha küçük partiküller, daha zayıf yer çekimi kuvvetine maruz kalacağından çökme potansiyeli atmosferik çalkantı tarafından bir miktar engellenmektedir (USEPA, 1995). Diğer taraftan, 10 μm'den büyük partiküller yerçekimi yasasına göre hareket ederken, 0,1 μm ila 10 μm arasındaki partiküller Stoke yasasına uyarak sabit bir hızla çökelmektedir. Çökelme hızı yoğunluğa ve parçacıkların büyüklüğüne, yer çekimine bağlı ivmelenmeye ve ortamın viskozitesine bağlı olarak değişmektedir. 0,01 μm ila 0,1 μm arasında olan toz partikülleri havada askı durumda kalmaktadır (Badu, 2014). Ayrıca, $PM_{2,5}$ havada haftalarca askıda kalabilmekte ve 100 km'den 1000 km'ye kadar uzak mesafelere taşınabilmektedir (Hime, vd., 2015; Kim vd., 2015). Kaba partiküller de havada saatlerce askıda kalabilmekte, bir yaklaşıma göre, 1 km'den 10 km'ye kadar mesafelere (Hime, vd., 2015; Kim vd., 2015), diğerine göre ise 1 km'den yüzlerce km'ye kadar uzak mesafelere taşınabilmektedir (WHO, 2006; US EPA, 2009; NSW EPA, 2015).



Şekil 2.4 Karşılaştırmalı PM boyutları (Url-2, 2021)

2.2 Partikül Maddelerin Olumsuz Etkileri

USEPA tarafından hava kirliliğine katkıda bulunan beş ana kirletici olan PM ($PM_{2,5}$ ve PM_{10}), yer seviyesinde ozon (O_3), karbon monoksit (CO), sülfür dioksit (SO_2) ve azot dioksitin (NO_2) insan sağlığı üzerine etkilerinin basit ve pratik olarak anlaşılabilmesi amacıyla hava kalitesi indeksleri (HKİ) geliştirilmiştir. Halk sağlığını korumak için geliştirilen HKİ, günlük hava kalitesini renk kategorisine göre altı alt gruba bölerek solunan havanın ne kadar temiz veya kirli olduğunu ve buna bağlı olarak sağlığa zararlı olup olmadığını göstermektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 PM ($PM_{2,5}$ ve PM_{10}) ile hava kalitesi indeksi arasındaki ilişki (EPA, 2018)

Kategori	Renkler	HKİ	$PM_{2,5}$ (24 saatlik ort.) (µg/m³)	PM_{10} (24 saatlik ort.) (µg/m³)
İyi	Yeşil	0 – 50	0 – 12	0 – 54
Orta	Sarı	51 – 100	12,1 – 35,4	55 – 154
Hassas gruplar için sağlığa zararlı	Turuncu	101 – 150	35,5 – 55,4	155 – 254
Sağlığa zararlı	Kırmızı	151 – 200	55,5 – 150,4	255 – 354
Sağlığa çok zararlı	Mor	201 – 300	150,5 – 250,4	355 – 424
Tehlikeli	Kestane rengi	301 – 500	250,4 – 500,4	425 – 604

HKİ, günlük hava kalitesinin insan sağlığı üzerine olan etkilerinin belirlenmesi için geliştirilen bir referans ölçek niteliğinde olup değeri arttıkça, hava kirliliğine bağlı olarak hava kalitesi düşmektedir. Kalp ve akciğer hastalığı olan hassas insanlar (özellikle yaşlılar ve çocuklar) ile sağlık problemi olan insanların maruz kaldıkları hava kirliliği sınır düzeyi uyarı eşiğinin HKİ değeri bulunmaktadır (Çizelge 2.2). Buna göre, hava kalitesinin tüm bireyler için kabul edilebilir değeri en fazla “100” iken, 151’den büyük HKİ değeri tüm bireyler için risk oluşturmaktadır. Madencilik sektöründe çalışanların bulunduğu ortamdaki hava kirliliğine katkıda bulunan kirleticilerin ölçülmesi suretiyle HKİ değerine göre kategori sınıfı tespit edilip, sağlık üzerine olan etkileri belirlendikten sonra risk olması durumunda hava kalitesinin iyileştirilmesi için hızlı biçimde önlem alma yoluna gidilebilir. HKİ indeksi $PM_{2,5}$ ve PM_{10} değerleriyle aşağıdaki eşitlik yardımıyla ayrı ayrı hesaplanabilmektedir (EPA, 2018).

$$HK\dot{I} = \frac{(HK\dot{I}_{mak} - HK\dot{I}_{min}) * (P_{ort} - P_{min})}{(PM_{mak} - PM_{min})} + HK\dot{I}_{min} \qquad [2.1]$$

Burada;

P_{ort} : 24 saatlik ölçülen ortalama partikül madde konsantrasyonu, (µg/m³)

$HK\dot{I}_{min,\ mak}$: 24 saatlik ölçülen ortalama P_{ort} değerine karşılık gelen renk kategorisindeki minimum ve maksimum HKİ değeri.

$PM_{min,\ mak}$: 24 saatlik ölçülen ortalama P_{ort} değere karşılık gelen renk kategorisindeki minimum ve maksimum PM değeri.

Çizelge 2.2 HKİ indeksine göre uyarılar (EPA, 2018)

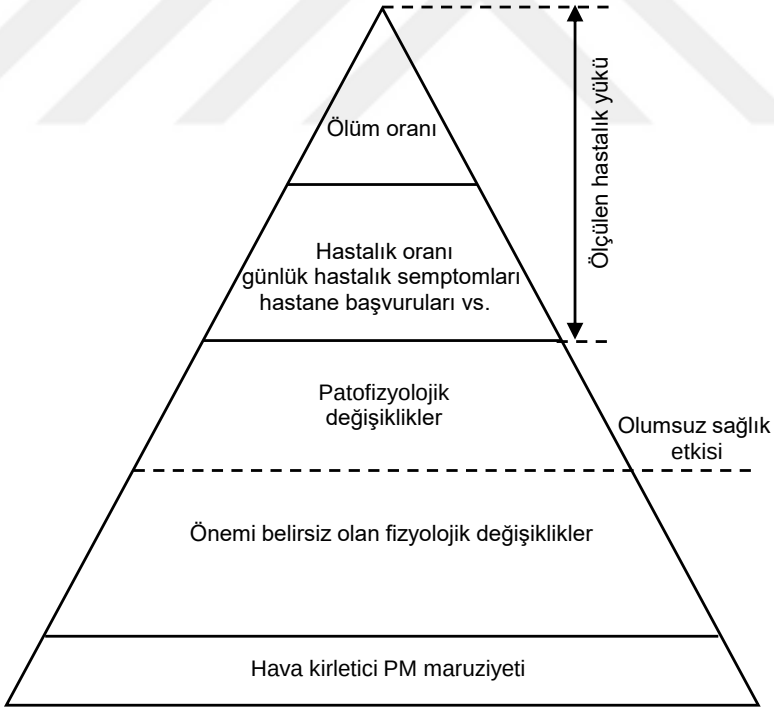
Kategori	HKİ değeri	Uyarılar
İyi	0 – 50	Hava kalitesi kabul edilir, hava kirliliği çok az risk taşır veya hiç risk oluşturmaz.
Orta	51 – 100	Hava kalitesi kabul edilebilir; ancak bazı kirleticiler için hava kirliliğine alışılmadık derecede hassas olan çok az sayıda insan, orta derecede sağlık sorunu yaşayabilir.
Hassas gruplar için sağlığa zararlı	101 – 150	Akciğer hastalığı olanlar, yaşlılar ve çocuklar ozon maruziyeti nedeniyle daha büyük risk altındadır. Ayrıca, kalp ve akciğer hastalığı olanlar, yaşlılar ve çocuklar havadaki partiküllerin varlığı nedeniyle daha büyük risk altındadır.
Sağlığa zararlı	151 – 200	Hassas insanlar daha ciddi etkilerine maruz kalmakta birlikte, diğer insanlar da olumsuz sağlık etkileri yaşamaya başlayabilir.
Sağlığa çok zararlı	201 – 300	Sağlık uyarısı: herkes daha ciddi sağlık etkileri yaşayabilir.
Tehlikeli	301 – 500	Acil durum uyarısı: insanların etkilenme olasılığı daha yüksektir.

2.2.1 Sağlık etkileri

DSÖ, PM maruziyeti ile sağlık etkileri arasında bir ilişki olduğu sonucuna varmıştır. Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarda, çevresel partikül maddeye kısa ve/veya uzun süreli maruziyet ile çeşitli ciddi sağlık sorunları arasında bir ilişki olduğunu gösteren birçok kanıt bulunmaktadır. PM konsantrasyonlarına uzun süre maruz kalmak, yaşam beklentisinde belirgin bir azalmaya yol açabilmektedir. PM maruziyetine bağlı ortalama yaşam süresini kısaltan en önemli rahatsızlıklar kalp ve akciğer hastalıklarıdır (CAFE, 2004; Hime vd., 2015). PM'lerin büyüklüğü, insanlarda sağlık sorunlarına neden olma potansiyeli ile doğrudan bağlantılı olduğu için PM çapı insan sağlığı için son derece önemlidir. 30 µm ila 10 µm arası boyuttaki parçacıklar havada sınırlı bir süre için askıda kalmaktadırlar. Bu boyut aralığındaki PM'ler burun delikleri veya ağızda tutularak yutuldukları için sağlık açısından endişe oluşturmamaktadır. 10 µm'den daha ince partiküllerin (PM_{10}) teneffüs yolu ile solunması daha olasıdır. $PM_{2,5}$ ve PM_1 solunum yolu ile akciğerlere kadar ulaşabilirler. Bu yüzden PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahip olan partikül boyutlar olup insan sağlığı için PM_{10}'un ortamdaki yoğunluğu ölçülmelidir (Tsiouri vd., 2015; Patra vd., 2016a; Url-3, 2021). 5 µm'den büyük partiküllerin üst solunum yolunda tutulduğu, 1 µm veya daha küçük boyuttaki partiküllerin ise alveollere ulaştığı ifade edilmiştir (Badu, 2014). PM'lerin maruziyet yoğunlukları, süreleri ve büyüklükleri solunum sisteminde hastalık oluşumunda ve oluşan patolojinin tipinde belirleyicidir. 10 µm'dan büyük olan partiküller burun dâhil olmak üzere üst solunum yollarında tutulurlar; 5-10 µm arasında olan partiküller üst ve alt solunum yollarına, 0.1-5 µm arasında olanlar ise alt solunum yolları ve parenkime ulaşırlar (İSGİP, 2015). USEPA, çapı 10 µm'den küçük olan partiküllerin insan sağlığı için büyük problem oluşturduğunu, bu çaptaki PM'lerin akciğerlerin derinlerine inebildiğini, kan dolaşımına girebildiğini, akciğerleri ve kalbi etkileyebildiğini belirtmiştir. Partikül kirliğine maruz kalınması sonucu insanlarda kalp (ölümcül olmayan kalp krizi, düzensiz kalp atışı) ve akciğer (ağır astım, akciğer fonksiyonunda azalma, solunum yollarında tahriş, öksürme veya nefes alma zorluğu gibi artan solunum belirtileri) hastalıklarına yakalanma olasılığı bulunmaktadır. Çocuklar ve yaşlılar PM kirliliği maruziyetinden etkilenme olasılığı en yüksek olan bireyler olarak sayılabilmektedirler (CAFE, 2004; WHO, 2006; Choudhary ve Garg 2013; Adams vd., 2015; Kim vd., 2015; NSW EPA, 2015; THHP, 2019). PM maruziyeti sonucu insanlarda kalp ve

akciğer hastalıkları kadar olmasa da merkezi sinir sistemi rahatsızlıklarının gelişebildiği ve doğum oranlarının da etkilendiği ifade edilmektedir (Hime vd., 2015). PM'ler, solunum yollarının savunma mekanizmalarını zayıflatmakta ve zararlı maddeleri akciğere taşımaktadırlar. Bu zararlı maddeler de akciğerleri etkileyerek nefes darlığına neden olabilmektedir (ÇEDB, 2004).

Hava kirliliğine katkıda bulunan temel bileşenlerden birisi olan PM'lerin insanların görüş alanını daraltabileceği ve bunun nemli havada daha belirgin olduğu ifade edilmektedir. İnsanların görüşünü azaltan en önemli PM boyutu $PM_{2,5}$ (NSW EPA, 2015) ve çapları 0,3 - 0,6 µm arası olanlardır (ÇEDB, 2004). Hava kirliliği olan bölgelerde yaşayan çocuklarda alt solunum yolu enfeksiyonları ve akciğer fonksiyonlarında azalma riski bulunmakta (CAFE, 2004; WHO, 2006; Choudhary ve Garg 2013), yetişkinlerde ise kronik akciğer hastalığı ve akciğer fonksiyonunda zayıflama olasılığı daha yüksek olabilmektedir (CAFE, 2004; WHO, 2006). Ayrıca hava kirliliği bronşit, emfizema, akciğer kanseri gibi hastalıklara ve farkına varılmadan ölümlere neden olabilmektedir (ÇEDB, 2004). $PM_{2,5}$ insan sağlığı için en büyük riski oluşturmaktadır (CAFE, 2004; Evyapan vd., 2012; Hime, vd., 2015; Xing vd., 2016; Gao vd., 2018; Martins ve Carrilho da Graça, 2018; Miller ve Xu, 2018; THHP, 2019; EPA, 2020a). PM kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri Şekil 2.5'de verilmiştir (Hollander vd., 1999; Hime vd., 2015).



Şekil 2.5 PM kirliliğinin insan sağlığı üzerine olan etkileri (Hollander vd., 1999; Hime vd., 2015).

Madencilik sektöründeki temel hava kirleticiler arasında çeşitli partiküller, doğal olarak bulunan gazlar, motor egzoz gazları ve bazı kimyasal buharlar sayılabilmektedir. Bu kirleticiler vücuda ya temas ederek ya da emilerek zararlı olabilmektedir. Emilim ciltten veya solunum yoluyla

oluşabilirken kimyasallar, etkileri kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak akut ve/veya kronik etkiler oluşturabilmektedir (İSGİP, 2015).

PM'ler hemen her madencilik faaliyetinde açığa çıkmakta ve madenciler için ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Madenlerde çalışanlar PM'leri soluduklarında akciğer hastalıklarına, görme kaybına ve sinir hastalıklarına yakalanabilirler (Kishore, 2015). Epidemiyolojik ve deneysel çalışmalar sonucunda PM'lerin eşit derecede toksik olmadığı ve sağlık için farklı riskler taşıdığı belirtilmektedir. Açık maden işletmeciliğinde çalışan ve maden çevresinde yaşayanlarda PM maruziyetinden dolayı akciğer hastalıklarına, kardiyovasküler hastalıklara, böbrek hastalığına, depresyon, kanser dışı solunum hastalıklarına, kötü doğum sonuçları gibi değişik hastalıklara yakalanma riski bulunduğu (Laney ve Weissman 2014; Hendryx, 2015), ölüm oranlarının daha yüksek olduğu ifade edilmiştir (Arregoces vd., 2018).

Kurşun, arsenik, tungsten, cıva, kadmiyum, selenyum, gümüş, nikel, manganez, uranyum ve diğer radyoaktif minerallerin tozları solunum sisteminde kimyasal reaksiyonlara neden olabilmektedir. Ayrıca toksik tozlar, toksik bileşiklerin alveol duvarlarını geçerek kan dolaşımı tarafından emilmelerini sağlayabilmektedir (Walli, 1982; McPherson, 2012'den). Uranyum, asbest, arsenik veya kuvars tozu kansere neden olmakta olup diğer birçok toz akciğer dokusuna zarar vermektedir. Silika, asbest, mika, talk gibi fibrojenik tozlar en tehlikeli olanlarından bazıları olup toksik ve kanserojen reaksiyonlar üretebilmektedir (SIMRAC, 2003; Patevratzi vd., 2005).

Kömür madenciliği sırasında açığa çıkan PM'ler sonucu çalışanlarda pnömokonyoz, astım, mezotelyoma, hipertansiyon, kardiyovasküler ve böbrek hastalıkları ile parkinson ve alzheimer hastalığı görülebilmektedir (Gautam vd., 2016). Ayrıca bu madenlerde çalışanlar ile civarında yaşayan insanlar üzerinde yapılan epidemiyolojik çalışmalar ve hayvan toksidite çalışmalarından elde sonuçlara göre kömür tozuna maruz kalmanın kronik solunum yolu hastalıklarına ve muhtemelen kardiyovasküler hastalık ve kansere neden olma potansiyeli olduğu belirtilmektedir. Diğer taraftan, halihazırda kömür tozunun diğer PM kaynaklarından sağlık için daha tehlikeli olup olmadığını gösteren yeterli kanıt olmadığı da ifade edilmektedir (Hime vd., 2015). Başka bir çalışmada ise kömür madeni ve çevresinde yaşayanların diğer bölgelere göre daha fazla sağlık sorunları yaşadıkları, solunum ve kardiyovasküler, kanser gibi hastalıklara yakalanma oranının yüksek olduğu ifade edilmiştir (Kurth vd., 2014).

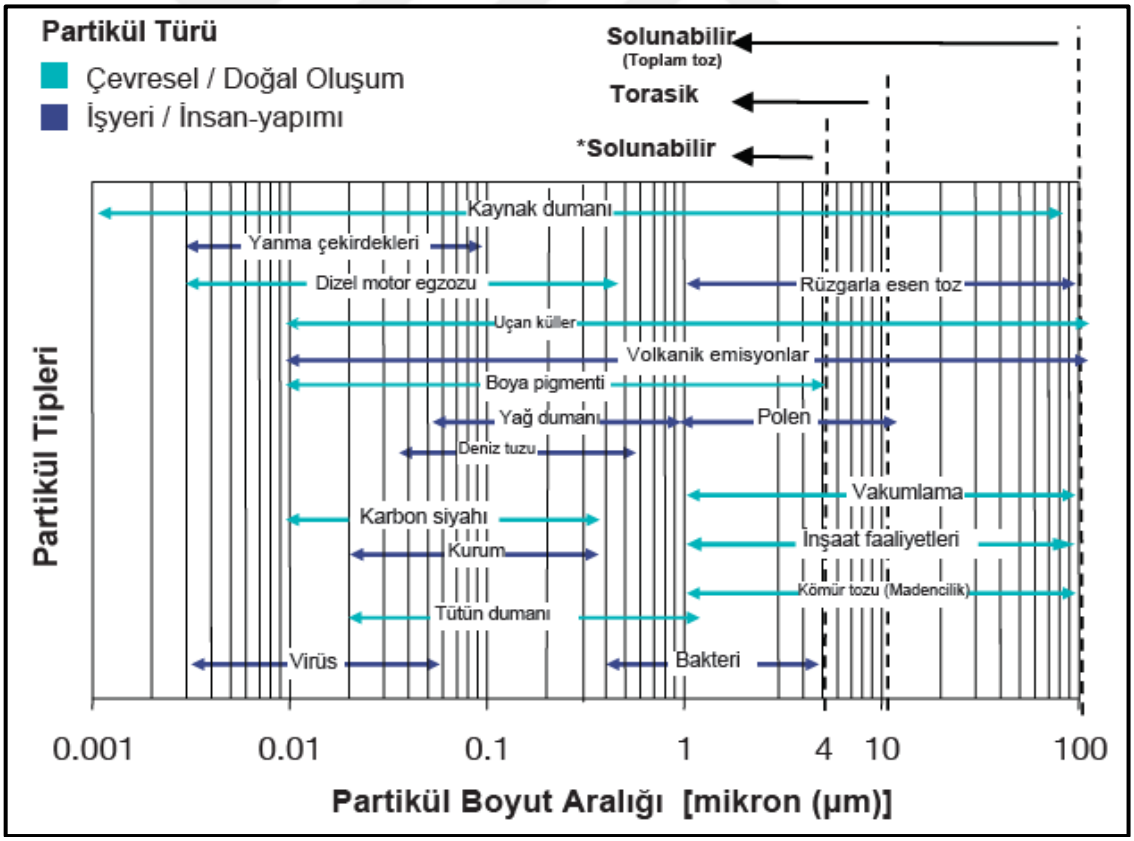
Demir cevheri partiküllerine maruz kalanlarda grip, ateş, titreme, göğüste sıkışma ve öksürük gibi belirtiler olabilmektedir. Ayrıca uzun süreli ve tekrarlanan temas, gözleri renklendirerek kalıcı demir lekelenmesine neden olabilmektedir (Kishore, 2015). Demir cevheri tozuna uzun süre maruz kalanlarda akciğer kanseri gibi hastalıklara yakalanma olasılığı da bulunmaktadır (Banerjee vd., 2006).

Açık granit işletmeciliğinde çalışanlarda PM maruziyeti sonucu akciğer ve karaciğer ile ilgili olarak silikoz, bronşit, tüberküloz gibi hastalıklara yakalanma riski bulunduğu ve maden işletmesi çevresinde yaşayanların astım, pnömokonyoz, göz ve işitme problemleri ile cilt hastalıkları gibi değişik meslek hastalıklarından etkilendiği ifade edilmiştir (Singh vd., 2009).

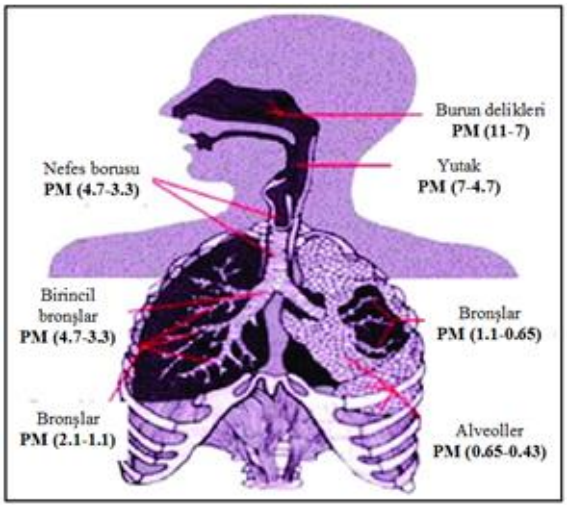
Şekil 2.6'da çeşitli toz partiküllerinin boyut aralıkları gösterilmektedir. Buna göre kömür madenciliğindeki PM boyut aralıkları 1 - 100 µm arasında değişmektedir. Kaynak dumanı toz partikül boyut aralığı en geniş olan partikül tipidir. Rüzgârın etkisiyle hareket eden toz partikül boyut aralığı da 1 µm - 100 µm arasındadır. Ayrıca, *Solunabilir* (toplam toz); %50'lik bölümü 100 µm altında olan havadaki partikülleri, *Torasik*; %50'lik bölümü 10 µm altında olan havadaki partikülleri ve **Solunabilir*; %50'lik bölümü 4 µm altında olan havadaki partikülleri ifade etmektedir. Diğer taraftan solunabilir tozlar üst solunum yoluna, torasik akciğer hava yollarına ve *solunabilir akciğerlere kadar indiği için tehlikelidir (Url-4, 2021).

İnsan vücudundaki solunum sistemine, akciğerlere ve bronşlara giren partikül çapları Şekil 2.7'de verilmiştir (Kim vd., 2015). Buna göre insan sağlığı açısından risk teşkil eden PM'ler 0,43 µm ile 11 µm arasında değişmekte olup bronşlar ve alveollere kadar inen PM boyutları 2,1 - 0,43 µm arasındadır.

PM'lerin insan sağlığı üzerine etkileri Çizelge 2.3'de genellenmiştir (EPA, 2019). Kısa ve/veya uzun süreli PM maruziyeti sonucu insanlarda solunum, kardiyosvaküler, kanser hastalıkları ile ölüm oranlarında artış olmaktadır. İnsan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olan PM boyut aralığının $PM_{2,5}$ olduğu da açıkça görülmektedir.



Şekil 2.6 Çeşitli toz partiküllerin boyut aralıkları (Url-4, 2021).



Şekil 2.7 Farklı çapta toz partiküllerinin vücudumuzdaki toplanma bölgeleri (Kim vd., 2015).

Çizelge 2.3 PM'lerin insan sağlığı üzerine etkileri (EPA, 2019)

İNSAN SAĞLIĞI ETKİLERİ					
		ISA	Son PM ISA		
		Gösterge	$PM_{2.5}$	$PM_{10-2.5}$	UFP
Sağlık Etkileri Kategorileri	Solunum	Kısa süreli maruziyet	■	□	□
		Uzun süreli maruziyet	■		
	Kardiyovasküler	Kısa süreli maruziyet	■	□	□
		Uzun süreli maruziyet	■	▲	
	Metabolik	Kısa süreli maruziyet	*	*	*
		Uzun süreli maruziyet	*	*	*
	Sinir sistemi	Kısa süreli maruziyet	▲		▲
		Uzun süreli maruziyet	*	*	*
	Üreme: Erkek/Kadın Üreme ve doğurganlık	Uzun süreli maruziyet	□		
	Üreme: Hamilelik ve doğum sonuçları		□		
	Kanser	Uzun süreli maruziyet	▲	▲	
	Ölüm oranı	Kısa süreli maruziyet	■	□	
		Uzun süreli maruziyet	■	▲	

■ Günlük ■ Olası günlük □ Fikir verici □ Yetersiz

* = 2009 PM ISA (değerlendirecek kanıt yok)

▲ = 2009 PM ISA' dan sonra sebep belirlenmesinde değişiklik

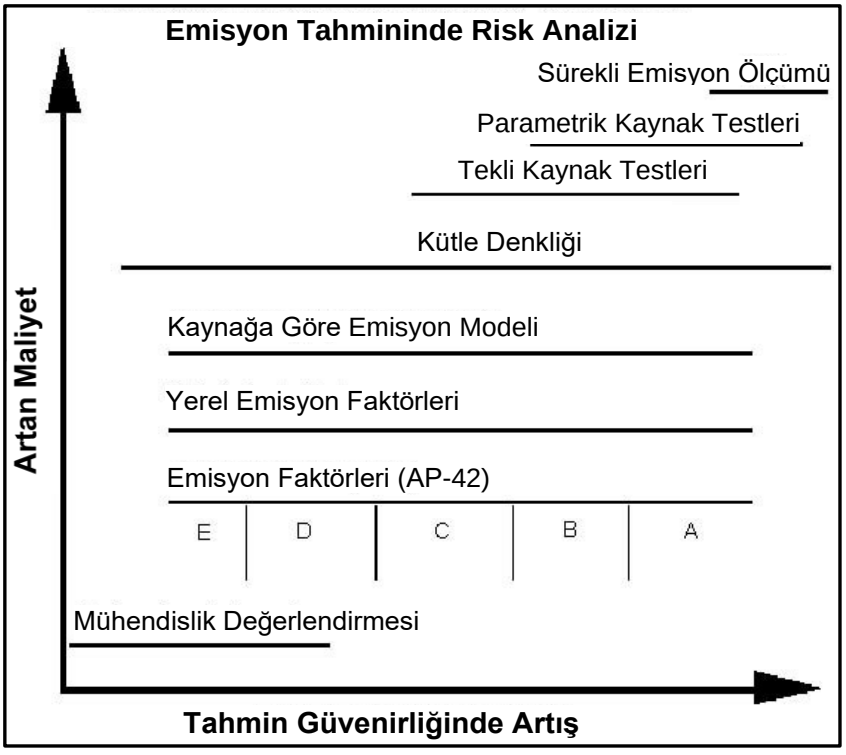
2.2.2 Çevresel etkileri

Toz partiküllerinin olumsuz çevresel etkileri arasında rüzgârla uzun mesafeler boyunca taşınma, toprağa veya suya karışabilme ön plana çıkmaktadır. PM'lerin olumsuz etkileri kimyasal içeriklerine göre değişmekle birlikte esas olarak; göl ortamlarının ve akarsu yataklarının asidik hale gelmesine, kıyı sularının ve büyük ırmak havzalarındaki besin dengesinin değişmesine, hassas nitelikteki orman ve bitki örtüsünün zarar görmesine ve ekosistemin çeşitliliğini etkileyip asit yağmuru oluşmasına neden olabilmektedir (Perrino, 2010; Rahul ve Jain, 2014; Url-3, 2021). Havadaki zehirli kimyasallar asit yağmuruna neden olabilmekte, canlılar ve bitkilere zarar verebilmekte ve hava kirliliği, her geçen yıl tarımsal ürün ve ticari orman verimini azaltmakta olup ekonomiye büyük maliyet getirmektedir (Choudhary ve Garg 2013). Havada bulunan zehirli PM'lerin iklim değişikliği üzerinde de etkisi bulunmaktadır. Atmosferdeki sülfat, nitrat ve organik karbon aerosollerinin soğutma etkisi gösterebileceği belirtilmekte olup ayrıca, aerosollerin atmosferde yansıtıcı özelliklerinden dolayı küresel ısınmaya katkıda bulunduğu da tahmin edilmektedir (CAFE, 2004; Perrino, 2010; Monks, vd., 2012). Diğer taraftan PM'lerin kötü koku yaydığı ve güneş ışığını engellediği de belirtilmiştir (ÇEDB, 2004). PM'ler, heykeller ve anıtlar gibi kültürel açıdan önemli nesneler de dâhil olmak üzere taş ve diğer malzemeleri lekeleyerek, zarar verebilmektedir. Ayrıca PM birikimi; metallerin korozyonuna, maruz kaldığı bölgedeki boyanın bozulmasına, binaların kirlenmesine ve dolayısıyla bakım maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır (ÇEDB, 2004; NSW EPA, 2015). PM kirliliği nedeniyle yapıların, binaların, köprülerin, kültürel nesnelerin ve arabaların değeri önemli ölçüde azalabilmektedir. PM'den kaynaklanan başlıca etkilerin genellikle kaba partiküller ($PM_{10-2,5}$) ve PM_{10}'dan (PM_{30-10}) daha büyük partiküllerin marifeti ile meydana gelmektedir (NSW EPA, 2015). $PM_{2,5}$'in de ekosistem üzerinde doğrudan ve dolaylı etkileri olabilmektedir. Aerosoller, higroskopik özelliklerinden dolayı genellikle güneş ışığı altında parlar ve yaprak üzerinde sıvı halde bulunabilirler. Bu nedenle, hava kirliliği yapraklarda büyük partikül birikimine yol açarak bölgesel ağaçların kurumasına neden olabilmektedir. Aerosoller ayrıca bitkinin güneş ışığı almasını da olumsuz yönde etkilemektedir. Hem teorik hem de gözlemsel çalışmalar, fotosentezin dağınık ışık koşullarında daha etkili olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, ince PM'lerin havada uzun süre kalması sonucunda, İngiltere dışındaki insan kaynaklı kirleticilerin atmosferde taşınması sonucu bu ülkenin havasını önemli oranda kirlettiği de belirtilmektedir (Monks, vd., 2012).

2.3 Emisyon Miktarı Belirleme Teknikleri

Açık işletme madencilik faaliyetlerinin proje aşamaları ve çalışma faaliyetleri kaynaklı PM salınımlarının gerçeğe yakın olarak hesaplanması, hava kalitesi yönetimi için son derece önemlidir. USEPA (1995), PM salınım tahmini konusundaki yaklaşımları tanımlarken yöntemlerin gereklilik ve çeşitlilik etkenlerindeki hiyerarşi, maliyet ve güvenilirlik arasındaki ilişkiyi Şekil 2.8'de sunulan risk analizi diyagramı ile ortaya koymuş ve PM salınımı tahmininde kaynağa özgü "sürekli salınım ölçümleri ile parametrik ve/veya tekli kaynak testleriyle" elde

edilen sonuçların, salınım miktarının belirlenmesinde en iyi yöntem olduğunu ifade etmiştir. Ancak herhangi bir kaynağa ait sürekli salınım ölçümleri ve/veya kaynak testleri yoksa belirli bir zaman aralığında (yıllık veya günlük gibi) mevcut çalışma şartlarını en iyi şekilde temsil edecek bir ölçüm alınması gerektiğini ifade etmiştir. Kütle denkliği metodu, malzemenin ilk aşamasında belirlenen girdi miktarının son aşamasına gelene kadar salınımlar da dâhil olmak üzere tüm ürün miktarına eşitlenmesi yoluyla uygulanmaktadır. Bu metot, toz şeklinde atmosfere salınan malzeme miktarının yüksek oranda olduğu durumda kullanılabilmekte ve sistemdeki kısa dönemli ani dalgalanmalar ortalamayı büyük oranda etkilemediğinden, uzun vadeli salınım miktarının bulunması açısından avantaj sağlamaktadır. Salınım miktarı hesabında örnekleme/ölçme ve kütle denkliği tekniklerinin elverişli olmadığı durumda "salınım faktörleri", kullanım sınırlamalarına rağmen salınım tahmininde sık uygulanan mevcut en iyi ve tek metottur. Bu yöntemde salınım faktörlerinin güvenilirliğini ve doğru bir şekilde ölçülmesi için A'dan E'ye kadar beş farklı doğruluk derecesi verilmiştir. Örneğin, "A doğruluk derecesi" kirletici kaynağının salınım faktörünü belirlemek için yeterli sayıda yerinde ölçüm alınmasını, testlerin sağlam bir metodoloji ile gerçekleştirilmesini ve ayrıntılı olarak rapor edilmesini, "E doğruluk derecesi" ise emisyon faktörünü belirlemek için testlerin kanıtlanmamış ve genel olarak kabul edilemez bir yönteme dayandığını, ölçümde bilginin yetersiz olduğunu ve salınım faktörünün kaynağı ne oranda temsil ettiğinin açık olmadığını ifade etmektedir. Buna göre, bu doğruluk derecelerinin en iyisi A, en kötüsü de E'dir. Bu yöntemler dışında malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ve matematiksel fonksiyonlara dayanan mühendislik hesaplamalarının kullanımı ve yerel yönetimler tarafından onaylanan alternatifler de değerlendirilen diğer tekniklerdir (USEPA, 1995; Beşir, 2015).



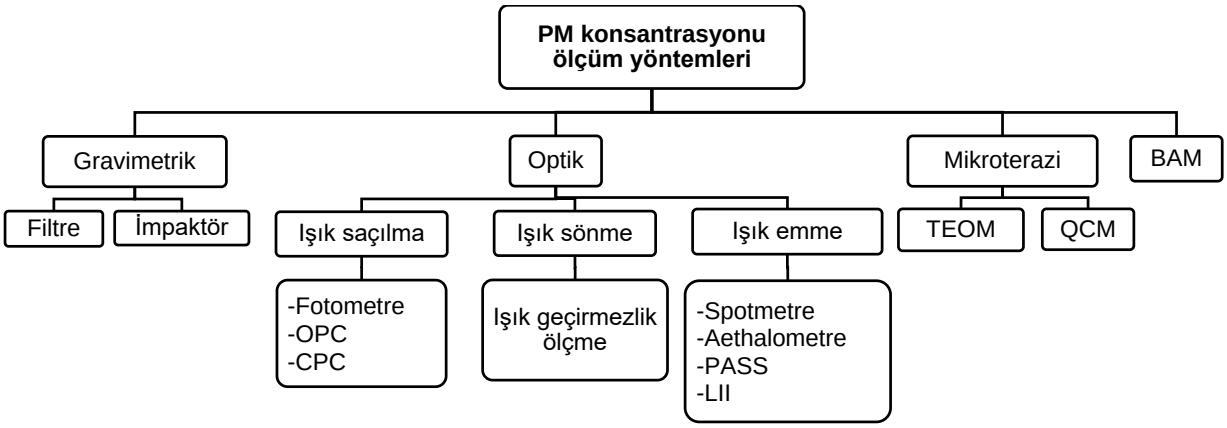
Şekil 2.8 Emisyon tahmin yaklaşımı (USEPA, 1995).

Emisyon salınım tahmin yaklaşımına göre, maliyeti en yüksek olan “sürekli salınım ölçümü”nün tahmin güvenirliliği en iyi, maliyeti en az olan “mühendislik değerlendirmesi”nin tahmin güvenilirliği en düşüktür (USEPA, 1995). Genel olarak bakıldığında salınım faktörlerini belirlemenin en iyi yöntemi, salınım kaynağında yeteri kadar ve güçlü bir yöntemle ölçüm alınması ve rapor edilmesidir. Ancak her salınım faktörü için aynı sayıda gözlem ve test ölçümü yapılamadığı için faktörlerin birbirleri arasında kalite farklılığının ortaya konması amacıyla oluşturulan kalite sıralaması yaklaşımı, salınımın doğruluk ve kesinliği hakkında bir gösterge niteliği de taşımaktadır (USEPA, 1995; Beşir, 2015).

2.3.1 Partikül madde konsantrasyon ölçüm yöntemleri

PM konsantrasyonu ölçen cihazlar iki farklı metotla çalışmaktadırlar. Birinci metotta, hava kalitesi ölçüm istasyonları ile ortamda bulunan PM’ler anlık olarak izlenmekte ve PM konsantrasyonları sürekli olarak belirli zaman aralıklarında (saniye, dakika gibi) kayıt altına alınmaktadır. Yüksek derecede ölçüm hassasiyetine sahip olan bu cihazlar minimum operatör müdahalesi ile uzun süre (haftalar veya aylar) çalışabilmekte ve uzaktan iletişim telemetri (kablosuz iletimi) ile yönlendirilebilmektedirler. Diğer taraftan iyi veri kalitesi için yüksek standartta bakım, kalibrasyon ve kalite kontrol prosedürleri gereklidir. Hava kalitesi ölçüm istasyonları dışında, düşük maliyetli optik sensörleri kullanan el tipi PM ölçümü yapan cihazlarla da belirli zaman aralıklarında kayıt alınabilmektedir. Ancak bu prensiple çalışan cihazlar düşük hassasiyetleri nedeniyle genellikle iş yerlerindeki toz maruziyetlerinin izlenmesi için kullanılmaktadırlar (NZG, 2009).

İkinci metotta PM konsantrasyonları cihazlarda bulunan filtrelerde toplanmakta ve ölçüm sonunda laboratuvarlarda analiz edilmektedirler. Ortam havasındaki PM konsantrasyonu ölçümünün kolay olmaması ve PM'lerin karmaşık doğası nedeniyle seçilen yöntem, ölçüm sonucunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle PM konsantrasyonunun doğru bir şekilde ölçülmesi için yöntem seçimi son derece önemlidir. USEPA partikül izleme metodolojileri referans veya eşdeğer yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Referans yöntemler gravimetrik (kütlece doğrudan ölçmek gibi), eşdeğer yöntemler ise referans yöntemleri baz alan yöntemler olarak ifade edilmektedir (NZG, 2009). Önemli PM konsantrasyon ölçüm yöntemleri Şekil 2.9’da verilmiştir. PM konsantrasyonları ölçüm birimi genel olarak mg/m³ ya da µm/m³’dür.



Şekil 2.9 PM konsantrasyonu ölçüm yöntemleri (Amaral vd., 2015'den değiştirilerek)

2.3.1.1 gravimetrik yöntem

Gravimetrik örnekleme ve analiz yöntemleri, işyeri ortamlarından toplanan havadaki partikül madde miktarlarını ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (O'Connor vd., 2014; Walley ve Zandi, 2016). Bu tür ölçümler genellikle havadaki partiküllerin mesleki maruziyetini tahmin etmek ve/veya hava kirliliği kontrol teknolojilerinin etkinliğini değerlendirmek için yapılmaktadır. Ayrıca, havadaki partiküllerin gravimetrik analizi genellikle meslek ortamlarındaki spesifik kimyasal ajanların konsantrasyonlarını ölçmek için kullanılan diğer analitik yöntemlerle tamamlanmaktadır (O'Connor vd., 2014). Bu yöntemde temel hedef partikül maddeleri bir filtrede toplamaktır. Hava, bir pompa yardımıyla ile bir örnekleyiciden belirli bir akış hızında çekilmekte ve önceden tartılmış olan filtrede toplanmaktadır. Daha sonra laboratuvar koşullarında tartılan filtreler yardımıyla PM'nin kütlesi bulunmakta ve asılı PM konsantrasyonu PM kütlesinin pompa tarafından filtreden çekilen havanın hacmine bölünmesiyle belirlenmektedir. Gravimetrik prensiple çalışan örnekleyicilerin, bireysel dozimetreden tam otomatik ünitelere kadar çeşitli tipleri ve üreticileri bulunmaktadır (Pfeiffer, 2005). Bu prensip ile örnekleme dönemi için ortalama kütle konsantrasyonu elde edilmektedir. Ancak bu yöntemle ölçüm yapılırken kullanılacak cihazın debisi ve tartım için laboratuvar koşulları son derece önemlidir. Ayrıca gravimetrik yöntemle zamana bağlı konsantrasyon değeri üretilmekte olup sürekli değerler (dakika, saat vb.) ölçmek mümkün değildir (Winkel vd., 2014; Walley ve Zandi, 2016). Gravimetrik yöntem ile PM_{10} ve $PM_{2,5}$ konsantrasyonu (Pfeiffer, 2005; Mojala vd., 2017) ve TAPM konsantrasyonu aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunmaktadır (Mojala vd., 2017). Burada, $PM_{2,5}$ için örneklenen hava hacmi (V), yüksek hacimli PM_{10} analizinde olduğu gibi manuel olarak değil, örnekleyicinin mikroişlemcisi tarafından hesaplanmaktadır (Pfeiffer, 2005; EPA, 2008).

$$TAPM = \left[\left(W_f - W_i\right) - \left(CW_f - CW_i\right)\right]/V \quad [2.2]$$

$$PM_{2.5\ ve\ 10} = \left(W_f - W_i\right) * 10^3/V \quad [2.3]$$

$$V = Q_a * t \quad [2.4]$$

Burada;

W_f	: Örneklemeden sonraki filtrenin ağırlığı (mg)
W_i	: Örneklemeden önceki filtrenin ağırlığı (mg)
CW_f	: Toz konisinin ölçümden sonraki ağırlığı (mg)
CW_i	: Toz konisinin ölçümden önceki ağırlığı (mg)
V	: Örneklenen hava hacmi (m^3)
Q_a	: Örnekleme süresi boyunca ortalama hava akış hızı (m^3/dk)
t	: Örnekleme süresi (dk)

i. **Filtre bazlı örnekleyiciler;** filtre bazlı örnekleyiciler; maliyetlerinin düşük olması, atmosferik partiküllerin kolayca depolanabilmesi ve toplanan PM'in daha sonra basit ve/veya karmaşık analizlerde kullanılabilmesinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (EPA, 2008). Bu yöntemde partiküller önceden tartılmış bir filtrede toplanmaktadır. Filtreler, standart sıcaklık ve bağıl nem koşulları altında örneklemeden önce ve sonra ("yüklü" ve "yüksüz" filtreler) tartılmaktadır. Her iki okuma arasındaki fark, PM'in kütlesine eşittir (Baumann vd., 2006; Giechaskiel vd., 2014; Amaral vd., 2015; Walley ve Zandi, 2016). Filtreler bağıl nem gibi çevresel faktörlere karşı duyarlı olduğu için seçimi son derece önemlidir. Geleneksel filtreler cam elyaftan yapılmakta ve yüzeyi, özel kaplama malzemeyle (PTFE gibi) kaplanarak kimyasal reaksiyonlardan korunmaktadır. Bu nedenle PTFE kaplı cam elyaflı filtreler EPA ve Avrupa Birliği kurumlarında yaygın olarak kullanılmakta (EPA, 2008; Walley ve Zandi, 2016) olup, ayrıca ABD yasal düzenlemeler ile PTFE tip filtrelerin kullanılmasını önermektedir (Giechaskiel vd., 2014). Diğer taraftan EN 12341 standardına göre PM_{10} ölçümü için kuvars fiber filtrelerin, EN 14907 standardına göre $PM_{2,5}$ ölçümü için ise cam elyafı, kuvars elyafı, PTFE veya PTFE kaplı cam elyaflı filtre kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. Ayrıca EN 12341'in EN 14907 ile tutarlı olması için revize edilmesinin gerektiği, EN 14907'de listelenen dört filtreden herhangi birinin hem PM_{10} hem de $PM_{2,5}$ referans örnekleyicilerinde kullanılabileceği de belirtilmiştir (Harrison vd., 2006).

ii. **İmpaktör;** gravimetrik yöntemle, kütle içindeki boyut dağılımını ölçmek için kullanılan cihazlar olup, bazı tiplerinde çoklu delikler bulunmaktadır (Amaral vd., 2015). Bu ölçüm yönteminde aerosoller sıralı filtre aşamalarından geçmektedir. Her aşamada, aerosol içeren bir hava jeti çarpma plakasına ulaşmakta ve aşama için filtre çapından daha büyük parçacıklar toplanmaktadır. Daha küçük parçacıklar toplama plakasını çevreleyen gaz akışını takip eder ve deliklerin daha küçük olduğu ve daha yüksek hava hızı koşulları olan bir sonraki aşamada toplanırken bu işlem, son filtrede daha küçük parçacıklar temizlenene kadar devam etmektedir (Vincent, 2007). PM boyutu dağılımlarının ölçümleri için kullanılan düşük basınçlı kademeli çarpma tertibatları (Andersen impaktor, Dekati Düşük Basınçlı çarpma tertibatı (DLPI), Berner Düşük Basınçlı çarpma tertibatı (BLPI) vb.) ile genellikle 30 nm ila 10-20 µm arasında değişen boyut aralığında, uygun filtrelerle daha düşük boyut aralıklarında örnekleme yapılabilmektedir. Örnekleme yöntemi nedeniyle elde edilen partiküller ek analizler için de kullanılabilmektedir (Nussbaumer vd., 2008).

2.3.1.2 optik yöntem

Optik partikül monitörleri havadaki partiküller ile görünür, kızılötesi veya lazer ışığı arasındaki etkileşimi kullanarak ölçüm yapmaktadırlar (Pilling vd., 2005). Optik Parçacık Sayaçları (OPC), ayrı ayrı parçacıkların boyutunu ve sayısını tespit etmek için ışık saçılım prensibi ile çalışmaktadırlar. OPC'ler uzun süreli izleme ağlarında aerosol araştırmalarında kullanılmaktadır. OPC'lerle tespit edilebilen partiküllerin boyutu yaklaşık 0,05 ila 50 µm arasında olup, genel ölçüm aralıkları 0,2 ila 30 µm'dir. OPC'lerle boyut ölçümleri çok hassas olsa da doğrulukları parçacık bileşimine ve şekline bağlıdır (EPA, 2008). PM_{10} konsantrasyonlarının gerçek zamanlı izlenmesi, optik aletler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir (Walley ve Zandi, 2016). Optik ölçüm yönteminde, aerosol partiküller bir ışık demeti ile aydınlatılmaktadır. Her yöne yayılan partiküllerle ışık demetinin bir kısmı diğer enerji formlarına (emilim) dönüşmektedir. Işığın yok olması saçılma ve emilim ile hesaplanmaktadır (Giechaskiel vd., 2014). Gerçek zamanlı olarak parçacık konsantrasyonunu ölçmek için kullanılan optik aletler saçılma, emme (soğurma) ve ışık sönme prensiplerine dayanmaktadır (Giechaskiel vd., 2014; Amaral vd., 2015; Walley ve Zandi, 2016).

i. **Işık saçılma**; Işık saçılım prensibiyle çalışan cihazlar numune havasını içinde dar bir (lazer) ışık demeti ile aydınlatılılan bir odadan emerler. Havada bulunan partiküllerin sınıflandırılması ışık demetinin saçılma derecesini veren bir fotodetektör yardımıyla olmakta (Giechaskiel vd., 2014; Winkel vd., 2014; Amaral vd., 2015) ve sınıflandırılan partiküller fotodetektörün sinyali ile fabrikada belirli bir kalibrasyon aerosolü kullanılarak önceden ayarlanmış olan bir kalibrasyon sabiti kullanılarak kütle konsantrasyonuna dönüştürülmektedir (Winkel vd., 2014). Işık saçılım cihazları genellikle portatiftir, dâhili bir pompaya sahiptir, pil ve veri depolama ile donatılmıştır ve sürekli veri sağlayabilirler (Pilling vd., 2005; NZG, 2009; Winkel vd., 2014). Bazı cihazlar aynı anda birkaç kütle fraksiyonunu (PM_{10}, $PM_{2,5}$, PM_1 gibi) belirleyebilmekte veya bir dizi boyut kanalındaki partikül sayısını sayabilmektedirler. Bu yöntemin en önemli dezavantajları, cihaz içindeki optiklerin PM ile kirlenebilmesi ve ölçülen PM'nin parça boyutu, şekli, yoğunluğu ve kırılma indisi cihazı kalibre etmek için kullanılan aerosolden farklı olduğu için konsantrasyon okumalarnını gerçek değerlerden farklı olabilmesidir (Winkel vd., 2014). Nefalometreler ve/veya transmissometreler özellikle ulusal park alanlarında havadaki partikül malzemeden kaynaklanan görünürlük kaybını belirlemek için ABD'de yaygın olarak kullanılmaktadır (Pilling vd., 2005). Bu prensiple çalışan cihazlar, genellikle iş yerlerindeki toz maruziyetlerinin izlenmesi için kullanılmaktadır. Son birkaç yıldır bu cihazların bazıları, çeşitli derecelerde başarı ile ortam izleme için uyarlanmışlardır. Ayrıca, ölçüm hassasiyetleri ve sürekli izleme için uygun olmadığından dolayı araştırma veya düşük düzeyli anket çalışmalarında kullanılmaları daha uygundur (NZG, 2009).

ii. **Işık sönme**; opaklık ölçer cihazlarıyla egzozdan iletilen ışık ölçülebilmektedir. Ayrıca, ışığın yok olmasına dayanan ölçümlerin partikül konsantrasyona, şekline ve bileşimine bağlı olduğu gibi ışığın yol uzunluğuna ve dalga boyuna da bağlı olduğu ifade edilmiştir (Giechaskiel vd., 2014).

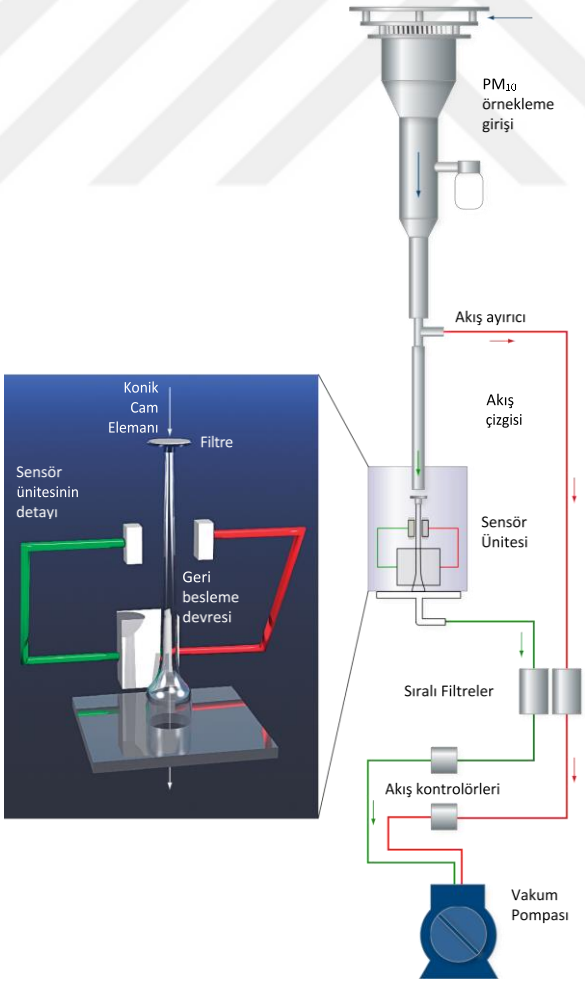
iii. **Işık emme**; Işık emme prensibine dayanan ölçüm cihazları, motorlu araçlardaki aerosolü oluşturan siyah karbon konsantrasyonunu ölçmektedirler. Siyah karbon, ışığı güçlü bir şekilde emen ve bu nedenle iklim değişikliğine katkıda bulunan pozitif bir radyatif madde ve bu özelliğinden ötürü atmosferik ölçüm çalışmalarda kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Giechaskiel vd., 2014; Amaral vd., 2015). Aerosol emilimini ölçmek için kullanılan yaygın teknikler arasında, (i) emilimin yok olma ve saçılma arasındaki farktan türetildiği fark yöntemi, (ii) bir filtre üzerinde toplanan PM tarafından hafif zayıflamayı ölçen filtre tabanlı yöntemler, (iii) Isı partikülleri yoluyla siyah karbonu ölçen fotoakustik spektroskopi ve (iv) lazerle indüklenen akkor (LII) sayılabilmektedir. Son iki yöntem partikül maddeyi ısıtma yoluyla siyah karbonu ölçmekte ve partiküller ışık emmesinden kaynaklanmaktadır (Giechaskiel vd., 2014).

2.3.1.3 mikro terazi prensibi

Mikro terazi yönteminde konik eleman salınımlı mikro terazi (TEOM) ve kuvars kristal mikro terazisi (QCM) olmak üzere iki ana ölçüm cihazları bulunmaktadır (Amaral vd., 2015). TEOM teknolojisini kullanan partikül madde izleme cihazları ortam havasını bir filtreden sabit bir akış hızında sürekli ısıtarak (50 °C) çeken, sürekli olarak filtreyi tartan ve gerçek zamanlıya yakın partikül konsantrasyonlarını hesaplayan “gravimetrik” cihazlardır (EPA, 2008; Winkel vd., 2014). Bu cihazlar ABD’de, birçok devlet kurumu tarafından $PM_{2,5}$ ve PM_{10} kütle konsantrasyonu verilerini elde etmek için kullanılsa da yalnızca PM_{10} örneklendirmesi için eşdeğer bir yöntem olarak onaylanmıştır (EPA, 2008). TEOM ölçüm tekniği, içi boş konik bir borunun ucuna yerleştirilmiş değiştirilebilir bir filtre kartuşuna dayanmaktadır. Borunun daha geniş ucu sabit olup, hava filtreden geçerken partikül birikmekte ve akış hızı örnekleme boyunca sabit olduğu için kütle konsantrasyonu da hesaplanabilmektedir (Baumann vd., 2006). Filtrelenen hava daha sonra konik borudan bir akış kontrolörüne geçmektedir. Filtresi ucunda olan konik boru, kelepçesiz modda salınım halinde tutulmaktadır (Şekil 2.10). Salınım sıklığı, konik tüpün ve serbest ucundaki kütlenin fiziksel özelliklerine bağlıdır (Nosratabadi vd., 2019; Url-5, 2021). Diğer taraftan bu yöntemde örnek akışlı ısıtma nedeniyle PM malzemede buharlaşması meydana gelebilmekte ve bu da gerçek PM konsantrasyonunun düşük tahmin edilmesine neden olabilmektedir (Grim ve Eatough, 2009; Winkel vd., 2014). TEOM cihazlarında toplanan PM konsantrasyon değişiklikleri hava akımı, bağıl nem, sıcaklık, gaz kirleticiler ve partikül madde özelliklerinden etkilenmektedir (Li vd., 2012). Bu nedenle, İngiltere’de TEOM cihazıyla ölçüm yapılması sırasında ölçülen konsantrasyon değerinin 1.3 ile çarpılması gerektiği ifade edilmiştir (Pilling vd., 2005; Harrison vd., 2006). TEOM monitörleri günümüzde sadece PM_{10}, $PM_{2,5}$ veya PM_1 konsantrasyonlarının ölçümü için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, havadaki parçacık konsantrasyonları normalde düşüktür ve bu nedenle,

doğru bir gravimetrik analiz yapmak ve/veya toplanan materyalin daha spesifik kimyasal veya biyolojik analizini yapmak amacıyla yeterli parçacık toplamak için uzun örnekleme süreleri veya yüksek hacimli pompaların kullanılması gereklidir (Nosratabadi vd., 2019). TEOM analizörlü cihazlar hem İngiltere'de hem de dünyanın geri kalanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Pilling vd., 2005; Walley ve Zandi, 2016).

Kuvars kristal mikro terazisi (QCM) cihazları, kuvars kristali yüzeyinde küçük bir kütle ilavesi olduğunda rezonans frekansını değiştiren piezoelektrik özelliğine sahiptirler. Bu cihazlarda partiküller, ince bir kuvars kristal rezonatörü içinde elektrostatik çökeltme ile biriktirilmektedir (EPA, 2008; Giechaskiel vd., 2014). Diğer taraftan QCM tabanlı cihazlar, kuvars kristalinin algılama elektrotunu bir çarpışma plakası olarak kullanmaktadır. Havadaki partiküller algılama odasına örneklenmekte ve daha sonra atalet kuvveti vasıtasıyla kristal elektrot üzerine bırakılmaktadır. Bununla birlikte, bu cihazlarda zayıf yapışma nedeniyle partikül maddelerin sıçraması, kristal elektrotun sık sık temizlik ihtiyacı olması ve toplanan partiküllerin eşit olmayan dağılımı gibi önemli dezavantajlara sahip olduğu ifade edilmiştir (Ngo vd., 2019). Diğer taraftan bu cihazlar, 100 µg/m³ aerosolün kütle konsantrasyonunu bir dakikadan daha kısa bir sürede ölçebilmektedirler (EPA, 2008).

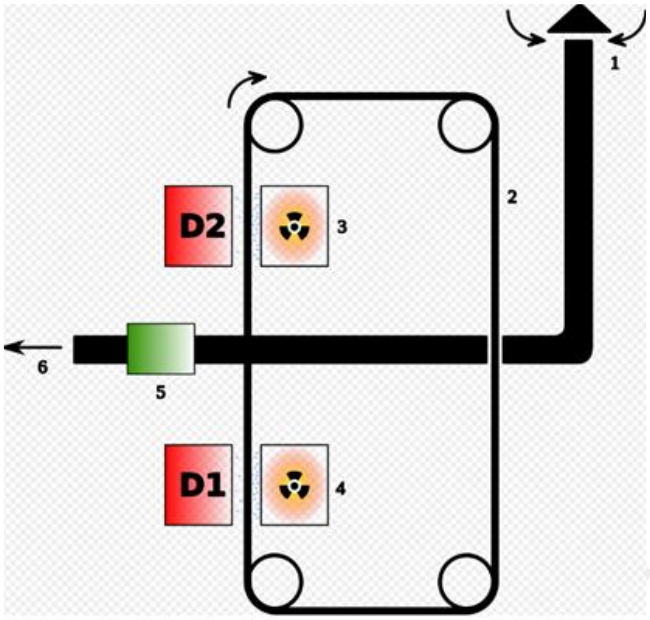


Şekil 2.10 Konik eleman salınımlı mikro terazisi (TEOM) çalışma prensibi (Url-6, 2021).

2.3.1.4 beta ışını zayıflatma prensibi (BAM)

Beta ışını zayıflatma partikül analizörleri, Avrupa genelindeki ulusal ağlarda ortam PM_{10} konsantrasyonlarını ölçmek için en yaygın kullanılan yöntemdir (Pilling vd., 2005). Ayrıca, Ülkemizde de Çevre ve Şehircilik Bakanlığına bağlı bazı illerdeki hava kalitesi istasyonlarında bu metotla çalışan cihazlarla ölçüm yapılmaktadır. Cihazlar, havadaki partikül madde konsantrasyonlarını (mg/m^3 veya $\mu g/m^3$) otomatik ölçmekte ve kayıt altına almaktadır. Bu prensiple çalışan cihazlar, hava içerisindeki partikül maddeleri pompa yardımıyla şerit filtre üzerinde toplamaktadır. Radyoaktif bir kaynaktan gelen beta ışın kaynağı ile (Karbon-14 veya Kripton 85) temiz filtre bandından bir nokta boyunca filtre üzerinde toplanan partikül maddelere sabit yüksek enerjili elektron yayılmakta, bu beta ışınları hassas bir dedektör tarafından saptanarak, sayılmaktadır. Sistem, bu bant noktasını otomatik olarak numune püskürtme sitemine ilerletmekte, buradaki vakum pompası daha sonra ölçülen ve kontrol edilen miktarda toz yüklü havayı filtre bandından çekerek ortam tozuyla doldurmaktadır. Örnek saatinin sonunda, bu kirli nokta beta kaynağı (Karbon-14 veya Kripton 85) ile dedektör arasına geri yerleştirilmekte, böylece filtre bandı üzerindeki partikül maddenin kütlesi ve hacimsel konsantrasyonunu belirlemek için kullanılan beta ışın sinyalinin zayıflamasına neden olmaktadır (Şekil 2.11). Bu kütle, ortam havasındaki parçacık halindeki maddenin hacimsel konsantrasyonunu hesaplamak için kullanılmaktadır (Pilling vd., 2005; Baumann vd., 2006; EPA, 2008; Kamyotra J.S, 2012; Url-7, 2021). BAM prensibi ile çalışan örnekleyiciler partiküllerin kütle konsantrasyonunu ekstraksiyon ile sürekli ölçen tek sistemler olup kimyasal bileşimden, parçacıklardaki boyut veya renk değişikliklerinden etkilenmemektedirler (Castellani vd., 2014). Bu prensiple çalışan cihazların monitörlerindeki filtre malzemesi genel olarak ısıtılmasa da bazı analizör konfigürasyonlarında giriş sistemi numunedeki bağıl nemi azaltmak için ısıtılarak, partikül madde kütlesinin su içeriğini en aza indirebilmektedir (Pilling vd., 2005; Winkel vd., 2014). Beta zayıflama prensibi ile çalışan partikül analizörlerinde yaygın olarak cam elyaftan oluşan filtre kullanılmaktadır. Ayrıca, bu monitörler yarım saatlik ortalama kütle konsantrasyonları üretebilirken, doğru tahmin için yeterli partikül birikimi elde etmek için tipik ortam konsantrasyonları için 24 saatlik ortalama alma süresi gereklidir (EPA, 2008).

PM_{10} ve $PM_{2,5}$ konsantrasyonu ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması Çizelge 2.4'te verilmiştir. Buna göre; filte bazlı gravimetrik örnekleyiciler EN 12341 ve EPA 40 CFR PART 50 standartlarına ve AB direktiflerine göre PM_{10} referans ölçüm yöntemi olup, ölçüm sonuçlarının kimyasal analizleri yapılmaktadır. Ancak bu yöntem yüksek maliyetli olup, ölçüm değerleri laboratuvar sonuçlarından elde edilmektedir. Diğer taraftan gerçek zamanlı izleme teknikleri ile ölçüm sonuçları kısa süreli (< 1 saat) olarak elde edilebilmektedir. Gerçek zamanlı izleme tekniklerinden birisi olan BAM yöntemi ile yalnızca PM_{10} örneklemesi AB direktiflerine uygundur.



Şekil 2.11 Bir BAM analizörünün çalışma şeması "1. Hava girişi, 2. Bisiklet şeridi, 3 ve 4. Beta radyasyon kaynağı, D1 ve D2 Beta radyasyon dedektörleri, 5 hava pompası, 6. Hava egzozu" (Url-8, 2021).

2.4 PM ile İlgili Standartlar ve Ülkemizdeki Yasal Mevzuat

Ülkemizde endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan toz salınımının (emisyon) değerlendirilmesi, 20 Aralık 2014 tarih ve 29211 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Yönetmelik ile değiştirilen 3 Temmuz 2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan *Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği* (SKHKKY) esas alınarak yapılmaktadır (Çizelge 2.5). Bu yönetmeliğe göre maden işletmelerinde sürdürülen faaliyetlerdeki (patlatma, sökme, yükleme, boşaltma, nakliye vb.) toz salınımının kütlesel debi hesaplamalarında kullanılacak emisyon faktörlerinin kestirimi için Yönetmelik Ek - 1'deki '*Taş çıkarma, Kırma ve Sınıflandırma Tesisleri*" başlığı altındaki salınım faktörleri, kontrollü ve kontrolsüz durumlar için kullanılmaktadır.

Bu yönetmeliğe göre; havada asılı PM_{10} sınır değeri 2019 ve sonraki yıllar için günlük 50 µg/m³ ve yıllık 40 µg/m³ olarak belirlenmiş olup madencilik sektöründe salınım faktörlerinin hesaplanma detayları ile ilgili referans denklemler verilmemiştir.

Çizelge 2.4 PM_{10} ve $PM_{2,5}$ Partikül Madde Konsantrasyonu ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması (Pilling vd., 2005; EPA, 2008; Environment Agency, 2011; Winkel vd., 2014; Amaral vd., 2015; Walley ve Zandi, 2016)

İzleme türü	Ölçüm tekniği	Standart metot	Avantaj	Dezavantajları	Ölçüm aralığı ve süresi	Ölçüm hassasiyeti (µg/m³)
Dönem-ortalama örnekleme	Filte bazlı gravimetrik örnekleyiciler	i. EN 12341 ii. EPA 40 CFR PART 50	i. AB direktiflerine göre PM_{10} referans ölçüm yöntemi ii. Ölçüm sonucu kimyasal analiz yapılabilir.	i. Ölçüm maliyeti yüksektir. ii. Ölçüm süresi 24 saat ile sınırlıdır. iii. AB direktiflerinin raporlama gerekliliklerini sağlamaz. iv. Ölçüm sonucu laboratuvar sonuçlarından sonra elde edilir. v. Doğruluk oranı %5'dir.	Ölçüm süresi 24 saat ve 16,67 l/dk hacimsel akış	± 2
Gerçek zamanlı izleme	Konik eleman salınımlı mikro terazi (TEOM)	i. Standart TEOM, PM_{10} (EN12341) veya $PM_{2,5}$ (EN14907) için AB referans yöntemindeki eşdeğerlik kriterlerini karşılayamamaktadır. ii. ABD'de birçok devlet kurumu PM_{10} ölçümünde eşdeğer yöntem olarak kabul edilmiştir	i. Kısa süreli (<1 saat) kullanıcıların rahatlıkla görebileceği gerçek zamanlı veri okuması yapılabilir. ii. Referans yönteme göre ölçüm hassasiyeti daha iyidir.	i. Önceden ısıtılmış hava akımı, referans yönteme kıyasla daha fazla yarı uçucu kaybına neden olur. ii. Ölçüm maliyeti yüksektir. iii. PM_{10} ve $PM_{2,5}$ için limit değerdeki genişletilmiş belirsizlik %25'i aşmaktadır. iv. PM konsantrasyonu yüksek olduğunda filtre değiştirilmelidir. v. Filtre ömürleri 2 – 4 haftadır.	0-5000 mg/m³	± 0,5
Gerçek zamanlı izleme	Beta ışını zayıflatma (BAM)	i. Bazı modelleri düzeltme faktörleri olmadan, bazıları ise düzeltme faktörleri ile EN12341'e uyumludur. ii. PM_{10} ölçümü AB direktiflerine uygun, $PM_{2,5}$ uygun değildir.	i. Kısa süreli (<1 saat) kullanıcıların rahatlıkla görebileceği gerçek zamanlı veri okuması yapılabilir. ii. Ölçümler yarı-sürekli olup, anlık değil saatlik sonuç verir.	i. Isıtılmış giriş kullanılırsa, bazı yarı uçucu pm'ler kaybolabilir. ii. Isıtılmamış örnekleyiciler suyun varlığı nedeniyle akışı düşebilir. iii. Analizör radyoaktif bir kaynak içermektedir.	0-1000 µg/m³	± 3, ancak bu değer analizöre bağlıdır.
Gerçek zamanlı izleme	Işık saçan optik partikül sayacı (nefelometre)	i. İngiltere'de bazı standartlara (CEN-TR 16013-3) uygun olarak ölçüm yapar. Şu anda bu tekniği kapsayan CEN, ISO veya BS standart yöntemi bulunmamaktadır.	i. PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ölçümü aynı anda yapılabilir. Sabit ve taşınabilir versiyonlar mevcuttur. ii. Farklı boyut aralıklarında bulunan parçacıkların sayısı ölçülür ve kütle konsantrasyonları bir yoğunluk faktörü kullanılarak matematiksel olarak türetilebilir.	i. Sürekli gerçek zamanlı sonuçları veren anketleri taramak için popüler otomatik yöntem için uygun değildir. ii. Ölçüm sırasındaki pm büyüklüğü şekil, renk ve kırılma indisinden etkilenir. iii. Doğruluk oranı %30'dur. iv. Ölçüm cihazının içindeki optikler PM ile kirlenebilir. v. PM ölçümünün doğruluğunu kontrol etmek için kullanılan kalibre pm, ölçülem pm'den farklı olduğu için gerçek konsantrasyon okumaları ciddi şekilde az veya fazla tahmin edilebilir.	Analizöre göre değişir. 0-6000 µg/m³	Analizör tipine bağlıdır.

Çizelge 2.5 Tesis etki alanında uzun vadeli (UVS) ve kısa vadeli (KVS) sınır değerler ve azaltım tablosu (ÇŞB, 2014)

Parametre	Süre	Sınır değer [µg/m³] Çöken toz [mg/m²-gün]	YIL			
			2017	2018	2019 - 2023	2024 ve sonrası
Havada asılı partikül madde (PM_{10})	24 saatlik (bir yılda en fazla 35 kez aşılabilir)	100*	70	60	50	50
	Yıllık	60*	48	44	40	40
Çöken toz	KVS	390*	390	390	390	390
	UVS	210*	210	210	210	210

*Sınır değer 2024 yılı hedeflerine ulaşılasıya kadar yıllık eşit olarak azaltılacaktır.

Ülkemizde *Tozla Mücadele Yönetmeliği*, 05 Kasım 2013 tarih ve 28812 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanmıştır. Bu Yönetmelik, 20/6/2012 tarihli ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamına giren ve çalışanların yaptıkları işlerden dolayı toz maruziyetinin olabileceği işyerlerinde uygulanmaktadır. Yönetmeliğe göre solunabilir toz "*aerodinamik eşdeğer çapı 0,1-5,0 mikron büyüklüğünde kristal veya amorf yapıda toz ile çapı üç mikrondan küçük, uzunluğu çapının en az üç katı olan lifsi tozları*" olarak ifade edilmekte olup sınır değeri 5 mg/m³'tür. Bu yönetmelikte, toz ölçümünün "*İşyeri ortam havasındaki toz miktarının gravimetrik esasa veya lifsi tozlarda lif sayısına göre belirlenmesi*" metoduna göre yapılması gerektiği belirtilmektedir. Yine aynı yönetmelikte; "zaman ağırlıklı ortalama değer (ZAOD/TWA): günlük 8 saatlik zaman dilimine göre ölçülen veya hesaplanan zaman ağırlıklı ortalama değeri" olarak ifade edilmektedir. Diğer yandan ülkemizde ve gelişmiş ülkelerde halihazırda yürürlükte olan ilgili yönetmelikler ve standartlarda belirtilen partikül madde (PM_{10} ve $PM_{2,5}$) ile ilgili sınır değerler Çizelge 2.6'da sunulmaktadır. Buna göre, ülkemizde ilgili yönetmelikte sadece PM_{10} ile ilgili sınır değer olmasına karşın, ABD, Kanada, Avustralya ve AB üyesi ülkeler ile Dünya Sağlık Örgütü (WHO) PM_{10} yanında $PM_{2,5}$ ile ilgili sınır değerler de tanımlamıştır.

Çizelge 2.6 Ülkemizde ve gelişmiş ülkelerde partikül madde (PM_{10} ve $PM_{2,5}$) sınır değerleri (ÇSGB, 2014; Ren vd., 2017; CCME, 2012; EPA, 2020b; EU, 2020; NSW, 2020).

Parametre	**Ortalama süre**	**Sınır değer (µg/m³)**						
		Türkiye	**ABD**	**Kanada**	**Avustralya**	**Çin**	**WHO**	**AB**
$PM_{2,5}$	24 saatlik	-	35,0	[iii]15,0 - [iv]27,0 - [v]28,0	25,0	[vi]35,0- [vii]75,0	25,0	-
	Yıllık	-	[i]12,0 – [ii]15,0	8,8	8,0	[vi]15,0- [vii]35,0	10,0	25,0
PM_{10}	24 saatlik	50,0	150,0	25,0	50,0	[vi]50,0- [vii]150,0	50,0	50,0
	Yıllık	40,0	-	-	25,0	[vi]40,0- [vii]70,0	20,0	40,0

[i] Birincil standart (halk sağlığı)
[ii] İkincil standart (diğer canlılar, bitki örtüsü ve kamu refahı)
[iii] CEPA standardı
[iv] NAAQO standardı
[v] CWS standardı
[vi] Milli parklar gibi özel bölgeler
[vii] Kentsel ve endüstriyel alanlar dâhil tüm alanlar

Ülkemizde PM_{10} örneklemesi ve ölçümü 6 Haziran 2008 tarih ve 26898 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "*Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği"* esas alınarak yapılmaktadır. Buna göre, PM_{10} örneklemesi ve ölçümü için "*EN 12341, Hava Kalitesi-Asılı partiküler maddenin PM_{10} fraksiyonu tayini-ölçüm metotlarına denkliği gösterilen referans metot ve saha test prosedürü*"ndeki referans metot uygulanmaktadır. Yönetmeliğe göre, PM_{10} filtre üzerinde toplanmakta ve gravimetrik kütle tayini yöntemi esas alınmaktadır. Ayrıca yine

ilgili yönetmelikte, "*yukarıdaki metoda muadil sonuçlar verdiği gösterilebilen başka bir metot veya referans metotla tutarlı ilişki içinde olduğu gösterilebilen ve ortaya konan başka bir metot kullanılabilir ve bu durumda o metotla elde edilen sonuçlar referans metot kullanılarak elde edilenlere muadil sonuçlar üretmesi için ilgili bir çarpanla düzeltilir*" ifadesi de yer almaktadır. Diğer taraftan, $PM_{2,5}$ örneklemesi ve ölçümü için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından uygun olduğu düşünülen herhangi bir metot kullanılabilir. Ancak, $PM_{2,5}$ örneklemesi ve ölçümü yapan otoriteler kullandıkları metodu Bakanlığa bildirmek zorundadır (ÇOB, 2008).

Ortam havasındaki PM_{10} kütle konsantrasyonunun belirlenmesi EN 12341 veya EPA 40 CFR PART 50, $PM_{2,5}$ kütle konsantrasyonu EN 14907 standartlarına uygun olarak yapılmaktadır. Avrupa Birliği Birinci Hava Kalitesi Direktifi'ne (1999/30/EC) göre PM_{10} ölçümlerinin EN 12341 Avrupa Standardında tanımlandığı gibi referans yöntem kullanılarak yapılması gerektiğini belirtmiştir. Bu standart, kullanılabilecek "çok yüksek hacimli örnekleyici-WRAC", "yüksek hacimli örnekleyici-HVS" (PM_{10} örnekleyici-1.133,33 l/dk) ve "düşük hacimli örnekleyici-LVS" (PM_{10} örnekleyici-38,33 l/dk) olmak üzere üç örnekleme cihazını önermektedir. Çok yüksek hacimli örnekleyiciler genellikle 'birincil standart' olarak kabul edilir ve genel çalışma ortamlarına yerleştirilmeleri uygun değildir (Pilling vd., 2005). Literatür incelendiğinde, düşük hacimli örnekleyicilerin sıklıkla kullanıldığı görülmüştür. Bu standarda göre ölçüm süresi 24 saat ve filtre tartımları için laboratuvar sıcaklığı 19-21 °C ve nem %45-50 aralığında olmalıdır (TSE EN 12341, 2014; Url-9, 2021). EPA 40 CFR PART 50 standardında ölçüm süresi yine 24 saat, kullanılacak cihazın debisi 16,67 l/dk ve filtre tartımları için laboratuvar sıcaklığı 15-30 °C ve nem %20-45 aralığında olmalıdır (EPA, 1999b).

Avrupa Standardı olan EN 12341 standardı, Ülkemizde "*Ortam havası - Askıdaki tanecikli maddenin PM_{10} veya $PM_{2,5}$ kütle derişimlerinin tayini için standart gravimetrik ölçme yöntemi"* TSE EN 12341 standardı olarak tanımlanmıştır. Bu standardın orijinal hali (EN 12341: 2014), sekretaryası DIN tarafından yürütülen CEN/TC 264 "Air quality - Hava kalitesi" teknik komitesi tarafından hazırlanmıştır. Bu standart ayrıca EN 12341:1998 ve EN 14907:2005 standartlarının yerini almaktadır. Bu standart ayrıca PM_1 gibi diğer PM kısımlarının kütle derişimlerini hesaplamak için de kullanılabilmektedir. Bu standarda göre ölçmeler, 24 saatlik bir anma örnekleme süresi boyunca 2,3 m³/sa'lik bir anma akış hızında çalışan, giriş tasarımları standart Ek A'da belirtildiği gibi olan numune alıcılarla gerçekleştirilmekte ve ölçüm sonuçları µg/m³ cinsinden ifade edilmektedir. Bu Avrupa Standardının uygulama aralığı, yaklaşık olarak 1 µg/m³'ten (yani, yöntemin belirsizliği cinsinden ifade edilen standart ölçme yönteminin gözlenebilme sınırından) PM_{10} için 150 µg/m³'e, $PM_{2,5}$ için 120 µg/m³'e kadardır. Bu standarda göre ortam havası, bilinen bir boyut seçici girişten sabit akış hızında geçirilmekte ve İlgili PM kesri, anma olarak 24 saatlik bilinen bir süre boyunca bir süzgeçte toplanmaktadır. PM malzemesinin kütlesi, tanecikli maddenin toplanmasından önce ve sonra önceden belirtilen sabit koşullarda süzgeçle tartılarak tayin edilmektedir. Sonuç olarak ölçümü yapılan ortamdaki metreküp başına mikrogram (µg/m³) cinsinden derişim; numune alınmış ve numune alınmamış süzgeç kütleleri arasındaki farkın, akış hızı ile numune alma süresinin çarpımından bulunan numune hacmine bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

$$c = (m_1 - m_u)/(Q_a * t) \quad [2.5]$$

Burada;

c : Metreküp başına derişim (µg/m³)
m_1 : Numune alınmış süzgeç kütlesi (µg)
m_u : Numune alınmamış süzgeç kütlesi (µg)
Q_a : Ortam koşullarındaki akış hızı (m³/sa)
t : Numune alma süresi (sa)

2,3 m³/h'ten farklı akış hızlarında çalışan numune alma sistemleri kullanıldığı zaman süzgeç şartlandırma ve tartma gerekleri, referans olmayan ve referans numune alıcıların akış hızlarının oranına eşit bir ölçeklendirme faktörü uygulanarak standart Madde 6'ya göre elde edilebilir. Buna göre, örneğin 30 m³/sa akış hızında çalışan bir numune alıcı için süzgeç tanıklarının ölçeklendirme faktörü 30/2,3'e eşit olarak kabul edilmektedir (TSE EN 12341, 2014).

Diğer taraftan işyerlerinde bulunan aerosollerin izlenmesi ve havadaki partikül konsantrasyonlarının değerlendirilmesi CEN/TR 16013-3:2012 standardına uygun olarak yapılabilmektedir. Bu standart, solunabilir fraksiyona ait havadaki partiküllerin belirlenmesi için fotometrelerin (aerosol monitörler) kullanımını, ölçüm sınırlamalarını ve mesleki hijyen alanındaki olası kullanımları hakkında ayrıntı bilgiler vermektedir. Tüm fotometre tabanlı doğrudan okuma aerosol monitörleri, havadaki partikül konsantrasyonunu belirlemek için ışık saçılması ilkesini kullanmaktadırlar (NSAI, 2012).

2.5 Açık işletme Madenciliğinde Toz ve PM Salınımı Konusunda Bilimsel Çalışmalar

2.5.1 Dünyada Yapılan Çalışmalar

Açık ocak madenciliğindeki temel kirleticilerden birisi PM'lerdir. Dolayısıyla hava kalitesinin bozulmasında madencilik sektörünün katkısı önemsenmeyecek düzeyde büyüktür (Evyapan vd., 2012; Zhang vd., 2013; Huertas vd., 2014; Pandey vd., 2014; Patra vd., 2016a; THHP, 2019). Avrupa'da PM kaynakları bakımından madencilik sektörü 10 µm'den daha ince partikül için (PM_{10}) üçüncü sırada, 2,5 µm'den daha ince partikül ($PM_{2,5}$) için dördüncü sırada yer almaktadır (Evyapan vd., 2012). Bu yüzden, madencilik sektöründe çalışanlar hava kirliliğine bağlı toz ve partikül maddelerin zararlı etkilerine maruz kalmaktadırlar. Açık işletme madenciliğindeki faaliyetler (delme, patlatma, kazı ve yükleme, boşaltma, depolama, kırma-eleme, nakliye, cevher hazırlama vb.) sırasında yapılan işin niteliğine, çalışma koşullarına ve makine-ekipman türüne bağlı olarak PM konsantrasyonu oluşmakta ve rüzgâr etkisi sonucunda serbest biçimde atmosferde yayılmaktadır. Madencilik faaliyetleri sırasında açığa çıkan PM'ler, çevresel etkilerinin yanı sıra iş makinelerinin çalışma verimlerine de etki etmekte ve çalışanların sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Açık işletme madencilik faaliyetlerinde, PM salınımının belirlenmesi amacıyla literatürde birçok yaklaşım bulunmaktadır. USEPA (1998) tarafından sunulan AP-42 "*Revised Final Report*"

raporunda, salınım faktörlerinin kullanılması önerilmektedir. Ancak AP-42'de sunulan salınım faktörleri ve hesaplama yöntemlerinin kömür ocakları için geçerli olmasına rağmen başka bir alternatif olmadığından, diğer maden ocakları için de kullanılabilmektedir. AP-42'de sunulan salınım faktörleri ile ilgili bilgilerin kapsam olarak tam ve detaylı olması, yayımlanmış mevcut verilerle sınırlıdır. Madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan PM miktarı; sahaya özgü meteorolojik faktörlere (rüzgâr hızı ve yönü, hava nemi, sıcaklık vb.), ekipman özelliklerine (kepçe/kova kapasitesi, kamyon seyir hızı, çalışma periyodu vb.) ve malzemenin kendine özgü fiziksel özelliklerine (nem ve silt içeriği) bağlı olarak değişmektedir (USEPA, 1998a; Ghose, 2004; Patra vd, 2016a).

Açık kömür işletmeciliği sırasında önemli oranlarda toz salındığı, açığa çıkan toz ile ilgili salınım faktörlerinin sahaya özgü olduğu ve bir saha için geliştirilen faktörlerin başka bir sahada doğru sonuçlar veremeyeceği, bunun için salınım faktörlerinin her bir saha için uyarlanması gerektiği belirtilmiştir (Ghose, 2004; Huertas vd., 2012). Açık kömür işletmeciliğinde toz salınımının faaliyet türüne (delme, yükleme, taşıma vb.) göre değişiklik gösterdiği, salınım denklemlerinin malzemenin kendine özgü fiziksel özelliklerine (nem ve silt içeriği), ekipman özelliklerine (kepçe/kova kapasitesi, kamyon seyir hızı, çalışma periyodu vb.) ve rüzgâr hızına bağlı olarak değiştiği ve daha tutarlı kestirim denklemlerinin geliştirilmesi için daha fazla çalışma yapılması gerektiği ifade edilmiştir (Ghose, 2004; Lashgari ve Kecojevic, 2016).

Madencilik kaynaklı tozun maden sahasındaki çevre, insan sağlığı, iş emniyeti ve verimliliğine etki eden önemli bir konu olduğu ifade edilmiştir (Petavratzi vd., 2005; Ghose ve Majee 2007; Papagiannis vd., 2014; Tripathy vd., 2015). Kömür madeninde çalışanlar ile çevresinde yaşayanlar diğer bölgelere göre daha yüksek düzeyde partikül madde kirliliğine maruz kalmaktadırlar (Kurth vd., 2014; Hendryx vd., 2020). Avustralya'daki kömür madenlerinden kaynaklanan salınımlar üzerine yapılan çalışmada kömür üretimine paralel olarak PM, metal ve nitrojen seviyelerinin artış gösterdiği ifade edilmiştir. Ayrıca, kömür madenleri NPI sahalarından kaynaklanan ulusal PM_{10} emisyonlarının %42,1'ini, $PM_{2,5}$'un %19,5'unu, metallerin %12,1'ini ve nitrojen oksitlerin ise %10,1'ini oluşturduğu belirtilmiştir (Hendryx vd., 2020). Diğer taraftan, çalışanların toz maruziyetinden korunması için mümkün olduğunca çok sayıda ölçüm yapmanın yanında kılavuz ve standartların oluşturulması ve benimsenmesi de önerilmektedir (Petavratzi vd., 2005; Ghose ve Majee 2007).

Açık işletme kaynaklı partikül maddelerin birincil kirletici, 30 µm ve üzeri toz partiküllerinin TAPM olduğu, 30 µm ile 10 µm arasındaki toz partiküllerin belirli bir süre için havada askıda kaldığı ve sağlık açısından risk teşkil ettiği ifade edilmiştir. Ayrıca 10 µm'den daha küçük toz partiküllerin solunabilir olduğu ve 2,5 µm - 1 µm arasındakilerin ise akciğerlere kadar indiği belirtilmiştir. Bu yüzden madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan toz salınımı tahmini için daha çok 10 µm ve daha düşük çaplı toz tanecikler üzerinde yoğunlaşılması gerektiği belirtilmiştir (Patra vd., 2016a).

Açık kömür işletmelerinin yeraltı kömür madenlerine göre toz salınımı bakımından çevreyi daha fazla kirlettiği ve ana kirletici kaynaklardan birinin toz olduğu ifade edilmiştir. Hindistan'da bulunan bir açık kömür işletmesinde bir yıl boyunca beş noktada hava kalitesi ölçümü yapılmıştır. Buna göre TAPM'nin 3723 µg/m³, solunabilir toz partikülün (PM_{10}) 720 µg/m³'e kadar çıktığı ve insan sağlığı için risk oluşturduğu belirtilmiştir (Ghose ve Majee 2007). Başka bir çalışmada yine Hindistan'da bulunan iki açık kömür madeninde meteorolojik verilerin ölçülmesi için istasyon kurularak, delicilerin çalışmasından kaynaklanan tozun salınımı hesaplanmıştır. Birinci kömür madeninde toz salınım değerlerinin 90 ila 380 µg/m³, ikinci kömür madeninde 275 ila 662 µg/m³ arasında olduğu hesaplanmıştır (Nagesha vd., 2016). Diğer bir çalışmada ise Tripathy vd. (2015), açık kömür madeninde delme işlemi sırasında PM_{10} için maksimum ve ortalama toz konsantrasyonunun 150,0 mg/m³ ve 26,8 mg/m³, yükleme noktasında minimum ortalama toz konsantrasyonunun 0,474 mg/m³ olduğunu bildirmiştir. Vietnam'da bulunan açık ocak kömür madenindeki delme operasyonlarından kaynaklanan PM_{10} konsantrasyonu araştırılmış ve toplanan 245 veri kümesini içeren bir veri tabanı üzerinden değerlendirilme yapılmıştır. Delme sırasında açığa çıkan PM_{10} konsantrasyonunun tahmini için çoklu regresyon analizleri yapılmış ve konsantrasyona temel teşkil eden parametrelerin kaya kütlesi yoğunluğu, nem içeriği ve matkabın dönme hızı olduğu ifade edilmiştir. Yapılan bu çalışmada açık işletme faaliyetleri sırasında salınan tozun yaklaşık %25'inin delme faaliyetleri sonucu olduğu belirtilmiştir (Bui vd., 2019).

Nagesha vd. (2016) Hindistan'daki bir açık kömür işletmesinde oluşan toz için çoklu regresyon yöntemiyle tahmin modelleri geliştirerek, USEPA ile karşılaştırmış ve her iki model arasında farklılık olduğunu ifade etmiştir. Benzer bir çalışmada Richardson vd. (2019) Avustralya'nın iki farklı bölgesinde bulunan açık kömür işletmelerinde $PM_{2,5}$ salınımı ölçümü yapmışlardır. Ocaklar arasında salınım bakımından önemli farkların olduğunu ve bunun temel nedeninin malzemenin silt ve nem içeriğinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Ölçüm sonuçlarının AP-42 ve NPI tahmin modelleriyle mukayesesi yapılmış ve farklılıklar olduğu belirtilmiştir. Martin vd. (2007) İspanya'da bir limanda klinker, silika-mangan, un, soya fasulyesi ve kömür tozunun yüklenmesi, boşaltılması ve taşınması sırasında oluşan partikül konsantrasyonları ve atmosferik koşulları düzenli aralıklarla kaydederek, bu veriyi bir modelde kullanmışlardır. Aynı zamanda AP-42'de yükleme-boşaltma ve taşıma faaliyetleri için belirtilen faktörlerle de salınımları hesaplayarak, elde edilen sonuçları karşılaştırılmışlardır. Genel olarak USEPA'nın geliştirdiği AP-42 salınım faktörlerinin ölçüm değerleriyle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Dünyadaki büyük kömür madenciliği faaliyetlerinden birine (~70 Mt/yıl) ev sahipliği yapan Kolombiya'nın kuzey kesiminde faaliyet gösteren sekiz maden işletmesinden yedisinde toz salınımı tahmini için çalışma yapılmıştır. Öncelikle verinin doğruluk analizi yapılarak salınım envanteri metodu uygulandığında geçerli bir sonuç verip veremeyeceği değerlendirilmiştir. Bunun için USEPA AP-42 salınım faktörleri ile hesaplanan TAPM ve PM_{10} parametreleri arasındaki doğrusal ilgileşim analizi incelenmiş ve üretim ile partikül madde salınımı arasında yüksek bir doğrusal ilgileşim olduğu sonucuna varılmıştır (Huertas vd., 2012). Kuzey Kolombiya'da bulunan dünyanın en büyük açık ocak kömür madenciliği bölgelerinden birinde

partikül madde konsantrasyonu ile meteorolojik değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için istatistiksel çoklu regresyon modeli yapılmıştır. Bunun için, 2009'dan 2012'ye kadar dokuz adet partikül madde konsantrasyonu izleme istasyonu ile üç adet meteoroloji istasyonundan elde edilen verilerin istatistiksel olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak, meteorolojik değişkenler (hava sıcaklığı, nem, basınç ve rüzgâr hızı gibi) ile partikül madde konsantrasyonu arasında yüksek bir doğrusal ilişkinin (R^2>%95) olduğu sonucuna varılmıştır (Huertas vd., 2014).

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) modeli ile bir taş ocağındaki dengedeki hava koşullarında PM salınımının açık ocağın içinde dağılımı modellenmiştir. Modelde beş ayrı patlatma olayı sonucunda oluşan toz dağılımı incelenmiş ve her patlatmadaki toplam tozun, rüzgârın yönüne bağlı olarak dengedeki koşullar altında %30-%60'lık oranının açık ocak sınırları içerisinde kaldığı sonucuna varılmıştır. Toz salınımlarının derin açık işletmelerden veya agrega ocaklarından yayılmasının modellenmesinde en büyük zorluğun açık ocak çukurundaki meteorolojik koşulların etkisinin olduğunu ve Gauss modelinin bu tür ocaklarda meteorolojik davranışları ihmal ettiğini, dolayısıyla bu modelin düz ve düze yakın arazilerde daha iyi sonuç verebileceğini ifade etmişlerdir (Silvester vd., 2009). Diğer taraftan İngiltere'de bulunan iki taş ocağında patlatma, yükleme, taşıma ve stok alanlarında oluşan tozun yayılımı USEPA AP-42 dokümanındaki salınım faktörleri kullanılarak atmosferik dispersiyon modelleme yazılımı ile modellenmiştir. 2002 yılı meteorolojik verileri ve farklı meteorolojik koşulların incelenmesi amacıyla Pasquill-Gifford duraylılık sınıfları kullanılmıştır. Patlatma sırasında açığa çıkan tozun (PM_{75}) 1900 kg/patlatma olduğu, bir saat boyunca salınıyormuş gibi benzetiminin yapıldığı, 33 g/s salınım olduğu hesaplanmıştır. Modelde noktasal salınım kaynakları kısıtlı olduğundan hem açık ocak alanı hem de taşıma yolu için sıralanmış noktasal salınım kaynakları tanımlanmıştır. Arazi modeli etkisinin incelenmesi üzerine yapılan modellemede patlatma sonucunda ve taşıma yolunda oluşan toz salınımları için iki ayrı toz dağılımı elde edilmiştir. Sonuç olarak bölgeye özgü meteorolojik koşulların ve arazi yapısının toz dağılımı üzerindeki etkisinin önemli olduğu ifade edilmiştir (Appleton vd., 2006). Açık ocak madenlerinde toz kirliliğinin önemli bir sorun olduğu, delme, patlatma, nakliye ve diğer madencilik faaliyetlerinin temel toz kaynağı olduğu ifade edilmiştir. Hindistan'da bulunan Lakhanpur açık kömür işletmelerindeki farklı çalışma alanlarındaki toz seviyelerinin izlenmesi, farklı kaynaklardan toplanan tozun karakterize edilmesi, kişisel toz maruziyetlerinin hesaplanması ve bir paket programından faydalanılarak madenlerin farklı bölgelerinde ve yakın alanlardaki toz konsantrasyonlarının tahmin edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda, işletmeler arasındaki toz salınımlarının farklı olduğu ve çalışanların çoğunun izin verilebilir sınır değerlerinden daha fazla toza maruz kaldıkları ifade edilmiştir. Ayrıca maden işletmelerindeki ana toz kaynağının deliciler ve döner kepçeli ekskavatörler olduğu da belirtmiştir (Tripathy vd., 2015).

Yunanistan'da bulunan bir linyit işletmesinde toz salınımını hesaplamak için 52 farklı çalışma bölgesindeki veriler kullanılarak Ghose (2004) ve NPI (2012) tarafından önerilen denklem ve salınım faktörleri kullanılmıştır. Sonuç olarak iki farklı çalışma tarafından önerilen denklem ve

salınım faktörleri kullanılarak hesaplanan salınım değerleri arasında farklılıklar olduğu ifade edilmiştir (Papagiannis vd., 2014). Diğer taraftan ABD'de bulunan bir açık kömür işletmesindeki elektrikli ekskavatör ve lastik tekerlekli yükleyicilerin toz salınımının karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Bunun için saha ölçümleri ve laboratuvar çalışmaları ile toz salınımı üç farklı yöntemle tahmin edilmiştir. Birinci yöntemde EPA AP-42 salınım faktörü kestirim denklemleri, ikinci yöntemde AP-42 denklemlerinin geliştirilmesinde kullanılan metodoloji (Tip 2 toz emisyon tahmini) ve üçüncü yöntemde EPA AERMOD modelinde kullanılan metodolojiden (Tip 3 toz emisyon tahmini) faydalanılmıştır. Sonuçta, AP-42 toz salınım tahmin yöntemiyle elde edilen toz salınımının, Tip 2 ve Tip 3 toz salınım tahmin yöntemleriyle belirlenen alan bazlı salınımı aştığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca Tip 2 yöntemiyle belirlenen toz salınımı Tip 3'den fazla çıkmıştır (Lashgari ve Kecojevic, 2016).

ABD'de Virginia eyaletinin güneybatısında bulunan açık kömür madeninde üretilen kömürlerin taşınması sırasında yol güzergahı üzerinde bulunan RODA bölgesinde yaşayanların maruz kaldıkları solunabilir (PM_{10}) PM'lerin konsantrasyonlarının ölçümü için bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda 24 saatlik ortalama PM_{10} konsantrasyonu Campell sitesinde 250,2 µg/m³ (±135,0 µg/m³), Willis sitesinde 144,8 µg/m³ (±60.0 µg/m³) olarak ölçülmüştür (Aneja vd., 2012). Benzer çalışma, kuzey Çekya'da bulunan bir kömür madeni ve çevresinde bulunan köyde yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada, PM_{10} konsantrasyonu madende 119 µg/m³ (±59 µg/m³), köyde ise 12 µg/m³ (±10 µg/m³) olarak ölçülmüştür (Pokorna vd., 2016).

Hindistan'da Sundergarh ve Basundhara Grajanbahal bölgelerinde bulunan kömür madenlerinde ve çevresinde yaşayanların solunabilir, torasik ve alveolik PM konsantrasyonları ölçülmüştür. Yapılan ölçüm sonucunda maden sahalarındaki solunabilir, torasik ve alveolik PM konsantrasyonlarının yerleşim yerlerindeki konsantrasyonlardan sırasıyla 1.8 ile 2.0, 1.8 ve 1.2 ile 1.6 katı daha fazla olduğu bulunmuştur. Torasik/solunabilir, alveolik/solunabilir ve alveolik/torasik oranları yerleşim yerlerinde %73-91, %42-73 ve %55-80 iken maden sahalarında bu oranların %69-84, %37-52 ve %49-63 olarak hesaplandığı ifade edilmiştir. Ayrıca ölçümlerin ilgileşim analiz sonuçlarına göre, PM konsantrasyonlarının bağıl nem ile pozitif ilişki, sıcaklık ve rüzgâr hızı ile negatif bir ilişki olduğu da belirtilmiştir (Sahu vd., 2018).

Hindistan'da bulunan bir açık bakır işletmesinde, ocağın farklı derinliklerinde $PM_{0.23-0.3}$, $PM_{0.3-0.4}$, $PM_{0.4-0.5}$, $PM_{0.5-0.65}$, $PM_{0.65-0.8}$, $PM_{0.8-1}$ ve $PM_{1-1.6}$ salınımı ölçümü için sekiz günlük bir süre boyunca el tipi gerçek zamanlı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Rüzgâr hızı, sıcaklık ve bağıl nem gibi atmosferik koşullar da incelenmiştir. Sonuç olarak ocak derinliğinin, rüzgâr hızının, sıcaklığın ve nemin açığa çıkan PM miktarı üzerinde etkili olduğu ifade edilmiştir (Patra vd., 2016b).

Güney Afrika'da bulunan bir altın madenine ait tumbalardaki malzemelerin rüzgârın etkisiyle savrulması sonucu insan ve çevre sağlığı için risk teşkil ettiği belirtilmiştir. Çalışmada, toz için dağılım modellemesi kullanılarak toz birikiminin Temmuz - Eylül arasında yüksek olduğu ve özellikle PM_{10} emisyonunun maden çevresinde yaşayanlar için potansiyel bir sağlık tehdidi olduğu da ifade edilmiştir (Mpanza vd., 2020).

Asfaltsız yolda araç tozunu ölçmek için bir saha çalışması yapılmıştır. Buna göre bir adet taşınabilir standart el tipi toz ölçüm cihazı (DUSTMATE) çeşitli araçlara monte edilerek hıza bağlı olarak PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımları ölçülmüştür. Araç hızının ve toz önleyici olarak kullanılan malzemelerin (su ve magnezyum klorür) toz salınımlarını değiştirdiği hesaplanmıştır (Thenoux vd., 2007).

Pekin Olimpiyat Parkı'nın değişik bölgelerinde partikül madde salınımlarının ölçümü ve değerlendirilmesi için yapılan çalışmalarda el tipi taşınabilir DUSTMATE cihazı kullanılmış olup yerden 1.4 - 1.5 metre olacak şekilde üç ayaklı sehpanın üzerinde monte edilmiştir (Gao vd., 2015; Qiu vd., 2015; Hua vd., 2016). Meteorolojik verilerin değerlendirilmesi için de Kestrel 4000 ve 4500 cihazları da kullanılmıştır (Qiu vd., 2015; Hua vd., 2016). Sonuç olarak TAPM, (PM_{10}), ($PM_{2,5}$) ve (PM_1) salınımlarının mevsimsel koşullarda değişkenlik gösterdiği (Gao vd., 2015; Hua vd., 2016), sulak alanlarda PM_{10} ve $PM_{2,5}$ konsantrasyonunun bağıl nem ile anlamlı bir pozitif ilgileşim, rüzgâr hızı ile negatif bir ilgileşim, sıcaklık ve radyasyon ile önemsiz bir negatif ilgileşime sahip olduğunu ifade edilmiştir (Qiu vd., 2015).

2.5.2 Ülkemizde Yapılan Çalışmalar

Bir açık kömür işletmesinde 1994-2005 yılları arasında dekapaj ve kömür yükleme sahaları, stok sahası, delici ve kömür eleme tesisinden alınan kişisel toz ölçüm verileri varyans analizi ve Tukey-Kramer izleği kullanılarak değerlendirilmiştir (Önder ve Yiğit, 2009). Bir diğer çalışmada, TTK yeraltı kömür ocaklarında solunabilir toz içindeki kül ve kuvars miktarı sistematik olarak ölçülmüş ve istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır. Ortalama toz yoğunluğu, kül ve kuvars oranlarının ocaklar arasında farklı olduğu sonucuna varılmıştır (Erol, 2012).

Ülkemizde bulunan bir açık kömür işletmesinde en yüksek kişisel toz yoğunluğuna 3,08 mg/m³ ile delici operatörünün, en düşük kişisel toz konsantrasyonuna ise 1,3 mg/m³ ile kömür yükleyici operatörünün maruz kaldığı hesaplanmıştır (Önder ve Yiğit, 2009). Yapılan bir araştırmada üç farklı açık işletmede çalışan iş makinesi operatörlerinin kişisel toz maruziyetinin ölçüm sonuçlarına bakıldığında, delici ve paletli ekskavatör operatörlerinin toz konsantrasyonu değerlerinin yüksek olduğu, tüm operatörlerin toz konsantrasyonu değerlerinin ilgili yönetmelikte yer alan maruziyet sınırının altında olduğunu ifade edilmiştir (Öztürk, 2016). Diğer bir araştırmada ise üç çimento fabrikasında yapılan 24 adet solunabilir toz ölçümü ile A çimento fabrikasında çalışan personelin kişisel toz maruziyet değerleri 0,02 - 22,32 mg/m³, B çimento fabrikasında 0,06 - 5,08 mg/m³ ve C çimento fabrikasında 2,9 - 10,64 mg/m³ arasında değiştiği hesaplanmıştır (Balcı, 2016). Konya ili Selçuklu ilçesinde bulunan bir mermer işleme tesisinde çalışanların toz maruziyetlerinin 76 adet toz ölçümü ve her ünite için en az 60 toz ölçüm değerinin ortalamasının alındığı çalışmada en yüksek toz maruziyetinin "köprülü kesme ve yarma" makinelerinde, en düşük toz maruziyetinin "eskitme kazanı" ünitesinde olduğu ve ölçüm sonuçlarının "*Tozla Mücadele Yönetmeliği"*nde belirtilen sınır değerlerinin altında olduğu ifade edilmiştir (Çınar ve Şensöğüt 2017). Agrega tesisinde toz maruziyetine yönelik yapılan çalışmada işçilerin kişisel toz maruziyeti 4,51 mg/m³, delme-

patlatma sahasında çalışan personelin 2,22 mg/m³ ve stok alanında çalışan personelin 3,92 mg/m³ bulunmuştur (Miçooğulları 2018). Şanlıurfa'da bulunan bir mıcır ocağında pDR 1500 DataRAM cihazıyla yapılan ölçümlerde PM_{10} 410 µg/m³, $PM_{2,5}$ 80 µg/m³, bağıl nem %63 ve sıcaklık 9,9˚C bulunmuştur (Bayhan vd., 2018). Yine, Şanlıurfa'da bulunan dört taş ocağı ve Akabe TOKİ yerleşkesinde yer alan beş okul çevresinde belirlenen örnekleme noktalarında pDR 1500 DataRAM cihazı ile mevsimsel olarak $PM_{2,5}$ ve PM_{10} ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre $PM_{2,5}$ 98,83 µg/m³ - 9,85 µg/m³, PM_{10} ise 101,03 µg/m³ - 12,38 µg/m³ aralığında bulunmuştur (Vezir, 2019).

Dünyada açık madenlerde sürdürülen faaliyetler kaynaklı PM salınım oranlarını tahmin etmede kullanılan parametreler Çizelge 2.7'de, PM salınım kestirim denklemleri ise Çizelge 2.8'de verilmiştir (Duran vd., 2021). Çoğunlukla kömür, kısmen de demir madenciliği için geliştirilmiş olan formüllerde kullanılan parametreler faaliyet türüne bağlı olarak değişmekte, nem ve silt içeriği, rüzgâr hızı ve makine özellikleri gibi değişkenler daha sıklıkla kullanılmaktadır. Formüller çoğunlukla TAPM olmak üzere; PM_{15}, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ için de türetilmiştir. PM salınım kestirim denklemleri en çok delme, yükleme ve taşıma gibi temel madencilik faaliyetleri için geliştirilmiştir.

Çizelge 2.7 Açık işletme faaliyetlerinde PM salınım kestirim denklemlerinde kullanılan parametreler (Duran vd., 2021)

Faaliyet	**Ölçülen ve hesaplanan parametreler**	**Faaliyet**	**Ölçülen ve hesaplanan parametreler**
Delme	Nem içeriği (%) Silt içeriği (%) Rüzgâr hızı (m/s) Delik çapı (mm) Delme sıklığı (delik/gün)	Taşıma	Taşıma yolunun nem içeriği (%) Taşıma yolunun silt içeriği (%) Rüzgâr hızı (m/s) Ortalama araç hızı (km/sa) Kamyonun toplam kütlesi (ton) Kamyonun kapasitesi (ton) Kamyon hareket sıklığı (adet/sa) Tekerlek sayısı
Patlatma	Nem içeriği (%) Patlatma alanı (m²) Patlatma deliği boyu (m)		
Yükleme	Nem içeriği (%) Silt içeriği (%) Rüzgâr hızı (m/s) Malzeme boşaltma yüksekliği (m) Yükleyici kapasitesi (m³) Yükleme sıklığı (adet/sa)	Boşaltma	Boşaltma malzemesinin nem içeriği (%) Boşaltma malzemesinin silt içeriği (%) Rüzgâr hızı (m/s) Malzeme boşaltma yüksekliği (m) Boşaltma sıklığı (sayı/gün) Kamyonun kapasitesi (ton)
Küreme (Dozer)	Nem içeriği (%) Silt içeriği (%)	Sıyırma (Greyder)	Ortalama araç hızı (km/sa)

Çizelge 2.8 Açık maden işletmelerinde PM salınım kestirim denklemleri (Duran vd., 2021)

Faaliyetler/Yazar	Birim	Emisyon kestirim denklemi/faktörü				Birim
		TAPM	PM_{15}	PM_{10}	$PM_{2,5}$	
Delme						
Axetell ve Cowherd 1984	Kömür (dekapaj)	1,3				lb/delik
Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012		$E = 0{,}0325 * [\{(100 - M) * S * U\}/\{(100 - S) * M\}]^{0,1} * (D_2 * F)^{0,3}$				g/s
USEPA, 1998a		0,59 (üst örtü), 0,1 (kömür)				kg/delik
NPI, 2012		0,59		0,31		kg/delik
Nagesha vd., 2016		$E = 0{,}499 - 0{,}037 * M + 0{,}015 * S$				g/s
Patlatma						
Axetell ve Cowherd 1984; USEPA, 1998a	Kömür (dekapaj)	$E = 961 * A^{0,8} * D^{-1,8} * M^{-1,9}$	$E = 2550 * A^{0,6} * D^{-1,5} * M^{-2,3}$		TAPM*0,03	lb/pat.
USEPA, 1991; USEPA, 1995; NPI, 2001; NPI, 2012		$E = 0{,}00022 * {A_1}^{1,5}$		TAPM*0,52		kg/pat.
USEPA, 1998a		$E = 0{,}000014 * A^{1,5}$		TAPM*0,52	TAPM*0,03	lb/pat.
NPI, 2001; 2012		$E = 344 * {A_1}^{0,8} * {D_1}^{-1,8} * M^{-1,9}$		TAPM*0,52		kg/pat.
Yükleme						
Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012	Kömür (dekapaj)	$E = [0{,}018 * \{(100 - M)/M\}^{1,4} * \{S/(100 - S)^{0,4}\} * (U * H * X * L)^{0,1}]$				g/s
NPI, 2012		$E = 0{,}74 * 0{,}0016 * (U/2{,}2)^{1,3} * (M/2{,}0)^{-1,4}$		$E = 0{,}35 * 0{,}0016 * (U/2{,}2)^{1,3} * (M/2{,}0)^{-1,4}$		kg/ton
Chaulya, 2006	Demir (pasa)	$E = [0{,}0081 * \{(100 - M)/M\}^{1,4} * \{S/(100 - S)^{0,3}\} * U^{1,1} * (H * X * L)^{0,1}]$				g/s
USEPA, 2006b	Agrega	$E = 0{,}74 * 0{,}0016 * (U/2{,}2)^{1,3} * (M/2{,}0)^{-1,4}$	$E = (0{,}48/0{,}74) * TAPM$	$E = (0{,}35/0{,}74) * TAPM$	$E = 0{,}07 * TAPM$	kg/ton
Axetell ve Cowherd 1984; USEPA, 1998a	Kömür (üretim)	$E = 1{,}16 * M^{-1,2}$	$E = 0{,}119 * M^{-0,9}$		TAPM*0,019	lb/ton
USEPA, 1991; USEPA, 1995		$E = 0{,}580 * M^{-1,2}$	$E = 0{,}0596 * M^{-0,9}$	PM_{15}*0,75	TAPM*0,019	kg/ton
Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012		$E = [\{(100 - M)/M\}^{0,1} * \{S/(100 - S)\}^{0,3} * H^{0,2} * \{U/(0{,}2 + 1{,}05 * U)\} * \{X * L/(15{,}4 + 0{,}87 * X * L)\}]$				g/s
NPI, 2012		$E = 0{,}580 * M^{-1,2}$		$E = 0{,}0447 * M^{-0,9}$		kg/ton
Chaulya, 2006	Demir (cevher)	$E = [H * \{(100 - M)/M\}^{0,4} * \{0{,}555 * S/(100 - S)\} * (U^2 * X * L)^{0,1}]$				g/s
Küreme (dozer)						
USEPA, 1988; USEPA, 1991	Kömür	$E = 35{,}6 * S^{1,2} * M^{-1,3}$	$E = 8{,}44 * S^{1,5} * M^{-1,4}$	PM_{15}*0,75	TAPM*0,022	kg/saat
USEPA, 1995		$E = 35{,}6 * S^{1,2} * M^{-1,4}$	$E = 8{,}44 * S^{1,5} * M^{-1,4}$	PM_{15}*0,75	TAPM*0,022	kg/saat
USEPA, 1998a		$E = 78{,}4 * S^{1,2} * M^{-1,3}$	$E = 18{,}6 * S^{1,5} * M^{-1,4}$		TAPM*0,022	lb/saat
NPI, 2001; 2012		$E = 35{,}6 * S^{1,2} * M^{-1,4}$		$E = 6{,}33 * S^{1,5} * M^{-1,4}$		kg/saat

Çizelge 2.8 Açık maden işletmelerinde PM salınım kestirim denklemleri (devam ediyor)

Faaliyetler/Yazar	Birim	Emisyon kestirim denklemi/faktörü				Birim
		TAPM	PM_{15}	PM_{10}	$PM_{2,5}$	
Küreme (dozer)						
USEPA, 1991; USEPA, 1995	Kömür (dekapaj)	$E = 2{,}6 * S^{1,2} * M^{-1,3}$	$E = 0{,}45 * S^{1,5} * M^{-1,4}$	PM_{15}*0,75	TAPM*0,105	kg/saat
USEPA, 1998a		$E = 5{,}7 * S^{1,2} * M^{-1,3}$	$E = 1{,}0 * S^{1,5} * M^{-1,4}$		TAPM*0,105	lb/saat
NPI, 2001; 2012		$E = 2{,}6 * S^{1,2} * M^{-1,3}$		$E = 0{,}34 * S^{1,5} * M^{-1,4}$		kg/saat
Sıyırma (Greyder)						
USEPA, 1988; USEPA,1991; USEPA, 1995; USEPA, 1998a	Kömür	$E = 0{,}0034 * {V_1}^{2,5}$	$E = 0{,}0056 * {V_1}^{2,0}$	PM_{15}*0,60	TAPM*0,031	kg/km-araç
NPI, 2001; 2012		$E = 0{,}0034 * {V_1}^{2,5}$		$E = 0{,}0034 * {V_1}^{2,0}$		kg/km-araç
Taşıma (ocak içi)						
Axetell ve Cowherd 1984; USEPA,1998a	Kömür	$E = 0{,}0067 * {C_1}^{3,4} * {S_1}^{0,2}$	$E = 0{,}0051 * {C_1}^{3,5}$		TAPM*0,017	lb/km-araç
USEPA, 1991		$E = 0{,}0019 * {C_1}^{3,4} * {S_1}^{0,2}$	$E = 0{,}0014 * {C_1}^{3,5}$	TAPM*0,60	TAPM*0,017	kg/km-araç
NPI, 2001		$E = 2{,}82 * (S/12)^{0,8} * (C_1/3)^{0,5} * (M/0{,}2)^{-0,4}$		$E = 0{,}733 * (S/12)^{0,8} * (C_1/3)^{0,4} * (M/0{,}2)^{-0,3}$		kg/km-araç
Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012		$E = [\{(100-M)/M\}^{0,8} * \{S/(100-S)\}^{0,1} * U^{0,3} * \{2663 + 0{,}1 * (V + F_1 * C)\} * 10^{-6}]$				g/s
NPI, 2012		$E = [1{,}69 * \{(S/12) * (V_1/48)^{0,3}\}/(M/0{,}5)^{0,3}] - 0{,}0013$		$E = [0{,}51 * \{(S/12) * (V_1/48)^{0,5}\}/(M/0{,}5)^{0,2}] - 0{,}0013$		kg/km-araç
Chaulya, 2006	Demir	$E = [\{(100-M)/M\}^{0,7} * \{U * S/(100-S)\}^{0,1} * \{41{,}6 + 0{,}03 * F_1 * C + 108 * V\} * 10^{-5}]$				g/s
USEPA, 2006a	Stabilize yol	$E = 1{,}38 * (S/12)^{0,7} * (C_1/3)^{0,45}$		$E = 0{,}42 * (S/12)^{0,9} * (C_1/3)^{0,45}$	PM_{10}*0,1	kg/km-araç
Taşıma (ana nakliye)						
Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012	Kömür	$E = [\{(100-M) * S\}/\{M * (100-S)\}]^{0,1} * U^{1,6} * \{1{,}64 + 0{,}01 * (V + F_1)\} * 10^{-3}$				g/s
NPI, 2012		$E = (0{,}4536/1{,}6093) * 4{,}90 * (S/12)^{0,7} * \{(C_1 * 1{,}1023)/3\}^{0,45}$		$E = (0{,}4536/1{,}6093) * 1{,}5 * (S/12)^{0,9} * \{(C_1 * 1{,}1023)/3\}^{0,45}$		kg/km-araç
Chaulya, 2006	Demir	$E = [\{(100-M)/M\}^{0,35} * \{U * S/(100-S)\}^{0,7} * \{0{,}5 + 0{,}1 * F_1 + 0{,}42 * V\} * 10^{-3}]$				g/s

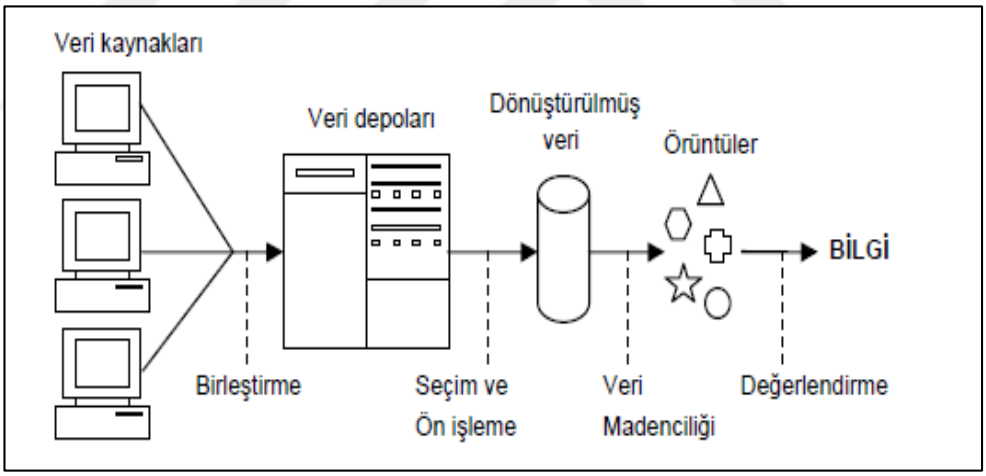
Çizelge 2.8 Açık maden işletmelerinde PM salınım kestirim denklemleri (devam ediyor)

Faaliyetler/Yazar	Birim	Emisyon kestirim denklemi/faktörü				Birim
		TAPM	PM_{15}	PM_{10}	$PM_{2,5}$	
Boşaltma						
Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012	Kömür (dekapaj)	$E = [1{,}76 * H^{0,5} * \{(100-M)/M\}^{0,2} * \{S/(100-S)\}^2 * U^{0,8} * (C*Y)^{0,1}]$				g/s
Chaulya, 2006	Demir (pasa)	$E = [0{,}33 * \{U * H(100-M)/M\}^{0,1} * \{S/(100-S)\}^{0,3} * (C*Y)^{0,15}]$				g/s
USEPA, 2006b	Agrega	$E = 0{,}74 * 0{,}0016 * (U/2{,}2)^{1,3} * (M/2{,}0)^{-1,4}$	$E = (0{,}48/0{,}74) * TAPM$	$E = (0{,}35/0{,}74) * TAPM$	$E = 0{,}07 * TAPM$	kg/ton
Boşaltma						
Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012	Kömür (üretim)	$E = 0{,}023 * [\{(100-M) * S * H\}/\{M * (100-S)\}]^2 * (U^3 * C * Y)^{0,1}$				g/s
NPI, 2012		$E = 0{,}74 * 0{,}0016 * (U/2{,}2)^{1,3} * (M/2{,}0)^{-1,4}$		$E = 0{,}35 * 0{,}0016 * (U/2{,}2)^{1,3} * (M/2{,}0)^{-1,4}$		kg/ton
Chaulya, 2006	Demir	$E = 0{,}156 * H^{0,6} * [\{(100-M) * S * U * L * X\}/\{M * (100-S)\}]^{0,1}$				g/s
Dekapaj sahası						
Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012	Kömür	$E = [\{(100-M)/M\}^{0,2} * \{S/(100-S)\}^{0,1} * \{U/(2{,}6+120*U)\} * \{a/(0{,}2+276{,}5*a)\}]$				g/s
Chaulya, 2006	Demir	$E = [\{(100-M)/M\}^{0,1} * \{S/(100-S)\}^{0,6} * \{U/(19+0{,}01*U)\} * \{a/(6+256*a)\}]$				g/s
Stok sahası						
Chakraborty vd., 2002	Kömür	$E = \{(100-M)/M\}^{0,1} * \{S/(100-S)\} * \{U/(71+43*U)\} * [\{C*Y/(329+7{,}6*C*Y)\} + \{L*X/(30+900*X*L)\}]$				g/s
Chaulya, 2006	Demir	$E = \{U * (100-M)/M\}^{0,2} * \{S/(100-S)\}^{3,7} * [\{(C*Y)/(76{,}7+14{,}5*C*Y)\} + \{(L*X)/(6{,}7+3{,}3*X*L)\}]$				g/s
Çekmekepçe çalışması						
USEPA, 1988	Kömür (dekapaj)	$E = 0{,}0034 * {H_1}^{1,1} * M^{-0,3}$	$E = 0{,}0034 * {H_1}^{0,7} * M^{-0,3}$	PM_{15}*0,75	TAPM*0,017	lb/yd³
USEPA, 1991; 1995		$E = 0{,}0046 * H^{1,1} * M^{-0,3}$	$E = 0{,}0029 * H^{0,7} * M^{-0,3}$	PM_{15}*0,75	TAPM*0,017	kg/m³
USEPA, 1998a		$E = 0{,}0021 * {H_1}^{1,1} * M^{-0,3}$	$E = 0{,}0021 * {H_1}^{0,7} * M^{-0,3}$	PM_{15}*0,75	TAPM*0,017	lb/yd³
NPI, 2001; 2012		$E = 0{,}0046 * H^{1,1} * M^{-0,3}$		$E = 0{,}0022 * H^{0,7} * M^{-0,3}$		kg/m³

a : alan (km²)
A : patlatma alanı (ft²)
A_1 : patlatma alanı (m²)
C : Kamyon kapasitesi (t)
C_1 : Kamyon kütlesi (t)
D : Patlatma deliği boyu (ft)
D_1 : Patlatma deliği boyu (m)
D_2 : Delik çapı (mm)
E : Salınım faktörü
F : Delme sıklığı (delik sayısı/gün)
F_1 : Araç sıklığı (sayı/saat)
H : Malzeme boşaltma yüksekliği (m)
H_1 : Malzeme boşaltma yüksekliği (ft)
L : Yükleyici kapasitesi (m³)
M : Nem içeriği (kütle %)
S : Silt içeriği (%)
S_1 : Yolun silt içeriği (g/m²)
U : Rüzgâr hızı (m/saat)
V : Ortalama araç hızı (m/sa)
V_1 : Ortalama araç hızı (km/sa)
X : Yükleme sıklığı (sayı/sa)
Y : Boşaltma sıklığı (sayı/sa)

2.6 Veri Madenciliği

Veri madenciliği; büyük veri setleri içinde gizli kalmış farklı analiz teknikleriyle geçerli ve işe yarar bilgi elde edilen (Albayrak ve Yılmaz, 2009; Czajkowski and Kretowski, 2010; Göndör and Bresfelean, 2012; Aydemir, 2018) istatistik, matematik, bilgisayar bilimleri gibi birçok farklı alandan yöntem ve algoritmaların bir araya getirildiği disiplinler arası bir çalışma alanı olarak ifade edilmektedir (Onan, 2015). Tıp, endüstri, finansal/ekonomik alanlar, mühendislik, pazarlama, eğitim ve multimedya gibi birçok değişik alanlarda sınıflandırma ve tahmin amacıyla kullanılan (Friedman vd., 2009; Göndör and Bresfelean, 2012; Küçükönder vd., 2015) veri madenciliği sürecinde izlenen adımlar genellikle problemin tanımlanması, verilerin hazırlanması, modelin kurulması ve değerlendirilmesi, modelin kullanılması ve modelin izlenmesi olarak beş aşamadan oluşmaktadır (Shearer, 2000, Savaş vd., 2012). Veri setleri birçok kaynaktan alınıp birleştirilmek suretiyle veri depolarına gönderildikten sonra depolarda bulunan veriler alınmakta ve standart bir formatta değerlendirilmeden önceden işlenmektedir. İşlenen veriler, kurallar veya başka bir tür kalıp biçiminde bir çıktı üreten bir veri madenciliği algoritmasına aktarılarak, algoritmalar (örüntüler) yardımıyla kullanıcının isteğine göre yorumlanmakta ve bilgiye dönüştürülmektedir. Bilgi keşfi sürecinde veri madenciliğinin yeri Şekil 2.12'deki gibidir (Bramer, 2007).



Şekil 2.12 Bilgi keşfi sürecinde veri madenciliği (Bramer, 2007).

Gelişmiş bilgi teknolojilerini kullanarak veri tabanlarından bilgi keşfetmenin büyük önem kazandığı günümüzde veri madenciliği, geleneksel bilgi toplama yöntemlerinin (rapor oluşturma, pasta ve çubuk grafik oluşturma, kullanıcı sorgulama, karar destek sistemleri vb.) gözden kaçırabileceği büyük veri tabanlarında gizli ilişkileri, modelleri, ilgileşimleri ve karşılıklı bağımlılıkları araştırmaktadır. Ayrıca, veri madenciliği kullanıcı tanımlı soruları otomatik olarak çözmeye yardımcı olan yeni algoritmik modellerden oluşan karışık bir araç takımı da kullanmaktadır. Bu güçlü araç takımlarındaki her model; sezgisel, açıklaması kolay, anlaşılır ve kullanımı kolaydır. Bu araç takımları arasında yapay zekâ yöntemleri (uzman sistemler, bulanık mantık vb.), karar ağaçları, kural indüksiyon yöntemleri, genetik algoritmalar ve genetik

programlama, sinir ağları ve kümeleme teknikleri bulunmaktadır. Ayrıca veri görselleştirme sayesinde, veri odaklı bilgi keşfinin geliştirilmesinde, oluşturulmasında ve yorumlanmasında önemli bir yardımcı olarak kullanılmaktadır (Gargano ve Raggad, 1999).

Veri Madenciliği esas olarak tahmin edici ve tanımlayıcı olmak üzere iki farklı model kullanmaktadır (Czajkowski and Kretowski, 2010; Göndör and Bresfelean, 2012; Aydemir vd., 2020) Örneğin; sınıflama tekniği regresyon tahmin edici modeli kullanılırken, birliktelik kuralı, kümeleme ve ardışık zamanlı modeller ise tanımlayıcı modelini kullanmaktadır. Veri madenciliğinde en çok sınıflandırma tekniği kullanılmakta olup, tanımlanmış sınıfı olan verileri kullanarak sınıfı henüz belli olmayan veri sınıflarını tahmin etmek için kullanılan bir modeldir. Bu model iki aşamadan oluşmaktadır. Modelin ilk aşamasında tahmin amacıyla bir model oluşturulmakta, ikinci aşamada ise sınıfı belli olmayan verileri kullanarak kullanıcının istediği model sınıfı tahmin edilmektedir. En çok tercih edilen sınıflandırma teknikleri, Yapay Sinir Ağları, K-En Yakın Komşu, Genetik Algoritmalar, Destek Vektör Makineleri, Lojistik Regresyon ve Karar Ağaçları şeklinde sıralanabilir (Chien ve Chen, 2008; Albayrak ve Yılmaz, 2009; Gronescu, 2011; Aydemir, 2018; Gültepe, 2019; Aydemir vd., 2020).

Büyük veri setleri içindeki mevcut verileri doğru bir şekilde yönetmek ve analiz etmek suretiyle gelecekte benzer problemlerde kullanılmak üzere doğru tahminde bulunulması son derece önemlidir. Veri setleri çeşitli şekillerde analiz edilebilir. Verilerin sınıflandırılmasıyla, yapılacak işle ilgili karar verme sürecinin önemli oranda etkilenmesi söz konusu olacaktır. Verilerin sınıflandırılması, istatistiksel yöntemle veya veri madenciliği yöntemiyle yapılabilmektedir. Veri sınıflandırma süreci iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama bir öğrenme adımı olup bir sınıflandırma algoritması, veri tabanlarından ve bunlarla ilişkili sınıf etiketlerinden oluşan bir eğitim setini analiz ederek (veya öğrenerek) sınıflandırıcıyı oluşturmaktadır. Bu ilk adımda model ya da sınıflandırıcı bir X değişkenine bağlı olarak sınıflandırma kuralları, karar ağaçları veya matematiksel eşitsizlikler şeklinde olabilen $Y = f(X)$ fonksiyonunu türetmektedir. Bir sonraki aşamada ise sınıflandırıcı doğru bir şekilde tahmin edilir. Bunun için, eğitim grupları dışında başka bir grup kümesiyle “test seti” ilk adımda verilen sınıflandırıcı test edilmektedir (Chadha ve Singh, 2012; Brownlee, 2016; Aksu, 2018).

Uygulamada değişik veri madenciliği programları kullanılmaktadır. Bunlar arasında; SAS Enterprise Miner, Rapid Miner, MATLAB, Salford Predictive Modeling Suite (SPM), STATISTICA, Orange, Knime, Python, Scikit-Learn ve WEKA sayılabilir (Saygılı, 2013; Bruxella vd,, 2014; Jović vd., 2014). Bu tez çalışmasında resmi adı *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA) olan ve tarımsal alanlardan toplanan ham verilerden bilgilerin belirlenmesi amacıyla Yeni Zelanda'daki Waikato Üniversitesi'nde geliştirilmiş bir bilgisayar programı kullanılmıştır. WEKA, makine öğrenimi tekniklerini geliştirmek ve bunları gerçek dünyadaki veri madenciliği problemlerine uygulamak için geliştirilmiş bir program olup algoritmalar, doğrudan bir veri kümesine uygulanmaktadır. WEKA ayrıca, veri ön işleme, sınıflandırma, kümeleme, regresyon, görselleştirme ve özellik seçimi gibi birçok farklı standart veri madenciliği görevini de desteklemektedir. Genel kamu lisans sözleşmesi kapsamında

ücretsiz olarak kullanılabilen açık kaynaklı bir uygulama olan WEKA, hızlı kurulum ve çalıştırma olanağı sağlayan grafik arayüzü ile kullanıcı dostu bir programdır (Kiranmai ve Laxmi, 2018). WEKA son yıllarda jeoloji, tıp, pazarlama, bankacılık ve diğer ticari alanlarda elde edilen büyük veri gruplarına başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Aksu, 2018).

Weka'daki sınıflandırıcılar birincil öğrenme yöntemleri olup verileri modelleyen bir kural kümesi veya karar ağacı oluştururlar. Weka programında aynı zamanda ilişkilendirme kurallarını ve kümeleme verilerini öğrenmek için değişik algoritmalar bulunmaktadır. Bütün uygulamalar tek tip bir komut satırı ara yüzüne sahiptir. Ortak bir değerlendirme modülü ile belirli bir veri seti üzerindeki çeşitli öğrenme algoritmalarının göreceli performansı ölçülmektedir. Programın diğer bir özelliği de verilerin önceden işlenmesine yönelik araçlar veya filtreler bulundurmasıdır. Öğrenme şemalarında olduğu gibi, filtrelerde standartlaştırılmış bir dizi komut satırı ara yüzüne sahiptir. Weka yazılımı, bilgisayar platformundan bağımsız olarak veri madenciliği araçlarının kullanılabilirliğini kolaylaştırmak için tamamen Java ile yazılmıştır (Alfred, 2005).

WEKA programındaki makine öğrenmesi algoritmaları (Karar ağacı, Rastgele orman, Lojistik regresyon, K-En yakın komşu gibi) kullanılarak elde edilecek sayısal modelin başarısı ilgileşim katsayısı (*correlation coefficient, R*), belirleme katsayısı (*coefficient of determination, R²*), ortalama mutlak hata (*mean absolute error, MAE*), hataların karelerinin ortalamasının karekökü (*root mean square error, RMSE*), göreceli mutlak hata (*relative absolute error, RAE*) ve göreceli mutlak hata karekökü (*root relative squared error, RRSE*) hata değerleri ve hesaplama ölçütlerine göre değerlendirilmektedir. Değerlendirme ölçütleri içerisinden R^2, modelin doğruluk oranı karar verme katsayısı olduğu belirtilmektedir (Gültepe, 2019). Bu değer 0 ile +1 arasında değişmekte olup bu değerin 0'a yaklaşması modelin veriye uyum sağlamadığını ifade etmektedir (Alpar 2011; Çınaroğlu, 2016). İlgileşim katsayısı ne kadar yüksekse modelin tahmininin o kadar iyi olduğu (Gültepe, 2019), <0,40 katsayısının düşük ilgileşim, 0,40-0,70 arasındaki katsayının normal ilgileşim, >0,70 ve üzerindeki katsayıların yüksek ilgileşime sahip olduğu ve daha iyi performans sonuçlarına işaret ettiği belirtilmektedir (Aydemir, 2018; Schober vd., 2018; Sabti vd., 2019; Tanni vd., 2020). Tahmin yöntemleri arasında en sık kullanılan hata ölçülerinden birisi olan MAE ve RMSE'nin birer hata ölçüsü olması nedeniyle sıfıra yakın düşük değerler alması durumunda modelin performansının yüksek olacağı (Wang ve Xu, 2004; Gültepe, 2019), bunların sınırlı olmamak koşuluyla birlikte değerlendirilmesinin daha iyi olacağı (Chai ve Draxler, 2014), MAE'nin (Aydemir, 2018) ve RMSE'nin sıfıra eşit olması durumunda modelin mükemmel sonuçlar vereceği ifade edilmektedir (Çınaroğlu, 2017). Başka bir çalışmada, MAE tahmin sonuçlarının hatalarının ortalama büyüklüğünü hesaplayan temel bir doğruluk parametresi olduğu, gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki sayı farklarını verdiğini ve istatistikte, ortalama mutlak hata (MAE), tahminlerin nihai sonuçlara ne kadar yakın olduğunu ölçmek için kullanıldığı belirtilmektedir (Usha ve Balamurugan, 2016). Diğer taraftan, hata büyüklüklerinin dağılımı daha değişken hale geldiğinden RMSE, MAE'den daha yüksek olma eğilimindedir. MAE, bir dizi tahmindeki hataların ortalamasını ölçerek tüm bireysel farklılıkların ortalamada eşit ağırlıkta olduğu

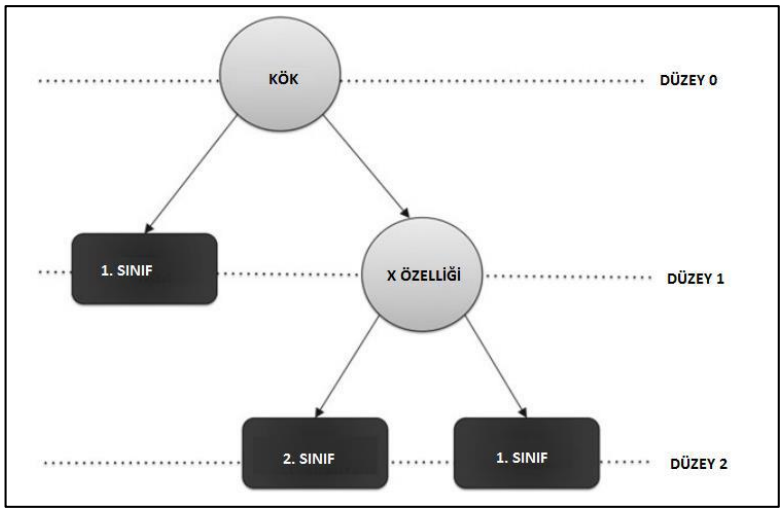
anlamına gelen doğrusal bir puan oluştururken RMSE, hataların ortalamasını ölçmekte ve büyük hatalara nispeten yüksek bir ağırlık vermektedir. 0 ile ∞ arasında değişebilen MAE ve RMSE, bir dizi tahminde hatadaki varyasyonunu teşhis etmek için kullanılabilmektedir (Alsultanny, 2020).

2.6.1 Karar Ağaçları

Sayısal ve alfa sayısal verilerin sınıflandırılmasında kullanılabilen karar ağaçları, diğer sınıflandırma tekniklerine nazaran genellikle, kolay yorumlama ve anlaşılabilirlik açısından karar vericiler için çok büyük avantaj sağlamaktadır (Gargano and Raggad, 1999; Chien and Chen, 2008; Czajkowski and Kretowski, 2010; Onan, 2015; Aydemir vd., 2020). Ayrıca karar ağaçlarının düşük maliyetli, diğer sınıflandırma tekniklerine göre daha hızlı, veri tabanları ile bütünleşmesinin kolay ve güvenilirliğinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı en çok tercih edilen sınıflandırma tekniklerindendir (Akçetin ve Ufuk, 2014; Aydemir vd., 2020).

Karar ağacı algoritmaları, bilgi keşfi ve örüntü tanıma için çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu algoritmalar ayrıca, tıbbi teşhis ve kredi riski değerlendirmesi gibi çeşitli uygulama alanlarında anlaşılır bir sınıflandırma/regresyon modeli ve tatmin edici doğruluk seviyeleri üretme avantajına sahiptirler. Karar ağaçları, sınıflandırma veya regresyon eşitliğini geliştirmek için uygulanan parametrik olmayan bir yöntemdir. Regresyon, bağımlı değişkeni tahmin etmek için bağımsız değişkenlerin bölündüğü denetimli öğrenme için hiyerarşik veri yapıları olarak ifade edilmektedir. Karar ağacı kök düğümden başlayarak bağımsız değişkenleri sınıflandırma ve her bir sınıf etiketi üzerinde algoritmalar yardımıyla regresyon eşitliği verebilme özelliğine sahiptir. Belirli bir durumun bağımlı değişken değerini tahmin etmek için karar ağacında kökten başlayarak, öznitelikler üzerinden testlerin sonuçlarına göre kenarları takip etmek gerekir. Geleneksel bir sınıflandırma karar ağacı, yapraklarında sınıf etiketlerini tutmaktadır. Şekil 2.13'de X özelliğine göre kök düğümden (node) başlayarak nasıl bir sınıflama yapılacağı ile ilgili yapısal bir gösterim olan karar ağacı verilmektedir. Bu ağaç sayesinde daha özet ve daha çekici bilgi sunumu yapılabilmektedir (Barros vd., 2015; Aksu, 2018).

Genellikle bir ağaç yapısında, yaprakları ve gövdesi ile sunulan karar ağaçlarının hiyerarşik yapısı, farklı faktör seviyelerini analiz edebilir. Her yaprak sınıflandırma sonucunu, gövdeler de niteliklerin koşullarını göstermektedir. Girdi değişkenleri ve karşılık gelen bir çıktı değişkeni dâhil bir dizi eğitim örneği verildiğinde, değişkenleri sınıflara ayırmak ve tümevarım kurallarını sağlamak için belirli öğrenme stratejilerine bağlı olarak bir karar ağacı oluşturulabilmektedir (Chien ve Chen, 2008; Njeguš vd., 2015).



Şekil 2.13 Sınıflama için genel bir karar ağacı örneği (Barros vd., 2015)

Karar ağaçları; DecisionStump, HoeffdingTree, J48, LMT, M5P, RandomForest, RandomTree ve REPTree gibi algoritmalar şeklinde sıralanabilmektedir (Witten vd., 2011; Alsultanny, 2020; Aydemir vd., 2020). Aşağıda özetlenen karar ağacı türlerinin seçimi kullanıcının isteğine göre değişmektedir.

a) DecisionStump: sayısal veya kategorik veri kümeleri için tek seviyeli karar ağacından oluşmaktadır. Bu algoritma ile oluşturulan ağaçta kök düğümler yaprak düğümlere doğrudan bağlı olup sınıflandırma işlemi doğrudan tek girdili olarak gerçekleştirmektedir (Aksu, 2018; Aydemir, 2018; Aydemir vd., 2020; Shah vd., 2020).

b) HoeffdingTree: artan karar ağacı algoritmalarından birisidir. Dağıtım üreten veri setlerinin zamanla değişmediği varsayılarak, büyük veri setlerinden ağaç oluşturma yapısına sahip öğrenme algoritmasıdır (Srimani and Patil, 2015; Aksu, 2018; Aydemir, 2018).

c) J48: C4.5 algoritmasının geliştirilmiş hali olan bu algoritma, çoklu ağaç dalları yerine ikili ağaç yapısından oluşmaktadır (Aydemir, 2018). Sınıfın beklenen tahminlerini kullanarak bir karar düğümü geliştiren J48 ayrıca, belirli özelliklerle verilerin kayıp veya eksik özelliklerinin tahmin edilmesiyle ve değişen özellik maliyetleriyle ilgilenmekte olup doğruluğu, budama ile genişletilebilmektedir (Saravanan and Gayathri, 2018).

d) LMT (Logistic Model Trees): Lojistik modele dayalı ağaç oluşturma yöntemi olup temelde, yapraklarda lojistik regresyon fonksiyonlarına sahip standart bir karar ağacı yapısından oluşmaktadır (Landwehr, 2003; Aksu, 2018). Bu model sınıflandırma modelinde yaygın olarak kullanılmakta olup sayısal, kategorik ve eksik değerlere sahip nitelikler için çalışabilmektedir (Aydemir, 2018). LMT ayrıca, karar ağacı (DT) ve lojistik regresyon (LR) algoritmalarını birleştiren bir veri madenciliği algoritmasıdır (Maulana and Defriani, 2020).

e) RandomForest: veri setlerindeki örneklerin rastgele seçimini yaparak budanmamış ham sınıflandırma ve regresyon ağaçlarından oluşan modellerdir. Bu modeldeki sınıflandırmada genelleme hatası, tüm ağaçların bireysel olarak sahip olduğu güce ve bu ağaçlar arasındaki bağla ilişkilidir. Her bir bağın parçalanmasında kullanılacak özelliklerin rastgele seçimi, algoritmanın Adaboost ile yarışacak sonuçlar doğurmasına ve gürültülü

değerlere karşı daha dayanıklı olmasına yol açmaktadır (Breiman, 2001; Onan, 2015). Hesaplama ve istatistiksel açıdan kullanıcılara bazı avantajlar sağlayan algoritma ile hem regresyon hem de sınıflandırma (çok sınıflı) yapılabilmektedir. Verilerin eğitilmesi ve tahmin edilmesi nispeten hızlı olup, yalnızca bir veya iki ayar parametresine bağlıdır. Yerleşik bir genelleme hatası tahminine sahip olup, doğrudan yüksek boyutlu problemler için de kullanılabilmektedir (Cutler vd., 2011).

f) RandomTree: her düğümde belirli bir sayıda rastgele özellikleri dikkate alan ve budama yapmayan bir ağaç oluşturma yöntemidir (Aydemir, 2018).

g) REPTree: Sadece sayısal nitelikteki değerlerin sıralanmasında kullanılan algoritma, azaltılmış hatayı kullanan hızlı ağaç öğrenmesi olup, en hızlı sınıflandırma algoritmalarından biridir. Regresyon ya da karar ağaçlarının oluşmasında bilgi kazancı ölçütünü kullanarak oluşan ağacı, azaltılmış hata budaması yöntemine bağlı olarak budama işlemine tabi tutmaktadır. Eksik değerler var ise C4.5 algoritmasına karşılık gelen parçalara ayırma yöntemi kullanılmaktadır (Zhao ve Zhang, 2008; Aydemir vd., 2020).

h) M5P algoritması: John Ross Quinlan tarafından geliştirilmiş M5 algoritmasının WEKA üzerindeki Java uyarlamasıdır (Quinlan, 1992) ve M5 olarak bilinen karar ağacı yapısındaki yaprakların düğümlerinde doğrusal regresyon eşitsizlikleri türetmektedir. Bu ağacın oluşturulmasında tümevarım ağaç algoritması kullanılmakta ve her aşamada bağımsız değişkenler, bağımlı değişkene bağlı olarak ağaç düğümlerine bölünmektedir. Düğümlerdeki sınıf değeri düşük farklılık gösterir veya düğüm sayısı az ise bölme işlemi durdurulmakta, daha sonra ağacın her yaprağı kontrol edilerek, budama işlemi yapılmakta ve budanmış düğümlerden regresyon eşitsizlikleri türetilmektedir (del Campo-Avila vd., 2011; Witten vd., 2011; Öztürk, 2012; Njeguš vd., 2015; Kara ve Şamlı 2021; Sihag vd., 2021). M5P algoritması kullanılarak elde edilen modelin son yaprakları yanında parantez içinde iki ayrı sayısal veri bulunmaktadır, ilki yaprağı temsil eden örnek sayısı, ikincisi ise tüm veriler üzerinden hesaplanan standart sapmanın yüzdesi olarak ifade edilen her bir yaprağın doğrusal modelinden tahminlerin ortalama kare hatasıdır (Witten vd., 2011; Aydemir, 2018; Url-10, 2022). Bu modeldeki ikinci sayı, her bir yapraktaki doğrusal modelin ortalama kare hatasının küresel mutlak sapmaya bölünmesiyle elde edilmektedir (Url-11, 2022; Url-12, 2022).

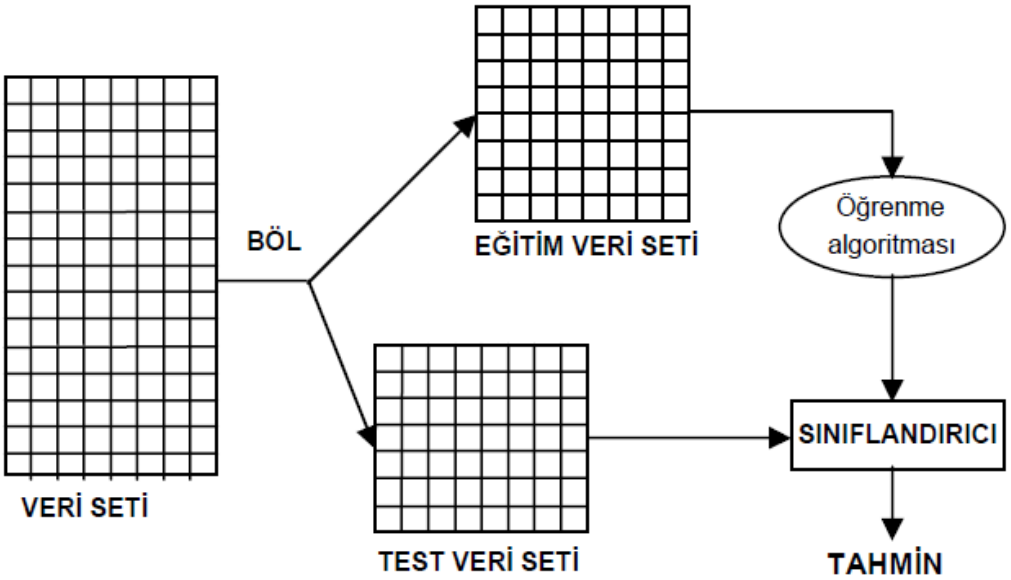
2.6.2 Verilerin değerlendirilmesi

İki amaca hizmet eden değerlendirme, veri madenciliği sürecinin en önemli kilit noktalarından birisidir. Bunlardan ilki nihai modelin gelecekte ne kadar iyi çalışacağının tahmini (modelin kullanılıp kullanılmayacağı), ikinci ise tüm veri setini en iyi temsil eden modelin bulunmasıdır (Souza vd., 2002; Aksu, 2018). Çoğu durumda, modelin tahmin edilmesi göründüğü kadar basit değildir. Burada temel sorun bir veri madenciliği modelini eğitmek için kullanılan veriler, bu modelin performansının tahmin edilmesi için kullanıldığında ortaya çıkmaktadır. Bu değerlendirme tekniği, veri kümesi tüm eğitim modellerini saklamak suretiyle veri madenciliği topluluğu tarafından kabul edilemez şekilde gerçekçi olmayan ve aşırı iyimser mükemmel bir

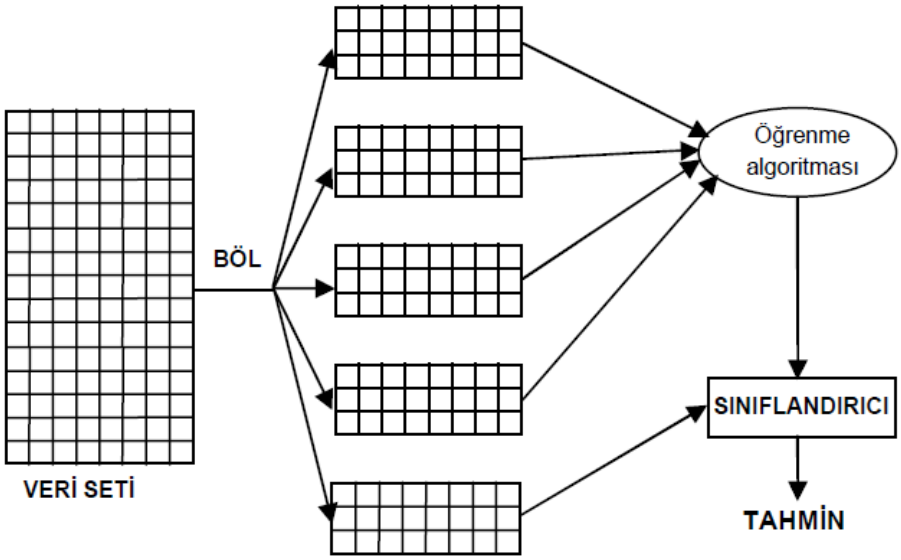
tahmin oluşturabilmektedir (Souza vd., 2002; Brownlee, 2016). Bu yöntem, tahmine dayalı bir modelden ziyade açıklayıcı bir model oluşturulacaksa kullanılmalıdır. Modelin tahmin edilmesi için kullanılabilecek diğer bir yöntem ise çok büyük veri setine sahip olunması durumunda veri seti başka bir program kullanılarak bölünebilmekte ve modelin performansını değerlendirmek için ayrı test seti kullanılabilmektedir. Bu sayede veri setinin tamamı eğitim verisi olarak kullanılabilmektedir (Brownlee, 2016). Sınırlı miktarda veri mevcut olduğunda ise görünmeyen örnekler üzerinden model performansının tarafsız bir tahminini elde etmek için daha karmaşık yöntemler gereklidir. Bu yöntemler; k-katlı çapraz doğrulama (k-fold cross validation), birini devre dışı bırakma (Leave-one-out), bekletme (hold-out) ve Bootstrap modelleri olup, mevcut örneklerin sayısına bağlı olarak değerlendirme için kullanıcıyla alternatif sunmaktadır. Modelin değerlendirilmesi aslında, en iyi tekniği seçmede tasarımcıya rehberlik etmektedir (Souza vd., 2002).

Veri sınıflandırma süreci, öğrenme ve sınıflandırmadan oluşmaktadır. Öğrenmede eğitim verileri sınıflandırma algoritmaları ile analiz edilirken sınıflandırmada test verileri, sınıflandırma kurallarının doğruluğunu tahmin etmede kullanılmakta ve doğruluk kabul edilebilir ise kurallar, yeni veri gruplarına uygulanabilmektedir (Ramageri, 2010; Aksu, 2018). Veri seti üzerinden model sonucunun düzgün tahmin edilebilmesi için veriler “eğitim ve test” verisi olarak iki bölüme ayrılıp dosya halinde saklanmaktadır (Souza vd., 2002; Bramer, 2013). Başlangıçta eğitim seti ile bir sınıflandırıcı (karar ağacı, sinir ağı vb.) oluşturulmakta ve sınıflandırıcı yardımıyla daha sonra test setindeki veriler modelin tahmin edilmesi için kullanılmaktadır. Test seti, C adet doğru sınıflanmış ve N örnekten oluşan veri içeriyorsa, test seti için sınıflandırıcının tahmin doğruluğu p = C/N'dir. Bu eşitlik, görünmeyen herhangi bir veri kümesindeki performansın tahmininde kullanılabilir. Veri setinin eğitim ve test verileri üzerinden tahmin modeli Şekil 2.14’de verilmiştir. Modeli tahmin etmek için veri seti kullanıcının amacı doğrultusunda 1:1, 2:1 70:30, 60:40 (Bramer, 2013), 66:34 (Brownlee, 2016) gibi oranlarda eğitim ve test verisi olarak bölünebilmekte, genellikle daha güçlü model elde edilebilmesi için eğitim setinin olabildiğince fazla veriden oluşması tercih edilmektedir (Bramer, 2013; Brownlee, 2016; Genç ve Tunc, 2019). Veri setinin belirli bir miktarı (%20 - %30), saklama prosedürü olarak adlandırılan test verisi için tutularak daha sonra kalan miktar, eğitim için de kullanılabilmektedir. Veri sayısının sınırlı olması durumunda, mevcut verilerin üçte birini test için ve kalan üçte ikisini eğitim için ayırmak çok yaygın bir yöntemdir (Aksu ve Doğan, 2019). Diğer taraftan bu yöntem, küçük veri kümesi, eğitim ve test verilerinin modeli yansıtmadığından şüphe duyulması durumlarında kullanılmamalıdır.

Genel olarak k-katlı çapraz doğrulama (k-fold cross validation), yukarıda sayılan yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedir (Brownlee, 2016). Ancak bu yöntem, çok büyük bir veriye sahip olunması durumunda kullanılmamalıdır. Veri kümesinin boyutuna bağlı olarak veriler 5’e ve 10’a bölünebilmekte ve modelin doğruluğu test edilebilmektedir. Uygulamada genellikle veri kümesi 10’a bölünmekte olup bu sayede modelde verilerin %10’ı test verisi, %90’ı ise eğitim verisi olarak kullanılmaktadır (Bramer, 2013; Brownlee, 2016). Veri setinin k-katlı çapraz doğrulama üzerinden tahmin edilme modeli Şekil 2.15’de verilmiştir (Bramer, 2013).



Şekil 2.14 Veri setinin eğitim ve test verileri üzerinden tahmin modeli (Bramer, 2013).



Şekil 2.15 Veri setinin k-katlı çapraz doğrulama üzerinden tahmin modeli (Bramer, 2013).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Giriş

Ülkemizde endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan toz salınımının değerlendirilmesi, 20 Aralık 2014 tarih ve 29211 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Yönetmelik ile değiştirilen 3 Temmuz 2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan *Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği* (SKHKKY) esas alınarak yapılmaktadır. Ayrıca, 20/6/2012 tarihli 6331 sayılı *İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu* kapsamına giren işyerlerinde çalışanların yaptıkları işlerden dolayı toz maruziyetlerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi 05 Kasım 2013 tarih ve 28812 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan *Tozla Mücadele Yönetmeliği*'ne göre yapılmaktadır. PM_{10} örneklemesi ve ölçümü için 6 Haziran 2008 tarih ve 26898 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan *Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği* baz alınmaktadır. Ayrıca bu yönetmeliğe göre, $PM_{2,5}$ örneklemesi ve ölçümü için Bakanlığa bildirimde bulunulması ve Bakanlığın uygun görmesi durumunda herhangi bir metot kullanılabileceği de ifade edilmektedir. *Avrupa Birliği Birinci Hava Kalitesi Direktifi*'ne (1999/30/EC) göre PM_{10} ölçümlerinin EN 12341 Avrupa Standardında tanımlandığı gibi referans yöntem kullanılmaktadır. Ayrıca, ortam havasındaki PM_{10} kütle konsantrasyonunun belirlenmesi EN 12341 veya EPA 40 CFR PART 50, $PM_{2,5}$ kütle konsantrasyonu EN 14907 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Diğer taraftan işyerlerinde bulunan aerosollerin izlenmesi ve havadaki partikül konsantrasyonlarının değerlendirilmesi CEN/TR 16013-3:2012 standardına uygun olarak yapılabilmektedir. Tez kapsamında kullanılan PM ölçüm cihazı, CEN-TR 16013-3 standardına uygun olarak ölçüm yapmaktadır.

3.2 Jeolojik ve coğrafik özellikler

Tez kapsamında veri elde edilen ölçüm sahaları, kuzeydoğu-güneybatı yönünde uzanan faylarla sınırlı orojenik bir tortul havza olan Sivas havza sınırları içerisinde yer almaktadır. Orta Anadolu'nda yer alan havza, Geç Kretase boyunca Neotetis okyanusunun dalımı sonrasında önülke havza şeklinde gelişmiştir (Poisson vd., 1996).

Havzanın yer aldığı bu bölgede temel birimleri, Paleozoyik yaşlı metamorfikler ile bu birimlerin üzerinde tektonik dokanakla yer alan Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayaçlar oluşturur. Mesozoyik yaşlı Munzur kireçtaşları ve Maastrihtiyen (Üst Kretase) yaşlı karbonatlı sığ denizel çökeller ofiyolitik kayaçları tektonik olarak üzerler. Bu karbonatlı sığ denizel çökelleri Paleosen-Eosen yaşlı fliş özelliğine sahip derin deniz çökelleri takip eder. Oligo-Miyosen yaşlı evaporitik çökeller ve karasal kırıntılar ise kendisinden yaşlı bütün birimler üzerine uyumsuz olarak gelir. Havzanın en genç birimleri Kuvaterner yaşlı akarsu çökelleri ve yamaç molozlarından oluşan birimlerdir (Aktimur, 1988).

Paleozoyik yaşlı metamorfikler havzanın doğusunda Akdağmadeni metamorfikleri, kuzeyinde Tokat metamorfikleri ve doğusunda ise Keban metamorfikleri olarak adlandırılmaktadır. Sişt,

gnays ve mermer birimlerinin türevlerini içermektedirler. Bölgede neritik kireçtaşlarını oluşturan birim Özgül vd. (1981) tarafından Munzur kireçtaşları olarak adlandırılmıştır. Orta-kalın tabakalı, gri-beyazımsı, sarımsı, krem renkli kireçtaşı ile temsil edilir. Oldukça kırık ve çatlaklı yapıya sahip olup bu boşluklar kalsit dolguludur. Üst seviyelerde yer yer rudist kavkılı ve çört yumruları içeren kireçtaşı seviyesi yer alır. Yaklaşık kalınlığı 400-750 m arasında değişen birim, sınırlı şelf, resif ve resif önü ortamlarla karakterize edilir. Birime fosil kapsamına göre Orta Triyas-Kretase gibi geniş zaman aralığı önerilmiştir (Özgül vd., 1981).

Ofiyolitik kayaçlar çalışma alanında Yılmaz vd. (1985) tarafından adlandırılmış olup dunit, peridotit, serpantinit, amfibolit, gabro karışımı ve metamorfit, kristalize kireçtaşı, radyolarit, spilit, metavolkanit, metadiyabaz ve Triyas-Jura yaşlı kireçtaşı, Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı bloklarından oluşur. Birimin bölgeye yerleşme yaşı Alt Kampaniyen-Alt Maastrihtiyen'dir (Özgül, 1981; Aktimur vd., 1990). Denizel çökellerden oluşan Bozbel formasyonu, Kurtman (1973) tarafından adlandırılmıştır. Formasyonun yer yer olistolitler kapsadığı bilinmektedir. Birim, gri-sarımsı kiltaşı ve şeyl ardalanması ile başlar, orta ve üst düzeylere doğru kumtaşı ve çakıltaşı ardalanmalı istife geçer. Alt ve orta düzeylerde kireçtaşı, serpantinit ve volkanik blokların yanı sıra bu kayalardan türemiş olistostromal düzeyler izler (Yılmaz vd., 1989). Oligosen yaşlı Hafik formasyonu, ilk olarak Kurtman (1973) tarafından adlandırılmış olup Sivas havzasının genelinde yüzlek vermektedir. Beyaz, açık gri renkli, yer yer tabakalı yer yer de masif jipsler ile alacalı renkli kumtaşı, silttaşı ve konglomera tabakalarından oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı sıcak su çıkışlarına bağlı olarak gelişen genç travertenler de bölgede yüzlek veren en genç birimlerdendir (Yılmaz vd., 1997). Sarımsı, kırmızımsı, krem ve kahverengi renkli olan travertenler bol kırıklı ve çatlaklı olup süngerimsi boşluklara sahiptir. Travertenler, İncesu formasyonu üzerinde uyumsuz olarak çökelmektedir.

Madencilik faaliyetleri; Alçıtaşı işletmesinde, oligosen yaşlı Hafik formasyonuna ait masif jipslerde, Kalker (A) işletmesinde, Bozbel formasyonuna ait Maastrihtiyen-Paleosen yaşlı kireçtaşları bu bloklardan bir tanesinde ve Kalker (B) işletmesinde ise, Kuvaterner yaşlı genç travertenlerde gerçekleştirilmektedir.

Sivas, çevresinde bulunan illere göre kendine has bir iklim karakterine sahiptir. Sivas'ın büyük bir kısmı yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve karlı geçmekte ve karasal İç Anadolu ikliminin etkisinde kalmaktadır. Sivas'ta yaz ayları oldukça kısa, kış ayları ise uzun, soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Sivas İç Anadolu Bölgesi'nin en soğuk illerinden birisidir. Kış ayları dondurucu soğuk olup, kış ortalama sıcaklığı 0 °C civarındadır. En soğuk ayın ortalaması -4 °C olup, zaman zaman -36,4 °C'ye düştüğü görülmüştür. Yaz aylarında sıcaklık genellikle 19 °C üzerindedir. Ancak sıcaklığın zaman zaman 38 °C'yi aştığı görülür. Sıcaklık değerlerinin 0 °C altına düştüğü gün sayısı ortalama 132 gündür.

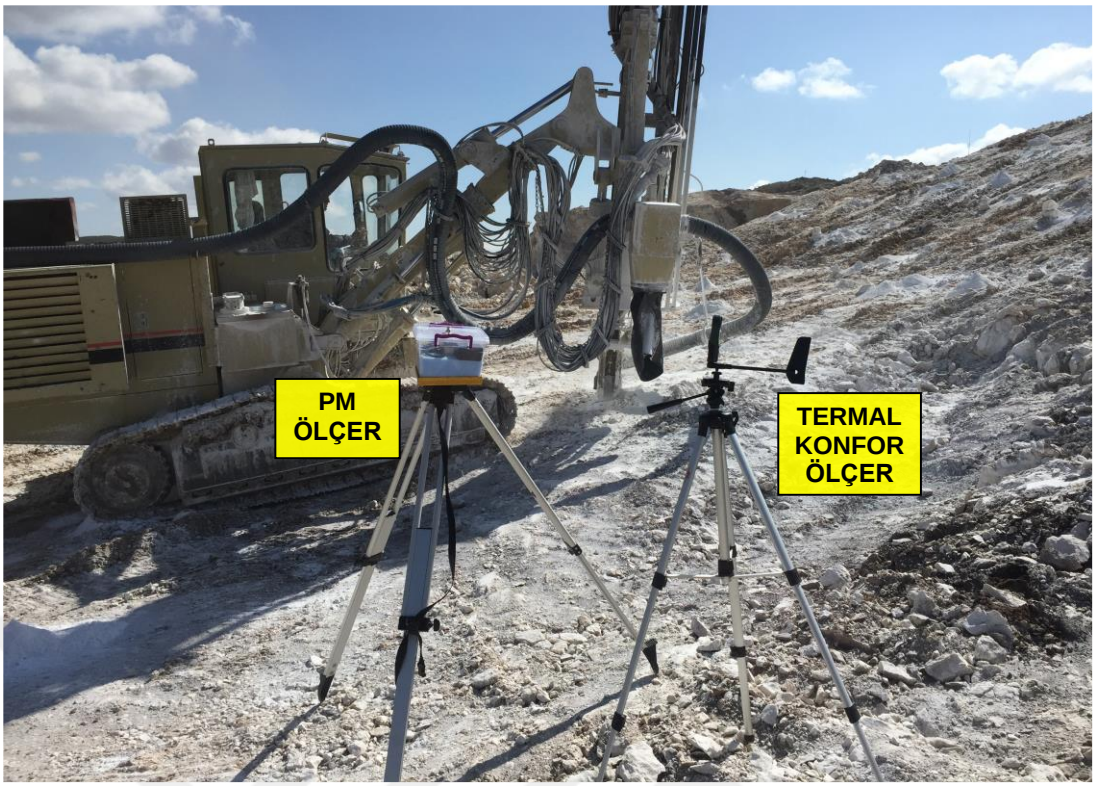
Karasal iklim özelliğine sahip olan Sivas'ta; yağışlar kış, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde görülür. Yazları genellikle kurak geçmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 420 mm'dir. Yağışların %22'si sonbahar, %36'sı ilkbahar, %32'si kış ve %10'luk bölümü yaz aylarında düşer. Kış aylarında sıcaklığın düşük olması nedeniyle yağışlar genellikle kar şeklinde, diğer

mevsimlerde ise yağmur şeklindedir. Yağışlı gün sayısı (kar yağışları dahil) 105'tir. İlkbahar sonu yaz başlarında, dolu yağışları da görülür. Dolu yağışlı gün sayısı ortalama 4'tür. Kar yağışlı gün sayısı ortalama 30 olup, kar kalınlığı 20 cm civarındadır.

Sivas çevresinde ortalama basınç 853,2 milibardır. Yaz aylarında bir alçak basınç merkezi olduğu için özellikle kuzey sektörlü rüzgârlara açıktır. Sivas yöresinde yıl içinde esen rüzgârların %19,3'ünü kuzeybatıdan esen karayel, %16,8'ini kuzeydoğudan esen poyraz, %18,1'ini kuzeyden esen yıldız, kalan bölümünü ise muhtelif rüzgârlar oluşturmaktadır (SÇR, 2021).

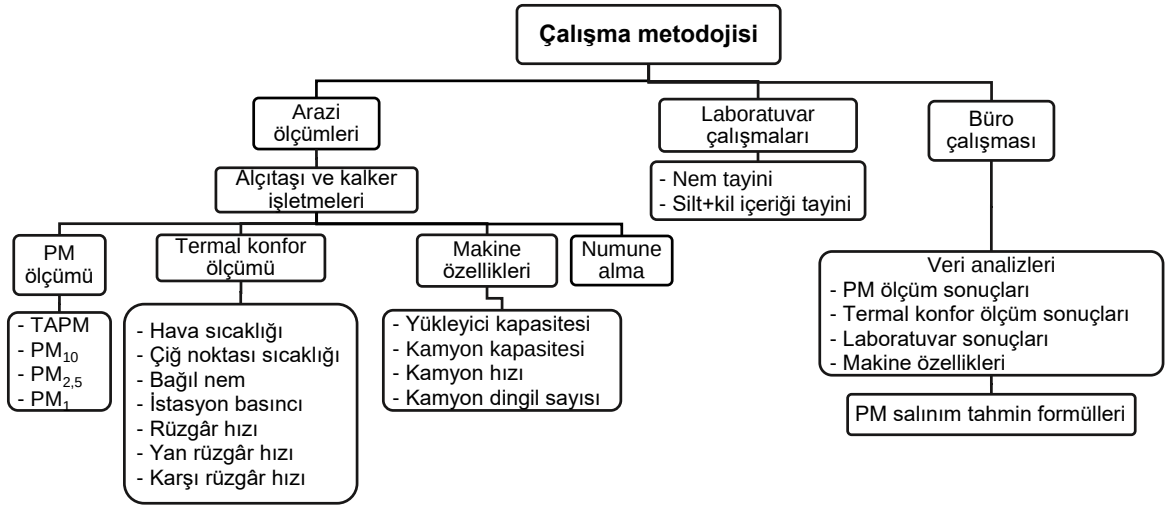
3.3 Çalışma metodolojisi

Bu tez çalışmasında, Sivas ve çevresinde bulunan bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde 2020 - 2021 yılları Mayıs ve Kasım aylarına arasında belirli periyodik aralıklarla (ayda en az bir kez olmak üzere) delme, yükleme ve kamyon taşıma sırasında PM ve termal konfor ölçümleri yapılmıştır. PM ve termal konfor ölçüm süreleri eş zamanlı olarak 10 dakikadan az olmayacak şekilde, iş makinelerinin bir tam çalışma döngüsünü kapsayacak ve yapılan çalışmayı temsil edebilecek sürede olmasına dikkat edilmiştir. Ancak bazı durumlarda iş makinelerinin tam bir çalışma döngü süresi değişebildiğinden, ölçüm süresi de buna paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. El tipi PM ölçüm cihazı ile termal konfor cihazı, iş makinelerine emniyetli bir mesafede (2-10 m) ayrı ayrı olacak şekilde yan yana üçayaklı bir takeometre sehpası (PM ölçer) ile diğer bir üçayaklı sehpa (termal konfor cihazı) üzerine monte edilerek, yetişkin bir insanın solunum yüksekliği dikkate alınarak yerden 1,5 m - 1,6 m yükseklikten örnekleme yapacak şekilde konumlandırılmışlardır (Şekil 3.1). Ölçümler sırasında PM cihazının yönü, termal konfor cihazının rüzgâr yön özelliği kullanılarak rüzgâr yönüne paralel olacak şekilde konumlandırılmıştır. PM ölçüm cihazının veri alım zamanları ile ilgili arazide öncel çalışmalar yapılmıştır. Bu göre, PM cihazının özelliği (pompa emiş gücü ve batarya) ve iş makinelerinin çalışma evreleri (kamyon geçiş süresi ve yükleyici çalışma periyodu gibi) dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda PM ölçüm cihazı 10 s/veri, termal konfor cihazı ise 5 s/veri alınacak şekilde gerekli düzenlemeler yapılmıştır.



Şekil 3.1 PM ve termal konfor ölçüm donanımı.

Üç aşamada gerçekleştirilen çalışma yöntemi genel hatlarıyla aşağıda verilmiştir (Şekil 3.2). İlk aşamada, PM ölçüm cihazı ile eş zamanlı olarak TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_{1}, termal konfor cihaz ile hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı, karşı ve yan rüzgâr hızları ölçülmüştür. Bu ölçümler yapılırken yükleyici ve kamyon kapasitesi, kamyon hızı, kamyon dingil sayısı gibi makine özellikleri ile süreölçer yardımıyla faaliyet türlerinin zamanları da kayıt altına alınmıştır. Ayrıca, ölçüm sırasında eş zamanlı olarak malzeme özelliklerini temsil eden numuneler (5 dk/numune) alınmıştır. İkinci aşamada; araziden ölçümler sırasında alınan temsili numunelerin laboratuvarda nem ve silt+kil analizleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada ise; araziden alınan ölçüm verileri, makine özellikleri ve laboratuvardan elde edilen veriler PM salınım kestirim denklemlerinin türetilmesinde kullanılmıştır. Bunun için farklı iki veri analiz programından (SPSS ve WEKA) faydalanılmıştır. PM salınım kestirim denklemlerinin türetilmesinde; PM ölçümleri bağımlı değişken, termal konfor parametreleri, makine özellikleri ve laboratuvar ölçüm sonuçları bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.2 PM salınım kestirim denklemlerinin türetilmesi ve değerlendirme aşamaları

Tez kapsamında ölçümler ve hesaplamalar yukarıdaki yönteme uygun olarak gerçekleştirilmiş olup PM madde ölçümü dışında, termal konfor cihazıyla ölçülen ve laboratuvarda hesaplanan parametreler aşağıda verilmiştir.

3.4 Ölçülen ve Türetilen Büyüklükler

Termal konfor cihazı yardımıyla ise aşağıdaki parametreler ölçülmüştür.

a) Sıcaklık (°C): Bir maddenin ısı veya moleküler hareketinin derecesinin ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Teorik olarak, moleküler hareketin durduğu varsayılan mutlak sıfır değerli bir ölçek üzerinden ölçülmektedir. Sıcaklık değeri termal konfor ölçüm aletleri (termometre) veya aşağıdaki formül üzerinden hesaplanabilmektedir.

$$T = \frac{243.04*[(17.625*T_d)/(243.04+T_d) - ln(RH/100)]}{17.625+ln(RH/100)-(17.625*T_d)/(243.04+T_d)} \quad [3.1]$$

Burada;
T : Kuru termometre veya hava sıcaklığı (°C)
T_d : Çiğ noktası sıcaklığı (°C)
RH : Bağıl nem (%)

b) Bağıl nem (%): Belirli bir sıcaklıkta havadaki su buharının, o sıcaklıkta bulunabilecek maksimum miktara oranıdır. Bağıl nem, termal konfor ölçüm aletleri veya hava sıcaklıkları (kuru ve ıslak termometre) ile istasyon basıncı ve çiğ noktası sıcaklıklarına bağlı olarak ayrı ayrı hesaplanabilmektedir.

$$RH = 100 * \left[\frac{\exp((17.625*T_d)/(243.04+T_d))}{\exp((17.625*T)/(243.04+T))}\right] \quad [3.2]$$

$$RH = \frac{100*[exp[1.8096+((17.2694*T_w)/(237.3+T_w))]-7.866*10^{-4}*P*(T-T_w)*(1+T_w/610)]}{exp[1.8096+(17.2694*T)/(237.3+T)]} \quad [3.3]$$

$$RH = \frac{100*exp[1.8096+(17.2694*T_d)/(237.3+T_d)]}{exp[1.8096+(17.2694*T)/(237.3+T)]} \quad [3.4]$$

Burada;
T_w : Islak termometre sıcaklığı (°C)
P : İstasyon basıncı (mb)

c) İstasyon basıncı (mb): Belirli bir yükseklikte gözlemlenen basınç olup aynı zamanda bir yerin gerçek barometrik basıncı olarak da ifade edilmektedir. İstasyon basıncı termal konfor cihazı veya aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$P = 1013.25 * [(288 - 0.0065 * h)/288]^{5.2561} \quad [3.5]$$

$$P = 1013.25 * (1 - 2.25577 * 10^{-5} * h)^{5.25588} \quad [3.6]$$

Burada;
h : Deniz seviyesinden yükseklik (m)

d) Rüzgâr hızı (m/s): Yeryüzü ile ilişkili olarak, genellikle yatay yönde yer değiştiren hava hareketidir.

e) Çiğ noktası sıcaklığı (°C): Atmosferin yeryüzüne yakın kısmında havadaki su buharının, genellikle bulutsuz havalarda, sabit basınçta ve ışınım kaybıyla hava sıcaklığının düşmesiyle cisimler üzerinde yoğuşarak oluşan sıvı su damlacıklardır.

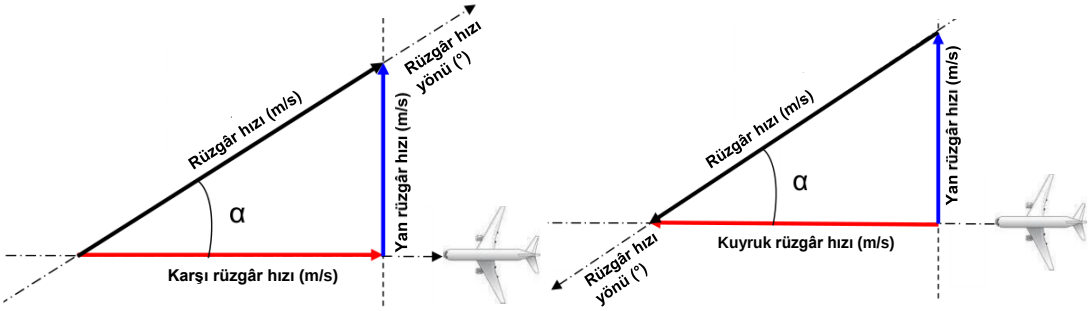
$$Td = \frac{243.04*[ln(RH/100)+(17.625*T)/(243.04+T)]}{17.625-ln(RH/100)-(17.625*T)/(243.04+T)} \quad [3.7]$$

$$Td = \frac{237.7*[ln(RH/100)+(17.271*T)/(237.7+T)]}{17.271-ln(RH/100)-(17.271*T)/(237.7+T)} \quad [3.8]$$

f) Yan ve karşı/kuyruk rüzgâr (m/s): Yan rüzgâr hareket yönüne dik esen rüzgâr, karşı/kuyruk rüzgâr ise, hareket yönünde paralel olarak esen rüzgâr olarak ifade edilmektedir. Bu rüzgâr karşıdan eserse pozitif (karşı rüzgâr), arka taraftan esmesi durumunda negatif (kuyruk rüzgâr) değerini almaktadır (Şekil 3.3). Rüzgâr esme yönüne bağlı olarak yan ve karşı/kuyruk rüzgâr aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$Yan\ rüzgar = rüzgar\ hızı * \sin(rüzgar\ hızı\ yönü) \quad [3.9]$$

$$Karşı/kuyruk\ rüzgar = rüzgar\ hızı * \cos(rüzgar\ hızı\ yönü) \quad [3.10]$$



Şekil 3.3 Yan ve karşı/kuyruk rüzgâr yönleri (Url-13, 2021)

3.5 Hesaplanan büyüklükler

3.5.1 Silt+kil içeriği ve nem tayini

Kalker ve alçıtaşı ocaklarında delme, yükleme ve taşıma işlemleri sırasında ayrı ayrı eşzamanlı PM salınımı ve termal konfor parametreleri alınırken çalışılan malzemenin nem ve silt+kil içeriklerini belirlemek için her bir ölçüm süresi içinde 5 dk / 1 kg civarında temsili numuneler alınmıştır. Bu numunelerin 500 g'lık kısmı analizlerde (silt+kil içeriği ve nem tayini) kullanılmış olup diğer yarısı ise şahit numune olarak saklanmıştır. Şekil 3.4'de delme ve taşıma işlemleri sırasında numune alımı görülmektedir.

Sahadaki ölçümleri takiben en fazla 8 saatlik süre içerisinde Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Cevher Hazırlama Anabilim Dalı laboratuvarlarına getirilen 1 kg'lık numunelerden konileme - dörtleme yöntemi ile yaklaşık 45 - 65 g'a kadar küçültülen numuneler, 0,01 g hassasiyete sahip sayısal terazi ile tartılmıştır. Silt+kil içeriği için ASTM E-11 ve ISO 3310-1 (TS, 2019) standartlarına uygun malzemenin boyut dağılımı, $2^{½}$ geometrik elek serisine göre 216 µm, 150 µm, 106 µm ve 75 µm göz açıklığına sahip elekler kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.5). Yaklaşık 10 dak boyunca eleme yapıldıktan sonar malzeme kabında toplanan -75 µm elek altı malzeme hassas terazi ile tartılmış ve kütlesi, toplam numune kütlesine oranlanarak, silt+kil içeriği yüzde olarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3.11). Elde edilen veri toz salınımı modellerinde bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Delme ve taşıma operasyonlarında örnekleme



Şekil 3.5 Konileme-dörtleme yöntemi ve mevcut elek serisi ile kuru eleme

$$Silt + kil\ içeriği, S\&K = \frac{B}{A} \cdot 100\ (\%) \qquad [3.11]$$

Burada:
A : Analiz öncesi temsili numune kütlesi (g)
B : Analiz sonrası ≤75 µm boyutundaki numune kütlesi (g)
S&K : Malzemenin kütlece silt+kil içeriği (%)

PM ve termal konfor ölçümü sırasında alınan malzemenin nem tayini Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Cevher Hazırlama Anabilim Dalı laboratuvarlarında yapılmıştır. Kalker ocaklarından alınan numunelerin nem tayini TS EN 1097-1, alçıtaşı ocağından alınan numunelerin nem tayini ise TS 4447 standardı uyarınca gerçekleştirilmiştir (Eşitlik 3.12). Kalker ocaklarından alınmış olan numuneler laboratuvarda 100 g halinde numune kabında tartılarak, ilgili standart uyarınca etüvde 105 °C'de iki saat, alçıtaşı ocağından alınan numuneler yine 100 g halinde numune kabında tartılarak ilgili standart uyarınca etüvde 40 °C'de ½ saat bekletilmiştir. Elde edilen veriler PM salınımı modellerinde bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Nem tayini için kullanılan etüv ve hassas terazi Şekil 3.6'de görülmektedir.



Şekil 3.6 Nem analizinde kullanılan etüv ve hassas terazi

$$Nem\ içeriği, Nem = \frac{B-C}{C-A} \cdot 100\ (\%) \quad [3.12]$$

Burada:
A : Numunenin içine konduğu kabın kütlesi (g)
B : Orijinal numune ve içine konduğu kabın toplam kütlesi (g)
C : Kuru numune ve içine konduğu kabın toplam kütlesi (g)
Nem : Malzemenin kütlece nem içeriği (%)

3.6 PM ve Termal Konfor Ölçümü

3.6.1 PM ölçüm cihazı

PM ölçümü için kullanılan el tipi cihaz havadaki partikül ve toz konsantrasyonlarını belirlemek için ışık saçma tekniği kullanmaktadır. Standard 1 mm paslanmaz elekli ve lazernefelometre detektörü ile aynı anda TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 parametrelerinin ölçümünü yapmakta olup kaydedilen veriler, daha sonraki analizler için PC-Link yardımıyla bilgisayara aktarılabilmektedir. Binalarda, işyerlerinde ve yol kenarlarında kısa süreli hava kalitesi ölçümü için çok yönlü ve pratik olan cihaz, CEN-TR 16013-3 standardına uygun olarak ölçüm yapmaktadır (Şekil 3.7). Çok hızlı yanıt verebilmekte ve 0,1 µg/m³'e kadar çok düşük konsantrasyonlarda bile havadaki toz ve duman kaynaklarını tespit edebilmektedir. Çevresel dış ortam (eş zamanlı TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ölçümü) ve çalışma ortamı (eş zamanlı TAPM, PM_{10}, PM_4 ölçümü) ayarlarında çalışabilmektedir. 0,6 dak/l hava akış hızı ve 0,01 µg/m³ hassasiyet ile 6000 µg/m³'e kadar (boyut seçimi olmaksızın 60 mg/m³) ölçüm yapmakta olup 0,5 µm ile 20 µm (20 mikronun üzerindeki tüm partikülleri 20 mikron olarak boyutlandırmaktadır) arasındaki PM çaplarını ölçebilmektedir. (Hwang vd., 2014; Dreshaj vd., 2017; Url-14, 2021; Url-15, 2021).



Şekil 3.7 PM ölçüm cihazı (Url-15, 2021).

3.6.2 Termal konfor ölçüm cihazı

Termal konfor ölçümü için kullanılan el tipi cihaz, *Çevresel Mühendislik Öngörüleri ve Laboratuvar Testleri* standartlarına (MIL-STD-810G) uygundur ve bir üçayak sayesinde çok

yönlü bir hava istasyonuna dönüşebilmektedir. Ayrıca, isteğe bağlı LiNK özelliği sayesinde iOS ve Android sistemlerine sahip diğer cihazlara, belli uygulamalar üzerinden kablosuz olarak bağlanıp veri aktarabilmektedir. Termal konfor cihazı rakım, barometrik basınç, yan rüzgâr, rakım yoğunluğu, çiğ noktası, rüzgâr yönü, karşı rüzgâr/kuyruk rüzgârı, sıcaklık indeksi, bağıl nem, istasyon basıncı, sıcaklık, ıslak termometre sıcaklığı, rüzgârın üşütme sıcaklığı ve rüzgâr hızını eş zamanlı olarak istenilen zaman aralığında ölçüp verileri kaydedebilmektedir (Şekil 3.8). Termal konfor cihazı, Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü dökümüne Şubat 2020'de girmiştir.

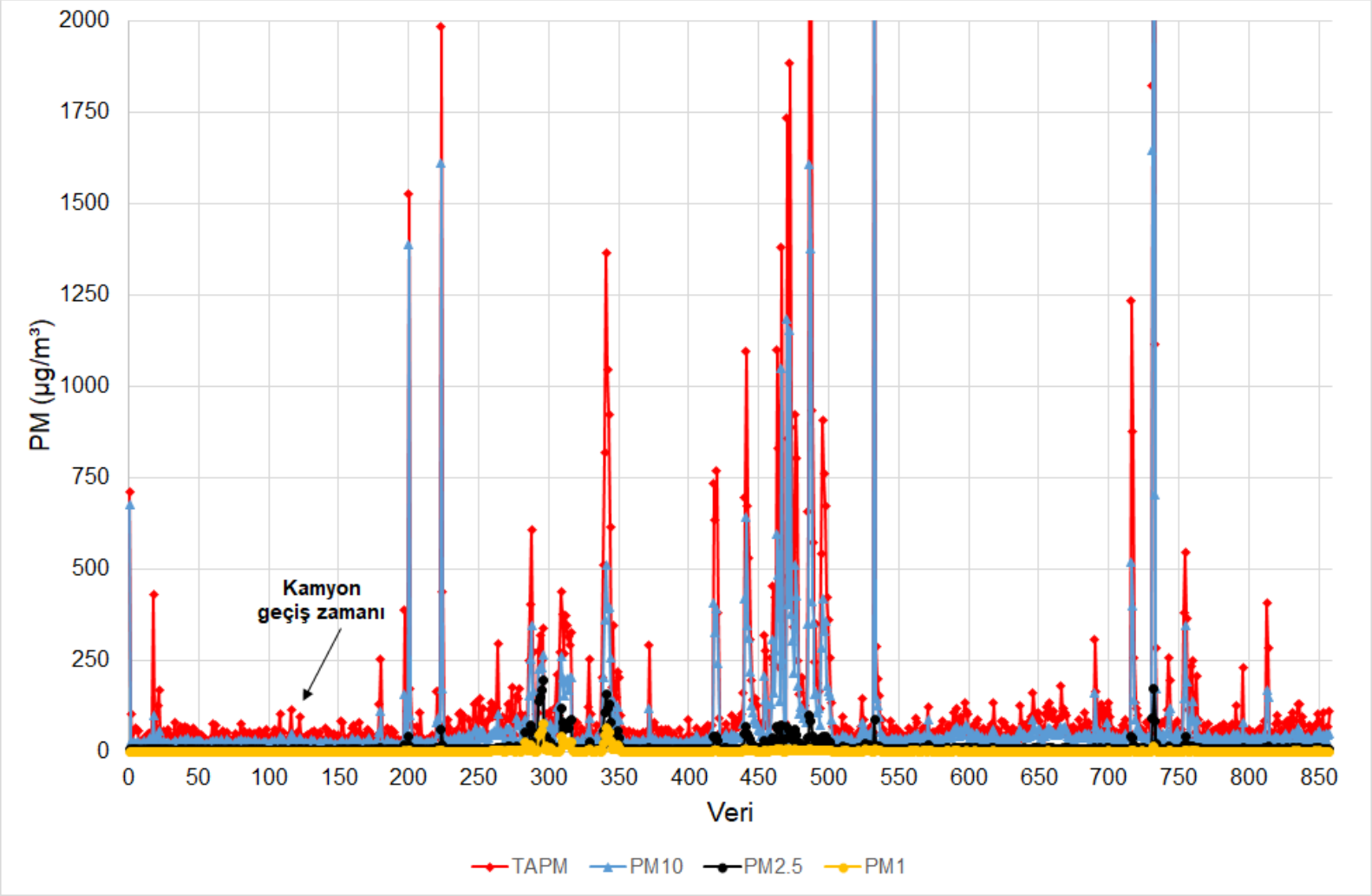


Şekil 3.8 Termal konfor cihazı (Kestrel, 2020).

3.6.3 Verinin işlenmesi

PM ölçümü için kullanılan el tipi cihaz aynı anda TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 parametrelerinin ölçümünü yapmakta olup kaydedilen veriler, daha sonraki analizler için PC-Link yardımıyla bilgisayarda kurulumu yapılan AirQ™ yazılımına aktarılabilmektedir. Bu yazılım, el tipi cihazla ölçülen verileri kaydetmekte ve gerçek zamanlı olarak görüntülenebilmesini sağlamaktadır (Url-15, 2021). PM ölçer ile toz örneklenirken, eşzamanlı olarak başlatılan bir süreölçer yardımıyla da numune alma işlemlerinin zamanlanması ve faaliyetlerin aşamaları (delme, yükleme ve kamyon geçiş zamanı) kayıt altına alınmıştır. AirQ yazılımı herhangi bir faaliyetin evre bazında analizine olanak sağlamadığı için bu cihaz ile kaydedilen veri bilgisayara aktarılmış ve bir tablolama paket programı aracılığıyla evre bazında PM salınımı incelenmiştir.

Termal konfor ölçümü için kullanılan el tipi cihaz ile alınan veriler LiNK özelliği sayesinde bilgisayara aktarılarak EXCEL formatına dönüştürülmüş ve ham PM salınım verisiyle eşzamanlanarak, birleştirilmiştir. Delme ve yükleme sırasında alınan salınım verilerinin tümü PM modelleme çalışmalarında değerlendirilmiştir. Ancak delici ve yükleyicilerin döngülerini oluşturan evrelerin tamamlanma sürelerinin çok kısa (≤1 dak) olması ve PM'lerin havada uzun süreler boyunca asılı kalabilmesi, delme ve yükleme sırasında kaydedilen PM verisinin iş makinesi döngü evrelerine göre bölümlendirilmesini olanaksız kılmıştır. Diğer yandan, kamyonlar yol kenarına kurulan ölçüm istasyonundan seyrek aralıklarla (≥5 dak) geçtiği için taşıma için kaydedilen verinin yalnızca kamyonların istasyon yanından geçtiği bölümleri PM salınım modelleme çalışmalarında değerlendirilmiştir. Taşıma operasyonlarında yol kenarından kaydedilen veriye ait tipik bir PM veri-zaman kütüğü Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Taşıma örneklemesi için zaman kütüğü

3.7 Çalışma uzayı

Bu çalışma kapsamında, Sivas ili civarında bulunan bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde delme, yükleme ve taşıma için PM salınımı (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ve eşzamanlı olarak termal konfor (hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, yan rüzgâr, karşı rüzgâr/kuyruk rüzgârı, bağıl nem, istasyon basıncı ve rüzgâr hızı) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken işlenen malzemeyi temsil eden numuneler alınmış ve makine özellikleri de kaydedilmiştir. Çalışma kapsamında sahada aylar bazında PM salınım ölçümü yapılan maden işletmeleri ve faaliyet türleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Çalışmanın yer aldığı maden işletmeleri ile yapılan sözleşme uyarınca kuruluş isimlerinin deklare edilmeyeceği taahhüt altına alınmış ve kodlanarak verilmiştir. Sivas'ta hâkim iklim koşullarından dolayı maden işletmeleri Aralık - Nisan ayları arasında çalışmamaktadır. Ayrıca Kovid-19 salgını koşulları nedeniyle 2020 yılında ölçümlere alçıtaşı işletmesi hariç ancak 2020 Temmuz ayında başlanabilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışma sırasında ölçüm alınan maden işletmeleri ve veri sayıları

Faaliyet türü	Yıl	Aylar	Ölçüm veri sayısı		
			Alçıtaşı işletmesi	Kalker işletmesi (A)	Kalker işletmesi (B)
Delme	2020	Haziran	40	-	-
		Temmuz	311	-	147
		Ağustos	232	143	106
		Eylül	239	264	101
		Ekim	309	256	-
		Kasım		513	406
	2021	Mayıs	178	-	-
		Haziran	203	187	196
		Temmuz	-	321	-
		Ağustos	317	214	423
		Eylül	-	124	273
		Ekim	-	280	120
		Kasım	-	212	-
Yükleme	2020	Temmuz	33	-	201
		Ağustos	137	199	157
		Eylül	232	144	167
		Ekim	290	119	175
		Kasım	314	501	387
	2021	Mayıs	373	-	-
		Haziran	287	268	410
		Temmuz	590	306	424
		Ağustos	264	278	452
		Eylül	118	94	721
		Ekim	-	-	98
		Kasım	-	156	-
Taşıma*	2020	Temmuz	-	-	104(29)
		Ağustos	181(26)	109(41)	305(152)
		Eylül	210(47)	223(109)	159(63)
		Ekim	596(325)	102(32)	128(54)
		Kasım	251(123)	383(182)	657(483)
	2021	Mayıs	305(107)	-	-
		Haziran	513(77)	448(116)	1068(259)
		Temmuz	358(33)	630(89)	378(105)
		Ağustos	722(51)	922(114)	758(198)
		Eylül	295(29)	397(33)	1141(410)
		Ekim	-	613(76)	858(317)
		Kasım	-	989(248)	-

* Ölçüm veri adedi (modellemede kullanılan veri adedi)

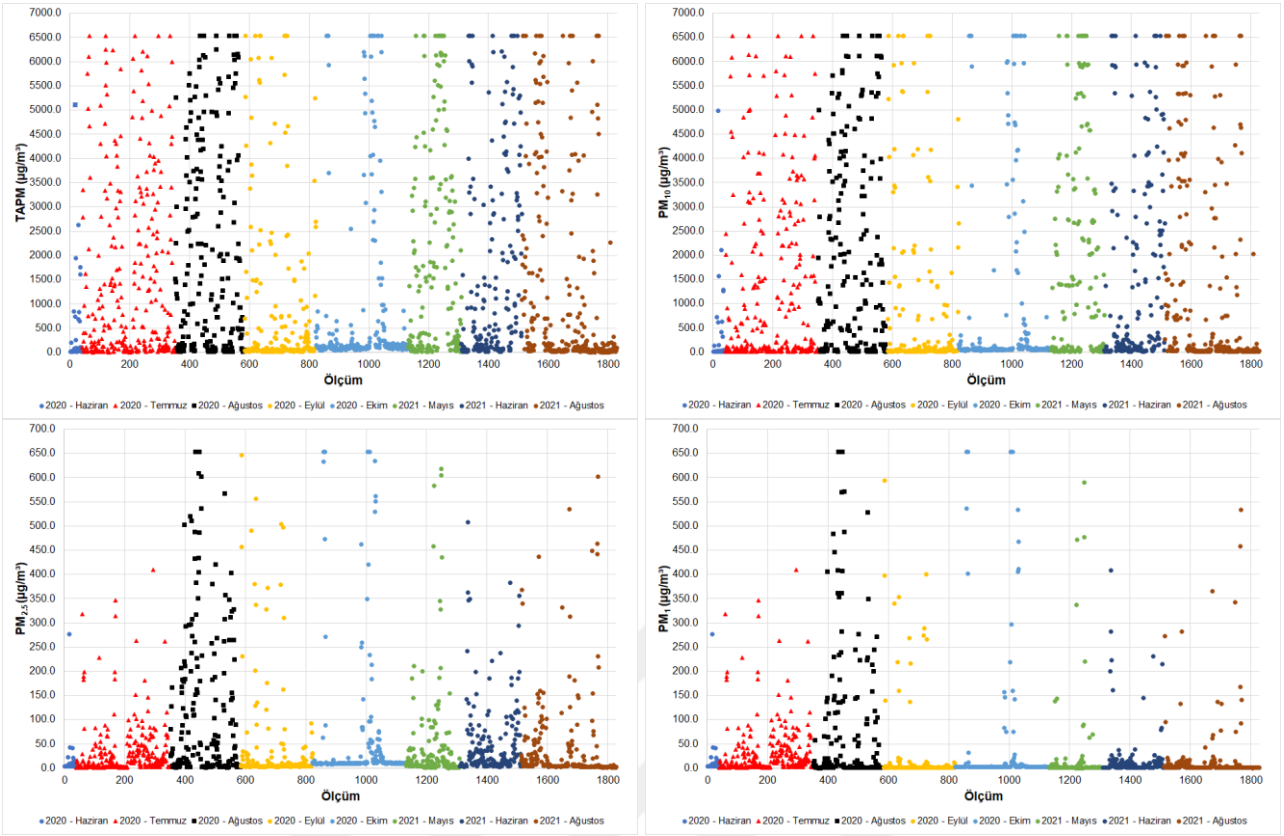
4. PARTİKÜL MADDE, TERMAL KONFOR PARAMETRELERİ ve MALZEME ÖZELLİKLERİ ÖRNEKLEME SONUÇLARI

4.1 Alçıtaşı İşletmesi Delme Faaliyeti

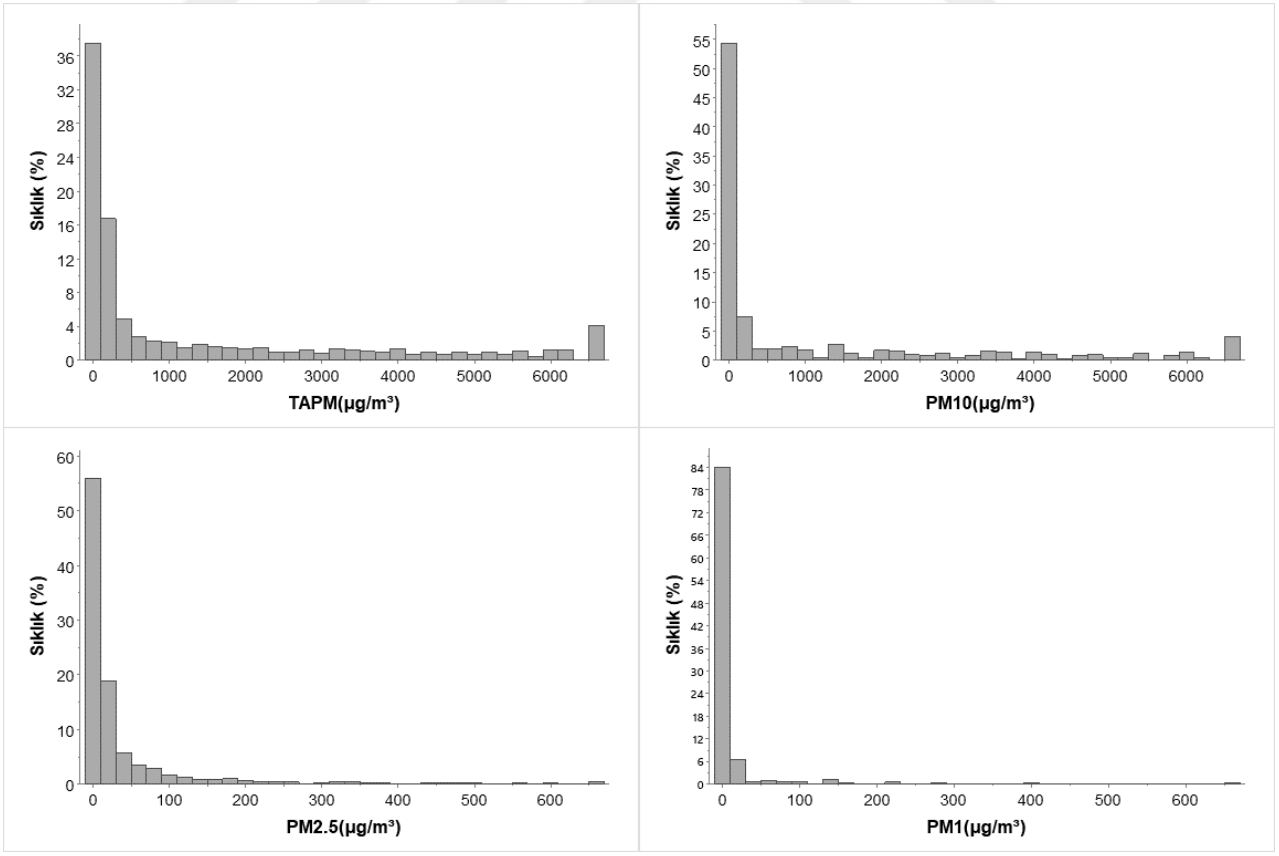
Alçıtaşı işletmesinde Bölüm 3.3'de bahsedilen çalışma yöntemine uygun olarak PM salınım ölçümleri yapılmıştır. İşletmenin faal bulunduğu tarih aralığına uygun olarak, 2020 yılı Haziran - Ekim ayları ile 2021 yılı Mayıs - Ağustos ayları arasında toplam 1829 adet ölçüm verisi alınmıştır. Ölçümler, delici iş makinesinin tam bir çalışma döngüsünü (delik delme, tij takma ve sökme, yürüme, delik delmek için manevra yapma gibi) kapsayacak uzunlukta tutulmuştur. PM ölçüm değerleri ay ve yıl bazında değişiklik göstermiştir. Aylar bazında PM salınımı Şekil 4.1'de verilmiştir. Havadaki PM miktarı kurak aylarda (Haziran - Ağustos ayları arası) diğer aylara göre (Ekim - Kasım ayları arası) daha yüksek olup verideki en büyük saçılım Ağustos ayında, en düşük saçılım ise Ekim ayında meydana gelmiştir. Şekil 4.2'de verilen PM salınım histogramları incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Buna göre;

a) TAPM salınımı 3,9 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %37,56'sı 3,9 - 100 µg/m³, %16,78'i 100 - 300 µg/m³ arasındadır. 300 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %4,9 ile %0,65 arasında değişmiştir.
b) PM_{10} salınımı 3,7 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup, PM_{10} verilerinin yaklaşık %54,40'ı 3,7 - 100 µg/m³, %7,54'ü 100 - 300 µg/m³ arasındadır. 300 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %2,02 ile %0,43 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,2 - 652,79 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %56,0'ı 0 - 10 µg/m³, %18,91'i, 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 300 - 652,79 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %2,02 ile %0,43 arasında değişmiştir.
d) PM_1 salınımı 0,1 - 652,79 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %84,14'ü 0 - 10 µg/m³, %6,72'si 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 300 - 652,79 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %0,65 ile %0,10 arasında değişmiştir.

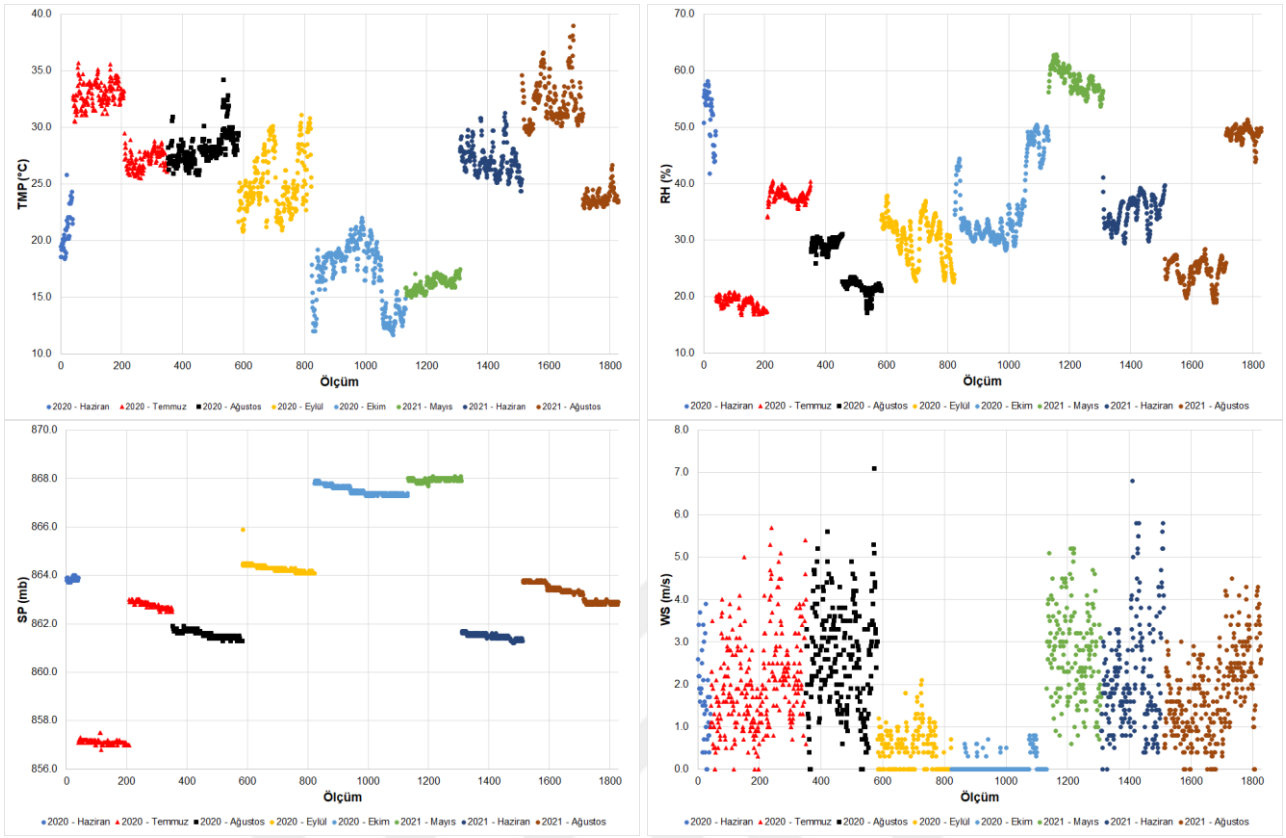
Termal konfor değerleri ay ve yıl bazında değişiklik göstermiştir. Havadaki PM miktarının yüksek olduğu aylarda hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı yüksek, bağıl nem düşüktür (Şekil 4.3). PM ve termal konfor parametrelerinin aksine nem ve silt+kil içerikleri aylar ve yıllar bazında yapılan ardışık ölçümlerde değişiklik göstermiştir. Bunun temel sebepleri arasında delinen formasyonun homojen bir yapıya sahip olmaması, delikte belirli bir ilerlemeden sonra suya girilmesi ve iklimsel koşulların sürekli olarak değişkenlik göstermesidir. Laboratuvarda elde edilen sonuçlar, nem ile silt+kil arasında negatif ilgileşim olduğuna işaret etmiştir. Yüksek PM salınımı durumunda nem değerleri düşük, silt+kil içerikleri yüksektir. Nem değerleri %0,15 - %1,93, silt+kil içerikleri ise %24,33 - %67,89 arasında değişmiştir (Şekil 4.4). İstatistiksel analizlerde bağımlı değişken olan PM salınımı ile bağımsız değişkenler (sahadan alınan termal konfor parametreleri ile laboratuvarda hesaplanan nem ve silt+kil içeriği) arasında, PM salınım verisinin büyük çaplı saçılım göstermesi nedeniyle güçlü ilgileşim bulunamamıştır.



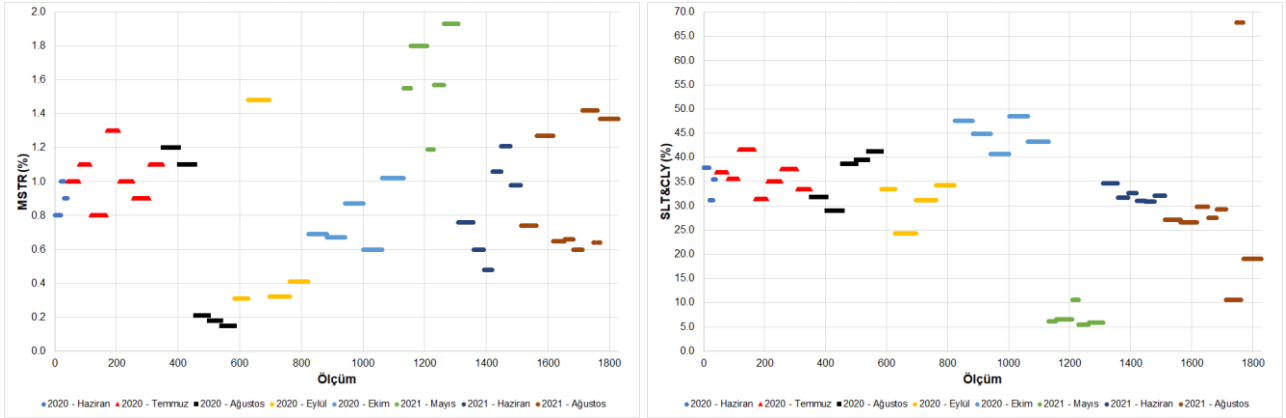
Şekil 4.1 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınımı



Şekil 4.2 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınım histogramları



Şekil 4.3 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti termal konfor parametreleri



Şekil 4.4 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği

4.2 Kalker İşletmesi (A) Delme Faaliyeti

Kalker işletmesi (A) faal bulunduğu tarih aralığına uygun olarak 2020 yılı Ağustos - Ekim ayları, 2021 yılında ise Haziran - Kasım ayları arasında toplam 2514 adet ölçüm verisi alınmıştır. PM salınımları ay ve yıl bazında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.5). Genel olarak bakıldığında, TAPM ve PM_{10} ölçüm sonuçları 300 µg/m³'ün altında, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ölçüm sonuçları ise 30 µg/m³'ün altında daha fazla yoğunlaşmaktadır. Havadaki PM miktarı kurak aylarda (Temmuz - Eylül ayları arası) diğer aylara göre (Ekim ayı) daha yüksektir. Verideki en geniş ve en dar

yayılım, sırasıyla, Kasım ve Ekim aylarına aittir. Şekil 4.6'da verilen delme faaliyeti PM salınım histogramlarının değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

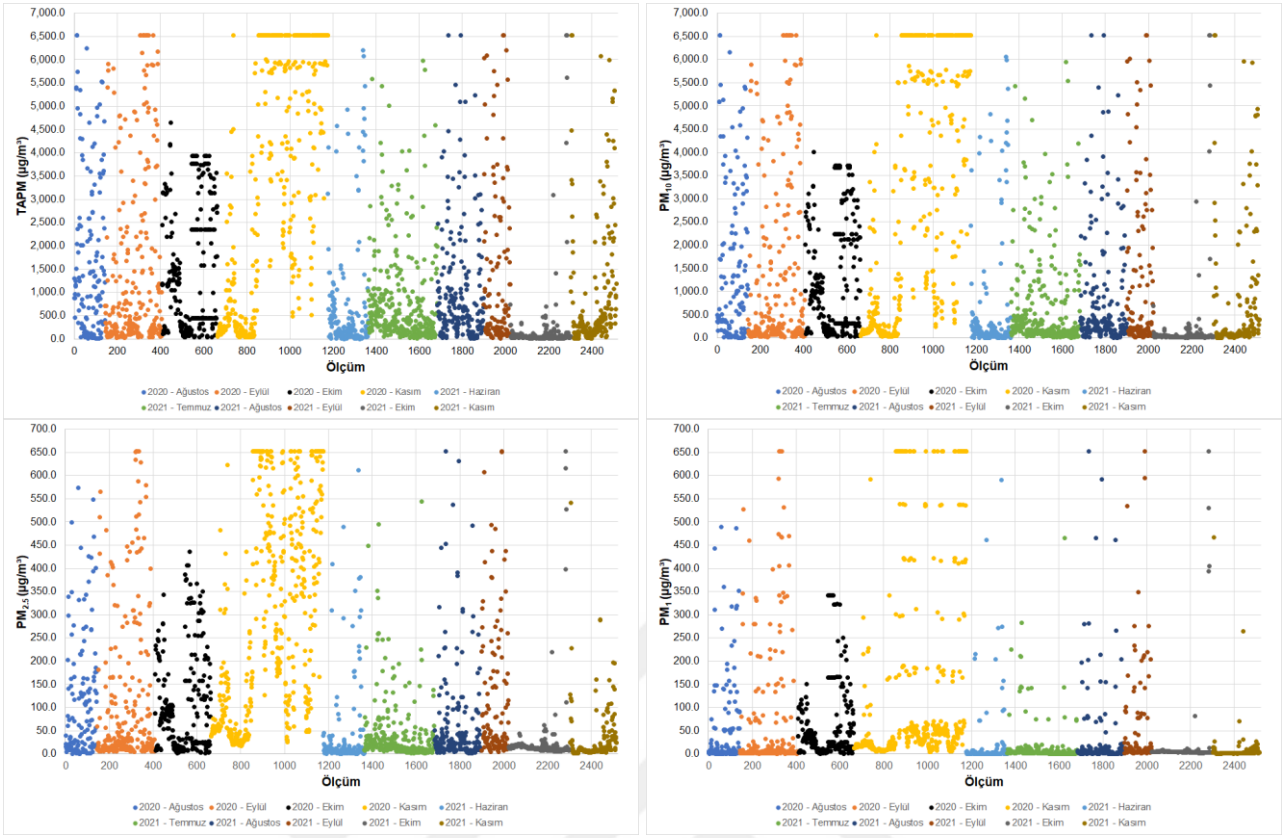
a) TAPM salınımı 2,1 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %23,50'si 2,1 - 100 µg/m³, %18,17'si 100 - 300 µg/m³ ve %9,74'ü 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %4,73 ile %0,19 arasında değişmiştir.
b) PM_{10} salınımı 2,0 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %34,12'si 2,0 - 100 µg/m³, %19,30'u 100 - 300 µg/m³ ve %6,88'i 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %2,54 ile %0,16 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,49 - 652,79 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %26,21'i 0 - 10 µg/m³, %25,90'ı, 10 - 30 µg/m³ ve %9,02'si 30 - 50 µg/m³ arasındadır. 50 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %4,21 ile %0,19 arasında değişmiştir.
d) PM_1 salınımı 0,11 - 652,79 µg/m³ aralığında olup, ölçülen PM_1 verilerinin yaklaşık %61,41'i 0 - 10 µg/m³, %15,07'si 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 30 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %4,93 ile %0,16 arasında değişmiştir.

Termal konfor ölçüm değerleri ay ve yıl bazında değişiklik göstermektedir. Yüksek PM salınımı kaydedilen aylarda hava sıcaklığı yüksek, rüzgâr şiddetli ve bağıl nem düşüktür (Şekil 4.7).

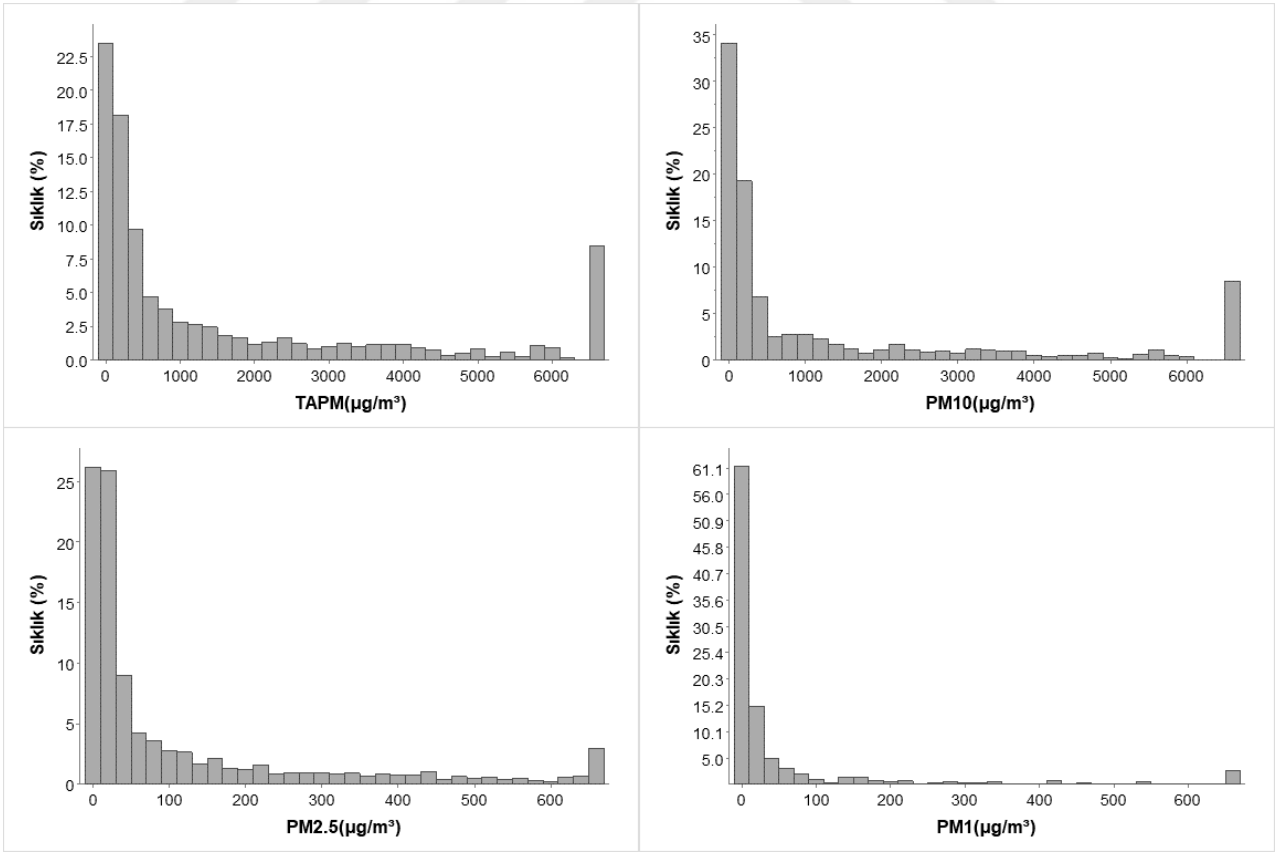
Nem ve silt+kil içerikleri kurak ve yağışlı olarak karakterize edilebilecek mevsimlerde farklılık göstermiştir. Bunun nedenleri arasında delinen tabakaların mineralojik ve petrografik bakımdan homojen olmaması, tabakaların içinde su tutma özelliği olan kil bantlarının bulunması, delinen tabakaların çatlaklı yapısı nedeniyle atmosferik koşullara bağlı olarak yeraltına sızan suların etkisi yer almıştır.

Sahada örneklenen malzemenin nem ve silt+kil içeriği arasında negatif orantı vardır. Yüksek PM konsantrasyonları düşük nem ancak yüksek silt+kil içeriği ile karakterize olmuştur. İşletmede nem değerleri %0,06 - %1,87 ve silt+kil içerikleri ise %0,64 - %16,9 arasında değişmiştir (Şekil 4.8).

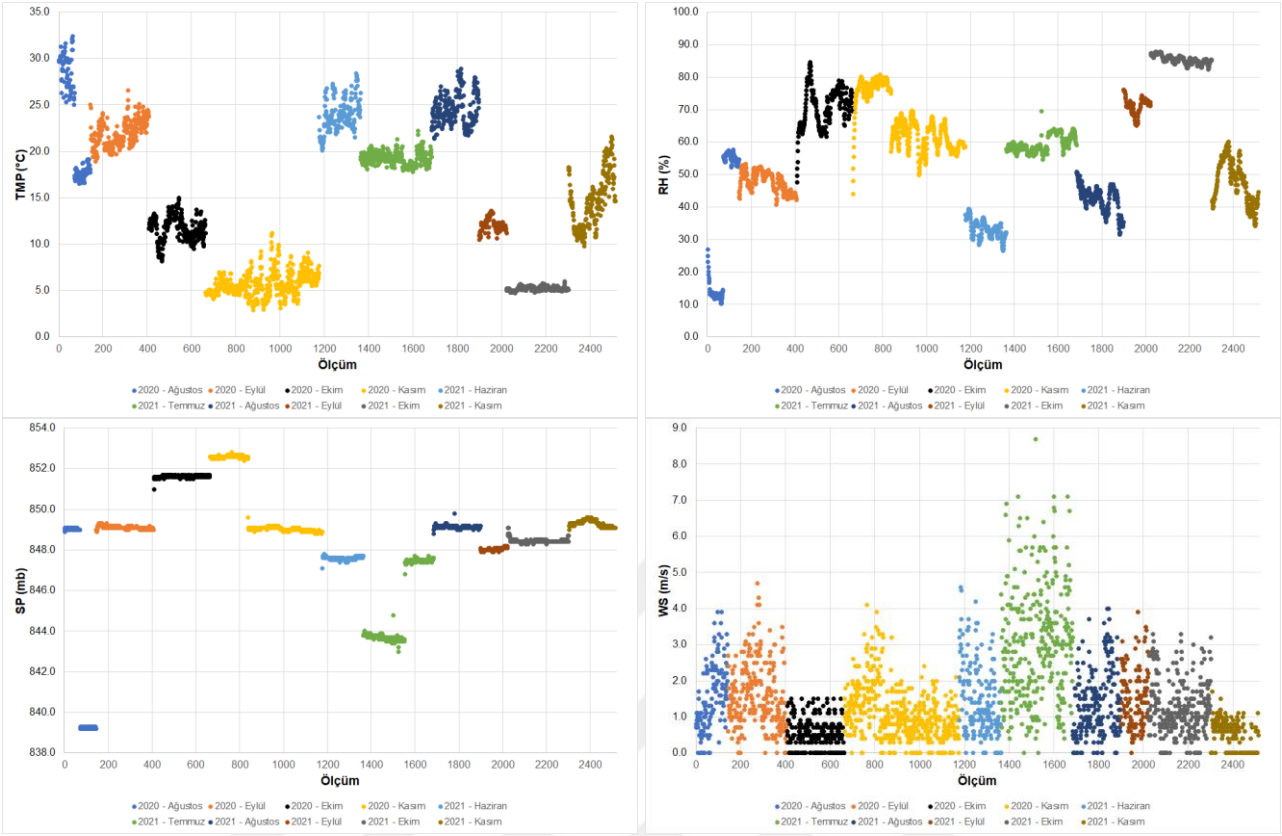
Kaydedilen PM verisinin (bağımlı değişken) çok geniş bir aralığa saçılmasından ötürü kendisiyle termal konfor parametreleri ile nem ve silt+kil (bağımsız değişkenler) arasında anlamlı bir ilgileşime erişilememiştir. Diğer bir deyişle, herhangi bir bağımsız değişkenin havadaki PM miktarındaki değişimleri açıklama kapasitesi çok düşüktür.



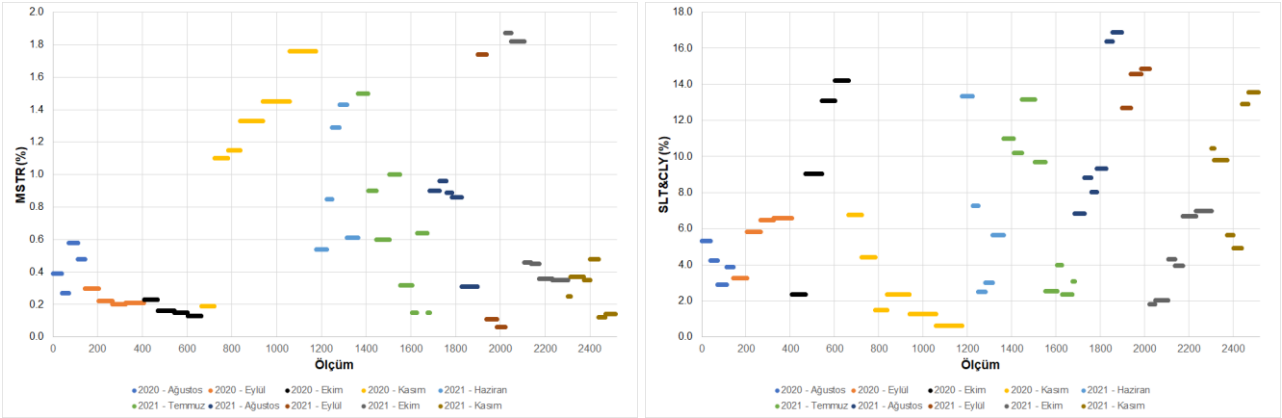
Şekil 4.5 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM salınımı



Şekil 4.6 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM salınım histogramları



Şekil 4.7 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti termal konfor parametreleri



Şekil 4.8 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği

4.3 Kalker İşletmesi (B) Delme Faaliyeti

Kalker işletmesi (B) faal bulunduğu tarih aralığına uygun olarak 2020 yılı Temmuz - Kasım ayları, 2021 yılında ise Haziran - Ekim ayları arasında toplam 1772 adet ölçüm verisi alınmıştır. Aylar bazında PM salınım değerlerinin verildiği Şekil 4.9'da genel olarak TAPM ve PM_{10} miktarları 100 µg/m³'ün altında, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ölçüm sonuçları ise 30 µg/m³'ün altında bulunmaktadır.

Partikül madde salınımı, Temmuz - Ağustos arasındaki kurak aylarda, yağış içerebilen Kasım ayına oranla daha yüksektir. Bunun yanında havadaki PM yoğunluğu Ağustos ayında en büyük saçılıma sahipken Kasım ayında yoğunluk verileri daha dar aralıkta değişmiştir. Delme faaliyeti sırasında ölçülen PM'lerin histogramları Şekil 4.10'da verilmiştir. Buna göre;

a) TAPM salınımı 1,6 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %62,02'si 1,6 - 100 µg/m³, %16,76'sı 100 - 300 µg/m³ ve %4,96'sı 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %2,25 ile %0,45 arasında değişmiştir.
b) PM_{10} salınımı 1,5 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %76,75'i 1,5 - 100 µg/m³, %8,69'u 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %2,37 ile %0,28 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,56 - 652,79 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %50,28'i 0 - 10 µg/m³, %37,30'u, 10 - 30 µg/m³ ve %3,61'i 30 - 50 µg/m³ arasındadır. 50 - 652,79 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %1,69 ile %0,11 arasında değişmiştir.
d) PM_1 salınımı 0,18 - 652,79 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %92,05'i 0 - 10 µg/m³, %4,45'i 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 30 - 652,79 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %0,39 ile %0,01 arasında değişmiştir.

Termal konfor ölçüm değerleri ay ve yıl bazında değişiklik göstermektedir. Yüksek PM miktarı ile hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı arasında pozitif, bağıl nem arasında negatif ilgileşim vardır (Şekil 4.11).

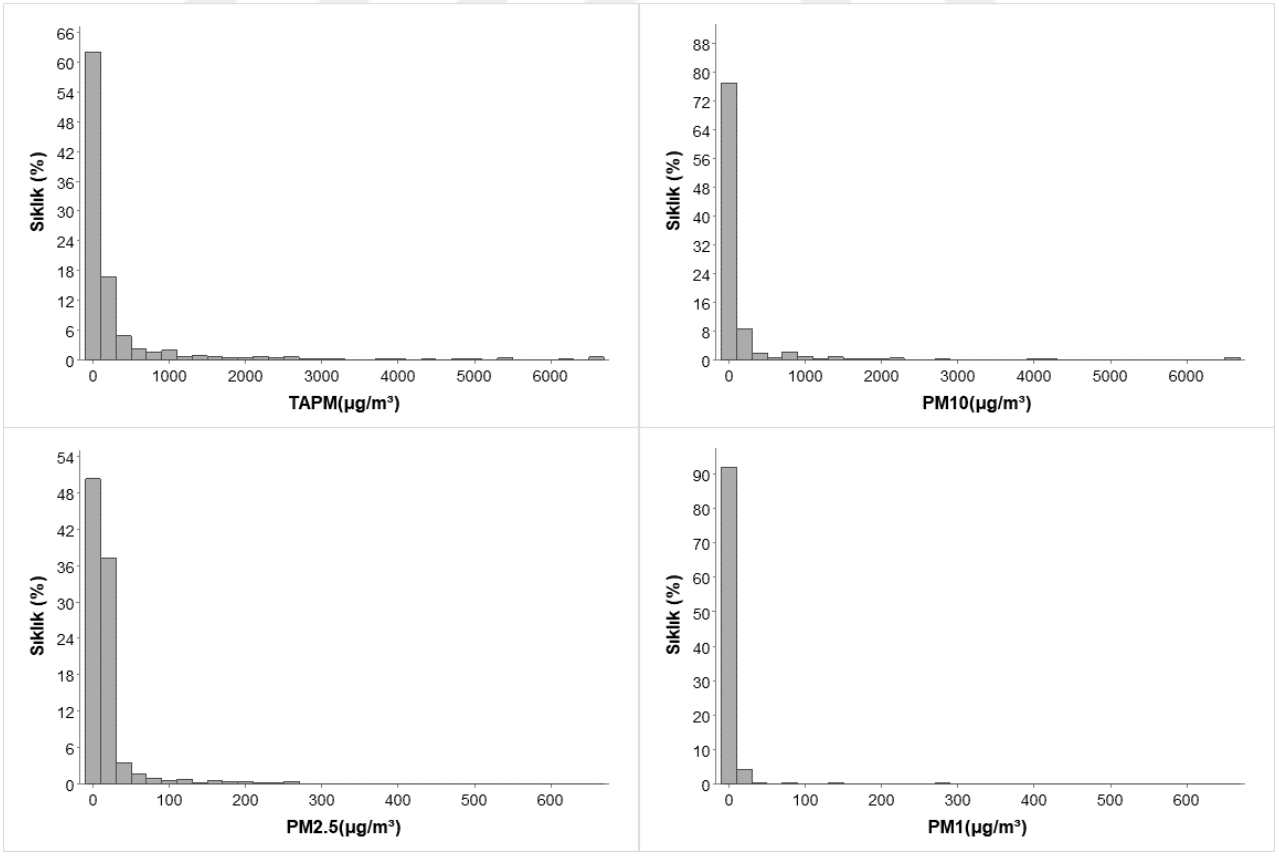
PM ürettiği için örneklenen malzemenin nem ve silt+kil içeriği farklı zamanlarda yapılan ölçümler arasında farklılığa yol açmıştır. Delinen tabakaların kayaç türü bakımından heterojen yapısı, barındırdıkları kil bantlarının su tutması, çatlaklı yapılarından ötürü bünyelerine tozumayı azaltacak etki yapan su sızması ve iklimsel koşulların sürekli olarak değişkenlik göstermesi bu farklılıkları açıklayacak faktörlerdir.

Laboratuvar analizleri, malzemenin nem ve silt+kil içeriği arasında negatif orantı göstermiştir. Yüksek PM salınımı, malzemenin nem içeriği ile negatif ancak silt+kil içeriği ile pozitif ilgileşime sahiptir. Nem değerleri %1,24 - %9,82, silt+kil içerikleri ise %0,0 - %14,93 arasında değişmiştir (Şekil 4.12).

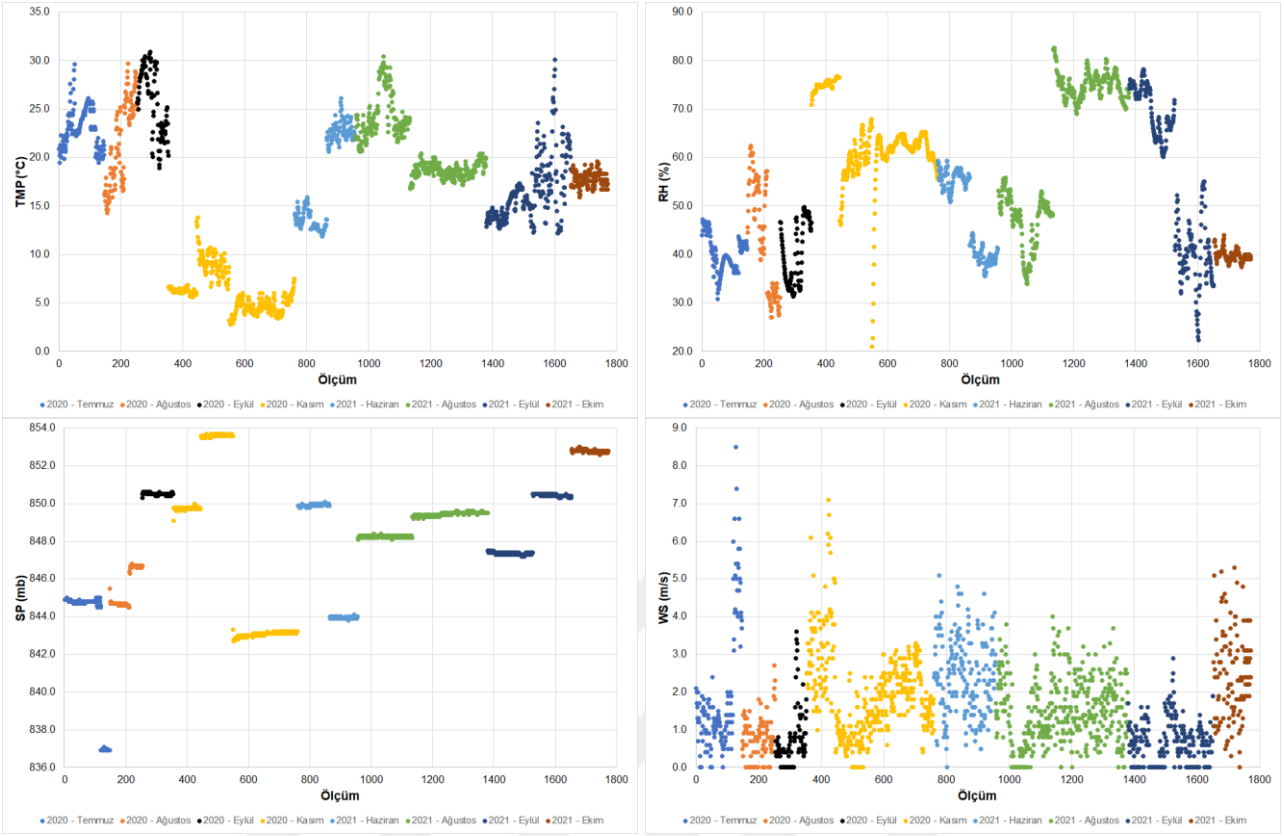
PM salınım değerlerinin (bağımlı değişken) oldukça geniş bir aralıkta dalgalanmasından ötürü termal konfor parametreleri ile malzeme özellikleri (bağımsız değişkenler) bu değişimi açıklamada yetersiz kalmışlardır.



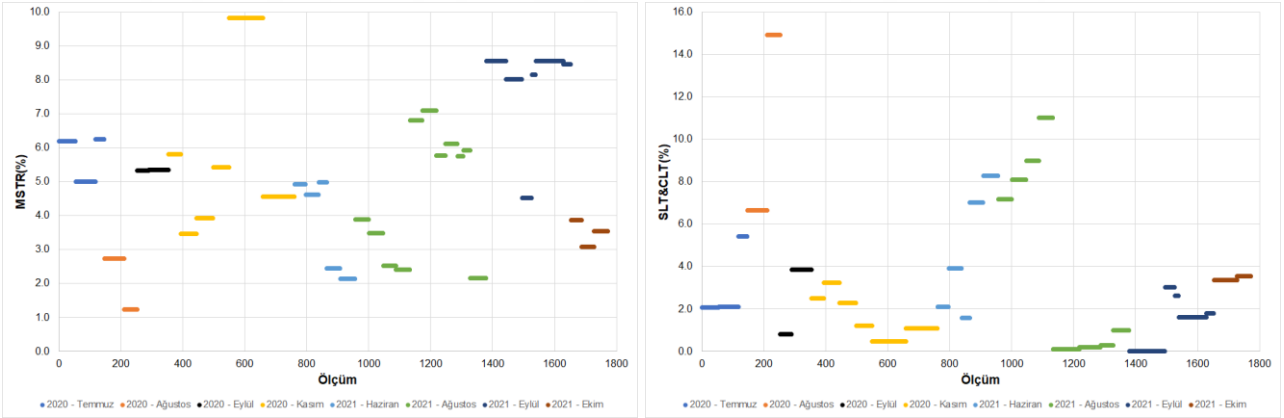
Şekil 4.9 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınımı



Şekil 4.10 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınım histogramları



Şekil 4.11 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti termal konfor parametreleri



Şekil 4.12 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği

4.4 Kalker İşletmeleri Delme Faaliyeti

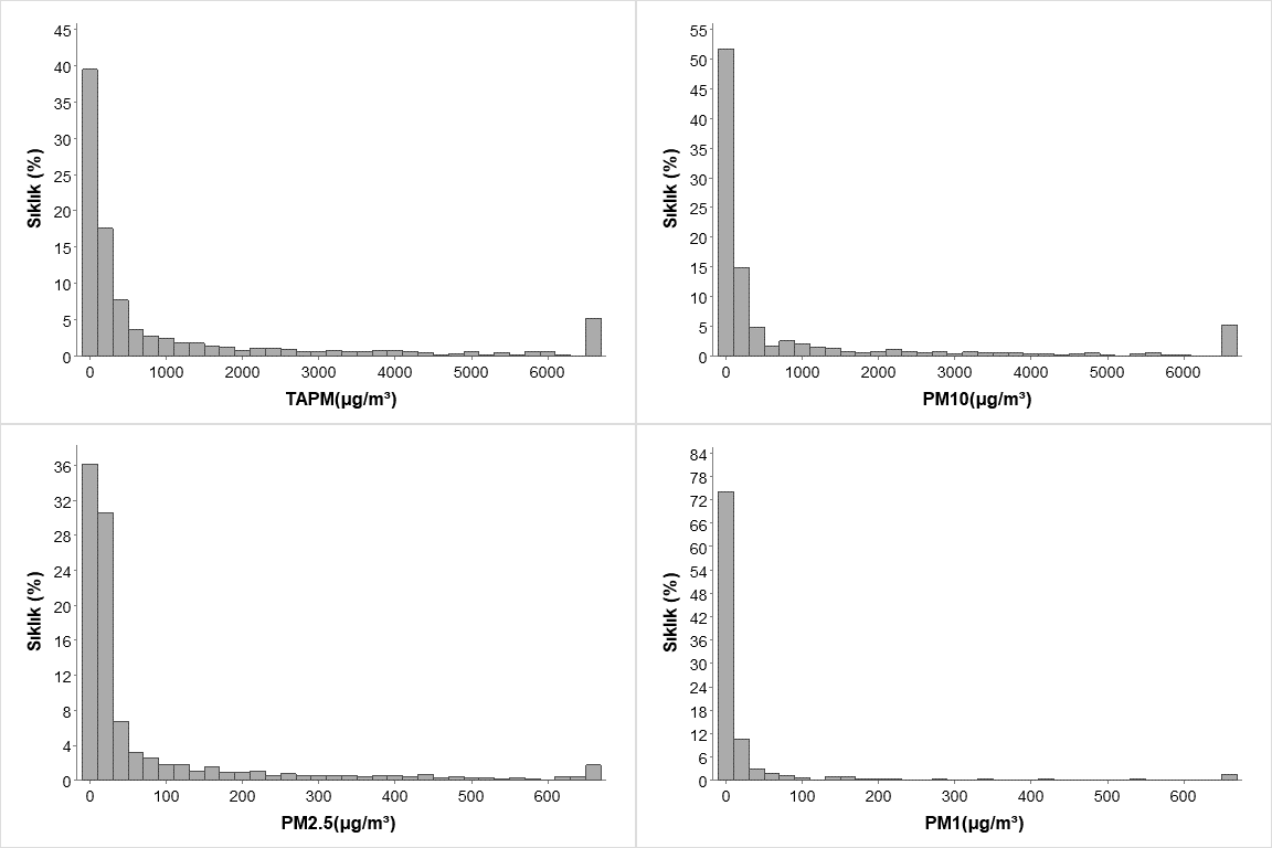
Kalker işletmeleri (A) ve (B)'de delme faaliyeti sırasında kaydedilen 4286 adet veri, modelleme aşamasında kullanılmak üzere bir tablolama programı ile birleştirilmiş ve PM salınım histogramları Şekil 4.13'de sunulmuştur. Buna göre;

a) TAPM salınımı 1,6 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %39,43'ü 1,6 - 100 µg/m³, %17,60'ı 100 - 300 µg/m³ ve %7,76'sı 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %3,70 ile %0,23 arasında değişmiştir.

b) PM_{10} salınımı 1,5 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %51,75'i 1,5 - 100 µg/m³, %14,90'ı 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %4,92 ile %0,28 arasında değişmiştir.

c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,49 - 652,79 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %36,16'sı 0 - 10 µg/m³, %30,61'i, 10 - 30 µg/m³ ve %6,79'u 30 - 50 µg/m³ arasındadır. 50 - 652,79 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %3,17 ile %0,23 arasında değişmiştir.

d) PM_1 salınımı 0,11 - 652,79 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %74,07'si 0 - 10 µg/m³, %10,68'i 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 30 - 652,79 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %3,05 ile %0,01 arasında değişmiştir.



Şekil 4.13 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınım histogramları

4.5 Tüm İşletmelerin Delme Faaliyeti

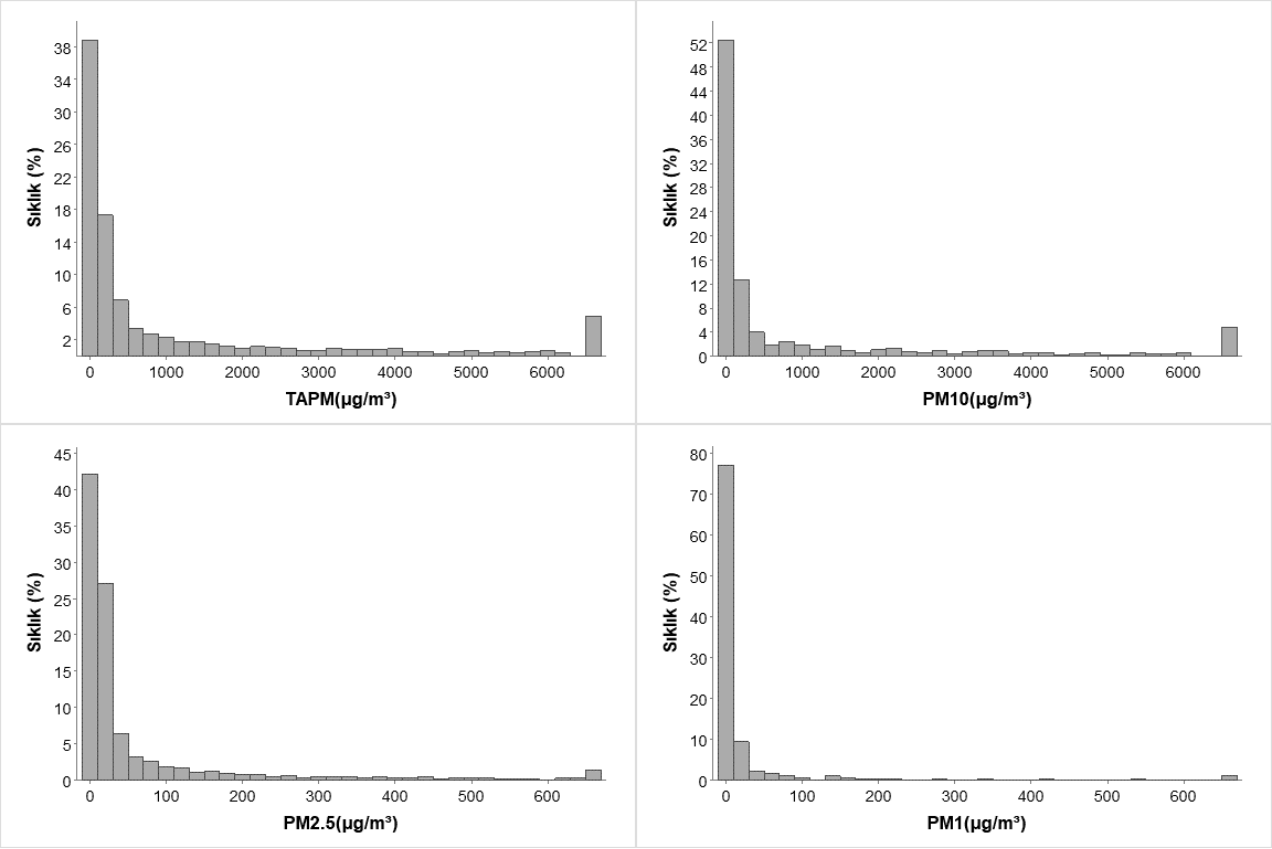
Alçıtaşı ve Kalker (A) ile Kalker (B) işletmelerinde delme faaliyeti sırasında toplam 6115 adet PM salınım verisi bir tablolama programı ile birleştirilmiş olup histogramları Şekil 4.14'de sunulmuştur. Buna göre;

a) TAPM salınımı 1,6 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %38,87'si 1,6 - 100 µg/m³, %17,35'i 100 - 300 µg/m³ ve %6,91'i 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %3,45 ile %0,37 arasında değişmiştir.

b) PM_{10} salınımı 1,5 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %52,54'ü 1,5 - 100 µg/m³, %12,70'i 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %4,05 ile %0,32 arasında değişmiştir.

c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,2 - 652,79 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %42,09'u 0 - 10 µg/m³, %27,11'i, 10 - 30 µg/m³ ve %6,50'si 30 - 50 µg/m³ arasındadır. 50 - 652,79 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %3,2 ile %0,18 arasında değişmiştir.

d) PM_1 salınımı 0,1 - 652,79 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %77,08'i 0 - 10 µg/m³, %9,50'si 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 30 - 652,79 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %2,32 ile %0,31 arasında değişmiştir.



Şekil 4.14 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM salınım histogramları

4.6 Alçıtaşı İşletmesi Yükleme Faaliyeti

Alçıtaşı işletmesinde sürdürülen yükleme faaliyetlerinden 2020 yılı Temmuz - Kasım ve 2021 yılı Mayıs - Eylül ayları arasında toplam 2639 adet ölçüm verisi alınmıştır. Ölçüm verisi alınırken yükleyici iş makinesinin tam bir çalışma döngüsünü temsil edecek süre boyunca kayıt alınmıştır. Ölçüm verisi alınan yükleyicilerin tamamı paletli hidrolik ters kepçe ekskavatördür.

PM ölçüm değerleri ay ve yıl bazında değişiklik göstermiştir. Şekil 4.15'de verilen aylar bazında PM salınımı değerleri genel olarak, TAPM ve PM_{10} için 100 µg/m³'ten düşük, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ise 10 µg/m³'ten düşük aralıkta yoğunlaşmıştır.

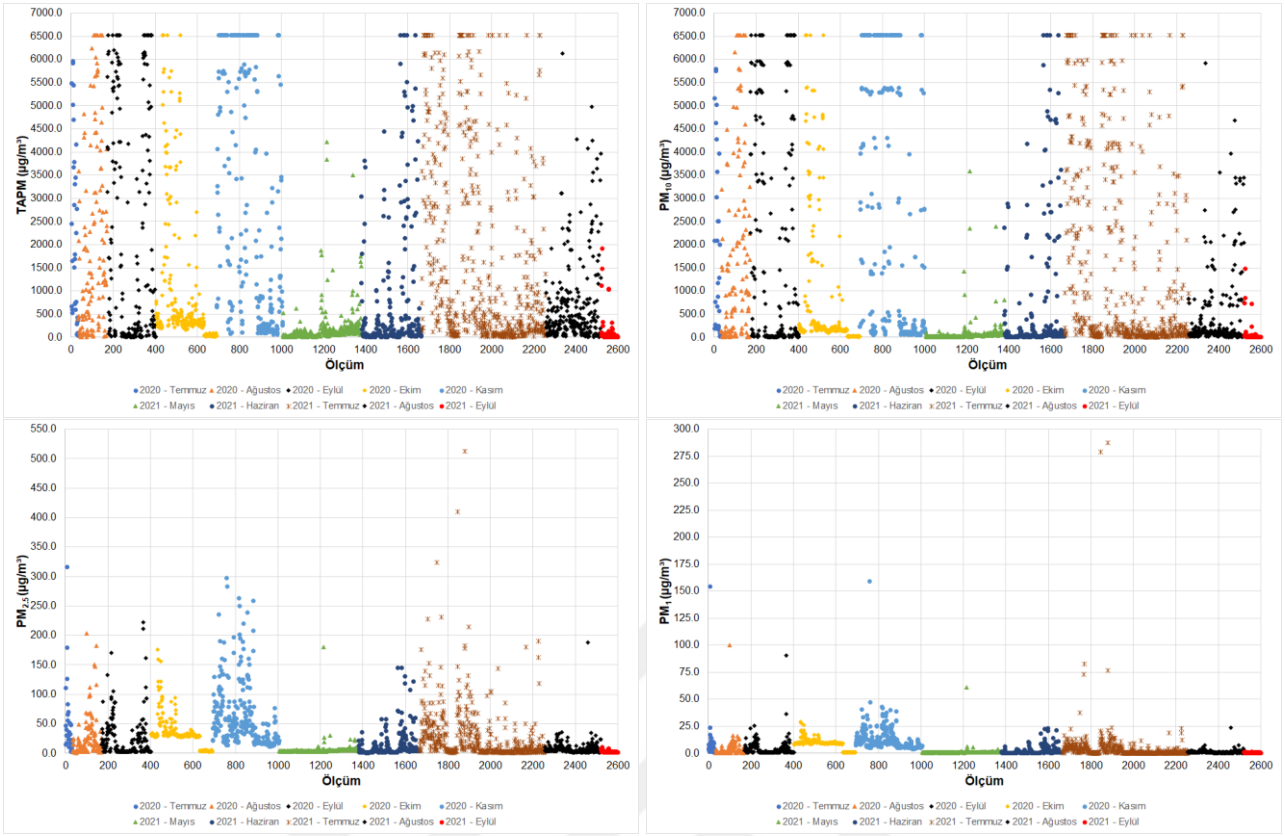
Kurak dönem olarak nitelendirilebilen Temmuz - Ağustos ayları arasında PM salınımı diğer aylara göre (Mayıs ve Eylül) daha yüksektir. Bununla birlikte PM salınımındaki en büyük saçılım Temmuz, en düşük saçılım Eylül ayında olmuştur. Aylık bazda PM_1 salınım kayda değer değişim göstermemiştir. PM salınım histogramları Şekil 4.16'da verilmiştir. Buna göre;

a) TAPM salınımı 1,8 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %31,50'si 1,8 - 100 µg/m³, %18,91'i 100 - 300 µg/m³ ve %9,13'ü 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %3,90 ile %0,56 arasında değişmiştir.
b) PM_{10} salınımı 1,7 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %48,25'i 1,7 - 100 µg/m³, %18,42'si 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %2,65 ile %0,30 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,79 - 531,12 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %44,22'si 0,79 - 5 µg/m³, %17,66'sı, 5 - 15 µg/m³, %8,79'u 15 - 25 µg/m³ ve %11,26'sı 25 - 35 µg/m³ arasındadır. 35 - 531,12 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %4,05 ile %0,01 arasında değişmiştir.
d) PM_1 salınımı 0,16 - 287,54 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %79,09'u 0,16 - 5 µg/m³, %25,28'i 5 - 15 µg/m³ arasındadır. 15 - 287,54 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %3,07 ile %0,01 arasında değişmiştir.

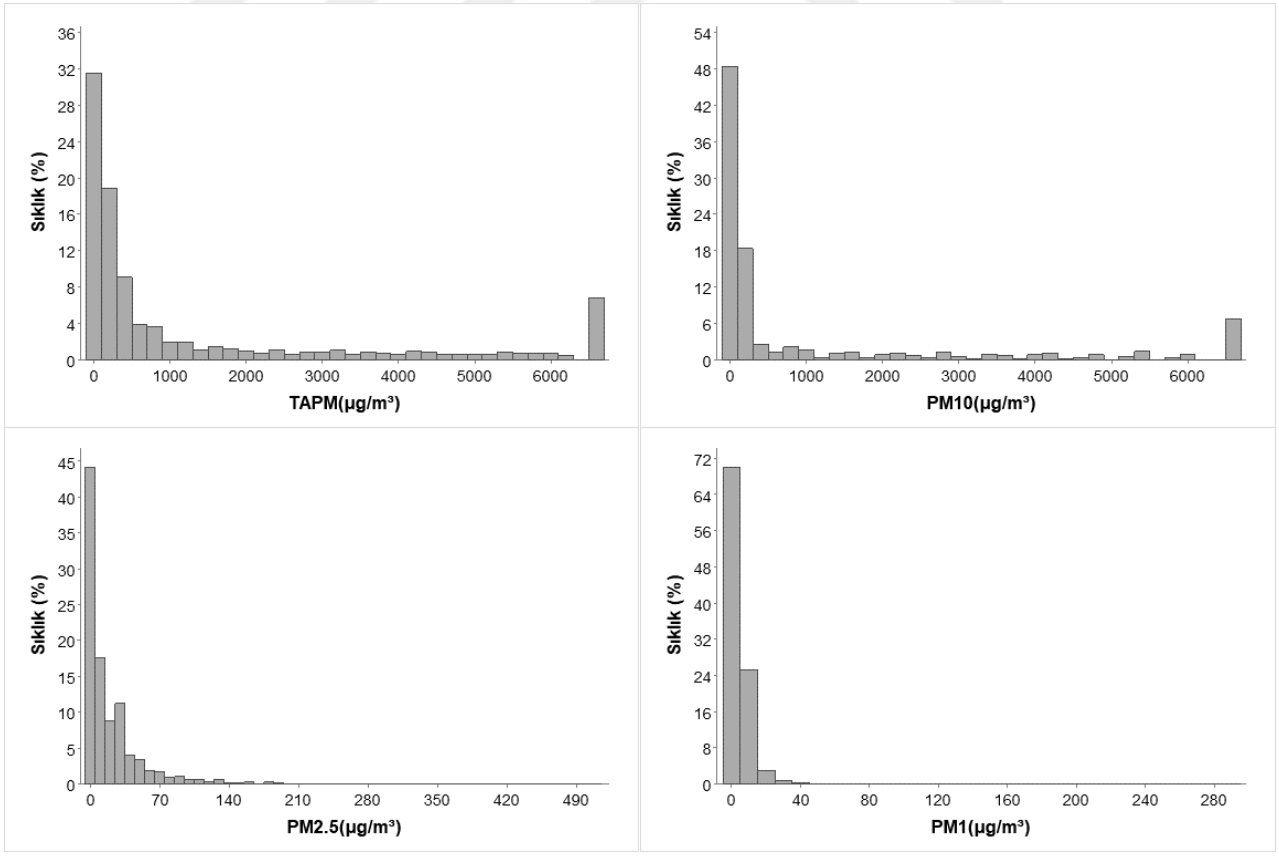
Havadaki PM miktarının yüksek olduğu durumlarda hava sıcaklığı ile rüzgâr hızı da yüksek ancak bağıl nem düşüktür (Şekil 4.17).

Yükleme işleminde tüm malzemenin patlatma sonucu gevşetilmiş kayaç blokları olmasından dolayı silt+kil içerikleri hesaplanmamıştır. Malzeme nemi ise maden işletmesi ve çevresinin yağış alması nedeniyle Haziran ve Eylül aylarında diğer aylara göre daha yüksektir. Genellenecek olursa, PM salınımı ile malzeme nemi arasında negatif ilgileşim vardır. Malzeme nemi %0,17 - %3,2, ekskavatör kepçe kova hacmi ise 1,88 m³ - 2,53 m³ arasında değişmiştir (Şekil 4.18).

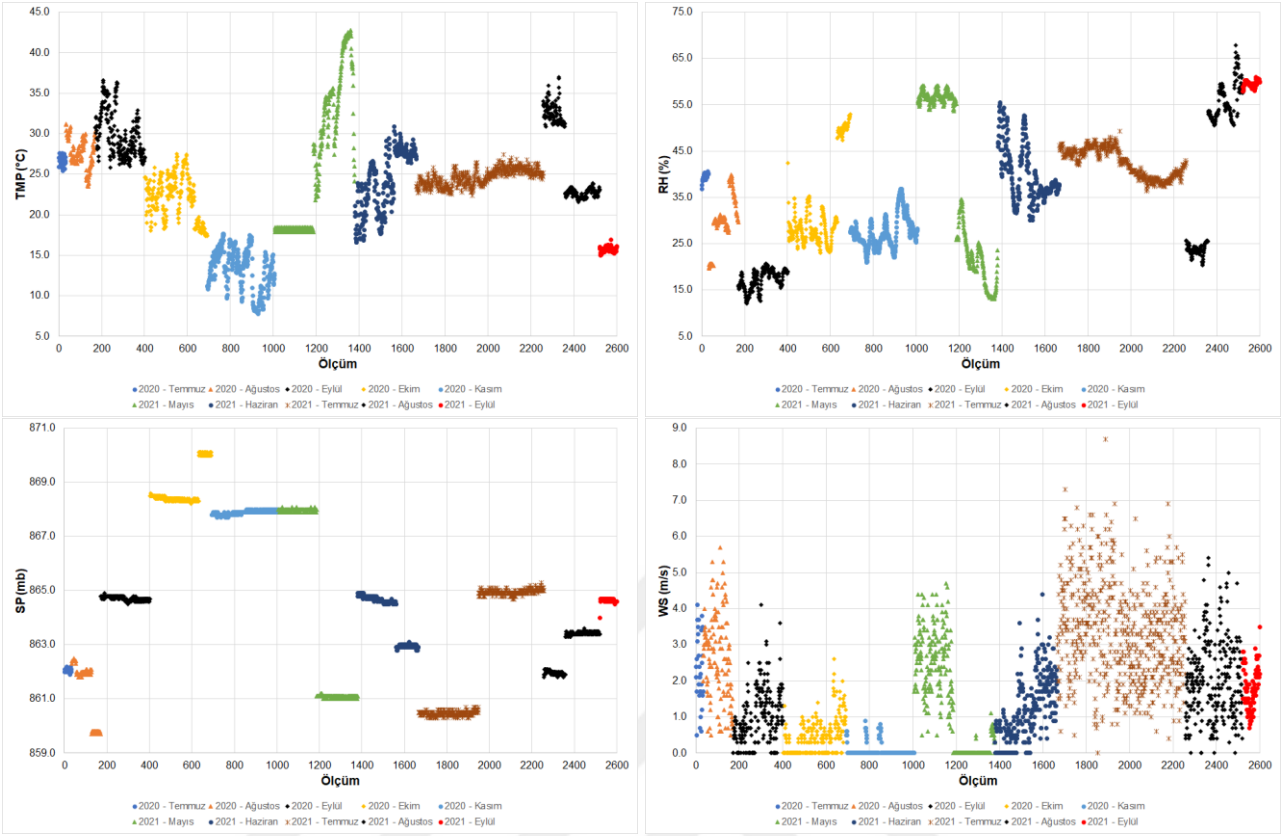
Bağımlı değişken olan PM salınımı ile bağımsız değişkenler olan termal konfor parametreleri ve malzeme özellikleri arasında, PM salınım verisinin yüksek saçılım göstermesinden dolayı güçlü ilgileşim bulunmamıştır.



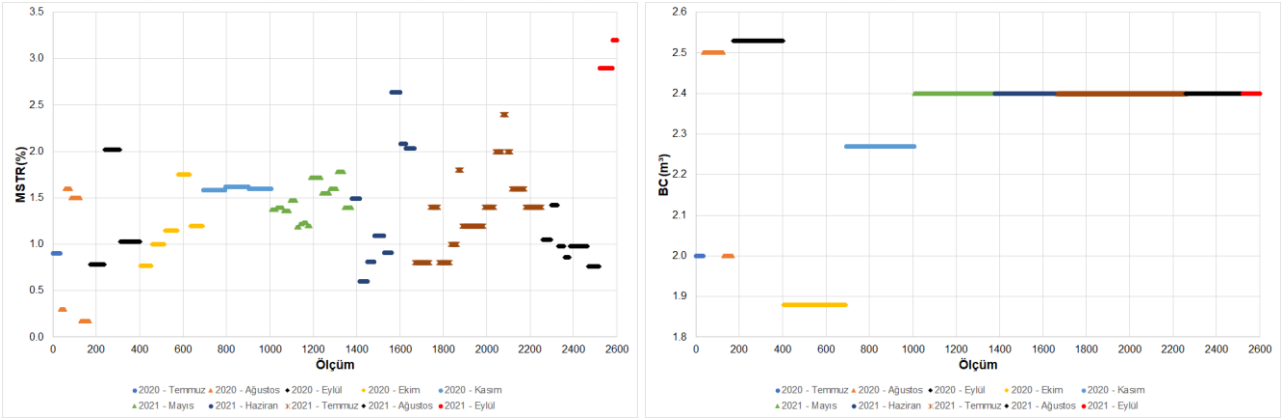
Şekil 4.15 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınımı



Şekil 4.16 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınım histogramları



Şekil 4.17 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti termal konfor parametreleri



Şekil 4.18 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti malzeme nemi ve yükleyici kova hacimleri

4.7 Kalker İşletmesi (A) Yükleme Faaliyeti

Kalker işletmesi (A)'da, 2020 yılı Ağustos - Kasım, 2021 yılında ise Haziran - Kasım ayları arasında toplam 2066 adet ölçüm kaydedilmiştir. Yükleyicilerin tamamı paletli hidrolik terskepçe ekskavatörlerden oluşmuştur.

PM salınımı, ölçüm dönemleri boyunca değişiklik göstermiştir (Şekil 4.19). Genel olarak bakıldığında, çalışma ortamında TAPM ve PM_{10} miktarı 300 µg/m³'ün altında, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ise 15 µg/m³'ün altında kalmıştır. Kurak aylar olan Haziran - Ağustos arasında diğer aylara

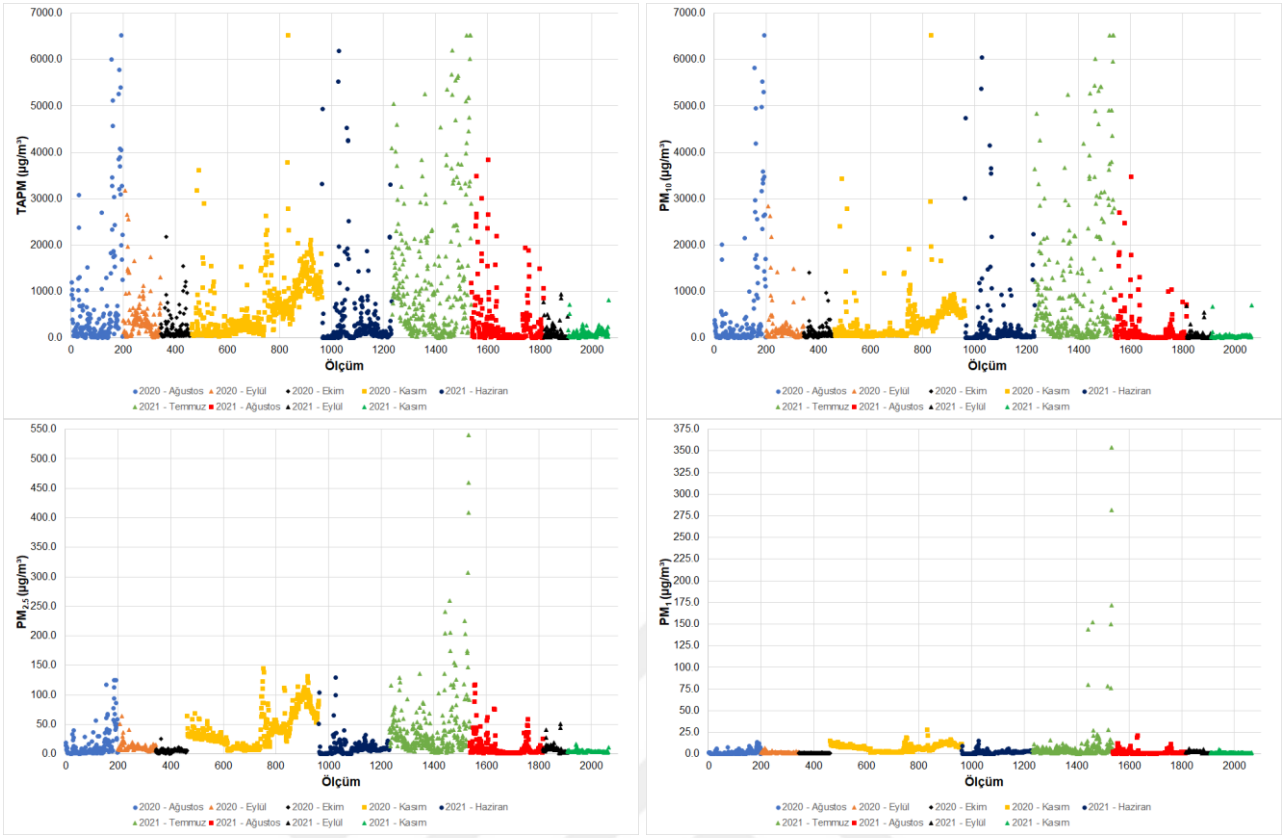
göre (Ekim ve Kasım) daha yüksek PM salınım olmuştur. Ancak PM salınımında en yüksek saçılım Temmuz, en düşük saçılım Kasım ayında meydana gelmiştir. Diğer boyutların aksine, PM_1 salınım önemli değişim göstermemiştir. Yükleme sırasında ölçülen PM salınımı histogramları Şekil 4.20'de verilmiştir. Buna göre;

a) TAPM salınımı 1,1 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %35,40'ı 1,1 - 100 µg/m³, %24,69'u 100 - 300 µg/m³ ve %9,34'ü 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %6,10 ile %0,14 arasında değişmiştir.
b) PM_{10} salınımı 1,0 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %55,59'u 1,0 - 100 µg/m³, %20,09'u 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %7,45 ile %0,19 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,3 - 540,22 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %41,59'u 0,3 - 7,5 µg/m³, %29,15'i, 7,5 - 22,5 µg/m³ ve %12,15'i 22,5 - 37,5 µg/m³ arasındadır. 37,5 - 540,22 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %5,52 ile %0,01 arasında değişmiştir.
d) PM_1 salınımı 0,01 - 354,2 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %75,59'0 0,01 - 5 µg/m³, %22.80'i, 5 - 15 µg/m³ arasındadır. 15 - 354,2 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %1,01 ile %0,01 arasında değişmiştir.

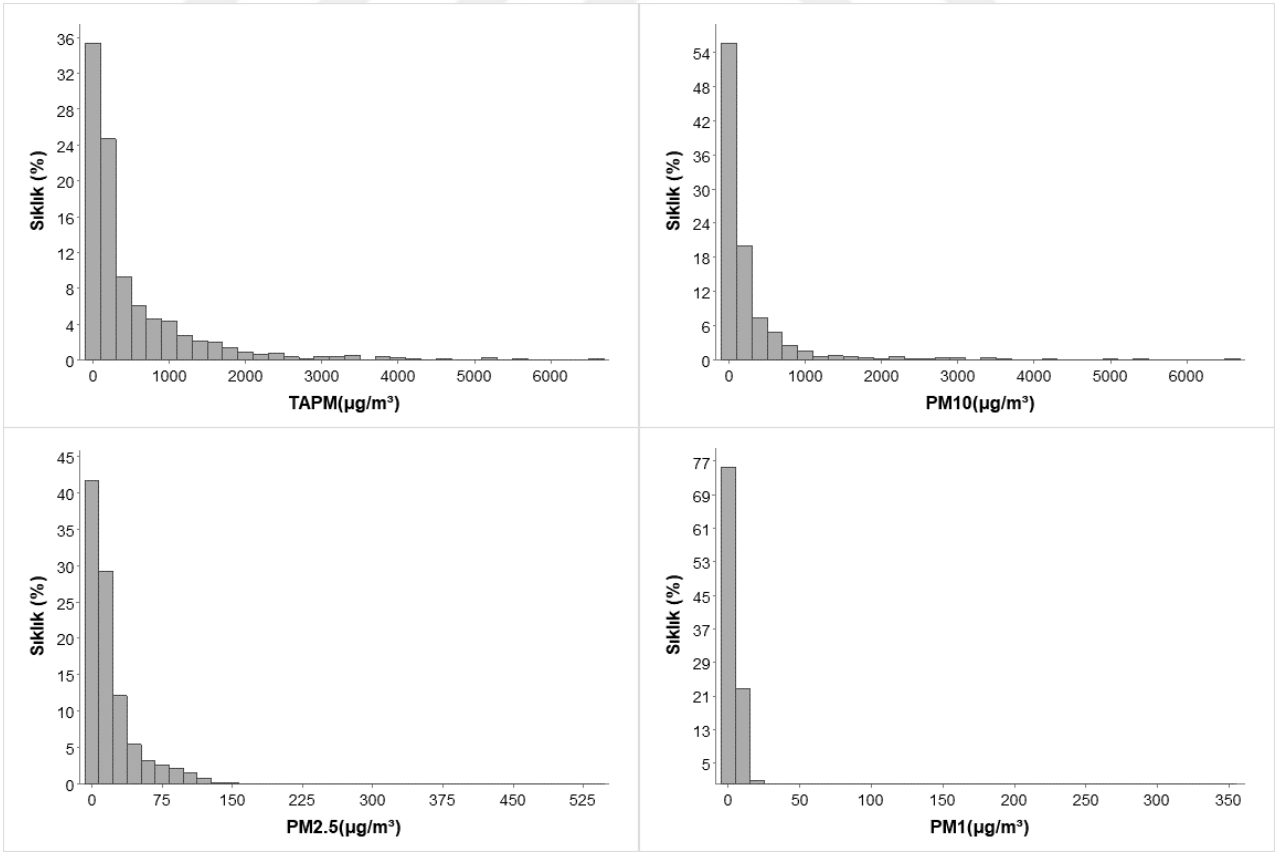
Termal konfor parametre değerleri de dönemler arasında değişiklik göstermiştir. Yoğun PM salınımı yüksek hava sıcaklığı ve hızlı rüzgâr ile pozitif, bağıl nem ile negatif ilişkilidir (Şekil 4.21).

Yüklenen malzemenin patlatma sonucu gevşetilmiş bloklu kayaç parçaları olmasından dolayı silt+kil içerikleri hesaplanmamıştır. Malzeme nemi, ölçüm yapılan dönemlerde maden işletmesi ve çevresinde yağışların bol ve yüklenen malzemenin içinde su tutma özelliğine sahip killi malzeme olmasından dolayı Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında diğer aylara göre daha yüksek çıkmıştır. Yüksek PM salınımı düşük malzeme nemi ile pozitif ilişkilidir. Malzeme nemi %0,02 - %2,5, ekskavatör kepçe kova hacmi ise 1,5 m³ - 3,2 m³ arasında değişmiştir (Şekil 4.22).

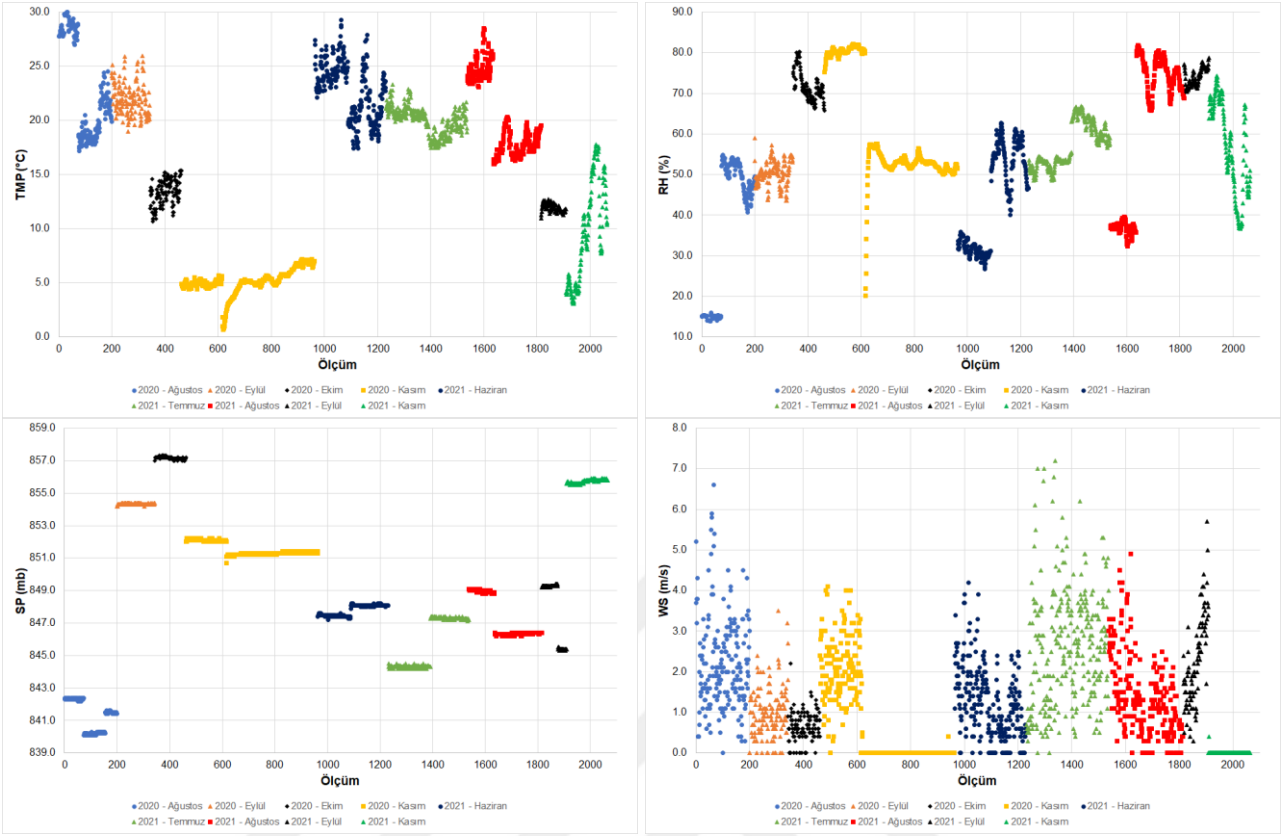
Bağımlı değişken (PM salınımı) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri ve malzeme özellikleri) arasındaki ilişkiye bakıldığında, PM ölçüm verilerinin çok fazla saçılım göstermesinden dolayı herhangi bir bağımsız değişkenin tek başına PM üzerine etkin olduğunu söylemek oldukça güçtür.



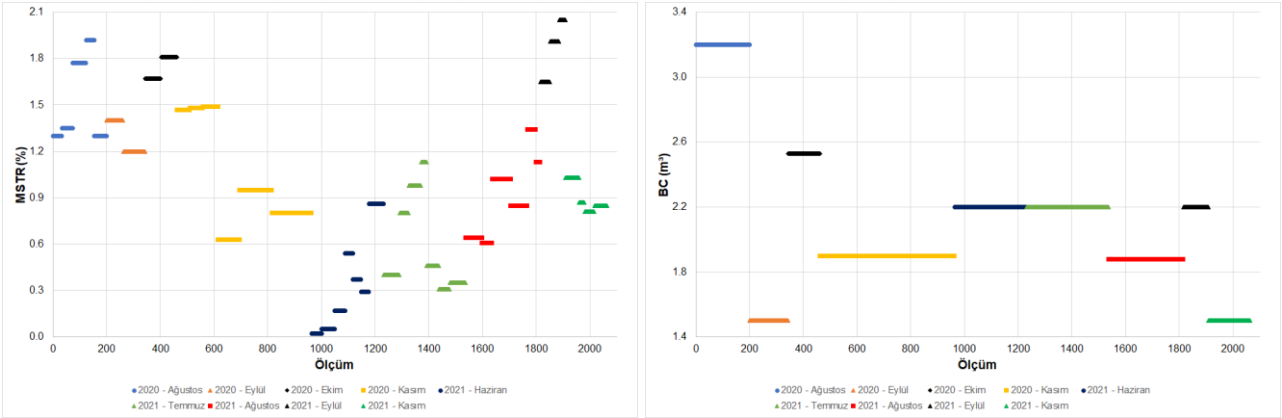
Şekil 4.19 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti PM salınımı



Şekil 4.20 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti PM salınım histogramları



Şekil 4.21 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti termal konfor parametreleri



Şekil 4.22 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti malzeme nemi ve yükleyici kova hacimleri

4.8 Kalker İşletmesi (B) Yükleme Faaliyeti

Kalker işletmesi (B)'den, 2020 yılı Temmuz - Kasım, 2021 yılı Haziran - Kasım ayları arasında toplam 3192 adet ölçüm verisi alınmıştır. PM salınımı ay ve yıl bazında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.23). Sonuçlar genellendiğinde TAPM ve PM_{10} salınım miktarı 100 µg/m³'ün altında, $PM_{2,5}$,15 µg/m³ ve PM_1 ise 5,5 µg/m³ altındadır.

PM salınımı kurak aylarda (Temmuz - Eylül arası) diğer aylara göre (Ekim ve Kasım) daha yüksektir. PM salınımında en yüksek saçılım Temmuz, en düşük saçılım Ekim ayında

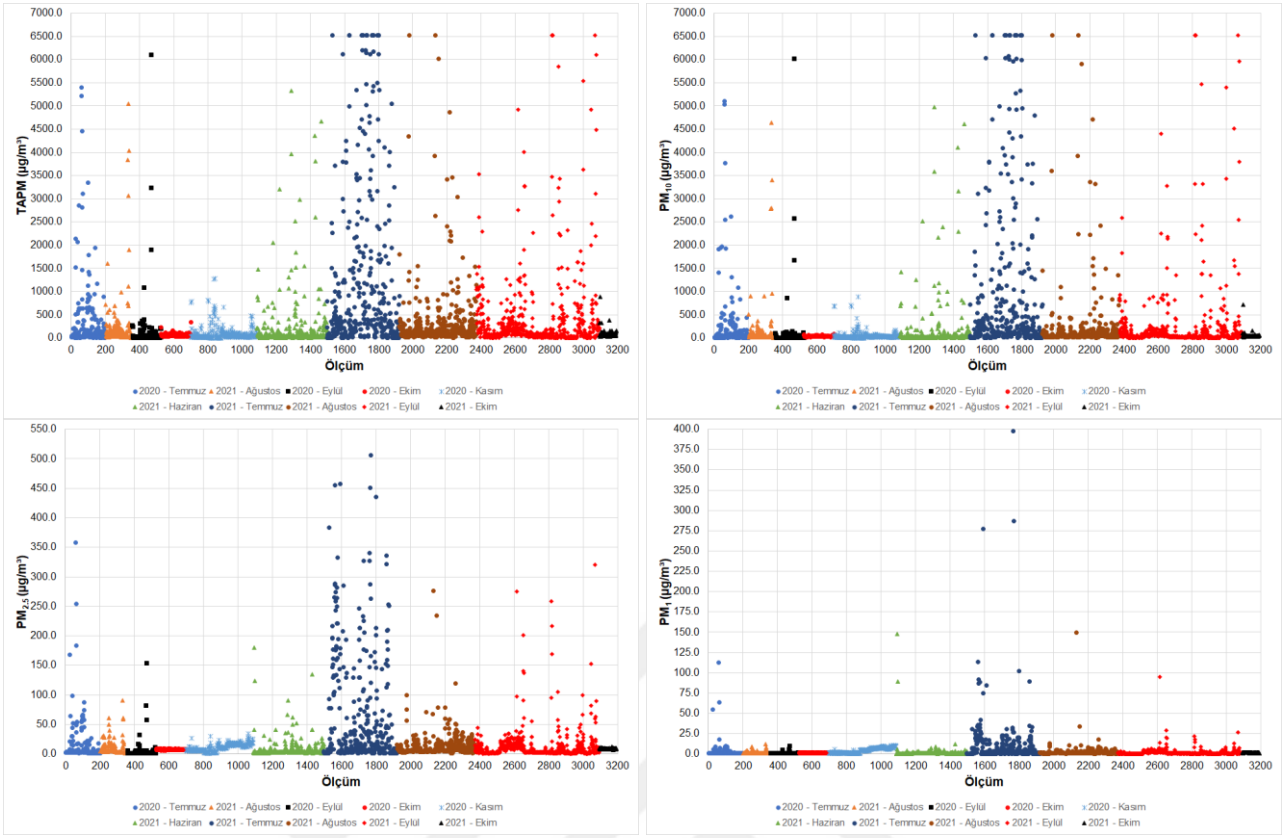
meydana gelmiştir. PM_1 salınımı görece sabittir. Yükleme faaliyeti PM salınım histogramları Şekil 4.24'de verilmiştir. Buna göre;

a) TAPM salınımı 1,1 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %59,96'sı 1,1 - 100 µg/m³, %18,89'u 100 - 300 µg/m³ ve %6,39'u 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 500 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %3,13 ile %0,01 arasında değişmiştir.
b) PM_{10} salınımı 1,1 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %74,84'ü 1,1 - 100 µg/m³, %13,56'sı 100 - 300 arasındadır. 300 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %2,85 ile %0,01 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,68 - 505,94 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %45,80'i 0,68 - 5 µg/m³, %33,17'si, 5 - 15 µg/m³ ve %10,21'u 15 - 25 µg/m³ arasındadır. 25 - 505,94 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %2,72 ile %0,01 arasında değişmiştir.
d) PM_1 salınımı 0,1 - 397,47 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %87,65'i 0,1 - 5 µg/m³, %9,58'i 5 - 15 µg/m³ arasındadır. 15 - 397,47 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %1,47 ile %0,01 arasında değişmiştir.

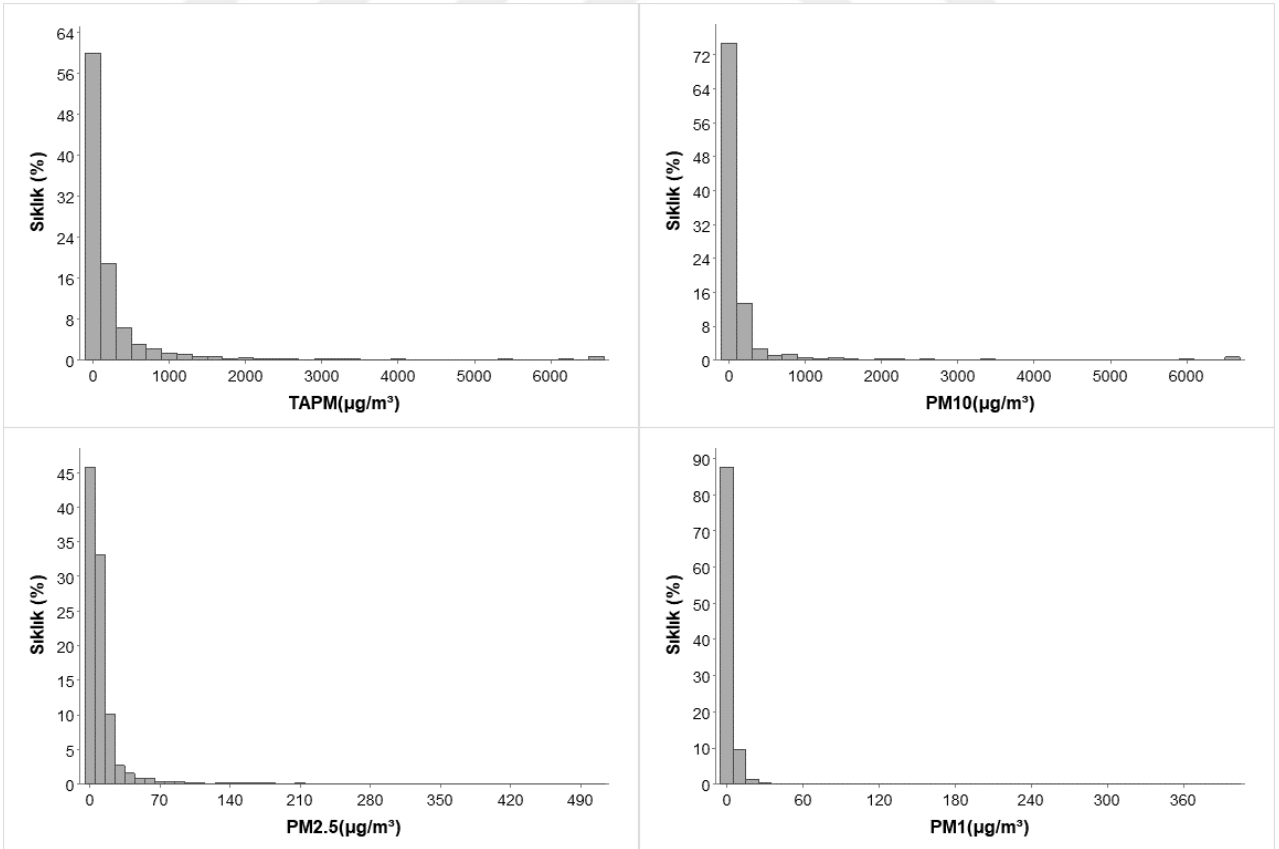
Termal konfor parametre değerleri dönemsel bazda değişiklik göstermiştir. PM salınımının yoğun olduğu aylarda hava sıcaklığı yüksek ve bağıl nem düşüktür. Bu aylarda da rüzgâr hızı fazladır (Şekil 4.25).

Yüklenen tüm malzeme patlatma sonucu gevşetilmiş bloklu kayaç parçaları olduğundan silt+kil içerikleri hesaplanmamıştır. Ölçüm yapılan işletmedeki kalker tabakaları içinde kil bantlarının bulunması ve bu bantlı seviyelerin yağmur ve kar sularını uzun süre bünyesinde tutması nedeniyle malzeme nemi aylar bazında belirgin biçimde değişiklik göstermiştir. Düşük malzeme nemi yüksek PM salınımına işaret etmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre nem değeri %2,82 - %21,21, yükleyici kova hacmi 1,9 m³ - 3,0 m³ arasında değişmiştir (Şekil 4.26).

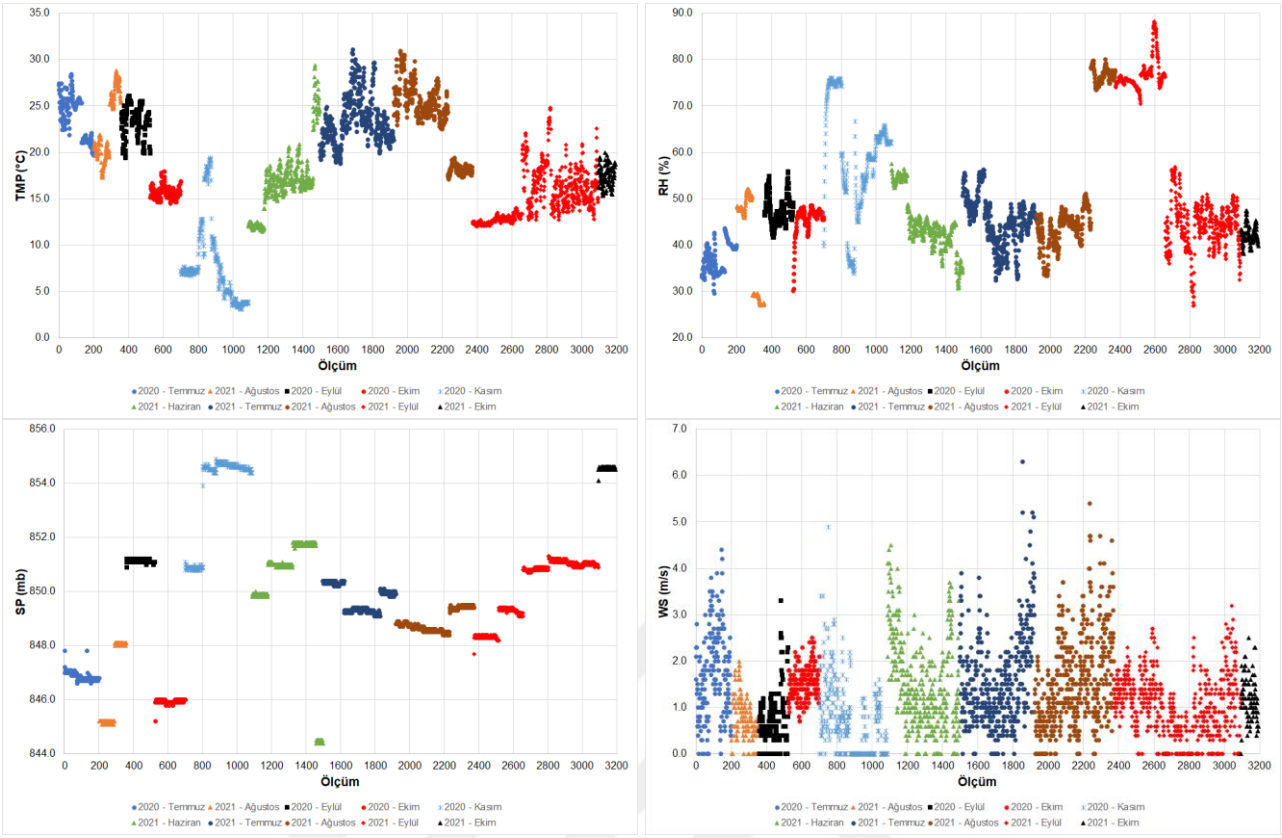
Bağımlı değişken (PM salınımı) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri ve malzeme özellikleri) arasında, PM salınım verisinin geniş saçılım göstermesinden dolayı güçlü bir ilgileşim bulunmamıştır.



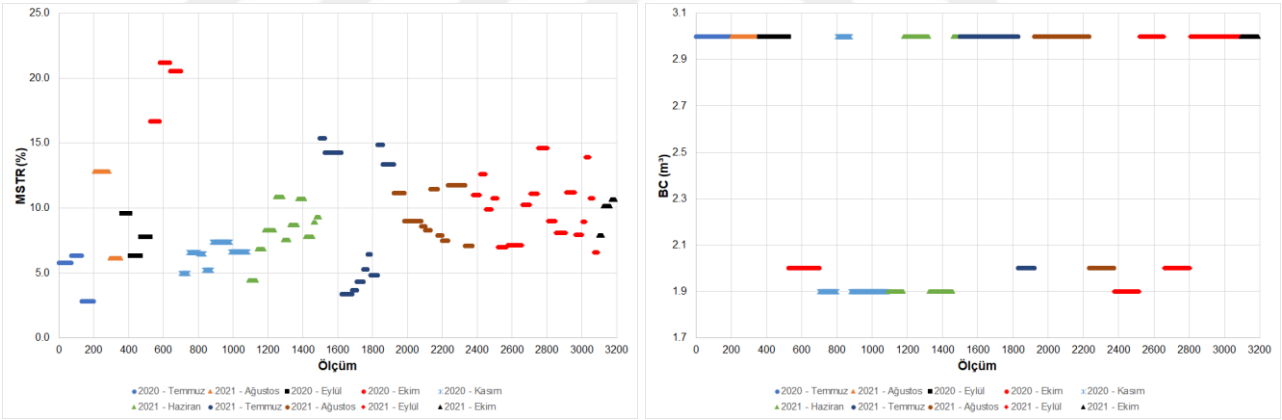
Şekil 4.23 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınımı



Şekil 4.24 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınım histogramları



Şekil 4.25 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti termal konfor parametreleri



Şekil 4.26 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti malzeme nemi ve yükleyici kova hacimleri

4.9 Kalker İşletmeleri Yükleme Faaliyeti

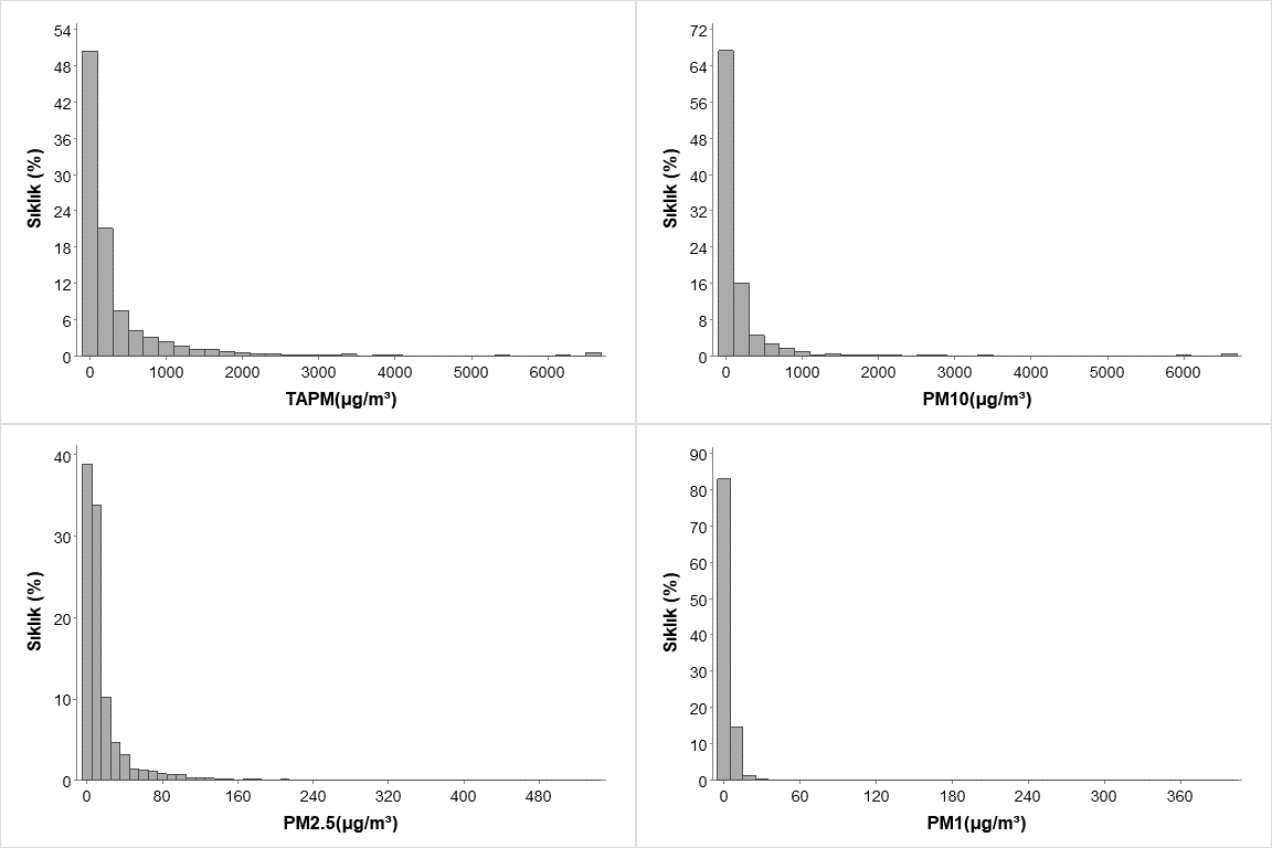
Kalker işletmelerinde kaydedilen veri bir tablolama programı ile birleştirilerek toplam 5257 adetlik bir set oluşturulmuştur. PM salınım histogramları Şekil 4.27'de verilmiştir. Buna göre;

a) TAPM salınımı 1,1 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %50,31'i 1,1 - 100 µg/m³, %21,17'si 100 - 300 µg/m³ ve %7,55'i 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 500 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %4,29 ile %0,01 arasında değişmiştir.

b) PM_{10} salınımı 1,0 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %67,28'i 1,0 - 100 µg/m³, %16,13'ü 100 - 300 arasındadır. 300 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %4,66 ile %0,01 arasında değişmiştir.

c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,3 - 540,22 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %38,90'ı 0,3 - 5 µg/m³, %33,84'ü, 5 - 15 µg/m³ ve %10,23'ü 15 - 25 µg/m³ arasındadır. 25 - 540,22 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %4,67 ile %0,01 arasında değişmiştir.

d) PM_1 salınımı 0,01 - 397,47 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %82,91'i 0,01 - 5 µg/m³, %14,78'i 5 - 15 µg/m³ arasındadır. 15 - 397,47 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %1,29 ile %0,01 arasında değişmiştir.



Şekil 4.27 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınım histogramları

4.10 Tüm İşletmelerin Yükleme Faaliyeti

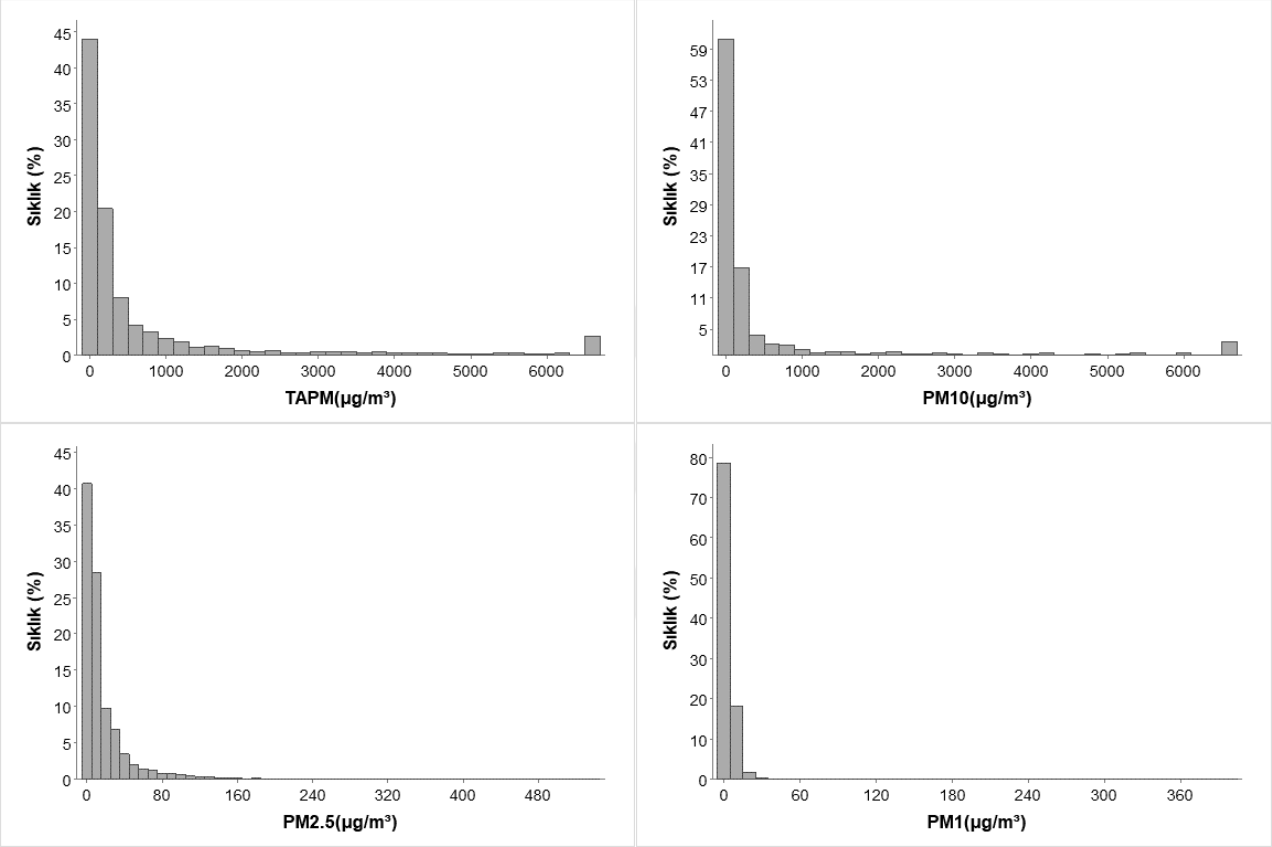
Alçıtaşı ve kalker işletmelerinden kaydedilen veriler birleştirilerek toplam 7895 veriden oluşan bir set elde edilmiş ve bu setin PM salınım histogramları Şekil 4.28'de verilmiştir. Buna göre;

a) TAPM salınımı 1,1 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %44,02'si 1,1 - 100 µg/m³, %20,41'i 100 - 300 µg/m³ ve %8,08'i 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 500 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %4,16 ile %0,3 arasında değişmiştir.

b) PM_{10} salınımı 1 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup, ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %60,92'si 1,0 - 100 µg/m³, %16,89'u 100 - 300 arasındadır. 300 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %3,98 ile %0,36 arasında değişmiştir.

c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,3 - 540,22 µg/m³ aralığında olup, ölçülen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %40,67'si 0,3 - 5 µg/m³, %28,43'ü, 5 - 15 µg/m³ ve %9,75'i 15 - 25 µg/m³ arasındadır. 25 - 540,22 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %6,87 ile %0,01 arasında değişmiştir.

d) PM_1 salınımı 0,01 - 397,47 µg/m³ aralığında olup, ölçülen PM_1 verilerinin yaklaşık %78,63'ü 0,01 - 5 µg/m³, %18,29'u 5 - 15 µg/m³ arasındadır. 15 - 397,47 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %1,88 ile %0,01 arasında değişmiştir.



Şekil 4.28 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM salınım histogramları

4.11 Alçıtaşı İşletmesi Taşıma Faaliyeti

Alçıtaşı işletmesinde taşıma faaliyeti sırasında yapılan ölçümlerde yalnızca kamyonların ölçüm cihazları yanından geçişi sırasında kaydedilen veri kullanılmıştır. 2020 yılı Ağustos - Kasım, 2021 yılı Haziran - Eylül ayları arasında kaydedilen 818 ölçüm verisi değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

PM salınımı ay ve yıl bazında değişim göstermiştir (Şekil 4.29). PM salınımı kurak aylarda (Mayıs - Haziran arası) diğer aylara göre (Eylül ve Ekim) daha yüksektir. PM salınımında en büyük saçılım Mayıs, en düşük Ekim ayında meydana gelmiştir.

Yağışlar ve yolların sulanması PM salınımının belirgin oranda düşmesine neden olmuştur. PM salınım histogramları Şekil 4.30'da verilmiştir. Buna göre;

a) TAPM salınımı 24,9 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %19,92'si 24,9 - 100 µg/m³, %23,96'sı 100 - 300 µg/m³ ve %7,09'u 300 - 500 µg/m³

arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %5,99 ile %0,25 arasında değişmiştir.

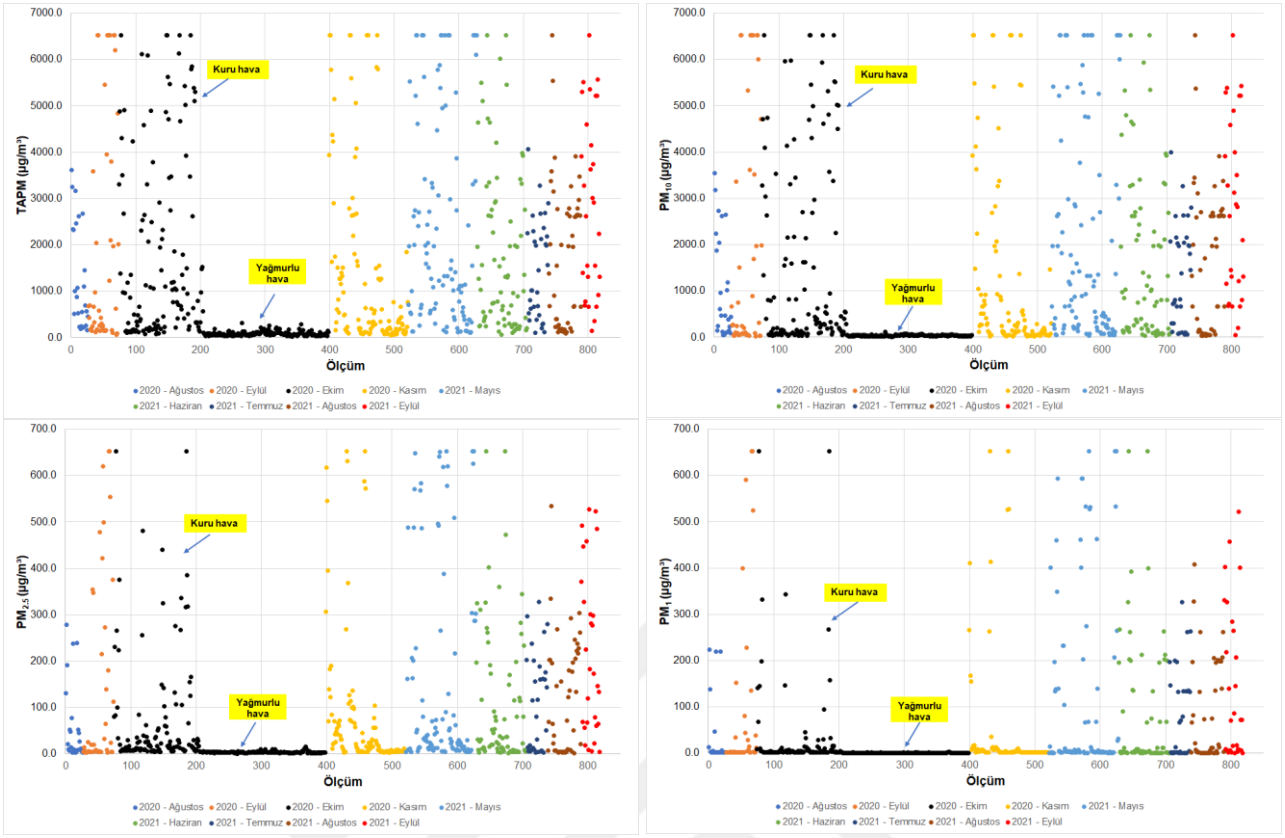
b) PM_{10} salınımı 8,5 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %41,56'sı 8,5 - 100 µg/m³, %13,90'ı 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %4,40 ile %0,24 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,988 - 652,79 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %48,78'i 0 - 10 µg/m³, %16,87'i, 10 - 30 µg/m³ ve %4,64'ü 30 - 50 µg/m³ arasındadır. 50 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %3,91 ile %0,24 arasında değişmiştir.
d) PM_1 salınımı 0,073 - 652,79 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %76,65'i 0 - 10 µg/m³, %5,01'i 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 30 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %1,1 ile %0,36 arasında değişmiştir.

Termal konfor parametreleri ay ve yıl bazında değişiklik göstermektedir. Yoğun PM salınımı olan dönemlerde hava sıcaklığı yüksek, rüzgâr güçlü ve bağıl nem düşüktür (Şekil 4.31).

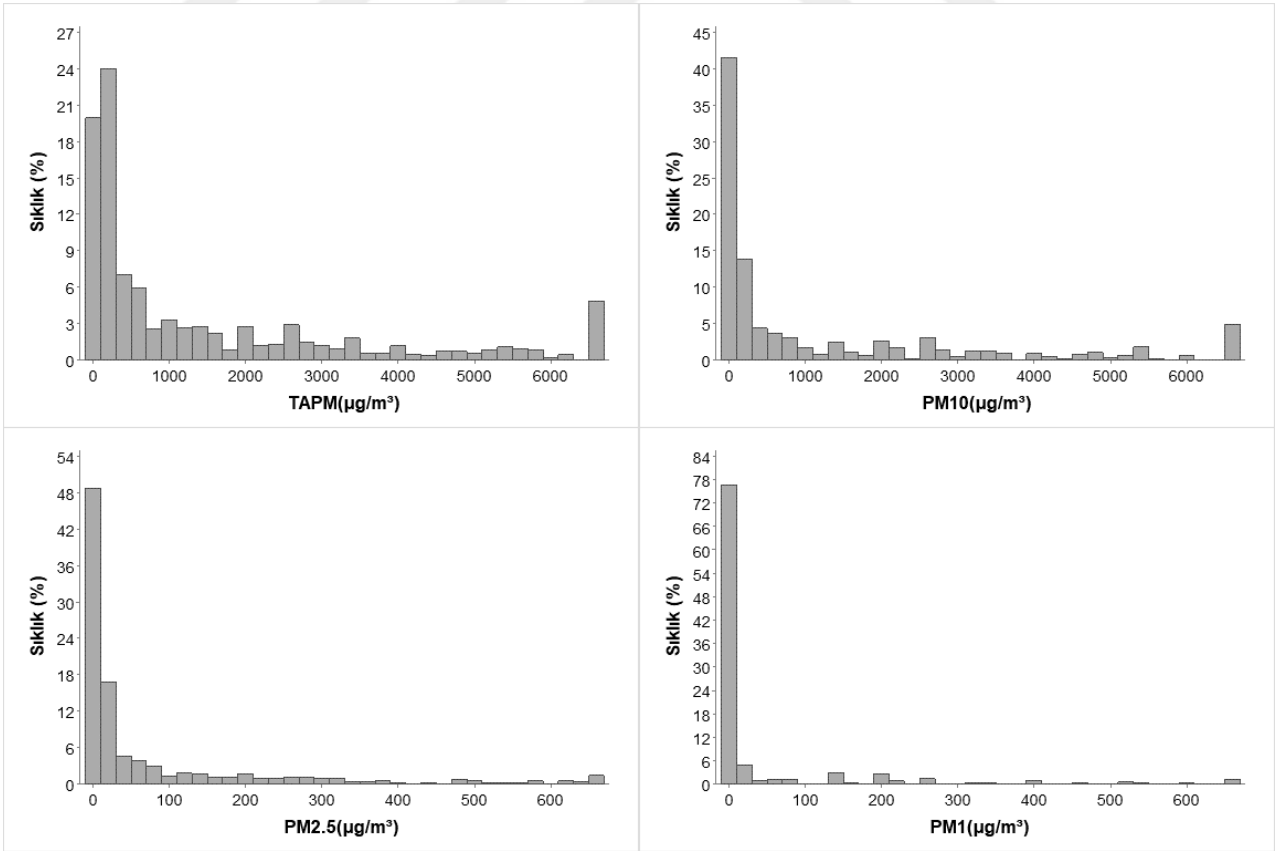
Malzeme nemi ile silt+kil içerikleri aylar bazında belirgin bir şekilde değişiklik göstermiştir. Nem içeriği yağışlı havalarda yükselirken, silt+kil sıfıra düşmüş, bunun sonucu olarak ortamdaki PM miktarı da önemli ölçüde azalmıştır. Kuru hava durumunda PM salınımı ve malzeme silt+kil içeriği yükselmiş, malzeme nemi düşmüştür.

Genel itibarla malzeme nem içeriği %0,03 - %6,0, silt+kil içeriği %0,0 - %21,21 arasında değişmiştir (Şekil 4.32).

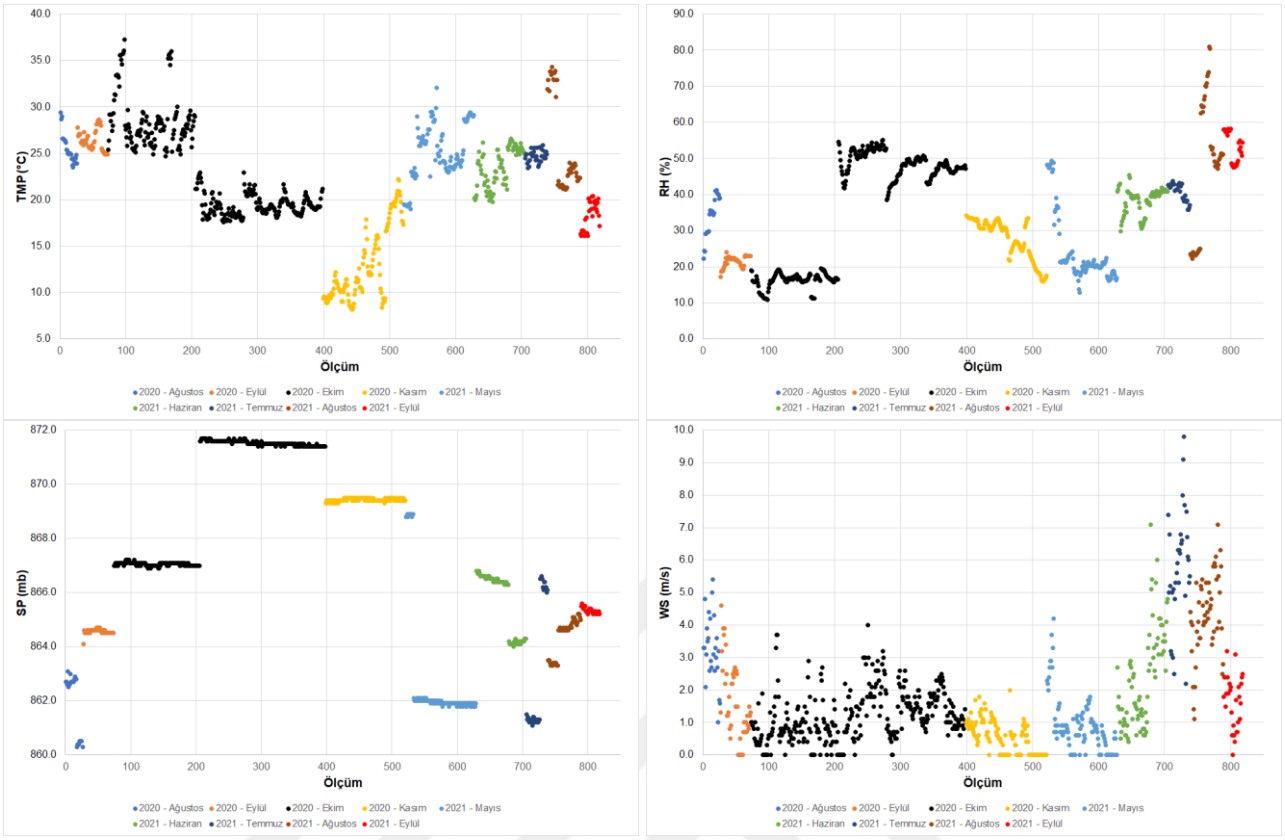
Taşımada kullanılan kamyonların tonaj, hız ve tekerlek sayıları Şekil 4.33'de verilmiştir. Kamyon tonajları 14,35 t - 66,4 t, hızları 10,0 km/sa - 50,0 km/sa arasında, tekerlek sayıları ise 10 ve 12 adettir. Bağımlı değişken (PM salınımı) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri ve malzeme özellikleri) arasında, PM ölçüm verilerinin büyük oranda saçılım göstermesinden dolayı güçlü ilgileşim bulunmamaktadır.



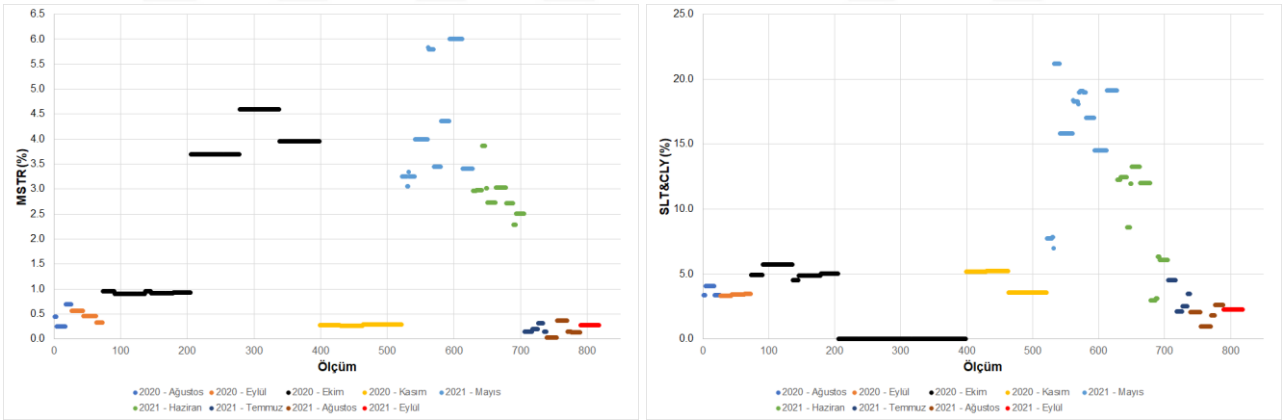
Şekil 4.29 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınımı



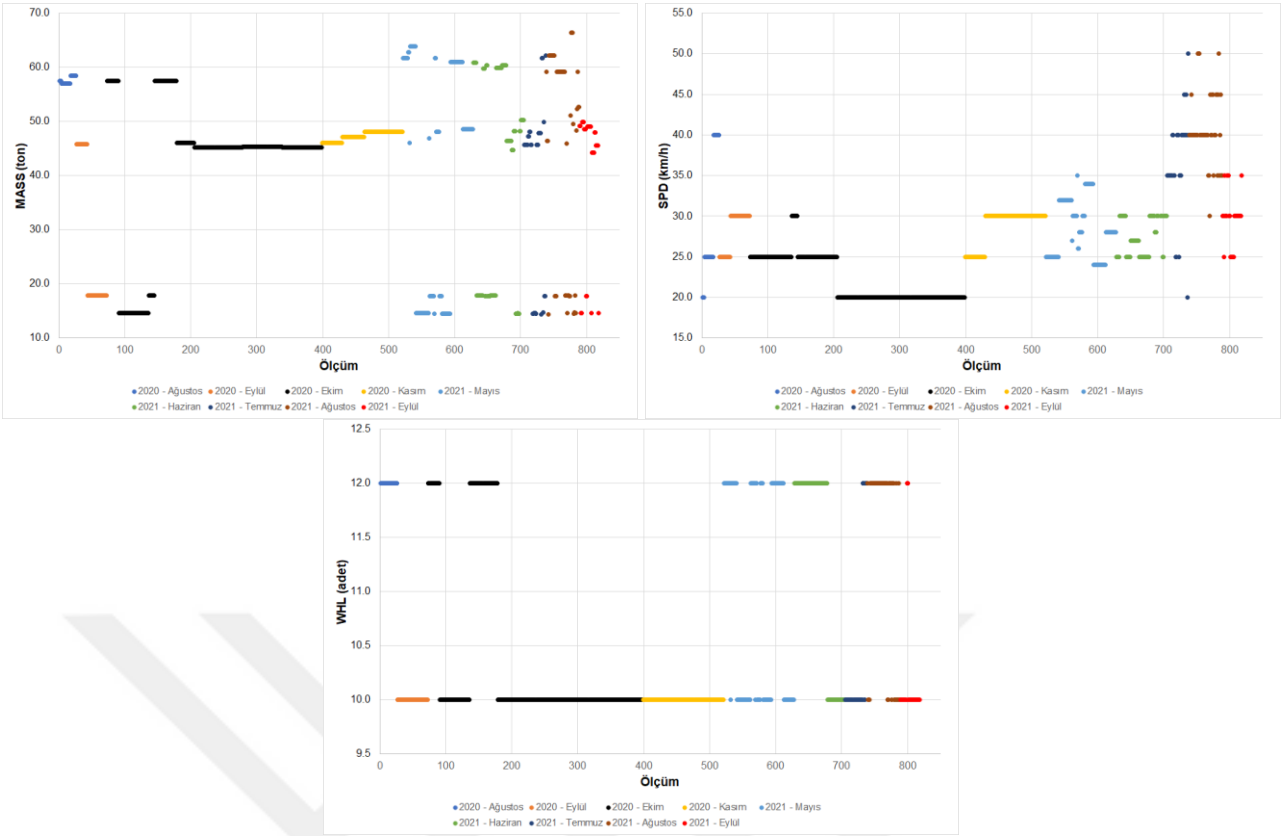
Şekil 4.30 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınım histogramları



Şekil 4.31 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti termal konfor parametreleri



Şekil 4.32 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği



Şekil 4.33 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti kamyon tonaj, hız ve tekerlek sayıları

4.12 Kalker İşletmesi (A) Taşıma Faaliyeti

Kalker işletmesi (A)'da, 2020 yılı Ağustos - Kasım, 2021 yılı Haziran - Kasım ayları arasında kaydedilen 1040 ölçüm verisi değerlendirmeye tabi tutulmuştur. PM salınımı ay ve yıl bazında değişiklik göstermiştir (Şekil 4.34).

Genel itibarla, TAPM salınımı 500 µg/m³, PM_{10}, 300 µg/m³, $PM_{2,5}$ 30,0 µg/m³ ve PM_1 10,0 µg/m³ altında daha fazla yoğunlaşmaktadır. PM salınımı kurak aylarda (Haziran- Ağustos arası) diğer aylara göre (Ekim ve Kasım) daha yüksek olup veri saçılımı en fazla Haziran ayında, en düşük Ekim ayında meydana gelmiştir. Yağışlı hava ile yolların sulanması PM salınımının belirgin oranda düşmesine neden olmuştur.

Taşıma faaliyeti sırasında ölçülen ve yalnızca kamyonların geçişi sırasında modellemeye dâhil edilen PM'lerin histogramları Şekil 4.35'de verilmiştir. Kalker işletmesinde Ölçülen PM verileri ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Buna göre;

a) TAPM salınımı 19,1 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %10,67'si 19,1 - 100 µg/m³, %31,44'ü 100 - 300 µg/m³ ve %13,07'si 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasında ölçülen verilerin dağılımı %9,23 ile %0,28 arasında değişmiştir.

b) PM_{10} salınımı 5,8 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %32,78'i 5,8 - 100 µg/m³, %28,17'si 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %8,65 ile %0,19 arasında değişmiştir.

c) $PM_{2,5}$ salınımı 1,36 - 652,79 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %28,94'ü 1,36 - 10 µg/m³, %37,5'i, 10 - 30 µg/m³ ve %10,67'si 30 - 50 µg/m³ arasındadır. 50 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %6,44 ile %0,19 arasında değişmiştir.

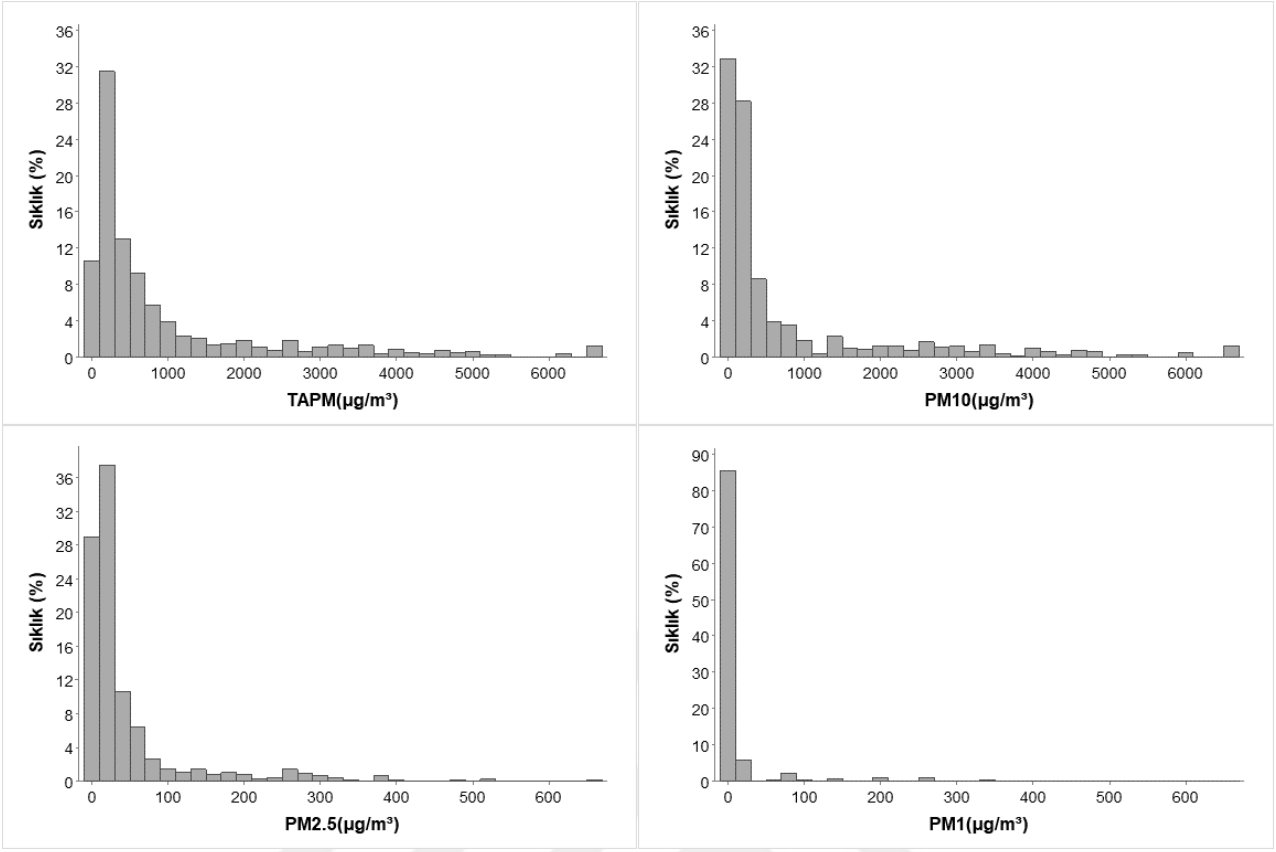
d) PM_1 salınımı 0,06 - 652,79 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %85,57'si 0,06 - 10 µg/m³, %5.96'sı 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 30 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %2,4 ile %0,48 arasında değişmiştir.

Termal konfor parametreleri dönemsel bazda değişim göstermiştir. Yoğun PM salınımı yüksek hava sıcaklığı ile rüzgâr hızı ancak düşük bağıl nem ile ilişkilidir (Şekil 4.36). Malzeme nem ve silt+kil içeriği aylar bazında belirgin biçimde farklıdır. Nem içeriği yağışlı havalarda yüksek olup, silt+kil içeriği sıfıra düşmüş ve sonucunda, ortamdaki PM miktarı kayda değer oranda düşmüştür. Tersine, yüksek PM salınımı, düşük malzeme nemi ve yüksek silt+kil içeriği ile ilişkilidir. Malzeme nem içeriği %0,08 - %13,36, silt+kil içeriği %0,0 - %11,87 arasında değişmiştir (Şekil 4.37).

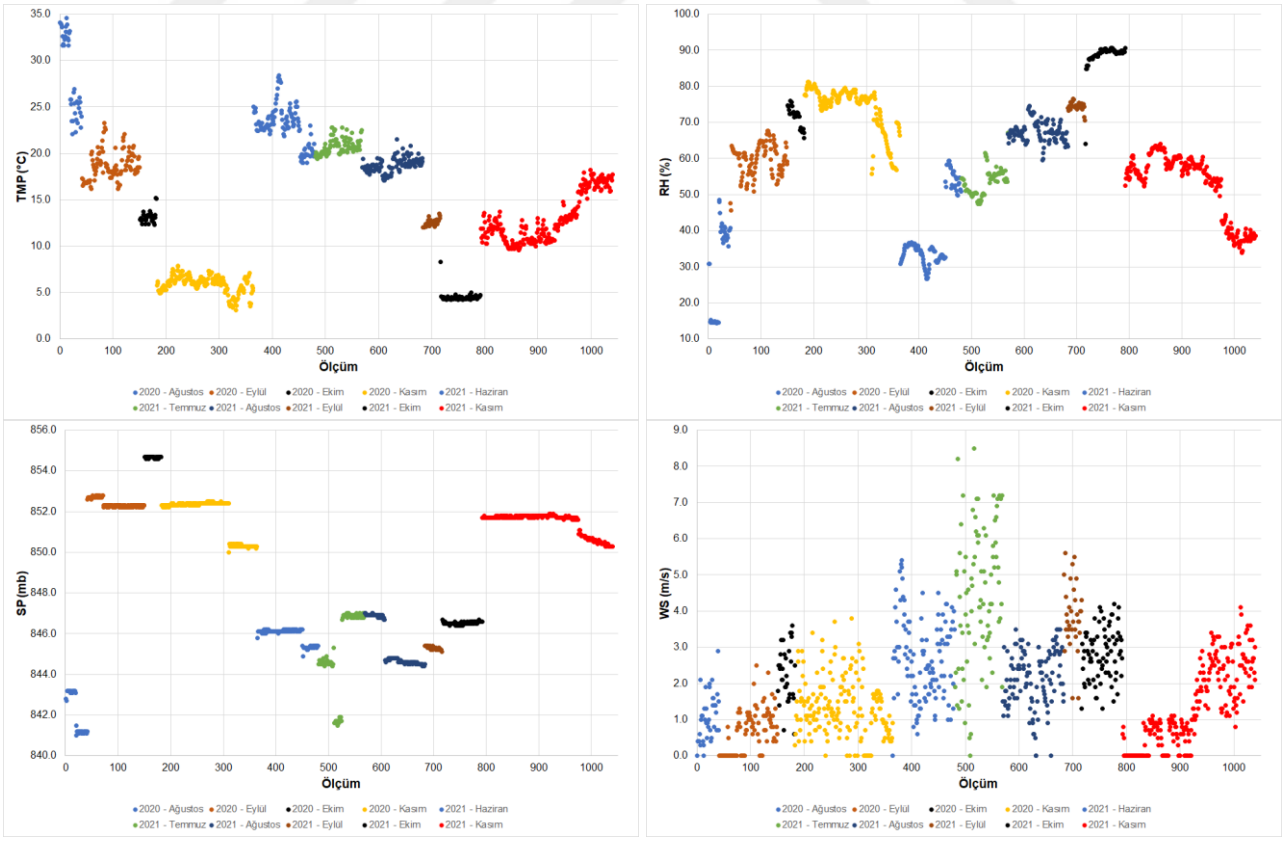
Taşımada kullanılan kamyonların tonaj, hız ve tekerlek sayıları Şekil 4.38'de verilmiştir. Kamyon tonajları 14,5 t - 55,5 t, hızları 7,0 km/sa - 60,0 km/sa arasında ve tekerlek sayıları 10 ya da 12 adettir. Bağımlı değişken (PM salınımı) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri ve laboratuvar ölçüm sonuçları) arasında, PM salınımının büyük oranda saçılım göstermesinden dolayı güçlü bir ilgileşime varılamamıştır.



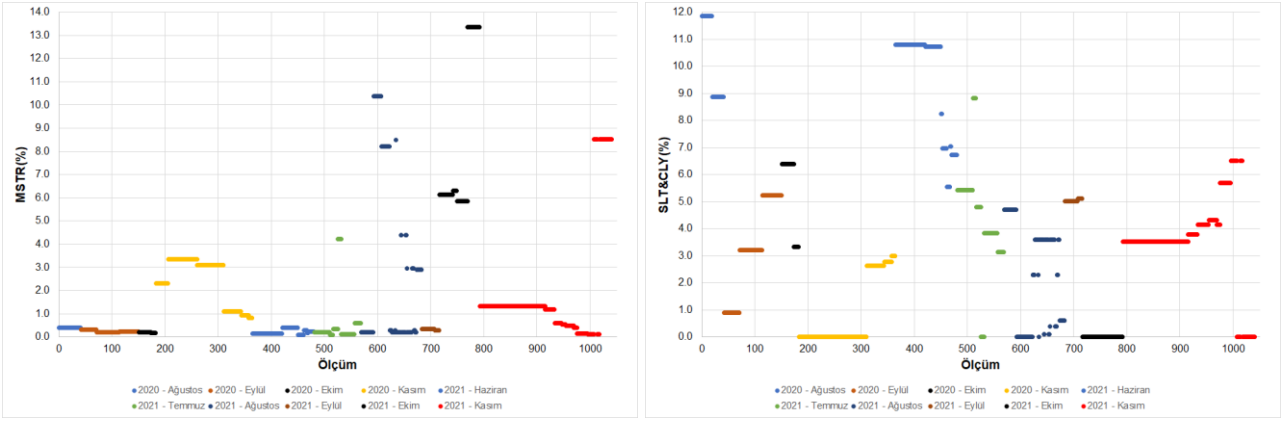
Şekil 4.34 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM salınımı



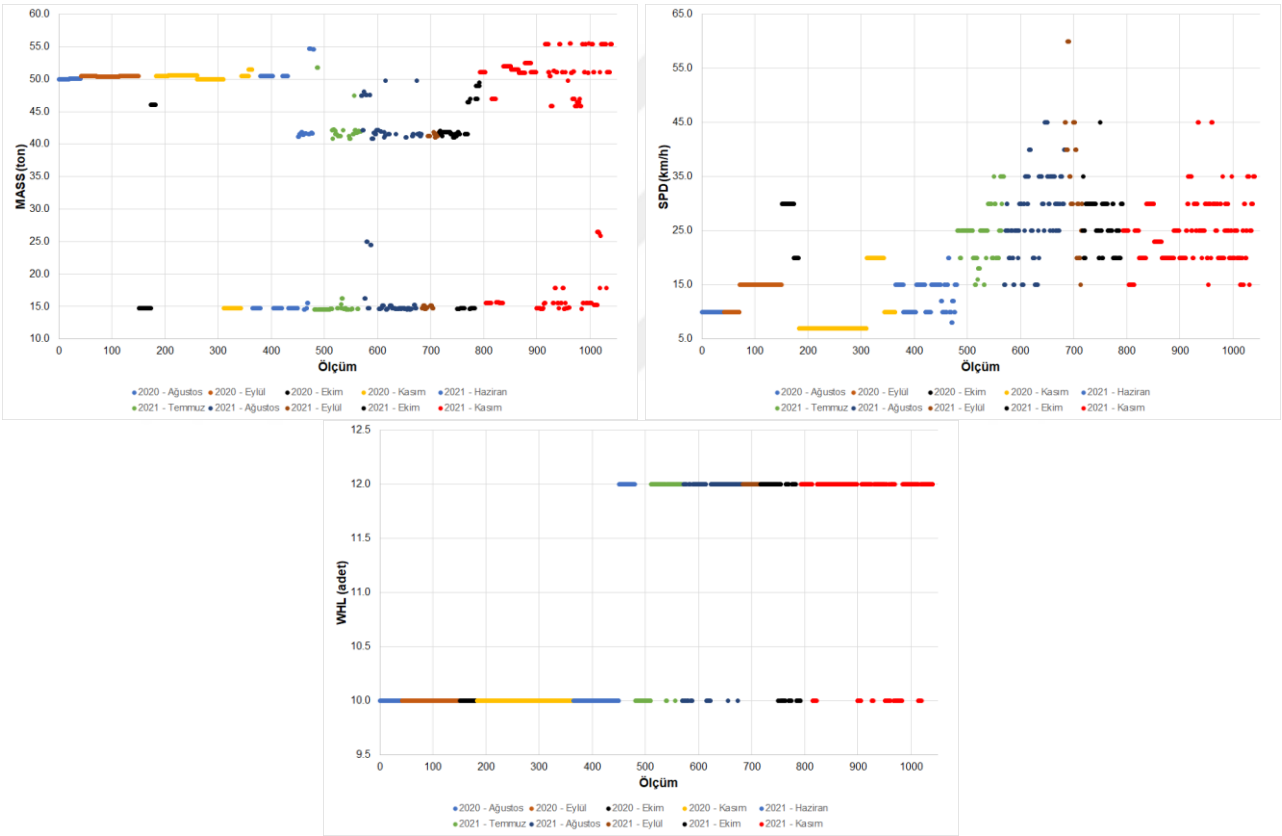
Şekil 4.35 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM salınım histogramları



Şekil 4.36 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti termal konfor parametreleri



Şekil 4.37 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti malzeme nemi ve silt+kil içeriği



Şekil 4.38 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti kamyon tonajları, hızları ve tekerlek sayıları

4.13 Kalker İşletmesi (B) Taşıma Faaliyeti

Kalker işletmesi (B)'de 2020 yılı Temmuz - Kasım, 2021 yılı Haziran - Ekim ayları arasında yapılan 2070 ölçüm verisi değerlendirmeye tabi tutulmuştur (Şekil 4.39). Genel olarak, TAPM ve PM_{10} salınımı 300 µg/m³, $PM_{2,5}$ 30,0 µg/m³ ve PM_1 10,0 µg/m³ altında daha fazla yoğunlaşmaktadır. PM dağılımı kurak aylarda (Haziran - Eylül arası) diğer aylara göre (Ekim ve Kasım) daha yüksektir. Verideki en büyük saçılım Haziran, en düşük Ekim ayındadır. Ayrıca, yağışlı havalar ve yolların sulanması PM salınımının belirgin oranda düşmesine neden olmuştur. Taşıma faaliyeti sırasında ölçülen ve yalnızca kamyonların geçişi sırasında

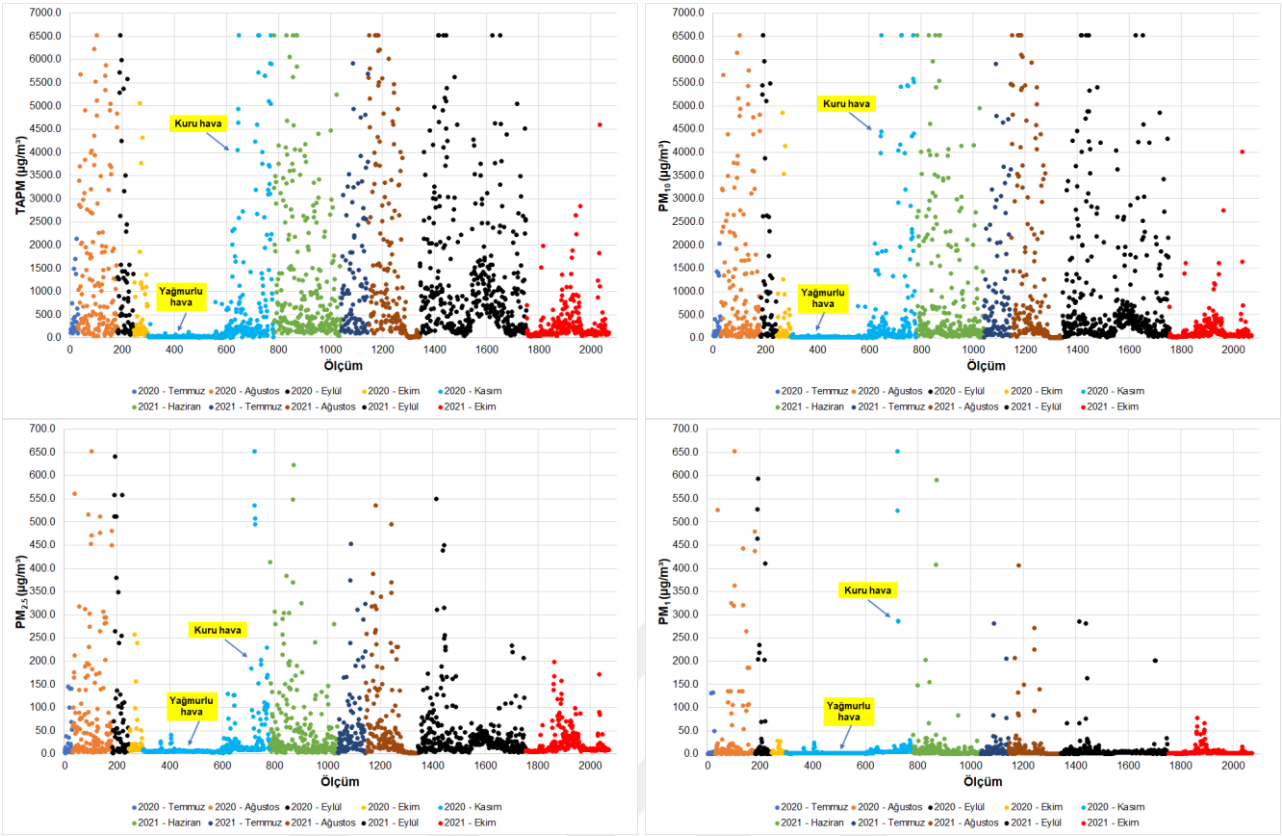
modellemeye dâhil edilen PM'lerin histogramları Şekil 4.40'da verilmiştir. Ölçülen PM verileri ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Buna göre;

a) TAPM değerleri 6,3 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup, TAPM verilerinin yaklaşık %26,32'si 6,3 - 100 µg/m³, %26,08'i 100 - 300 µg/m³ ve %9,13'ü 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %5,55 ile %0,14 arasında değişmiştir.
b) PM_{10} değerleri 2 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup PM_{10} verilerinin yaklaşık %45,31'i 2,0 - 100 µg/m³, %20,19'u 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %9,17 ile %0,19 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ değerleri 1,06 - 652,79 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %40,04'ü 1,06 - 10 µg/m³, %30,04'ü, 10 - 30 µg/m³ ve %10,19'u 30 - 50 µg/m³ arasındadır. 50 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %5,02 ile %0,19 arasında değişmiştir.
d) PM_1 değerleri 0,22 - 652,79 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %87,68'i 0,22 - 10 µg/m³, %7,53'ü 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 30 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %1,2 ile %0,09 arasında değişmiştir.

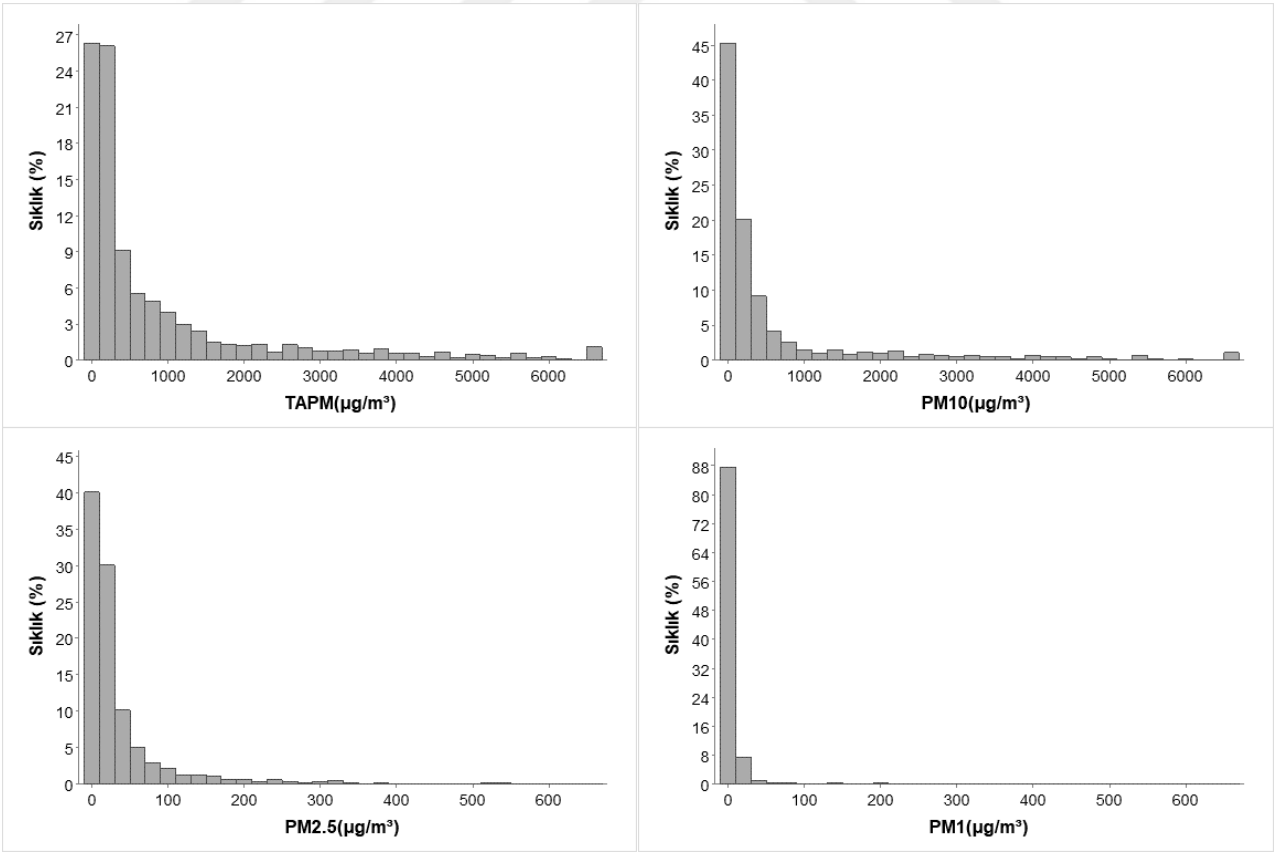
Termal konfor parametreleri dönemlik bazda değişiklik göstermiştir. PM salınımının yoğun olduğu aylarda hava sıcaklığı ve rüzgâr hızı yüksek ancak bağıl nem düşüktür (Şekil 4.41). Malzeme nem ve silt+kil içeriği aylar bazında belirgin biçimde değişim göstermiştir. Nem içeriği yağışlı havalarda yüksek olup silt+kil içeriği sıfıra, ortamdaki PM miktarı ise oldukça düşük değerlere düşmüştür. Yüksek PM salınımında, malzemenin nem içeriği düşük ancak silt+kil içeriği yüksektir. Malzeme nem içeriği %0,42 - %10,75, silt+kil içeriği de %0,0 - %6,46 arasında değişmiştir (Şekil 4.42).

Taşımada kullanılan kamyonların tonaj, hız ve tekerlek sayıları Şekil 4.43'de verilmiştir. Kamyon tonajları 16,1 t - 42,5 t, hızları 20 km/sa - 70 km/sa arasında ve tekerlek sayıları 12 adettir.

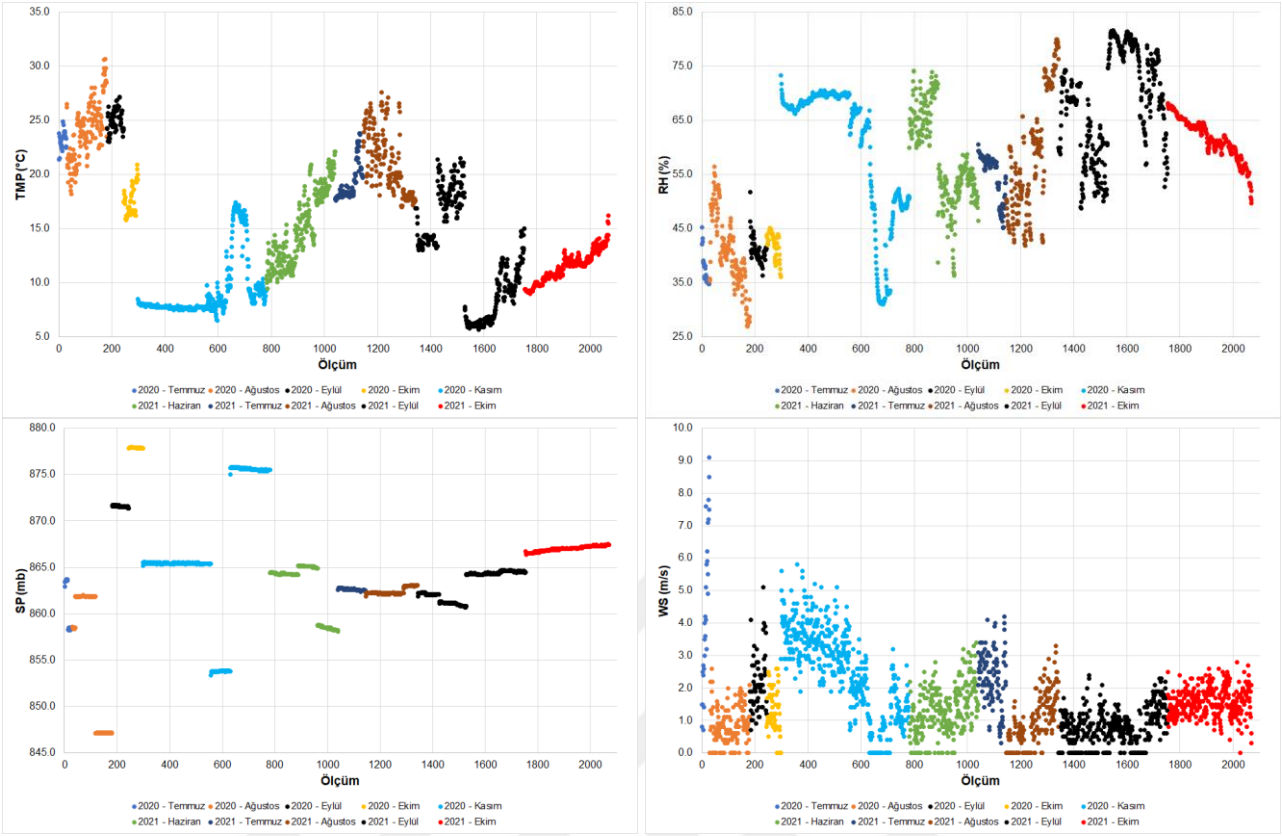
Bağımlı değişken (PM salınımı) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri ve malzeme özellikleri) arasında, PM salınım verisinin geniş çaplı saçılım göstermesinden dolayı güçlü ilgileşime erişilememiştir.



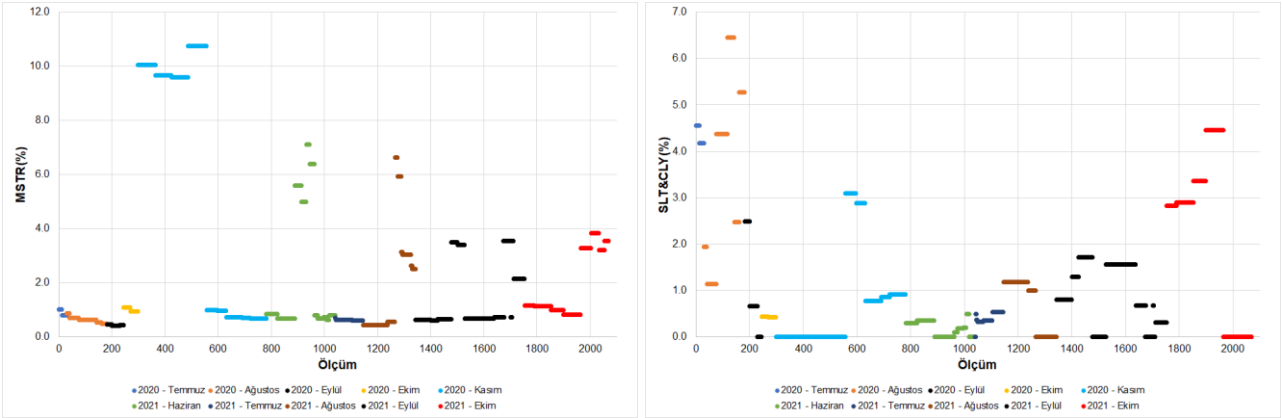
Şekil 4.39 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınımı



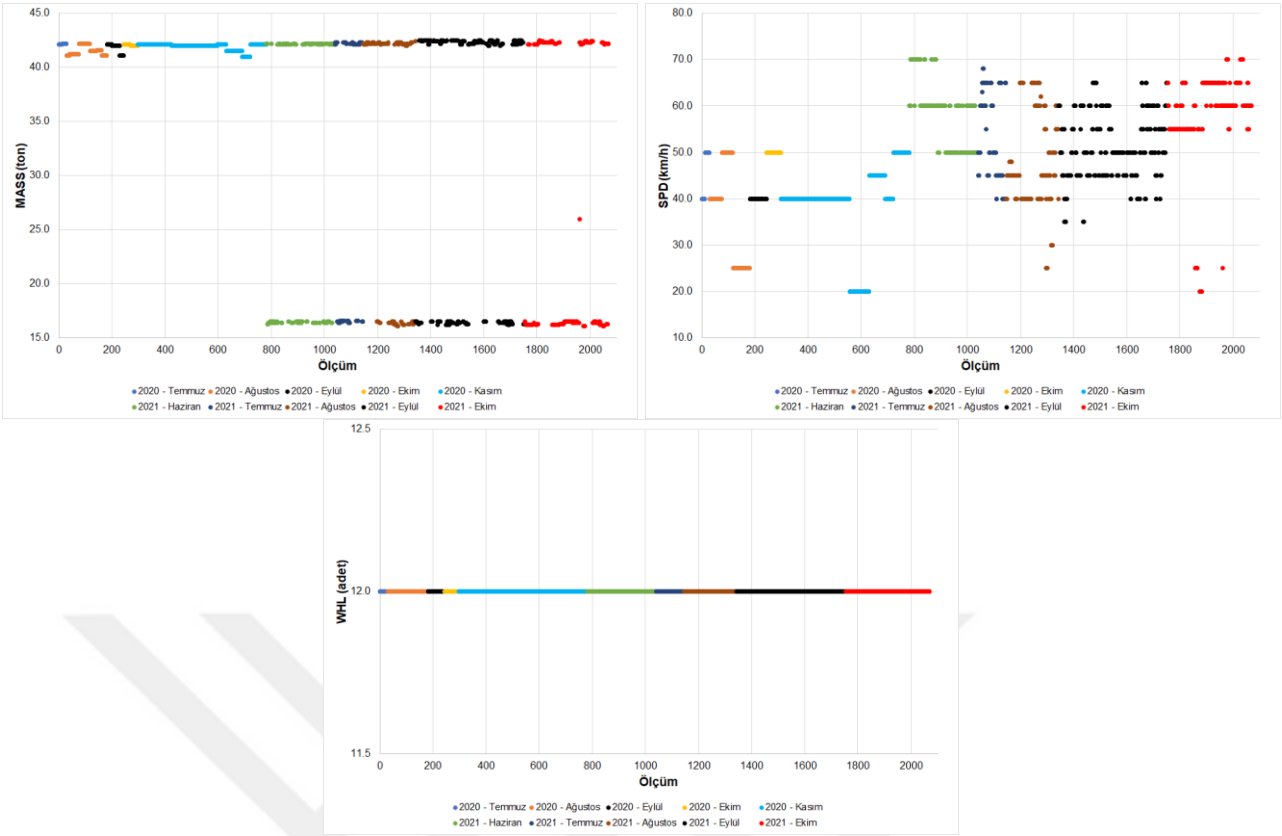
Şekil 4.40 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınım histogramları



Şekil 4.41 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti termal konfor parametreleri



Şekil 4.42 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti malzeme nem ve silt+kil içeriği



Şekil 4.43 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti kamyon tonajları, hızları ve tekerlek sayıları

4.14 Kalker İşletmeleri Taşıma Faaliyeti

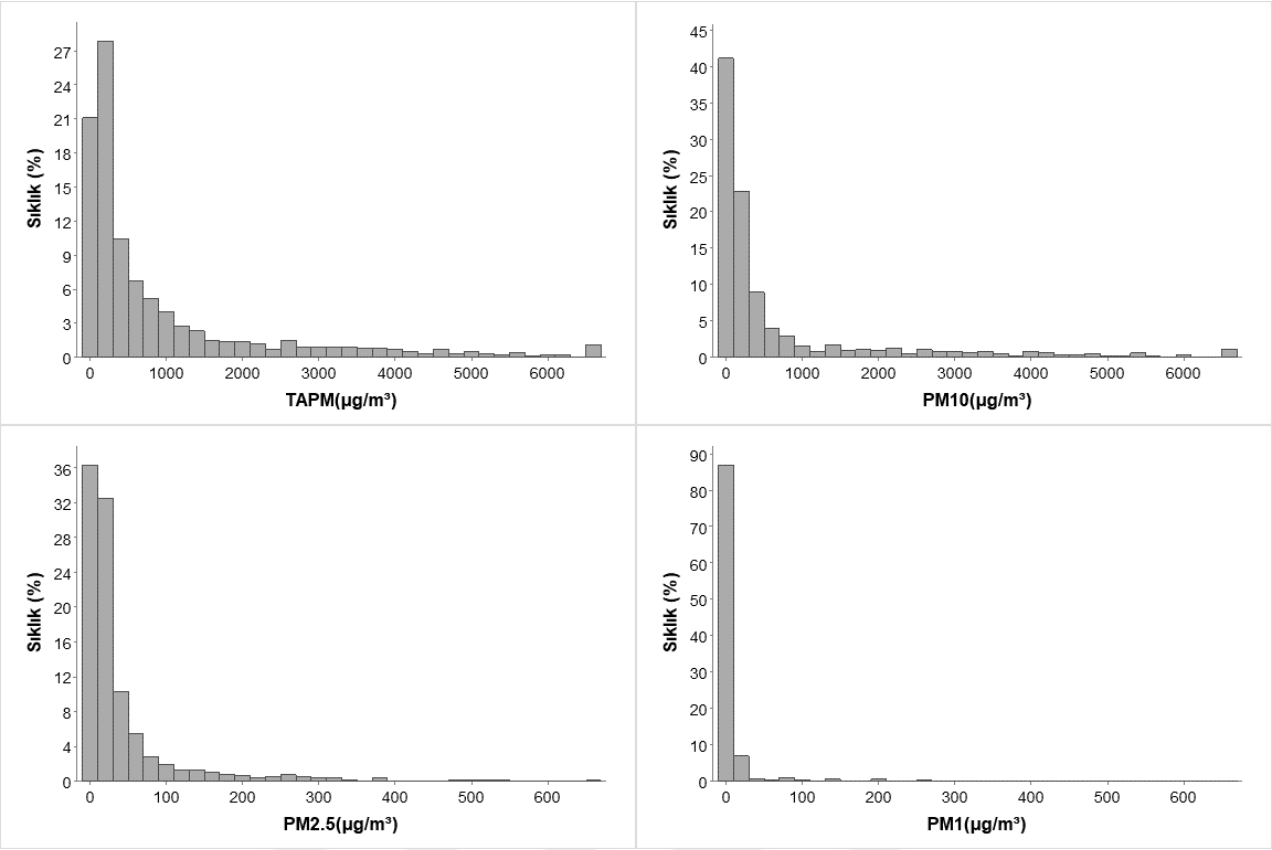
İki kalker işletmesinde kaydedilen taşıma verileri birleştirilerek toplam 3110 adetlik bir sete dönüştürülmüş ve PM salınım histogramları Şekil 4.44'de verilmiştir. Buna göre;

a) TAPM salınımı 6,3 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup TAPM verilerinin yaklaşık %21,09'u 6,3 - 100 µg/m³, %27,87'si 100 - 300 µg/m³ ve %10,45'i 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %6,78 ile %0,19 arasında değişmiştir.

b) PM_{10} salınımı 2 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup, ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %41,12'si 2,0 - 100 µg/m³, %22,86'sı 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %9,0 ile %0,16 arasında değişmiştir.

c) $PM_{2,5}$ salınımı 1,06 - 652,79 µg/m³ aralığında olup $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %36,33'ü 1,06 - 10 µg/m³, %32,54'ü, 10 - 30 µg/m³ ve %10,35'i 30 - 50 µg/m³ arasındadır. 50 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %5,49 ile %0,16 arasında değişmiştir.

d) PM_1 salınımı 0,22 - 652,79 µg/m³ aralığında olup PM_1 verilerinin yaklaşık %86,97'si 0,22 - 10 µg/m³, %7,0'si 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 30 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %0,9 ile %0,07 arasında değişmiştir.



Şekil 4.44 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınım histogramları

4.15 Tüm İşletmelerin Taşıma Faaliyeti

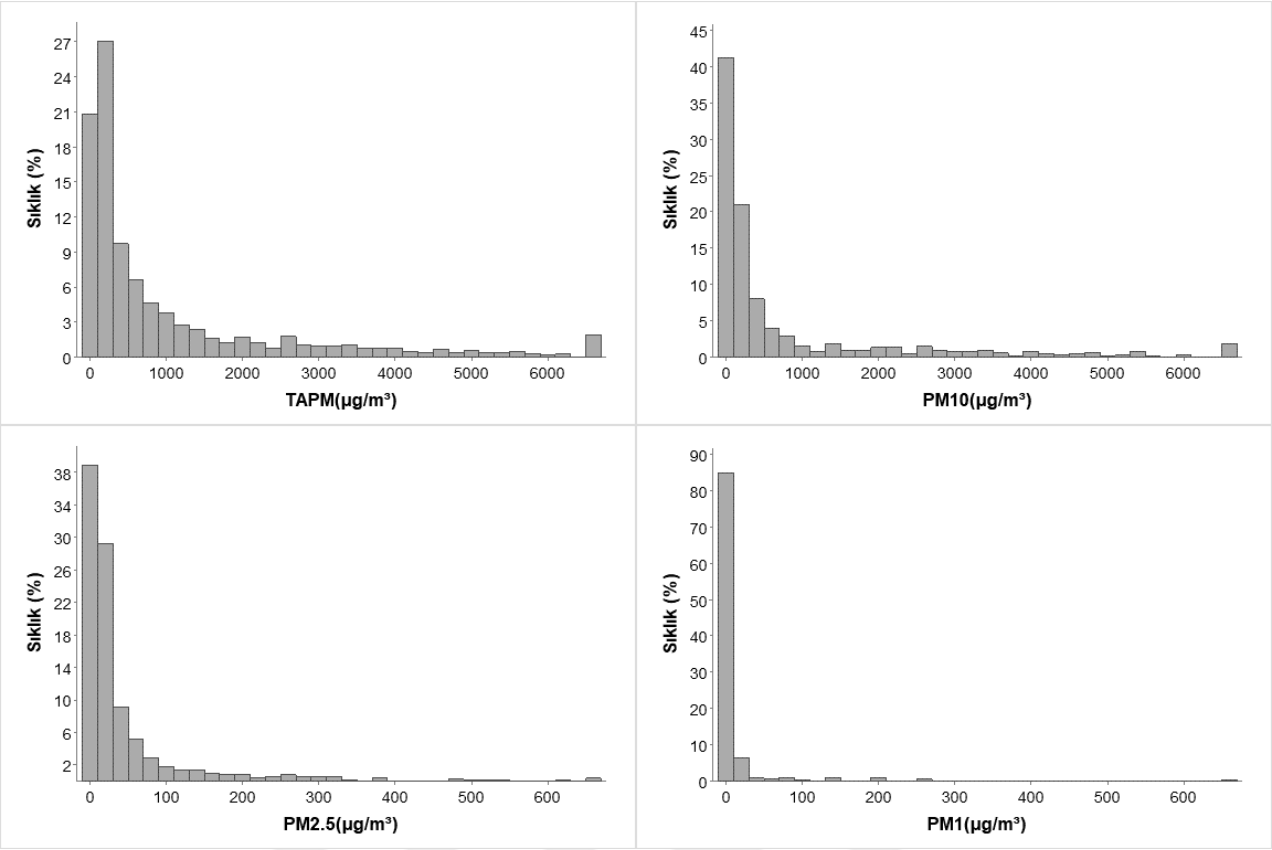
Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde taşıma faaliyeti sırasında kaydedilen veriler birleştirilerek, toplam 3928 adetlik bir sete dönüştürülmüş ve PM salınım histogramları Şekil 4.45'da verilmiştir. Buna göre;

a) TAPM salınımı 6,3 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup, TAPM verilerinin yaklaşık %20,85'i 6,3 - 100 µg/m³, %27,06'sı 100 - 300 µg/m³ ve %9,75'i 300 - 500 µg/m³ arasındadır. 501 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %6,61 ile %0,22 arasında değişmiştir.

b) PM_{10} salınımı 2 - 6527,9 µg/m³ aralığında olup, ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %41,21'i 2,0 - 100 µg/m³, %21,0'i 100 - 300 arasındadır. 301 - 6527,9 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %8,04 ile %0,20 arasında değişmiştir.

c) $PM_{2,5}$ salınımı 0,99 - 652,79 µg/m³ aralığında olup, ölçülen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %38,92'si 0,99 - 10 µg/m³, %29,27'si, 10 - 30 µg/m³ ve %9,16'sı 30 - 50 µg/m³ arasındadır. 50 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %5,16 ile %0,17 arasında değişmiştir.

d) PM_1 salınımı 0,06 - 652,79 µg/m³ aralığında olup, ölçülen PM_1 verilerinin yaklaşık %84,82'si 0,06 - 10 µg/m³, %6,59'u 10 - 30 µg/m³ arasındadır. 30 - 652,79 µg/m³ arasındaki verilerin dağılımı %0,94 ile %0,05 arasında değişmiştir.



Şekil 4.45 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM salınım histogramları

5. DELME FAALİYETİNDE PM SALINIMI MODELLENMESİ

5.1 Giriş

Sivas ilinde yer alan bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri sırasında eşzamanlı ölçülen PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine özellikleri ile malzeme nemi ve silt+kil içeriği verisi bir tablolama programına aktarılarak, işlenmiştir.

Veri gruplarının normal dağılıma uygunluğu, Shapiro-Wilk testi ile çarpıklık ve basıklık değerleri aracılığıyla sorgulanmış olup parametrik/parametrik olmayan test tekniklerinin hangisinin kullanılacağına karar verilmiştir. Bu aşamada Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'ne yerleşke lisanslaması yapılan bir istatistiksel analiz paketinden (SPSS, 2018) faydalanılmıştır. Çarpıklık ve basıklık değerlerinin +1,5 ile -1,5 arasında (Tabachnik ve Fidell 2013; Erbay ve Beydoğan, 2017), başka bir yaklaşımda ise +2,0 ile -2,0 arasında (George ve Mallery 2010) olması durumunda verinin normal dağıldığı kabul edilmektedir. Bağımsız değişkenler arasındaki ilgileşimi gösteren çoklu doğrusal bağlantıyı test etmek için varyans artış faktörüne (VIF) bakılmaktadır. Bazı yaklaşımlarda VIF ≥10 (Albayrak, 2005; Montgomery vd., 2012; Büyükuysal ve Öz, 2016; Karabulut, 2019; Ahmad vd., 2021), diğer bazı yaklaşımlarda da ≥5 (Bükey ve Çetin 2017; Avcı, 2020; Shrestha, 2020) olduğunda bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı sorunu olduğu ifade edilmektedir. Normallik analizleri örneklem sayısının 50'den fazla olması sebebiyle Kolmogorov-Smirnov testi dikkate alınarak yapılmıştır (Mayers, 2013).

Delme, yükleme ve taşıma faaliyetlerinden kaydedilen ham veri setleri çoğunlukla normal dağılıma uygunluğu sağlayamamıştır. Bu nedenle veri setleri; tersi (1/ham), 1000'e bölümü (ham/1000), doğal logaritması (ln(ham)) ve logaritması (log(ham)) alınarak dönüştürülmüş ve oluşturulan yeni veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu test edilmiştir. Doğal logaritma ve logaritması alınarak dönüştürülen setleri normal dağılıma uygunluğu sağlamıştır.

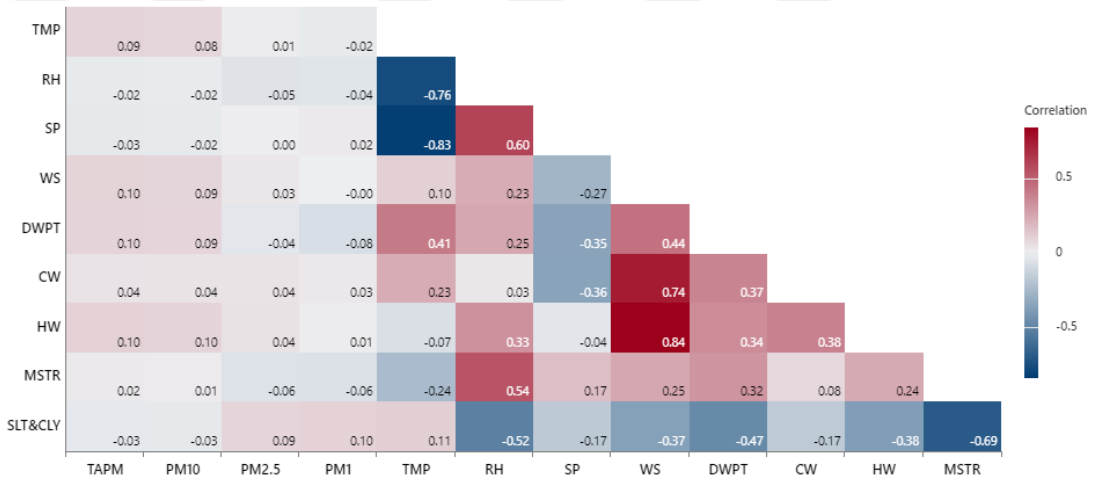
Normal dağılım gösteren ve ikiden fazla bağımsız değişkene sahip gruplar için parametrik test tekniklerinden tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Analizlerde güven aralığı %95 ve manidarlık düzeyi α, %5 alınmış, analiz sonuçları Tukey testi üzerinden değerlendirilmiştir. Tukey testinin seçilme gerekçesi, bağımsız k grup ortalamayı ortak bir hata yaklaşımı ile ikili olarak karşılaştırmaya olanak sağlaması ve eşit örnek hacimlerinde kullanıldığında tüm ortalama farklarının tek bir değerden yararlanılarak karşılaştırılabilmesidir (Bülbül, 2000). Tek yönlü varyans analizlerinde aylık PM salınımları arasında anlamlı fark olup olmadığı, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmış ve bağımsız değişkenlerin karşılaştırılması sonucunda PM salınımında aylar arasında anlamlı fark bulunduğu tespit edilmiştir.

İkinci aşamada, normal dağılım gösteren veri setleri kullanılarak salınım kestirim denklemleri türetilmiş ancak modellerin açıklama yeteneğinin ($R^2 \leq \%45$) düşük olmasından diğer bir modelleme yaklaşımı olan karar ağacı algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir.

5.2 Alçıtaşı İşletmesi Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Alçıtaşı işletmesinde delme faaliyeti sırasında ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelerin ilgileşim matrisi Şekil 5.1'de verilmiştir. Her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile her bir bağımsız değişken (termal konfor parametreleri, nem ve silt+kil içerikleri) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%10) düzeyde olduğundan herhangi bir bağımlı değişkeni tek bir bağımsız değişken ile açıklamak mümkün değildir.

Bağımsız değişkenler dikkate alındığında, malzeme nemi ile silt+kil içeriği arasında normal negatif yönlü ilgileşim (40≤R<70), rüzgâr hızı ile rüzgâr yönleri (karşı ve yan rüzgâr dâhil) arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥70) bulunmaktadır. Benzer şekilde; hava sıcaklığı, bağıl nem ve istasyon basıncı arasında da negatif yönlü yüksek ilgileşim vardır. Ayrıca, bağıl nem, istasyon basıncı ve malzeme nemi ile arasında pozitif normal ilgileşim, silt+kil içeriği ile arasında da negatif yönlü normal ilgileşim vardır.



Şekil 5.1 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti parametrik ilgileşim matrisi

5.2.1 Regresyon analizi

Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınımının normallik test sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Ham verilerden dönüştürülen yeni veri setlerinden doğal logaritma (ln) ve logaritma (log) setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerleri literatürde önerilen aralıkta ve veriler, normal dağılıma uygundur. Diğer taraftan, TAPM ve PM_{10} ham verileri çarpıklık ve basıklık değerlerine göre normal dağılım göstermelerine rağmen, düzeltilmiş belirlilik katsayılarının çok düşük (R^2≤%4) ve oldukça geniş bir aralığa saçılmış olmaları nedeniyle bu verilerin regresyon analiz sonuçları değerlendirilmemiştir.

Delme faaliyetinde örneklenen ve normal dağılım gösteren PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. Çizelgede, her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur. Buna göre; TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ölçüm değerleri aylar bazında farklı istatistiksel sonuçlar ortaya koymaktadır. Bazı aylar için benzer sonuçlar çıkarken, PM_1 ve $PM_{2,5}$ aylar bazında

farklılıklar göstermektedir. Bağımsız değişkenler incelendiğinde de benzer sonuçlar çıkmış olup ay bazında her bir bağımsız değer için anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$, PM_1 salınımları için Haziran 2020 ile Eylül 2020 ayları arasında anlamlı farklılıklar yoktur. Log(TAPM) için Çizelge 5.2'yi ayrıntılı bir şekilde incelediğimizde; Haziran 2020 ile Eylül 2020 arasında anlamlı bir farklılık yokken diğer aylarla arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır. Eylül 2020 ile Ekim 2020 arasında da anlamlı farklılıklar yoktur. Temmuz 2020 ile Ağustos 2020 Ekim 2020 ve Haziran 2021 arasında anlamlı farklılıklar bulunmazken; diğer aylarla arasında anlamlı farklılıklar vardır. Ağustos 2020 ile Haziran 2020, Mayıs 2021 arasında anlamlı farklılık yoktur; Ekim 2020 ile Temmuz 2020 Ağustos 2021 ve Eylül 2020 arasında anlamlı farklılık bulunmazken diğer aylarla arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır. Mayıs 2021 ile Haziran 2021 ve Ağustos 2020 anlamlı farklılıklar yoktur. Haziran 2021 ile Mayıs 2021, Ağustos 2020, Temmuz 2020 arasında anlamlı farklılık yoktur. Ağustos 2021 ile Ekim 2020 ve Eylül 2020 arasında anlamlı farklılık yoktur ancak Ağustos 2021 diğer aylarda alınan ölçüm değerleri arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır. Bağımsız değerler için de örneğin TMP için Ekim 2020 ile Mayıs 2021 ayları arasında anlamlı farklılık çıkmazken bu aylarda diğer bağımsız değişkenler açısından anlamlı farklılıklar çıkmıştır. HW değeri için de Eylül 2020 ayları ile Ekim 2020 ve Haziran 2020 ayları arasında anlamlı farklılık çıkmazken diğer aylar için anlamlı farklılıklar çıkmıştır. HW dışındaki diğer değişkenler için bu aylar bazında anlamlı farklılıklar çıkmaktadır. Yaz ayları ile sonbahar ayları arasındaki ölçüm değerlerinde anlamlı bir farklılık bulunmaktadır.

Çizelge 5.1 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınımı normallik test sonuçları

Tür	PM salınımı (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
ham	TAPM	1385,95 ± 2000,34	185,4 (3,9 - 6527,9)	1,41	0,63	<0,001
	PM_{10}	1221,88 ± 1948,55	68,7 (3,7 - 6527,9)	1,574	1,161	<0,001
	$PM_{2.5}$	47,12 ± 105,42	9,2 (0,2 - 652,79)	3,62	14,01	<0,001
	PM_1	23,65 ± 84,15	1,85 (0,1 - 652,79)	5,13	28,67	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,46 ± 0,89**	**2,27 (0,59 - 3,82)**	**0,07**	**-1,28**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**2,23 ± 0,98**	**1,84 (0,57 - 3,82)**	**0,33**	**-1,36**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**1,07 ± 0,7**	**0,96 (-0,7 - 2,82)**	**0,74**	**-0,20**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,39 ± 0,75**	**0,27 (-1 - 2,82)**	**1,33**	**1,54**	**<0,001**
1/ham	1/ TAPM	0,02 ± 0,03	0,01 (0 - 0,26)	3,69	18,36	<0,001
	1/ PM_{10}	0,03 ± 0,04	0,02 (0 - 0,27)	2,37	6,96	<0,001
	1/$PM_{2.5}$	0,2 ± 0,26	0,11 (0 - 5)	6,46	84,53	<0,001
	1/ PM_1	0,93 ± 1,01	0,54 (0 - 10)	2,82	17,63	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**5,66 ± 2,04**	**5,22 (1,36 - 8,78)**	**0,07**	**-1,28**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**5,13 ± 2,25**	**4,23 (1,31 - 8,78)**	**0,33**	**-1,36**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,45 ± 1,55**	**2,22 (-1,61 - 6,48)**	**0,74**	**-0,20**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**0,9 ± 1,72**	**0,62 (-2,3 - 6,48)**	**1,33**	**1,54**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	1,39 ± 2	0,19 (0 - 6,53)	1,57	1,16	<0,001
	PM_{10}/1000	1,22 ± 1,95	0,07 (0 - 6,53)	1,57	1,16	<0,001
	$PM_{2.5}$/1000	0,05 ± 0,11	0,01 (0 - 0,65)	3,62	14,01	<0,001
	PM_1/1000	0,02 ± 0,08	0 (0 - 0,65)	5,130	28,68	<0,001

Çizelge 5.2 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri

	Parametre	Ay	Haziran 2020	Temmuz 2020	Ağustos 2020	Eylül 2020	Ekim 2020	Mayıs 2021	Haziran 2021	Ağustos 2021	p
Alçıtaşı işletmesi	log(TAPM)	Tukey	1,88 ± 0,81^{a}	2,55 ± 0,92^{cd}	2,73 ± 0,9^{de}	2,14 ± 0,85^{ab}	2,32 ± 0,63^{bc}	2,86 ± 0,82^{e}	2,68 ± 0,84^{de}	2,25 ± 0,96^{b}	≤0,001
	ln(TAPM)	Tukey	4,32 ± 1,87^{a}	5,87 ± 2,11^{cd}	6,28 ± 2,08^{de}	4,93 ± 1,96^{ab}	5,34 ± 1,44^{bc}	6,58 ± 1,89^{e}	6,17 ± 1,94^{de}	5,18 ± 2,22^{b}	≤0,001
	log(PM_{10})	Tukey	1,65 ± 0,85^{a}	2,30 ± 1,04^{cd}	2,55 ± 1,03^{d}	1,90 ± 0,90^{ab}	2,06 ± 0,69^{bc}	2,62 ± 0,99^{d}	2,47 ± 0,92^{d}	2,02 ± 1,03^{bc}	≤0,001
	ln(PM_{10})	Tukey	3,80 ± 1,96^{a}	5,29 ± 2,39^{cd}	5,87 ± 2,37^{d}	4,38 ± 2,07^{ab}	4,75 ± 1,59^{bc}	6,03 ± 2,27^{d}	5,69 ± 2,13^{d}	4,64 ± 2,36^{bc}	≤0,001
	log($PM_{2,5}$)	Tukey	0,75 ± 0,42^{a}	1,01 ± 0,65^{bc}	1,31 ± 0,88^{d}	0,88 ± 0,59^{ab}	1,20 ± 0,48^{cd}	0,99 ± 0,76^{bc}	1,28 ± 0,61^{d}	0,9 ± 0,65^{ab}	≤0,001
	ln($PM_{2,5}$)	Tukey	1,74 ± 0,96^{a}	2,33 ± 1,50^{bc}	3,02 ± 2,04^{d}	2,03 ± 1,35^{ab}	2,75 ± 1,1^{cd}	2,27 ± 1,74^{bc}	2,95 ± 1,4^{d}	2,06 ± 1,49^{ab}	≤0,001
	log(PM_{1})	Tukey	0,11 ± 0,46^{a}	0,33 ± 0,70^{ab}	0,70 ± 1,09^{c}	0,25 ± 0,62^{a}	0,60 ± 0,57^{c}	0,25 ± 0,65^{a}	0,52 ± 0,67^{bc}	0,15 ± 0,7^{a}	≤0,001
	ln(PM_{1})	Tukey	0,25 ± 1,07^{a}	0,25 ± 1,07^{ab}	0,25 ± 1,07^{c}	0,25 ± 1,07^{a}	0,25 ± 1,07^{c}	0,25 ± 1,07^{a}	0,25 ± 1,07^{bc}	0,25 ± 1,07^{a}	≤0,001
	TMP	Tukey	21,09 ± 1,86^{b}	30,32 ± 3,06^{g}	28,06 ± 1,40^{e}	25,16 ± 2,64^{c}	17,08 ± 2,82^{a}	16,16 ± 0,6^{a}	27,06 ± 1,39^{d}	29,12 ± 4,41^{f}	≤0,001
	RH	Tukey	52,04 ± 4,62^{e}	27,56 ± 9,53^{a}	25,04 ± 4,03^{a}	30,24 ± 3,88^{b}	36,3 ± 7,02^{d}	58,27 ± 2,1^{f}	35,1 ± 2,53^{cd}	33,46 ± 12,02^{c}	≤0,001
	SP	Tukey	863,85 ± 0,07^{d}	859,71 ± 2,83^{a}	861,56 ± 0,15^{b}	864,27 ± 0,16^{e}	867,5 ± 0,18^{f}	867,95 ± 0,07^{g}	861,48 ± 0,11^{b}	863,28 ± 0,34^{c}	≤0,001
	WS	Tukey	1,73 ± 0,99^{c}	2,04 ± 1,11^{cd}	2,60 ± 1,27^{e}	0,44 ± 0,48^{b}	0,08 ± 0,19^{a}	2,76 ± 1,07^{e}	2,18 ± 1,33^{d}	1,78 ± 1,02^{c}	≤0,001
	DWPT	Tukey	10,8 ± 0,87^{e}	8,64 ± 2,81^{d}	6,04 ± 1,72^{b}	6,35 ± 1,19^{b}	1,75 ± 0,97^{a}	7,96 ± 0,42^{c}	10,3 ± 0,89^{e}	10,45 ± 1,73^{e}	≤0,001
	CW	Tukey	1,03 ± 0,85^{bc}	1,03 ± 0,81^{bc}	1,62 ± 1,13^{e}	0,27 ± 0,30^{a}	0,04 ± 0,11^{a}	0,84 ± 0,59^{b}	1,17 ± 0,79^{c}	1,26 ± 0,81^{c}	≤0,001
	HW	Tukey	0,65 ± 1,36^{bc}	1,16 ± 1,54^{de}	1,84 ± 1,04^{f}	0,32 ± 0,39^{ab}	-0,06 ± 0,16^{a}	2,52 ± 1,16^{g}	1,4 ± 1,61^{e}	0,97 ± 1,01^{cd}	≤0,001
	MSTR	Tukey	0,88 ± 0,09^{c}	1,01 ± 0,15^{d}	0,61 ± 0,48^{a}	0,68 ± 0,51^{ab}	0,78 ± 0,16^{bc}	1,69 ± 0,23^{e}	0,84 ± 0,24^{c}	1,01 ± 0,34^{d}	≤0,001
	SLT&CLY	Tukey	35,41 ± 2,88^{e}	36,21 ± 3,14^{e}	35,60 ± 4,84^{e}	30,37 ± 4,02^{c}	44,94 ± 2,81^{f}	6,58 ± 1,52^{a}	32,37 ± 1,4^{d}	25,60 ± 11,07^{b}	≤0,001

a-e: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (PM ölçüm verileri)
a-g: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (Termal konfor parametreleri ve malzeme özellikleri)

TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Önce veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu araştırılmış, uygunluğu sağlayamayan ham veri setleri dönüştürülmüştür. Regresyon modellerinde, ham ve ln-dönüştürülmüş veri setleri kullanılmış ve PM salınım kestirim denklemleri Çizelge 5.3'de verilmiştir. En güçlü ilgileşim R=0,674 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM), en zayıf ilgileşim R=0,995 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10}, PM_1 ile TAPM ve PM_{10} arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değeri, logaritmik ve doğal logaritmiğe dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. PM_1 ile TAPM arasında normal ilgileşim, diğer PM'ler arasında yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Çizelge 5.3'de verilen PM salınımları arasındaki ilişkiler, Eşitlikler 5.1 - 5.6 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-120,807 (-132,16 - -109,45)		-20,872	0,000			
	TAPM	0,969 (0,964 - 0,973)	0,995	407,25	0,000	0,995	0,995	1,0
ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-1,074 (-1,191 - 0,957)		-18,010	0,000			
	ln(TAPM)	0,624 (0,605 - 0,644)	0,827	62,974	0,000	0,827	0,827	1,0
*ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,558 (-0,648 - -0,469)		-12,210	0,000			
	ln(PM_{10})	0,589 (0,573 - 0,605)	0,860	72,062	0,000	0,860	0,860	1,0
ln(PM_1)	(Sabit)	-1,765 (-1,918 - -1,611)		-22,605	0,000			
	ln(TAPM)	0,506 (0,481 - 0,532)	0,674	39,035	0,000	0,674	0,674	1,0
*ln(PM_1)	(Sabit)	-1,370 (-1,493 - -1,246)		-21,731	0,000			
	ln(PM_{10})	0,482 (0,46 - 0,504)	0,708	42,825	0,000	0,708	0,708	1,0
PM_1	(Sabit)	-11,513 (-13,015 - -10,011)		-15,037	0,000			
	$PM_{2,5}$	0,746 (0,733 - 0,759)	0,935	112,515	0,000	0,935	0,935	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı
PM_{10}; F= 165852,054, p≤0,001, Adj.R^2= 0,989, SE= 203,45
ln($PM_{2,5}$); F= 3965,685, p≤0,001, Adj.R^2= 0,684, SE= 0,86
*ln($PM_{2,5}$); F= 5192,884, p≤0,001, Adj.R^2= 0,74, SE= 0,78
ln(PM_1); F= 1523,761, p≤0,001, Adj.R^2= 0,454, SE= 1,13
*ln(PM_1); F= 1833,951, p≤0,001, Adj.R^2= 0,501, SE= 1,08
PM_1; F= 12659,713, p≤0,001, Adj.R^2= 0,874, SE= 29,89

$$PM_{10} = -120{,}807 + 0{,}969 \times TAPM, \mu g/m^3 \quad [5.1]$$

$$\ln PM_{2.5} = -1{,}074 + 0{,}624 \times \ln TAPM \; veya; \; PM_{2.5} = 0{,}3416 \times TAPM^{0{,}624}, \mu g/m^3 \quad [5.2]$$

$$\ln PM_{2.5} = -0{,}558 + 0{,}589 \times lnPM_{10} \; veya; \; PM_{2.5} = 0{,}5723 \times {PM_{10}}^{0{,}589}, \mu g/m^3 \quad [5.3]$$

$$\ln PM_1 = -1{,}765 + 0{,}506 \times \ln TAPM \; veya; \; PM_1 = 0{,}1711 \times TAPM^{0{,}506}, \mu g/m^3 \quad [5.4]$$

$$\ln PM_1 = -1{,}370 + 0{,}482 \times \ln PM_{10} \; veya; \; PM_1 = 0{,}2541 \times {PM_{10}}^{0{,}482}, \mu g/m^3 \quad [5.5]$$

$$PM_1 = -11{,}513 + 0{,}746 \times PM_{2.5}, \mu g/m^3 \quad [5.6]$$

Modellemede ilk aşamada, normal dağılım gösteren tüm verilerin dâhil edildiği toplu giriş yöntemi üzerinden regresyon analizi ile kestirim modelleri oluşturulmuştur (Çizelge 5.4). Buna göre; logaritmik ve doğal logaritmik TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin regresyon modellerinin istatistiksel sonuçları anlamlı bulunmuş (p≤0,001) ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

a) ln(TAPM), log(TAPM), ln(PM_{10}) ve log(PM_{10}) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr dâhil) ve çiğ noktası sıcaklığının model üzerinde anlamlı bir etkisi olmayıp (VIF≥5) istasyon basıncı, yan rüzgâr hızı, malzeme nemi ve silt+kil içeriklerinin model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. Her iki modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı (R^2) %6'dır. Kısmi ilgileşim açısından değerlendirme

yapıldığında, regresyon modellerinde en etkili parametreler istasyon basıncı ve silt+kil, en az etkili parametreler ise malzeme nemi ve yan rüzgâr hızıdır.

b) ln($PM_{2,5}$) ve log($PM_{2,5}$) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil) ve çiğ noktası sıcaklığının model üzerinde anlamlı bir etkisi olmayıp (VIF≥5) istasyon basıncı, malzeme nemi ve silt+kil içeriklerinin model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. Her iki modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 8'dir. Kısmi ilgileşim açısından değerlendirme yapıldığında, regresyon modellerinde en etkili parametreler silt+kil ve istasyon basıncı, en az etkili parametre ise malzeme nemidir.

c) ln(PM_{1}) ve log(PM_{1}) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil) ve çiğ noktası sıcaklığının model üzerinde anlamlı bir etkisi yokken (VIF≥5) istasyon basıncı, malzeme nemi ve silt+kil içeriklerinin model üzerinde anlamlı etkisi (VIF≤5) vardır. Her iki modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 6,6'dır. Kısmi ilgileşim açısından, regresyon modellerinde en etkili parametreler silt+kil ve istasyon basıncı, en az etkili parametre ise malzeme nemidir.

Çizelge 5.4 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti toplu giriş regresyon modeli

		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
log(TAPM)	**(Sabit)**	**-93,98 (-118,16 - -69,79)**		**7,622**	**0,000**			
	TMP	0,12 (0,07 - 0,17)	0,802	4,806	0,000	0,058	0,112	54,095
	RH	0,03 (0,01 - 0,06)	0,449	2,927	0,003	-0,016	0,068	45,707
	SP	**0,11 (0,08 - 0,13)**	**0,369**	**7,693**	**0,000**	**-0,001**	**0,178**	**4,469**
	WS	0,2 (0,09 - 0,31)	0,307	3,582	0,000	0,132	0,084	14,311
	DWPT	-0,07 (-0,12 - -0,02)	-0,259	2,734	0,006	0,055	-0,064	17,386
	CW	**-0,12 (-0,21 - -0,02)**	**-0,117**	**2,462**	**0,014**	**0,050**	**-0,058**	**4,374**
	HW	0,01 (-0,07 - 0,08)	0,009	0,144	0,886	0,136	0,003	7,084
	MSTR	**0,19 (0,05 - 0,33)**	**0,093**	**2,742**	**0,006**	**0,018**	**0,064**	**2,256**
	SLT&CLY	**0,02 (0,01 - 0,03)**	**0,255**	**6,274**	**0,000**	**0,008**	**0,146**	**3,220**
ln(TAPM)	**(Sabit)**	**-216,38 (-272,06 - -160,7)**		**7,622**	**0,000**			
	TMP	0,27 (0,16 - 0,39)	0,802	4,806	0,000	0,058	0,112	54,095
	RH	0,08 (0,03 - 0,13)	0,449	2,927	0,003	-0,016	0,068	45,707
	SP	**0,24 (0,18 - 0,31)**	**0,369**	**7,693**	**0,000**	**-0,001**	**0,178**	**4,469**
	WS	0,46 (0,21 - 0,71)	0,307	3,582	0,000	0,132	0,084	14,311
	DWPT	-0,16 (-0,27 - -0,04)	-0,259	2,734	0,006	0,055	-0,064	17,386
	CW	**-0,27 (-0,48 - -0,05)**	**-0,117**	**2,462**	**0,014**	**0,050**	**-0,058**	**4,374**
	HW	0,01 (-0,17 - 0,19)	0,009	0,144	0,886	0,136	0,003	7,084
	MSTR	**0,44 (0,13 - 0,75)**	**0,093**	**2,742**	**0,006**	**0,018**	**0,064**	**2,256**
	SLT&CLY	**0,05 (0,03 - 0,06)**	**0,255**	**6,274**	**0,000**	**0,008**	**0,146**	**3,220**
log(PM_{10})	**(Sabit)**	**-104,41 (-131,07 - -77,76)**		**7,682**	**0,000**			
	TMP	0,13 (0,08 - 0,18)	0,788	4,723	0,000	0,066	0,110	54,095
	RH	0,04 (0,01 - 0,06)	0,433	2,827	0,005	-0,022	0,066	45,707
	SP	**0,12 (0,09 - 0,15)**	**0,370**	**7,727**	**0,000**	**-0,005**	**0,178**	**4,469**
	WS	0,2 (0,08 - 0,32)	0,280	3,262	0,001	0,131	0,076	14,311
	DWPT	-0,07 (-0,12 - -0,02)	-0,239	2,528	0,012	0,061	-0,059	17,386
	CW	**-0,11 (-0,21 - -0,01)**	**-0,102**	**2,159**	**0,031**	**0,053**	**-0,051**	**4,374**
	HW	0,02 (-0,07 - 0,11)	0,028	0,464	0,643	0,138	0,011	7,084
	MSTR	**0,17 (0,02 - 0,32)**	**0,074**	**2,161**	**0,031**	**0,002**	**0,051**	**2,256**
	SLT&CLY	**0,02 (0,01 - 0,03)**	**0,250**	**6,132**	**0,000**	**0,013**	**0,142**	**3,220**
Ln(PM_{10})	**(Sabit)**	**-240,41 (-301,79 - -179,03)**		**7,682**	**0,000**			
	TMP	0,3 (0,17 - 0,42)	0,788	4,723	0,000	0,066	0,110	54,095
	RH	0,08 (0,03 - 0,14)	0,433	2,827	0,005	-0,022	0,066	45,707
	SP	**0,27 (0,2 - 0,34)**	**0,370**	**7,727**	**0,000**	**-0,005**	**0,178**	**4,469**
	WS	0,46 (0,18 - 0,74)	0,280	3,262	0,001	0,131	0,076	14,311
	DWPT	-0,16 (-0,28 - -0,04)	-0,239	2,528	0,012	0,061	-0,059	17,386
	CW	**-0,26 (-0,49 - -0,02)**	**-0,102**	**2,159**	**0,031**	**0,053**	**-0,051**	**4,374**
	HW	0,05 (-0,15 - 0,25)	0,028	0,464	0,643	0,138	0,011	7,084
	MSTR	**0,38 (0,04 - 0,73)**	**0,074**	**2,161**	**0,031**	**0,002**	**0,051**	**2,256**
	SLT&CLY	**0,05 (0,03 - 0,06)**	**0,249**	**6,131**	**0,000**	**0,013**	**0,142**	**3,220**

Log($PM_{2,5}$)	**(Sabit)**	**-66,41 (-84,57 - -48,24)**		**7,171**	**0,000**			
	TMP	0 (-0,03 - 0,04)	0,025	0,150	0,881	0,010	0,004	54,095
	RH	-0,01 (-0,03 - 0)	-0,229	1,508	0,132	-0,060	-0,035	45,707
	SP	**0,08 (0,06 - 0,1)**	**0,353**	**7,440**	**0,000**	**0,052**	**0,172**	**4,469**
	WS	0,07 (-0,01 - 0,16)	0,148	1,743	0,081	0,010	0,041	14,311
	DWPT	0,04 (0 - 0,08)	0,208	2,223	0,026	-0,027	0,052	17,386
	CW	-0,04 (-0,11 - 0,03)	-0,049	1,044	0,296	-0,010	-0,024	4,374
	HW	0,04 (-0,02 - 0,09)	0,070	1,172	0,241	0,044	0,027	7,084
	MSTR	**0,14 (0,03 - 0,24)**	**0,088**	**2,600**	**0,009**	**-0,108**	**0,061**	**2,256**
	SLT&CLY	**0,02 (0,02 - 0,02)**	**0,348**	**8,632**	**0,000**	**0,177**	**0,198**	**3,220**
ln($PM_{2,5}$)	**(Sabit)**	**-152,9 (-194,72 - -111,08)**		**7,171**	**0,000**			
	TMP	0,01 (-0,08 - 0,09)	0,025	0,150	0,881	0,010	0,004	54,095
	RH	-0,03 (-0,07 - 0,01)	-0,229	1,507	0,132	-0,060	-0,035	45,707
	SP	**0,18 (0,13 - 0,22)**	**0,353**	**7,440**	**0,000**	**0,052**	**0,172**	**4,469**
	WS	0,17 (-0,02 - 0,36)	0,148	1,743	0,082	0,010	0,041	14,311
	DWPT	0,09 (0,01 - 0,18)	0,208	2,223	0,026	-0,027	0,052	17,386
	CW	-0,09 (-0,25 - 0,08)	-0,049	1,044	0,297	-0,010	-0,024	4,374
	HW	0,08 (-0,05 - 0,22)	0,070	1,173	0,241	0,044	0,027	7,084
	MSTR	**0,31 (0,08 - 0,55)**	**0,088**	**2,600**	**0,009**	**-0,108**	**0,061**	**2,256**
	SLT&CLY	**0,05 (0,04 - 0,06)**	**0,348**	**8,632**	**0,000**	**0,177**	**0,198**	**3,220**
log (PM_1)	**(Sabit)**	**-66,3 (-86,32 - -46,29)**		**7,622**	**0,000**			
	TMP	-0,01 (-0,05 - 0,03)	0,802	4,806	0,836	0,058	0,112	54,095
	RH	-0,02 (-0,04 - 0)	0,449	2,927	0,155	-0,016	0,068	45,707
	SP	**0,08 (0,05 - 0,1)**	**0,369**	**7,693**	**0,000**	**-0,001**	**0,178**	**4,469**
	WS	0,05 (-0,04 - 0,14)	0,307	3,582	0,584	0,132	0,084	14,311
	DWPT	0,05 (0,01 - 0,09)	-0,259	2,734	0,090	0,055	-0,064	17,386
	CW	-0,03 (-0,1 - 0,05)	-0,117	2,462	0,471	0,050	-0,058	4,374
	HW	0,05 (-0,02 - 0,11)	0,009	0,144	0,063	0,136	0,003	7,084
	MSTR	**0,2 (0,08 - 0,31)**	**0,093**	**2,742**	**0,006**	**0,018**	**0,064**	**2,256**
	SLT&CLY	**0,02 (0,02 - 0,03)**	**0,255**	**6,274**	**0,000**	**0,008**	**0,146**	**3,220**
ln(PM_1)	**(Sabit)**	**-152,66 (-198,74 - -106,57)**		**6,496**	**0,000**			
	TMP	-0,03 (-0,12 - 0,06)	-0,108	0,659	0,510	-0,028	-0,015	54,095
	RH	-0,05 (-0,09 - 0)	-0,311	2,059	0,040	-0,057	-0,048	45,707
	SP	**0,18 (0,13 - 0,23)**	**0,317**	**6,714**	**0,000**	**0,078**	**0,156**	**4,469**
	WS	0,12 (-0,09 - 0,33)	0,094	1,109	0,268	-0,030	0,026	14,311
	DWPT	0,12 (0,03 - 0,21)	0,234	2,506	0,012	-0,076	0,059	17,386
	CW	-0,06 (-0,24 - 0,11)	-0,032	0,690	0,490	-0,039	-0,016	4,374
	HW	0,11 (-0,04 - 0,26)	0,086	1,450	0,147	0,014	0,034	7,084
	MSTR	**0,45 (0,19 - 0,71)**	**0,114**	**3,392**	**0,001**	**-0,112**	**0,079**	**2,256**
	SLT&CLY	**0,05 (0,04 - 0,07)**	**0,365**	**9,092**	**0,000**	**0,209**	**0,208**	**3,220**

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

log(TAPM); F= 13,90, p≤0,001, Adj.R^2= 0,060, SE= 0,86
log(PM_{10}); F= 13,93, p≤0,001, Adj.R^2= 0,060, SE= 0,95
log($PM_{2,5}$); F= 18,24, p≤0,001, Adj.R^2= 0,080, SE= 0,65
log(PM_1); F= 20,23, p≤0,001, Adj.R^2= 0,066, SE= 0,71

ln(TAPM); F= 13,90, p≤0,001, Adj.R^2= 0,060, SE= 1,98
ln(PM_{10}); F= 13,93, p≤0,001, Adj.R^2= 0,060, SE= 2,18
ln($PM_{2,5}$); F= 18,54, p≤0,001, Adj.R^2= 0,080, SE= 1,49
ln(PM_1); F= 20,22, p≤0,001, Adj.R^2= 0,066, SE= 1,64

Toplu giriş algoritmasında elde edilen modellerin açıklayıcı güçlerinin çok zayıf olması nedeniyle ikinci modelleme denemesinde aşamalı ve ileriye doğru seçim yöntemleri kullanılmış olup aynı sonuçları verdiği gözlemlendiğinden aşamalı doğrusal regresyon modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşimi veren verilerin modele dâhil edildiği aşamalı yöntemi üzerinden regresyon analizi ile kestirim modelleri oluşturulmuştur (Çizelge 5.5). Buna göre; logaritmik ve doğal logaritmik TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin regresyon modellerinin istatistiksel sonuçları anlamlı bulunmuş (p≤0,001) ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

a) ln(TAPM), log(TAPM), ln(PM_{10}) ve log(PM_{10}) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, silt+kil, malzeme nemi ve rüzgâr hızının (yan rüzgâr dâhil) model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. Tüm modellerin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 5,7'dir. Kısmi ilgileşim açısından, regresyon modellerinde en etkili parametreler rüzgâr hızı ve hava sıcaklığı, en az etkili parametre malzeme nemidir.
b) ln($PM_{2,5}$) ve log($PM_{2,5}$) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, karşı rüzgâr, malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığının model üzerinde anlamlı etkisi (VIF≥5) vardır. Her iki modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 7,9'dur. Ayrıca kısmi

ilgileşim açısından değerlendirme yapıldığında, $PM_{2,5}$ ln ve log regresyon modellerinde en çok etkisi olan parametreler silt+kil ve istasyon basıncı, en az etkisi olan parametreler ise malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığıdır.

c) $\ln(PM_1)$ ve $\log(PM_1)$ regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, karşı rüzgâr, silt+kil ve malzeme nemi model üzerinde anlamlı etkiye sahiptir (VIF≤5). Her iki modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 8,5'dur. Kısmi ilgileşim açısından, $\ln(PM_1)$ ve $\log(PM_1)$ regresyon modellerinde en etkili parametreler silt+kil ve malzeme nemi, en az etkili parametreler karşı rüzgâr hızı ve hava sıcaklığıdır.

Çizelge 5.5 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti aşamalı regresyon modeli

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
log(TAPM)	(Sabit)	-82,42 (-105,22 - -59,63)		-7,091	0,000			
	TMP	0,05 (0,04 - 0,06)	0,333	7,545	0,000	0,058	0,174	3,764
	SP	0,1 (0,07 - 0,12)	0,332	7,237	0,000	0,001	0,167	4,088
	SLT&CLY	0,02 (0,01 - 0,02)	0,205	5,819	0,000	0,008	0,135	2,416
	MSTR	0,23 (0,1 - 0,36)	0,111	3,368	0,001	0,018	**0,079**	2,123
	WS	0,22 (0,17 - 0,26)	0,332	8,734	0,000	0,132	**0,200**	2,803
	CW	-0,13 (-0,2 - -0,06)	-0,131	-3,708	0,000	0,050	-0,087	2,421
ln(TAPM)	(Sabit)	-189,78 (-242,27 - -137,29)		-7,091	0,000			
	TMP	0,11 (0,08 - 0,14)	0,333	7,545	0,000	0,058	0,174	3,764
	SP	0,22 (0,16 - 0,28)	0,332	7,237	0,000	0,001	0,167	4,088
	SLT&CLY	0,04 (0,02 - 0,05)	0,205	5,819	0,000	0,008	0,135	2,416
	MSTR	0,52 (0,22 - 0,83)	0,111	3,368	0,001	0,018	**0,079**	2,123
	WS	0,5 (0,39 - 0,61)	0,332	8,734	0,000	0,132	**0,200**	2,803
	CW	-0,3 (-0,46 - -0,14)	-0,131	-3,708	0,000	0,050	-0,087	2,421
$\log(PM_{10})$	(Sabit)	-93,05 (-118,17 - -67,92)		-7,263	0,000			
	TMP	0,06 (0,04 - 0,07)	0,340	7,725	0,000	0,066	0,178	3,764
	SP	0,11 (0,08 - 0,14)	0,339	7,376	0,000	-0,005	0,170	4,088
	SLT&CLY	0,02 (0,01 - 0,02)	0,197	5,585	0,000	0,013	0,130	2,416
	WS	0,24 (0,18 - 0,29)	0,331	8,693	0,000	0,131	**0,200**	2,803
	CW	-0,14 (-0,21 - -0,06)	-0,125	-3,548	0,000	0,053	-0,083	2,421
	MSTR	0,21 (0,06 - 0,35)	0,091	2,753	0,006	0,002	**0,064**	2,123
$\ln(PM_{10})$	(Sabit)	-214,23 (-272,08 - -156,38)		-7,263	0,000			
	TMP	0,13 (0,1 - 0,16)	0,340	7,725	0,000	0,066	0,178	3,764
	SP	0,25 (0,18 - 0,31)	0,339	7,376	0,000	-0,005	0,170	4,088
	SLT&CLY	0,04 (0,02 - 0,05)	0,197	5,584	0,000	0,013	0,130	2,416
	WS	0,55 (0,42 - 0,67)	0,331	8,693	0,000	0,131	**0,200**	2,803
	CW	-0,32 (-0,49 - -0,14)	-0,125	-3,548	0,000	0,053	-0,083	2,421
	MSTR	0,47 (0,14 - 0,81)	0,091	2,753	0,006	0,002	**0,064**	2,123
$\log(PM_{2,5})$	(Sabit)	-65,16 (-81,2 - -49,13)		-7,969	0,000			
	SLT&CLY	0,02 (0,02 - 0,03)	0,367	10,103	0,000	0,177	**0,230**	2,612
	HW	0,08 (0,06 - 0,11)	0,168	6,482	0,000	0,044	0,150	1,336
	SP	0,07 (0,06 - 0,09)	0,342	8,026	0,000	0,052	0,185	3,595
	TMP	0,03 (0,02 - 0,04)	0,251	5,548	0,000	0,010	0,129	4,058
	MSTR	0,13 (0,03 - 0,23)	0,083	2,510	0,012	-0,108	**0,059**	2,173
	DWPT	0,02 (0 - 0,03)	0,078	2,509	0,012	-0,027	**0,059**	1,939
$\ln(PM_{2,5})$	(Sabit)	-150,04 (-186,97 - -113,11)		-7,969	0,000			
	SLT&CLY	0,05 (0,04 - 0,06)	0,367	10,103	0,000	0,177	**0,230**	2,612
	HW	0,2 (0,14 - 0,25)	0,168	6,482	0,000	0,044	0,150	1,336
	SP	0,17 (0,13 - 0,21)	0,342	8,026	0,000	0,052	0,185	3,595
	TMP	0,07 (0,04 - 0,09)	0,251	5,549	0,000	0,010	0,129	4,058
	MSTR	0,3 (0,06 - 0,53)	0,083	2,509	0,012	-0,108	**0,059**	2,173
	DWPT	0,04 (0,01 - 0,06)	0,078	2,509	0,012	-0,027	**0,059**	1,939
$\log(PM_1)$	(Sabit)	-68,9 (-86,57 - -51,23)		-7,648	0,000			
	SLT&CLY	0,02 (0,02 - 0,03)	0,377	10,949	0,000	0,209	**0,248**	2,368
	SP	0,08 (0,06 - 0,1)	0,323	7,622	0,000	0,078	0,176	3,589
	HW	0,09 (0,06 - 0,12)	0,159	6,353	0,000	0,014	0,147	1,258
	TMP	0,03 (0,02 - 0,04)	0,236	5,497	0,000	-0,028	0,128	3,665
	MSTR	0,19 (0,08 - 0,3)	0,112	3,432	0,001	-0,112	**0,080**	2,134
$\ln(PM_1)$	(Sabit)	-158,63 (-199,31 - -117,94)		-7,647	0,000			
	SLT&CLY	0,06 (0,05 - 0,07)	0,377	10,948	0,000	0,209	**0,248**	2,368
	SP	0,18 (0,13 - 0,23)	0,323	7,621	0,000	0,078	0,176	3,589
	HW	0,21 (0,14 - 0,27)	0,159	6,353	0,000	0,014	0,147	1,258
	TMP	0,07 (0,04 - 0,09)	0,235	5,496	0,000	-0,028	0,128	3,665
	MSTR	0,44 (0,19 - 0,7)	0,112	3,432	0,001	-0,112	**0,080**	2,134

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

log(TAPM); F= 19,30, p≤0,001, Adj.R^2= 0,057, SE= 0,86
log(PM_{10}); F= 19,47, p≤0,001, Adj.R^2= 0,057, SE= 0,95
log($PM_{2,5}$); F= 27,01, p≤0,001, Adj.R^2= 0,079, SE= 0,65
log(PM_1); F= 34,76, p≤0,001, Adj.R^2= 0,085, SE= 0,71

ln(TAPM); F= 19,30, p≤0,001, Adj.R^2= 0,057, SE= 1,99
ln(PM_{10}); F= 19,47, p≤0,001, Adj.R^2= 0,057, SE= 2,19
ln($PM_{2,5}$); F= 27,01, p≤0,001, Adj.R^2= 0,079, SE= 1,49
ln(PM_1); F= 34,76, p≤0,001, Adj.R^2= 0,085 SE= 1,64

5.2.2 Alçıtaşı İşletmesi delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Gerek toplu gerek aşamalı ilerleme algoritmalarının kullanıldığı geleneksel doğrusal regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayıları oldukça düşük (R^2<%10) düzeyde kalmıştır. Bu durum, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama düzeylerinin yetersizliğine işaret etmektedir. Bu nedenle diğer veri analiz yöntemleri araştırılmış ve Bölüm 2.6'da detaylı biçimde açıklanan karar ağacı tekniğinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Karar ağacı tekniğinde bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki; eğitim veri seti (training set), çapraz doğrulama (cross-validation) ve yüzdelik ayırma (percentage split) olmak üzere üç farklı yöntem ile test edilmiştir. Eğitim veri seti yönteminin ilgileşim katsayısı, ilgileşim katsayıları birbirine yakın olan diğer iki test yönteminden daha yüksektir.

M5P karar ağacı algoritmasıyla hesaplanan PM salınımı ile bağımsız değişkenler arasındaki regresyon analiz sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir. Regresyon analizlerinde ham veri ile log, ln, ham/1000 ve 1/ham dönüşümleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

TAPM veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde elde edilmiş ve log(TAPM) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerden 33 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ile denklemleri Çizelge 5.7 ve 5.8'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.1'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, karşı rüzgâr ve malzeme nemidir. Modellerde PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise çiğ noktası sıcaklığı, malzeme nemi ve istasyon basıncıdır. %12 ile verinin en büyük bölümü LM30 modelinde kullanılırken, en küçük bölümü %0,27 ile LM17'ye aittir.

PM_{10} veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde elde edilmiş ve log(PM_{10}) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerden 32 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ile denklemleri Çizelge 5.9 ve 5.10'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.2'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, karşı rüzgâr hızı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. Modellerde PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise çiğ noktası sıcaklığı, malzeme nemi, istasyon basıncı ve yan rüzgâr hızıdır. LM30 modeli veri setinin en büyük bölümü olan %9,67'lik kısmı, LM23 ise en küçük kısmı olan %0,6'lık bölümü kullanmıştır.

Çizelge 5.6 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti PM salınım verisinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	$log(PM_{10})$	$ln(PM_{10})$	$1/PM_{10}$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0,6024	0,6024	**0,6518**	0,6518	0,5138	0,5683	0,5673	**0,6493**	0,6493	0,5941
	MAE	1188,975	1,189	**0,5502**	1,2669	0,015	1164,8498	1,1637	**0,6074**	1,3986	0,022
	RMSE	1607,2608	1,6073	**0,6784**	1,5621	0,0256	1612,2173	1,6149	**0,7498**	1,7265	0,0328
	RAE (%)	73,6029	73,6025	**69,9841**	69,9845	81,1557	75,6573	75,5832	**69,0719**	69,0714	76,359
	RRSE (%)	80,3713	80,3713	**76,4575**	76,4574	85,9295	82,7622	82,8983	**76,6536**	76,6536	80,7346
	Model (düğüm) sayısı	22	22	**33**	33	14	21	23	**32**	32	19
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0,4378	0,4378	**0,5249**	0,5243	0,3821	0,4484	0,4548	**0,5464**	0,5465	0,4616
	MAE	1303,619	1,3036	**0,6112**	1,4084	0,0162	1244,9764	1,2348	**0,6678**	1,5372	0,0238
	RMSE	1801,4556	1,8015	**0,7556**	1,7406	0,0277	1742,1154	1,2348	**0,8193**	1,8863	0,0361
	RAE (%)	80,6662	80,6659	**77,7039**	77,7645	87,9921	80,8176	80,1583	**75,8934**	75,8784	82,7716
	RRSE (%)	90,0437	90,0436	**85,1136**	85,1514	92,844	89,3686	89,0127	**83,7116**	83,7026	88,7217
	Model (düğüm) sayısı	22	22	**33**	33	14	21	23	**32**	32	19
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0,441	0,441	**0,4613**	0,4613	0,4414	0,4167	0,4167	**0,4874**	0,4872	0,4529
	MAE	1366,5735	1,3666	**0,6763**	1,5571	0,018	1314,8627	1,3149	**0,7152**	1,647	0,0257
	RMSE	1881,5547	1,8816	**0,8099**	1,8647	0,0329	1870,8317	1,8708	**0,8674**	1,9975	0,0397
	RAE (%)	82,2673	82,2673	**83,9464**	83,9459	89,5939	82,5839	82,5841	**80,3751**	80,3833	85,5484
	RRSE (%)	89,911	89,9108	**88,7334**	88,7322	91,0762	91,1659	91,166	**87,3631**	87,3769	89,2031
	Model (düğüm) sayısı	0,4378	22	**33**	33	14	21	23	**32**	32	19
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}/1000$	$log(PM_{2,5})$	$ln(PM_{2,5})$	$1/PM_{2,5}$	PM_1	$PM_1/1000$	$log(PM_1)$	$ln(PM_1)$	$1/PM_1$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0,538	0,5325	**0,64**	0,64	0,7355	0,5194	0,5184	0,5762	0,5754	**0,6512**
	MAE	47,7519	0,0479	**0,3858**	0,8884	0,1075	29,961	0,03	0,366	0,8435	**0,4716**
	RMSE	89,3497	0,0897	**0,517**	1,1903	0,182	72,5077	0,0726	0,5465	1,2594	**0,7671**
	RAE (%)	79,3508	79,5883	**71,2938**	71,2935	65,361	79,9488	80,0436	74,819	74,8583	**64,1746**
	RRSE (%)	84,7757	85,1516	**77,2153**	77,2156	69,2951	86,187	86,2443	82,0187	82,0709	**76,1861**
	Model sayısı	25	25	**23**	23	33	26	26	18	18	**25**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0,3563	0,3512	**0,5321**	0,5411	0,4923	0,2919	0,2873	0,4707	0,4682	**0,5798**
	MAE	52,9872	0,0531	**0,4191**	0,9598	0,1225	33,7364	0,0338	0,3913	0,9028	**0,504**
	RMSE	98,803	0,099	**0,5674**	1,2972	0,2294	80,964	0,0812	0,5885	1,3576	**0,8205**
	RAE (%)	87,9517	88,1392	**77,3815**	76,9656	74,4805	89,944	90,2176	79,9289	80,0602	**68,5935**
	RRSE (%)	93,6684	93,8902	**84,6862**	84,0846	87,3317	96,1642	96,3885	88,2492	88,3911	**81,4776**
	Model (düğüm) sayısı	25	25	**23**	23	33	26	26	18	18	**25**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0,2651	0,2897	**0,4846**	0,4846	0,5036	0,2871	0,2312	0,4798	0,4799	**0,5742**
	MAE	56,8636	0,0567	**0,4588**	1,0564	0,1314	35,6983	0,036	0,3934	0,906	**0,5297**
	RMSE	108,2443	0,105	**0,6026**	1,3876	0,2248	84,265	0,0899	0,582	1,3404	**0,8306**
	RAE (%)	92,2108	92,1974	**82,6832**	82,6825	78,8697	94,5499	93,6812	79,6226	79,6224	**71,662**
	RRSE (%)	97,9847	96,0822	**87,4689**	87,4698	86,4387	96,9092	99,8468	87,7556	87,752	**81,9601**
	Model (düğüm) sayısı	25	25	**23**	23	33	26	26	18	18	**25**

Çizelge 5.7 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları

Model	log(TAPM) salınım kestirim kuralı
LM1	DWPT ≤ 3,65, RH ≤ 41,7, MSTR ≤ 0,635
LM2	DWPT ≤ 4,45 - > 3,65, RH ≤ 41,7, MSTR ≤ 0,635
LM3	DWPT ≤ 4,45, RH ≤ 41,7, MSTR ≤ 0,68 - > 0,635
LM4	DWPT ≤ 4,45, RH ≤ 41,7, MSTR > 0,68
LM5	DWPT ≤ 4,45, RH > 41,7, TMP ≤ 12,95
LM6	DWPT ≤ 4,45, RH > 41,7, TMP > 12,95
LM7	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 0,195, SP ≤ 861,35, RH ≤ 27,45, TMP ≤ 32,45
LM8	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 0,195, SP ≤ 863,35 - > 861,35, RH ≤ 27,45, TMP ≤ 32,45
LM9	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285 - > 0,195, SP ≤ 863,35, RH ≤ 27,45, TMP ≤ 32,45, HW ≤ 1,75
LM10	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285 - > 0,195, SP ≤ 863,35, RH ≤ 27,45, TMP ≤ 32,45, HW > 1,75
LM11	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 0,9, SP ≤ 863,35, RH ≤ 27,45, TMP > 32,45
LM12	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285 - > 0,9, SP ≤ 863,35, RH ≤ 27,45, TMP > 32,45
LM13	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, RH ≤ 32,15 - > 27,45
LM14	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,45, RH ≤ 37,45 - > 32,15, TMP ≤ 27,75
LM15	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,45, RH ≤ 37,45 - > 32,15, TMP > 27,75
LM16	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,45, RH ≤ 38,05 - > 37,45, HW ≤ 3,6
LM17	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,45, RH > 38,05, HW ≤ 3,6
LM18	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,45, RH > 37,45, HW > 3,6
LM19	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, RH > 32,15, SP ≤ 862,65 - > 861,45, TMP ≤ 26,25
LM20	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, RH > 32,15, SP ≤ 861,55 - > 861,45, TMP > 26,25
LM21	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, RH > 32,15, SP ≤ 862,65 - > 861,55, TMP > 26,25
LM22	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35 - > 862,65, RH > 32,15
LM23	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 0,7, SP > 863,35, RH ≤ 24,1, HW ≤ 0,15
LM24	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 0,7, SP > 863,35, RH ≤ 31,8 - > 24,1, HW ≤ 0,15
LM25	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 0,7, SP > 863,35, RH ≤ 31,8, HW > 0,15
LM26	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 0,7, SP > 863,35, RH > 31,8
LM27	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285 - > 0,7, SP > 863,35, TMP ≤ 32,25
LM28	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285 - > 0,7, SP > 863,35, TMP ≤ 35,25 - > 32,25
LM29	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285 - > 0,7, SP > 863,35, TMP > 35,25
LM30	**DWPT > 4,45, MSTR > 1,285, SP ≤ 867,85**
LM31	DWPT > 4,45, MSTR > 1,285, SP > 867,85, TMP ≤ 15,75
LM32	DWPT > 4,45, MSTR > 1,285, SP > 867,85, TMP ≤ 16,15 - > 15,75
LM33	DWPT > 4,45, MSTR > 1,285, SP > 867,85, TMP > 16,15

Çizelge 5.8 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri

Model	log(TAPM) salınım kestirim denklemi
LM1	0.0184 * TMP + 0.0041 * RH + 0.012 * SP + 0.015 * DWPT + 0.0217 * HW + 0.56 * MSTR - 8.2
LM2	0,022 * TMP + 0,0041 * RH + 0,012 * SP + 1,39 * DWPT + 0,0217 * HW + 0,715 * MSTR - 14,52
LM3	-0,018 * TMP - 0,0064 * RH + 0,0255 * SP + 0,015 * DWPT + 0,016 * HW + 0,27 * MSTR - 19,74
LM4	-0,072 * TMP - 0,05 * RH + 0,018 * SP + 0,015 * DWPT + 0,4278 * HW + 0,147 * MSTR - 10,876
LM5	-0,062 * TMP + 0,0005 * RH - 0,0608 * SP - 0,009 * DWPT + 0,0042 * HW - 0,06 * MSTR + 55,61
LM6	0,017 * TMP + 0,0002 * RH - 0,27 * SP - 0,0078 * DWPT + 0,0042 * HW - 0,06 * MSTR + 240,29
LM7	0,01 * TMP - 0,0044 * RH + 3,004 * SP + 0,1354 * DWPT + 0,0043 * HW - 0,20 * MSTR - 2586,09
LM8	0,01 * TMP - 0,0044 * RH + 1,564 * SP + 0,07 * DWPT + 0,0043 * HW - 0,196 * MSTR - 1345,30
LM9	0,048 * TMP + 0,041 * RH - 0,0164 * SP - 0,05 * DWPT - 0,2062 * HW - 0,232 * MSTR + 14,554
LM10	0,068 * TMP + 0,065 * RH - 0,028 * SP - 0,188 * DWPT + 0,0043 * HW - 0,292 * MSTR + 24,215
LM11	0,0288 * TMP - 0,088 * RH + 0,005 * SP + 0,097 * DWPT + 0,0043 * HW + 0,604 * MSTR - 1,786
LM12	-0,089 * TMP - 0,1227 * RH + 2,50 * SP + 0,140 * DWPT + 0,174 * HW - 0,348 * MSTR - 2135,288
LM13	0,012 * TMP + 0,0032 * RH - 0,89 * SP - 0,0066 * DWPT + 0,127 * HW + 0,038 * MSTR + 769,12
LM14	-0,06 * TMP - 0,1315 * RH - 2,519 * SP + 0,228 * DWPT + 0,118 * HW + 0,138 * MSTR + 2176,69
LM15	-0,06 * TMP - 0,1485 * RH - 1,73 * SP + 0,263 * DWPT + 0,098 * HW + 0,138 * MSTR + 1495,63
LM16	-0,06 * TMP - 0,2415 * RH - 1,590 * SP + 0,225 * DWPT + 0,143 * HW + 0,138 * MSTR + 1380,33
LM17	-0,06 * TMP - 0,2546 * RH - 1,59 * SP + 0,225 * DWPT + 0,143 * HW + 0,138 * MSTR + 1380,777
LM18	-0,06 * TMP - 0,1543 * RH - 1,59 * SP + 0,225 * DWPT + 0,1576 * HW + 0,138 * MSTR + 1377,12
LM19	-0,086 * TMP - 0,135 * RH - 0,148 * SP + 0,220 * DWPT + 0,123 * HW + 0,078 * MSTR + 134,74
LM20	0,0077 * TMP - 0,1085 * RH - 0,172 * SP + 0,275 * DWPT + 0,03 * HW + 0,078 * MSTR + 151,85
LM21	-0,1303 * TMP - 0,0984 * RH - 0,16 * SP + 0,25 * DWPT + 0,030 * HW + 0,078 * MSTR + 143,64
LM22	0,0093 * TMP + 0,0032 * RH + 0,0035 * SP + 0,0061 * DWPT + 0,136 * HW - 1,6 * MSTR + 0,60
LM23	0,0073 * TMP + 0,00085 * RH + 0,082 * SP - 0,045 * DWPT - 0,035 * HW + 0,8 * MSTR - 68,53
LM24	0,0073 * TMP + 0,00085 * RH + 0,082 * SP - 0,016 * DWPT - 0,035 * HW + 0,31 * MSTR - 68,74
LM25	0,0073 * TMP + 0,00085 * RH + 0,082 * SP + 0,009 * DWPT - 0,037 * HW - 0,107 * MSTR - 68,9
LM26	-0,521 * TMP - 0,3137 * RH + 0,099 * SP + 0,951 * DWPT + 0,799 * HW - 0,151 * MSTR - 66,784
LM27	0,008 * TMP - 0,0246 * RH + 0,3552 * SP + 0,02 * DWPT - 0,00137 * HW - 0,71 * MSTR - 303,46
LM28	-0,036 * TMP + 0,058 * RH + 2,505 * SP - 0,07 * DWPT - 0,00137 * HW - 0,052 * MSTR - 2160,5
LM29	0,2 * TMP + 0,137 * RH + 1,582 * SP - 0,194 * DWPT - 0,00137 * HW - 0,052 * MSTR - 1371,32
LM30	**0,053 * TMP + 0,00097 * RH + 0,0074 * SP - 0,009 * DWPT + 0,006 * HW + 2,21 * MSTR - 9,04**
LM31	0,687 * TMP - 0,09 * RH + 0,0097 * SP + 0,488 * DWPT + 0,1987 * HW - 0,261 * MSTR - 14,91
LM32	-0,37 * TMP - 0,1076 * RH + 0,0097 * SP + 0,613 * DWPT + 0,079 * HW - 0,261 * MSTR + 1,651
LM33	-0,979 * TMP - 0,153 * RH + 0,0097 * SP + 0,996 * DWPT + 0,113 * HW - 2,01 * MSTR + 14,94

Çizelge 5.9 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları

Model	log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları
LM1	DWPT ≤ 4,45, RH ≤ 41,7, MSTR ≤ 0,635
LM2	DWPT ≤ 4,45, RH ≤ 41,7, MSTR ≤ 0,68 - > 0,635
LM3	DWPT ≤ 4,45, RH ≤ 41,7, MSTR > 0,68
LM4	DWPT ≤ 4,45, RH > 41,7
LM5	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, RH ≤ 27,45, SLT&CLY ≤ 39,08, TMP ≤ 32,45
LM6	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 857,15, RH ≤ 27,45, SLT&CLY ≤ 39,08, TMP > 32,45
LM7	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,15 - > 857,15, RH ≤ 27,45, SLT&CLY ≤ 39,08, TMP > 32,45
LM8	DWPT ≤ 5,75 - > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,35,15, RH ≤ 27,45, SLT&CLY > 39,08
LM9	DWPT ≤ 5,75 - > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35 - > 861,35, RH ≤ 27,45, SLT&CLY > 39,08
LM10	DWPT > 5,75, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 857,15, RH ≤ 27,45, SLT&CLY > 39,08
LM11	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, RH ≤ 29,45 - > 27,45, SLT&CLY ≤ 31,265
LM12	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, RH ≤ 32,15 - > 29,45, SLT&CLY ≤ 31,265
LM13	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, RH ≤ 28,75 - > 27,45, SLT&CLY > 31,265
LM14	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, RH ≤ 32,15 - > 28,75, SLT&CLY > 31,265
LM15	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,45, RH ≤ 37,45 - > 32,15, SLT&CLY ≤ 34,85
LM16	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,45, RH > 37,45, SLT&CLY ≤ 34,85
LM17	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35 - > 861,45, RH > 32,15, SLT&CLY ≤ 34,85
LM18	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, RH > 32,15, SLT&CLY > 34,85
LM19	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,65 - > 863,35, SLT&CLY ≤ 27,31
LM20	DWPT ≤ 8,65 - > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP > 863,65, SLT&CLY ≤ 27,31, RH ≤ 24,15
LM21	DWPT > 8,65, MSTR ≤ 1,285, SP > 863,65, SLT&CLY ≤ 27,31, RH ≤ 24,15
LM22	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP > 863,65, SLT&CLY ≤ 27,31, RH > 24,15, HW ≤ 0,2
LM23	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP > 863,65, SLT&CLY ≤ 27,31, RH > 24,15, HW ≤ 0,2, TMP ≤ 16,35
LM24	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP > 863,65, SLT&CLY ≤ 27,31, RH > 24,15, HW ≤ 0,2, TMP > 16,35
LM25	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP > 863,35, SLT&CLY > 27,31, RH ≤ 31,8, HW ≤ 0,15
LM26	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP > 863,35, SLT&CLY > 27,31, RH ≤ 31,8, HW > 0,15
LM27	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP > 863,35, SLT&CLY > 27,31, RH > 31,8, TMP ≤ 22,75
LM28	DWPT > 4,45, MSTR ≤ 1,285, SP > 863,35, SLT&CLY > 27,31, RH > 31,8, TMP > 22,75
LM29	DWPT > 4,45, MSTR > 1,285, SP ≤ 867,85, CW ≤ 0,05
LM30	**DWPT > 4,45, MSTR > 1,285, SP ≤ 867,85, CW > 0,05**
LM31	DWPT > 4,45, MSTR > 1,285, SP > 867,85, SLT&CLY ≤ 5,7
LM32	DWPT > 4,45, MSTR > 1,285, SP > 867,85, SLT&CLY > 5,7

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizinde en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde elde edilmiş ve log($PM_{2,5}$) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerden 23 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.11 ve 5.12'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.3'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, karşı rüzgâr hızı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. Yapılan modelleme çalışmalarında PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, silt+kil, hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı ve malzeme nemidir. Veri setinin yaklaşık %20,17'si LM23'ü, %0,71'i LM1, LM13 ve LM15'i temsil etmektedir.

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizinde en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham modelinde elde edilmiş ve 1/PM_1 karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerden 25 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ile denklemleri Çizelge 5.13 ve 5.14'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.4'de verilmiştir PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, karşı rüzgâr, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. Modellemede PM salınımı üzerinde en etkili parametreler bağıl nem, malzeme nemi ve istasyon basıncıdır. Veri setinin yaklaşık %12,13'ü LM9'u, %1,03'ü LM22'yi temsil etmektedir.

Çizelge 5.10 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,02051 * TMP - 0,01285 * RH + 0,00398 * SP + 0,05404 * DWPT + 0,00593 * HW + 0,00675 * MSTR + 0,06609 * SLT&CLY - 3,18
LM2	-0,08146 * TMP - 0,04074 * RH + 0,00398 * SP + 0,10138 * DWPT + 0,00593 * HW + 0,2659 * MSTR + 0,00721 * SLT&CLY + 0,52
LM3	-0,05305 * TMP - 0,02751 * RH + 0,00398 * SP + 0,07581 * DWPT + 0,00593 * HW + 0,15541 * MSTR + 0,00721 * SLT&CLY - 0,06
LM4	-0,01731 * TMP - 0,01153 * RH - 0,14767 * SP + 0,04553 * DWPT + 0,00593 * HW + 0,00675 * MSTR + 0,00804 * SLT&CLY + 130,17
LM5	-0,07459 * TMP - 0,02451 * RH + 0,03859 * SP + 0,01688 * DWPT + 0,0152 * CW + 0,00782 * HW + 0,03847 * MSTR + 0,0105 * SLT&CLY - 28,96
LM6	0,00761 * TMP - 0,08655 * RH + 0,08833 * SP + 0,01955 * DWPT + 0,14668 * CW + 0,07945 * HW + 4,56637 * MSTR + 0,0105 * SLT&CLY - 77,88
LM7	0,07295 * TMP - 0,06711 * RH + 0,07305 * SP + 0,01955 * DWPT + 0,10199 * CW + 0,21179 * HW - 0,19985 * MSTR + 0,0105 * SLT&CLY - 61,82
LM8	0,0143 * TMP - 0,06448 * RH + 0,05551 * SP + 0,04972 * DWPT - 0,08165 * CW + 0,00782 * HW + 0,03847 * MSTR + 0,01445 * SLT&CLY - 45,40
LM9	0,0143 * TMP + 0,01267 * RH + 0,05143 * SP + 0,04972 * DWPT - 0,07451 * CW + 0,00782 * HW + 0,03847 * MSTR + 0,01445 * SLT&CLY - 42,90
LM10	0,0143 * TMP + 0,01667 * RH + 0,0281 * SP + 0,05846 * DWPT - 0,0411 * CW + 0,00782 * HW + 0,03847 * MSTR + 0,01445 * SLT&CLY - 22,95
LM11	-0,04394 * TMP + 0,08514 * RH - 0,01469 * SP + 0,06107 * DWPT + 0,01339 * CW + 0,42404 * HW + 0,10637 * MSTR - 0,00074 * SLT&CLY + 12,58
LM12	-0,04394 * TMP + 0,02909 * RH - 0,01469 * SP + 0,06107 * DWPT + 0,01339 * CW + 0,05466 * HW + 0,10637 * MSTR - 0,00074 * SLT&CLY + 15,32
LM13	-0,04394 * TMP - 0,19034 * RH - 0,01469 * SP + 0,06107 * DWPT + 0,16395 * CW + 0,02069 * HW + 0,10637 * MSTR + 0,18847 * SLT&CLY + 15,44
LM14	-0,04394 * TMP - 0,107 * RH - 0,01469 * SP + 0,06107 * DWPT + 0,03818 * CW + 0,02069 * HW + 0,10637 * MSTR + 0,25862 * SLT&CLY + 10,48
LM15	0,04686 * TMP - 0,11223 * RH - 0,11624 * SP + 0,16468 * DWPT - 0,0362 * CW + 0,07206 * HW + 0,10897 * MSTR - 0,00429 * SLT&CLY + 104,06
LM16	0,00431 * TMP - 0,13724 * RH - 0,11624 * SP + 0,16468 * DWPT - 0,0362 * CW + 0,18135 * HW + 0,10897 * MSTR - 0,00429 * SLT&CLY + 105,47
LM17	-0,06553 * TMP - 0,20448 * RH - 0,0624 * SP + 0,36769 * DWPT - 0,02554 * CW + 0,02947 * HW + 0,10897 * MSTR - 0,12991 * SLT&CLY + 65,32
LM18	-0,08293 * TMP - 0,05627 * RH - 0,03127 * SP + 0,11439 * DWPT - 0,02761 * CW + 0,17563 * HW - 1,67716 * MSTR + 0,01551 * SLT&CLY + 33,44
LM19	0,00955 * TMP - 0,00013 * RH + 0,09494 * SP - 0,00248 * DWPT + 0,01378 * CW - 0,2486 * HW + 0,08294 * MSTR + 0,00377 * SLT&CLY - 80,08
LM20	0,00955 * TMP + 0,02348 * RH + 0,0241 * SP + 0,06539 * DWPT - 0,03413 * CW + 0,02491 * HW + 0,27757 * MSTR + 0,00377 * SLT&CLY - 19,63
LM21	0,00955 * TMP + 0,01404 * RH - 0,99965 * SP + 0,03824 * DWPT - 0,03413 * CW + 0,02491 * HW + 0,27757 * MSTR + 0,00377 * SLT&CLY + 865,24
LM22	0,00955 * TMP - 0,00013 * RH + 0,03376 * SP - 0,09093 * DWPT - 0,48127 * CW + 0,03806 * HW + 0,23702 * MSTR + 0,00377 * SLT&CLY - 25,97
LM23	0,00955 * TMP - 0,00013 * RH + 0,03376 * SP - 0,00248 * DWPT - 0,02415 * CW + 0,03857 * HW + 0,23702 * MSTR + 0,00377 * SLT&CLY - 27,20
LM24	0,00955 * TMP - 0,00013 * RH + 0,03376 * SP - 0,00248 * DWPT - 0,02415 * CW + 0,03857 * HW + 0,23702 * MSTR + 0,00377 * SLT&CLY - 26,97
LM25	0,00737 * TMP + 0,00042 * RH + 0,11079 * SP + 0,01257 * DWPT + 0,00759 * CW - 0,04623 * HW - 0,06032 * MSTR + 0,00278 * SLT&CLY - 94,30
LM26	0,00737 * TMP + 0,00042 * RH + 0,11079 * SP + 0,01257 * DWPT + 0,00759 * CW - 0,04788 * HW - 0,06032 * MSTR + 0,00278 * SLT&CLY - 94,57
LM27	0,04793 * TMP + 0,01036 * RH + 0,1058 * SP + 0,0116 * DWPT + 0,00759 * CW + 0,04064 * HW - 0,35624 * MSTR + 0,00278 * SLT&CLY - 91,16
LM28	0,05536 * TMP + 0,01218 * RH + 0,92789 * SP + 0,0116 * DWPT + 0,55733 * CW + 0,04585 * HW - 0,41181 * MSTR + 0,00278 * SLT&CLY - 801,68
LM29	0,03917 * TMP + 0,00622 * RH + 0,11345 * SP - 0,02325 * DWPT + 0,00684 * HW + 0,31013 * MSTR - 0,00287 * SLT&CLY - 97,51
LM30	**0,0934 * TMP + 0,00622 * RH + 0,02373 * SP - 0,02325 * DWPT + 0,14528 * CW + 0,00684 * HW + 2,39055 * MSTR - 0,00287 * SLT&CLY - 24,95**
LM31	-0,58776 * TMP - 0,16171 * RH + 0,02626 * SP + 0,8971 * DWPT + 0,04373 * HW - 0,14706 * MSTR - 0,20752 * SLT&CLY - 6,38
LM32	-1,37576 * TMP - 0,3633 * RH + 0,02626 * SP + 2,10732 * DWPT + 0,21008 * HW - 0,14706 * MSTR - 0,08346 * SLT&CLY + 6,52

Çizelge 5.11 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,35, DWPT ≤ 4,95, TMP ≤ 32,25
LM2	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,35, DWPT ≤ 6,55 - > 4,95, TMP ≤ 32,25
LM3	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 861,35, DWPT ≤ 6,55, TMP > 32,25
LM4	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35 - > 861,35, DWPT ≤ 6,55, TMP ≤ 29,05, HW ≤ 1,65
LM5	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35 - > 861,35, DWPT ≤ 4,15, TMP ≤ 29,05, HW > 1,65
LM6	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35 - > 861,35, DWPT ≤ 6,55 - > 4,15, TMP ≤ 29,05, HW > 1,65
LM7	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35 - > 861,35, DWPT ≤ 6,55, TMP > 29,05
LM8	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, DWPT ≤ 8,65- > 6,55, TMP ≤ 30, SLT&CLY ≤ 30,38
LM9	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, DWPT ≤ 8,65 - > 6,55, TMP ≤ 30, SLT&CLY > 30,38
LM10	MSTR ≤ ≤ 1,03, SP ≤ 863,35, DWPT > 8,65, TMP ≤ 30
LM11	MSTR ≤ 1,285 - > 1,03, SP ≤ 863,35, DWPT > 8,65, TMP ≤ 30
LM12	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, DWPT ≤ 9,5 - > 6,55, TMP ≤ 31,65 - > 30
LM13	MSTR ≤ 1,285, SP ≤ 863,35, DWPT > 9,95, TMP ≤ 31,65 - > 30
LM14	MSTR ≤ 0,9, SP ≤ 863,35, DWPT > 6,55, TMP > 31,65
LM15	MSTR ≤ 1,285 - > 0,9, SP ≤ 863,35, DWPT > 6,55, TMP > 31,65, HW ≤ 0,75
LM16	MSTR ≤ 1,285 - > 0,9, SP ≤ 863,35, DWPT > 6,55, TMP > 31,65, HW > 0,75
LM17	MSTR ≤ 1,285, SP > 863,35, SLT&CLY ≤ 27,31
LM18	MSTR ≤ 0,365, SP > 863,35, SLT&CLY ≤ 39,31 - > 27,31
LM19	MSTR ≤ 1,285 - > 0,365, SP > 863,35, SLT&CLY ≤ 39,31 - > 27,31
LM20	MSTR ≤ 1,285, SP > 863,35, SLT&CLY ≤ 44,06 - > 39,31, TMP ≤ 20,05
LM21	MSTR ≤ 1,285, SP > 863,35, SLT&CLY ≤ 44,06 - > 39,31, TMP > 20,05
LM22	MSTR ≤ 1,285, SP > 863,35, SLT&CLY > 44,06
LM23	**MSTR > 1,285**

Çizelge 5.12 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri
LM1	0,085 * TMP - 0,0017 * SP - 0,086 * DWPT + 0,0021 * HW - 0,3009 * MSTR + 0,00143 * SLT&CLY + 0,179
LM2	0,085 * TMP + 0,02 * SP - 0,0554 * DWPT + 0,0021 * HW - 0,2138 * MSTR + 0,00143 * SLT&CLY - 18,687
LM3	0,382 * TMP + 0,057 * SP - 0,039 * DWPT + 0,0021 * HW - 0,1201 * MSTR + 0,00143 * SLT&CLY - 60,163
LM4	0,132 * TMP - 1,106 * SP + 0,1338 * DWPT + 0,079 * HW - 0,2698 * MSTR + 0,00143 * SLT&CLY + 949,067
LM5	-0,187 * TMP - 2,153 * SP + 0,4422 * DWPT + 0,0578 * HW - 1,196 * MSTR + 0,00143 * SLT&CLY + 1859,30
LM6	-0,087 * TMP - 3,766 * SP + 0,2836 * DWPT + 0,0578 * HW - 0,758 * MSTR + 0,00143 * SLT&CLY + 3246,86
LM7	-0,09 * TMP + 0,008 * SP + 0,2396 * DWPT + 0,0334 * HW - 0,4593 * MSTR + 0,00143 * SLT&CLY - 3,886
LM8	-0,41 * TMP + 0,007 * SP + 0,414 * DWPT + 0,1736 * HW + 0,013 * MSTR - 0,03625 * SLT&CLY + 4,262
LM9	0,657 * TMP + 0,007 * SP - 0,563 * DWPT + 0,0100 * HW - 1,5281 * MSTR - 0,03839 * SLT&CLY - 15,201
LM10	0,06 * TMP - 0,265 * SP - 0,0124 * DWPT + 0,0885 * HW + 0,7978 * MSTR + 0,0348 * SLT&CLY + 226,548
LM11	0,2 * TMP + 0,007 * SP - 0,0851 * DWPT + 0,0666 * HW + 0,013 * MSTR + 0,00667 * SLT&CLY - 9,674
LM12	0,021 * TMP + 0,095 * SP + 0,0524 * DWPT - 0,0210 * HW + 0,013 * MSTR + 0,00267 * SLT&CLY - 82,147
LM13	-0,151 * TMP + 0,027 * SP + 0,0634 * DWPT - 0,0210 * HW + 0,013 * MSTR + 0,00267 * SLT&CLY - 18,392
LM14	0,025 * TMP + 0,172 * SP - 0,039 * DWPT - 0,0082 * HW + 4,8540 * MSTR + 0,00267 * SLT&CLY - 151,078
LM15	0,03 * TMP + 0,69 * SP - 0,0485 * DWPT + 0,032 * HW - 0,2796 * MSTR + 0,00267 * SLT&CLY - 593,138
LM16	0,03 * TMP + 2,64 * SP - 0,0485 * DWPT + 0,05 * HW - 0,2796 * MSTR + 0,00267 * SLT&CLY - 2262,083
LM17	0,11 * TMP + 0,447 * SP + 0,0013 * DWPT - 0,0890 * HW + 0,0352 * MSTR + 0,00093 * SLT&CLY - 388,743
LM18	0,002 * TMP + 0,019 * SP + 0,156 * DWPT + 0,4880 * HW - 0,0474 * MSTR + 0,00093 * SLT&CLY - 16,715
LM19	0,002 * TMP + 0,2004 * SP + 0,0046 * DWPT - 0,003 * HW - 0,0327 * MSTR + 0,00093 * SLT&CLY - 172,538
LM20	0,007 * TMP + 0,018 * SP + 0,0077 * DWPT - 0,0246 * HW + 0,0252 * MSTR + 0,00093 * SLT&CLY - 14,788
LM21	0,182 * TMP + 0,018 * SP + 0,0171 * DWPT - 0,0580 * HW + 0,0252 * MSTR + 0,00093 * SLT&CLY - 18,273
LM22	0,077 * TMP - 0,5137 * SP - 0,066 * DWPT + 0,0022 * HW + 0,0068 * MSTR + 0,1509 * SLT&CLY + 438,635
LM23	**0,03 * TMP + 0,139 * SP - 0,110 * DWPT + 0,0033 * HW - 2,0264 * MSTR - 0,02965 * SLT&CLY - 115,505**

Çizelge 5.13 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları

Model	1/PM_1 salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 862,5, RH ≤ 27,05, SLT&CLY ≤ 39,08
LM2	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 861,35, RH ≤ 27,05, SLT&CLY > 39,08, TMP ≤ 32,85,
LM3	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 862,5 - > 861,35, RH ≤ 27,05, SLT&CLY > 39,08, TMP ≤ 32,85, DWPT ≤ 4,15
LM4	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 862,5 - > 861,35, RH ≤ 27,05, SLT&CLY > 39,08, TMP ≤ 32,85, DWPT > 4,15
LM5	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 862,5, RH ≤ 27,05, SLT&CLY > 39,08, TMP > 32,85
LM6	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 866,6 - > 862,5, RH ≤ 23,45
LM7	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 863,6 - > 862,5, RH ≤ 27,05 - > 23,45
LM8	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 866,6 - > 863,6, RH ≤ 27,05 - > 23,45
LM9	**MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 862,75, RH ≤ 37,45 - > 27,05**
LM10	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 862,75, RH > 37,45, TMP ≤ 27
LM11	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 862,75, RH > 37,45, TMP > 27
LM12	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 866,6 - > 862,75, RH > 27,05
LM13	MSTR ≤ 1,145, SP ≤ 866,6 - > 863,15, RH > 27,05
LM14	MSTR ≤ 1,145, SP > 866,6, TMP ≤ 15,06
LM15	MSTR ≤ 0,635, SP > 866,6, TMP > 15,06
LM16	MSTR ≤ 0,68 - > 0,635, SP > 866,6, TMP > 15,06
LM17	MSTR ≤ 1,145 - > 0,635, SP > 866,6, TMP > 15,06
LM18	MSTR ≤ 1,685 - > 1,145, DWPT ≤ 11,6, RH ≤ 55,85, SLT&CLY ≤ 31,125, TMP ≤ 32,25
LM19	MSTR ≤ 1,685 - > 1,145, DWPT ≤ 11,6, RH ≤ 55,85, SLT&CLY ≤ 31,125, TMP > 32,25
LM20	MSTR ≤ 1,685 - > 1,145, DWPT ≤ 11,6, RH ≤ 55,85, SLT&CLY > 31,125, HW ≤ 0,55
LM21	MSTR ≤ 1,685 - > 1,145, DWPT ≤ 11,6, RH ≤ 55,85, SLT&CLY > 31,125, HW > 0,55, TMP ≤ 27,55
LM22	MSTR ≤ 1,685 - > 1,145, DWPT ≤ 11,6, RH ≤ 55,85, SLT&CLY > 31,125, HW > 0,55, TMP > 27,55
LM23	MSTR ≤ 1,685 - > 1,145, DWPT ≤ 11,6, RH > 55,85
LM24	MSTR > 1,685, DWPT ≤ 11,6
LM25	MSTR > 1,145, DWPT > 11,6

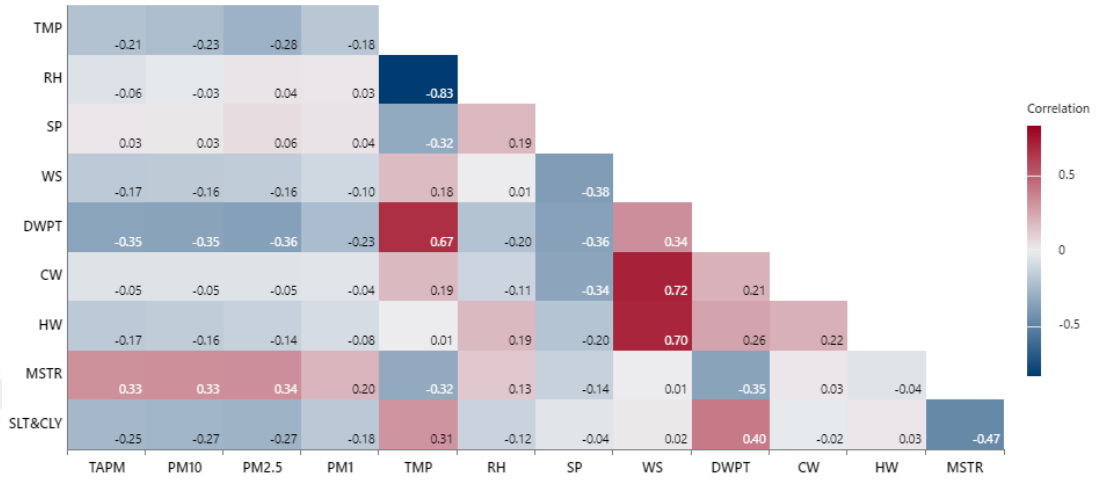
Çizelge 5.14 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_1 salınım kestirim denklemleri
LM1	0,008 * TMP + 0,024 * RH - 0,034 * SP - 0,05 * DWPT - 0,283 * HW - 0,019 * MSTR - 0,0177 * SLT&CLY + 31,44
LM2	0,008 * TMP + 0,023 * RH - 0,10 * SP - 0,202 * DWPT - 0,017 * HW - 0,019 * MSTR - 0,0163 * SLT&CLY + 88,76
LM3	0,008 * TMP + 0,023 * RH - 0,081 * SP - 0,324 * DWPT - 0,017 * HW - 0,019 * MSTR - 0,0163 * SLT&CLY + 72,81
LM4	0,008 * TMP + 0,023 * RH - 0,081 * SP - 0,251 * DWPT - 0,017 * HW - 0,019 * MSTR - 0,0163 * SLT&CLY + 71,99
LM5	0,008 * TMP + 0,023 * RH - 0,073 * SP - 0,173 * DWPT - 0,017 * HW - 0,019 * MSTR - 0,0163 * SLT&CLY + 64,95
LM6	-0,009 * TMP + 0,05 * RH - 0,248 * SP - 0,02 * DWPT - 0,0007 * HW - 0,019 * MSTR - 0,004 * SLT&CLY + 214,05
LM7	-0,064 * TMP + 0,028 * RH - 0,24 * SP - 0,02 * DWPT - 0,0007 * HW - 0,019 * MSTR - 0,004 * SLT&CLY + 208,41
LM8	-0,0074 * TMP + 0,028 * RH + 0,16 * SP - 0,02 * DWPT - 0,0007 * HW - 0,019 * MSTR - 0,004 * SLT&CLY - 138,14
LM9	**0,005 * TMP + 0,01 * RH - 0,016 * SP - 0,016 * DWPT - 0,0007 * HW - 0,03 * MSTR + 0,052 * SLT&CLY + 12,37**
LM10	-0,067 * TMP + 0,015 * RH - 0,016 * SP - 0,016 * DWPT - 0,0007 * HW - 0,03 * MSTR + 0,004 * SLT&CLY + 16,24
LM11	-0,093 * TMP + 0,015 * RH - 0,016 * SP - 0,016 * DWPT - 0,0007 * HW - 0,03 * MSTR + 0,004 * SLT&CLY + 16,53
LM12	0,011 * TMP + 0,013 * RH - 0,034 * SP - 0,016 * DWPT - 0,0007 * HW - 0,03 * MSTR - 0,0045 * SLT&CLY + 28,94
LM13	0,015 * TMP + 0,009 * RH - 0,005 * SP - 0,063 * DWPT - 0,0007 * HW + 0,51 * MSTR + 0,0225 * SLT&CLY + 4,27
LM14	0,002 * TMP + 0,0017 * RH - 0,006 * SP - 0,01 * DWPT - 0,0007 * HW + 0,02 * MSTR - 0,0013 * SLT&CLY + 5,63
LM15	-0,0014 * TMP + 0,01 * RH - 0,006 * SP - 0,035 * DWPT - 0,0007 * HW + 0,107 * MSTR - 0,0013 * SLT&CLY + 5,24
LM16	0,0094 * TMP + 0,0056 * RH - 0,006 * SP - 0,02 * DWPT - 0,0007 * HW + 0,008 * MSTR - 0,0013 * SLT&CLY + 5,42
LM17	0,0094 * TMP + 0,0056 * RH - 0,006 * SP - 0,02 * DWPT - 0,0007 * HW + 0,02 * MSTR - 0,0013 * SLT&CLY + 5,36
LM18	-0,0068 * TMP - 0,0072 * RH - 0,0046 * SP + 0,004 * DWPT - 0,02 * HW - 0,13 * MSTR + 0,0016 * SLT&CLY + 5,48
LM19	-0,0308 * TMP - 0,0126 * RH - 0,0046 * SP + 0,003 * DWPT - 0,02 * HW - 0,13 * MSTR + 0,0016 * SLT&CLY + 6,05
LM20	0,0073 * TMP + 0,0047 * RH - 0,0046 * SP - 0,05 * DWPT - 0,105 * HW - 0,13 * MSTR + 0,00381 * SLT&CLY + 6,19
LM21	-0,026 * TMP + 0,0047 * RH - 0,0046 * SP - 0,05 * DWPT - 0,094 * HW - 0,13 * MSTR + 0,00381 * SLT&CLY + 6,48
LM22	-0,038 * TMP + 0,0047 * RH - 0,0046 * SP - 0,05 * DWPT - 0,094* HW - 0,13 * MSTR + 0,00381 * SLT&CLY + 6,386
LM23	0,0073 * TMP - 0,267 * RH - 0,0046 * SP - 0,048 * DWPT - 0,009 * HW - 0,13 * MSTR - 0,00184 * SLT&CLY + 21,54
LM24	0,15 * TMP + 0,0047 * RH - 0,0046 * SP - 0,035 * DWPT - 0,017 * HW - 0,265 * MSTR - 0,0045 * SLT&CLY + 3,056
LM25	0,022 * TMP + 0,014 * RH - 0,0046 * SP - 0,017 * DWPT + 0,265 * HW + 2,87 * MSTR + 0,00093 * SLT&CLY + 0,71

5.3 Kalker işletmesi (A) Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan ve hesaplanan tüm parametrelerin birbirleriyle olan ilgileşimleri Şekil 5.2'de verilmiştir. Bağımlı değişkenler (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, nem ve silt+kil içeriği) arasındaki ilgileşim zayıf (R<%40) düzeydedir ve herhangi bir bağımlı değişkenin üzerinde etkiyi tek bir bağımsız değişken ile açıklamak mümkün değildir. Nem ile silt+kil içeriği arasında normal negatif yönlü bir ilgileşim (%40≤R<%70), rüzgâr hızı ile rüzgâr yönleri (karşı ve yan rüzgâr dâhil) arasında ise pozitif yönlü güçlü ilgileşim (R≥%70)

bulunmaktadır. Benzer şekilde; hava sıcaklığı ile bağıl nem arasında negatif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70), çiğ noktası sıcaklığı arasında ise pozitif yönlü normal ilgileşim (%40≤R<%70) olduğu görülmüştür. Ayrıca, çiğ noktası sıcaklığı ile silt+kil içeriği arasında da normal pozitif yönlü normal ilgileşim bulunmaktadır.



Şekil 5.2 Kalker işletmesi (A) delme faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi

5.3.1 Regresyon analizi

Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti sırasında ölçülen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 5.15'de verilmiştir. Doğal logaritmik ve logaritmik veri setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerleri literatürde belirtilen aralıkta olup normal dağılıma uygundur. TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ ham verileri çarpıklık ve basıklık ölçütlerine göre normal dağılım göstermelerine rağmen, düzeltilmiş belirlilik katsayılarının çok düşük (R^2≤%27) olması ve verinin çok geniş bir aralığa yayılmasından ötürü bu verilere regresyon analizi yapılmamıştır.

Normal dağılım gösteren PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerine ait betimleyici istatistikler Çizelge 5.16'da verilmiştir. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 değerleri aylar bazında farklıklar ortaya koymuştur. Bazı aylar için benzer sonuçlar çıkarken PM_1 ve $PM_{2,5}$ aylar bazında farklılıklar göstermiştir. Bağımsız değişkenler incelendiğinde de benzer sonuçlar çıkmış olup ay bazında her bir bağımsız değer için anlamlı bir farklılık kurulan hipotezler açısından anlamlı bir ilişki çıkmamıştır. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$, PM_1 ölçüm değerleri için Ağustos 2020 ve Eylül 2020 ayları arasında anlamlı farklılıklar yoktur. Bağımsız değişkenler arasından TMP için Kasım 2020 ile Ekim 2021 ayları arasında anlamlı farklılık çıkmazken, bu aylar bazında diğer bağımsız değişkenler açısından anlamlı farklılıklar vardır. HW değeri için de Ağustos 2020 ayları ile Ekim 2020, Haziran 2021 ve Kasım 2021 ayları arasında anlamlı farklılık çıkmazken diğer aylar için anlamlı farklılıklar çıkmıştır.

Çizelge 5.15 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti normallik test analiz sonuçları

Tür	PM salınımı (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
ham	TAPM	1596,4 ± 2104,63	460,65 (2,1 - 6527,9)	1,35	0,43	<0,001
	PM_{10}	1393,92 ± 2084,59	236,55 (2,0 - 6527,9)	1,54	0,94	<0,001
	$PM_{2,5}$	114,21 ± 173,46	26,46 (0,49 - 652,79)	1,87	2,47	<0,001
	PM_1	55,18 ± 133,91	5,4 (0,11 - 652,79)	3,34	10,77	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,67 ± 0,79**	**2,66 (0,32 - 3,82)**	**0,32**	**3,82**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**2,49 ± 0,85**	**2,37 (0,3 - 3,82)**	**0,07**	**-1,14**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**1,54 ± 0,71**	**1,42 (-0,31 - 2,82)**	**0,18**	**-0,91**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,91 ± 0,82**	**0,73 (-0,96 - 2,82)**	**0,57**	**-0,32**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,01 ± 0,02	0 (0 - 0,48)	8	100,01	<0,001
	1/PM_{10}	0,01 ± 0,03	0 (0 - 0,5)	6,24	62,48	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,09 ± 0,15	0,04 (0 - 2,04)	5,09	36,98	<0,001
	1/PM_1	0,43 ± 0,8	0,19 (0 - 9,09)	5,01	34,13	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**6,15 ± 1,83**	**6,13 (0,74 - 8,78)**	**3,06**	**-0,21**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**5,72 ± 1,97**	**5,47 (0,69 - 8,78)**	**0,07**	**-1,14**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**3,55 ± 1,63**	**3,28 (-0,71 - 6,48)**	**0,18**	**-0,92**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**2,1 ± 1,9**	**1,69 (-2,21 - 6,48)**	**0,57**	**-0,32**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	1,6 ± 2,1	0,46 (0 - 6,53)	1,35	0,43	<0,001
	PM_{10}/1000	1,39 ± 2,08	0,24 (0 - 6,53)	1,54	0,94	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,11 ± 0,17	0,03 (0 - 0,65)	1,87	2,47	<0,001
	PM_1/1000	0,06 ± 0,13	0,01 (0 - 0,65)	3,34	10,77	<0,001

TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Bunun için, kalker işletmesi (A) delme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin ilgileşim analizi yapılmış ve normal dağılım göstermeyen ham veri setleri dönüştürülerek oluşan yeni veri setlerinden normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayılarına sahip veriler değerlendirmeye alınmıştır. En yüksek ilgileşim katsayıları ve salınım kestirim denklemleri Çizelge 5.17'de verilmiştir. En düşük ilgileşim katsayısı 0,746 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM), en yüksek katsayı 0,993 ile PM_{10} ve TAPM arasındadır. PM_1 ile TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değeri ham verilerin log ve ln'lerine dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımı arasında yüksek ilgileşim olduğu için, herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları da makul doğruluk payı ile belirlenebilmektedir.

Kalker işletmesi (A) veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri oldukça düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı (R^2≤%18) sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 5.18 ve 5.19'da sunulmuştur.

Çizelge 5.16 Kalker (A) işletmesi delme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri

	Parametre	Ay	Ağustos 2020	Eylül 2020	Ekim 2020	Kasım 2020	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Ekim 2021	Kasım 2021	p
Kalker (A) İşletmesi	log(TAPM)	Tukey	2,91 ± 0,72^{e}	2,74 ± 0,7^{de}	2,88 ± 0,59^{e}	3,24 ± 0,72^{f}	2,27 ± 0,8^{b}	2,62 ± 0,54^{cd}	2,68 ± 0,63^{cd}	2,73 ± 0,68^{de}	1,65 ± 0,48^{a}	2,51 ± 0,68^{c}	≤0,001
	ln(TAPM)	Tukey	6,69 ± 1,66^{e}	6,32 ± 1,61^{de}	6,63 ± 1,36^{e}	7,46 ± 1,67^{f}	5,23 ± 1,83^{b}	6,04 ± 1,25^{cd}	6,16 ± 1,44^{cd}	6,29 ± 1,56^{de}	3,81 ± 1,1^{a}	5,77 ± 1,55^{c}	≤0,001
	log PM_{10})	Tukey	2,75 ± 0,8^{ef}	2,58 ± 0,77^{de}	2,78 ± 0,61^{f}	3,14 ± 0,78^{g}	2 ± 0,81^{b}	2,36 ± 0,63^{c}	2,43 ± 0,67^{cd}	2,57 ± 0,74^{de}	1,52 ± 0,45^{a}	2,16 ± 0,74^{b}	≤0,001
	ln(PM_{10})	Tukey	6,33 ± 1,85^{fg}	5,93 ± 1,78^{df}	6,4 ± 1,4^{g}	7,24 ± 1,81^{h}	4,6 ± 1,87^{b}	5,42 ± 1,45^{c}	5,6 ± 1,54^{cd}	5,92 ± 1,7^{df}	3,49 ± 1,03^{a}	4,98 ± 1,7^{b}	≤0,001
	log($PM_{2,5}$)	Tukey	1,64 ± 0,73^{e}	1,61 ± 0,64^{e}	1,7 ± 0,6^{e}	2,26 ± 0,49^{f}	0,91 ± 0,72^{a}	1,23 ± 0,53^{e}	1,37 ± 0,6^{d}	1,75 ± 0,55^{e}	1,12 ± 0,29^{bc}	1,08 ± 0,51^{b}	≤0,001
	ln($PM_{2,5}$)	Tukey	3,77 ± 1,69^{e}	3,7 ± 1,47^{e}	3,91 ± 1,38^{e}	5,21 ± 1,13^{f}	2,09 ± 1,65^{a}	2,83 ± 1,22^{c}	3,16 ± 1,39^{d}	4,03 ± 1,28^{e}	2,59 ± 0,66^{bc}	2,49 ± 1,18^{b}	≤0,001
	log(PM_{1})	Tukey	1,04 ± 0,86^{ef}	0,91 ± 0,85^{e}	1,37 ± 0,62^{g}	1,66 ± 0,65^{h}	0,11 ± 0,8^{a}	0,47 ± 0,58^{bc}	0,6 ± 0,74^{cd}	1,14 ± 0,67^{f}	0,65 ± 0,29^{d}	0,37 ± 0,43^{b}	≤0,001
	ln(PM_{1})	Tukey	2,39 ± 1,98^{ef}	2,09 ± 1,97^{e}	3,16 ± 1,42^{g}	3,83 ± 1,49^{h}	0,25 ± 1,85^{a}	1,08 ± 1,33^{bc}	1,39 ± 1,7^{cd}	2,62 ± 1,55^{f}	1,49 ± 0,68^{d}	0,85 ± 0,99^{b}	≤0,001
	TMP	Tukey	23,11 ± 5,71^{f}	21,9 ± 1,43^{e}	11,68 ± 1,37^{b}	5,7 ± 1,36^{a}	23,9 ± 1,81^{g}	19,21 ± 0,72^{d}	24,48 ± 1,71^{g}	12,09 ± 0,7^{b}	5,2 ± 0,23^{a}	14,48 ± 2,93^{c}	≤0,001
	RH	Tukey	34,59 ± 20,97^{a}	47,78 ± 3,2^{c}	70,63 ± 6,11^{f}	66,43 ± 8,4^{e}	33,29 ± 2,8^{a}	59,48 ± 2,59^{d}	42,47 ± 4,12^{b}	71,04 ± 2,66^{f}	85,39 ± 1,22^{g}	47,8 ± 6,67^{c}	≤0,001
	SP	Tukey	844,1 ± 4,93^{a}	849,12 ± 0,07^{e}	851,62 ± 0,06^{g}	850,23 ± 1,7^{f}	847,57 ± 0,08^{c}	845,24 ± 1,87^{b}	849,15 ± 0,08^{e}	848,04 ± 0,07^{cd}	848,43 ± 0,1^{d}	849,3 ± 0,15^{e}	≤0,001
	WS	Tukey	1,55 ± 0,91^{d}	1,6 ± 0,89^{d}	0,5 ± 0,44^{a}	1,05 ± 0,74^{b}	1,44 ± 1,03^{cd}	3,04 ± 1,59^{e}	1,38 ± 0,95^{cd}	1,48 ± 0,83^{cd}	1,22 ± 0,79^{bc}	0,43 ± 0,42^{a}	≤0,001
	DWPT	Tukey	3,32 ± 5,73^{b}	10,3 ± 0,79^{d}	6,47 ± 1,04^{c}	-0,16 ± 1,64^{a}	6,73 ± 0,99^{c}	11,11 ± 0,65^{e}	10,83 ± 1,28^{e}	6,99 ± 0,42^{c}	2,95 ± 0,19^{b}	3,38 ± 1,28^{b}	≤0,001
	CW	Tukey	1,21 ± 0,88^{e}	1,39 ± 0,78^{ef}	0,03 ± 0,11^{a}	0,75 ± 0,57^{d}	0,66 ± 0,78^{cd}	1,54 ± 1,39^{f}	0,65 ± 0,58^{cd}	0,44 ± 0,37^{bc}	0,42 ± 0,42^{b}	0,31 ± 0,32^{b}	≤0,001
	HW	Tukey	0,33 ± 0,94^{ab}	0,69 ± 0,59^{cd}	0,05 ± 0,19^{a}	0,43 ± 0,75^{bc}	0,26 ± 1,44^{ab}	1,98 ± 1,89^{g}	0,93 ± 1,09^{de}	1,36 ± 0,84^{f}	1,1 ± 0,73^{ef}	0,19 ± 0,35^{ab}	≤0,001
	MSTR	Tukey	0,44 ± 0,11^{c}	0,23 ± 0,04^{ab}	0,17 ± 0,04^{a}	1,28 ± 0,45^{g}	0,89 ± 0,36^{f}	0,74 ± 0,41^{de}	0,7 ± 0,28^{d}	0,62 ± 0,78^{d}	0,83 ± 0,67^{ef}	0,3 ± 0,13^{b}	≤0,001
	SLT&CLY	Tukey	4,08 ± 0,92^{b}	5,61 ± 1,32^{c}	9,61 ± 4,53^{e}	2,37 ± 1,95^{a}	6,81 ± 4,15^{d}	7,71 ± 4,31^{d}	11,03 ± 4,09^{f}	14,05 ± 0,95^{g}	4,72 ± 2,12^{bc}	9,66 ± 3,3^{e}	≤0,001

a-h: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (PM ölçüm verileri)
a-g: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (Termal konfor parametreleri ve laboratuvar ölçüm verileri)

Çizelge 5.17 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-175,647 (-188,03 - -163,25)		-27,797	0,000			
	TAPM	0,983 (0,979 - 0,988)	0,993	410,961	0,000	0,993	0,993	1,0
$PM_{2,5}$	(Sabit)	-7,294 (-10,562 - 4,026)		-4,377	0,000			
	TAPM	0,076 (0,075 - 0,077)	0,923	120,624	0,000	0,923	0,923	1,0
*$PM_{2,5}$	(Sabit)	5,816 (2,910- 8,722)		3,925	0,000			
	PM_{10}	0,078 (0,077 - 0,079)	0,934	131,575	0,000	0,934	0,934	1,0
$ln(PM_1)$	(Sabit)	-2,379 (-2,544 - -2,214)		-28,225	0,000			
	ln(TAPM)	0,739 (0,713 - 0,765)	0,746	56,218	0,000	0,746	0,746	1,0
*$ln(PM_1)$	(Sabit)	-2,108 (-2,236 - -1,980)		-32,387	0,000			
	$ln(PM_{10}$	0,746 (0,725 - 0,767)	0,811	69,377	0,000	0,811	0,811	1,0
**$ln(PM_1)$	(Sabit)	-1,515 (-1,576 - -1,454)		-48,773	0,000			
	$ln(PM_{2,5}$	1,037 (1,021 - 1,052)	0,933	130,281	0,000	0,933	0,933	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

PM_{10}; F= 168889,35, p≤0,001, Adj.R^2= 0,985, SE= 252,4 $PM_{2,5}$; F= 14550,068, p≤0,001, Adj.R^2= 0,853, SE= 66,56

$ln(PM_1)$; F= 3160,498, p≤0,001, Adj.R^2= 0,557, SE= 1,20 *$PM_{2,5}$; F= 17312,098, p≤0,001, Adj.R^2= 0,873, SE=61,75

*$ln(PM_1)$; F= 4813,123, p≤0,001, Adj.R^2= 0,657, SE= 1,06 **$ln(PM_1)$; F= 16973,227, p≤0,001, Adj.R^2= 0,871, SE= 0,65

Çizelge 5.18 Tüm işletmelerin delme faaliyeti veri setlerinin toplu giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları

Örnekleme yerleri	Bağımlı değişken	Toplu giriş metodu ile doğrusal regresyon			
		Model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler (p<0,05; VIF ≤ 5)	Düzeltilmiş R^2 (%)	Kısmi ilgileşim	
				Çok etkili	Az etkili
Alçıtaşı işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) $ln(PM_{10})$ $log(PM_{10})$ $ln(PM_{2,5})$ $log(PM_{2,5})$ $ln(PM_1)$ $log(PM_1)$	SP, CW, MSTR, SLT&CLY	6	SP, SLT&CLY	CW, MSTR
		SP, MSTR, SLT&CLY	8		MSTR
		SP, MSTR, SLT&CLY	6,6		
Kalker (A) işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) $ln(PM_{10})$ $log(PM_{10})$ $ln(PM_{2,5})$ $log(PM_{2,5})$ $ln(PM_1)$ $log(PM_1)$	CW, MSTR	17	MSTR	CW
			15		
			18	CW	MSTR
			17,8		
Kalker (B) işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) $ln(PM_{10})$ $log(PM_{10})$ $ln(PM_{2,5})$ $log(PM_{2,5})$ $ln(PM_1)$ $log(PM_1)$	HW, MSTR, SLT&CLY	18,7	HW	SLT&CLY
		SP, HW, MSTR, SLT&CLY	16,8	SLT&CLY	SP
		WS, CW, HW, MSTR, SLT&CLY	13,5		CW
		SP, WS, CW, HW, MSTR, SLT&CLY	13		SP
Kalker (A+B) işletmeleri	ln(TAPM) log(TAPM) $ln(PM_{10})$ $log(PM_{10})$ $ln(PM_{2,5})$ $log(PM_{2,5})$ $ln(PM_1)$ $log(PM_1)$	WS, CW, HW, MSTR, SLT&CLY	21,1	MSTR	CW
			20,6		
			20,9		SLT&CLY
		SP, WS, CW, HW, MSTR, SLT&CLY	21,1		
Tüm işletmeler	ln(TAPM) log(TAPM) $ln(PM_{10})$ $log(PM_{10})$ $ln(PM_{2,5})$ $log(PM_{2,5})$ $ln(PM_1)$ $log(PM_1)$	WS, HW, MSTR, SLT&CLY	13,7	MSTR	WS
			12,7		
		SP, WS, CW, HW, MSTR	15,7		HW
		SP, WS, CW, HW, MSTR, SLT&CLY	17,4		SLT&CLY

Çizelge 5.19 Tüm işletmelerin delme faaliyeti veri setlerinin aşamalı giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları

Örnekleme yerleri	Bağımlı değişken	Aşamalı metot ile doğrusal regresyon			
		Model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler (p<0,05; VIF ≤ 5)	Düzeltilmiş R^2 (%)	Kısmi ilgileşim	
				Çok etkili	Az etkili
Alçıtaşı işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	TMP, SP, SLT&CLY, MSTR, WS, CW	5,7	WS	MSTR
		TMP, SP, HW, MSTR, DWPT	7,9	SLT&CLY	MSTR, DWPT
		TMP, SP, HW, MSTR, SLT&CLY	8,5		MSTR
Kalker (A) işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	HW, MSTR, CW	6,6	MSTR	HW
		HW, MSTR, DWPT, CW	7,3		
		WS, MSTR, DWPT, CW	14		CW
		WS, MSTR, DWPT, CW, SP	13	DWPT	SP
			17		
Kalker (B) işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	HW, SP, MSTR, SLT&CLY	15,9	HW	SP
			13,9		
		HW, MSTR	4,8	MSTR	HW
		HW, SP, MSTR	1,8	HW	MSTR
Kalker (A+B) işletmeleri	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	HW, CW, WS, MSTR, SLT&CLY	19,2	MSTR	SLT&CLY
			19		HW
			20,9		
			22	TMP	SLT&CLY
		HW, CW, WS, SP, MSTR, TMP, SLT&CLY		MSTR	HW
Tüm işletmeler	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	HW, CW, WS, MSTR, SLT&CLY	19,2	MSTR	CW
					SLT&CLY
			19		HW
		HW, CW, WS, MSTR, SP, RH, TMP	15,8		RH
		HW, CW, WS, MSTR, SLT&CLY	15,5		HW
		HW, CW, WS, SP, MSTR, SLT&CLY	8,7		CW

5.3.2 Kalker İşletmesi (A) delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Geleneksel regresyon modellemesinde bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında yapılan doğrusal regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısının düşük (R^2<%18) olması nedeniyle, karar ağacı tekniğinde M5P algoritmasının kullanılmış ve model sonuçları Çizelge 5.20'de verilmiştir.

TAPM salınımı için yapılan regresyon analizinde en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setinde elde edilmiştir. Ham TAPM karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 24 adet salınım kestirim denklemi türetilmiş olup modelin salınım kestirim kuralları ile denklemleri Çizelge 5.21 ve 5.22'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.5'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgârlar dâhil), silt+kil ve malzeme nemidir. Ayrıca, yapılan modelleme çalışmalarında PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem

ve malzeme nemidir. Ayrıca salınım analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %13,20'si LM24'ü, %0,35'i LM10'u temsil etmektedir.

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analizinde en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setinde elde edilmiş ve ham PM_{10} karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 16 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.23 ve 5.24'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.6'da verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr dâhil), malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler bağıl nem, malzeme nemi, hava sıcaklığı, karşı rüzgâr hızı ve silt+kildir. Salınım analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %16,74'ü LM15'i, %1,55'i LM5'i temsil etmektedir.

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizinde en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setinde elde edilmiş ve ham $PM_{2,5}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 20 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.25 ve 5.26'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.7'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr dâhil), malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. Modellemede PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise silt+kil ve malzeme nemidir. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %29,03'ü LM20'yi, %1,15'i LM4'ü temsil etmektedir.

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizinde en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dömüşümde elde edilmiş ve log(PM_1) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 18 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.27 ve 5.28'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.8'de verilmiştir. Salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgârlar dâhil), malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. Modellemede PM salınımı üzerinde en etkili parametreler istasyon basıncı, malzeme nemi, silt+kil ve bağıl nemdir. Regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %28,44'ü LM17'yi, %1,55'i LM6'yı temsil etmektedir.

Çizelge 5.20 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM verilerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	log(PM_{10})	ln(PM_{10})	1/PM_{10}
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	**0,8018**	0,8018	0,7609	0,761	0,6092	**0,7628**	0,7628	0,7361	0,7361	0,6339
	MAE	**881,9432**	0,882	0,3946	0,9085	0,0085	**917,7321**	0,9177	0,4486	1,0328	0,0105
	RMSE	**1260,2952**	1,2593	0,5158	1,1875	0,0201	**1348,7959**	1,3488	0,5783	1,3316	0,0236
	RAE (%)	**52,0056**	52,0023	58,2032	58,201	71,1769	**56,0016**	56,0016	60,6483	60,6484	63,4652
	RRSE (%)	**59,894**	59,8464	64,9688	64,9681	81,0267	**64,7161**	64,716	67,7305	67,7311	77,5634
	Model (düğüm) sayısı	**24**	24	23	23	18	**16**	16	15	15	22
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	**0,7677**	0,7657	0,7243	0,7243	0,4101	**0,7394**	0,7394	0,7129	0,7136	0,4825
	MAE	**937,2165**	0,9316	0,4217	0,971	0,0089	**957,3107**	0,9573	0,467	1,0714	0,0116
	RMSE	**1349,1006**	1,3541	0,5474	1,2604	0,0228	**1403,2039**	1,4032	0,599	1,3775	0,0267
	RAE (%)	**55,2562**	55,5143	62,1822	62,1807	74,7433	**58,3951**	58,3951	63,108	62,8872	70,6038
	RRSE (%)	**64,0976**	64,3357	68,9258	68,9253	91,7116	**67,2942**	67,2942	70,1203	70,0384	87,8657
	Model (düğüm) sayısı	**24**	24	23	23	18	**16**	16	15	15	22
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	**0,7585**	0,7561	0,7154	0,7154	0,4352	**0,7242**	0,7242	0,7067	0,7067	0,4559
	MAE	**962,1581**	0,9718	0,4354	1,0024	0,0084	**993,7236**	0,9937	0,4835	1,1132	0,0114
	RMSE	**1394,7175**	1,3975	0,5571	1,2827	0,0216	**1458,1259**	1,4581	0,6078	1,3994	0,0256
	RAE (%)	**56,2596**	56,823	63,7749	63,7716	71,3831	**60,2332**	60,2333	64,8189	64,8172	70,5489
	RRSE (%)	**65,6194**	65,7483	69,9164	69,9157	90,1474	**69,2093**	69,2091	71,0135	71,0136	89,2318
	Model (düğüm) sayısı	**24**	24	23	23	18	**16**	16	15	15	22
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}$/1000	log($PM_{2,5}$)	ln($PM_{2,5}$)	1/$PM_{2,5}$	PM_1	PM_1/1000	log(PM_1)	ln(PM_1)	1/PM_1
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	**0,7617**	0,7617	0,7352	0,7352	0,644	0,65	0,6499	**0,6928**	0,6929	0,7522
	MAE	**73,3559**	0,0734	0,3648	0,84	0,0574	54,6248	0,0546	**0,4106**	0,9454	0,2482
	RMSE	**112,5513**	0,1126	0,4801	1,1054	0,1176	102,2835	0,1023	**0,5669**	1,3054	0,5286
	RAE (%)	**56,9865**	56,9895	60,4938	60,4934	68,401	71,2635	71,2669	**63,5523**	63,5531	56,756
	RRSE (%)	**64,9**	64,9036	67,8491	67,8497	76,7953	76,3967	76,3979	**72,1458**	72,1443	66,2105
	Model sayısı	**20**	20	16	16	20	16	16	**18**	18	24
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	**0,7187**	0,7186	0,7063	0,7063	0,6048	0,5444	0,545	**0,6634**	0,6644	0,6567
	MAE	**77,5859**	0,0776	0,3817	0,8788	0,0596	59,4578	0,0594	**0,4287**	0,9863	0,2755
	RMSE	**120,5936**	0,1206	0,501	1,1536	0,1222	112,3361	0,1123	**0,588**	1,3523	0,6026
	RAE (%)	**60,2435**	60,2632	63,2847	63,2829	70,9392	77,5035	77,4601	**66,3405**	66,2853	62,9752
	RRSE (%)	**69,4929**	69,5012	70,795	70,7954	79,7451	83,8296	83,7878	**74,793**	74,6992	75,4744
	Model (düğüm) sayısı	**20**	20	16	16	20	16	16	**18**	18	24
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	**0,7247**	0,7247	0,6917	0,6917	0,4783	0,5844	0,5863	**0,6449**	0,6449	0,6054
	MAE	**78,7159**	0,0787	0,399	0,9186	0,0628	60,2218	0,0602	**0,4508**	1,038	0,2568
	RMSE	**123,3071**	0,1233	0,5154	1,1868	0,1416	118,2265	0,1181	**0,6166**	1,4198	0,5765
	RAE (%)	**60,6497**	60,6578	65,4887	65,489	73,9489	75,3379	75,3207	**68,149**	68,1482	60,9313
	RRSE (%)	**69,1988**	69,1987	72,3323	72,3337	87,8987	81,6717	81,5628	**76,4585**	76,4567	79,5498
	Model (düğüm) sayısı	20	20	16	16	20	16	16	**18**	18	24

Çizelge 5.21 Kalker İşletmesi (A) delme faaliyeti TAPM salınım kestirim kuralları

Model	TAPM salınım kestirim kuralları
LM1	DWPT ≤ 1,75, MSTR ≤ 1,24, SLT&CLY ≤ 5,135, WS ≤ 1,75
LM2	DWPT ≤ 1,75, MSTR ≤ 1,24, SLT&CLY ≤ 5,49 - > 5,135, WS ≤ 1,75
LM3	DWPT ≤ 1,75, MSTR ≤ 1,24, SLT&CLY ≤ 5,49, WS > 1,75
LM4	DWPT ≤ 1,75, MSTR ≤ 1,24, SLT&CLY > 5,49
LM5	DWPT ≤ 1,75, MSTR > 1,24, HW ≤ 0,45, SP ≤ 848,95
LM6	DWPT ≤ 1,75, MSTR > 1,24, HW ≤ 0,45, SP > 848,95, RH ≤ 60,85
LM7	DWPT ≤ 1,75, MSTR > 1,24, HW ≤ 0,45, SP > 848,95, RH ≤ 64,75 - > 60,85, HW ≤ - 0,05
LM8	DWPT ≤ 0,05, MSTR > 1,24, HW ≤ 0,45, SP > 848,95, RH ≤ 64,75 - > 60,85, HW > - 0,05, WS ≤ 0,95
LM9	DWPT ≤ 1,75 - > 0,05, MSTR > 1,24, HW ≤ 0,45, SP > 848,95, RH ≤ 64,75 - > 60,85, HW > - 0,05, WS ≤ 0,95
LM10	DWPT ≤ 1,75, MSTR > 1,24, HW ≤ 0,45, SP > 848,95, RH ≤ 64,75 - > 60,85, HW > - 0,05, WS > 0,95
LM11	DWPT ≤ 1,75, MSTR > 1,24, HW ≤ 0,45, SP > 848,95, RH > 64,75
LM12	DWPT ≤ 1,75, MSTR > 1,24, HW > 0,45
LM13	DWPT > 1,75, MSTR ≤ 0,275, RH ≤ 50,35
LM14	DWPT ≤ 7,35 - > 1,75, MSTR ≤ 0,155, RH > 50,35, HW ≤ 0,85
LM15	DWPT > 7,35, MSTR ≤ 0,155, RH > 50,35, HW ≤ 0,85
LM16	DWPT > 1,75, MSTR ≤ 0,155, RH > 50,35, HW > 0,85
LM17	DWPT > 1,75, MSTR ≤ 0,275 - > 0,155, RH > 50,35
LM18	DWPT > 1,75, MSTR ≤ 0,435 - > 0,275, RH ≤ 76,05
LM19	DWPT > 1,75, MSTR > 0,435, RH ≤ 52,8, HW ≤ 1,55, SLT&CLY ≤ 5,29
LM20	DWPT > 1,75, MSTR > 0,435, RH ≤ 52,8, HW ≤ 1,55, SLT&CLY ≤ 6,23 - > 5,29
LM21	DWPT > 1,75, MSTR > 0,435, RH ≤ 76,05 - > 52,8, HW ≤ 1,55, SLT&CLY ≤ 6,23
LM22	DWPT > 1,75, MSTR > 0,435, RH ≤ 76,05, HW ≤ 1,55, SLT&CLY > 6,23
LM23	DWPT > 1,75, MSTR > 0,435, RH ≤ 76,05, HW > 1,55
LM24	**DWPT > 1,75, MSTR > 0,275, RH > 76,05**

Çizelge 5.22 Kalker İşletmesi (A) delme faaliyeti TAPM salınım kestirim denklemleri

Model	TAPM salınım kestirim denklemleri
LM1	-14,2653 * RH + 155,2109 * SP - 82,9596 * WS + 33,3795 * DWPT - 47,2555 * CW - 7,0319 * HW + 100,3467 * MSTR + 101,1870 * SLT&CLY - 130292,854
LM2	620,7265 * RH + 207,485 * SP - 82,9596 * WS + 33,3795 * DWPT - 47,2555 * CW - 7,0319 * HW + 100,3467 * MSTR + 135,0801 * SLT&CLY - 182323,87
LM3	-14,3810 * RH + 96,7233 * SP - 121,2029 * WS + 66,7884 * DWPT - 47,2555 * CW - 7,0319 * HW + 100,3467 * MSTR + 34,375 * SLT&CLY - 80803,82
LM4	-5,7069 * RH - 107,384 * SP - 28,61386 * WS + 52,5248 * DWPT + 126,0539 * CW - 23,569 * HW + 100,3467 * MSTR - 28,488 * SLT&CLY + 92340,00
LM5	5,22406 * RH - 44,7467 * SP + 752,6266 * WS + 44,2132 * DWPT - 154,3435 * CW + 184,326 * HW + 631,8215 * MSTR - 4,572 * SLT&CLY + 41769,20
LM6	-16,4808 * RH - 44,7467 * SP - 595,9402 * WS + 385,8812 * DWPT + 1864,126 * CW - 1324,2387 * HW - 1763,0949 * MSTR - 4,572 * SLT&CLY + 46037,0
LM7	-21,9880 * RH - 44,7467 * SP + 340,6893 * WS + 116,7969 * DWPT - 64,3676 * CW + 905,8138 * HW + 550,7383 * MSTR - 4,572 * SLT&CLY + 41906,76
LM8	-21,9880 * RH - 44,7467 * SP + 286,3807 * WS + 270,9607 * DWPT - 64,3676 * CW + 629,2594 * HW + 550,7383 * MSTR - 4,572 * SLT&CLY + 42256,38
LM9	-21,9880 * RH - 44,7467 * SP + 204,0102 * WS + 314,1266 * DWPT - 64,3676 * CW + 629,2594 * HW + 550,7383 * MSTR - 4,572 * SLT&CLY + 42614,15
LM10	-21,9880 * RH - 44,7467 * SP + 760,465 * WS + 116,7969 * DWPT - 64,3676 * CW + 629,2594 * HW + 550,7383 * MSTR - 4,572 * SLT&CLY + 42567,11
LM11	5,2240 * RH - 44,7467 * SP + 270,0687 * WS + 90,4546 * DWPT - 64,3676 * CW + 1677,9635 * HW + 796,3454 * MSTR - 4,572 * SLT&CLY + 41815,53
LM12	78,4032 * RH - 44,7467 * SP + 1915,4815 * WS - 118,9889 * DWPT - 1199,518 * CW - 1507,7194 * HW + 305,5043 * MSTR - 4,572 * SLT&CLY + 38335,17
LM13	-0,1194 * RH - 0,285 * SP - 31,5381 * WS + 0,6199 * DWPT + 26,4375 * CW + 13,5286 * HW + 13986,638 * MSTR + 139,7232 * SLT&CLY - 1704,79
LM14	1,1843 * RH - 0,285 * SP - 540,0757 * WS + 22,4255 * DWPT + 18,285 * CW + 50,3691 * HW - 265,9721 * MSTR + 2,3 * SLT&CLY + 2078,22
LM15	1,1843 * RH - 0,285 * SP - 47,8091 * WS - 195,9429 * DWPT + 18,285 * CW + 2757,2978 * HW - 265,9721 * MSTR + 2,3 * SLT&CLY + 3863,55
LM16	1,1843 * RH - 0,285 * SP - 59,5561 * WS + 232,90 * DWPT + 18,285 * CW - 43,7309 * HW - 10379,348 * MSTR + 2,3 * SLT&CLY + 649,39
LM17	19,8578 * RH - 0,285 * SP - 37,0475 * WS + 8,1585 * DWPT + 18,285 * CW + 7,8294 * HW + 16127,7396 * MSTR + 2,3 * SLT&CLY - 3120,41
LM18	-15,7603 * RH - 4,9181 * SP + 227,6353 * WS + 49,409 * DWPT + 9,822 * CW - 209,5735 * HW + 1,8297 * MSTR + 0,0635 * SLT&CLY + 5063,84088
LM19	-0,2399 * RH - 27,2047 * SP - 12,8908 * WS + 15,83826 * DWPT - 25,6598 * CW + 25,209 * HW + 1,8297 * MSTR + 45,0854 * SLT&CLY + 23439,28
LM20	-0,2399 * RH - 27,2047 * SP - 12,8908 * WS + 400,6698 * DWPT - 652,5202 * CW + 25,209 * HW + 1,8297 * MSTR + 89,258 * SLT&CLY + 21496,01
LM21	-0,2399 * RH - 176,6724 * SP - 12,8908 * WS - 344,2384 * DWPT - 39,1553 * CW + 34,6647 * HW + 1,8297 * MSTR - 779,0562 * SLT&CLY + 155990,58
LM22	-0,2399 * RH + 137,7544 * SP + 178,5447 * WS + 129,380 * DWPT + 10,328 * CW - 0,0064 * HW + 1,8297 * MSTR + 141,1725 * SLT&CLY - 118621,89
LM23	-0,2399 * RH - 6,4308 * SP - 19,3923 * WS + 0,3695 * DWPT + 14,88 * CW - 100,503 * HW + 1,8297 * MSTR + 0,06349 * SLT&CLY + 6548,74
LM24	**-51,2243 * RH - 2,9954 * SP - 684,8828 * WS + 1,3213 * DWPT + 497,869 * CW + 505,0194 * HW + 167,6258 * MSTR + 74,7910 * SLT&CLY + 6675,95**

Çizelge 5.23 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim kuralları

Model	PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	DWPT ≤ 1.65, MSTR ≤ 1.24
LM2	DWPT ≤ 1.65, MSTR > 1.24, HW ≤ 0.45, SP ≤ 848.95
LM3	DWPT ≤ 1.65, MSTR > 1.24, HW ≤ 0.45, SP > 848.95, RH ≤ 60.75
LM4	DWPT ≤ 1.65, MSTR > 1.24, HW ≤ 0.45, SP > 848.95, RH ≤ 64.75 - > 60.75
LM5	DWPT ≤ 1.65, MSTR > 1.24, HW ≤ 0.45, SP > 848.95, RH > 64.75
LM6	DWPT ≤ 1.65, MSTR > 1.24, HW > 0.45
LM7	DWPT > 1.65, MSTR ≤ 0.275, SP ≤ 850.4, HW ≤ 0.85, DWPT ≤ 7.35
LM8	DWPT > 1.65, MSTR ≤ 0.275, SP ≤ 850.4, HW ≤ 0.85, DWPT > 7.35
LM9	DWPT > 1.65, MSTR ≤ 0.275, SP ≤ 850.4, HW > 0.85
LM10	DWPT > 1.65, MSTR ≤ 0.155, SP > 850.4
LM11	DWPT > 1.65, MSTR ≤ 0.275 - > 0.155, SP > 850.4
LM12	DWPT > 1.65, MSTR > 0.275, TMP ≤ 5.75
LM13	DWPT > 1.65, MSTR > 0.275, TMP > 5.75, HW ≤ 1.55, SLT&CLY ≤ 5.645, SP ≤ 849.25
LM14	DWPT > 1.65, MSTR > 0.275, TMP > 5.75, HW ≤ 1.55, SLT&CLY ≤ 5.645, SP > 849.25
LM15	**DWPT > 1.65, MSTR > 0.275, TMP > 5.75, HW ≤ 1.55, SLT&CLY > 5.645**
LM16	DWPT > 1.65, MSTR > 0.275, TMP > 5.75, HW > 1.55

Çizelge 5.24 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim denklemleri

Model	PM_{10} salınım kestirim denklemleri
LM1	37,2542 * TMP - 1,1057 * RH - 87,6072 * SP - 3,9133 * WS + 5,8063 * DWPT + 24,5645 * HW + 116,6321 * MSTR - 1,0575 * SLT&CLY + 74888,30
LM2	-10,808 * TMP + 1,384 * RH - 930,6364 * SP - 3,9133 * WS + 5,8063 * DWPT + 69,2841 * HW + 71,3063 * MSTR - 1,05754* SLT&CLY +795077,93
LM3	-10,808 * TMP - 12,4028 * RH - 571,9530 * SP - 3,9133 * WS + 5,8063 * DWPT + 69,2841 * HW + 71,3063 * MSTR - 1,0575 * SLT&CLY + 490703,04
LM4	-10,808 * TMP - 15,8692 * RH - 571,9530 * SP - 3,9133 * WS + 5,8063 * DWPT + 69,2841 * HW + 71,3063 * MSTR - 1,0575 * SLT&CLY + 489974,75
LM5	-10,808 * TMP + 15,8066 * RH - 571,9530 * SP - 3,9133 * WS + 5,8063 * DWPT + 69,2841 * HW + 71,3063 * MSTR - 1,0575 * SLT&CLY + 489751,49
LM6	-10,808 * TMP + 84,32 * RH - 472,7328 * SP - 3,9133 * WS + 5,8063 * DWPT + 118,3492 * HW + 71,3063 * MSTR - 1,0575 * SLT&CLY + 401780,62
LM7	27,2432 * TMP + 11,72 * RH - 7,7476 * SP - 1,0054 * WS - 20,5825 * DWPT - 22,2022 * HW + 9414,538 * MSTR + 15,683 * SLT&CLY + 5577,95
LM8	29,3206 * TMP + 11,72 * RH - 7,7476 * SP - 1,0054 * WS - 24,1344 * DWPT - 22,2022 * HW + 1375,519 * MSTR + 266,5902 * SLT&CLY + 5382,01
LM9	56,9212 * TMP - 6,4008 * RH - 7,7476 * SP - 1,0054 * WS - 57,7876 * DWPT - 30,2992 * HW + 778,9138 * MSTR + 2,7906 * SLT&CLY + 7536,14
LM10	-5,14881 * TMP + 3,3550 * RH - 11,5816 * SP - 1,0054 * WS - 9,9905 * DWPT - 12,1536 * HW + 525,0796 * MSTR + 4,3773 * SLT&CLY + 11201,71
LM11	-100,283 * TMP + 3,355 * RH - 11,5816 * SP - 1,0054 * WS - 9,9905 * DWPT - 12,1536 * HW + 10172,796 * MSTR + 4,3773 * SLT&CLY + 9816,12
LM12	460,8443 * TMP - 3,0441 * RH - 3,43006 * SP - 3,8508 * WS - 166,8492 * DWPT - 1,4942 * HW + 5,80 * MSTR - 0,2717 * SLT&CLY + 1398,19
LM13	-187,5733 * TMP - 1,3662 * RH - 13,2330 * SP - 3,6977 * WS - 125,1237 * DWPT + 2,721 * HW + 2,0784 * MSTR + 267,7702 * SLT&CLY + 16485,34
LM14	-4,0772 * TMP - 1,3662 * RH - 28,6672 * SP - 3,6977 * WS - 14,0976 * DWPT + 2,721 * HW + 2,0784 * MSTR - 24,5237 * SLT&CLY + 25199,80
LM15	**-4,0772 * TMP - 1,3662 * RH - 5,68736 * SP + 123,2193 * WS + 57,5137 * DWPT + 1,5704 * HW + 2,0784 * MSTR - 1,2447 * SLT&CLY + 4964,04**
LM16	-1,9723 * TMP - 0,5820 * RH - 5,07556 * SP - 6,0514 * WS + 0,9401 * DWPT - 1,4942 * HW + 194,6967 * MSTR - 0,2717 * SLT&CLY + 4792,63

Çizelge 5.25 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları

Model	$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları
LM1	SLT&CLY ≤ 2,36, SP ≤ 848,75
LM2	SLT&CLY ≤ 2,36, SP > 848,75, RH ≤ 67,85, HW ≤ - 0,05
LM3	SLT&CLY ≤ 2,36, SP > 848,75, RH ≤ 64,35, HW ≤ 045 - > - 0,05
LM4	SLT&CLY ≤ 2,36, SP > 848,75, RH ≤ 67,85 - > 64,35, HW ≤ 045 - > - 0,05
LM5	SLT&CLY ≤ 2,36, SP > 848,75, RH ≤ 67,85, HW > 0,45, MSTR ≤ 1,39
LM6	SLT&CLY ≤ 2,36, SP > 848,75, RH ≤ 67,85, HW > 0,45, MSTR > 1,39
LM7	SLT&CLY ≤ 2,36, SP > 848,75, RH > 67,85
LM8	SLT&CLY ≤ 13 - > 2,36, MSTR ≤ 0,175, TMP ≤ 20,05
LM9	SLT&CLY ≤ 13 - > 2,36, MSTR ≤ 0,305 - > 0,175, TMP ≤ 20,05
LM10	SLT&CLY > 13, MSTR ≤ 0,305, TMP ≤ 20,05, RH ≤ 66
LM11	SLT&CLY > 13, MSTR ≤ 0,305, TMP ≤ 20,05, RH > 66, HW ≤ 0,85
LM12	SLT&CLY > 13, MSTR ≤ 0,305, TMP ≤ 20,05, RH > 66, HW > 0,85
LM13	SLT&CLY > 2,36, MSTR ≤ 0,215, TMP > 20,05, RH ≤ 47,35
LM14	SLT&CLY > 2,36, MSTR ≤ 0,215, TMP > 20,05, RH ≤ 49,2 - > 47,35
LM15	SLT&CLY > 2,36, MSTR ≤ 0,215, TMP > 20,05, RH > 49,2
LM16	SLT&CLY > 2,36, MSTR ≤ 0,305 - > 0,215, TMP > 20,05
LM17	SLT&CLY > 2,36, MSTR ≤ 0,47 - > 0,305, TMP ≤ 5,25
LM18	SLT&CLY > 2,36, MSTR ≤ 0,47 - > 0,305, TMP > 5,25, SP ≤ 849,25
LM19	SLT&CLY > 2,36, MSTR ≤ 0,47 - > 0,305, TMP > 5,25, SP > 849,25
LM20	**SLT&CLY > 2,36, MSTR > 0,47**

Çizelge 5.26 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri

Model	$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	-4,87 * TMP - 1,73 * RH - 4,43 * SP - 4,47 * WS + 4,34 * HW - 11,08 * MSTR - 0,06 * SLT&CLY + 3977,84
LM2	-0,70 * TMP - 18,97 * RH - 4,94 * SP - 1,06 * WS - 91,52 * HW + 5,08 * MSTR - 0,06 * SLT&CLY + 5612,23
LM3	-1,56 * TMP + 1,62 * RH - 4,94 * SP + 4,01 * WS + 8,89 * HW + 5,08 * MSTR - 0,06 *SLT&CLY + 4442,32
LM4	-1,56 * TMP + 4,30 * RH - 4,94 * SP + 12,77 * WS + 8,89 * HW + 5,08 * MSTR - 0,06 * SLT&CLY + 4382,38
LM5	-3,26 * TMP - 0,13 * RH - 4,94 * SP + 1,03 * WS + 13,96 * HW + 13,08 * MSTR - 0,06 * SLT&CLY + 4710,97
LM6	-3,26 * TMP - 0,13 * RH - 4,94 * SP + 1,03 * WS + 13,96 * HW + 295,36 * MSTR - 0,06 * SLT&CLY + 4194,39
LM7	-6,59 * TMP - 24,54 * RH - 60,04 * SP - 6,79 * WS + 9,86 * HW - 2,85 * MSTR - 0,06 * SLT&CLY + 53208,89
LM8	-0,36 * TMP + 0,21 * RH - 1,78 * SP - 5,23 * WS - 1,22 * HW + 97,50 * MSTR + 0,42 * SLT&CLY + 1533,52
LM9	-0,28 * TMP + 0,21 * RH - 1,62 * SP - 0,71 * WS - 1,22 * HW + 87,62 * MSTR + 0,42 * SLT&CLY + 1451,10
LM10	4,57 * TMP + 1,60 * RH - 0,89 * SP - 0,06 * WS - 5,56 * HW + 38,64 * MSTR + 0,48 * SLT&CLY + 666,16
LM11	29,13 * TMP + 0,69 * RH - 0,89 * SP - 0,06 * WS - 5,21 * HW + 38,64 * MSTR + 0,48 * SLT&CLY + 515,00
LM12	8,02 * TMP + 0,69 * RH - 0,89 * SP - 0,06 * WS - 8,38 * HW + 38,64 * MSTR + 0,48 * SLT&CLY + 703,22
LM13	-2,17 * TMP + 0,10 * RH - 0,03 * SP - 0,06 * WS - 0,64 * HW - 45,33 * MSTR + 0,07 * SLT&CLY + 181,20
LM14	-3,35 * TMP - 4,57 * RH - 0,03 * SP - 0,06 * WS - 0,64 * HW - 45,33 * MSTR + 0,07 * SLT&CLY + 586,35
LM15	-3,35 * TMP - 2,08 * RH - 0,03 * SP - 0,06 * WS - 0,64 * HW - 45,33 * MSTR + 0,07 * SLT&CLY + 369,64
LM16	0,25 * TMP + 0,10 * RH - 0,03 * SP - 0,06 * WS - 0,64 * HW - 53,99 * MSTR + 0,07 * SLT&CLY + 107,10
LM17	-0,03 * TMP - 0,19 * RH - 2,12 * SP - 0,81 * WS - 0,12 * HW + 0,57 * MSTR - 0,02 * SLT&CLY + 1821,38
LM18	-0,03 * TMP - 0,63 * RH - 1,94 * SP - 6,77 * WS - 0,12 * HW + 0,57 * MSTR - 0,02 * SLT&CLY + 1737,78
LM19	-0,03 * TMP - 0,17 * RH - 3,64 * SP - 1,39 * WS - 0,12 * HW + 0,57 * MSTR - 0,02 * SLT&CLY + 3119,58
LM20	**4,48* TMP + 2,96 * RH - 0,11 * SP - 0,14 * WS - 0,12 * HW - 32,25 * MSTR - 4,13 * SLT&CLY - 17,60**

Çizelge 5.27 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti $\log(PM_1)$ salınım kestirim kuralları

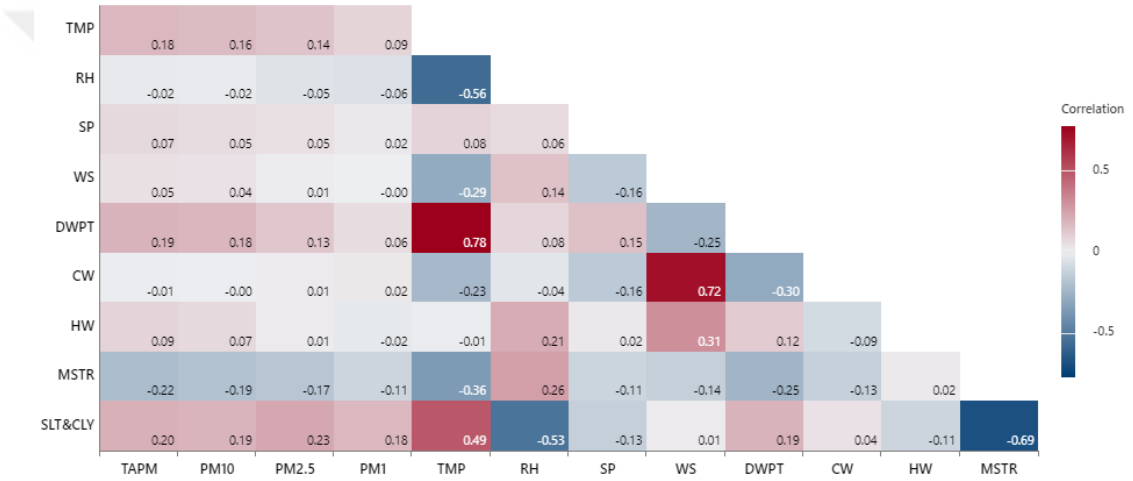
Model	$\log(PM_1)$ salınım kestirim kuralları
LM1	SLT&CLY ≤ 2,435, SP ≤ 848,75, TMP ≤ 11,9
LM2	SLT&CLY ≤ 2,435, SP ≤ 848,75, TMP > 11,9
LM3	SLT&CLY ≤ 2,435, SP ≤ 849,15 - > 848,75, MSTR ≤ 1,39
LM4	SLT&CLY ≤ 2,435, SP ≤ 849,15 - > 848,75, MSTR > 1,39
LM5	SLT&CLY ≤ 2,435, SP ≤ 852,55 - > 849,15
LM6	SLT&CLY ≤ 2,435, SP > 852,55
LM7	SLT&CLY > 2,435, MSTR ≤ 0,26, RH ≤ 65,35, TMP ≤ 19,85, SP ≤ 849,25
LM8	SLT&CLY > 2,435, MSTR ≤ 0,26, RH ≤ 65,35, TMP ≤ 19,85, SP > 849,25
LM9	SLT&CLY > 2,435, MSTR ≤ 0,26, RH ≤ 65,35, TMP > 19,85
LM10	SLT&CLY > 2,435, MSTR ≤ 0,155, RH > 65,35, HW ≤ 0,75
LM11	SLT&CLY > 2,435, MSTR ≤ 0,155, RH > 65,35, HW > 0,75
LM12	SLT&CLY > 2,435, MSTR ≤ 026 - > 0,155, RH > 65,35
LM13	SLT&CLY > 2,435, MSTR > 026, RH ≤ 68,65, SP ≤ 839,25
LM14	SLT&CLY > 2,435, MSTR ≤ 0,95 - > 0,26, RH ≤ 68,65, SP ≤ 843,95 - > 839,25, CW ≤ 2,25
LM15	SLT&CLY > 2,435, MSTR ≤ 0,95 - > 0,26, RH ≤ 68,65, SP ≤ 843,95 - > 839,25, CW > 2,25
LM16	SLT&CLY > 2,435, MSTR > 0,95, RH ≤ 68,65, SP ≤ 843,95 - > 839,25
LM17	**SLT&CLY > 2,435, MSTR > 026, RH ≤ 68,65, SP > 843,95**
LM18	SLT&CLY > 2,435, MSTR > 026, RH > 68,65

Çizelge 5.28 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_1) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,0257 * TMP - 0,0002 * RH - 0,0296 * SP - 0,00356 * WS + 0,00321 * CW - 0,01496 * HW - 0,15492 * MSTR - 0,0498 * SLT&CLY + 26,453
LM2	-0,02876 * TMP - 0,0002 * RH - 0,0296 * SP - 0,00356 * WS + 0,00321 * CW - 0,01496 * HW - 0,15492 * MSTR - 0,0498 * SLT&CLY + 26,063
LM3	-0,00668 * TMP - 0,0002 * RH - 0,02178 * SP - 0,00356 * WS + 0,00321 * CW + 0,02369 * HW - 0,0603 * MSTR - 0,004 * SLT&CLY + 20,749
LM4	-0,00668 * TMP - 0,0002 * RH - 0,02178 * SP - 0,00356 * WS + 0,00321 * CW + 0,13235 * HW - 0,0603 * MSTR - 0,585 * SLT&CLY + 20,958
LM5	-0,00668 * TMP - 0,0002 * RH - 0,05815 * SP - 0,00356 * WS + 0,00321 * CW + 0,00662 * HW - 0,08111 * MSTR - 0,0148 * SLT&CLY + 51,173
LM6	-0,00668 * TMP - 0,0002 * RH - 0,07916 * SP - 0,00356 * WS + 0,00321 * CW + 0,00662 * HW - 0,08111 * MSTR - 0,0148 * SLT&CLY + 68,668
LM7	0,00092 * TMP + 0,00131 * RH + 0,00985 * SP - 0,00341 * WS + 0,004 * CW - 0,00482 * HW + 0,44589 * MSTR - 7,959
LM8	0,00092 * TMP + 0,00131 * RH + 0,01631 * SP - 0,00341 * WS + 0,004 * CW - 0,00482 * HW + 0,44589 * MSTR - 13,218
LM9	0,00092 * TMP + 0,02975 * RH + 0,0003 * SP - 0,00341 * WS + 0,004 * CW - 0,00482 * HW + 0,31714 * MSTR - 0,758
LM10	0,00104 * TMP + 0,00153 * RH + 0,0003 * SP - 0,00341 * WS + 0,004 * CW - 0,03156 * HW + 0,06817 * MSTR + 1,156
LM11	0,00104 * TMP + 0,00153 * RH + 0,0003 * SP - 0,00341 * WS + 0,004 * CW - 0,05117 * HW + 0,06817 * MSTR + 0,783
LM12	0,00104 * TMP + 0,00153 * RH + 0,0003 * SP - 0,00341 * WS + 0,004 * CW - 0,02244 * HW + 0,06817 * MSTR + 0,882
LM13	0,00279 * TMP + 0,00065 * RH - 0,03109 * SP - 0,00906 * WS + 0,00794 * CW - 0,00049 * HW - 0,01318 * MSTR + 27,358
LM14	0,00279 * TMP + 0,00065 * RH - 0,01312 * SP - 0,00906 * WS + 0,01891 * CW - 0,00049 * HW - 0,03649 * MSTR + 11,714
LM15	0,00279 * TMP + 0,00065 * RH - 0,01312 * SP - 0,00906 * WS + 0,0251 * CW - 0,00049 * HW - 0,03649 * MSTR + 11,950
LM16	0,00279 * TMP + 0,00065 * RH - 0,01312 * SP - 0,00906 * WS + 0,00794 * CW - 0,00049 * HW - 0,04089 * MSTR + 11,588
LM17	**0,04836 * TMP + 0,00532 * RH + 0,11344 * SP - 0,03974 * WS + 0,00548 * CW - 0,00049 * HW - 0,00445 * MSTR - 97,024**
LM18	0,00073 * TMP - 0,03104 * RH + 0,07067 * SP - 0,00701 * WS + 0,00713 * CW - 0,00049 * HW + 0,00493 * MSTR - 56,69565

5.4 Kalker İşletmesi (B) Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Kalker işletmesi (B) delme faaliyetinde ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelerin ilgileşim matrisi Şekil 5.3'de verilmiştir. Her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, nem ve silt+kil içeriği) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%22) düzeyde olduğundan herhangi bir bağımlı değişken üzerindeki etki tek bir bağımsız değişken ile açıklanamamaktadır. Nem ile silt+kil içeriği arasında normal negatif yönlü ilgileşim (%70>R≥%40), rüzgâr hızı ile yan rüzgâr hızı arasında yüksek ilgileşim (R≥%70) bulunmaktadır. Benzer şekilde; hava sıcaklığı ile bağıl nem arasında negatif yönlü normal ilgileşim (%70>R≥%40), çiğ noktası sıcaklığı ile arasında ise pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70) vardır. Ayrıca, silt+kil içeriği ile hava sıcaklığı arasında pozitif yönlü normal ilgileşim, bağıl nem ile negatif yönlü normal ilgileşim bulunmaktadır.



Şekil 5.3 Kalker işletmesi (B) delme faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi

5.4.1 Regresyon analizi

Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti sırasında ölçülen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 5.29'de verilmiştir. Buna göre, ham verilerden dönüştürülen yeni veri setlerinden doğal logaritma (ln) ve logaritma (log) setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerlerinin literatürde belirtilen aralıkta oldukları ve verilerin normal dağılıma uygun oldukları görülmüştür.

Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti ölçülen ve normal dağılım gösteren PM, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri Çizelge 5.30'da verilmiştir. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımları aylar bazında farklılıklar ortaya koymaktadır. Yaz aylarında PM ölçüm sonuçları arasında benzerlik bulunmazken, Ağustos ayı PM değerleri Eylül ve Ekim ayları ile uyumlu çıkmıştır. Ayrıca yıllar arasında da farklılıklar görülmektedir. Ekim 2021 yılı Ağustos 2020 PM ölçüm değerleri ile benzerlikler göstermiştir. Bağımsız değişkenler içinde TMP için Haziran 2021 ile Ekim 2021 ayları arasında anlamlı farklılık çıkmazken bu aylar bazında diğer bağımsız değişkenler açısından anlamlı farklılıklar vardır.

Silt+kil içeriğinin Temmuz 2020 değerleri ile Ekim 2020 ve Ekim 2021 değerleri arasında anlamlı farklılık çıkmazken, diğer aylar için anlamlı farklılıklar çıkmıştır.

Çizelge 5.29 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM verilerinin normallik test analiz sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
ham	TAPM	445,87 ± 1089,47	63,05 (1,6 - 6527,9)	3,71	14,33	<0,001
	PM_{10}	353,83 ± 1030,98	34,3 (1,5 - 6527,9)	4,12	17,58	<0,001
	$PM_{2,5}$	26,65 ± 69,04	9,83 (0,56 - 652,79)	5,45	34,21	<0,001
	PM_1	10,46 ± 47,36	2,16 (0,18 - 652,79)	8,46	82,93	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**1,93 ± 0,74**	**1,8 (0,2 - 3,82)**	**0,60**	**-0,07**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**1,7 ± 0,74**	**1,54 (0,18 - 3,82)**	**1,08**	**0,78**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**0,96 ± 0,55**	**0,99 (-0,25 - 2,82)**	**0,68**	**0,80**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,36 ± 0,57**	**0,33 (-0,75 - 2,82)**	**1,06**	**2,44**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	2,44 ± 0	0,02 (0,06 - 0)	4,42	27,48	<0,001
	1/PM_{10}	0,05 ± 0,07	0,03 (0 - 0,67)	3,43	17,56	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,21 ± 0,23	0,1 (0 – 1,79)	1,90	3,81	<0,001
	1/PM_1	0,83 ± 0,91	0,46 (0 – 5,56)	1,86	3,24	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**4,45 ± 1,71**	**4,14 (0,47 – 8,78)**	**0,60**	**-0,07**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**3,91 ± 1,7**	**3,54 (0,41 – 8,78)**	**1,08**	**0,79**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,22 ± 1,27**	**2,28 (-0,58 – 6,48)**	**0,68**	**0,80**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**0,83 ± 1,32**	**0,77 (-1,72 – 6,78)**	**1,06**	**2,44**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	0,45 ± 1,09	0,06 (0 – 6,53)	3,71	14,33	<0,001
	PM_{10}/1000	0,35 ± 1,03	0,03 (0 – 6,53)	4,12	17,58	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,03 ± 0,07	0,01 (0 – 0,65)	5,45	34,22	<0,001
	PM_1/1000	0,01 ± 0,05	0 (0 – 0,65)	8,46	82,92	<0,001

Boyut bazında partikül madde salınımı verisi kullanılarak diğer PM boyutlarının da salınım yoğunluğu kestirilebilmektedir. Bu amaca dönük olarak kalker işletmesi (B) delme faaliyetinde ölçülen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımları arasında ilgileşim analizleri yapılmıştır. Önce, normal dağılım göstermeyen ham veri setleri dönüştürülerek oluşan yeni veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu incelenmiş, normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayısına sahip veriler değerlendirmeye alınmıştır. Logaritmik ve doğal logaritmik dönüşümlerin ilgileşim katsayıları eşit olduğu için değerlendirmeler doğal logaritmik veri setleri üzerinden yapılmıştır. PM ölçüm verilerinin birbirleriyle olan en yüksek ilgileşim katsayıları ve salınım kestirim denklemleri Çizelge 5.31'de sunulmuştur. En düşük ilgileşim katsayısı 0,583 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM), en yüksek 0,991 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. PM_1 ile TAPM ve PM_{10} arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değeri ham verilerin log ve ln'lerine dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. PM_1' in TAPM ve PM_{10} ile olan ilgileşimi normal ilgileşim, diğer PM'ler arasında ise yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Bu nedenle, bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları makul doğruluk payı ile belirlenebilmektedir.

Kalker işletmesi (B) veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri oldukça düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 5.18 ve 5.19'da sunulmuştur.

Çizelge 5.30 Kalker işletmesi (B) delme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri

	Parametre	Ay	Temmuz 2020	Ağustos 2020	Eylül 2020	Kasım 2020	Haziran 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Ekim 2021	p
Kalker (B) İşletmesi	log(TAPM)	Tukey	1,89 ± 0,68^{c}	2,21 ± 0,71^{d}	1,89 ± 0,85^{c}	1,81 ± 0,61^{bc}	1,47 ± 0,62^{a}	2,28 ± 0,82^{d}	1,66 ± 0,63^{b}	2,34 ± 0,49^{d}	≤0,001
	ln(TAPM)	Tukey	4,36 ± 1,57^{c}	5,08 ± 1,63^{d}	4,36 ± 1,95^{c}	4,16 ± 1,39^{bc}	3,4 ± 1,44^{a}	5,25 ± 1,88^{d}	3,83 ± 1,44^{b}	5,38 ± 1,14^{d}	≤0,001
	log(PM_{10})	Tukey	1,65 ± 0,67^{c}	1,95 ± 0,78^{d}	1,58 ± 0,81^{bc}	1,61 ± 0,55^{bc}	1,22 ± 0,55^{d}	2,05 ± 0,86^{d}	1,42 ± 0,6^{b}	2,08 ± 0,51^{d}	≤0,001
	ln(PM_{10})	Tukey	3,8 ± 1,55^{c}	4,48 ± 1,81^{d}	3,64 ± 1,87^{bc}	3,7 ± 1,26^{bc}	2,81 ± 1,27^{a}	4,73 ± 1,98^{d}	3,27 ± 1,38^{b}	4,8 ± 1,18^{d}	≤0,001
	log($PM_{2,5}$)	Tukey	0,85 ± 0,42^{c}	1,08 ± 0,71^{d}	0,66 ± 0,56^{b}	1,14 ± 0,26^{de}	0,35 ± 0,34^{a}	1,26 ± 0,58^{e}	0,7 ± 0,49^{b}	1,23 ± 0,33^{e}	≤0,001
	ln($PM_{2,5}$)	Tukey	1,96 ± 0,96^{c}	2,49 ± 1,64^{d}	1,51 ± 1,29^{b}	2,62 ± 0,59^{de}	0,81 ± 0,78^{a}	2,9 ± 1,33^{e}	1,62 ± 1,12^{b}	2,83 ± 0,75^{e}	≤0,001
	log(PM_{1})	Tukey	0,21 ± 0,31^{c}	0,5 ± 0,8^{d}	0,18 ± 0,42^{bc}	0,72 ± 0,26^{e}	0,33 ± 0,29^{a}	0,55 ± 0,61^{d}	0,06 ± 0,5^{b}	0,49 ± 0,35^{d}	≤0,001
	ln(PM_{1})	Tukey	0,48 ± 0,7^{c}	1,16 ± 1,83^{d}	0,41 ± 0,97^{bc}	1,65 ± 0,6^{e}	0,75 ± 0,67^{a}	1,28 ± 1,41^{d}	0,13 ± 1,15^{b}	1,12 ± 0,81^{d}	≤0,001
	TMP	Tukey	22,98 ± 2,1^{e}	21,55 ± 4,42^{d}	25,99 ± 3,44^{f}	6,13 ± 2,12^{a}	17,8 ± 4,75^{c}	21,04 ± 3,23^{d}	16,5 ± 3,35^{b}	17,82 ± 0,77^{c}	≤0,001
	RH	Tukey	40,11 ± 3,61^{a}	43,47 ± 11,52^{a}	40,14 ± 6,41^{a}	63,57 ± 8,08^{d}	48,21 ± 8,22^{b}	63,21 ± 14,45^{d}	56 ± 16,08^{c}	39,81 ± 1,38^{a}	≤0,001
	SP	Tukey	843,25 ± 3,14^{a}	845,46 ± 0,98^{b}	850,51 ± 0,06^{e}	847,27 ± 4,58^{c}	847,12 ± 2,99^{c}	848,95 ± 0,59^{d}	848,77 ± 1,54^{d}	852,78 ± 0,24^{f}	≤0,001
	WS	Tukey	1,84 ± 1,7^{c}	0,72 ± 0,58^{a}	0,71 ± 0,83^{a}	1,93 ± 1,16^{c}	2,42 ± 1,02^{d}	1,43 ± 0,88^{b}	0,61 ± 0,58^{a}	2,45 ± 1,17^{d}	≤0,001
	DWPT	Tukey	8,63 ± 1,49^{d}	8,02 ± 1,54^{d}	11,19 ± 1,99^{e}	-0,38 ± 2,67^{a}	6,44 ± 2^{c}	13,3 ± 1,25^{f}	7,02 ± 2,96^{c}	3,97 ± 0,71^{b}	≤0,001
	CW	Tukey	0,86 ± 0,82^{c}	0,55 ± 0,52^{ab}	0,3 ± 0,37^{a}	1,17 ± 0,78^{d}	1,93 ± 1,07^{e}	0,77 ± 0,82^{bc}	0,52 ± 0,54^{ab}	2,16 ± 1,25^{e}	≤0,001
	HW	Tukey	1,45 ± 1,66^{e}	0,26 ± 0,48^{bcd}	0,55 ± 0,82^{cd}	0,58 ± 1,66^{d}	-0,65 ± 1,28^{a}	0,59 ± 1,1^{d}	0,17 ± 0,35^{bc}	0,09 ± 1,06^{b}	≤0,001
	MSTR	Tukey	5,69 ± 0,61d^{e}	2,15 ± 0,74^{a}	5,34 ± 0,01^{d}	5,99 ± 2,42^{e}	3,63 ± 1,28^{b}	4,48 ± 1,85^{c}	7,96 ± 1,28^{f}	3,53 ± 0,55^{b}	≤0,001
	SLT&CLY	Tukey	2,74 ± 1,33^{b}	9,94 ± 4,06^{e}	2,75 ± 1,49^{b}	1,51 ± 0,94^{a}	5,04 ± 2,63^{d}	3,9 ± 4,3^{c}	1,15 ± 1,09^{a}	3,43 ± 0,17^{bc}	≤0,001

a-e: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (PM ölçüm verileri)
a-f: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (Termal konfor parametreleri ve laboratuvar ölçüm verileri)

Çizelge 5.31 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-64,342 (-71,262 - -57,423)		-18,238	0,000			
	TAPM	0,938 (0,932 - 0,944)	0,991	312,864	0,000	0,991	0,991	1,0
$PM_{2,5}$	(Sabit)	3,535 (1,535 - 5,535)		3,467	0,001			
	TAPM	0,052 (0,050 - 0,054)	0,818	59,834	0,000	0,818	0,818	1,0
*$PM_{2,5}$	(Sabit)	6,839 (4,972- 8,706)		7,186	0,000			
	PM_{10}	0,056 (0,054 - 0,058)	0,836	64,104	0,000	0,836	0,836	1,0
$ln(PM_1)$	(Sabit)	-0,739 (-0,859 - -0,619)		-12,084	0,000			
	ln(TAPM)	0,387 (0,362 - 0,412)	0,583	30,191	0,000	0,583	0,583	1,0
*$ln(PM_1)$	(Sabit)	-0,747 (-0,846 - -0,648)		-14,746	0,000			
	$ln(PM_{10}$	0,443 (0,420 - 0,467)	0,663	37,282	0,000	0,663	0,663	1,0
PM_1	(Sabit)	-5,817 (-6,895 - -4,739)		-10,583	0,000			
	$PM_{2,5}$	0,611 (0,596 - 0,625)	0,890	82,197	0,000	0,890	0,890	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

PM_{10}; F= 97884,033, p≤0,001, Adj.R^2= 0,982, SE= 137,44

$PM_{2,5}$; F= 3580,165, p≤0,001, Adj.R^2= 0,669, SE= 39,72

$ln(PM_1)$; F= 911,513, p≤0,001, Adj.R^2= 0,340, SE= 0,92

*$PM_{2,5}$; F= 4109,297, p≤0,001, Adj.R^2= 0,699, SE= 37,89

*$ln(PM_1)$; F= 1389,917, p≤0,001, Adj.R^2= 0,440, SE= 0,85

PM_1; F= 6756,377, p≤0,001, Adj.R^2= 0,792, SE= 21,58

5.4.2 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

M5P karar ağacı algoritmasının kullanıldığı regresyon modelleri Çizelge 5.32'de verilmiştir. TAPM veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına logaritmik dönüşümde ulaşılmış ve log(TAPM) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 21 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.33 ve 5.34'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.9'da verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (yan rüzgârlar dâhil), silt+kil ve malzeme nemi içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı ve malzeme nemidir. Veri setinin yaklaşık %13,82'si LM18'i, %0,84'ü LM4'ü temsil etmektedir.

PM_{10} veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına da logaritmik dönüşümde ulaşılmış ve log(PM_{10}) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 23 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.35 ve 5.36'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.10'da verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, yan rüzgâr hızı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise bağıl nem, malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Veri setinin %14,84'ü LM23'ü, %0,84'ü LM4'ü temsil etmektedir.

Çizelge 5.32 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile modelleme sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	**log(TAPM)**	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	**log(PM_{10})**	ln(PM_{10})	1/PM_{10}
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0,6197	0,6197	**0,6661**	0,6661	0,6177	0,5993	0,5993	**0,7009**	0,7009	0,6848
	MAE	426,3325	0,4263	**0,4221**	0,9719	0,0244	389,8734	0,3899	**0,3775**	0,8693	0,0285
	RMSE	859,6692	0,8597	**0,5565**	1,2813	0,046	830,464	0,8305	**0,53**	1,2203	0,0482
	RAE (%)	70,7733	70,7747	**71,8943**	71,894	73,8265	73,6423	73,6435	**68,086**	68,0864	68,5833
	RRSE (%)	78,9297	78,93	**74,851**	74,8509	79,3506	80,5739	80,5743	**71,7173**	71,7174	73,4435
	Model (düğüm) sayısı	20	20	**21**	21	23	12	12	**23**	23	24
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0,478	0,478	**0,6109**	0,6109	0,4493	0,4454	0,4475	**0,6056**	0,6056	0,555
	MAE	467,63	0,4677	**0,4488**	1,0334	0,0273	428,5235	0,428	**0,422**	0,9713	0,0306
	RMSE	958,5788	0,9586	**0,5886**	1,3553	0,052	924,1816	0,923	**0,5881**	1,3541	0,0546
	RAE (%)	77,6114	77,6241	**76,3987**	76,3978	82,4313	80,9068	80,8078	**76,0468**	76,0277	73,6878
	RRSE (%)	87,9758	87,9761	**79,1243**	79,1244	89,7449	89,6271	89,5159	**79,526**	79,5288	83,187
	Model (düğüm) sayısı	20	20	**21**	21	23	12	12	**23**	23	24
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0,4764	0,4763	**0,5797**	0,5797	0,4587	0,4775	0,4775	**0,5974**	0,5974	0,5305
	MAE	520,2742	0,5203	**0,4678**	1,0771	0,0276	449,2459	0,4492	**0,4391**	1,0109	0,0318
	RMSE	1041,429	1,0414	**0,613**	1,4115	0,055	993,2081	0,9932	**0,6104**	1,4055	0,0581
	RAE (%)	81,6426	81,6454	**79,8823**	79,882	81,5557	80,4901	80,4916	**78,2381**	78,2395	76,3786
	RRSE (%)	87,8019	87,8028	**81,5096**	81,5097	89,2383	88,1578	88,1578	**80,1862**	80,1869	84,8173
	Model (düğüm) sayısı	20	20	**21**	21	23	12	12	**23**	23	24
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}$/1000	log($PM_{2,5}$)	ln($PM_{2,5}$)	**1/$PM_{2,5}$**	PM_1	PM_1/1000	log(PM_1)	ln(PM_1)	**1/PM_1**
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0,621	0,6117	0,7335	0,7335	**0,8089**	0,6156	0,6156	0,683	0,661	**0,8428**
	MAE	22,6241	0,0228	0,2566	0,5909	**0,0855**	11,9595	0,012	0,2198	0,5083	**0,2907**
	RMSE	54,6015	0,055	0,3754	0,8644	**0,1375**	38,3897	0,0384	0,363	0,8543	**0,4936**
	RAE (%)	73,7818	74,3567	60,746	60,7433	**49,7228**	84,1287	84,207	59,256	59,5449	**43,981**
	RRSE (%)	79,1059	79,7403	68,2191	68,2178	**58,9895**	81,086	81,0842	73,509	75,1286	**53,9982**
	Model sayısı	18	19	16	16	**16**	14	14	14	13	**14**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0,4566	0,4274	0,7	0,7001	**0,7748**	0,4182	0,3913	0,6434	0,6459	**0,8166**
	MAE	24,9561	0,0257	0,2714	0,625	**0,0904**	12,3304	0,0124	0,2286	0,5244	**0,3065**
	RMSE	61,4977	0,0629	0,3934	0,9059	**0,1475**	43,0296	0,0436	0,3784	0,8692	**0,5284**
	RAE (%)	81,351	83,7371	64,2094	64,2074	**52,5033**	86,7038	86,8854	61,5684	61,3848	**46,3275**
	RRSE (%)	89,0402	91,0853	71,4522	71,4513	**63,2083**	90,848	92,1343	76,5601	76,3989	**57,7536**
	Model (düğüm) sayısı	18	19	16	16	**16**	14	14	14	13	**14**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0,534	0,5563	0,6724	0,6724	**0,7527**	0,512	0,3906	0,6382	0,618	**0,7854**
	MAE	26,9719	0,0268	0,2933	0,6754	**0,091**	13,8623	0,0148	0,2299	0,556	**0,3239**
	RMSE	72,2069	0,0711	0,432	0,9948	**0,154**	53,3275	0,0547	0,4007	0,9495	**0,598**
	RAE (%)	80,3827	79,7955	66,6785	66,6762	**51,5194**	90,3815	96,6779	60,3578	63,1482	**46,7785**
	RRSE (%)	86,9355	85,6525	74,4216	74,4202	**65,8455**	90,432	92,7322	76,7932	78,5515	**62,3011**
	Model (düğüm) sayısı	18	19	16	16	**16**	14	14	14	13	**14**

Çizelge 5.33 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları

Model	log(TAPM) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 2,91, RH ≤ 38,05, CW ≤ 0,95
LM2	MSTR ≤ 2,91, RH ≤ 38,05, CW > 0,95
LM3	MSTR ≤ 2,91, RH > 38,05, DWPT ≤ 13,15, SLT&CLY ≤ 8,635
LM4	MSTR ≤ 2,91, RH ≤ 43,4 - > 38,05, DWPT ≤ 13,15, SLT&CLY > 8,635
LM5	MSTR ≤ 2,91, RH > 43,4, DWPT ≤ 13,15, SLT&CLY > 8,635
LM6	MSTR ≤ 2,91, RH > 38,05, DWPT > 13,15
LM7	MSTR ≤ 3,52 - > 2,91, RH ≤ 49,3, DWPT ≤ 3,75
LM8	MSTR ≤ 3,52 - > 2,91, RH ≤ 49,3, DWPT > 3,75, WS ≤ 0,65
LM9	MSTR ≤ 3,52 - > 2,91, RH ≤ 49,3, DWPT > 3,75, WS > 0,65
LM10	MSTR ≤ 3,905 - > 3,52, RH ≤ 49,3
LM11	MSTR ≤ 3,905 - > 2,91, RH > 49,3
LM12	MSTR > 3,905, DWPT ≤ 0,65
LM13	MSTR ≤ 8,51 - > 3,905, DWPT > 0,65, RH ≤ 38,6, SLT&CLY ≤ 2,45
LM14	MSTR ≤ 5,765 - > 3,905, DWPT > 0,65, RH ≤ 50,85 - > 38,6, SLT&CLY ≤ 2,45
LM15	MSTR ≤ 8,51 - > 5,765, DWPT > 0,65, RH ≤ 50,85 - > 38,6, SLT&CLY ≤ 2,45
LM16	MSTR ≤ 8,51 - > 3,905, DWPT > 0,65, RH ≤ 50,85, SLT&CLY > 2,45
LM17	MSTR > 8,51, DWPT > 0,65, RH ≤ 50,85
LM18	**MSTR > 3,905, DWPT > 0,65, RH ≤ 67,25 - > 50,85**
LM19	MSTR ≤ 5,87 - > 3,905, DWPT > 0,65, RH > 67,25, TMP ≤ 17,85
LM20	MSTR ≤ 5,87 - > 3,905, DWPT > 0,65, RH > 67,25, TMP > 17,85
LM21	MSTR > 5,87, DWPT > 0,65, RH > 67,25

Çizelge 5.34 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri

Model	log(TAPM) salınım kestirim denklemleri
LM1	0,007 * TMP + 0,0290 * RH + 0,0085 * WS + 0,012 * DWPT - 0,080 * CW + 0,0026 * MSTR + 0,00087 * SLT&CLY + 1,599
LM2	0,007 * TMP + 0,0001 * RH + 0,0085 * WS + 0,012 * DWPT - 0,127 * CW + 0,0026 * MSTR + 0,00087 * SLT&CLY + 2,164
LM3	-0,028 * TMP + 0,0022 * RH + 0,0085 * WS + 0,0047 * DWPT - 0,013 * CW + 0,0026 * MSTR + 0,00697 * SLT&CLY + 2,165
LM4	0,007 * TMP - 0,0263 * RH + 0,0085 * WS + 0,0047 * DWPT + 0,083 * CW + 0,0026 * MSTR + 0,01242 * SLT&CLY + 3,257
LM5	0,007 * TMP - 0,01036 * RH + 0,0085 * WS + 0,0047 * DWPT + 0,220 * CW + 0,0026 * MSTR + 0,01242 * SLT&CLY + 2,079
LM6	0,0173 * TMP + 0,007 * RH + 0,0085 * WS + 0,0047 * DWPT - 0,013 * CW + 0,0026 * MSTR + 0,00087 * SLT&CLY + 1,776
LM7	0,00096 * RH + 0,0287 * WS + 0,01095 * DWPT - 0,01026 * CW - 0,09 * MSTR + 0,00087 * SLT&CLY + 2,526
LM8	0,00096 * RH + 0,0587 * WS + 0,01095 * DWPT - 0,01026 * CW - 0,09 * MSTR + 0,00087 * SLT&CLY + 2,549
LM9	0,00096 * RH + 0,072 * WS + 0,0109 * DWPT - 0,01026 * CW - 0,09 * MSTR + 0,00087 * SLT&CLY + 2,76
LM10	0,00096 * RH + 0,029 * WS + 0,01104 * DWPT - 0,01026 * CW - 0,0903 * MSTR + 0,00087 * SLT&CLY + 2,421
LM11	0,0165 * TMP + 0,0016 * RH + 0,0263 * WS + 0,0101 * DWPT - 0,010 * CW - 0,0368 * MSTR + 0,00087 * SLT&CLY + 2,496
LM12	-0,0313 * TMP - 0,0047 * RH + 0,0066 * WS + 0,0012 * DWPT - 0,006 * CW - 0,0465 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY + 2,397
LM13	0,0364 * TMP - 0,007 * RH + 0,0208 * WS - 0,00147 * DWPT - 0,0116 * CW + 0,0056 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY + 1,387
LM14	0,0078 * TMP - 0,007 * RH + 0,0208 * WS - 0,00147 * DWPT - 0,0116 * CW + 0,0270 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY + 1,398
LM15	0,0078 * TMP - 0,007 * RH + 0,0208 * WS - 0,00147 * DWPT - 0,0116 * CW + 0,0226 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY + 1,668
LM16	0,0054 * TMP - 0,0020 * RH + 0,0237 * WS - 0,00147 * DWPT - 0,0116 * CW + 0,349 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY - 0,107
LM17	0,0096 * TMP + 0,0010 * RH + 0,031 * WS - 0,00147 * DWPT - 0,0116 * CW - 0,0008 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY + 1,090
LM18	**0,0053 * TMP + 0,017 * RH - 0,0447 * WS - 0,00265 * DWPT - 0,0143 * CW - 0,0008 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY + 0,478**
LM19	-0,026 * TMP + 0,00008 * RH + 0,0077 * WS - 0,0011 * DWPT - 0,008 * CW - 0,0104 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY + 2,409
LM20	0,00008 * RH + 0,0077 * WS - 0,0011 * DWPT - 0,00806 * CW - 0,0104 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY + 2,420
LM21	0,0250 * RH + 0,072* WS - 0,04211 * DWPT - 0,00806 * CW - 0,0057 * MSTR + 0,00045 * SLT&CLY + 0,432

Çizelge 5.35 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları

Model	log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 2,91, RH ≤ 38,05, CW ≤ 0,95
LM2	MSTR ≤ 2,91, RH ≤ 38,05, CW > 0,95
LM3	MSTR ≤ 2,91, RH > 38,05, DWPT ≤ 13,15, SLT&CLY ≤ 8,635
LM4	MSTR ≤ 2,91, RH ≤ 43,4 - > 38,05, DWPT ≤ 13,15, SLT&CLY > 8,635
LM5	MSTR ≤ 2,91, RH > 43,4, DWPT ≤ 13,15, SLT&CLY > 8,635
LM6	MSTR ≤ 2,91, RH > 38,05, DWPT > 13,15
LM7	MSTR ≤ 3,285 - > 2,91, RH ≤ 46
LM8	MSTR ≤ 3,905 - > 3,285, RH ≤ 46
LM9	MSTR ≤ 3,905 - > 2,91, RH > 46
LM10	MSTR > 3,905, DWPT ≤ 0,75
LM11	MSTR ≤ 8,31 - > 3,905, DWPT > 0,75, RH ≤ 38,6, SLT&CLY ≤ 2,45
LM12	MSTR ≤ 8,31 - > 3,905, DWPT > 0,75, RH ≤ 52,45 - > 38,6, SLT&CLY ≤ 2,45
LM13	MSTR ≤ 8,31 - > 3,905, DWPT > 0,75, RH ≤ 52,45, SLT&CLY > 2,45
LM14	MSTR > 8,31, DWPT > 0,75, RH ≤ 52,45
LM15	MSTR > 3,905, DWPT ≤ 2,15 - > 0,75, RH ≤ 67,25 - > 52,45
LM16	MSTR > 3,905, DWPT ≤ 7,55 - > 2,15, RH ≤ 56,15 - > 52,45
LM17	MSTR > 3,905, DWPT ≤ 2,75 - > 2,15, RH ≤ 67,25 - > 56,15
LM18	MSTR > 3,905, DWPT ≤ 7,55 - > 2,75, RH ≤ 67,25 - > 56,15
LM19	MSTR > 3,905, DWPT > 7,55, RH ≤ 67,25 - > 52,45
LM20	MSTR ≤ 5,79 - > 3,905, DWPT > 0,75, RH ≤ 71,95 - > 67,25
LM21	MSTR ≤ 5,79 - > 3,905, DWPT > 0,75, RH ≤ 75,55 - > 71,95
LM22	MSTR ≤ 5,79 - > 3,905, DWPT > 0,75, RH > 75,55
LM23	**MSTR > 5,79, DWPT > 0,75, RH > 67,25**

Çizelge 5.36 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri
LM1	0,03 * RH + 0,0144 * DWPT - 0,0732 * CW - 0,12068 * MSTR + 0,00245 * SLT&CLY + 1,766
LM2	0,0007 * RH + 0,0144 * DWPT - 0,126 * CW - 0,12068 * MSTR + 0,00245 * SLT&CLY + 2,28
LM3	0,009 * RH - 0,0307 * DWPT + 0,0021 * CW + 0,0297 * MSTR + 0,01088 * SLT&CLY + 1,16
LM4	-0,03 * RH + 0,0113 * DWPT + 0,099 * CW + 0,0867 * MSTR + 0,0205 * SLT&CLY + 2,927
LM5	-0,0124 * RH + 0,0113 * DWPT + 0,2337 * CW + 0,0867 * MSTR + 0,0205 * SLT&CLY + 1,7
LM6	0,0007 * RH + 0,0257 * DWPT - 0,00408 * CW - 0,0342 * MSTR - 0,0052 * SLT&CLY + 2,10
LM7	0,0158 * RH + 0,37 * DWPT + 0,01146 * CW - 0,1806 * MSTR + 0,00285 * SLT&CLY + 0,77
LM8	0,009 * RH + 0,0058 * DWPT + 0,01146 * CW - 0,1009 * MSTR + 0,00285 * SLT&CLY + 1,9
LM9	0,0028 * RH - 0,0152 * DWPT + 0,0124 * CW + 1,3403 * MSTR + 0,00285 * SLT&CLY - 2,41
LM10	0,0066 * RH - 0,0193 * DWPT - 0,059 * MSTR - 0,15935 * SLT&CLY + 1,566
LM11	-0,0116 * RH + 0,05 * DWPT + 0,0204 * CW - 0,24 * MSTR + 0,00923 * SLT&CLY + 2,986
LM12	-0,062 * RH - 0,0548 * DWPT + 0,2455 * CW + 0,2625 * MSTR + 0,00923 * SLT&CLY + 2,89
LM13	-0,0209 * RH - 0,00116 * DWPT - 0,104 * CW + 0,418 * MSTR + 0,00923 * SLT&CLY + 0,22
LM14	-0,0018 * RH + 0,002 * DWPT - 0,0038 * CW - 2,907 * MSTR + 0,0158 * SLT&CLY + 26,017
LM15	-0,0589 * RH - 0,0113 * DWPT + 0,3 * CW - 0,02037 * MSTR + 0,0066 * SLT&CLY + 4,872
LM16	-0,0506 * RH + 0,05 * DWPT - 0,00885 * CW - 0,0092 * MSTR + 0,0066 * SLT&CLY + 3,547
LM17	0,0275 * RH + 0,0208 * DWPT + 0,0109 * CW - 0,0092 * MSTR + 0,0066 * SLT&CLY - 0,532
LM18	0,084 * RH + 0,01256 * DWPT + 0,0535 * CW + 0,1482 * MSTR + 0,0066 * SLT&CLY - 4,52
LM19	0,005 * RH + 0,0025 * DWPT - 0,01467 * CW - 0,00076 * MSTR + 0,0066 * SLT&CLY + 1,05
LM20	-0,009 * RH + 0,0232 * DWPT - 0,2244 * CW + 0,1786 * MSTR + 0,0034 * SLT&CLY + 1,71
LM21	-0,0117 * RH - 0,244 * DWPT - 0,04874 * CW + 0,1786 * MSTR + 0,0034 * SLT&CLY + 5,67
LM22	-0,0578 * RH + 0,2815 * DWPT + 0,013 * CW + 13,138 * MSTR + 0,0034 * SLT&CLY - 73,53
LM23	**0,0265 * RH - 0,024 * DWPT + 0,11744 * CW - 0,004 * MSTR + 0,0034 * SLT&CLY - 0,137**

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/$PM_{2,5}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 16 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ile denklemleri Çizelge 5.37 ve 5.38'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.11'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr dâhil), çiğ noktası sıcaklığı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler bağıl nem, silt+kil içeriği ve malzeme nemidir. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %41,02'si LM16'yı, %0,39'u LM13'ü temsil etmektedir.

Çizelge 5.37 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları

Model	1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları
LM1	RH ≤ 41,75, MSTR ≤ 4,595, SP ≤ 844,3
LM2	RH ≤ 59,45 - > 41,75, MSTR ≤ 4,595, SP ≤ 844,3
LM3	RH ≤ 59,45, MSTR ≤ 4,595, SP ≤ 844,75 - > 844,3
LM4	RH ≤ 43,15, MSTR ≤ 4,595, SP > 844,75
LM5	RH ≤ 59,45 - > 43,15, MSTR ≤ 4,595, SP > 844,75
LM6	RH ≤ 59,45, MSTR > 4,595, SP ≤ 847,4
LM7	RH ≤ 59,45, MSTR > 4,595, SP ≤ 850,45 - > 847,4, SLT&CLY ≤ 1,7
LM8	RH ≤ 59,45, MSTR > 4,595, SP ≤ 850,45 - > 847,4, SLT&CLY > 1,7
LM9	RH ≤ 34,25, MSTR > 4,595, SP > 850,45, CW ≤ 0,15
LM10	RH ≤ 47,95 - > 34,25, MSTR > 4,595, SP > 850,45, CW ≤ 0,15, WS ≤ 0,25
LM11	RH ≤ 47,95 - > 34,25, MSTR > 4,595, SP > 850,45, CW ≤ 0,15, WS > 0,25
LM12	RH ≤ 40,1, MSTR > 4,595, SP > 850,45, HW ≤ 0,15, CW > 0,15
LM13	RH ≤ 47,95 - > 40,1, MSTR > 4,595, SP > 850,45, HW ≤ 0,15, CW > 0,15
LM14	RH ≤ 47,95, MSTR > 4,595, SP > 850,45, HW > 0,15, CW > 0,15
LM15	RH ≤ 59,45 - > 47,95, MSTR > 4,595, SP > 850,45
LM16	**RH > 59,45**

Çizelge 5.38 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri

Model	1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,00285 * RH + 0,08498 * SP + 0,17851 * WS - 0,00049 * DWPT - 0,24317 * CW - 0,00191 * HW + 0,28997 * MSTR - 0,00027 * SLT&CLY - 71,697
LM2	-0,00617 * RH + 0,36715 * SP + 0,07141 * WS - 0,00049 * DWPT - 0,09536 * CW - 0,00191 * HW + 0,04475 * MSTR - 0,00027 * SLT&CLY - 309,307
LM3	-0,00001 * RH - 0,03038 * SP + 0,03193 * WS - 0,00049 * DWPT - 0,03764 * CW - 0,05167 * HW - 0,04306 * MSTR - 0,00027 * SLT&CLY + 26,065
LM4	0,00022 * RH - 0,0109 * SP + 0,00235 * WS - 0,00493 * DWPT - 0,00118 * CW - 0,0028 * HW + 0,0328 * MSTR - 0,00027 * SLT&CLY + 9,264
LM5	0,00025 * RH + 0,01362 * SP + 0,00235 * WS - 0,00009 * DWPT - 0,01663 * CW - 0,01978 * HW - 0,0488 * MSTR - 0,00027 * SLT&CLY - 11,306
LM6	0,00678 * RH - 0,00916 * SP + 0,00792 * WS - 0,00564 * DWPT + 0,00238 * CW - 0,00629 * HW - 0,0486 * MSTR + 0,00147 * SLT&CLY + 7,973
LM7	0,00862 * RH + 0,09019 * SP - 0,00445 * WS - 0,0028 * DWPT + 0,0205 * CW - 0,0185 * HW + 0,00218 * MSTR - 0,01257 * SLT&CLY - 76,403
LM8	0,00137 * RH + 0,06269 * SP - 0,00179 * WS - 0,00181 * DWPT + 0,05017 * CW - 0,0565 * HW + 0,00365 * MSTR - 0,00874 * SLT&CLY - 52,933
LM9	0,02058 * RH - 0,64921 * SP + 0,04045 * WS - 0,02251 * DWPT + 0,02046 * CW - 0,10814 * HW + 0,00775 * MSTR + 0,0037 * SLT&CLY + 551,958
LM10	0,00024 * RH - 0,55793 * SP + 0,02523 * WS + 0,0006 * DWPT + 0,02046 * CW - 0,10814 * HW + 0,00775 * MSTR + 0,04931 * SLT&CLY + 474,755
LM11	-0,00245 * RH - 0,55793 * SP + 0,00589 * WS + 0,0006 * DWPT + 0,02046 * CW - 0,10814 * HW + 0,00775 * MSTR + 0,03778 * SLT&CLY + 474,832
LM12	0,0191 * RH - 0,22486 * SP + 0,14817 * WS - 0,0204 * DWPT + 0,02046 * CW - 0,17952 * HW + 0,00775 * MSTR + 0,0037 * SLT&CLY + 191,016
LM13	0,02368 * RH - 0,22486 * SP + 0,14817 * WS - 0,02607 * DWPT + 0,02046 * CW - 0,17952 * HW + 0,00775 * MSTR + 0,0037 * SLT&CLY + 190,996
LM14	0,00327 * RH - 0,22486 * SP + 0,25928 * WS - 0,00111 * DWPT + 0,02046 * CW - 0,32313 * HW + 0,00775 * MSTR + 0,0037 * SLT&CLY + 191,491
LM15	0,00031 * RH - 0,01902 * SP + 0,03812 * WS + 0,0082 * DWPT + 0,04748 * CW - 0,06832 * HW + 0,00775 * MSTR + 0,0098 * SLT&CLY + 16,3158
LM16	**-0,00392 * RH + 0,00338 * SP + 0,00105 * WS + 0,00451 * DWPT - 0,01927 * CW - 0,00075 * HW + 0,00511 * MSTR - 0,00018 * SLT&CLY - 2,5236**

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/PM_1 karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 14 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.39 ve 5.40'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.12'de verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgârlar dâhil), malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise hava sıcaklığı, malzeme nemi ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %40,57'si LM6'yı, %0,90'ı LM3'ü temsil etmektedir.

Çizelge 5.39 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti $1/PM_1$ salınım kestirim kuralları

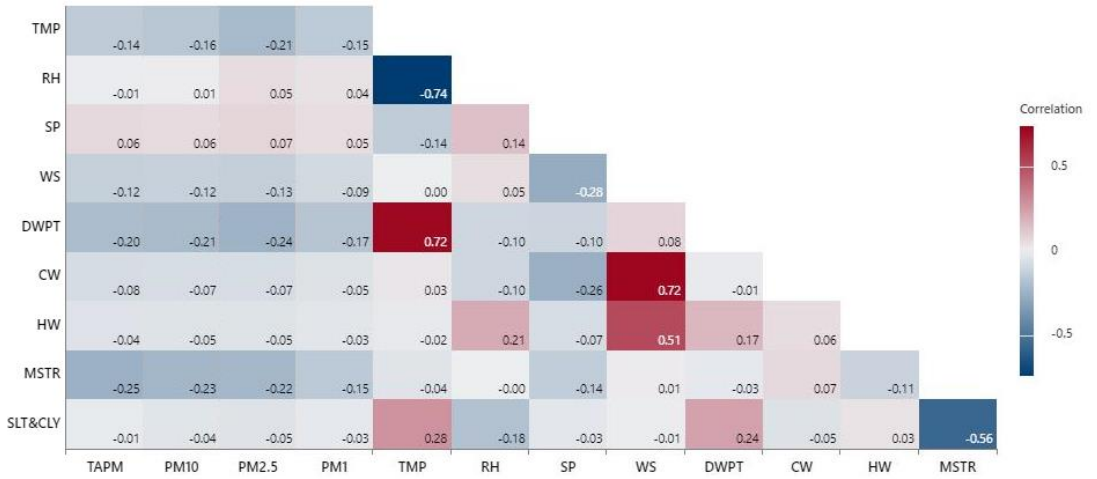
Model	$1/PM_1$ salınım kestirim kuralları
LM1	TMP ≤ 11,85
LM2	TMP ≤ 23,35 - > 11,85, SP ≤ 844,75, MSTR ≤ 2,59, RH ≤ 41,7
LM3	TMP ≤ 23,35 - > 11,85, SP ≤ 844,75, MSTR ≤ 2,59, RH > 41,7
LM4	TMP > 23,35, SP ≤ 844,75, MSTR ≤ 2,59
LM5	TMP > 11,85, SP ≤ 844,75, MSTR > 2,59
LM6	**TMP > 11,85, SP ≤ 849,7 - > 844,75**
LM7	TMP ≤ 14,75 - > 11,85, SP ≤ 850,45 - > 849,7
LM8	TMP ≤ 23,3 - > 14,75, SP ≤ 850,45 - > 849,7, MSTR ≤ 8,51
LM9	TMP ≤ 23,3 - > 14,75, SP ≤ 850,45 - > 849,7, MSTR > 8,51
LM10	TMP ≤ 23,3 - > 11,85, SP ≤ 851,6 - > 850,45, MSTR ≤ 8,51
LM11	TMP ≤ 23,3 - > 11,85, SP ≤ 851,6 - > 850,45, MSTR > 8,51
LM12	TMP > 23,3, SP ≤ 851,6 - > 849,7
LM13	TMP > 11,85, SP > 851,6, MSTR ≤ 3,315
LM14	TMP > 11,85, SP > 851,6, MSTR > 3,315

Çizelge 5.40 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti $1/PM_1$ salınım kestirim denklemleri

Model	$1/PM_1$ salınım kestirim denklemleri
LM1	0,00094 * TMP - 0,00035 * RH + 0,0233 * SP + 0,008 * WS - 0,01662 * CW - 0,00657 * HW + 0,01348 * MSTR - 19,54
LM2	-0,001 * TMP - 0,063 * RH - 0,0262 * SP + 0,226 * WS - 0,2565 * CW - 0,437 * HW + 3,414 * MSTR - 0,0045 * SLT&CLY + 19,058
LM3	-0,001 * TMP - 0,1037 * RH - 0,0262 * SP + 0,226 * WS - 0,2565 * CW - 0,247 * HW + 1,7159 * MSTR - 0,0045 * SLT&CLY + 24,19
LM4	-0,001 * TMP - 0,0621 * RH - 0,0262 * SP + 0,464 * WS - 0,548 * CW - 0,049 * HW + 0,555 * MSTR - 0,0045 * SLT&CLY + 25,80
LM5	-0,001 * TMP - 0,0052 * RH - 0,0652 * SP + 0,0408 * WS - 0,029 * CW - 0,046 * HW - 0,188 * MSTR - 0,0045 * SLT&CLY + 56,94
LM6	**-0,0232 * TMP - 0,00035 * RH - 0,0753 * SP + 0,346 * WS - 0,42* CW - 0,1368 * HW - 0,00081 * MSTR - 0,01445 * SLT&CLY + 64,95**
LM7	-0,0123 * TMP + 0,0016 * RH + 0,4524 * SP + 0,0146 * WS + 0,033 * CW - 0,122 * HW + 0,066 * MSTR - 0,00077 * SLT&CLY - 382,45
LM8	-0,0139 * TMP - 0,0171 * RH - 0,2227 * SP + 0,0182 * WS + 0,033 * CW - 0,53 * HW + 0,115 * MSTR - 0,00077 * SLT&CLY + 191,50
LM9	-0,0139 * TMP + 0,0024 * RH - 0,2227 * SP + 0,0182 * WS + 0,033 * CW - 0,195 * HW + 0,13 * MSTR - 0,00077 * SLT&CLY + 190,94
LM10	0,053 * TMP - 0,0201 * RH - 0,3813 * SP + 0,003 * WS + 0,0568 * CW - 0,059 * HW + 0,127 * MSTR - 0,00077 * SLT&CLY + 324,38
LM11	0,0145 * TMP - 0,0876 * RH - 0,3813 * SP + 0,003 * WS + 0,0568 * CW - 0,059 * HW + 0,129 * MSTR - 0,00077 * SLT&CLY + 328,46
LM12	-0,0098 * TMP - 0,00087 * RH - 0,227 * SP + 0,003 * WS + 0,0369 * CW - 0,0445 * HW + 0,046 * MSTR - 0,00077 * SLT&CLY + 194,62
LM13	-0,099 * TMP - 0,0688 * RH + 0,0122 * SP - 0,0042 * WS + 0,0124 * CW - 0,027 * HW + 0,053 * MSTR - 0,00077 * SLT&CLY - 5,738
LM14	-0,015 * TMP - 0,00545 * RH + 0,13 * SP - 0,0042 * WS + 0,0124 * CW - 0,027 * HW + 0,036 * MSTR - 0,00077 * SLT&CLY - 109,40

5.5 Kalker İşletmeleri Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Kalker işletmeleri (A) ve (B) delme faaliyetinde ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelerin verisi birleştirilmiş ve yeni setin ilgileşim matrisi Şekil 5.4'de verilmiştir. Her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, nem ve silt+kil içeriği) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%25) düzeyde olduğundan herhangi bir bağımlı değişken üzerindeki etki tek bir bağımsız değişken ile açıklanamamaktadır. Malzeme nemi ile silt+kil içeriği arasında normal negatif yönlü ilgileşim (%70>R≥%40) vardır. Benzer şekilde; hava sıcaklığının, bağıl nem ile arasında ise negatif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70), çiğ noktası sıcaklığı ile pozitif yönlü yüksek ilgileşim olduğu görülmüştür. Ayrıca, rüzgâr hızı ile yan rüzgâr hızı arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim, karşı rüzgâr ile normal bir ilgileşim bulunmaktadır.



Şekil 5.4 Kalker işletmelerinde delme faaliyetinde tüm parametrelerin ilgileşim matrisi

5.5.1 Regresyon analizi

Kalker işletmelerinde delme faaliyeti sırasında ölçülen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 5.41'de verilmiştir. Ham verilerden dönüştürülen doğal logaritma ve logaritma setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerleri dikkate alındığında, veri setleri normal dağılıma uygundur.

Çizelge 5.41 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınımı verisi normallik test sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
ham	TAPM	1120,73 ± 1846,45	189,95 (1,6 - 6527,9)	2,43	1,91	<0,001
	PM_{10}	963,91 ± 1802,83	90,3 (1,5 - 6527,9)	3,30	2,13	<0,001
	$PM_{2,5}$	78,01 ± 146,54	15,02 (0,49 - 652,79)	5,89	2,56	<0,001
	PM_1	36,69 ± 109,22	3,52 (0,11 - 652,79)	18,84	4,28	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	2,36 ± 0,85	2,28 (0,2 - 3,82)	-0,98	0,10	**<0,001**
	log(PM_{10})	2,16 ± 0,9	1,96 (0,18 - 3,82)	-0,94	0,40	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	1,3 ± 0,71	1,18 (-0,31 - 2,82)	-0,53	0,45	**<0,001**
	log(PM_1)	0,68 ± 0,78	0,55 (-0,96 - 2,82)	0,38	0,85	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,02 ± 0,04	0,01 (0 - 0,63)	48,41	5,78	<0,001
	1/PM_{10}	0,03 ± 0,05	0,01 (0 - 0,67)	29,51	4,42	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,14 ± 0,2	0,07 (0 - 2,04)	11,43	2,96	<0,001
	1/PM_1	0,59 ± 0,87	0,28 (0 - 9,09)	15,10	3,25	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	5,45 ± 1,97	5,25 (0,47 - 8,78)	-0,98	0,10	**<0,001**
	ln(PM_{10})	4,97 ± 2,07	4,5 (0,41 - 8,78)	-0,94	0,40	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	3 ± 1,63	2,71 (-0,71 - 6,48)	-0,53	0,45	**<0,001**
	ln(PM_1)	1,57 ± 1,8	1,26 (-2,21 - 6,48)	0,38	0,85	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	1,12 ± 1,85	0,19 (0 - 6,53)	2,43	1,91	<0,001
	PM_{10}/1000	0,96 ± 1,8	0,09 (0 - 6,53)	3,30	2,13	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,08 ± 0,15	0,02 (0 - 0,65)	5,90	2,56	<0,001
	PM_1/1000	0,04 ± 0,11	0 (0 - 0,65)	18,84	4,28	<0,001

Boyut bazında partikül madde salınımı verisi kullanılarak diğer PM boyutlarının da salınım yoğunluğu kestirilebilmektedir. Bu amaca dönük olarak kalker işletmelerinde delme faaliyetinde ölçülen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımları arasında ilgileşim analizleri yapılmıştır. Ham veya dönüştürüldükten sonra normal dağılıma uygunluk gösteren PM salınımı veri setleri ile kestirim denklemleri üreten regresyon modelleri geliştirilmiştir (Çizelge

5.42). En düşük ilgileşim katsayısı 0,731 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM), en yüksek katsayı 0,993 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. PM_1 ile diğer tüm PM'ler (TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$) arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değerleri ham verilerin logaritma ve doğal logaritmasına dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. PM boyutlarının salınım değerleri arasında yüksek ilgileşim olduğu için, PM boyutlarından herhangi birinin salınım ölçümünün yapılması ile diğer PM boyutlarının da salınım değerleri yüksek doğruluk ile hesaplanabilmektedir.

Çizelge 5.42 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-122,318 (-129,955 - -114,68)		-31,403	0,000			
	TAPM	0,969 (0,966 - 0,973)	0,993	537,408	0,000	0,993	0,993	1,0
$PM_{2,5}$	(Sabit)	-3,376 (-5,448 - -1,304)		-3,195	0,001			
	TAPM	0,073 (0,072 - 0,074)	0,915	148,405	0,000	0,915	0,915	1,0
*$PM_{2,5}$	(Sabit)	5,391 (3,522 - 7,260)		5,654	0,000			
	PM_{10}	0,075 (0,074 - 0,076)	0,927	161,520	0,000	0,927	0,927	1,0
ln(PM_1)	(Sabit)	-1,705 (-1,805 - -1,604)		-33,244	0,000			
	ln(TAPM)	0,621 (0,603 - 0,638)	0,731	70,085	0,000	0,731	0,731	1,0
*ln(PM_1)	(Sabit)	-1,520 (-1,600 - -1,441)		-37,609	0,000			
	ln(PM_{10})	0,643 (0,628 - 0,657)	0,794	85,606	0,000	0,794	0,794	1,0
**ln(PM_1)	(Sabit)	-1,184 (-1,223 - -1,145)		-59,404	0,000			
	ln($PM_{2,5}$)	0,953 (0,942 - 0,965)	0,928	163,225	0,000	0,928	0,928	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı
PM_{10}; F= 288807,026, p≤0,001, Adj.R^2= 0,985, SE= 217,98
$PM_{2,5}$; F= 22024,123, p≤0,001, Adj.R^2= 0,837, SE= 59,1
ln(PM_1); F= 4911,956, p≤0,001, Adj.R^2= 0,534, SE= 1,14
*$PM_{2,5}$; F= 26088,668, p≤0,001, Adj.R^2= 0,86, SE= 55,0
*ln(PM_1); F= 7328,448, p≤0,001, Adj.R^2= 0,631, SE= 1,01
**ln(PM_1); F= 26642,310, p≤0,001, Adj.R^2= 0,86, SE= 0,62

Kalker işletmelerinin birleştirilmiş veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri oldukça düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 5.18 ve 5.19'da sunulmuştur.

5.5.2 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Geleneksel regresyon modellerinde (toplu giriş ve aşamalı) düzeltilmiş belirlilik katsayısı düşük (R^2<%25) düzeyde kaldığı için karar ağacı algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir. M5P algoritmasıyla, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki regresyon analiz sonuçları Çizelge 5.43'de verilmiştir.

TAPM veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setinde elde edilmiş ve ham TAPM karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 19 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.44 ve 5.45'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.13'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, karşı rüzgâr hızı, silt+kil içeriği ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Veri setinin yaklaşık %27,41'i LM19'u, %1,09'u LM7'yi temsil etmektedir.

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analiz sonuçlarına göre en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setinde elde edilmiş ve ham PM_{10} karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 19 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.46 ve 5.47'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.14'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil), malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, çiğ noktası sıcaklığı ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin %27,41'i LM19'u, %1,91'i LM1'i temsil etmektedir.

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre en yüksek ilgileşim katsayısı $PM_{2,5}$ ve log($PM_{2,5}$) veri setlerinde elde edilmiş ancak sonuçlar birbirine yakın olduğu için $PM_{2,5}$ veri seti tercih edilmiştir. $PM_{2,5}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 20 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.48 ve 5.49'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.15'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, yan rüzgâr hızı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem ve yan rüzgâr hızıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %12,6'sı LM16'yı, %1,37'si LM20'yi temsil etmektedir.

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/PM_1 karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 23 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.50 ve 5.51'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.16'da verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, silt+kil içeriği ve malzeme nemidir. Yapılan modelleme çalışmalarında PM salınımı üzerinde en etkili parametreler hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, malzeme nemi, silt+kil içeriği ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %11,76'sı LM1'i, %1,26'sı LM17'yi temsil etmektedir.

Çizelge 5.43 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	$log(PM_{10})$	$ln(PM_{10})$	$1/PM_{10}$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	**0,7563**	0,7563	0,723	0,723	0,5902	**0,7351**	0,7351	0,7265	0,7265	0,6244
	MAE	**762,4941**	0,7625	0,4593	1,0576	0,016	**748,6834**	0,7487	0,4775	1,0995	0,0199
	RMSE	**1208,6817**	1,2087	0,5903	1,3592	0,0351	**1222,7726**	1,2228	0,6166	1,4197	0,04
	RAE (%)	**56,1166**	56,1171	63,182	63,1798	70,5593	**58,6199**	58,6198	62,8576	62,8571	66,159
	RRSE (%)	**65,4674**	65,4675	69,1054	69,1047	80,7895	**67,8331**	67,8332	68,7397	68,7401	78,1643
	Model (düğüm) sayısı	**19**	19	16	16	19	**19**	19	16	16	22
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	**0,7374**	0,7373	0,7094	0,7094	0,5185	**0,7134**	0,7139	0,717	0,717	0,5837
	MAE	**798,0412**	0,7981	0,4673	1,0758	0,0164	**775,6497**	0,775	0,481	1,1074	0,0205
	RMSE	**1247,2572**	1,2473	0,6021	1,3864	0,0372	**1263,32**	1,2624	0,6253	1,4398	0,0415
	RAE (%)	**58,7153**	58,7158	64,2668	64,2647	72,2291	**60,7227**	60,6742	63,3035	63,3034	67,8623
	RRSE (%)	**67,5389**	67,5391	70,4769	70,4765	85,5221	**70,0722**	70,0195	69,7036	69,7041	81,1977
	Model (düğüm) sayısı	**19**	19	16	16	19	**19**	19	16	16	22
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	**0,7318**	0,7318	0,7017	0,7017	0,4812	**0,7035**	0,7035	0,7175	0,7175	0,5562
	MAE	**791,6638**	0,7917	0,4713	1,0851	0,0163	**788,7989**	0,7888	0,4782	1,1011	0,0201
	RMSE	**1264,8588**	1,2649	0,6042	1,3912	0,0398	**1288,4635**	1,2885	0,6218	1,4317	0,0423
	RAE (%)	**57,7753**	57,7758	65,1998	65,1984	73,4513	**61,4441**	61,4449	63,0525	63,0523	68,5696
	RRSE (%)	**68,1755**	68,1753	71,2509	71,2504	87,6951	**71,2099**	71,2104	69,6543	69,6543	83,1614
	Model (düğüm) sayısı	**19**	19	16	16	19	**19**	19	16	16	22
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}/1000$	$log(PM_{2.5})$	$ln(PM_{2.5})$	$1/PM_{2.5}$	PM_1	$PM_1/1000$	$log(PM_1)$	$ln(PM_1)$	$1/PM_1$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	**0,7325**	0,7325	0,7422	0,7423	0,7126	0,6666	0,6666	0,6948	0,6947	**0,7118**
	MAE	**56,6112**	0,0566	0,3475	0,8007	0,0765	37,0585	0,037	0,3585	0,8258	**0,3294**
	RMSE	**99,8024**	0,0998	0,4738	1,0908	0,1399	81,8595	0,0819	0,522	1,2021	**0,6117**
	RAE (%)	**58,2726**	58,2827	61,1227	61,1588	59,6907	68,3844	68,3407	63,3104	63,3533	**58,8508**
	RRSE (%)	**68,1123**	68,1137	67,0553	67,0444	70,2014	74,9586	74,9542	71,9356	71,9483	**70,297**
	Model sayısı	**20**	20	24	24	23	22	24	16	16	**23**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	**0,7158**	0,7158	0,7292	0,7291	0,7016	0,5573	0,5658	0,6762	0,6693	**0,7108**
	MAE	**58,2972**	0,0583	0,3535	0,8138	0,0788	40,3057	0,0403	0,3694	0,8585	**0,3276**
	RMSE	**102,3229**	0,1023	0,4836	1,1135	0,1421	90,6995	0,0901	0,5346	1,2414	**0,6126**
	RAE (%)	**60,0007**	59,9642	62,1483	62,1477	61,4809	74,3629	74,3104	65,2339	65,8441	**58,5103**
	RRSE (%)	**69,8217**	69,8289	68,4278	68,4289	71,2774	83,0305	82,4426	73,6557	74,285	**70,3848**
	Model (düğüm) sayısı	**20**	20	24	24	23	22	24	16	16	**23**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	**0,7142**	0,7141	0,7246	0,7245	0,7003	0,5332	0,5332	0,6527	0,6525	**0,6969**
	MAE	**57,9995**	0,058	0,3575	0,8231	0,0815	39,4821	0,0395	0,3873	0,8921	**0,372**
	RMSE	**101,3735**	0,1014	0,4869	1,1211	0,145	90,1324	0,0902	0,5522	1,2717	**0,6592**
	RAE (%)	**59,7127**	59,7182	62,5813	62,5811	63,9572	73,4417	73,4475	67,6044	67,6498	**65,3626**
	RRSE (%)	**70,0323**	70,0382	68,9138	68,9144	71,7154	84,5929	84,5926	75,7374	75,7605	**72,1192**
	Model (düğüm) sayısı	**20**	20	24	24	23	22	24	16	16	**23**

Çizelge 5.44 Kalker işletmeleri delme faaliyeti TAPM salınım kestirim kuralları

Model	TAPM salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 2,25, SP ≤ 849,25, RH ≤ 53,75
LM2	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 2,25, SP ≤ 849,25, RH > 53,75, HW ≤ 0,45
LM3	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 2,25, SP ≤ 849,25, RH > 53,75, HW > 0,45
LM4	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 2,25, SP > 849,25
LM5	MSTR ≤ 0,275, DWPT > 2,25, RH ≤ 50,35
LM6	MSTR ≤ 0,155, DWPT ≤ 7,35 - > 2,25, RH > 50,35, HW ≤ 0,85
LM7	MSTR ≤ 0,155, DWPT > 7,35, RH > 50,35, HW ≤ 0,85
LM8	MSTR ≤ 0,155, DWPT > 2,25, RH > 50,35, HW > 0,85
LM9	MSTR ≤ 0,275 - > 0,155, DWPT > 2,25, RH > 50,35
LM10	MSTR ≤ 3,905 - > 0,275, DWPT ≤ 6,15 - > 2,25, RH ≤ 84,25
LM11	MSTR ≤ 3,905 - > 0,275, DWPT ≤ 6,15 - > 2,25, RH > 84,25
LM12	MSTR ≤ 3,905 - > 0,275, DWPT > 6,15, SP ≤ 847,55
LM13	MSTR ≤ 1,795 - > 0,275, DWPT ≤10,25 - > 6,15, SP > 847,55, SLT&CLY ≤ 10,18
LM14	MSTR ≤ 1,795 - > 0,275, DWPT > 10,25, SP > 847,55, SLT&CLY ≤ 8,43
LM15	MSTR ≤ 1,795 - > 0,275, DWPT > 10,25, SP > 847,55, SLT&CLY ≤ 10,18 - > 8,43
LM16	MSTR ≤ 3,69 - > 1,795, DWPT > 6,15, SP > 847,55, SLT&CLY ≤ 10,18
LM17	MSTR ≤ 3,905 - > 3,69, DWPT > 6,15, SP > 847,55, SLT&CLY ≤ 10,18
LM18	MSTR ≤ 3,905 - > 0,275, DWPT > 6,15, SP > 847,55, SLT&CLY > 10,18
LM19	**MSTR > 3,905**

Çizelge 5.45 Kalker İşletmeleri delme faaliyeti TAPM salınım kestirim denklemleri

Model	TAPM salınım kestirim denklemleri
LM1	12,12 * RH - 51,75 * SP - 3,17 * DWPT + 52,67 * HW - 1,21 * MSTR - 1,86 * SLT&CLY + 45724,93
LM2	5,06 * RH - 51,75 * SP - 3,17 * DWPT + 42,97 * HW - 1,21 * MSTR - 1,86 * SLT&CLY + 48570,54
LM3	5,06 * RH - 51,75 * SP - 3,17 * DWPT + 79,71 * HW - 1,21 * MSTR - 1,86 * SLT&CLY + 49506,08
LM4	4,20 * RH - 92,37 * SP - 3,17 * DWPT - 32,014 * HW + 186,60 * MSTR - 1,86 * SLT&CLY + 78941,58
LM5	-0,61 * RH + 0,60 * SP + 0,92 * DWPT - 10,35 * HW - 5,08 * MSTR - 0,26 * SLT&CLY + 1390,33
LM6	-0,39 * RH + 0,60 * SP + 16,24 * DWPT - 55,88 * HW - 175,70 * MSTR - 0,26 * SLT&CLY + 1263,93
LM7	-0,39 * RH + 0,60 * SP + 16,24 * DWPT - 55,88 * HW - 175,70 * MSTR - 0,26 * SLT&CLY + 1979,49
LM8	-0,39 * RH + 0,60 * SP + 25,94 * DWPT - 84,77 * HW - 175,70 * MSTR - 0,26 * SLT&CLY + 628,41
LM9	-0,39 * RH + 0,60 * SP + 5,73 * DWPT - 25,40 * HW + 14316,29 * MSTR - 0,26 * SLT&CLY - 2189,39
LM10	-0,27 * RH + 0,01 * SP + 1,69 * DWPT - 3,06 * HW - 2,60 * MSTR - 0,58 * SLT&CLY + 524,88
LM11	-0,40 * RH + 0,01 * SP + 138,11 * DWPT - 3,06 * HW - 2,60 * MSTR - 0,58 * SLT&CLY - 269,42
LM12	-0,06 * RH - 113,23 * SP - 102,53 * DWPT - 3,98 * HW - 529,22 * MSTR + 38,36 * SLT&CLY + 97746,78
LM13	-0,06 * RH + 0,01 * SP + 1,98 * DWPT - 3,88 * HW + 13,58 * MSTR + 7,67 * SLT&CLY + 1202,23
LM14	-0,06 * RH + 0,01 * SP + 1,98 * DWPT - 3,88 * HW + 13,58 * MSTR + 24,27 * SLT&CLY + 507,48
LM15	-0,06 * RH + 0,01 * SP + 1,98 * DWPT - 3,88 * HW + 13,58 * MSTR + 33,87 * SLT&CLY + 1195,82
LM16	-0,06 * RH + 0,01 * SP + 1,98 * DWPT - 3,88 * HW - 663,848 * MSTR - 1,65 * SLT&CLY + 3130,20
LM17	-0,06 * RH + 0,01 * SP + 1,98 * DWPT - 3,88 * HW + 18,29 * MSTR - 1,65 * SLT&CLY + 2228,76
LM18	-0,06 * RH + 0,01 * SP - 99,17 * DWPT - 3,88 * HW + 10,64 * MSTR - 3,13 * SLT&CLY + 1725,15
LM19	**-0,07 * RH - 0,78 * DWPT + 86,43 * HW - 3,19 * MSTR - 1,00 * SLT&CLY + 229,46**

Çizelge 5.46 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim kuralları

Model	PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 2,25, SP ≤ 849,25, RH ≤ 53,75
LM2	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 2,25, SP ≤ 849,25, RH > 53,75, HW ≤ 0,45
LM3	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 2,25, SP ≤ 849,25, RH > 53,75, HW > 0,45
LM4	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 2,25, SP > 849,25
LM5	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 4,15 - > 2,25, RH ≤ 84,25
LM6	MSTR ≤ 3,905, DWPT ≤ 4,15 - > 2,25, RH > 84,25
LM7	MSTR ≤ 0,625, DWPT > 4,15, SP ≤ 847,95, HW ≤ 1,55
LM8	MSTR ≤ 1,62 - > 0,625, DWPT > 4,15, SP ≤ 847,95, HW ≤ 1,55
LM9	MSTR ≤ 1,62, DWPT > 4,15, SP ≤ 847,95, HW > 1,55
LM10	MSTR ≤ 3,905 - > 1,62, DWPT > 4,15, SP ≤ 847,95
LM11	MSTR ≤ 0,215, DWPT ≤ 7,35 - > 4,15, SP ≤ 849,7 - > 847,95
LM12	MSTR ≤ 0,215, DWPT > 7,35, SP ≤ 849,7 - > 847,95
LM13	MSTR ≤ 1,95 - > 0,215, DWPT > 4,15, SP ≤ 849,7 - > 847,95
LM14	MSTR ≤ 3,905 - > 1,95, DWPT > 4,15, SP ≤ 849,7 - > 847,95, SLT&CLY ≤ 7,64
LM15	MSTR ≤ 3,905 - > 1,95, DWPT > 4,15, SP ≤ 849,7 - > 847,95, SLT&CLY > 7,64
LM16	MSTR ≤ 0,155, DWPT > 4,15, SP > 849,7
LM17	MSTR ≤ 3,905 - > 0,155, DWPT > 4,15, SP > 849,7, SLT&CLY ≤ 3,47
LM18	MSTR ≤ 3,905 - > 0,155, DWPT > 4,15, SP > 849,7, SLT&CLY > 3,47
LM19	**MSTR > 3,905**

Çizelge 5.47 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim denklemleri

Model	PM_{10} salınım kestirim denklemleri
LM1	11,39 * RH - 638,63 * SP - 5,70 * WS - 3,00 * DWPT + 98,89 * HW - 1,13 * MSTR - 2,10 * SLT&CLY + 543710,74
LM2	4,86 * RH - 217,51 * SP - 5,70 * WS - 3,00 * DWPT + 68,51 * HW - 1,13 * MSTR - 2,10 * SLT&CLY + 188981,69
LM3	4,86 * RH - 217,51 * SP - 5,70 * WS - 3,00 * DWPT + 113,55 * HW - 1,13 * MSTR - 2,10 * SLT&CLY + 190111,80
LM4	4,21 * RH - 90,18 * SP - 5,70 * WS - 3,00 * DWPT - 27,14 * HW - 1,13 * MSTR - 2,10 * SLT&CLY + 77146,97
LM5	-0,71 * RH - 90,75 * SP - 2,09 * WS - 7,70 * DWPT - 2,89 * HW - 5,52 * MSTR - 0,40 * SLT&CLY + 77761,74
LM6	-0,79 * RH - 3,57 * SP - 2,09 * WS + 92,88 * DWPT - 2,89 * HW - 5,52 * MSTR - 0,40 * SLT&CLY + 2921,70
LM7	-0,05 * RH + 0,20 * SP - 2,09 * WS + 0,40 * DWPT - 8,62 * HW - 96,36 * MSTR - 88,54 * SLT&CLY + 1905,01
LM8	-0,05 * RH + 0,20 * SP - 2,09 * WS + 0,40 * DWPT - 8,62 * HW - 83,71 * MSTR + 59,24 * SLT&CLY + 29,24
LM9	-0,05 * RH + 0,20 * SP - 2,09 * WS + 0,40 * DWPT - 11,00 * HW - 46,30 * MSTR - 0,72 * SLT&CLY + 429,88
LM10	-0,05 * RH + 0,20 * SP - 2,09 * WS + 0,40 * DWPT - 10,59 * HW - 44,02 * MSTR - 0,72 * SLT&CLY + 95,44
LM11	-0,05 * RH + 0,02 * SP + 9,82 * WS + 11,47 * DWPT - 12,65 * HW - 5,60 * MSTR - 0,72 * SLT&CLY + 1091,11
LM12	-0,05 * RH + 0,02 * SP + 9,82 * WS + 8,17 * DWPT - 12,65 * HW - 5,60 * MSTR - 0,72 * SLT&CLY + 1779,92
LM13	-0,05 * RH + 0,02 * SP + 10,55 * WS + 0,11 * DWPT - 7,84 * HW + 1,40 * MSTR - 1,92 * SLT&CLY + 803,80
LM14	-0,05 * RH + 0,02 * SP + 15,21 * WS + 0,11 * DWPT - 7,84 * HW + 6,48 * MSTR - 14,12 * SLT&CLY + 1825,89
LM15	-0,05 * RH + 0,02 * SP + 15,21 * WS + 0,11 * DWPT - 7,84 * HW + 6,48 * MSTR - 11,29 * SLT&CLY + 806,78
LM16	-0,05 * RH + 0,02 * SP + 3,55 * WS + 0,11 * DWPT - 8,47 * HW - 23,92 * MSTR + 2,79 * SLT&CLY + 1543,76
LM17	-0,05 * RH + 0,02 * SP + 3,55 * WS + 0,11 * DWPT - 8,47 * HW - 18,91 * MSTR - 10,88 * SLT&CLY + 1116,85
LM18	-0,05 * RH + 0,02 * SP + 3,55 * WS + 0,11 * DWPT - 8,47 * HW - 18,91 * MSTR - 11,12 * SLT&CLY + 563,63
LM19	**-0,05 * RH - 0,32 * SP - 2,19 * WS + 11,16 * DWPT + 46,72 * HW - 2,97 * MSTR + 20,72 * SLT&CLY + 354,73**

Çizelge 5.48 Kalker İşletmeleri delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları

Model	$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0,305, DWPT ≤ 7,05, RH ≤ 64,55
LM2	MSTR ≤ 0,305, DWPT ≤ 7,05, RH > 64,55
LM3	MSTR ≤ 0,305, DWPT > 7,05
LM4	MSTR ≤ 0,47 - > 0,305
LM5	MSTR ≤ 1,195 - > 0,47, SLT&CLY ≤ 2,625
LM6	MSTR ≤ 1,195 - > 0,47, SLT&CLY ≤ 9,515 - > 2,625, DWPT ≤ 7,75
LM7	MSTR ≤ 1,195 - > 0,47, SLT&CLY ≤ 9,515 - > 2,625, DWPT > 7,75
LM8	MSTR ≤ 1,195 - > 0,47, SLT&CLY > 9,515
LM9	MSTR ≤ 1,79 - > 1,195, DWPT ≤ -1,85, RH ≤ 65,05
LM10	MSTR ≤ 1,79 - > 1,195, DWPT ≤ 3,65 - > -1,85, RH ≤ 65,05
LM11	MSTR ≤ 1,79 - > 1,195, DWPT ≤ 3,65, RH > 65,05
LM12	MSTR ≤ 1,79 - > 1,195, DWPT > 3,65
LM13	MSTR > 1,79, DWPT ≤ 10,55, CW ≤ 1,45, RH ≤ 38,45
LM14	MSTR > 1,79, DWPT ≤ 6,2, CW ≤ 1,45, RH ≤ 52,25 - > 38,45
LM15	MSTR > 1,79, DWPT ≤ 10,55 - > 6,2, CW ≤ 1,45, RH ≤ 52,25 - > 38,45
LM16	**MSTR > 1,79, DWPT ≤ 10,55, CW ≤ 1,45, RH > 52,25**
LM17	MSTR > 1,79, DWPT ≤ 10,55, CW > 1,45
LM18	MSTR > 1,79, DWPT > 10,55, SLT&CLY ≤ 0,9
LM19	MSTR > 1,79, DWPT > 10,55, SLT&CLY > 0,9, CW ≤ 1,25
LM20	MSTR > 1,79, DWPT > 10,55, SLT&CLY > 0,9, CW >1,25

Çizelge 5.49 Kalker İşletmeleri delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri

Model	$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	0,074 * RH + 0,018 * DWPT + 0,358 * CW - 0,0731 * MSTR + 0,0119 * SLT&CLY + 57,661
LM2	0,059 * RH + 3,567 * DWPT + 0,358 * CW - 0,0731 * MSTR + 0,0119 * SLT&CLY + 83,650
LM3	0,017 * RH + 0,017 * DWPT + 20,734 * CW - 0,0731 * MSTR + 9,583 * SLT&CLY + 20,523
LM4	-0,709 * RH - 2,106 * DWPT - 0,037 * CW + 1,625 * MSTR - 0,114 * SLT&CLY + 86,080
LM5	-0,015 * RH - 0,086 * DWPT - 0,037 * CW + 1,122 * MSTR - 0,154 * SLT&CLY + 44,879
LM6	-0,015 * RH - 0,086 * DWPT - 0,037 * CW + 1,122 * MSTR - 0,154 * SLT&CLY + 59,996
LM7	-0,015 * RH - 15,551 * DWPT - 0,037 * CW + 1,122 * MSTR - 0,154 * SLT&CLY + 256,340
LM8	-0,015 * RH - 0,086 * DWPT - 0,037 * CW + 1,122 * MSTR - 0,239 * SLT&CLY + 51,595
LM9	0,647 * RH - 5,354 * DWPT - 0,210 * CW + 20,0388 * MSTR - 0,1187 * SLT&CLY + 352,105
LM10	0,647 * RH - 2,921 * DWPT - 0,210 * CW + 197,511 * MSTR - 0,1187 * SLT&CLY + 7,383
LM11	1,805 * RH - 1,585 * DWPT - 0,210 * CW - 0,923 * MSTR - 0,1187 * SLT&CLY + 384,434
LM12	0,240 * RH - 2,479 * DWPT - 0,210 * CW - 3,3816 * MSTR - 0,1187 * SLT&CLY + 85,084
LM13	0,121 * RH - 0,075 * DWPT - 0,056 * CW - 0,158 * MSTR + 0,0189 * SLT&CLY + 5,959
LM14	0,068 * RH - 0,280 * DWPT - 0,056 * CW - 0,158 * MSTR + 0,0189 * SLT&CLY + 33,895
LM15	0,068 * RH - 0,259 * DWPT - 0,056 * CW - 0,158 * MSTR + 0,0189 * SLT&CLY + 12,999
LM16	**0,0028 * RH - 0,066 * DWPT + 5,889 * CW - 0,158 * MSTR + 0,006 * SLT&CLY + 11,854**
LM17	0,0028 * RH - 1,254 * DWPT - 0,085 * CW - 1,379 * MSTR - 0,0217 * SLT&CLY + 23,464
LM18	0,355 * RH - 0,0088 * DWPT + 2,081 * CW - 0,1469 * MSTR + 0,226 * SLT&CLY - 2,643
LM19	0,0072 * RH - 0,0088 * DWPT + 4,856 * CW - 0,1469 * MSTR + 0,1918 * SLT&CLY + 41,037
LM20	0,0072 * RH - 0,0088 * DWPT + 11,646 * CW - 0,1469 * MSTR + 0,1918 * SLT&CLY + 123,388

Çizelge 5.50 Kalker işletmeleri delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları

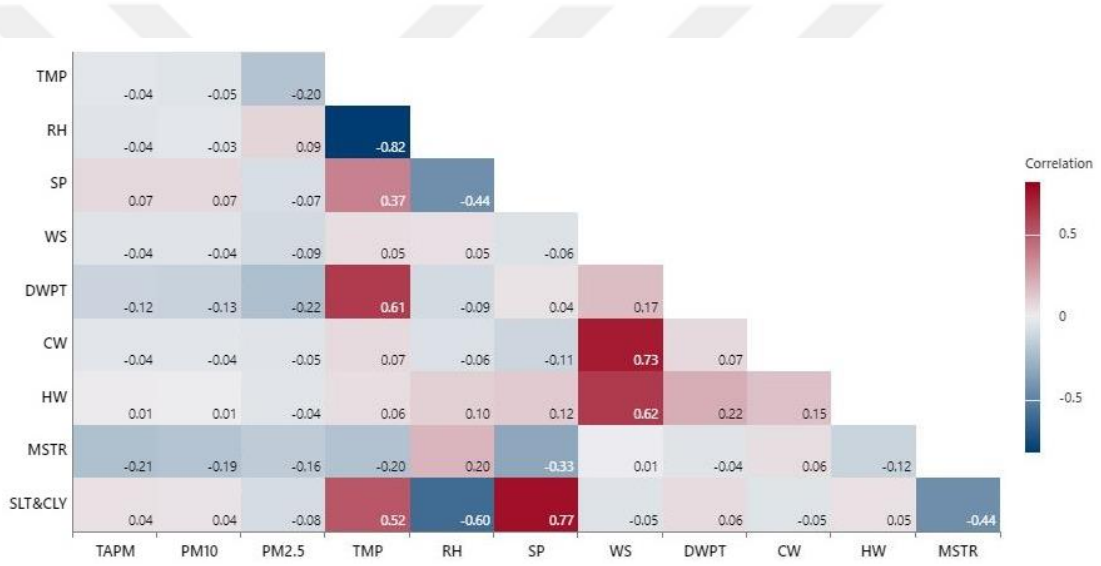
Model	1/PM_1 salınım kestirim kuralları
LM1	**TMP ≤ 10,75, DWPT ≤ 0,05**
LM2	TMP ≤ 5,75, DWPT > 0,05, MSTR ≤ 0,405, SP ≤ 851,65
LM3	TMP ≤ 5,75, DWPT > 0,05, MSTR ≤ 2,67 - > 0,405, SP ≤ 851,65
LM4	TMP ≤ 10,75 - > 5,75, DWPT > 0,05, MSTR ≤ 2,67, SP ≤ 851,65
LM5	TMP ≤ 10,75, DWPT > 0,05, MSTR ≤ 2,67, SP > 851,65
LM6	TMP ≤ 10,75, DWPT > 0,05, MSTR > 2,67
LM7	TMP ≤ 13,45 - > 10,75, MSTR ≤ 0,305
LM8	TMP > 13,45, MSTR ≤ 0,305, SLT&CLY ≤ 5,03
LM9	TMP > 13,45, MSTR ≤ 0,305, SLT&CLY > 5,03
LM10	TMP > 10,75, MSTR ≤ 0,595 - > 0,305, DWPT ≤ 8,55
LM11	TMP > 10,75, MSTR ≤ 2,59 - > 0,595, DWPT ≤ 8,55, SP ≤ 849,5, SLT&CLY ≤ 11,01
LM12	TMP > 10,75, MSTR ≤ 2,59 - > 0,595, DWPT ≤ 8,55, SP ≤ 849,5, SLT&CLY > 11,01
LM13	TMP > 10,75, MSTR > 2,59, DWPT ≤ 8,55, SP ≤ 849,5
LM14	TMP > 10,75, MSTR > 0,595, DWPT ≤ 8,55, SP ≤ 850,45 - > 849,5
LM15	TMP > 10,75, MSTR > 0,595, DWPT ≤ 8,55, SP > 850,45
LM16	TMP > 10,75, MSTR > 0,305, DWPT > 8,55, SLT&CLY ≤ 8,565, WS ≤ 0,45
LM17	TMP > 10,75, MSTR ≤ 2,59 - > 0,305, DWPT > 8,55, SLT&CLY ≤ 8,565, WS > 0,45, RH ≤ 43,75
LM18	TMP > 10,75, MSTR ≤ 2,59 - > 0,305, DWPT > 8,55, SLT&CLY ≤ 8,565, WS > 0,45, RH > 43,75, HW ≤ 2,45
LM19	TMP > 10,75, MSTR ≤ 2,59 - > 0,305, DWPT > 8,55, SLT&CLY ≤ 8,565, WS > 0,45, RH > 43,75, HW > 2,45
LM20	TMP > 10,75, MSTR > 2,59, DWPT > 8,55, SLT&CLY ≤ 8,565, WS > 0,45
LM21	TMP > 10,75, MSTR > 0,305, DWPT > 8,55, SLT&CLY > 8,565, SP ≤ 847,85
LM22	TMP > 10,75, MSTR > 0,305, DWPT > 8,55, SLT&CLY > 8,565, SP > 847,85, RH ≤ 42,95
LM23	TMP > 10,75, MSTR > 0,305, DWPT > 8,55, SLT&CLY > 8,565, SP > 847,85, RH > 42,95

Çizelge 5.51 Kalker işletmeleri delme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_1 salınım kestirim denklemleri
LM1	**-0,0003 * TMP - 0,00023 * RH + 0,0004 * SP + 0,00143 * WS + 0,00124 * DWPT - 0,00069 * HW + 0,01672 * MSTR - 0,00012 * SLT&CLY - 0,303**
LM2	-0,002 * TMP - 0,00023 * RH - 0,00154 * SP + 0,00143 * WS + 0,00097 * DWPT - 0,00069 * HW - 0,01061 * MSTR - 0,00012 * SLT&CLY + 1,625
LM3	-0,002 * TMP - 0,00023 * RH - 0,00154 * SP + 0,00143 * WS + 0,00097 * DWPT - 0,00069 * HW - 0,00962 * MSTR - 0,00012 * SLT&CLY + 1,549
LM4	-0,0036 * TMP - 0,00023 * RH - 0,00154 * SP + 0,00143 * WS + 0,00097 * DWPT - 0,00069 * HW - 0,00932 * MSTR - 0,00012 * SLT&CLY + 1,472
LM5	-0,0010 * TMP - 0,00023 * RH - 0,00308 * SP + 0,00143 * WS + 0,00097 * DWPT - 0,00069 * HW - 0,0032 * MSTR - 0,00012 * SLT&CLY + 2,732
LM6	0,00015 * TMP - 0,00023 * RH - 0,0011 * SP + 0,00143 * WS + 0,00097 * DWPT - 0,00069 * HW + 0,00378 * MSTR - 0,00012 * SLT&CLY + 1,250
LM7	-0,00102 * TMP - 0,0011 * RH - 0,0001 * SP + 0,00327 * WS + 0,00166 * DWPT - 0,00182 * HW - 0,43804 * MSTR - 0,00148 * SLT&CLY + 0,353
LM8	-0,00161 * TMP - 0,0011 * RH - 0,0001 * SP + 0,00327 * WS + 0,00166 * DWPT - 0,00182 * HW - 0,03008 * MSTR - 0,00283 * SLT&CLY + 0,687
LM9	-0,00161 * TMP - 0,0011 * RH - 0,0001 * SP + 0,00327 * WS + 0,00166 * DWPT - 0,00182 * HW - 0,03008 * MSTR - 0,00182 * SLT&CLY + 0,496
LM10	-0,00075 * TMP - 0,00055 * RH + 0,00004 * SP + 0,0033 * WS - 0,00006 * DWPT - 0,002 * HW + 0,00521 * MSTR + 0,06481 * SLT&CLY + 0,202
LM11	-0,00075 * TMP - 0,00055 * RH + 0,0016 * SP + 0,0033 * WS - 0,00006 * DWPT - 0,002 * HW - 0,0172 * MSTR - 0,03005 * SLT&CLY + 0,957
LM12	-0,00075 * TMP - 0,00055 * RH + 0,0016 * SP + 0,0033 * WS - 0,00006 * DWPT - 0,002 * HW - 0,0172 * MSTR - 0,04701 * SLT&CLY - 0,358
LM13	-0,00075 * TMP - 0,00055 * RH + 0,0016 * SP + 0,0033 * WS - 0,00006 * DWPT - 0,002 * HW - 0,03644 * MSTR - 0,02832 * SLT&CLY - 0,1081
LM14	-0,00075 * TMP - 0,00055 * RH + 0,00483 * SP + 0,0033 * WS - 0,00006 * DWPT - 0,002 * HW - 0,00575 * MSTR - 0,01745 * SLT&CLY - 1,592
LM15	-0,00075 * TMP - 0,00055 * RH - 0,0040 * SP + 0,0033 * WS - 0,00006 * DWPT - 0,002 * HW - 0,00068 * MSTR - 0,01192 * SLT&CLY + 4,261
LM16	-0,00075 * TMP - 0,00084 * RH + 0,0005 * SP + 0,00281 * WS - 0,00485 * DWPT + 0,00436 * HW + 0,00115 * MSTR - 0,00087 * SLT&CLY + 0,376
LM17	-0,00075 * TMP - 0,00515 * RH + 0,0005 * SP + 0,00281 * WS - 0,00535 * DWPT + 0,00528 * HW + 0,00115 * MSTR - 0,00087 * SLT&CLY + 1,354
LM18	-0,00075 * TMP - 0,00224 * RH + 0,0005 * SP + 0,00281 * WS - 0,00535 * DWPT + 0,01593 * HW + 0,00115 * MSTR - 0,00087 * SLT&CLY + 0,367
LM19	-0,00075 * TMP - 0,00224 * RH + 0,0005 * SP + 0,00281 * WS - 0,00535 * DWPT + 0,02401 * HW + 0,00115 * MSTR - 0,00087 * SLT&CLY + 0,784
LM20	-0,00075 * TMP - 0,00084 * RH + 0,0005 * SP + 0,00281 * WS - 0,03938 * DWPT + 0,0037 * HW + 0,00115 * MSTR - 0,03884 * SLT&CLY + 0,807
LM21	-0,00075 * TMP + 0,00198 * RH + 0,01268 * SP + 0,00281 * WS - 0,00232 * DWPT - 0,00002 * HW + 0,00115 * MSTR - 0,0012 * SLT&CLY - 10,453
LM22	-0,00075 * TMP + 0,00728 * RH + 0,01142 * SP + 0,00281 * WS - 0,00232 * DWPT - 0,00002 * HW + 0,00115 * MSTR - 0,0012 * SLT&CLY - 9,553
LM23	-0,00075 * TMP + 0,0067 * RH + 0,01142 * SP + 0,00281 * WS - 0,00232 * DWPT - 0,00002 * HW + 0,00115 * MSTR - 0,0012 * SLT&CLY - 9,085

5.6 Tüm İşletmelerin Delme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Bu bölümde alçıtaşı, kalker (A) ve kalker (B) işletmelerindeki delme faaliyeti sırasında ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelere ait veri bir tablolama programı ile birleştirilmiştir. İlgileşim matrisi Şekil 5.5'de verilen bağımlı değişkenler (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, malzeme nemi ve silt+kil içerikleri) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%22) düzeyde olduğundan herhangi bir bağımlı değişkenin üzerinde etkinin tek bir bağımsız değişken ile açıklanması olanaklı değildir. Malzeme nemi ile silt+kil içeriği ve bağıl nem ile silt+kil içeriği arasında normal negatif yönlü bir ilgileşim (%70>R≥%40) vardır. Rüzgâr hızı ile yan rüzgâr hızı arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70), karşı rüzgâr hızı ile pozitif yönlü normal ilgileşim bulunmaktadır. Hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı ve silt+kil içeriği ile arasında pozitif yönlü normal ilgileşim, bağıl nem ile arasında negatif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70) bulunmaktadır.



Şekil 5.5 Tüm işletmelerdeki delme faaliyetinde parametrelerin ilgileşim matrisi

5.6.1 Regresyon analizi

Alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde delme faaliyeti sırasında ölçülen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 5.52'da verilmiştir. Buna göre, ham verilerden dönüştürülen yeni veri setlerinden doğal logaritmik ve logaritmik setlere ait çarpıklık ve basıklık değerlerinin literatürde belirtilen aralıkta oldukları ve verilerin normal dağılıma uygun oldukları görülmüştür. Diğer taraftan, TAPM ham verisi çarpıklık ve basıklık değerlerine göre normal dağılım göstermesine rağmen, düzeltilmiş belirlilik katsayılarının çok düşük (R^2≤%7) olması ve çok geniş bir aralığa yayılmalarından dolayı bu veri setinin regresyon analiz sonuçları değerlendirilmemiştir.

TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Önce, tüm işletmelerin delme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının normal dağılıma

uygunluğu analiz edilmiş ve normal dağılım göstermeyen ham veri setleri dönüştürülerek oluşan yeni veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu incelenmiştir. Normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayısına sahip veri setleri değerlendirmeye alınmıştır. PM salınım kestirim denklemleri Çizelge 5.53'de verilmiştir. En düşük ilgileşim katsayısı 0,696 ile ln(PM_1) ile ln(TAPM), en yüksek katsayı 0,993 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. $PM_{2,5}$ ile PM_{10} ve PM_1 ile diğer tüm PM boyutları (TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$) arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değerleri logaritmik ve doğal logaritmik olarak dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. PM_1 salınımı ile TAPM salınımı arasında normal, diğer PM salınımları arasında yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Bu nedenle PM boyutlarından herhangi birisinin ölçümü ile diğer PM boyut salınımları yüksek doğruluk derecesi hesaplanabilmektedir.

Çizelge 5.52 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM salınımlarının normallik test sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
ham	TAPM	1200,06 ± 1897,51	188,6 (1,6 - 6527,9)	1,74	1,77	<0,001
	PM_{10}	1041,07 ± 1851,23	84,5 (1,5 - 6527,9)	1,94	2,51	<0,001
	$PM_{2,5}$	68,77 ± 136,29	12,65 (0,2 - 652,79)	2,81	7,48	<0,001
	PM_1	32,79 ± 102,53	2,74 (0,1 - 652,79)	4,51	21,25	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,39 ± 0,87**	**2,28 (0,2 - 3,82)**	**0,10**	**-1,07**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**2,18 ± 0,92**	**1,93 (0,18 - 3,82)**	**0,38**	**-1,08**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**1,23 ± 0,71**	**1,1 (-0,7 - 2,82)**	**0,53**	**-0,47**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,6 ± 0,78**	**0,44 (-1 - 2,82)**	**0,96**	**0,54**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,02 ± 0,04	0,01 (0 - 0,63)	5,73	50,10	<0,001
	1/PM_{10}	0,03 ± 0,05	0,01 (0 - 0,67)	4,12	27,32	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,15 ± 0,22	0,08 (0 - 5)	4,81	56,93	<0,001
	1/PM_1	0,69 ± 0,93	0,37 (0 - 10)	3,04	15,95	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**5,51 ± 1,99**	**5,24 (0,47 - 8,78)**	**0,10**	**-1,07**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**5,02 ± 2,12**	**4,44 (0,41 - 8,78)**	**0,38**	**-1,08**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,84 ± 1,63**	**2,54 (-1,61 - 6,48)**	**0,53**	**-0,47**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**1,37 ± 1,8**	**1,01 (-2,3 - 6,48)**	**0,96**	**0,54**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	1,2 ± 1,9	0,19 (0 - 6,53)	1,74	1,77	<0,001
	PM_{10}/1000	1,04 ± 1,85	0,09 (0 - 6,53)	1,94	2,51	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,07 ± 0,14	0,01 (0 - 0,65)	2,81	7,49	<0,001
	PM_1/1000	0,03 ± 0,1	0 (0 - 0,65)	4,51	21,26	<0,001

Çizelge 5.53 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-121,890 (-128,229 - -115,55)		-37,694	0,000			
	TAPM	0,969 (0,966 - 0,972)	0,993	672,799	0,000	0,993	0,993	1,0
$PM_{2,5}$	(Sabit)	-3,251(-5,472 - -1,030)		-2,870	0,004			
	TAPM	0,060 (0,059 - 0,061)	0,836	118,919	0,000	0,836	0,836	1,0
ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,525 (-0,575 - -0,475)		-20,628	0,000			
	ln(PM_{10})	0,670 (0,661 - 0,679)	0,878	143,509	0,000	0,878	0,878	1,0
ln(PM_1)	(Sabit)	-1,674 (-1,762 - -1,587)		-37,508	0,000			
	ln(TAPM)	0,577 (0,562 - 0,592)	0,696	75,712	0,000	0,696	0,696	1,0
*ln(PM_1)	(Sabit)	-1,427 (-1,497 - -1,356)		-39,831	0,000			
	ln(PM_{10})	0,584 (0,571 - 0,597)	0,751	88,846	0,000	0,751	0,751	1,0
**ln(PM_1)	(Sabit)	-1,177 (-1,209 - -1,146)		-73,561	0,000			
	ln($PM_{2,5}$)	0,945 (0,935 - 0,954)	0,927	192,937	0,000	0,927	0,927	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

PM_{10}; F= 452659,066, p≤0,001, Adj.R^2= 0,987, SE= 213,7 — $PM_{2,5}$; F= 14141,81, p≤0,001, Adj.R^2= 0,698, SE= 74,87

ln(PM_1); F= 5732,289, p≤0,001, Adj.R^2= 0,484, SE= 1,18 — ln($PM_{2,5}$); F= 20594,83, p≤0,001, Adj.R^2= 0,77, SE= 0,77

*ln(PM_1); F= 7893,580, p≤0,001, Adj.R^2= 0,563, SE= 1,09 — **ln(PM_1); F= 37224,62, p≤0,001, Adj.R^2= 0,859, SE= 0,62

Tüm işletmelerin veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri oldukça düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 5.18 ve 5.19'da sunulmuştur.

5.6.2 Tüm İşletmelerin delme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Geleneksel regresyon yaklaşımı ile geliştirilen toplu girişli ve aşamalı doğrusal modellerde bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki düzeltilmiş belirlilik katsayısı düşük (R^2<%20) düzeyde kaldığından modellemede karar ağacı algoritması kullanılmasına karar verilmiştir. M5P algoritmasıyla regresyon analiz sonuçları Çizelge 5.54'de verilmiştir.

TAPM veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setinde elde edilmiş ve ham TAPM karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 25 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.55 ve 5.56'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.17'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil), silt+kil içeriği ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, silt+kil içeriği ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Veri setinin yaklaşık %13,70'i LM23'ü, %1,17'si LM19'u temsil etmektedir.

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik veri setinde elde edilmiş olmakla birlikte ham veri seti ile logaritmik veri seti arasındaki ilgileşim katsayısı farkı çok küçük olduğu için değerlendirme aşamasında ham veri setinin kullanılmasına karar verilmiştir. PM_{10} karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 23 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.57 ve 5.58'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.18'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil), malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, silt+kil içeriği ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Veri setinin %13,70'i LM20'yi, %1,63'ü LM13'ü temsil etmektedir.

$P_{M2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setinde elde edilmiştir. Buna göre, $PM_{2,5}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 22 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.59 ve 5.60'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.19'da verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, yan rüzgâr hızı (yan rüzgâr hızı dâhil), istasyon basıncı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler silt+kil içeriği, malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Veri setinin %10,43'ü LM13'ü, %0,96'sı LM22'yi temsil etmektedir.

Çizelge 5.54 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM veri setlerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	log(PM_{10})	ln(PM_{10})	1/PM_{10}
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	**0,6474**	0,6474	0,6459	0,6459	0,4982	**0,6245**	0,6245	0,6471	0,6471	0,5521
	MAE	**973,881**	0,9739	0,5274	1,2143	0,0168	**944,1098**	0,9441	0,5522	1,2713	0,0223
	RMSE	**1446,3514**	1,4464	0,6608	1,5214	0,0346	**1445,912**	1,4459	0,7038	1,6204	0,0402
	RAE (%)	**67,5217**	67,5219	70,8158	70,8144	78,7457	**69,2607**	69,2607	69,4272	69,4268	74,8531
	RRSE (%)	**76,2297**	76,2297	76,362	76,3614	86,723	**78,1119**	78,1119	76,2839	76,2843	83,3925
	Model (düğüm) sayısı	**25**	25	23	23	22	**23**	23	29	29	24
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	**0,6314**	0,6314	0,6228	0,624	0,4651	**0,6063**	0,6063	0,6279	0,6279	0,511
	MAE	**992,5271**	0,9925	0,5393	1,2405	0,0171	**969,3519**	0,9694	0,5641	1,2989	0,0231
	RMSE	**1471,2688**	1,4713	0,677	1,5569	0,0353	**1472,1276**	1,4721	0,718	1,6532	0,0415
	RAE (%)	**68,8048**	68,8051	72,4064	72,334	79,8477	**71,1044**	71,1044	70,9259	70,9252	77,6705
	RRSE (%)	**77,5318**	77,5317	78,2313	78,134	88,5068	**79,5156**	79,5157	77,8207	77,8209	85,9338
	Model (düğüm) sayısı	**25**	25	23	23	22	**23**	23	29	29	24
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	**0,5916**	0,5916	0,5993	0,5993	0,4715	**0,5792**	0,5792	0,6125	0,6125	0,5169
	MAE	**1024,4817**	1,0245	0,5541	1,2759	0,0167	**979,389**	0,9794	0,5747	1,3233	0,0228
	RMSE	**1512,4623**	1,5125	0,6884	1,5851	0,0333	**1491,816**	1,4918	0,7235	1,6658	0,0394
	RAE (%)	**71,8256**	71,8258	74,9417	74,9417	77,5455	**72,7286**	72,7284	72,7698	72,769	76,6771
	RRSE (%)	**80,7172**	80,717	80,0553	80,0553	88,4482	**81,6184**	81,6186	79,055	79,0557	85,7132
	Model (düğüm) sayısı	**25**	25	23	23	22	**23**	23	29	29	24
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}$/1000	log($PM_{2,5}$)	ln($PM_{2,5}$)	1/$PM_{2,5}$	PM_1	PM_1/1000	log(PM_1)	ln(PM_1)	1/PM_1
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	**0,6804**	0,6804	0,6687	0,6686	0,5874	0,5157	0,5157	**0,6474**	0,6474	0,6262
	MAE	**56,1971**	0,0562	0,3934	0,9058	0,1	39,2027	0,0392	**0,3789**	0,8724	0,4373
	RMSE	**99,8929**	0,0999	0,5236	1,2057	0,1797	87,9041	0,0879	**0,5471**	1,2598	0,7223
	RAE (%)	**64,7923**	64,7965	69,3264	69,3261	70,141	79,2305	79,2407	**68,0585**	68,0634	68,903
	RRSE (%)	**73,3029**	73,3038	74,3828	74,3835	80,9773	85,7387	85,7389	**76,2467**	76,2481	77,9897
	Model sayısı	**22**	22	24	24	24	21	21	**22**	22	22
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	**0,6594**	0,6594	0,6537	0,6536	0,5682	0,4928	0,4924	**0,6251**	0,6227	0,6073
	MAE	**58,093**	0,0581	0,4028	0,9276	0,1027	39,7315	0,0396	**0,3891**	0,8982	0,443
	RMSE	**102,4471**	0,1025	0,5328	1,2269	0,1827	89,2161	0,0893	**0,5602**	1,293	0,7359
	RAE (%)	**66,9616**	66,963	70,9866	70,9875	72,0435	80,2776	79,938	**69,8832**	70,066	69,7942
	RRSE (%)	**75,1596**	75,1621	75,6754	75,6783	82,2872	86,9972	87,0204	**78,0542**	78,2427	79,4339
	Model (düğüm) sayısı	**22**	22	24	24	24	21	21	**22**	22	22
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	**0,622**	0,622	0,6397	0,6397	0,5828	0,4531	0,4531	**0,6063**	0,6061	0,5734
	MAE	**58,9702**	0,059	0,4158	0,9573	0,1104	39,2847	0,0393	**0,3933**	0,9058	0,4636
	RMSE	**104,0149**	0,104	0,537	1,2365	0,1804	88,8877	0,0889	**0,5565**	1,2814	0,7331
	RAE (%)	**69,489**	69,4942	73,1933	73,1939	75,9638	80,7844	80,7699	**72,1112**	72,1433	73,4918
	RRSE (%)	**78,4811**	78,4823	76,8641	76,8644	81,4549	89,1931	89,1904	**79,5815**	79,5949	81,9341
	Model (düğüm) sayısı	**22**	22	24	24	24	21	21	**22**	22	22

Çizelge 5.55 Tüm İşletmelerin delme faaliyeti TAPM salınım kestirim kuralları

Model	TAPM salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0,42, SLT&CLY ≤ 5,645, DWPT ≤ 7,75
LM2	MSTR ≤ 1,255 - > 0,42, SLT&CLY ≤ 5,645, DWPT ≤ 7,75
LM3	MSTR ≤ 1,255, SLT&CLY ≤ 10,33 - > 5,645, DWPT ≤ 7,75
LM4	MSTR ≤ 0,215, SLT&CLY ≤ 10,33, DWPT > 7,75
LM5	MSTR ≤ 1,255 - > 0,215, SLT&CLY ≤ 10,33, DWPT ≤ 10,25 - > 7,75
LM6	MSTR ≤ 1,255 - > 0,215, SLT&CLY ≤ 10,33, DWPT > 10,25
LM7	MSTR ≤ 1,255, SLT&CLY ≤ 22,03 - > 10,33, DWPT ≤ 7,35, WS ≤ 0,95
LM8	MSTR ≤ 1,255, SLT&CLY ≤ 22,03 - > 10,33, DWPT ≤ 7,35, WS > 0,95
LM9	MSTR ≤ 1,255, SLT&CLY ≤ 22,03 - > 10,33, DWPT ≤ 8,45 - > 7,35
LM10	MSTR ≤ 1,255, SLT&CLY ≤ 22,03 - > 10,33, DWPT > 8,45
LM11	MSTR ≤ 1,255, SLT&CLY ≤ 46,23 - > 22,03, DWPT ≤ 4,15
LM12	MSTR ≤ 1,255, SLT&CLY > 46,23, DWPT ≤ 4,15
LM13	MSTR ≤ 0,655, SLT&CLY > 22,03, DWPT > 4,15
LM14	MSTR ≤ 1,255 - > 0,655, SLT&CLY ≤ 30,9 - > 22,03, DWPT > 4,15
LM15	MSTR ≤ 1,03 - > 0,655, SLT&CLY > 30,9, DWPT > 4,15
LM16	MSTR ≤ 1,255 - > 1,03, SLT&CLY > 30,9, DWPT > 4,15
LM17	MSTR ≤ 1,81 - > 1,255, SLT&CLY ≤ 2,425, HW ≤ 0,45
LM18	MSTR ≤ 1,81 - > 1,255, SLT&CLY ≤ 2,425, HW > 0,45
LM19	MSTR ≤ 1,56 - > 1,255, SLT&CLY > 2,425, DWPT ≤ 11,35, HW ≤ -0,45
LM20	MSTR ≤ 1,56 - > 1,255, SLT&CLY > 2,425, DWPT ≤ 11,35, HW > -0,45
LM21	MSTR ≤ 1,81 - > 1,56, SLT&CLY > 2,425, DWPT ≤ 11,35
LM22	MSTR ≤ 1,81 - > 1,255, SLT&CLY > 2,425, DWPT > 11,35
LM23	**MSTR > 1,81, DWPT ≤ 10,45, SLT&CLY ≤ 2,56**
LM24	MSTR > 1,81, DWPT ≤ 10,45, SLT&CLY > 2,56
LM25	MSTR > 1,81, DWPT > 10,45

Çizelge 5.56 Tüm işletmelerin delme faaliyeti TAPM salınım kestirim denklemleri

Model	TAPM salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,467 * WS + 1,16 * DWPT + 0,272 * HW - 105,604 * MSTR - 5,135 * SLT&CLY + 1700,208
LM2	-0,467 * WS + 1,16 * DWPT + 0,272 * HW - 70,276 * MSTR - 5,135 * SLT&CLY + 590,779
LM3	-0,467 * WS + 1,16 * DWPT + 0,272 * HW - 524,756 * MSTR - 5,477 * SLT&CLY + 565,568
LM4	-0,467 * WS - 11,075 * DWPT + 0,272 * HW - 75,555 * MSTR + 7,393 * SLT&CLY + 1905,89
LM5	-0,467 * WS - 24,774 * DWPT + 0,272 * HW - 31,48 * MSTR + 7,304 * SLT&CLY + 1790,245
LM6	-0,467 * WS - 15,011 * DWPT + 0,272 * HW - 31,48 * MSTR + 94,943 * SLT&CLY + 432,838
LM7	-32,213 * WS - 0,730 * DWPT + 0,272 * HW + 1,440 * MSTR + 0,030 * SLT&CLY + 1822,531
LM8	-46,404 * WS - 0,730 * DWPT + 0,272 * HW + 1,440 * MSTR + 0,030 * SLT&CLY + 1139,853
LM9	-30,033 * WS - 0,730 * DWPT + 0,272 * HW + 1,440 * MSTR + 0,030 * SLT&CLY + 2134,737
LM10	-14,279 * WS - 4,745 * DWPT + 0,272 * HW + 1,440 * MSTR + 0,030 * SLT&CLY + 1043,991
LM11	-0,467 * WS + 6,140 * DWPT + 0,272 * HW + 1,440 * MSTR + 8,943 * SLT&CLY + 71,715
LM12	-0,467 * WS + 6,140 * DWPT + 0,272 * HW + 1,440 * MSTR + 14,355 * SLT&CLY + 983,370
LM13	-0,467 * WS + 2,50 * DWPT + 0,272 * HW - 1274,756 * MSTR + 88,78 * SLT&CLY - 1416,97
LM14	-0,467 * WS + 2,50 * DWPT + 0,272 * HW + 15,494 * MSTR - 1,156 * SLT&CLY + 2272,021
LM15	-0,467 * WS + 2,50 * DWPT + 0,272 * HW - 48,692 * MSTR + 0,745 * SLT&CLY + 1828,059
LM16	-0,467 * WS + 2,50 * DWPT + 0,272 * HW - 103,088 * MSTR + 0,745 * SLT&CLY + 1243,284
LM17	-0,93 * WS - 15,984 * DWPT + 47,843 * HW + 16,31 * MSTR - 2,027 * SLT&CLY + 4893,12
LM18	-0,93 * WS - 15,984 * DWPT + 83,913 * HW + 16,31 * MSTR - 2,027 * SLT&CLY + 5855,94
LM19	-0,93 * WS - 13,638 * DWPT + 20,49 * HW + 58,358 * MSTR - 1,403 * SLT&CLY + 629,015
LM20	-0,93 * WS - 13,638 * DWPT + 20,49 * HW + 58,358 * MSTR - 1,403 * SLT&CLY + 1233,43
LM21	-0,93 * WS - 13,638 * DWPT + 34,174 * HW + 58,358 * MSTR - 1,403 * SLT&CLY + 2233,85
LM22	-0,93 * WS - 20,12 * DWPT + 17,612 * HW + 161,965 * MSTR - 1,403 * SLT&CLY + 305,201
LM23	**0,739 * WS + 7,447 * DWPT + 3,032 * HW - 1,818 * MSTR + 0,986 * SLT&CLY + 114,570**
LM24	1,159 * WS - 0,032 * DWPT + 156,155 * HW - 1,819 * MSTR + 1,389 * SLT&CLY + 354,850
LM25	1,266 * WS + 0,59 * DWPT + 2,015 * HW - 222,272 * MSTR + 0,981 * SLT&CLY + 1859,24

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde elde edilmiştir. Buna göre, log(PM_1) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 22 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 5.61 ve 5.62'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.20'de verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, yan rüzgâr hızı, çiğ noktası sıcaklığı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler hava sıcaklığı, silt+kil içeriği, malzeme nemi ve istasyon basıncıdır. Veri setinin yaklaşık %11,48'i LM13'ü, %1,55'i LM9'u temsil etmektedir.

Çizelge 5.57 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim kuralları

Model	PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0,26, RH ≤ 50,35, SP ≤ 857,15
LM2	MSTR ≤ 1,255 - > 0,26, RH ≤ 50,35, SP ≤ 857,15
LM3	MSTR ≤ 0,62, RH ≤ 50,35, SP ≤ 863,35 - > 857,15
LM4	MSTR ≤ 1,255 - > 0,62, RH ≤ 50,35, SP ≤ 863,35 - > 857,15, SLT&CLY ≤ 30,9
LM5	MSTR ≤ 1,03 - > 0,62, RH ≤ 50,35, SP ≤ 863,35 - > 857,15, SLT&CLY > 30,9
LM6	MSTR ≤ 1,255 - > 1,03, RH ≤ 50,35, SP ≤ 863,35 - > 857,15, SLT&CLY > 30,9
LM7	MSTR ≤ 1,255, RH ≤ 31,8, SP > 863,35
LM8	MSTR ≤ 1,255, RH ≤ 36,65 - > 31,8, SP > 863,35
LM9	MSTR ≤ 1,255, RH ≤ 50,35 - > 36,65, SP > 863,35
LM10	MSTR ≤ 1,255, RH ≤ 84,25 - > 50,35, DWPT ≤ 4,45
LM11	MSTR ≤ 1,255, RH > 84,25, DWPT ≤ 4,45
LM12	MSTR ≤ 1,255, RH > 50,35, DWPT ≤ 10,25 - > 4,45
LM13	MSTR ≤ 1,255, RH > 50,35, DWPT > 10,25, SLT&CLY ≤ 2,805
LM14	MSTR ≤ 1,255, RH > 50,35, DWPT > 10,25, SLT&CLY > 2,805
LM15	MSTR ≤ 1,81 - > 1,255, SLT&CLY ≤ 2,425, HW ≤ 0,45
LM16	MSTR ≤ 1,81 - > 1,255, SLT&CLY ≤ 2,425, HW > 0,45
LM17	MSTR ≤ 1,81 - > 1,255, SLT&CLY > 2,425, SP ≤ 863,65, DWPT ≤ 10,45
LM18	MSTR ≤ 1,81 - > 1,255, SLT&CLY > 2,425, SP ≤ 863,65, DWPT > 10,45
LM19	MSTR ≤ 1,81 - > 1,255, SLT&CLY > 2,425, SP > 863,65
LM20	**MSTR > 1,81, DWPT ≤ 10,45, SLT&CLY ≤ 2,56**
LM21	MSTR > 1,81, DWPT ≤ 10,45, SLT&CLY > 2,56
LM22	MSTR > 1,81, DWPT > 10,45, SLT&CLY ≤ 0,9
LM23	MSTR > 1,81, DWPT > 10,45, SLT&CLY > 0,9

Çizelge 5.58 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim denklemleri

Model	PM_{10} salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,985 * RH + 0,386 * SP - 0,267 * WS - 0,257 * DWPT + 0,254 * HW - 31,02 * MSTR + 0,11 * SLT&CLY + 1272,63
LM2	-26,26 * RH + 0,386 * SP - 0,267 * WS - 0,257 * DWPT + 0,254 * HW - 12,03 * MSTR + 0,11 * SLT&CLY + 1466,42
LM3	-0,24 * RH + 0,585 * SP - 0,267 * WS - 0,257 * DWPT + 0,254 * HW + 35,228 * MSTR + 3,03 * SLT&CLY + 644,00
LM4	-0,24 * RH + 0,585 * SP - 0,267 * WS - 0,257 * DWPT + 0,254 * HW - 157,38 * MSTR + 1,53 * SLT&CLY + 1913,97
LM5	-0,24 * RH + 0,585 * SP - 0,267 * WS - 0,257 * DWPT + 0,254 * HW - 181,24 * MSTR + 1,53 * SLT&CLY + 1587,32
LM6	-0,24 * RH + 0,585 * SP - 0,267 * WS - 0,257 * DWPT + 0,254 * HW - 268,41 * MSTR + 1,53 * SLT&CLY + 866,16
LM7	-1,467 * RH - 0,898 * SP - 0,267 * WS - 0,257 * DWPT + 0,254 * HW + 1,8 * MSTR + 0,4 * SLT&CLY + 1547,99
LM8	-1,467 * RH - 0,898 * SP - 0,267 * WS - 0,257 * DWPT + 0,254 * HW + 1,8 * MSTR + 0,4 * SLT&CLY + 2111,13
LM9	-4,106 * RH - 0,898 * SP - 0,267 * WS - 0,257 * DWPT + 0,254 * HW + 1,8 * MSTR + 0,4 * SLT&CLY + 1159,07
LM10	-0,16 * RH + 0,012 * SP - 0,267 * WS + 1,753 * DWPT + 0,254 * HW + 0,336 * MSTR + 0,38 * SLT&CLY + 415,63
LM11	-0,16 * RH + 0,012 * SP - 0,267 * WS + 1,753 * DWPT + 0,254 * HW + 0,336 * MSTR + 0,38 * SLT&CLY + 99,97
LM12	-0,16 * RH + 0,012 * SP - 0,267 * WS - 2,103 * DWPT + 0,254 * HW + 0,336 * MSTR + 0,2 * SLT&CLY + 1290,30
LM13	-0,16 * RH + 0,012 * SP - 0,267 * WS - 3,982 * DWPT + 0,254 * HW + 0,336 * MSTR + 0,2 * SLT&CLY + 419,13
LM14	-0,16 * RH + 0,012 * SP - 0,267 * WS - 3,982 * DWPT + 0,254 * HW + 0,336 * MSTR + 0,2 * SLT&CLY + 860,048
LM15	-0,128 * RH + 2,16 * SP - 0,267 * WS - 16,253 * DWPT + 48,69 * HW + 16,64 * MSTR - 2,81 * SLT&CLY + 2717,62
LM16	-0,128 * RH + 2,16 * SP - 0,267 * WS - 16,253 * DWPT + 92,55 * HW + 16,64 * MSTR - 2,81 * SLT&CLY + 3872,87
LM17	-0,128 * RH + 3,8 * SP - 0,267 * WS - 17,97 * DWPT + 0,254 * HW + 16,64 * MSTR - 1,91 * SLT&CLY - 2506,94
LM18	-0,128 * RH + 3,8 * SP - 0,267 * WS - 18,438 * DWPT + 0,254 * HW + 16,64 * MSTR - 1,91 * SLT&CLY - 2806,18
LM19	-0,128 * RH + 5,096 * SP - 0,267 * WS - 17,36 * DWPT + 0,254 * HW + 16,64 * MSTR - 1,91 * SLT&CLY - 2335,62
LM20	**-0,052 * RH + 0,636 * SP + 0,976 * WS + 5,015 * DWPT + 1,852 * HW - 1,379 * MSTR + 0,65 * SLT&CLY - 459,15**
LM21	-0,052 * RH + 16,54 * SP + 1,4 * WS - 0,088 * DWPT + 121,878 * HW - 1,378 * MSTR + 0,9 * SLT&CLY - 13791,28
LM22	-0,052 * RH + 0,643 * SP + 1,74 * WS + 0,485 * DWPT + 0,578 * HW - 1,379 * MSTR + 3,88 * SLT&CLY - 219,38
LM23	-0,052 * RH + 0,643 * SP + 1,74 * WS + 0,485 * DWPT + 0,578 * HW - 1,379 * MSTR + 3,32 * SLT&CLY + 449,56

Çizelge 5.59 Tüm işletmelerin delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları

Model	$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 1,24, DWPT ≤ 2,45
LM2	MSTR ≤ 1,78 - > 1,24, DWPT ≤ 2,45, RH ≤ 65,05
LM3	MSTR ≤ 1,78 - > 1,24, DWPT ≤ 2,45, RH > 65,05
LM4	MSTR ≤ 0,305, DWPT ≤ 7,35 - > 2,45, RH ≤ 64,55
LM5	MSTR ≤ 0,305, DWPT ≤ 7,35 - > 2,45, RH > 64,55
LM6	MSTR ≤ 0,305, DWPT > 7,35
LM7	MSTR ≤ 1,78 - > 0,305, DWPT ≤ 6,75 - > 2,45, RH ≤ 83,95
LM8	MSTR ≤ 1,78 - > 0,305, DWPT ≤ 6,75 - > 2,45, RH > 83,95
LM9	MSTR ≤ 1,78 - > 0,305, DWPT ≤ 9,55 - > 6,75, RH ≤ 27,85
LM10	MSTR ≤ 1,78 - > 0,305, DWPT ≤ 9,55 - > 6,75, RH > 27,85, CW ≤ 0,55
LM11	MSTR ≤ 1,78 - > 0,305, DWPT ≤ 9,55 - > 6,75, RH ≤ 32,3 - > 27,85, CW > 0,55
LM12	MSTR ≤ 1,78 - > 0,305, DWPT ≤ 9,55 - > 6,75, RH > 32,3, CW > 0,55
LM13	**MSTR ≤ 0,99 - > 0,305, DWPT > 9,55**
LM14	MSTR ≤ 1,78 - > 0,99, DWPT > 9,55
LM15	MSTR > 1,78, SP ≤ 847,8, DWPT ≤ 4,75
LM16	MSTR > 1,78, SP ≤ 847,8, DWPT > 4,75
LM17	MSTR ≤ 4,045 - > 1,78, SP ≤ 850,45 - > 847,8, DWPT ≤ 10,55
LM18	MSTR > 4,045, SP ≤ 850,45 - > 847,8, DWPT ≤ 10,55
LM19	MSTR > 1,78, SP > 850,45, DWPT ≤ 10,55
LM20	MSTR > 1,78, SP > 847,8, DWPT > 10,55, SLT&CLY ≤ 0,9
LM21	MSTR > 1,78, SP > 847,8, DWPT > 10,55, SLT&CLY > 0,9, CW ≤ 1,25
LM22	MSTR > 1,78, SP > 847,8, DWPT > 10,55, SLT&CLY > 0,9, CW > 1,25

Çizelge 5.60 Tüm işletmelerin delme faaliyeti $PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri

Model	$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,01223 * RH - 1,62556 * SP - 1,20236 * WS - 0,18674 * DWPT + 0,2263 * CW + 7,65434 * MSTR - 0,0157 * SLT&CLY + 1454,431
LM2	0,46194 * RH - 0,50283 * SP + 84,63666 * WS - 0,18674 * DWPT + 0,2263 * CW + 10,96009 * MSTR - 0,0157 * SLT&CLY + 692,411
LM3	1,56501 * RH - 0,50283 * SP + 8,18025 * WS - 0,18674 * DWPT + 0,2263 * CW + 10,96009 * MSTR - 0,0157 * SLT&CLY + 803,727
LM4	0,07922 * RH - 0,02871 * SP - 0,08749 * WS + 0,16223 * DWPT + 0,0783 * CW - 0,06239 * MSTR + 0,02153 * SLT&CLY + 80,708
LM5	0,083 * RH - 0,02871 * SP - 0,08749 * WS + 0,16223 * DWPT + 0,0783 * CW - 0,06239 * MSTR + 0,02153 * SLT&CLY + 128,411
LM6	0,04584 * RH - 0,02871 * SP - 0,08749 * WS + 0,2213 * DWPT + 0,0783 * CW - 0,06239 * MSTR + 11,7466 * SLT&CLY + 56,763
LM7	1,13006 * RH - 0,03522 * SP - 0,08749 * WS + 0,09648 * DWPT + 0,3541 * CW + 23,09509 * MSTR + 0,8114 * SLT&CLY - 10,024
LM8	0,04239 * RH - 0,03522 * SP - 0,08749 * WS + 0,09648 * DWPT + 0,3541 * CW + 2,61712 * MSTR + 0,0578 * SLT&CLY + 43,162
LM9	0,07002 * RH - 0,03522 * SP - 0,08749 * WS + 0,10444 * DWPT + 1,6561 * CW + 0,75798 * MSTR + 0,00009 * SLT&CLY + 64,626
LM10	0,0375 * RH - 0,03522 * SP - 0,08749 * WS + 0,10444 * DWPT + 2,4003 * CW + 0,75798 * MSTR + 0,00009 * SLT&CLY + 93,751
LM11	0,0375 * RH - 0,03522 * SP - 0,08749 * WS + 0,10444 * DWPT + 2,1342 * CW + 0,75798 * MSTR + 0,00009 * SLT&CLY + 181,151
LM12	0,0375 * RH - 0,03522 * SP - 0,08749 * WS + 0,10444 * DWPT + 2,1342 * CW + 0,75798 * MSTR + 0,00009 * SLT&CLY + 110,180
LM13	**-1,3477 * RH - 6,963 * SP - 0,0875 * WS + 0,0998 * DWPT + 0,132 * CW + 0,477 * MSTR + 3,302 * SLT&CLY + 5991,210**
LM14	-0,05008 * RH - 0,232 * SP - 0,0875 * WS - 11,9075 * DWPT - 5,4634 * CW + 0,47734 * MSTR + 0,0926 * SLT&CLY + 368,010
LM15	0,00137 * RH + 0,066 * WS - 0,044 * DWPT - 0,0066 * CW - 0,1108 * MSTR + 0,0215 * SLT&CLY + 16,033
LM16	0,00137 * RH + 2,981 * WS - 0,028 * DWPT - 3,595 * CW - 0,1108 * MSTR + 0,0215 * SLT&CLY + 9,790
LM17	0,00137 * RH - 0,05637 * SP - 0,0854 * WS + 0,0141 * DWPT + 0,24256 * CW - 0,39026 * MSTR + 0,21234 * SLT&CLY + 70,580
LM18	0,00137 * RH - 0,05637 * SP - 0,0854 * WS + 0,0141 * DWPT + 0,24256 * CW - 0,31198 * MSTR + 0,21234 * SLT&CLY + 55,695
LM19	0,00137 * RH - 0,05371 * SP - 0,0854 * WS + 0,0141 * DWPT + 0,24256 * CW - 0,15338 * MSTR + 0,1969 * SLT&CLY + 68,937
LM20	0,00137 * RH - 0,0457 * SP - 0,0854 * WS + 0,03623 * DWPT + 2,29774 * CW - 0,17563 * MSTR + 0,29234 * SLT&CLY + 60,372
LM21	0,00137 * RH - 0,0457 * SP - 0,0854 * WS + 0,03623 * DWPT + 5,24331 * CW - 0,17563 * MSTR + 0,2660 * SLT&CLY + 81,671
LM22	0,00137 * RH - 0,0457 * SP - 0,0854 * WS + 0,03623 * DWPT + 11,60175 * CW - 0,17563 * MSTR + 0,2660 * SLT&CLY + 161,205

Çizelge 5.61 Tüm işletmelerin delme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları

Model	log(PM_1) salınım kestirim kuralları
LM1	TMP ≤ 12,35, MSTR ≤ 0,29
LM2	TMP ≤ 12,35, MSTR ≤ 1,06 - > 0,29
LM3	TMP ≤ 12,35, MSTR ≤ 1,24 - > 1,06
LM4	TMP ≤ 12,35, MSTR ≤ 1,39 - > 1,24
LM5	TMP ≤ 12,35, MSTR ≤ 1,75 - > 1,39
LM6	TMP ≤ 12,35, MSTR ≤ 1,79 - > 1,75
LM7	TMP ≤ 12,35, MSTR > 1,79
LM8	TMP > 12,35, MSTR ≤ 0,975, SP ≤ 863,35, SLT&CLY ≤ 29,135, RH ≤ 35,05
LM9	TMP > 12,35, MSTR ≤ 1,28 - > 0,975, SP ≤ 863,35, SLT&CLY ≤ 29,135, RH ≤ 35,05
LM10	TMP > 12,35, MSTR ≤ 0,275, SP ≤ 863,35, SLT&CLY ≤ 29,135, RH > 35,05
LM11	TMP > 12,35, MSTR ≤ 1,28 - > 0,275, SP ≤ 844,35, SLT&CLY ≤ 29,135, RH > 35,05
LM12	TMP > 12,35, MSTR ≤ 1,28 - > 0,275, SP ≤ 863,35 - > 844,35, SLT&CLY ≤ 29,135, RH > 35,05
LM13	**TMP > 12,35, MSTR ≤ 1,28, SP ≤ 863,35, SLT&CLY > 29,135**
LM14	TMP > 12,35, MSTR ≤ 1,28, SP > 863,35
LM15	TMP > 12,35, MSTR > 1,28, SP ≤ 843,95
LM16	TMP > 12,35, MSTR ≤ 4,76 - > 1,28, SP ≤ 847,45 - > 843,95
LM17	TMP > 12,35, MSTR > 4,76, SP ≤ 847,45 - > 843,95
LM18	TMP > 12,35, MSTR ≤ 5,85 - > 1,28, SP ≤ 849,7 - > 847,45
LM19	TMP > 12,35, MSTR > 5,85, SP ≤ 849,7 - > 847,45
LM20	TMP > 12,35, MSTR > 1,28, SP ≤ 850,45 - > 847,75
LM21	TMP > 12,35, MSTR ≤ 1,45 - > 1,28, SP > 850,45
LM22	TMP > 12,35, MSTR > 1,45, SP > 850,45

Çizelge 5.62 Tüm işletmelerin delme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_1) salınım kestirim denklemleri
LM1	0,00047 * TMP - 0,00003 * RH - 0,00038 * SP + 1,5386 * MSTR + 0,00003 * SLT&CLY + 1,47
LM2	-0,04885 * TMP - 0,00003 * RH - 0,00038 * SP + 0,035 * MSTR + 0,00003 * SLT&CLY + 1,21
LM3	-0,00651 * TMP - 0,00003 * RH - 0,00038 * SP + 0,077 * MSTR + 0,00003 * SLT&CLY + 1,40
LM4	-0,00071 * TMP - 0,00003 * RH - 0,00038 * SP - 0,0492 * MSTR + 0,00003 * SLT&CLY + 2,50
LM5	-0,00071 * TMP - 0,00003 * RH - 0,00038 * SP + 0,0314 * MSTR + 0,00003 * SLT&CLY + 1,82
LM6	-0,00071 * TMP - 0,00003 * RH - 0,00038 * SP + 0,0422 * MSTR + 0,00003 * SLT&CLY + 2,15
LM7	-0,0011 * TMP - 0,00003 * RH - 0,03618 * SP - 0,0030 * MSTR + 0,00003 * SLT&CLY + 31,40
LM8	-0,00008 * TMP + 0,00007 * RH + 0,00059 * SP + 0,0593 * MSTR + 0,0001 * SLT&CLY + 0,18
LM9	-0,00008 * TMP + 0,00007 * RH + 0,00059 * SP + 0,1063 * MSTR + 0,0001 * SLT&CLY + 0,75
LM10	0,00054 * TMP + 0,01522 * RH - 0,00119 * SP + 3,3668 * MSTR + 0,0001 * SLT&CLY + 0,507
LM11	0,00375 * TMP + 0,00022 * RH - 0,00632 * SP - 0,00804 * MSTR + 0,0001 * SLT&CLY + 6,12
LM12	0,0477 * TMP + 0,00022 * RH + 0,1334 * SP - 0,00804 * MSTR + 0,0001 * SLT&CLY - 113,83
LM13	**-0,00008 * TMP + 0,0167 * RH - 0,00027 * SP - 0,14206 * MSTR + 0,01893 * SLT&CLY - 0,25**
LM14	-0,00008 * TMP + 0,00007 * RH + 0,050 * SP - 0,0006 * MSTR + 0,00938 * SLT&CLY - 43,579
LM15	-0,00007 * TMP + 0,0002 * RH - 0,0003 * SP - 0,0014 * MSTR + 0,00007 * SLT&CLY + 0,507
LM16	-0,00007 * TMP + 0,0002 * RH - 0,0003 * SP + 0,0006 * MSTR + 0,00007 * SLT&CLY + 0,312
LM17	-0,00007 * TMP + 0,0002 * RH - 0,0003 * SP - 0,00008 * MSTR + 0,00007 * SLT&CLY + 0,426
LM18	-0,00007 * TMP + 0,0074 * RH - 0,0006 * SP + 0,20 * CW - 0,003 * MSTR + 0,00007 * SLT&CLY + 0,556
LM19	-0,00007 * TMP + 0,0007 * RH - 0,0006 * SP + 0,015 * CW - 0,004 * MSTR + 0,00007 * SLT&CLY + 0,951
LM20	-0,00007 * TMP + 0,0002 * RH - 0,0005 * SP - 0,0018 * CW - 0,004 * MSTR - 0,0005 * SLT&CLY + 0,455
LM21	-0,00007 * TMP + 0,0002 * RH - 0,0005 * SP - 0,0006 * CW - 0,002 * MSTR - 0,0007 * SLT&CLY + 0,485
LM22	-0,00007 * TMP + 0,0002 * RH - 0,0005 * SP + 0,042 * CW - 0,002 * MSTR - 0,0003 * SLT&CLY + 0,694

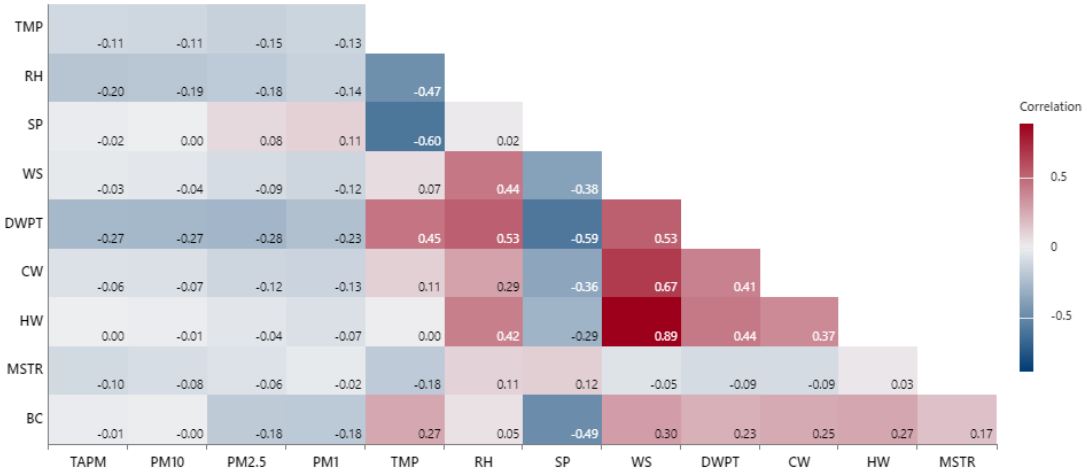
6. YÜKLEME FAALİYETİNDE PM SALINIMI MODELLENMESİ

6.1 Giriş

Bu çalışma kapsamında, Sivas ilinde yer alan bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde yükleme faaliyeti sırasında eş zamanlı ölçülen PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine özellikleri ile nem içeriği verisi bir tablolama programına aktarılarak işlenmiştir. Yükleme faaliyetleri için yapılan istatistiksel ve PM salınım çalışmaları delme faaliyetleri ile benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla bu bölümde yapılan çalışmaların aşamaları Bölüm 5.1'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

6.2 Alçıtaşı İşletmesi Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Alçıtaşı işletmesinde, yükleme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan ve hesaplanan tüm parametrelerin ilgileşim matrisi Şekil 6.1'de verilmiştir. Her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile her bir bağımsız değişken (termal konfor parametreleri, makine özellikleri ve nem içerikleri) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%30) düzeyde olduğundan, herhangi bir bağımlı değişkenin üzerinde etkinin tek başına bağımsız değişken ile açıklamak mümkün değildir. Bağımsız değişkenler dikkate alındığında, hava sıcaklığı, bağıl nem ve istasyon basıncı ile arasında, normal negatif yönlü ilgileşim (%70>R≥%40), çiğ noktası sıcaklığı normal pozitif yönlü normal ilgileşim bulunmaktadır. Rüzgâr hızı, karşı rüzgâr hızı ile arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70), yan rüzgâr hızı ve çiğ noktası sıcaklığı arasında ise pozitif yönlü normal ilgileşim olduğu görülmüştür. Benzer şekilde; bağıl nemin, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil) ve çiğ noktası sıcaklığı ile arasında normal pozitif yönlü ilgileşim olduğu da söylenebilmektedir.



Şekil 6.1 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti parametrik ilgileşim matrisi

6.2.1 Regresyon analizi

Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınımının normallik test analiz sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Ham verilerden dönüştürülen doğal logaritmik ve logaritmik veri setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerleri literatürde belirtilen aralıktadır ve normal dağılıma uygundur. Diğer taraftan, TAPM ve PM_{10} ham verileri çarpıklık ve basıklık değerlerine göre normal dağılım göstermesine rağmen, düzeltilmiş belirlilik katsayılarının çok düşük ($R^2 \leq \%16,9$) olması ve çok geniş bir aralığa yayılmış olduklarından dolayı bu verilerin regresyon analiz sonuçları değerlendirilmemiştir.

Çizelge 6.1 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınımı normallik test sonuçları

Tür	PM salınımı (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
ham	**TAPM**	**1407,17 ± 2070,63**	**294,6 (1,8 - 6527,9)**	**1,494**	**0,781**	**<0,001**
	PM_{10}	**1182,06 ± 2032,03**	**108,85 (1,7 - 6527,9)**	**1,711**	**1,463**	**<0,001**
	$PM_{2,5}$	22,87 ± 38,04	6,22 (0,79 - 513,12)	4,046	25,742	<0,001
	PM_1	4,5 ± 11,06	1 (0,16 - 287,54)	15,272	338,664	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,5 ± 0,87**	**2,47 (0,26 - 3,82)**	**-0,079**	**-1,010**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**2,21 ± 0,95**	**2,04 (0,23 - 3,82)**	**0,348**	**-1,108**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**0,97 ± 0,57**	**0,79 (-0,1 - 2,71)**	**0,473**	**-0,877**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,24 ± 0,58**	**0 (-0,8 - 2,46)**	**0,539**	**-0,872**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,02 ± 0,04	0 (0 - 0,56)	5,097	38,432	<0,001
	1/PM_{10}	0,03 ± 0,05	0,01 (0 - 0,59)	3,438	18,433	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	**0,2 ± 0,19**	**0,16 (0 - 1,27)**	**1,080**	**0,964**	**<0,001**
	1/PM_1	**1,1 ± 0,99**	**1 (0 - 6,25)**	**0,964**	**0,704**	**<0,001**
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**5,76 ± 2**	**5,69 (0,59 - 8,78)**	**-0,079**	**-1,010**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**5,09 ± 2,19**	**4,69 (0,53 - 8,78)**	**0,348**	**-1,108**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,23 ± 1,31**	**1,83 (-0,24 - 6,24)**	**0,473**	**-0,877**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**0,54 ± 1,33**	**0 (-1,83 - 5,66)**	**0,539**	**-0,871**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	**1,41 ± 2,07**	**0,29 (0 - 6,53)**	**1,494**	**0,781**	**<0,001**
	PM_{10}/1000	**1,18 ± 2,03**	**0,11 (0 - 6,53)**	**1,711**	**1,463**	**<0,001**
	$PM_{2,5}$/1000	0,02 ± 0,04	0,01 (0 - 0,51)	4,045	25,721	**<0,001**
	PM_1/1000	0 ± 0,01	0 (0 - 0,29)	15,289	339,365	**<0,001**

Yükleme faaliyetinde örneklenen ve normal dağılım gösteren PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri Çizelge 6.2'de verilmiştir. Buna göre; TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ ölçüm değerlerinin sonuçlarına bakıldığında Eylül 2021 ayındaki ölçüm değerleri diğer aylardan anlamlı olarak farklılık göstermektedir. ln(TAPM) için; Temmuz 2020 ile Ağustos 2020 arasında anlamlı farklılık yokken, diğer aylardaki ölçümler ile Temmuz 2020 ayındaki ölçümler arasında anlamlı farklılıklar vardır. Ağustos 2020, Temmuz 2020 ve Temmuz 2021 aylarındaki ölçüm değerileri arasında anlamlı farklılık yokken diğer aylarla arasında anlamlı farklılıklar vardır. Eylül 2020, Ekim 2020, Mayıs 2021, Temmuz 2021 ve Ağustos 2021 ayları arasında anlamlı farklılık yokken, diğer aylarla bu aylar arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır. Sadece, Temmuz 2021 ayı ile Ağustos 2020 ayı arasında da anlamlı farklılık yoktur. Haziran 2021 ayı ile diğer tüm aylar arasında anlamlı farklılıklar vardır. Eylül 2021 ayı ile de tüm aylar arasında da anlamlı farklılıklar vardır. Bağımsız değerler içinde TMP değeri Ekim 2020 ve Mayıs 2021 aylarındaki ölçüm değerleri arasında anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır. Eylül 2020 ve Eylül 2021 aylarındaki ölçüm değerleri diğer aylardaki ölçüm değerlerinden anlamlı olarak farklılık göstermektedir.

Çizelge 6.2 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri

	Parametre	Ay	Temmuz 2020	Ağustos 2020	Eylül 2020	Ekim 2020	Mayıs 2021	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	p
Alçıtaşı İşletmesi	log(TAPM)	Tukey	3,09 ± 0,59^{e}	2,93 ± 0,76^{de}	2,57 ± 1,02^{c}	2,53 ± 0,65^{c}	2,49 ± 0,88^{c}	2,11 ± 0,86^{b}	2,75 ± 0,77^{cd}	2,5 ± 0,61^{c}	1,37 ± 0,81^{a}	≤0,001
	ln(TAPM)	Tukey	7,12 ± 1,35^{e}	6,75 ± 1,74^{de}	5,91 ± 2,36^{c}	5,83 ± 1,49^{c}	5,72 ± 2,02^{c}	4,87 ± 1,97^{b}	6,34 ± 1,78^{cd}	5,76 ± 1,39^{c}	3,16 ± 1,87^{a}	≤0,001
	log(PM_{10})	Tukey	2,82 ± 0,77^{f}	2,71 ± 0,9^{ef}	2,33 ± 1,13^{cd}	2,25 ± 0,7^{cd}	2,21 ± 0,96^{cd}	1,78 ± 0,9^{b}	2,47 ± 0,9^{de}	2,09 ± 0,69^{bc}	1,14 ± 0,74^{a}	≤0,001
	ln(PM_{10})	Tukey	6,5 ± 1,77^{f}	6,24 ± 2,07^{ef}	5,37 ± 2,59^{cd}	5,18 ± 1,61^{cd}	5,1 ± 2,21^{cd}	4,1 ± 2,07^{b}	5,69 ± 2,07^{de}	4,82 ± 1,6^{b}	2,64 ± 1,7^{a}	≤0,001
	log($PM_{2,5}$)	Tukey	1,42 ± 0,53^{d}	1,01 ± 0,57^{c}	0,96 ± 0,55^{c}	1,36 ± 0,42^{d}	1,09 ± 0,55^{c}	0,69 ± 0,51^{b}	0,98 ± 0,61^{c}	0,7 ± 0,34^{b}	0,42 ± 0,31^{a}	≤0,001
	ln($PM_{2,5}$)	Tukey	3,26 ± 1,21^{d}	2,33 ± 1,31^{c}	2,2 ± 1,27^{c}	3,12 ± 0,97^{d}	2,5 ± 1,27^{c}	1,59 ± 1,18^{b}	2,26 ± 1,4^{c}	1,61 ± 0,79^{b}	0,98 ± 0,7^{a}	≤0,001
	log(PM_{1})	Tukey	0,67 ± 0,49^{e}	0,17 ± 0,52^{c}	0,28 ± 0,46^{cd}	0,78 ± 0,45^{e}	0,39 ± 0,59^{d}	-0,08 ± 0,49^{a}	0,13 ± 0,58^{bc}	-0,05 ± 0,28^{ab}	-0,23 ± 0,28^{a}	≤0,001
	ln(PM_{1})	Tukey	1,55 ± 1,12^{e}	0,38 ± 1,2^{c}	0,64 ± 1,05^{cd}	1,8 ± 1,04^{e}	0,91 ± 1,36^{d}	-0,17 ± 1,12^{a}	0,3 ± 1,34^{bc}	-0,11 ± 0,65^{ab}	-0,52 ± 0,65^{a}	≤0,001
	TMP	Tukey	26,58 ± 0,54^{de}	27,64 ± 1,79^{e}	29,88 ± 2,9^{f}	22,04 ± 2,76^{b}	20,29 ± 9,37^{b}	24,23 ± 3,78^{c}	24,65 ± 1^{cd}	26,46 ± 4,9^{de}	16,01 ± 0,65^{a}	≤0,001
	RH	Tukey	39,45 ± 0,77^{c}	30 ± 5,32^{b}	17,18 ± 2,21^{a}	32,47 ± 9,36^{b}	33,36 ± 14,67^{b}	39,82 ± 6,03^{cd}	42,49 ± 3,07^{cd}	43,2 ± 15,8^{d}	59,41 ± 0,84^{e}	≤0,001
	SP	Tukey	862,05 ± 0,07^{a}	861,33 ± 1,08^{a}	864,72 ± 0,08^{c}	868,72 ± 0,68^{e}	866 ± 3,08^{d}	864,04 ± 0,85^{c}	862,81 ± 2,24^{b}	862,86 ± 0,72^{b}	864,61 ± 0,09^{c}	≤0,001
	WS	Tukey	2,35 ± 1^{de}	2,68 ± 1,21^{e}	0,92 ± 0,76^{b}	0,39 ± 0,49^{a}	0,71 ± 1,21^{ab}	1,1 ± 0,93^{b}	3,36 ± 1,37^{f}	1,99 ± 1,09^{cd}	1,88 ± 0,72^{c}	≤0,001
	DWPT	Tukey	11,67 ± 0,55^{e}	8,26 ± 1,7^{cd}	2,2 ± 1,23^{a}	4,29 ± 2,11^{b}	1,85 ± 6,7^{a}	9,52 ± 2,03^{d}	11,02 ± 0,73^{e}	11,67 ± 2,26^{e}	8,11 ± 0,61^{c}	≤0,001
	CW	Tukey	0,65 ± 0,43^{b}	1,6 ± 0,99^{f}	0,76 ± 0,76^{bc}	0,18 ± 0,26^{a}	0,22 ± 0,4^{a}	0,64 ± 0,72^{b}	1,22 ± 0,91^{d}	1,43 ± 0,96^{df}	0,95 ± 0,51^{c}	≤0,001
	HW	Tukey	2,2 ± 1,03^{f}	1,1 ± 1,41^{d}	0,33 ± 0,41^{ab}	0,09 ± 0,53^{a}	0,64 ± 1,16^{bc}	0,53 ± 0,91^{b}	2,96 ± 1,43^{g}	0,97 ± 1,12^{cd}	1,58 ± 0,63^{e}	≤0,001
	MSTR	Tukey	0,9 ± 0^{a}	0,91 ± 0,67^{a}	1,26 ± 0,52^{bc}	1,18 ± 0,32^{b}	1,53 ± 0,15^{e}	1,46 ± 0,69^{de}	1,34 ± 0,41^{cd}	0,99 ± 0,19^{a}	3,05 ± 0,15^{f}	≤0,001

a-f: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (PM ölçüm verileri)

a-f Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (Termal konfor parametreleri ve laboratuvar ölçüm verileri)

TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Önce veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu araştırılmış, uygunluğu sağlayamayan ham veri setleri dönüştürülmüştür. Regresyon modellerinde, ham ve ln-dönüştürülmüş veri setleri kullanılmış ve PM salınım kestirim denklemleri Çizelge 6.3'de verilmiştir. En güçlü ilgileşim R=0,991 ile PM_{10} ve TAPM, en zayıf ilgileşim R=0,701 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM) veri setleri arasındadır. $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10}, PM_1 ile diğer PM'ler arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değeri logaritmik ve doğal logaritmiğe dönüştürülmüş veri setlerinde veri setlerinde elde edilmiştir. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımı arasında yüksek ilgileşim olduğu için, herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları da makul doğruluk payı ile belirlenebilmektedir.

Çizelge 6.3 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-186,385 (-198,976 - -173,80)		-29,028	0,000			
	TAPM	0,972 (0,967 - 0,978)	0,991	379,12	0,000	0,991	0,991	1,0
ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,935 (-1,018 - -0,852)		-22,122	0,000			
	ln(TAPM)	0,550 (0,537 - 0,564)	0,840	79,358	0,000	0,840	0,840	1,0
*ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,425 (-0,487 - -0,363)		-13,423	0,000			
	ln(PM_{10}	0,522 (0,511 - 0,533)	0,872	91,368	0,000	0,872	0,872	1,0
ln(PM_1)	(Sabit)	-1,325 (-1,414 - -1,237)		-29,303	0,000			
	ln(TAPM)	0,375 (0,360 - 0,389)	0,701	50,481	0,000	0,701	0,701	1,0
*ln(PM_1)	(Sabit)	-1,004 (-1,074 - -0,934)		-28,250	0,000			
	ln(PM_{10})	0,360 (0,348 - 0,373)	0,738	56,209	0,000	0,738	0,738	1,0
**ln(PM_1)	(Sabit)	-0,866 (-0,895 - -0,837)		-58,289	0,000			
	ln($PM_{2,5}$)	0,760 (0,749 - 0,771)	0,932	132,433	0,000	0,932	0,932	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı
PM_{10}; F= 143736,163, p≤0,001, Adj.R^2= 0,982, SE= 272,74
*ln($PM_{2,5}$); F= 8348,075, p≤0,001, Adj.R^2= 0,760, SE= 0,64
*ln(PM_1); F= 3159,441, p≤0,001, Adj.R^2= 0,545, SE= 0,72
ln($PM_{2,5}$); F= 6297,633, p≤0,001, Adj.R^2= 0,705, SE= 0,71
ln(PM_1); F= 2548,287, p≤0,001, Adj.R^2= 0,491, SE= 0,76
**ln(PM_1); F= 17538,37, p≤0,001, Adj.R^2= 0,869, SE= 0,38

Modellemede ilk aşamada, normal dağılım gösteren tüm verilerin dâhil edildiği toplu giriş yöntemi üzerinden regresyon analizi ile kestirim modelleri oluşturulmuştur (Çizelge 6.4) Buna göre; logaritmik ve doğal logaritmik TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin regresyon modellerinin istatistiksel sonuçları anlamlı bulunmuş (p≤0,001) ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

a) ln(TAPM), log(TAPM), ln(PM_{10}) ve log(PM_{10}) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr dâhil) ve çiğ noktası sıcaklığının model üzerinde anlamlı bir etkisi olmayıp (VIF≥5) istasyon basıncı, malzeme nemi ve yükleyici kova hacminin model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. Log(TAPM) ve ln(TAPM)'nin düzeltilmiş belirlilik katsayısı %26,7, log(PM_{10}) ve ln(PM_{10})'un ise ≤%24,8'dir. Kısmi ilgileşim açısından değerlendirme yapıldığında, regresyon modellerinde en etkili parametreler malzeme nemi ve istasyon basıncı, en az etkili parametre ise yükleyici kova hacmidir.
b) ln($PM_{2,5}$), log($PM_{2,5}$), ln(PM_1) ve log(PM_1) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr dâhil) ve çiğ noktası sıcaklığının model üzerinde anlamlı bir etkisi olmayıp (VIF≥5) istasyon basıncı, malzeme nemi ve yükleyici kova hacminin model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. ln($PM_{2,5}$), log($PM_{2,5}$) için düzeltilmiş belirlilik katsayısı %35,9, ln(PM_1) ve log(PM_1) için ise %5,1

olarak bulunmuştur. Kısmi ilgileşim açısından değerlendirme yapıldığında, regresyon modellerinde en etkili parametreler yükleyici koca hacmi ve istasyon basıncı, en az etkili parametre ise malzeme nemidir.

Çizelge 6.4 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti toplu giriş regresyon modeli

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
log(TAPM)	**(Sabit)**	**98,41 (83,82 - 113,01)**		**13,222**	**0,000**			
	TMP	-0,1 (-0,11 - -0,08)	-0,694	-11,226	0,000	0,024	-0,214	13,729
	RH	-0,05 (-0,06 - -0,04)	-0,816	-12,274	0,000	-0,294	-0,233	15,880
	SP	**-0,1 (-0,12 - -0,09)**	**-0,338**	**-12,224**	**0,000**	**-0,115**	**-0,232**	**2,753**
	WS	-0,01 (-0,08 - 0,06)	-0,022	-0,354	0,723	0,000	-0,007	13,682
	DWPT	0,05 (0,03 - 0,07)	0,295	4,240	0,000	-0,195	0,082	17,423
	CW	-0,01 (-0,07 - 0,05)	-0,010	-0,322	0,747	-0,034	-0,006	3,191
	HW	0,12 (0,06 - 0,17)	0,201	4,120	0,000	0,022	0,080	8,539
	MSTR	**-0,29 (-0,35 - -0,24)**	**-0,192**	**-10,763**	**0,000**	**-0,235**	**-0,205**	**1,143**
	BC	**-0,64 (-0,84 - -0,44)**	**-0,135**	**-6,220**	**0,000**	**-0,112**	**-0,120**	**1,701**
ln(TAPM)	**(Sabit)**	**226,61 (193,01 - 260,22)**		**13,223**	**0,000**			
	TMP	-0,22 (-0,26 - -0,18)	-0,694	-11,227	0,000	0,024	-0,214	13,729
	RH	-0,12 (-0,14 - -0,1)	-0,816	-12,275	0,000	-0,294	-0,233	15,880
	SP	**-0,24 (-0,28 - -0,2)**	**-0,338**	**-12,225**	**0,000**	**-0,115**	**-0,232**	**2,753**
	WS	-0,03 (-0,18 - 0,13)	-0,022	-0,354	0,724	0,000	-0,007	13,682
	DWPT	0,11 (0,06 - 0,16)	0,295	4,240	0,000	-0,195	0,082	17,423
	CW	-0,02 (-0,16 - 0,11)	-0,010	-0,322	0,747	-0,034	-0,006	3,191
	HW	0,27 (0,14 - 0,39)	0,201	4,120	0,000	0,022	0,080	8,539
	MSTR	**-0,67 (-0,8 - -0,55)**	**-0,192**	**-10,762**	**0,000**	**-0,235**	**-0,205**	**1,143**
	BC	**-1,48 (-1,94 - -1,01)**	**-0,135**	**-6,220**	**0,000**	**-0,112**	**-0,120**	**1,701**
log(PM_{10})	**(Sabit)**	**106,73 (90,55 - 122,91)**		**12,937**	**0,000**			
	TMP	-0,09 (-0,11 - -0,07)	-0,614	-9,814	0,000	-0,003	-0,188	13,729
	RH	-0,05 (-0,06 - -0,04)	-0,712	-10,590	0,000	-0,279	-0,202	15,880
	SP	**-0,11 (-0,13 - -0,1)**	**-0,338**	**-12,062**	**0,000**	**-0,091**	**-0,229**	**2,753**
	WS	0 (-0,07 - 0,08)	0,007	0,113	0,910	0,004	0,002	13,682
	DWPT	0,03 (0,01 - 0,05)	0,179	2,547	0,011	-0,214	0,050	17,423
	CW	-0,02 (-0,09 - 0,04)	-0,022	-0,723	0,470	-0,041	-0,014	3,191
	HW	0,13 (0,06 - 0,19)	0,199	4,030	0,000	0,032	0,078	8,539
	MSTR	**-0,28 (-0,34 - -0,22)**	**-0,167**	**-9,265**	**0,000**	**-0,205**	**-0,178**	**1,143**
	BC	**-0,75 (-0,97 - -0,52)**	**-0,144**	**-6,539**	**0,000**	**-0,113**	**-0,127**	**1,701**
ln(PM_{10})	**(Sabit)**	**245,75 (208,5 - 283)**		**12,937**	**0,000**			
	TMP	-0,21 (-0,25 - -0,17)	-0,614	-9,815	0,000	-0,003	-0,188	13,729
	RH	-0,12 (-0,14 - -0,1)	-0,712	-10,590	0,000	-0,279	-0,202	15,880
	SP	**-0,26 (-0,31 - -0,22)**	**-0,338**	**-12,062**	**0,000**	**-0,091**	**-0,229**	**2,753**
	WS	0,01 (-0,16 - 0,18)	0,007	0,113	0,910	0,004	0,002	13,682
	DWPT	0,07 (0,02 - 0,13)	0,180	2,548	0,011	-0,214	0,050	17,423
	CW	-0,06 (-0,21 - 0,09)	-0,022	-0,723	0,469	-0,041	-0,014	3,191
	HW	0,29 (0,15 - 0,43)	0,199	4,031	0,000	0,032	0,078	8,539
	MSTR	**-0,64 (-0,78 - -0,51)**	**-0,167**	**-9,264**	**0,000**	**-0,205**	**-0,178**	**1,143**
	BC	**-1,72 (-2,24 - -1,21)**	**-0,144**	**-6,539**	**0,000**	**-0,113**	**-0,127**	**1,701**
log($PM_{2,5}$)	**(Sabit)**	**62,4 (53,46 - 71,35)**		**13,678**	**0,000**			
	TMP	-0,04 (-0,05 - -0,03)	-0,403	-6,984	0,000	-0,127	-0,135	13,729
	RH	-0,02 (-0,03 - -0,02)	-0,491	-7,909	0,000	-0,335	-0,152	15,880
	SP	**-0,07 (-0,08 - -0,06)**	**-0,326**	**-12,602**	**0,000**	**0,117**	**-0,239**	**2,753**
	WS	-0,03 (-0,07 - 0,01)	-0,092	-1,588	0,112	-0,154	-0,031	13,682
	DWPT	-0,01 (-0,03 - 0)	-0,134	-2,052	0,040	-0,398	-0,040	17,423
	CW	-0,02 (-0,06 - 0,02)	-0,029	-1,045	0,296	-0,193	-0,020	3,191
	HW	0,11 (0,07 - 0,14)	0,284	6,235	0,000	-0,079	0,121	8,539
	MSTR	**-0,08 (-0,11 - -0,05)**	**-0,079**	**-4,721**	**0,000**	**-0,128**	**-0,092**	**1,143**
	BC	**-1,13 (-1,26 - -1,01)**	**-0,364**	**-17,909**	**0,000**	**-0,338**	**-0,330**	**1,701**
ln($PM_{2,5}$)	**(Sabit)**	**143,68 (123,09 - 164,28)**		**13,678**	**0,000**			
	TMP	-0,08 (-0,11 - -0,06)	-0,403	-6,984	0,000	-0,127	-0,135	13,729
	RH	-0,05 (-0,06 - -0,04)	-0,491	-7,909	0,000	-0,335	-0,152	15,880
	SP	**-0,15 (-0,18 - -0,13)**	**-0,326**	**-12,603**	**0,000**	**0,117**	**-0,239**	**2,753**
	WS	-0,08 (-0,17 - 0,02)	-0,092	-1,589	0,112	-0,154	-0,031	13,682
	DWPT	-0,03 (-0,06 - 0)	-0,134	-2,052	0,040	-0,398	-0,040	17,423
	CW	-0,04 (-0,13 - 0,04)	-0,029	-1,044	0,297	-0,193	-0,020	3,191
	HW	0,25 (0,17 - 0,33)	0,284	6,235	0,000	-0,079	0,121	8,539
	MSTR	**-0,18 (-0,26 - -0,11)**	**-0,079**	**-4,719**	**0,000**	**-0,128**	**-0,092**	**1,143**
	BC	**-2,61 (-2,89 - -2,32)**	**-0,364**	**-17,909**	**0,000**	**-0,338**	**-0,330**	**1,701**
log(PM$_1$)	**(Sabit)**	**56,13 (47,72 - 64,54)**		**13,090**	**0,000**			
	TMP	-0,03 (-0,04 - -0,02)	-0,340	-6,360	0,000	-0,192	-0,123	13,729
	RH	-0,02 (-0,02 - -0,01)	-0,419	-7,290	0,000	-0,378	-0,141	15,880
	SP	**-0,06 (-0,07 - -0,05)**	**-0,289**	**-12,055**	**0,000**	**0,231**	**-0,229**	**2,753**

	WS	-0,06 (-0,1 - -0,02)	-0,161	-3,011	0,003	-0,267	-0,059	13,682
	DWPT	-0,03 (-0,04 - -0,01)	-0,248	-4,114	0,000	-0,510	-0,080	17,423
	CW	0 (-0,03 - 0,03)	-0,001	-0,021	0,983	-0,261	0,000	3,191
	HW	0,11 (0,07 - 0,14)	0,276	6,541	0,000	-0,180	0,127	8,539
	MSTR	**-0,04 (-0,07 - -0,01)**	**-0,042**	**-2,696**	**0,007**	**-0,087**	**-0,053**	**1,143**
	BC	**-1,3 (-1,41 - -1,18)**	**-0,411**	**-21,808**	**0,000**	**-0,419**	**-0,391**	**1,701**
ln(PM_1)	**(Sabit)**	**129,26 (109,9 - 148,61)**		**13,092**	**0,000**			
	TMP	-0,07 (-0,09 - -0,05)	-0,340	-6,360	0,000	-0,192	-0,123	13,729
	RH	-0,04 (-0,05 - -0,03)	-0,419	-7,289	0,000	-0,378	-0,141	15,880
	SP	**-0,14 (-0,16 - -0,11)**	**-0,289**	**-12,057**	**0,000**	**0,231**	**-0,229**	**2,753**
	WS	-0,14 (-0,23 - -0,05)	-0,161	-3,010	0,003	-0,267	-0,059	13,682
	DWPT	-0,06 (-0,09 - -0,03)	-0,248	-4,115	0,000	-0,510	-0,080	17,423
	CW	0 (-0,08 - 0,08)	-0,001	-0,022	0,983	-0,261	0,000	3,191
	HW	0,24 (0,17 - 0,32)	0,276	6,540	0,000	-0,180	0,127	8,539
	MSTR	**-0,1 (-0,17 - -0,03)**	**-0,042**	**-2,696**	**0,007**	**-0,087**	**-0,053**	**1,143**
	BC	**-2,98 (-3,25 - -2,72)**	**-0,411**	**-21,809**	**0,000**	**-0,419**	**-0,391**	**1,701**

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

log(TAPM); F= 107,616, p≤0,001, Adj.R^2= 0,267, SE= 0,743 ln(TAPM); F= 107,622, p≤0,001, Adj.R^2= 0,267, SE= 1,71

log(PM_{10}); F= 97,871, p≤0,001, Adj.R^2= 0,248, SE= 0,823 ln(PM_{10}); F= 97,871, p≤0,001, Adj.R^2= 0,248, SE= 1,895

log($PM_{2,5}$); F= 165,336, p≤0,001, Adj.R^2= 0,359, SE= 0,455 ln($PM_{2,5}$); F= 165,331, p≤0,001, Adj.R^2= 0,359, SE= 1,048

log(PM_1); F= 241,237, p≤0,001, Adj.R^2= 0,451, SE= 0,428 ln(PM_1); F= 241,245, p≤0,001, Adj.R^2= 0,451, SE= 0,985

Toplu giriş algoritmasında elde edilen modellerin açıklayıcı güçlerinin olmaması nedeniyle ikinci modelleme denemesinde aşamalı ve ileriye doğru seçim yöntemleri kullanılmış olup aynı sonuçları verdiği gözlemlendiğinden aşamalı doğrusal regresyon yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşimi veren verilerin modele dâhil edildiği aşamalı yöntemi üzerinden regresyon analizi ile kestirim modelleri oluşturulmuştur (Çizelge 6.5). Buna göre; logaritmik ve doğal logaritmik TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin regresyon modellerinin istatistiksel sonuçları anlamlı bulunmuş (p≤0,001) ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

a) ln(TAPM), log(TAPM), ln(PM_{10}) ve log(PM_{10}) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, malzeme nemi, bağıl nem, karşı rüzgâr hızı yükleyici kova hacminin model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. ln(TAPM) ve log(TAPM) modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 26,3, ln(PM_{10}) ve log(PM_{10}) modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 24,7'dir. Kısmi ilgileşim açısından regresyon modellerinde en etkili parametreler malzeme nemi, bağıl nem ve hava sıcaklığı, en az etkili parametre ise yükleyici kova hacmidir.

b) ln($PM_{2,5}$), log($PM_{2,5}$), ln(PM_1) ve log(PM_1) regresyon modellerinde; yükleyici kova hacmi, malzeme nemi, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil) ve hava sıcaklığının model üzerinde anlamlı etkisi (VIF≤5) vardır. ln($PM_{2,5}$) ve log($PM_{2,5}$) modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 35,9 iken ln(PM_1) ve log(PM_1) modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 44,7'dir. Kısmi ilgileşim açısından, regresyon modellerinde en etkili parametreler bağıl nem, yükleyici kova hacmi ve hava sıcaklığı, en az etkili parametreler ise yan rüzgâr hızı ve malzemenin nemidir.

Çizelge 6.5 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti aşamalı regresyon modeli

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
log(TAPM)	(Sabit)	109,67 (96,34 - 123)		16,131	0,000			
	RH	-0,04 (-0,04 - -0,03)	-0,554	-24,935	0,000	-0,294	-0,437	1,765
	MSTR	-0,29 (-0,34 - -0,24)	-0,191	-10,851	0,000	-0,235	-0,207	1,105
	TMP	-0,06 (-0,07 - -0,06)	-0,456	-17,737	0,000	0,024	-0,327	2,362
	SP	-0,12 (-0,13 - -0,1)	-0,383	-15,356	0,000	-0,115	-0,287	2,224
	HW	0,11 (0,09 - 0,13)	0,195	9,915	0,000	0,022	0,190	1,385
	BC	-0,82 (-1 - -0,63)	-0,172	-8,589	0,000	-0,112	-0,165	1,435
ln(TAPM)	(Sabit)	252,53 (221,84 - 283,23)		16,132	0,000			
	RH	-0,08 (-0,09 - -0,08)	-0,554	-24,935	0,000	-0,294	-0,437	1,765
	MSTR	-0,67 (-0,79 - -0,55)	-0,191	-10,850	0,000	-0,235	-0,207	1,105
	TMP	-0,14 (-0,16 - -0,13)	-0,456	-17,738	0,000	0,024	-0,327	2,362
	SP	-0,27 (-0,31 - -0,24)	-0,383	-15,357	0,000	-0,115	-0,287	2,224
	HW	0,26 (0,21 - 0,31)	0,195	9,916	0,000	0,022	0,190	1,385
	BC	-1,88 (-2,31 - -1,45)	-0,172	-8,590	0,000	-0,112	-0,165	1,435
log(PM_{10})	(Sabit)	113,82 (99,07 - 128,56)		15,136	0,000			
	RH	-0,04 (-0,04 - -0,04)	-0,554	-24,690	0,000	-0,279	-0,434	1,765
	MSTR	-0,28 (-0,34 - -0,22)	-0,166	-9,373	0,000	-0,205	-0,180	1,105
	TMP	-0,07 (-0,08 - -0,06)	-0,469	-18,068	0,000	-0,003	-0,332	2,362
	SP	-0,12 (-0,14 - -0,11)	-0,364	-14,433	0,000	-0,091	-0,271	2,224
	HW	0,13 (0,11 - 0,16)	0,209	10,490	0,000	0,032	0,200	1,385
	BC	-0,87 (-1,07 - -0,66)	-0,167	-8,258	0,000	-0,113	-0,159	1,435
ln(PM_{10})	(Sabit)	262,07 (228,12 - 296,02)		15,136	0,000			
	RH	-0,09 (-0,1 - -0,08)	-0,554	-24,690	0,000	-0,279	-0,434	1,765
	MSTR	-0,64 (-0,77 - -0,51)	-0,166	-9,372	0,000	-0,205	-0,180	1,105
	TMP	-0,16 (-0,18 - -0,14)	-0,469	-18,068	0,000	-0,003	-0,332	2,362
	SP	-0,28 (-0,32 - -0,24)	-0,364	-14,433	0,000	-0,091	-0,271	2,224
	HW	0,3 (0,25 - 0,36)	0,209	10,490	0,000	0,032	0,200	1,385
	BC	-2 (-2,47 - -1,52)	-0,167	-8,257	0,000	-0,113	-0,159	1,435
log($PM_{2,5}$)	(Sabit)	58,57 (50,31 - 66,83)		13,899	0,000			
	BC	-1,09 (-1,2 - -0,97)	-0,349	-18,642	0,000	-0,338	-0,342	1,441
	RH	-0,03 (-0,03 - -0,02)	-0,611	-28,554	0,000	-0,335	-0,486	1,884
	TMP	-0,05 (-0,05 - -0,04)	-0,511	-21,250	0,000	-0,127	-0,383	2,373
	SP	-0,06 (-0,07 - -0,05)	-0,303	-12,831	0,000	0,117	-0,243	2,289
	HW	0,12 (0,09 - 0,15)	0,315	9,063	0,000	-0,079	0,174	4,971
	MSTR	-0,08 (-0,11 - -0,05)	-0,079	-4,749	0,000	-0,128	-0,092	1,141
	WS	-0,05 (-0,08 - -0,03)	-0,145	-3,898	0,000	-0,154	-0,076	5,719
ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	134,86 (115,84 - 153,89)		13,900	0,000			
	BC	-2,5 (-2,76 - -2,24)	-0,349	-18,643	0,000	-0,338	-0,342	1,441
	RH	-0,06 (-0,06 - -0,06)	-0,611	-28,554	0,000	-0,335	-0,486	1,884
	TMP	-0,11 (-0,12 - -0,1)	-0,511	-21,250	0,000	-0,127	-0,383	2,373
	SP	-0,14 (-0,16 - -0,12)	-0,303	-12,832	0,000	0,117	-0,243	2,289
	HW	0,27 (0,22 - 0,33)	0,315	9,063	0,000	-0,079	0,174	4,971
	MSTR	-0,18 (-0,26 - -0,11)	-0,079	-4,747	0,000	-0,128	-0,092	1,141
	WS	-0,12 (-0,18 - -0,06)	-0,145	-3,898	0,000	-0,154	-0,076	5,719
log(PM_1)	(Sabit)	49,46 (41,67 - 57,24)		12,459	0,000			
	BC	-1,2 (-1,31 - -1,09)	-0,380	-21,898	0,000	-0,419	-0,393	1,441
	RH	-0,03 (-0,03 - -0,03)	-0,641	-32,283	0,000	-0,378	-0,533	1,884
	TMP	-0,05 (-0,05 - -0,05)	-0,540	-24,231	0,000	-0,192	-0,427	2,373
	SP	-0,05 (-0,06 - -0,04)	-0,249	-11,364	0,000	0,231	-0,216	2,289
	HW	0,11 (0,08 - 0,13)	0,277	8,590	0,000	-0,180	0,165	4,971
	WS	-0,07 (-0,09 - -0,04)	-0,177	-5,107	0,000	-0,267	-0,099	5,719
	MSTR	-0,04 (-0,07 - -0,01)	-0,041	-2,678	0,007	-0,087	-0,052	1,141
ln(PM_1)	(Sabit)	113,88 (95,96 - 131,8)		12,460	0,000			
	BC	-2,77 (-3,01 - -2,52)	-0,380	-21,898	0,000	-0,419	-0,393	1,441
	RH	-0,06 (-0,07 - -0,06)	-0,641	-32,284	0,000	-0,378	-0,533	1,884
	TMP	-0,11 (-0,12 - -0,1)	-0,540	-24,232	0,000	-0,192	-0,427	2,373
	SP	-0,12 (-0,14 - -0,1)	-0,249	-11,365	0,000	0,231	-0,216	2,289
	HW	0,25 (0,19 - 0,3)	0,277	8,590	0,000	-0,180	0,165	4,971
	WS	-0,15 (-0,21 - -0,09)	-0,177	-5,107	0,000	-0,267	-0,099	5,719
	MSTR	-0,1 (-0,17 - -0,03)	-0,041	-2,678	0,007	-0,087	-0,052	1,141

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

log(TAPM); F= 157,441, p≤0,001, Adj.R^2= 0,263, SE= 0,745
ln(TAPM); F= 157,448, p≤0,001, Adj.R^2= 0,263, SE= 1,71
log(PM_{10}); F= 145,360, p≤0,001, Adj.R^2= 0,247, SE= 0,824
ln(PM_{10}); F= 145,358, p≤0,001, Adj.R^2= 0,247, SE= 1,897
log($PM_{2.5}$); F= 211,575, p≤0,001, Adj.R^2= 0,359, SE= 0,455
ln($PM_{2.5}$); F= 211,569, p≤0,001, Adj.R^2= 0,359, SE= 1,049
log(PM_1); F= 306,007, p≤0,001, Adj.R^2= 0,447, SE= 0,429
ln(PM_1); F= 306,013, p≤0,001, Adj.R^2= 0,447, SE= 0,988

6.2.2 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Gerek toplu gerek aşamalı ilerleme algoritmalarının kullanıldığı geleneksel doğrusal regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayıları düşük (R^2<%45) düzeyde kalmıştır. Bu durum, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama düzeylerinin yetersizliğine işaret etmektedir. Bu nedenle diğer veri analiz yöntemleri araştırılmış ve Bölüm 2.6'da detaylı biçimde açıklanan karar ağacı tekniğinin kullanılmasına karar verilmiştir.

M5P karar ağacı algoritmasıyla hesaplanan PM salınımı ile bağımsız değişkenler arasındaki regresyon analiz sonuçları Çizelge 6.6'da verilmiştir. Regresyon analizlerinde ham ve dönüştürülmüş veri setleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

TAPM veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde elde edilmiş ve log(TAPM) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 27 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.7 ve 6.8'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.21'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı, çiğ noktası sıcaklığı ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler bağıl nem, malzeme nemi ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %9,59'u LM25'i, %1,21'i LM18'i temsil etmektedir.

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve $1/PM_{10}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 26 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.9 ve 6.10'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.22'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil), malzeme nemi ve yükleyici kova hacmidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler yükleyici kova hacmi, hava sıcaklığı ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin %12,32'si LM1'i, %0,22'si LM25'i temsil etmektedir.

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde elde edilmiş ve log($PM_{2,5}$) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 24 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.11 ve 6.12'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.23'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (yan rüzgâr hızı dâhil) ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler bağıl nem, istasyon basıncı, hava sıcaklığı ve malzeme nemidir. Regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %20,69'u LM24'ü, %1,21'i LM21'i temsil etmektedir.

Çizelge 6.6 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti PM salınım verisinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	$log(PM_{10})$	$ln(PM_{10})$	$1/PM_{10}$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0,7406	0,7406	**0,7569**	0,7569	0,7339	0,714	0,714	0,7394	0,7393	**0,7837**
	MAE	951,5763	0,9516	**0,4482**	1,0319	0,0121	946,8676	0,947	0,4967	1,1437	**0,0168**
	RMSE	1397,9571	1,398	**0,5676**	1,3069	0,0255	1429,8502	1,4299	0,6401	1,4739	**0,0299**
	RAE (%)	57,9152	57,9151	**61,2264**	61,2264	59,0785	60,5667	60,575	61,6975	61,6982	**53,4818**
	RRSE (%)	67,5263	67,5262	**65,4677**	65,4678	68,2206	70,379	70,3816	67,4375	67,4381	**62,4087**
	Model (düğüm) sayısı	30	30	**27**	27	20	27	27	25	25	**26**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0,6631	0,6633	**0,7214**	0,7214	0,6516	0,6511	0,6511	0,7005	0,7005	**0,7199**
	MAE	1058,1133	1,0585	**0,4744**	1,0924	0,0131	1001,7946	1,0018	0,5259	1,2108	**0,0184**
	RMSE	1549,7249	1,5493	**0,6004**	1,3825	0,0284	1542,275	1,5423	0,6774	1,5597	**0,0333**
	RAE (%)	64,3589	64,3824	**64,7491**	64,7487	63,7433	64,041	64,0409	65,2639	65,2642	**58,5498**
	RRSE (%)	74,8062	74,7859	**69,1966**	69,1968	75,8355	75,8644	75,8641	71,3027	71,3033	**69,3709**
	Model (düğüm) sayısı	30	30	**27**	27	20	27	27	25	25	**26**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0,6694	0,6695	**0,7068**	0,7069	0,6426	0,6302	0,6302	0,6875	0,6875	**0,715**
	MAE	1099,362	1,0994	**0,4862**	1,1195	0,0124	1048,6662	1,0487	0,5433	1,2509	**0,0176**
	RMSE	1567,7125	1,5677	**0,6092**	1,4025	0,0223	1594,5435	1,5946	0,6901	1,589	**0,0283**
	RAE (%)	66,2421	66,242	**66,6197**	66,6212	64,9971	66,7185	66,7186	66,8755	66,8757	**58,6875**
	RRSE (%)	74,3662	74,3662	**70,7526**	70,7431	78,0522	77,6438	77,644	72,656	72,6565	**70,4229**
	Model (düğüm) sayısı	30	30	**27**	27	20	27	27	25	25	**26**
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}/1000$	$log(PM_{2,5})$	$ln(PM_{2,5})$	$1/PM_{2,5}$	PM_1	$PM_1/1000$	$log(PM_1)$	$ln(PM_1)$	$1/PM_1$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0,6141	0,6138	**0,7912**	0,7912	0,7785	0,6359	0,6141	**0,8413**	0,8404	0,8081
	MAE	14,6686	0,0147	**0,2529**	0,5823	0,0792	2,6981	0,0027	**0,1597**	0,3683	0,3824
	RMSE	30,0782	0,0301	**0,3482**	0,8017	0,1203	8,8349	0,0089	**0,2506**	0,5787	0,585
	RAE (%)	62,7523	62,8906	**50,6173**	50,6154	50,4493	56,1678	56,6521	**38,6377**	38,6848	47,2295
	RRSE (%)	79,0897	79,1145	**61,2637**	61,2643	62,8529	79,8971	80,6137	**54,1047**	54,2436	59,0508
	Model sayısı	22	22	**24**	24	23	25	26	**22**	22	24
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0,5246	0,5304	**0,7645**	0,7645	0,7422	0,3035	0,2967	**0,8155**	0,8154	0,7789
	MAE	15,8932	0,0158	**0,2638**	0,6073	0,0842	3,1661	0,003	**0,1699**	0,3931	0,4045
	RMSE	32,4169	0,0323	**0,3664**	0,8435	0,1284	10,7818	0,0108	**0,2681**	0,6176	0,6215
	RAE (%)	67,9324	67,5786	**52,7568**	52,7541	53,6182	65,8037	62,7944	**41,0572**	41,2572	49,9311
	RRSE (%)	85,1854	84,7874	**64,4185**	64,418	67,0013	97,4362	97,2777	**57,8285**	57,8545	62,7039
	Model (düğüm) sayısı	22	22	**24**	24	23	25	26	**22**	22	24
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0,5578	0,5694	**0,7591**	0,7591	0,7219	0,401	0,3856	**0,8267**	0,8268	0,7626
	MAE	16,9705	0,0158	**0,2757**	0,6348	0,0906	2,7942	0,003	**0,1742**	0,4037	0,4185
	RMSE	31,9288	0,0316	**0,368**	0,8473	0,1319	11,2229	0,0113	**0,2587**	0,596	0,6193
	RAE (%)	71,5063	66,7332	**55,6749**	55,6729	57,9505	57,062	61,2935	**42,5611**	42,7795	53,2367
	RRSE (%)	83,1718	82,3384	**65,1162**	65,1155	69,1245	91,6872	92,2779	**56,2921**	56,2935	64,708
	Model (düğüm) sayısı	22	22	**24**	24	23	25	26	**22**	22	24

Çizelge 6.7 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları

Model	log(TAPM) salınım kestirim kuralları
LM1	RH ≤ 47,95, SP ≤ 860,85, RH ≤ 45,55
LM2	RH ≤ 47,95, SP ≤ 860,85, RH ≤ 45,55, MSTR ≤ 1,1
LM3	RH ≤ 47,95, SP ≤ 860,85, RH ≤ 45,55, MSTR > 1,1
LM4	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 860,85, MSTR ≤ 1, TMP ≤ 24,45
LM5	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 860,85, MSTR ≤ 1,525 - > 1, TMP ≤ 24,45
LM6	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 860,85, MSTR ≤ 1,525, TMP ≤ 35,65 - > 24,45, RH ≤ 18,55
LM7	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 860,85, MSTR ≤ 1,525, TMP > 35,65, RH ≤ 18,55
LM8	RH ≤ 47,95, SP ≤ 862,35 - > 860,85, MSTR ≤ 1,525, TMP ≤ 30,8 - > 24,45, RH > 18,55
LM9	RH ≤ 47,95, SP ≤ 862,35 - > 860,85, MSTR ≤ 1,525, TMP > 30,8, RH > 18,55
LM10	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 862,35, MSTR ≤ 1,525, TMP > 24,45, RH ≤ 38,35 - > 18,55
LM11	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 862,35, MSTR ≤ 1,525, TMP > 24,45, RH > 38,35
LM12	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 860,85, MSTR > 1,525, RH ≤ 25,6
LM13	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 860,85, MSTR > 1,525, RH > 25,6, TMP ≤ 27,05, MSTR ≤ 1,66
LM14	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 860,85, MSTR > 1,525, RH > 25,6, TMP ≤ 27,05, MSTR > 1,66
LM15	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 860,85, MSTR > 1,525, RH > 25,6, TMP > 27,05, MSTR ≤ 2,36
LM16	RH ≤ 47,95, SP ≤ 865,05 - > 860,85, MSTR > 1,525, RH > 25,6, TMP > 27,05, MSTR > 2,36
LM17	RH ≤ 47,95, SP ≤ 867,95 - > 865,05, RH ≤ 30,35, MSTR ≤ 1,59, TMP ≤ 15,3
LM18	RH ≤ 47,95, SP ≤ 867,95 - > 865,05, RH ≤ 30,35, MSTR ≤ 1,59, TMP > 15,3
LM19	RH ≤ 47,95, SP ≤ 867,95 - > 865,05, RH ≤ 30,35, MSTR > 1,59
LM20	RH ≤ 47,95, SP ≤ 867,95 - > 865,05, RH > 30,35
LM21	RH ≤ 47,95, SP > 867,95, MSTR ≤ 1,075
LM22	RH ≤ 47,95, SP > 867,95, MSTR > 1,075
LM23	RH ≤ 59,75 - > 47,95, DWPT ≤ 9,55, SP ≤ 864,75
LM24	RH > 59,75, DWPT ≤ 9,55, SP ≤ 864,75
LM25	**RH > 47,95, DWPT ≤ 9,55, SP > 864,75**
LM26	RH > 47,95, DWPT > 9,55, MSTR ≤ 0,92
LM27	RH > 47,95, DWPT > 9,55, MSTR > 0,92

Çizelge 6.8 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri

Model	log(TAPM) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,0006 * TMP - 0,0027 * RH - 0,005 * SP + 0,061 * WS + 0,00012 * DWPT + 0,006 * MSTR + 7,306
LM2	-0,0006 * TMP - 0,0037 * RH - 0,005 * SP + 0,0066 * WS + 0,00012 * DWPT + 0,115 * MSTR + 6,904
LM3	-0,0006 * TMP - 0,0037 * RH - 0,005 * SP + 0,0066 * WS + 0,00012 * DWPT + 0,150 * MSTR + 7,264
LM4	-0,0009 * TMP - 0,0031 * RH + 0,0017 * SP + 0,003 * WS + 0,0009 * DWPT + 0,330 * MSTR - 0,097
LM5	-0,0009 * TMP - 0,0031 * RH + 0,0017 * SP + 0,003 * WS + 0,0009 * DWPT + 0,241 * MSTR + 0,698
LM6	-0,013 * TMP - 0,080 * RH - 0,001 * SP + 0,003 * WS + 0,0009 * DWPT + 0,005 * MSTR + 5,788
LM7	-0,028 * TMP - 0,026 * RH - 0,001 * SP + 0,003 * WS + 0,0009 * DWPT + 0,005 * MSTR + 4,696
LM8	-0,017 * TMP - 0,0007 * RH - 0,016 * SP + 0,003 * WS + 0,0009 * DWPT + 0,005 * MSTR + 17,624
LM9	-0,015 * TMP - 0,0007 * RH - 0,016 * SP + 0,003 * WS + 0,0009 * DWPT + 0,005 * MSTR + 17,015
LM10	-0,0043 * TMP - 0,012 * RH - 0,015 * SP + 0,003 * WS + 0,0009 * DWPT + 0,005 * MSTR + 15,686
LM11	-0,0043 * TMP + 0,001 * RH - 0,015 * SP + 0,003 * WS + 0,0009 * DWPT + 0,005 * MSTR + 15,698
LM12	0,0054 * TMP - 0,031 * RH - 0,160 * SP + 0,003 * WS - 0,0055 * DWPT + 0,004 * MSTR + 140,138
LM13	0,009 * TMP + 0,0028 * RH - 0,008 * SP + 0,003 * WS - 0,003 * DWPT - 0,116 * MSTR + 9,540
LM14	0,009 * TMP + 0,0028 * RH - 0,008 * SP + 0,003 * WS - 0,041 * DWPT - 0,092 * MSTR + 9,476
LM15	0,0115 * TMP + 0,0028 * RH - 0,008 * SP + 0,003 * WS - 0,003 * DWPT + 0,062 * MSTR + 9,100
LM16	0,0115 * TMP + 0,0028 * RH - 0,008 * SP + 0,003 * WS - 0,003 * DWPT + 0,113 * MSTR + 9,345
LM17	-0,0097 * TMP - 0,0064 * RH - 0,016 * SP + 0,0027 * WS - 0,0005 * DWPT - 0,026 * MSTR + 18,365
LM18	-0,0160 * TMP - 0,0064 * RH - 0,016 * SP + 0,0027 * WS - 0,0005 * DWPT - 0,026 * MSTR + 18,264
LM19	-0,0018 * TMP - 0,0064 * RH - 0,016 * SP + 0,0027 * WS - 0,0005 * DWPT + 25,941 * MSTR - 23,925
LM20	-0,00008 * TMP - 0,011 * RH - 0,016 * SP + 0,0027 * WS - 0,0005 * DWPT - 0,026 * MSTR + 17,674
LM21	-0,003 * TMP - 0,005 * RH - 0,017 * SP - 0,341 * WS - 0,0005 * DWPT - 0,072 * MSTR + 18,418
LM22	-0,003 * TMP - 0,030 * RH - 0,017 * SP - 0,014 * WS - 0,0005 * DWPT - 0,057 * MSTR + 18,741
LM23	-0,003 * TMP - 0,011 * RH - 0,002 * SP + 0,0019 * WS + 0,009 * DWPT - 0,015 * MSTR + 3,897
LM24	-0,003 * TMP - 0,017 * RH - 0,002 * SP + 0,0019 * WS + 0,009 * DWPT - 0,015 * MSTR + 3,886
LM25	**-0,003 * TMP - 0,004 * RH - 0,002 * SP + 0,0019 * WS + 0,009 * DWPT + 0,451 * MSTR + 2,943**
LM26	-0,003 * TMP - 0,005 * RH - 0,002 * SP + 0,0019 * WS + 0,016 * DWPT - 0,008 * MSTR + 4,603
LM27	-0,003 * TMP - 0,005 * RH - 0,002 * SP + 0,0019 * WS + 0,016 * DWPT - 0,008 * MSTR + 4,303

Çizelge 6.9 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları

Model	1/PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	**SP ≤ 860,85**
LM2	SP ≤ 863,45 - > 860,85, TMP ≤ 30,45, DWPT ≤ 8,05, SP ≤ 862,25
LM3	SP ≤ 863,45 - > 860,85, TMP ≤ 30,45, DWPT ≤ 8,05, SP > 862,25
LM4	SP ≤ 863,45 - > 860,85, TMP ≤ 30,45, DWPT ≤ 12,65 – 8,05, MSTR ≤ 1,66
LM5	SP ≤ 863,45 - > 860,85, TMP ≤ 30,45, DWPT ≤ 12,65 – 8,05, MSTR > 1,66
LM6	SP ≤ 863,45 - > 860,85, TMP ≤ 30,45, DWPT > 12,65
LM7	SP ≤ 863,45 - > 860,85, TMP > 30,45
LM8	SP > 863,45, BC ≤ 2,335, DWPT ≤ 4,25, MSTR ≤ 1,59
LM9	SP > 863,45, BC ≤ 2,335, DWPT ≤ 4,25, MSTR ≤ 1,61 - > 1,59, TMP ≤ 11,25
LM10	SP > 863,45, BC ≤ 2,335, DWPT ≤ 4,25, MSTR ≤ 1,61 - > 1,59, TMP > 11,25
LM11	SP > 863,45, BC ≤ 2,335, DWPT ≤ 4,25, MSTR > 1,61, TMP ≤ 16,55
LM12	SP > 863,45, BC ≤ 2,335, DWPT ≤ 4,25, MSTR > 1,61, TMP > 16,55
LM13	SP > 863,45, BC ≤ 2,335, DWPT > 4,25, TMP ≤ 20,15
LM14	SP > 863,45, BC ≤ 2,335, DWPT > 4,25, TMP > 20,15
LM15	SP > 863,45, BC > 2,335, TMP ≤ 22,05, SP ≤ 864,85, TMP ≤ 17,05, MSTR ≤ 3,05, DWPT ≤ 7,55
LM16	SP > 863,45, BC > 2,335, TMP ≤ 22,05, SP ≤ 864,85, TMP ≤ 17,05, MSTR ≤ 3,05, DWPT > 7,55
LM17	SP > 863,45, BC > 2,335, TMP ≤ 22,05, SP ≤ 864,85, TMP ≤ 17,05, MSTR > 3,05
LM18	SP > 863,45, BC > 2,335, TMP ≤ 22,05, SP ≤ 864,85, TMP > 17,05, MSTR ≤ 0,86
LM19	SP > 863,45, BC > 2,335, TMP ≤ 22,05, SP ≤ 864,85, TMP > 17,05, MSTR > 0,86
LM20	SP > 863,45, BC > 2,335, TMP ≤ 22,05, SP > 864,85
LM21	SP ≤ 864,95 - > 863,45, BC > 2,335, TMP ≤ 24,35 - > 22,05, MSTR ≤ 1,8
LM22	SP ≤ 864,95 - > 863,45, BC > 2,335, TMP > 24,35, MSTR ≤ 1,8
LM23	SP ≤ 864,95 - > 863,45, BC > 2,335, TMP > 22,05, MSTR > 1,8, HW ≤ 2,35
LM24	SP ≤ 864,95 - > 863,45, BC > 2,335, TMP ≤ 25,85 - > 22,05, MSTR > 1,8, HW > 2,35
LM25	SP ≤ 864,95 - > 863,45, BC > 2,335, TMP > 25,85, MSTR > 1,8, HW > 2,35
LM26	SP > 864,95, BC > 2,335, TMP > 22,05

Çizelge 6.10 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri
LM1	**-0,00003 * TMP + 0,00024 * SP - 0,003 * WS - 0,00002 * DWPT + 0,0030 * HW - 0,0074 * MSTR + 0,001 * BC - 0,195**
LM2	0,00013 * TMP + 0,0017 * SP + 0,0017 * WS - 0,00048 * DWPT - 0,00274 * HW - 0,00076 * MSTR + 0,001 * BC - 1,49
LM3	-0,0202 * TMP + 0,0017 * SP + 0,005 * WS - 0,00048 * DWPT - 0,0153 * HW - 0,00076 * MSTR + 0,001 * BC - 0,860
LM4	-0,00066 * TMP + 0,001 * SP - 0,00072 * WS - 0,0001 * DWPT - 0,00013 * HW - 0,00012 * MSTR + 0,001 * BC - 0,848
LM5	0,00012 * TMP + 0,001 * SP - 0,00074 * WS - 0,0001 * DWPT - 0,00013 * HW - 0,01877 * MSTR + 0,001 * BC - 0,832
LM6	0,00002 * TMP + 0,00074 * SP - 0,00063 * WS + 0,00003 * DWPT - 0,00013 * HW - 0,00012 * MSTR + 0,001 * BC - 0,619
LM7	-0,00096 * TMP + 0,0004 * SP - 0,00011 * WS - 0,00007 * DWPT - 0,002 * HW + 0,0078 * MSTR + 0,001 * BC - 0,307
LM8	0,00032 * TMP + 0,00175 * SP + 0,00235 * WS - 0,00004 * DWPT - 0,00045 * HW + 0,00157 * MSTR + 0,0021 * BC - 1,527
LM9	0,00022 * TMP + 0,0106 * SP - 0,00043 * WS + 0,00043 * DWPT - 0,00045 * HW - 0,0125 * MSTR + 0,0021 * BC - 9,174
LM10	-0,0020 * TMP + 0,045 * SP - 0,00043 * WS + 0,003 * DWPT - 0,00045 * HW - 0,0125 * MSTR + 0,0021 * BC - 38,866
LM11	0,00024 * TMP + 0,00512 * SP - 0,00035 * WS - 0,00024 * DWPT - 0,00045 * HW - 0,0091 * MSTR + 0,002 * BC - 4,437
LM12	-0,00009 * TMP + 0,00512 * SP - 0,00035 * WS + 0,00025 * DWPT - 0,00045 * HW - 0,0091 * MSTR + 0,002 * BC - 4,427
LM13	-0,00015 * TMP + 0,008 * SP + 0,00002 * WS + 0,00016 * DWPT - 0,001 * HW + 0,002 * MSTR + 0,002 * BC - 6,805
LM14	-0,00015 * TMP + 0,0076 * SP + 0,00002 * WS + 0,00016 * DWPT - 0,001 * HW + 0,002 * MSTR + 0,002 * BC - 6,567
LM15	0,0717 * TMP - 0,44 * SP - 0,01068 * WS - 0,012 * DWPT + 0,00666 * HW - 0,0095 * MSTR + 0,00144 * BC + 379,279
LM16	0,0022 * TMP + 0,0884 * SP - 0,0406 * WS - 0,0328 * DWPT + 0,0313 * HW - 0,0095 * MSTR + 0,00144 * BC - 76,035
LM17	-0,15062 * TMP - 0,00145 * SP + 0,02027 * WS + 0,1527 * DWPT - 0,01908 * HW - 0,0117 * MSTR + 0,00144 * BC + 2,611
LM18	-0,0227 * TMP - 0,00145 * SP - 0,06305 * WS + 0,00001 * DWPT + 0,01006 * HW - 0,01674 * MSTR + 0,00144 * BC + 1,858
LM19	-0,01613 * TMP - 0,00145 * SP - 0,00411 * WS + 0,00001 * DWPT + 0,018 * HW - 0,01943 * MSTR + 0,00144 * BC + 1,657
LM20	-0,0018 * TMP - 0,00163 * SP - 0,0113 * WS + 0,00001 * DWPT + 0,0111 * HW - 0,02695 * MSTR + 0,00144 * BC + 1,539
LM21	-0,00109 * TMP + 0,02659 * SP - 0,00076 * WS - 0,00391 * DWPT - 0,00088 * HW - 0,07895 * MSTR + 0,00144 * BC - 22,787
LM22	-0,00389 * TMP + 0,00143 * SP - 0,00049 * WS + 0,00003 * DWPT - 0,00768 * HW + 0,00072 * MSTR + 0,00144 * BC - 1,099
LM23	-0,00068 * TMP - 0,05773 * SP + 0,00075 * WS + 0,00003 * DWPT - 0,00323 * HW + 0,00444 * MSTR + 0,00144 * BC + 49,991
LM24	0,02649 * TMP + 0,00075 * SP + 0,03023 * WS - 0,0131 * DWPT - 0,04401 * HW + 0,00444 * MSTR + 0,00144 * BC - 1,114
LM25	0,10772 * TMP + 0,00075 * SP + 0,04994 * WS - 0,02248 * DWPT - 0,06035 * HW + 0,00444 * MSTR + 0,00144 * BC - 3,128
LM26	-0,00636 * TMP - 0,04914 * SP - 0,00275 * WS - 0,00003 * DWPT - 0,00092 * HW + 0,01856 * MSTR + 0,00144 * BC + 42,666

Çizelge 6.11 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları
LM1	RH ≤ 45,55, SP ≤ 860,85
LM2	RH ≤ 48,65 - > 45,55, SP ≤ 860,85, MSTR ≤ 1,1
LM3	RH ≤ 48,65 - > 45,55, SP ≤ 860,85, MSTR > 1,1
LM4	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 860,85, TMP ≤ 26,25, RH ≤ 38,15, MSTR ≤ 0,905
LM5	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 860,85, TMP ≤ 26,25, RH ≤ 38,15, MSTR ≤ 0,97 - > 0,905
LM6	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 860,85, TMP ≤ 26,25, RH ≤ 38,15, MSTR > 0,97
LM7	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 860,85, TMP ≤ 26,25, RH > 38,15, CW ≤ 0,05
LM8	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 860,85, TMP ≤ 26,25, RH > 38,15, CW ≤ 0,85 - > 0,05
LM9	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 860,85, TMP ≤ 26,25, RH > 38,15, CW > 0,85
LM10	RH ≤ 48,65, SP ≤ 861,85 - > 860,85, TMP > 26,25
LM11	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 861,85, TMP > 26,25, MSTR ≤ 0,905
LM12	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 861,85, TMP ≤ 27,35 - > 26,25, MSTR > 0,905
LM13	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 861,85, TMP > 27,35, MSTR ≤ 1,72 - > 0,905, RH ≤ 19,05
LM14	RH ≤ 48,65, SP ≤ 861,95 - > 861,85, TMP > 27,35, MSTR ≤ 1,72 - > 0,905, RH ≤ 26, 55 - > 19,05
LM15	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 861,95, TMP > 27,35, MSTR ≤ 1,72 - > 0,905, RH ≤ 26, 55 - > 19,05
LM16	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 861,85, TMP > 27,35, MSTR > 1,72, RH ≤ 26,55
LM17	RH ≤ 48,65, SP ≤ 865,25 - > 861,85, TMP > 27,35, MSTR > 0,905, RH > 26,55
LM18	RH ≤ 31,15, SP > 865,25, TMP ≤ 22,35, MSTR ≤ 1,59
LM19	RH ≤ 31,15, SP > 865,25, TMP ≤ 22,35, MSTR ≤ 1,61 - > 1,59
LM20	RH ≤ 31,15, SP > 865,25, TMP ≤ 16,55, MSTR > 1,61
LM21	RH ≤ 31,15, SP > 865,25, TMP ≤ 22,35 - > 16,55, MSTR > 1,61
LM22	RH ≤ 48,65 - > 31,15, SP > 865,25, TMP ≤ 22,35
LM23	RH ≤ 48,65, SP > 865,25, TMP > 22,35
LM24	**RH > 48,65**

Çizelge 6.12 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,00044 * TMP + 0,0417 * RH - 0,0038 * SP + 0,0038 * WS - 0,0034 * CW + 0,0138 * MSTR + 2,90
LM2	-0,00044 * TMP - 0,00033 * RH - 0,0038 * SP + 0,0038 * WS - 0,0034 * CW + 0,136 * MSTR + 4,10
LM3	-0,00044 * TMP - 0,00033 * RH - 0,0038 * SP + 0,0038 * WS - 0,0034 * CW + 0,173 * MSTR + 4,46
LM4	0,0053 * TMP + 0,00094 * RH - 0,0018 * SP + 0,0041 * WS - 0,005 * CW - 0,005 * MSTR + 2,00
LM5	0,0053 * TMP + 0,00094 * RH - 0,0018 * SP + 0,0041 * WS - 0,005 * CW + 0,032 * MSTR + 1,75
LM6	0,0053 * TMP + 0,00094 * RH - 0,0018 * SP + 0,0041 * WS - 0,005 * CW + 0,010 * MSTR + 1,90
LM7	0,01618 * TMP + 0,00001 * RH - 0,0018 * SP + 0,0041 * WS + 0,040 * CW - 0,005 * MSTR + 1,73
LM8	0,1034 * TMP + 0,00001 * RH - 0,0018 * SP + 0,0041 * WS + 0,016 * CW - 0,390 * MSTR + 0,37
LM9	0,00486 * TMP + 0,00001 * RH - 0,0018 * SP + 0,0041 * WS - 0,005 * CW - 0,005 * MSTR + 2,08
LM10	0,00107 * TMP - 0,0039 * RH + 0,0027 * SP + 0,010 * WS - 0,015 * CW - 0,0136 * MSTR - 1,51
LM11	0,00231 * TMP + 0,00062 * RH - 0,0002 * SP + 0,174 * WS - 0,476 * CW - 0,0155 * MSTR + 1,38
LM12	0,00074 * TMP + 0,0067 * RH - 0,0086 * SP + 0,0072 * WS - 0,0126 * CW - 0,0097 * MSTR + 7,95
LM13	0,00074 * TMP - 0,0198 * RH - 0,0214 * SP + 0,0072 * WS - 0,0126 * CW - 0,056 * MSTR + 20,15
LM14	0,00074 * TMP - 0,0117 * RH - 0,027 * SP + 0,0072 * WS - 0,0126 * CW - 0,056 * MSTR + 24,47
LM15	0,00074 * TMP - 0,0117 * RH - 0,0237 * SP + 0,0072 * WS - 0,0126 * CW - 0,056 * MSTR + 21,56
LM16	0,00074 * TMP - 0,0066 * RH - 0,0034 * SP + 0,0072 * WS - 0,0126 * CW - 0,130 * MSTR + 3,89
LM17	0,00074 * TMP - 0,0747 * RH - 0,0034 * SP + 0,0072 * WS - 0,0126 * CW + 0,365 * MSTR + 5,83
LM18	-0,00176 * TMP - 0,0045 * RH - 0,0005 * SP - 0,308 * WS - 0,0032 * CW - 0,030 * MSTR + 2,37
LM19	-0,00176 * TMP - 0,009 * RH - 0,0005 * SP - 0,0123 * WS - 0,0032 * CW - 0,028 * MSTR + 2,15
LM20	-0,00539 * TMP - 0,007 * RH - 0,0005 * SP - 0,0123 * WS - 0,0032 * CW - 0,028 * MSTR + 2,50
LM21	-0,00964 * TMP - 0,007 * RH - 0,0005 * SP - 0,0123 * WS - 0,0032 * CW - 0,028 * MSTR + 2,36
LM22	-0,00176 * TMP - 0,007 * RH - 0,0005 * SP - 0,0140 * WS - 0,0032 * CW - 0,042 * MSTR + 2,12
LM23	-0,00234 * TMP - 0,0036 * RH - 0,0005 * SP + 0,0017 * WS - 0,0032 * CW - 0,097 * MSTR + 2,23
LM24	**0,06987 * TMP - 0,0007 * RH + 0,043 * SP + 0,0018 * WS - 0,0027 * CW + 0,1058 * MSTR - 38,15**

PM_1 veri setine ait regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde elde edilmiş ve log(PM_1) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 22 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.13 ve 6.14'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.24'de verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, karşı rüzgâr hızı, çiğ noktası sıcaklığı ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı ve malzeme nemidir. Regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %20,39'u LM7'yi, %0,87'si LM4'ü temsil etmektedir.

Çizelge 6.13 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları

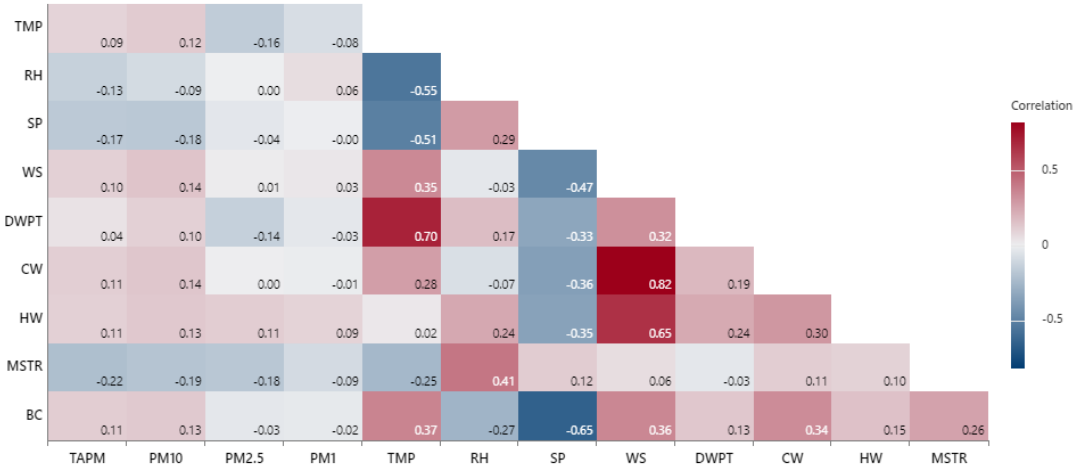
Model	log(PM_1) salınım kestirim kuralları
LM1	DWPT ≤ 5,45, SP ≤ 866,3, MSTR ≤ 1,44, RH ≤ 19,05, TMP ≤ 28,45
LM2	DWPT ≤ 5,45, SP ≤ 866,3, MSTR ≤ 1,44, RH ≤ 19,05, TMP ≤ 31,25 - > 28,45
LM3	DWPT ≤ 5,45, SP ≤ 866,3, MSTR ≤ 1,44, RH ≤ 19,05, TMP ≤ 35,15 - > 31,25
LM4	DWPT ≤ 5,45, SP ≤ 866,3, MSTR ≤ 1,44, RH ≤ 19,05, TMP > 35,15
LM5	DWPT ≤ 5,45, SP ≤ 866,3, MSTR ≤ 1,44, RH > 19,05
LM6	DWPT ≤ 5,45, SP ≤ 866,3, MSTR > 1,44
LM7	**DWPT ≤ 5,45, SP > 866,3**
LM8	DWPT > 5,45, SP ≤ 861,45, RH ≤ 27,3
LM9	DWPT > 5,45, SP ≤ 861,95 - > 861,45, RH ≤ 27,3
LM10	DWPT > 5,45, SP ≤ 863,2 - > 861,95, RH ≤ 27,3
LM11	DWPT > 5,45, SP ≤ 863,2, RH ≤ 38,75 - > 27,3, TMP ≤ 27,05
LM12	DWPT > 5,45, SP ≤ 863,2, RH ≤ 38,75 - > 27,3, TMP > 27,05, DWPT ≤ 11,75, SP ≤ 861,85
LM13	DWPT > 5,45, SP ≤ 863,2 - > 861,85, RH ≤ 38,75 - > 27,3, TMP > 27,05, DWPT ≤ 11,75
LM14	DWPT > 5,45, SP ≤ 863,2, RH ≤ 38,75 - > 27,3, TMP > 27,05, DWPT > 11,75
LM15	DWPT > 5,45, SP ≤ 863,2, RH ≤ 45,15 - > 38,75, HW ≤ 3,65
LM16	DWPT > 5,45, SP ≤ 863,2, RH ≤ 45,15 - > 38,75, HW > 3,65
LM17	DWPT > 5,45, SP ≤ 863,2, RH > 45,15
LM18	DWPT > 5,45, SP ≤ 864,65 - > 863,2, TMP ≤ 19,25
LM19	DWPT > 5,45, SP > 864,65, TMP ≤ 19,25
LM20	DWPT > 5,45, SP ≤ 864,95 - > 863,2, TMP > 19,25, MSTR ≤ 1,035
LM21	DWPT > 5,45, SP ≤ 864,95 - > 863,2, TMP > 19,25, MSTR > 1,035
LM22	DWPT > 5,45, SP > 864,95, TMP > 19,25

Çizelge 6.14 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_1) salınım kestirim denklemleri
LM1	0,00045 * TMP - 0,006 * RH + 0,0095 * SP - 0,002 * DWPT + 0,0005 * HW - 0,031 * MSTR - 7,773
LM2	0,0099 * TMP - 0,006 * RH + 0,0095 * SP - 0,002 * DWPT + 0,0005 * HW - 0,031 * MSTR - 7,893
LM3	0,0094 * TMP - 0,006 * RH + 0,0095 * SP - 0,002 * DWPT + 0,0005 * HW - 0,031 * MSTR - 7,715
LM4	-0,0076 * TMP - 0,006 * RH + 0,0095 * SP - 0,002 * DWPT + 0,0005 * HW - 0,031 * MSTR - 7,443
LM5	0,0004 * TMP - 0,0129 * RH + 0,0095 * SP - 0,002 * DWPT + 0,0005 * HW - 0,031 * MSTR - 7,846
LM6	0,003 * TMP - 0,0043 * RH + 0,0095 * SP - 0,002 * DWPT + 0,0005 * HW - 0,051 * MSTR - 8,110
LM7	**-0,00032 * TMP - 0,013 * RH + 0,005 * SP - 0,00087 * DWPT + 0,0005 * HW - 0,09 * MSTR - 2,917**
LM8	-0,0011 * TMP + 0,00032 * RH + 0,007 * SP + 0,0037 * DWPT + 0,0007 * HW + 0,0045 * MSTR - 5,87
LM9	-0,0011 * TMP + 0,00032 * RH - 0,1034 * SP + 0,004 * DWPT + 0,0007 * HW + 0,0062 * MSTR + 89,30
LM10	-0,0011 * TMP + 0,00032 * RH - 0,09 * SP + 0,004 * DWPT + 0,0007 * HW + 0,0062 * MSTR + 79,62
LM11	0,021 * TMP + 0,0038 * RH + 0,0031 * SP - 0,0099 * DWPT + 0,002 * HW - 0,0007 * MSTR - 3,102
LM12	0,059 * TMP + 0,0038 * RH + 0,0482 * SP - 0,017 * DWPT + 0,002 * HW - 0,0007 * MSTR - 42,916
LM13	0,179 * TMP + 0,0038 * RH + 0,026 * SP - 0,017 * DWPT + 0,002 * HW - 0,0007 * MSTR - 26,976
LM14	0,0335 * TMP + 0,0038 * RH + 0,029 * SP - 0,03 * DWPT + 0,002 * HW - 0,0007 * MSTR - 25,738
LM15	0,0065 * TMP - 0,0015 * RH - 0,003 * SP + 0,0094 * DWPT + 0,0049 * HW + 0,0165 * MSTR + 3,01
LM16	0,0065 * TMP - 0,0015 * RH - 0,003 * SP + 0,015 * DWPT + 0,0081 * HW + 0,0165 * MSTR + 3,039
LM17	0,0065 * TMP - 0,0013 * RH - 0,003 * SP + 0,138 * DWPT + 0,0016 * HW + 0,34 * MSTR + 0,981
LM18	0,0532 * TMP - 0,00057 * RH - 0,003 * SP + 0,001 * DWPT + 0,0006 * HW - 0,0007 * MSTR + 1,88
LM19	0,00008 * TMP - 0,00057 * RH - 0,0015 * SP + 0,001 * DWPT + 0,0006 * HW - 0,0007 * MSTR + 1,33
LM20	0,0188 * TMP + 0,00014 * RH + 0,00087 * SP + 0,0076 * DWPT + 0,023 * HW - 0,28 * MSTR - 0,98
LM21	0,0008 * TMP + 0,00014 * RH - 0,586 * SP - 0,00087 * DWPT + 0,0006 * HW - 0,0026 * MSTR + 507,19
LM22	0,00402 * TMP - 0,0360 * RH + 0,0036 * SP - 0,00427 * DWPT + 0,0006 * HW - 0,275 * MSTR - 1,227

6.3 Kalker İşletmesi (A) Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan ve hesaplanan tüm parametrelerin birbirleriyle olan ilgileşimleri Şekil 6.2'de verilmiştir. Bağımlı değişkenler (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, nem ve silt+kil içeriği) arasındaki ilgileşim zayıf (R<%22) düzeydedir ve herhangi bir bağımlı değişkenin üzerinde etkiyi tek bir bağımsız değişken ile açıklamak mümkün değildir. Hava sıcaklığı, bağıl nem ile arasında normal negatif yönlü bir ilgileşim (%40≤R<%70), çiğ noktası sıcaklığı arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70) bulunmaktadır. Benzer şekilde; rüzgâr hızının, yan rüzgâr hızı ile arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim, karşı rüzgâr hızı ile normal yönlü ilgileşim olduğu söylenebilmektedir. Bağıl nem ile malzeme nemi arasında pozitif yönlü normal ilgileşim vardır.



Şekil 6.2 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi

6.3.1 Regresyon analizi

Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan PM salınımlarına ait normallik test analiz sonuçları Çizelge 6.15'de verilmiştir. Yeni veri setlerinden doğal logaritmik ve logaritmik setlere ait çarpıklık ve basıklık değerlerinin literatürde belirtilen aralıkta oldukları ve verilerin normal dağılıma uygun oldukları görülmüştür.

Çizelge 6.15 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti normallik test analiz sonuçları

Tür	PM salınımı (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
ham	TAPM	577,83 ± 955,91	196,4 (1,1 - 6527,9)	3,174	11,973	<0,001
	PM_{10}	370,51 ± 846,12	81,4 (1 - 6527,9)	4,260	20,602	<0,001
	$PM_{2,5}$	22,08 ± 34,06	9,59 (0,3 - 540,22)	5,347	53,508	<0,001
	PM_1	4,12 ± 12,76	1,87 (0,01 - 354,2)	18,566	421,960	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,27 ± 0,73**	**2,29 (0,04 - 3,82)**	**-0,328**	**-0,165**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**1,97 ± 0,72**	**1,91 (0 - 3,82)**	**0,161**	**-0,176**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**1,01 ± 0,55**	**0,98 (-0,52 - 2,73)**	**0,019**	**-0,404**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,3 ± 0,51**	**0,27 (-2 - 2,55)**	**-0,382**	**1,776**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,02 ± 0,07	0,01 (0 - 0,91)	6,419	52,256	<0,001
	1/PM_{10}	0,04 ± 0,08	0,01 (0 - 1)	5,369	38,882	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,21 ± 0,31	0,1 (0 - 3,33)	3,641	17,539	<0,001
	1/PM_1	1,34 ± 5,68	0,54 (0 - 100)	14,018	227,098	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**5,23 ± 1,68**	**5,28 (0,1 - 8,78)**	**-0,328**	**-0,165**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**4,53 ± 1,67**	**4,4 (0 - 8,78)**	**0,161**	**-0,176**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,34 ± 1,26**	**2,26 (-1,2 - 6,29)**	**0,019**	**-0,404**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**0,69 ± 1,18**	**0,63 (-4,61 - 5,87)**	**-0,382**	**1,776**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	0,58 ± 0,96	0,2 (0 - 6,53)	3,174	11,973	<0,001
	PM_{10}/1000	0,37 ± 0,85	0,08 (0 - 6,53)	4,261	20,602	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,02 ± 0,03	0,01 (0 - 0,54)	5,349	53,566	<0,001
	PM_1/1000	0 ± 0,01	0 (0 - 0,35)	18,553	421,430	<0,001

Normal dağılım gösteren PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerine ait betimleyici istatistikler Çizelge 6.16'da verilmiştir. Kalker (A) işletmesinde her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark bulunmamaktadır. Buna göre; TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 değerleri aylar bazında farklılıklar ortaya koymaktadır. Bağımsız değerler

incelendiğinde de benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. TMP değerinin Haziran 2021'deki ölçüm değerleri ile Ağustos ve Eylül 2020 aylarındaki ölçüm değerleri arasında anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır. Diğer aylardaki ölçüm değerleri ile bu aylar arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır. Temmuz 2021 ile Ağustos 2021 aylarındaki ölçümler arasında anlamlı farklılık bulunmazken diğer aylarla arasında anlamlı farklılıklar vardır.

TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Bunun için, kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin ilgileşim analizi yapılmış ve normal dağılım göstermeyen ham veri setleri dönüştürülerek oluşan yeni veri setlerinden normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayılarına sahip veriler değerlendirmeye alınmıştır. En yüksek ilgileşim katsayıları ve salınım kestirim denklemleri Çizelge 6.17'de verilmiştir. Buna göre, en düşük ilgileşim katsayısı 0,628 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM), en yüksek ilgileşim katsayısı 0,970 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10}, PM_1 ile diğer PM'ler arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değeri, logaritmik ve doğal logaritmik olarak dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. PM_1'in TAPM ve PM_{10} ile arasında normal ilgileşim, diğer PM salınımları arasında yüksek ilgileşim olduğu için, herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları da makul doğruluk payı ile hesaplanabilmektedir.

Kalker işletmesi (A) veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri oldukça düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 6.18 ve 6.19'da sunulmuştur.

Çizelge 6.16 Kalker (A) işletmesi yükleme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri

	Parametre	Ay	Ağustos 2020	Eylül 2020	Ekim 2020	Kasım 2020	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Kasım 2021	p
Kalker (A) İşletmesi	log(TAPM)	Tukey	2,33 ± 0,74^{c}	2,42 ± 0,46^{cd}	2,08 ± 0,43^{b}	2,59 ± 0,48^{de}	1,94 ± 0,83^{ab}	2,78 ± 0,62^{e}	1,82 ± 0,85^{a}	1,74 ± 0,55^{a}	1,87 ± 0,34^{a}	≤0,001
	ln(TAPM)	Tukey	5,36 ± 1,71^{c}	5,58 ± 1,06^{cd}	4,79 ± 0,99^{b}	5,96 ± 1,1^{de}	4,46 ± 1,92^{ab}	6,41 ± 1,42^{e}	4,19 ± 1,95^{a}	4 ± 1,26^{a}	4,3 ± 0,77^{a}	≤0,001
	log(PM_{10})	Tukey	1,97 ± 0,81^{cd}	2,08 ± 0,43^{de}	1,82 ± 0,39^{bc}	2,27 ± 0,45^{e}	1,64 ± 0,79^{ab}	2,57 ± 0,68^{f}	1,54 ± 0,77^{a}	1,48 ± 0,46^{a}	1,47 ± 0,28^{a}	≤0,001
	ln(PM_{10})	Tukey	4,53 ± 1,86^{cd}	4,8 ± 0,99^{de}	4,18 ± 0,91^{bc}	5,22 ± 1,04^{e}	3,78 ± 1,81^{ab}	5,92 ± 1,57^{f}	3,54 ± 1,78^{a}	3,41 ± 1,07^{a}	3,39 ± 0,65^{a}	≤0,001
	log($PM_{2,5}$)	Tukey	0,75 ± 0,58^{ab}	1,03 ± 0,19^{c}	0,62 ± 0,3^{a}	1,47 ± 0,36^{d}	0,7 ± 0,55^{a}	1,39 ± 0,45^{d}	0,7 ± 0,46^{a}	0,86 ± 0,3^{b}	0,63 ± 0,14^{a}	≤0,001
	ln($PM_{2,5}$)	Tukey	1,73 ± 1,34^{ab}	2,36 ± 0,43^{c}	1,43 ± 0,68^{a}	3,39 ± 0,82^{d}	1,62 ± 1,28^{a}	3,21 ± 1,03^{d}	1,61 ± 1,05^{a}	1,97 ± 0,68^{b}	1,44 ± 0,33^{a}	≤0,001
	log(PM_{1})	Tukey	0,17 ± 0,48^{a}	0,21 ± 0,14^{cd}	0,02 ± 0,04^{ab}	0,77 ± 0,28^{f}	0,05 ± 0,68^{a}	0,56 ± 0,46^{e}	0,05 ± 0,35^{ab}	0,29 ± 0,26^{d}	0,11 ± 0,13^{bc}	≤0,001
	ln(PM_{1})	Tukey	0,39 ± 1,11^{a}	0,49 ± 0,32^{cd}	0,04 ± 0,09^{ab}	1,77 ± 0,65^{f}	0,11 ± 1,56^{a}	1,29 ± 1,05^{e}	0,1 ± 0,81^{ab}	0,67 ± 0,6^{d}	0,26 ± 0,3^{bc}	≤0,001
	TMP	Tukey	23,02 ± 4,6^{g}	22 ± 1,57^{f}	13,36 ± 1,22^{d}	5,14 ± 1,12^{a}	22,8 ± 2,64^{fg}	19,96 ± 1,26^{e}	20,28 ± 3,61^{e}	11,93 ± 0,38^{c}	9,63 ± 4,7^{b}	≤0,001
	RH	Tukey	37,01 ± 17,17^{a}	50,43 ± 3,11^{c}	71,72 ± 3,66^{g}	61,02 ± 13,29^{ef}	43,56 ± 11,94^{b}	57,14 ± 5,41^{de}	61,54 ± 18,64^{f}	74,14 ± 2,22^{g}	56,41 ± 11,6^{d}	≤0,001
	SP	Tukey	841,27 ± 0,96^{a}	854,32 ± 0,05^{f}	857,15 ± 0,07^{h}	851,54 ± 0,38^{f}	847,8 ± 0,32^{d}	845,72 ± 1,5^{b}	847,25 ± 1,26^{c}	847,92 ± 1,87^{d}	855,71 ± 0,11^{g}	≤0,001
	WS	Tukey	2,21 ± 1,19^{d}	1 ± 0,62^{c}	0,64 ± 0,37^{b}	0,65 ± 1,07^{b}	1,19 ± 0,91^{c}	2,58 ± 1,43^{f}	1,27 ± 1^{c}	2,28 ± 1,1^{df}	0 ± 0,03^{a}	≤0,001
	DWPT	Tukey	5,48 ± 4,59^{c}	11,21 ± 1,2^{g}	8,35 ± 0,9^{e}	-2,03 ± 3^{a}	9,2 ± 2,56^{f}	11,16 ± 0,72^{g}	11,8 ± 2,09^{g}	7,47 ± 0,34^{d}	1,01 ± 1,79^{b}	≤0,001
	CW	Tukey	1,61 ± 1,3^{c}	0,72 ± 0,66^{b}	0,55 ± 0,33^{b}	0,52 ± 0,88^{b}	0,77 ± 0,73^{b}	1,41 ± 1,26^{c}	0,66 ± 0,53^{b}	0,7 ± 0,55^{b}	0 ± 0,03^{a}	≤0,001
	HW	Tukey	0,8 ± 1,17^{d}	-0,36 ± 0,55^{a}	-0,28 ± 0,24^{ab}	0,36 ± 0,63^{c}	-0,32 ± 1,01^{a}	1,85 ± 1,32^{e}	0,91 ± 1,03^{d}	2,1 ± 1,11^{e}	0 ± 0,01^{b}	≤0,001
	MSTR	Tukey	1,52 ± 0,26^{f}	1,29 ± 0,1^{e}	1,74 ± 0,07^{g}	1,02 ± 0,32^{d}	0,34 ± 0,31^{a}	0,57 ± 0,28^{b}	0,89 ± 0,24^{c}	1,85 ± 0,16^{h}	0,9 ± 0,09^{c}	≤0,001

a-f: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (PM ölçüm verileri)
a-h Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (Termal konfor parametreleri ve laboratuvar ölçüm verileri)

Çizelge 6.17 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-125,515 (-135,921 - -115,10)		-23,653	0,000			
	TAPM	0,858 (0,849 - 0,868)	0,970	180,66	0,000	0,970	0,970	1,0
$ln(PM_{2,5})$	(Sabit)	-0,763 (-0,865 - -0,661)		-14,691	0,000			
	ln(TAPM)	0,595 (0,577 - 0,614)	0,811	62,919	0,000	0,811	0,811	1,0
$*ln(PM_{2,5})$	(Sabit)	-0,537 (-0,616 - -0,458)		-13,374	0,000			
	$ln(PM_{10})$	0,637 (0,620 - 0,653)	0,860	76,563	0,000	0,860	0,860	1,0
$ln(PM_1)$	(Sabit)	-0,862 (-0,959 - -0,764)		-17,331	0,000			
	ln(TAPM)	0,332 (0,314 - 0,350)	0,628	36,647	0,000	0,628	0,628	1,0
$*ln(PM_1)$	(Sabit)	-0,778 (-0,859 - -0,697)		-18,811	0,000			
	$ln(PM_{10})$	0,364 (0,347 - 0,381)	0,684	42,534	0,000	0,684	0,684	1,0
$**ln(PM_1)$	(Sabit)	-0,660 (-0,695 - -0,626)		-37,270	0,000			
	$ln(PM_{2,5})$	0,653 (0,640 - 0,666)	0,907	97,753	0,000	0,907	0,907	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı
PM_{10}; F= 32638,506, p≤0,001, Adj.R^2= 0,941, SE= 206,35
$ln(PM_{2,5})$; F= 3958,78, p≤0,001, Adj.R^2= 0,657, SE= 0,72
$*ln(PM_{2,5})$; F= 5861,890, p≤0,001, Adj.R^2= 0,740, SE= 0,63
$ln(PM_1)$; F= 1342,972, p≤0,001, Adj.R^2= 0,394, SE= 0,69
$*ln(PM_1)$; F= 1809,125, p≤0,001, Adj.R^2= 0,467, SE= 0,64
$**ln(PM_1)$; F= 9555,61, p≤0,001, Adj.R^2= 0,822, SE= 0,37

Çizelge 6.18 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti veri setlerinin toplu giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları

Örnekleme yerleri	Bağımlı değişken	Toplu giriş metodu ile doğrusal regresyon			
		Model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler (p<0,05; VIF ≤ 5)	Düzeltilmiş R^2 (%)	Kısmi ilgileşim	
				Çok etkili	Az etkili
Alçıtaşı işletmesi	ln(TAPM)	SP, MSTR, BC	26,7	SP, MSTR	BC
	log(TAPM)		24,8		
	$ln(PM_{10})$		35,9	SP, BC	MSTR
	$log(PM_{10})$		45,1		
	$ln(PM_{2,5})$				
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$				
	$log(PM_1)$				
Kalker (A) işletmesi	ln(TAPM)	SP, CW, HW, MSTR, BC	17,9	CW, HW	SP
	log(TAPM)		18,3		
	$ln(PM_{10})$	CW, HW, MSTR	24,6		MSTR
	$log(PM_{10})$		29,5		
	$ln(PM_{2,5})$				
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$				
	$log(PM_1)$				
Kalker (B) işletmesi	ln(TAPM)	MSTR, SP	7,4	MSTR	SP
	log(TAPM)		5,8		
	$ln(PM_{10})$	HW, BC	1,7	HW	BC
	$log(PM_{10})$	SP, HW, MSTR, BC	5,9	SP, HW	MSTR, BC
	$ln(PM_{2,5})$				
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$				
	$log(PM_1)$				
Kalker (A+B) İşletmeleri	ln(TAPM)	SP, CW, MSTR	7,6	MSTR	SP, CW
	log(TAPM)	SP, CW, MSTR, BC	7,4		BC, CW
	$ln(PM_{10})$	MSTR, CW, SP	7,7		SP, CW
	$log(PM_{10})$	CW, HW, MSTR, BC	13		HW, CW
	$ln(PM_{2,5})$				
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$				
	$log(PM_1)$				
Tüm işletmeler	ln(TAPM)	MSTR, BC, HW	12,3	MSTR	BC, HW
	log(TAPM)	MSTR, HW	11,1		HW
	$ln(PM_{10})$	SP, HW, MSTR, BC	7,1		SP, HW
	$log(PM_{10})$	MSTR, BC, HW	12,8		BC, HW
	$ln(PM_{2,5})$				
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$				
	$log(PM_1)$				

Çizelge 6.19 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti veri setlerinin aşamalı giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları

Örnekleme yerleri	Bağımlı değişken	Aşamalı metot ile doğrusal regresyon			
		Model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler (p<0,05; VIF ≤ 5)	Düzeltilmiş R^2 (%)	Kısmi ilgileşim	
				Çok etkili	Az etkili
Alçıtaşı işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	RH, MSTR, TMP, SP, HW, BC	26,3	RH, TMP	BC
			24,7		
		BC, RH, TMP, SP, HW, MSTR, WS	35,9		MSTR, WS
			44,7		
Kalker (A) işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	RH, TMP, HW, MSTR, CW, WS, BC, SP	13,8	RH, HW	BC, SP
			12,5	MSTR, HW	
		TMP, HW, MSTR, CW, WS, RH	19,9	TMP, HW	RH, WS
		TMP, HW, BC, MSTR, WS, CW	28		CW
Kalker (B) işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	MSTR, SP, DWPT	7,3	MSTR, DWPT	SP
			5,7		
		HW, RH, BC	1,7	RH	HW, BC
		HW, SP, MSTR, WS, RH	5,7	MSTR, SP	WS
Kalker (A+B) işletmeleri	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	MSTR, SP, RH, WS, CW, HW	7	MSTR	HW, RH
		MSTR, SP, CW, RH	5,9		CW, RH
		TMP, MSTR, SP, HW	5,7	MSTR, TMP	HW, SP
		MSTR, TMP, RH, BC, WS, CW, HW	11,9		CW, RH
Tüm işletmeler	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	MSTR, RH, TMP, BC, HW, CW	12,2	MSTR, RH	BC, CW
		MSTR, RH, TMP, HW, CW	11		TMP, CW
		MSTR, TMP, RH, BC, SP, WS, HW	7,1	TMP, RH	WS, SP
		MSTR, TMP, RH, BC, WS, HW	12,7		HW, BC

6.3.2 Kalker İşletmesi (A) yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Geleneksel regresyon modellemesinde bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında yapılan doğrusal regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısının düşük (R^2<%30) olması nedeniyle, karar ağacı tekniğinde M5P algoritması kullanılmış ve model sonuçları Çizelge 6.20'de verilmiştir.

TAPM salınımı için yapılan regresyon analizinde en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik veri setinde elde edilmiş ve log(TAPM) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 21 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.21 ve 6.22'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.25'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, malzeme nemi, karşı ve yan rüzgâr hızlarıdır. Yapılan modelleme çalışmalarında PM salınımı

üzerinde en etkili parametreler; bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı ve malzeme nemidir. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %19,56'sı LM21'i, %0,87'si LM15'i temsil etmektedir.

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik veri setinde elde edilmiş ve log(PM_{10}) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 21 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.23 ve 6.24'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.26'da verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, malzeme nemi, yükleyici kova hacmi, karşı ve yan rüzgâr hızlarıdır. Yapılan modelleme çalışmalarında PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, yükleyici kova hacmi, çiğ noktası sıcaklığı ve malzeme nemidir. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin %17,28'i LM20'yi, %1,25'i LM6'yı temsil etmektedir.

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik veri setinde elde edilmiş ve log($PM_{2,5}$) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 15 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.25 ve 6.26'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.27'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, malzeme nemi, karşı rüzgâr hızı ve yükleyici kova hacmidir. Yapılan modelleme çalışmalarında PM salınımı üzerinde en etkili parametreler bağıl nem, istasyon basıncı ve malzeme nemidir. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %20,29'u LM15'i, %1,79'u LM1'i temsil etmektedir.

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik veri setinde elde edilmiş ve log(PM_1) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 16 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.27 ve 6.28'de, modele ait karar Şekil EK-1.28'de verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, bağıl nem, hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, karşı rüzgâr hızı, malzeme nemi ve yükleyici kova hacmidir. Yapılan modelleme çalışmalarında PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise hava sıcaklığı, istasyon basıncı ve malzeme nemidir. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %20,82'si LM3'ü, %1,64'ü LM2'yi temsil etmektedir.

Çizelge 6.20 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti PM verilerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	$log(PM_{10})$	$ln(PM_{10})$	$1/PM_{10}$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0,7174	0,7174	**0,7392**	0,7392	0,6812	0,703	0,703	**0,738**	0,738	0,7603
	MAE	381,5335	0,3815	**0,3764**	0,8666	0,0204	297,4336	0,2974	**0,3639**	0,838	0,0228
	RMSE	671,6705	0,6717	**0,4926**	1,1342	0,0538	610,7324	0,6107	**0,4901**	1,1284	0,0534
	RAE (%)	62,5806	62,5812	**63,9081**	63,909	65,0574	66,3074	66,3081	**63,479**	63,478	55,1327
	RRSE (%)	70,2822	70,282	**67,558**	67,5583	73,7955	72,1981	72,1979	**67,7507**	67,7512	65,7496
	Model (düğüm) sayısı	23	23	**21**	21	13	25	25	**21**	21	23
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0,6084	0,6093	**0,7054**	0,7055	0,5979	0,5655	0,5655	**0,7125**	0,7125	0,6866
	MAE	425,8757	0,4241	**0,3954**	0,9101	0,0213	318,182	0,3181	**0,3742**	0,8616	0,0254
	RMSE	758,4898	0,7578	**0,5173**	1,191	0,0585	697,8087	0,6978	**0,508**	1,1696	0,0591
	RAE (%)	69,7844	69,4877	**67,0988**	67,0858	67,7514	70,8618	70,8544	**65,2366**	65,2356	61,1852
	RRSE (%)	79,29	79,2204	**70,9017**	70,8981	80,1725	82,4143	82,4116	**70,1778**	70,1781	72,6812
	Model (düğüm) sayısı	23	23	**21**	21	13	25	25	**21**	21	23
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0,6201	0,6201	**0,6634**	0,6634	0,5624	0,5887	0,5887	**0,6655**	0,6655	0,6886
	MAE	446,2563	0,4462	**0,4249**	0,9784	0,0213	328,7613	0,3287	**0,4073**	0,9379	0,0248
	RMSE	814,4397	0,8144	**0,5552**	1,2784	0,0578	753,9893	0,754	**0,5551**	1,2783	0,0587
	RAE (%)	69,6069	69,6067	**70,6226**	70,6247	68,0303	69,7179	69,7176	**69,3139**	69,315	59,3987
	RRSE (%)	78,2312	78,2304	**74,7875**	74,7886	82,9054	81,2595	81,2603	**74,5827**	74,5844	72,5194
	Model (düğüm) sayısı	23	23	**21**	21	13	25	25	**21**	21	23
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}/1000$	$log(PM_{2,5})$	$ln(PM_{2,5})$	$1/PM_{2,5}$	PM_1	$PM_1/1000$	$log(PM_1)$	$ln(PM_1)$	$1/PM_1$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0,7457	0,7616	**0,8126**	0,8126	0,7932	0,7992	0,8013	**0,8257**	0,8199	0,7991
	MAE	10,7995	0,0108	**0,2229**	0,5134	0,0968	1,9832	0,002	**0,1451**	0,3427	0,7104
	RMSE	23,036	0,0224	**0,3128**	0,7203	0,1901	8,595	0,0086	**0,2177**	0,5088	3,531
	RAE (%)	52,1562	52,0342	**50,9438**	50,9443	52,0022	52,6384	51,8395	**44,9603**	46,1193	49,6922
	RRSE (%)	67,6474	65,7069	**58,4191**	58,4183	61,2408	67,3919	67,1908	**56,4953**	57,3358	62,2208
	Model sayısı	20	18	**15**	15	16	21	33	**16**	16	16
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0,662	0,713	**0,7978**	0,7978	0,7517	0,4811	0,4918	**0,8055**	0,8022	0,6838
	MAE	11,5356	0,0112	**0,2322**	0,5346	0,1043	2,3374	0,0023	**0,1497**	0,3525	0,8042
	RMSE	25,5606	0,024	**0,3234**	0,7447	0,2055	11,1886	0,0111	**0,2284**	0,5301	4,1472
	RAE (%)	55,6643	54,0112	**53,0338**	53,0345	55,9955	61,9611	61,6053	**46,3735**	47,4168	56,245
	RRSE (%)	74,9944	70,3884	**60,3682**	60,3676	66,1708	87,6816	87,1623	**59,2527**	59,703	73,0421
	Model (düğüm) sayısı	20	18	**15**	15	16	21	33	**16**	16	16
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0,6967	0,6504	**0,7718**	0,7718	0,7172	0,5188	0,5462	**0,7854**	0,7713	0,7377
	MAE	12,1584	0,0126	**0,2522**	0,5809	0,1142	2,6615	0,0025	**0,1592**	0,38	0,919
	RMSE	25,7993	0,0278	**0,3445**	0,7933	0,2268	13,3742	0,012	**0,2415**	0,5654	5,0117
	RAE (%)	57,992	60,1535	**57,1434**	57,1483	59,5188	68,508	65,1729	**49,3857**	51,4451	56,6315
	RRSE (%)	71,978	75,9616	**63,4971**	63,4994	70,261	87,7695	85,12	**61,9417**	63,6476	69,4585
	Model (düğüm) sayısı	20	18	**15**	15	16	21	33	**16**	16	16

Çizelge 6.21 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları

Model	log(TAPM) salınım kestirim kuralları
LM1	RH ≤ 65,7, DWPT ≤ -3,85
LM2	RH ≤ 65,7, DWPT ≤ -3,65 - > -3,85
LM3	RH ≤ 65,7, DWPT ≤ -1,55 - > -3,65
LM4	RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 9,25 - > -1,55, MSTR ≤ 0,035
LM5	RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 9,25 - > -1,55, MSTR ≤ 0,23 - > 0,035, HW ≤ -1,15
LM6	RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 9,25 - > -1,55, MSTR ≤ 0,23 - > 0,035, HW > -1,15
LM7	RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 9,25 - > -1,55, MSTR > 0,23, CW ≤ 0,35
LM8	RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 9,25 - > -1,55, MSTR ≤ 1,325 - > 0,23, CW > 0,35
LM9	RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 9,25 - > -1,55, MSTR > 1,325, CW > 0,35
LM10	RH ≤ 65,7, DWPT > 9,25, SP ≤ 847,75, MSTR ≤ 0,43
LM11	RH ≤ 49, DWPT > 9,25, SP ≤ 847,75, MSTR > 0,43
LM12	RH ≤ 52,85 - > 49, DWPT > 9,25, SP ≤ 847,75, MSTR > 0,43
LM13	RH ≤ 65,7 - > 52,85, DWPT > 9,25, SP ≤ 847,75, MSTR > 0,43
LM14	RH ≤ 65,7, DWPT > 9,25, SP ≤ 848,5 - > 847,75
LM15	RH ≤ 36,4, DWPT > 9,25, SP > 848,5
LM16	RH ≤ 49,45 - > 36,4, DWPT > 9,25, SP > 848,5
LM17	RH ≤ 65,7 - > 49,45, DWPT > 9,25, SP > 848,5
LM18	RH > 65,7, SP ≤ 846,85, HW ≤ 0,1, MSTR ≤ 0,935
LM19	RH > 65,7, SP ≤ 846,85, HW ≤ 0,1, MSTR > 0,935
LM20	RH > 65,7, SP ≤ 846,85, HW > 0,1
LM21	**RH > 65,7, SP > 846,85**

Çizelge 6.22 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri

Model	log(TAPM) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,00014 * RH - 0,00018 * SP + 0,00624 * DWPT + 0,00222 * CW + 0,00441 * HW - 0,00195 * MSTR + 2,63
LM2	-0,00014 * RH - 0,00018 * SP + 0,00624 * DWPT + 0,00222 * CW + 0,00441 * HW - 0,00195 * MSTR + 2,77
LM3	0,00002 * RH - 0,00018 * SP + 0,08698 * DWPT + 0,00222 * CW + 0,00441 * HW - 0,83555 * MSTR + 4,07
LM4	-0,0011 * RH + 0,00002 * SP + 0,00111 * DWPT + 0,00359 * CW + 0,11754 * HW + 0,8266 * MSTR + 1,26
LM5	-0,0011 * RH + 0,00002 * SP + 0,00111 * DWPT + 0,00359 * CW + 0,13452 * HW + 0,41812 * MSTR + 1,67
LM6	-0,0011 * RH + 0,00002 * SP + 0,00111 * DWPT + 0,00359 * CW + 0,12021 * HW + 0,41812 * MSTR + 2,17
LM7	-0,0050 * RH + 0,00002 * SP + 0,00111 * DWPT + 0,0198 * CW + 0,02066 * HW - 0,42185 * MSTR + 2,54
LM8	-0,00067 * RH + 0,00002 * SP + 0,00111 * DWPT + 0,1698 * CW + 0,01886 * HW - 0,06761 * MSTR + 2,28
LM9	-0,00067 * RH + 0,00002 * SP + 0,00111 * DWPT + 0,0272 * CW + 0,01886 * HW - 0,06761 * MSTR + 2,17
LM10	-0,00315 * RH - 0,00175 * SP + 0,15 * DWPT + 0,00283 * CW + 0,00147 * HW - 0,029 * MSTR + 2,96
LM11	-0,00994 * RH - 0,00175 * SP + 0,02543 * DWPT + 0,00283 * CW + 0,00148 * HW - 0,02887 * MSTR + 4,71
LM12	-0,00545 * RH - 0,00175 * SP + 0,02543 * DWPT + 0,00283 * CW + 0,00148 * HW - 0,02887 * MSTR + 3,92
LM13	-0,00545 * RH - 0,00175 * SP + 0,02543 * DWPT + 0,00283 * CW - 0,07069 * HW - 0,02887 * MSTR + 4,33
LM14	-0,00108 * RH + 0,00634 * SP + 0,00319 * DWPT + 0,00283 * CW - 0,00092 * HW - 0,71691 * MSTR - 2,75
LM15	-0,00964 * RH + 0,00431 * SP + 0,00319 * DWPT + 0,00283 * CW + 0,00039 * HW - 0,04305 * MSTR - 0,71
LM16	-0,00418 * RH + 0,00431 * SP + 0,00319 * DWPT + 0,00283 * CW + 0,00039 * HW - 0,04305 * MSTR - 1,25
LM17	-0,00078 * RH + 0,00431 * SP + 0,00319 * DWPT + 0,00283 * CW + 0,00039 * HW - 0,04305 * MSTR - 1,16
LM18	-0,00018 * RH + 0,00366 * SP - 0,00047 * DWPT + 0,01517 * CW - 0,01011 * HW - 0,34344 * MSTR - 0,67
LM19	-0,00018 * RH + 0,00366 * SP - 0,00047 * DWPT + 0,01517 * CW - 0,01011 * HW - 0,20222 * MSTR - 1,35
LM20	0,0284 * RH + 0,00366 * SP - 0,00047 * DWPT + 0,01517 * CW - 0,00617 * HW - 0,00451 * MSTR - 3,92
LM21	**0,01609 * RH + 0,0235 * SP + 0,01812 * DWPT + 0,1443 * CW + 0,00249 * HW - 0,00451 * MSTR - 19,45**

Çizelge 6.23 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları

Model	log(PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 847,75, BC ≤ 2,04, HW ≤ 0,1
LM2	SP ≤ 847,75, BC ≤ 2,04, HW > 0,1
LM3	SP ≤ 847,75, BC > 2,04, DWPT ≤ 9,25, MSTR ≤ 0,035
LM4	SP ≤ 847,75, BC > 2,04, DWPT ≤ 9,25, MSTR ≤ 1,325 - > 0,035, HW ≤ -1,25
LM5	SP ≤ 847,75, BC > 2,04, DWPT ≤ 7,65, MSTR ≤ 1,325 - > 0,035, HW > -1,25
LM6	SP ≤ 847,75, BC > 2,04, DWPT ≤ 9,25 - > 7,65, MSTR ≤ 1,325 - > 0,035, HW > -1,25
LM7	SP ≤ 847,75, BC > 2,04, DWPT ≤ 9,25, MSTR > 1,325, HW ≤ 2,65
LM8	SP ≤ 847,75, BC > 2,04, DWPT ≤ 9,25, MSTR > 1,325, HW > 2,65
LM9	SP ≤ 847,75, BC > 2,04, DWPT > 9,25, MSTR ≤ 0,43
LM10	SP ≤ 847,75, BC > 2,04, DWPT > 9,25, MSTR ≤ 0,89 - > 0,43
LM11	SP ≤ 847,75, BC > 2,04, DWPT > 9,25, MSTR > 0,89
LM12	SP > 847,75, DWPT ≤ - 3,85
LM13	SP > 847,75, DWPT ≤ - 3,65 - > - 3,85
LM14	SP > 847,75, DWPT ≤ - 2,95 - > - 3,65
LM15	SP > 847,75, DWPT ≤ - 2,15 - > - 2,95
LM16	SP ≤ 854,95 - > 847,75, DWPT > - 2,15, BC ≤ 1,89, HW ≤ -0,05
LM17	SP ≤ 849,05 - > 847,75, DWPT ≤ 10,95 - > - 2,15, BC ≤ 1,89, HW > -0,05
LM18	SP ≤ 854,95 - > 849,05, DWPT ≤ 10,95 - > - 2,15, BC ≤ 1,89, HW > -0,05
LM19	SP ≤ 854,95 - > 847,75, DWPT > 10,95, BC ≤ 1,89, HW > -0,05
LM20	**SP ≤ 854,95 - > 847,75, DWPT > - 2,15, BC > 1,89**
LM21	SP > 854,95, DWPT > - 2,15

Çizelge 6.24 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,009 * SP + 0,0063 * DWPT + 0,046 * CW - 0,035 * HW - 0,08 * MSTR + 0,059 * BC + 8,89
LM2	-0,009 * SP + 0,0063 * DWPT + 0,255 * CW - 0,030 * HW - 0,08 * MSTR + 0,059 * BC + 8,36
LM3	-0,01 * SP + 0,0186 * DWPT + 0,004 * CW + 0,078 * HW + 0,098 * MSTR + 0,02 * BC + 9,33
LM4	-0,01 * SP + 0,0082 * DWPT + 0,004 * CW + 0,104 * HW - 0,005 * MSTR + 0,02 * BC + 9,77
LM5	-0,01 * SP + 0,015 * DWPT + 0,004 * CW + 0,063 * HW - 0,005 * MSTR + 0,02 * BC + 10,15
LM6	-0,01 * SP + 0,022 * DWPT + 0,004 * CW + 0,063 * HW - 0,005 * MSTR + 0,02 * BC + 10,46
LM7	-0,01 * SP + 0,0025 * DWPT + 0,004 * CW + 0,0068 * HW - 0,06 * MSTR + 0,02 * BC + 10,07
LM8	-0,01 * SP + 0,0025 * DWPT + 0,004 * CW - 0,010 * HW - 0,058 * MSTR + 0,02 * BC + 9,78
LM9	-0,025 * SP + 0,1619 * DWPT + 0,004 * CW + 0,009 * HW - 0,116 * MSTR + 0,02 * BC + 22,73
LM10	-0,038 * SP + 0,0241 * DWPT + 0,004 * CW + 0,009 * HW - 0,109 * MSTR + 0,02 * BC + 34,20
LM11	-0,035 * SP + 0,0241 * DWPT + 0,004 * CW + 0,009 * HW - 0,109 * MSTR + 0,02 * BC + 31,90
LM12	-0,0018 * SP + 0,011 * DWPT + 0,003 * CW - 0,0028 * HW - 0,0045 * MSTR + 0,0035 * BC + 3,56
LM13	-0,0018 * SP + 0,013 * DWPT + 0,003 * CW - 0,0028 * HW - 0,0045 * MSTR + 0,0035 * BC + 3,79
LM14	-0,0018 * SP + 0,033 * DWPT + 0,003 * CW - 0,0028 * HW - 0,0045 * MSTR + 0,0035 * BC + 4,15
LM15	-0,0018 * SP + 0,035 * DWPT + 0,003 * CW - 0,0028 * HW - 0,0045 * MSTR + 0,0035 * BC + 4,34
LM16	-0,00054 * SP + 0,0724 * DWPT + 0,006 * CW - 0,00034 * HW - 0,0227 * MSTR - 0,036 * BC + 1,80
LM17	0,0122 * SP - 0,0167 * DWPT + 0,006 * CW - 0,00034 * HW - 0,0227 * MSTR - 0,036 * BC - 8,12
LM18	0,017 * SP - 0,0167 * DWPT + 0,006 * CW - 0,00034 * HW - 0,0227 * MSTR - 0,036 * BC - 11,90
LM19	0,0126 * SP - 0,036 * DWPT + 0,006 * CW - 0,00034 * HW - 0,0227 * MSTR - 0,036 * BC - 8,30
LM20	**-0,00054 * SP - 0,0401 * DWPT + 0,006 * CW - 0,00034 * HW - 0,344 * MSTR - 0,025 * BC + 3,02**
LM21	0,22 * SP + 0,00124 * DWPT + 0,0107 * CW - 0,00034 * HW - 0,0045 * MSTR - 0,004 * BC - 186,76

Çizelge 6.25 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları

Model	log($PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 847,75, RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 9,45, HW ≤ 0,35, MSTR ≤ 0,035
LM2	SP ≤ 847,75, RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 9,45, HW ≤ 0,35, MSTR > 0,035
LM3	SP ≤ 847,75, RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 9,45, HW > 0,35
LM4	SP ≤ 847,75, RH ≤ 65,7, DWPT ≤ 11,45 - > 9,45
LM5	SP ≤ 847,75, RH ≤ 65,7, DWPT > 11,45
LM6	SP ≤ 847,75, RH > 65,7, MSTR ≤ 0,905
LM7	SP ≤ 847,75, RH > 65,7, MSTR ≤ 1,075 - > 0,905
LM8	SP ≤ 847,75, RH > 65,7, MSTR > 1,075
LM9	SP ≤ 851,25 - > 847,75
LM10	SP ≤ 853,2 - > 851,25, RH ≤ 55,3, DWPT ≤ -3,75
LM11	SP ≤ 853,2 - > 851,25, RH ≤ 55,3, DWPT ≤ -2,95 - > -3,75
LM12	SP ≤ 853,2 - > 851,25, RH ≤ 55,3, DWPT > -2,95
LM13	SP ≤ 853,2 - > 851,25, RH > 55,3, MSTR ≤ 1,485
LM14	SP ≤ 853,2 - > 851,25, RH > 55,3, MSTR > 1,485
LM15	**SP > 853,2**

Çizelge 6.26 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0,0004 * RH + 0,0011 * SP + 0,0067 * DWPT + 0,0228 * HW - 0,0113 * MSTR + 0,01 * BC - 0,68
LM2	-0,0004 * RH + 0,0011 * SP + 0,0067 * DWPT + 0,0228 * HW - 0,0113 * MSTR + 0,01 * BC - 0,46
LM3	-0,0004 * RH + 0,0011 * SP + 0,0067 * DWPT + 0,0257 * HW - 0,0113 * MSTR + 0,01 * BC - 0,16
LM4	-0,02084 * RH + 0,0011 * SP + 0,019 * DWPT + 0,0117 * HW - 0,233 * MSTR + 0,01 * BC + 1,46
LM5	-0,00364 * RH + 0,0011 * SP + 0,038 * DWPT + 0,0117 * HW - 0,037 * MSTR + 0,01 * BC + 0,45
LM6	-0,00138 * RH + 0,0011 * SP + 0,008 * DWPT + 0,0148 * HW - 0,011 * MSTR + 0,01* BC - 0,24
LM7	-0,00138 * RH + 0,0011 * SP + 0,008 * DWPT + 0,0148 * HW + 0,0178 * MSTR + 0,01 * BC - 0,55
LM8	-0,00138 * RH + 0,0011 * SP + 0,008 * DWPT + 0,0148 * HW + 0,014 * MSTR + 0,01 * BC - 0,36
LM9	0,00036 * RH + 0,125 * SP + 0,016 * DWPT + 0,0064 * HW - 0,017 * MSTR + 0,016 * BC - 105,15
LM10	0,00037 * RH + 0,002 * SP + 0,202 * DWPT + 0,0047 * HW - 0,013 * MSTR + 0,0127 * BC + 0,23
LM11	0,00037 * RH + 0,002 * SP + 0,12 * DWPT + 0,0047 * HW - 0,013 * MSTR + 0,0127 * BC + 0,30
LM12	0,00037 * RH + 0,002 * SP + 0,059 * DWPT + 0,0047 * HW - 0,013 * MSTR + 0,0127 * BC + 0,32
LM13	0,00037 * RH + 0,002 * SP - 0,0032 * DWPT + 0,0047 * HW - 0,036 * MSTR + 0,0127 * BC - 0,18
LM14	0,00037 * RH + 0,00 * SP - 0,0032 * DWPT + 0,0047 * HW - 0,05 * MSTR + 0,0127 * BC - 0,26
LM15	**0,0002 * RH - 0,192 * SP - 0,0009 * DWPT + 0,0034 * HW + 0,338 * MSTR - 0,0027 * BC + 165,3**

Çizelge 6.27 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları

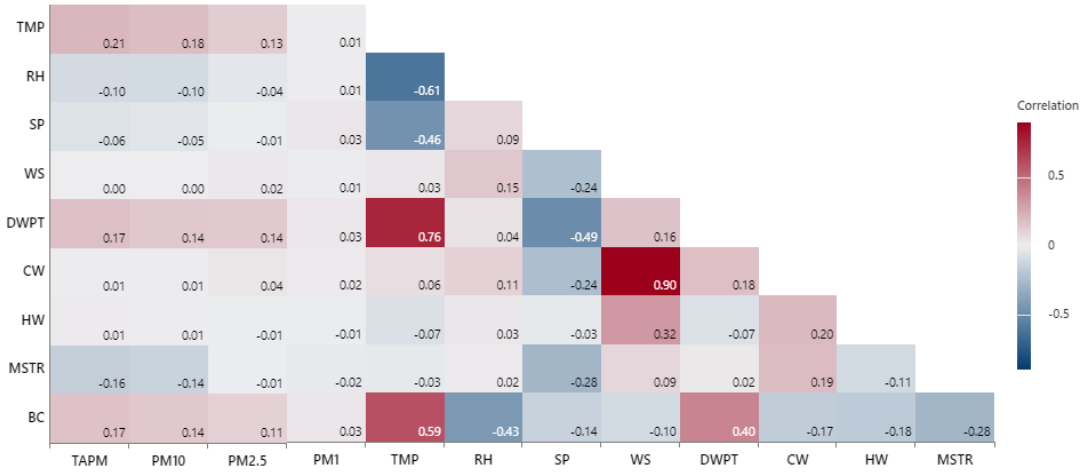
Model	log(PM_1) salınım kestirim kuralları
LM1	TMP ≤ 7,45, DWPT ≤ -3,85
LM2	TMP ≤ 7,45, DWPT ≤ -3,75 - > -3,85
LM3	**TMP ≤ 7,45, DWPT > -3,75**
LM4	TMP > 7,45, SP ≤ 851,8, MSTR ≤ 0,3
LM5	TMP > 7,45, SP ≤ 851,8, MSTR ≤ 0,36 - > 0,3
LM6	TMP > 7,45, SP ≤ 851,8, MSTR ≤ 0,43 - > 0,36
LM7	TMP ≤ 17,55 - > 7,45, SP ≤ 847,65, MSTR > 0,43
LM8	TMP ≤ 20,05 - > 17,55, SP ≤ 847,65, MSTR ≤ 1 - > 0,43
LM9	TMP ≤ 20,05 - > 17,55, SP ≤ 847,65, MSTR > 1
LM10	TMP ≤ 20,05 - > 7,45, SP ≤ 851,8 - > 847,65, MSTR > 0,43
LM11	TMP > 20,05, SP ≤ 851,8, MSTR > 0,43, RH ≤ 24,2
LM12	TMP > 20,05, SP ≤ 851,8, MSTR > 0,43, RH > 24,2, BC ≤ 2,04
LM13	TMP > 20,05, SP ≤ 844,35, MSTR > 0,43, RH ≤ 52,85 - > 24,2, BC > 2,04
LM14	TMP > 20,05, SP ≤ 844,35, MSTR > 0,43, RH > 52,85, BC > 2,04
LM15	TMP > 20,05, SP ≤ 851,8 - > 844,35, MSTR > 0,43, RH > 24,2, BC > 2,04
LM16	TMP > 7,45, SP > 851,8

Çizelge 6.28 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_1) salınım kestirim denklemleri
LM1	0,013 * TMP - 0,00003 * RH - 0,013 * SP + 0,00276 * DWPT + 0,00116 * HW + 0,0342 * MSTR + 11,32
LM2	0,013 * TMP - 0,00003 * RH - 0,013 * SP + 0,00463 * DWPT + 0,00116 * HW + 0,0342 * MSTR + 11,42
LM3	**0,125 * TMP + 0,0087 * RH - 0,155 * SP + 0,0004 * DWPT + 0,00116 * HW + 0,008 * MSTR + 131,98**
LM4	-0,0015 * TMP + 0,0001 * RH + 0,0013 * SP + 0,00676 * DWPT + 0,0834 * HW - 0,0095 * MSTR + 0,0158 * BC - 0,95
LM5	-0,0015 * TMP + 0,00001 * RH + 0,0013 * SP + 0,308 * DWPT + 0,0065 * HW - 0,247 * MSTR + 0,0158 * BC - 3,90
LM6	-0,0015 * TMP + 0,00001 * RH + 0,0013 * SP + 0,022 * DWPT + 0,0065 * HW - 0,27 * MSTR + 0,0158 * BC - 0,77
LM7	-0,0024 * TMP - 0,0015 * RH + 0,00265 * SP + 0,00145 * DWPT + 0,002 * HW - 0,02 * MSTR + 0,0077 * BC - 2,04
LM8	-0,0024 * TMP - 0,0021 * RH + 0,00265 * SP + 0,00145 * DWPT + 0,002 * HW - 0,045 * MSTR + 0,0077 * BC - 1,74
LM9	-0,0024 * TMP - 0,00448 * RH + 0,00265 * SP + 0,00145 * DWPT + 0,002 * HW - 0,02 * MSTR + 0,0077 * BC - 1,79
LM10	-0,0024 * TMP + 0,008 * RH + 0,00725 * SP + 0,00145 * DWPT + 0,002 * HW + 0,00067 * MSTR + 0,0077 * BC - 6,31
LM11	-0,0027 * TMP + 0,001 * RH - 0,00163 * SP + 0,00145 * DWPT + 0,002 * HW - 0,0138 * MSTR + 0,0077 * BC + 1,49
LM12	-0,0027 * TMP - 0,0087 * RH - 0,00366 * SP + 0,00145 * DWPT + 0,002 * HW - 0,0138 * MSTR + 0,0077 * BC + 3,75
LM13	-0,0027 * TMP + 0,0025 * RH - 0,00421 * SP + 0,00145 * DWPT + 0,002 * HW - 0,0138 * MSTR + 0,0077 * BC + 3,90
LM14	-0,0027 * TMP + 0,0034 * RH - 0,00421 * SP + 0,00145 * DWPT + 0,002 * HW - 0,0138 * MSTR + 0,0077 * BC + 3,96
LM15	-0,0027 * TMP + 0,00148 * RH - 0,0057 * SP + 0,00145 * DWPT + 0,002 * HW - 0,0138 * MSTR + 0,0077 * BC + 5,20
LM16	-0,0014 * TMP - 0,00044 * RH - 0,117 * SP - 0,0134 * DWPT + 0,00238 * HW + 0,22 * MSTR + 0,0038 * BC + 100,22

6.4 Kalker İşletmesi (B) Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti sırasında ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelerin ilgileşim matrisi Şekil 6.3'de verilmiştir. Her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile her bir bağımsız değişken (termal konfor parametreleri, makine özellikleri ve nem içeriği) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%21) düzeydedir. Bu nedenle, herhangi bir bağımlı değişken üzerinde etki tek bir bağımsız değişken ile açıklanamamaktadır. Hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı ile arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70), bağıl nem arasında normal negatif yönlü ilgileşim (%40≤R<%70) vardır. Benzer şekilde, rüzgâr hızı ile yan rüzgâr hızı arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim bulunmaktadır.



Şekil 6.3 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi

6.4.1 Regresyon analizi

Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti sırasında ölçülen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 6.29'da verilmiştir. Buna göre, ham verilerden dönüştürülen yeni veri setlerinden doğal logaritma (ln) ve logaritma (log) setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerlerinin literatürde belirtilen aralıkta oldukları ve verilerin normal dağılıma uygun oldukları görülmüştür.

Çizelge 6.29 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM verilerinin normallik test analiz sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
Ham	TAPM	380,33 ± 966,83	67,25 (1,1 - 6527,9)	4,409	20,997	**<0,001**
	PM_{10}	269,01 ± 885,86	34 (1,1 - 6527,9)	5,246	29,329	**<0,001**
	$PM_{2,5}$	16,71 ± 41,88	5,74 (0,68 - 505,94)	5,764	40,190	<0,001
	PM_1	3,13 ± 12,55	1 (0,1 - 397,47)	19,105	477,756	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**1,93 ± 0,71**	**1,83 (0,04 - 3,82)**	**0,382**	**0,089**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**1,66 ± 0,69**	**1,53 (0,04 - 3,82)**	**0,888**	**0,964**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**0,81 ± 0,52**	**0,76 (-0,17 - 2,7)**	**0,854**	**0,876**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,12 ± 0,46**	**0 (-1 - 2,6)**	**0,959**	**1,753**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,04 ± 0,07	0,02 (0 - 0,91)	4,816	29,652	<0,001
	1/PM_{10}	0,05 ± 0,08	0,03 (0 - 0,91)	3,854	19,912	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	**0,27 ± 0,25**	**0,17 (0 - 1,47)**	**1,440**	**1,689**	**<0,001**
	1/PM_1	1,17 ± 1,1	1 (0 - 10)	2,402	9,054	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**4,45 ± 1,64**	**4,21 (0,1 - 8,78)**	**0,382**	**0,089**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**3,83 ± 1,59**	**3,53 (0,1 - 8,78)**	**0,889**	**0,964**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**1,86 ± 1,19**	**1,75 (-0,39 - 6,23)**	**0,854**	**0,877**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**0,28 ± 1,05**	**0 (-2,3 - 5,99)**	**0,959**	**1,754**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	0,38 ± 0,97	0,07 (0 - 6,53)	4,409	20,997	<0,001
	PM_{10}/1000	0,27 ± 0,89	0,03 (0 - 6,53)	5,246	29,329	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,02 ± 0,04	0,01 (0 - 0,51)	5,763	40,180	<0,001
	PM_1/1000	0 ± 0,01	0 (0 - 0,4)	19,064	476,084	<0,001

Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan ve normal dağılım gösteren PM, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri Çizelge 6.30'da verilmiştir. Kalker işletmesi (B) her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark bulunmamaktadır. Buna göre; TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 değerleri aylar

bazında farklı istatistiksel sonuçlar ortaya koymaktadır. Benzer durum termal konfor değerleri için de geçerlidir. Örneğin, bağımsız değişkenlerden TMP değeri Temmuz 2020 ile Eylül 2020, Temmuz 2021, Ağustos 2021 aylarındaki ölçüm değerleri arasında anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır. Ayrıca, Ağustos 2020 ile Eylül 2020, Temmuz 2021, Ağustos 2021 aylarındaki ölçüm değerleri arasında da anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır. Ancak Temmuz 2020 ayındaki değerler ile Ağustos 2020 ayındaki değerler arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır.

Boyut bazında PM salınımı verisi kullanılarak diğer PM boyutlarının da salınım yoğunluğu kestirilebilmektedir. Bu nedenle, kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımları arasında ilgileşim analizleri yapılmıştır. Önce, normal dağılım göstermeyen ham veri setleri dönüştürülerek oluşan yeni veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu incelenmiş olup normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayısına sahip veriler değerlendirmeye alınmıştır. Logaritmik ve doğal logaritmik dönüşümlerin ilgileşim katsayıları eşit olduğu için değerlendirmeler doğal logaritmik veri setleri üzerinden yapılmıştır. PM ölçüm verilerinin birbirleriyle olan en yüksek ilgileşim katsayıları ve salınım kestirim denklemleri Çizelge 6.31'de verilmiştir. En düşük ilgileşim katsayısı 0,549 ile $\ln(PM_1)$ ve ln(TAPM), en yüksek 0,982 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setlerinin kendi aralarında ve diğer PM'lerle olan ilgileşim katsayılarının en büyük değeri ham verilerin log ve ln'lerine dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. $\ln(PM_1)$'in ln(TAPM) ve $\ln(PM_{10})$ ile olan ilgileşimi normal ilgileşim, diğer PM'ler arasında ise yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Bu nedenle, bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları makul doğruluk payı ile hesaplanabilmektedir.

Kalker işletmesi (B) veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri oldukça düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 6.18 ve 6.19'da sunulmuştur.

Çizelge 6.30 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri

	Parametre	Ay	Temmuz 2020	Ağustos 2020	Eylül 2020	Ekim 2020	Kasım 2020	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Ekim 2021	p
Kalker (B) İşletmesi	log(TAPM)	Tukey	1,94 ± 0,73^{def}	1,98 ± 0,59^{ef}	1,22 ± 0,73^{a}	1,77 ± 0,18^{bcd}	1,66 ± 0,48^{b}	1,74 ± 0,61^{bc}	2,48 ± 0,87^{g}	2,12 ± 0,53^{f}	1,96 ± 0,75^{def}	1,86 ± 0,23^{cde}	≤0,001
	ln(TAPM)	Tukey	4,48 ± 1,67^{def}	4,55 ± 1,36^{ef}	2,81 ± 1,67^{a}	4,07 ± 0,41^{bcd}	3,82 ± 1,11^{b}	4,01 ± 1,39^{bc}	5,7 ± 2^{g}	4,88 ± 1,22^{f}	4,51 ± 1,72^{def}	4,28 ± 0,53^{cde}	≤0,001
	log(PM_{10})	Tukey	1,66 ± 0,73^{cd}	1,67 ± 0,57^{cd}	0,98 ± 0,63^{a}	1,54 ± 0,11^{bc}	1,47 ± 0,4^{b}	1,45 ± 0,59^{b}	2,23 ± 0,92^{e}	1,81 ± 0,52^{d}	1,65 ± 0,71^{cd}	1,63 ± 0,18^{bcd}	≤0,001
	ln(PM_{10})	Tukey	3,82 ± 1,68^{cd}	3,84 ± 1,32^{cd}	2,26 ± 1,45^{a}	3,55 ± 0,25^{bc}	3,37 ± 0,91^{b}	3,34 ± 1,35^{b}	5,12 ± 2,11^{e}	4,17 ± 1,21^{d}	3,81 ± 1,64^{cd}	3,76 ± 0,41^{bcd}	≤0,001
	log($PM_{2,5}$)	Tukey	0,71 ± 0,55^{bc}	0,77 ± 0,41^{cd}	0,26 ± 0,36^{a}	0,88 ± 0,04^{de}	0,96 ± 0,3^{e}	0,6 ± 0,36^{b}	1,15 ± 0,78^{f}	0,91 ± 0,36^{e}	0,7 ± 0,51^{bc}	0,95 ± 0,04^{e}	≤0,001
	ln($PM_{2,5}$)	Tukey	1,64 ± 1,26^{bc}	1,76 ± 0,93^{cd}	0,6 ± 0,82^{a}	2,02 ± 0,08^{de}	2,21 ± 0,7^{e}	1,38 ± 0,84^{b}	2,65 ± 1,8^{f}	2,09 ± 0,83^{e}	1,6 ± 1,17^{bc}	2,19 ± 0,08^{e}	≤0,001
	log(PM_{1})	Tukey	0,16 ± 0,35^{cd}	0,14 ± 0,24^{bc}	0,03 ± 0,12^{ab}	0,12 ± 0,04^{bc}	0,51 ± 0,36^{e}	-0,08 ± 0,32^{a}	0,28 ± 0,73^{d}	0,13 ± 0,35^{bc}	-0,07 ± 0,45^{a}	0,18 ± 0,05^{cd}	≤0,001
	ln(PM_{1})	Tukey	0,37 ± 0,81^{cd}	0,32 ± 0,54^{bc}	0,07 ± 0,29^{ab}	0,27 ± 0,09^{bc}	1,17 ± 0,83^{e}	-0,18 ± 0,74^{a}	0,65 ± 1,69^{d}	0,3 ± 0,79^{bc}	-0,17 ± 1,03^{a}	0,41 ± 0,11^{cd}	≤0,001
	TMP	Tukey	23,75 ± 2,27^{e}	22,72 ± 3,51^{d}	23,49 ± 1,73^{de}	15,66 ± 0,7^{b}	7,72 ± 4,23^{a}	16,69 ± 3,69^{c}	23,33 ± 2,69^{de}	23,31 ± 3,84^{de}	15,04 ± 2,69^{b}	17,44 ± 1,17^{c}	≤0,001
	RH	Tukey	37,19 ± 3,13^{a}	40,23 ± 10,37^{ab}	47,43 ± 3,26^{d}	45,63 ± 3,01^{cd}	59,04 ± 11,75^{f}	44,81 ± 6,16^{cd}	45,23 ± 5,5^{cd}	53,67 ± 15,77^{e}	57,11 ± 16,59^{f}	42,26 ± 2,15^{bc}	≤0,001
	SP	Tukey	846,87 ± 0,17^{c}	846,41 ± 1,43^{b}	851,13 ± 0,06^{g}	845,92 ± 0,07^{a}	853,63 ± 1,64^{h}	850,37 ± 2,04^{f}	849,73 ± 0,47^{e}	848,88 ± 0,38^{d}	850,12 ± 1,12^{f}	854,53 ± 0,06^{i}	≤0,001
	WS	Tukey	1,67 ± 0,97^{d}	0,7 ± 0,47^{ab}	0,65 ± 0,61^{ab}	1,53 ± 0,35^{d}	0,64 ± 0,76^{a}	1,44 ± 1,01^{d}	1,53 ± 1^{d}	1,54 ± 1,04^{d}	0,89 ± 0,7^{b}	1,17 ± 0,47^{c}	≤0,001
	DWPT	Tukey	7,98 ± 1,17^{d}	7,95 ± 1,46^{d}	11,64 ± 1,28^{f}	3,94 ± 1,07^{b}	-0,09 ± 2,68^{a}	4,48 ± 1,68^{b}	10,68 ± 1,3^{e}	12,74 ± 1,1^{g}	6,01 ± 2,51^{c}	4,46 ± 0,95^{b}	≤0,001
	CW	Tukey	1,07 ± 0,9^{bc}	0,5 ± 0,43^{a}	0,5 ± 0,52^{a}	1,48 ± 0,35^{e}	0,41 ± 0,49^{a}	1,15 ± 0,95^{bcd}	1,29 ± 0,92^{cde}	1,3 ± 1,01^{de}	0,53 ± 0,49^{a}	0,96 ± 0,53^{b}	≤0,001
	HW	Tukey	0,84 ± 0,83^{g}	-0,46 ± 0,29^{a}	-0,11 ± 0,51^{bc}	0,16 ± 0,4^{de}	0,45 ± 0,62^{f}	-0,01 ± 0,93^{cd}	0,26 ± 0,88^{ef}	0,39 ± 0,75^{ef}	0,24 ± 0,84^{ef}	-0,28 ± 0,56^{ab}	≤0,001
	MSTR	Tukey	4,91 ± 1,55^{a}	9,98 ± 3,32^{d}	7,8 ± 1,31^{c}	19,57 ± 1,96^{e}	6,48 ± 0,81^{b}	8,24 ± 1,87^{c}	9,38 ± 5,01^{d}	9,7 ± 1,72^{d}	9,84 ± 2,34^{d}	9,7 ± 1,11^{d}	≤0,001

a-f: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (PM ölçüm verileri)
a-h Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (Termal konfor parametreleri ve laboratuvar ölçüm verileri)

Çizelge 6.31 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-73,319 (-79,496 - -67,141)		-23,270	0,000			
	TAPM	0,900 (0,894 - 0,906)	0,982	296,76	0,000	0,982	0,982	1,0
$ln(PM_{2,5})$	(Sabit)	-0,671 (-0,745 - -0,598)		-17,981	0,000			
	ln(TAPM)	0,568 (0,552 - 0,583)	0,787	72,158	0,000	0,787	0,787	1,0
$*ln(PM_{2,5})$	(Sabit)	-0,569 (-0,625 - -0,514)		-20,090	0,000			
	$ln(PM_{10})$	0,634 (0,620 - 0,647)	0,854	92,714	0,000	0,854	0,854	1,0
$ln(PM_1)$	(Sabit)	-0,712 (-0,781 - -0,643)		-20,139	0,000			
	ln(TAPM)	0,276 (0,262 - 0,291)	0,549	37,112	0,000	0,549	0,549	1,0
$*ln(PM_1)$	(Sabit)	-0,735 (-0,792 - -0,677)		-24,907	0,000			
	$ln(PM_{10})$	0,328 (0,314 - 0,341)	0,632	46,050	0,000	0,632	0,632	1,0
$**ln(PM_1)$	(Sabit)	-0,599 (-0,626 - -0,572)		-43,517	0,000			
	$ln(PM_{2,5})$	0,602 (0,590 - 0,615)	0,863	96,305	0,000	0,863	0,863	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı
PM_{10}; F= 88068,435, p≤0,001, Adj.R^2= 0,965, SE= 165,65
$ln(PM_{2,5})$; F= 5206,762, p≤0,001, Adj.R^2= 0,620, SE= 0,73
$*ln(PM_{2,5})$; F= 8595,814, p≤0,001, Adj.R^2= 0,729, SE= 0,61
$ln(PM_1)$; F= 1377,268, p≤0,001, Adj.R^2= 0,301, SE= 0,69
$*ln(PM_1)$; F= 2120,569, p≤0,001, Adj.R^2= 0,399, SE= 0,64
$**ln(PM_1)$; F= 9274,607, p≤0,001, Adj.R^2= 0,744, SE= 0,42

6.4.2 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

M5P karar ağacı algoritmasının kullanıldığı regresyon modelleri Çizelge 6.32'de verilmiştir. TAPM veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına logaritmik dönüşümde ulaşılmış ve log(TAPM) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 13 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.33 ve 6.34'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.29'da verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, rüzgâr hızı, çiğ noktası sıcaklığı ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, malzeme nemi ve bağıl nemdir. Veri setinin yaklaşık %8,70'ı LM12'yi, %0,43'ü LM9'u temsil etmektedir.

PM_{10} veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına 1/ham dönüşümü ile ulaşılmış ve $1/PM_{10}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 31 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.35 ve 6.36'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.30'da verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, karşı rüzgâr hızı, malzeme nemi ve yükleyici kova hacmidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, malzeme nemi ve yükleyici kova hacmidir. Veri setinin %24,46'sı LM13'ü, %0,15'i LM1'i temsil etmektedir.

$PM_{2,5}$ veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına 1/ham dönüşümü ile ulaşılmış ve $1/PM_{2,5}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 23 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.37 ve 6.38'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.31'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, karşı rüzgâr hızı, istasyon basıncı, malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığıdır. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Veri setinin yaklaşık %10,99'u LM6'yı, %1,09'u LM10'u temsil etmektedir.

Çizelge 6.32 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile modelleme sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	log(PM_{10})	ln(PM_{10})	1/PM_{10}
	İlgileşim katsayısı	0.5826	0.5826	**0.6403**	0.6403	0.6425	0.5871	0.5871	0.6342	0.6342	**0.6794**
	MAE	366.0305	0.366	**0.4151**	0.9558	0.0278	294.4336	0.2944	0.3842	0.8845	**0.0332**
Eğitim seti	RMSE	787.6286	0.7876	**0.5488**	1.2636	0.0569	719.9696	0.72	0.5363	1.2348	**0.0612**
	RAE (%)	75.1352	75.136	**74.1702**	74.1704	73.4479	76.5223	76.5224	73.5285	73.5288	**68.4629**
	RRSE (%)	81.4778	81.4781	**76.9668**	76.9668	77.0239	81.2865	81.2867	77.4348	77.4347	**73.6803**
	Model (düğüm) sayısı	23	23	**27**	27	28	26	26	28	28	**31**
	İlgileşim katsayısı	0.4799	0.4798	**0.597**	0.5971	0.5158	0.4068	0.4069	0.568	0.568	**0.5966**
	MAE	392.1845	0.3922	**0.4341**	0.9994	0.0305	324.5194	0.3245	0.4093	0.9425	**0.0366**
Çapraz doğrulama	RMSE	848.5632	0.8486	**0.572**	1.3171	0.0633	811.0945	0.8111	0.57	1.3124	**0.0667**
	RAE (%)	80.4833	80.4845	**77.4947**	77.4954	80.4303	84.3236	84.3119	78.3243	78.3244	**75.4839**
	RRSE (%)	87.763	87.7634	**80.1572**	80.157	85.7353	91.5592	91.5541	82.2721	82.2722	**80.2537**
	Model (düğüm) sayısı	23	23	**27**	27	28	26	26	28	28	**31**
	İlgileşim katsayısı	0.4514	0.4514	**0.5802**	0.5803	0.5356	0.3696	0.3696	0.5473	0.5473	**0.6051**
	MAE	410.028	0.41	**0.4539**	1.0452	0.0325	326.6072	0.3266	0.4304	0.9909	**0.0391**
Yüzdelik ayırma	RMSE	842.1826	0.8422	**0.5935**	1.3665	0.0648	789.1471	0.7891	0.5839	1.3445	**0.0697**
	RAE (%)	84.2834	84.2837	**78.7741**	78.7713	82.4067	86.1344	86.135	80.5629	80.5628	**78.1293**
	RRSE (%)	89.5736	89.5733	**81.4525**	81.4515	84.4549	93.7236	93.7236	83.7374	83.7372	**79.9248**
	Model (düğüm) sayısı	23	23	**27**	27	28	26	26	28	28	**31**
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$/1000	log($PM_{2.5}$)	ln($PM_{2.5}$)	1/$PM_{2.5}$	PM_1	PM_1/1000	log(PM_1)	ln(PM_1)	1/PM_1
	İlgileşim katsayısı	0.6232	0.6143	0.7052	0.7052	**0.7228**	0.6867	0.6467	0.7002	0.7002	**0.7412**
	MAE	14.0572	0.0141	0.2477	0.5703	**0.1166**	2.3385	0.0024	0.153	0.3525	**0.4501**
Eğitim seti	RMSE	33.1062	0.0333	0.3658	0.8423	**0.1738**	9.6833	0.01	0.2566	0.5912	**0.7374**
	RAE (%)	76.8233	76.8063	61.7882	61.7886	**60.0134**	69.4977	70.8266	57.0738	57.0743	**60.4433**
	RRSE (%)	79.0536	79.3932	71.185	71.185	**69.2782**	77.1447	79.4769	71.5314	71.5329	**67.2613**
	Model sayısı	20	21	33	33	**23**	26	38	30	30	**22**
	İlgileşim katsayısı	0.5136	0.4986	0.6526	0.6525	**0.6894**	0.3053	0.3199	0.6566	0.6569	**0.7019**
	MAE	14.5859	0.0148	0.2668	0.6143	**0.1221**	2.787	0.0028	0.1633	0.3755	**0.4809**
Çapraz doğrulama	RMSE	35.9343	0.0363	0.3896	0.8971	**0.1818**	12.0872	0.012	0.2707	0.6234	**0.7812**
	RAE (%)	79.6561	80.8163	66.5407	66.533	**62.8309**	82.7912	81.8379	60.9098	60.7825	**64.5585**
	RRSE (%)	85.7727	86.6757	75.7759	75.7839	**72.4388**	96.2728	95.5639	75.4348	75.4045	**71.2341**
	Model (düğüm) sayısı	20	21	33	33	**23**	26	38	30	30	**22**
	İlgileşim katsayısı	0.5196	0.5211	0.6376	0.6376	**0.6622**	0.3382	0.3323	0.6637	0.6473	**0.7006**
	MAE	14.1286	0.014	0.274	0.6309	**0.1327**	2.4579	0.0025	0.1658	0.3804	**0.515**
Yüzdelik ayırma	RMSE	30.6212	0.0306	0.39	0.8979	**0.1896**	7.1479	0.0072	0.2561	0.5951	**0.8254**
	RAE (%)	80.9237	80.3862	68.0292	68.0422	**67.5487**	81.776	82.065	62.6149	62.6332	**66.6593**
	RRSE (%)	86.4809	86.3941	77.0139	77.0141	**75.165**	118.3353	118.5575	74.8104	76.2496	**71.5153**
	Model (düğüm) sayısı	20	21	33	33	**23**	26	38	30	30	**22**

Çizelge 6.33 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları

Model	log(TAPM) salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 848.85, DWPT ≤ 6.05
LM2	SP ≤ 848.85, DWPT > 6.05, MSTR ≤ 7.7
LM3	SP ≤ 848.85, DWPT > 6.05, MSTR ≤ 10.87 - > 7.7, TMP ≤ 12.55
LM4	SP ≤ 848.85, DWPT > 6.05, MSTR > 10.87, TMP ≤ 12.55
LM5	SP ≤ 848.85, DWPT > 6.05, MSTR > 7.7, TMP ≤ 25.15 - > 12.55, RH ≤ 43.85
LM6	SP ≤ 848.85, DWPT > 6.05, MSTR > 7.7, TMP > 25.15, RH ≤ 43.85
LM7	SP ≤ 848.85, DWPT > 6.05, MSTR > 7.7, TMP > 12.55, RH > 43.85
LM8	SP ≤ 850.55 - > 848.85, RH ≤ 45.95, MSTR ≤ 4.59
LM9	SP ≤ 850.55 - > 848.85, RH ≤ 35.85, MSTR ≤ 5.86 - > 4.59
LM10	SP ≤ 850.55 - > 848.85, RH ≤ 4595 - > 35.85, MSTR ≤ 5.86 - > 4.59
LM11	SP ≤ 850.55 - > 848.85, RH ≤ 45.95, MSTR > 5.86
LM12	**SP ≤ 849.45 - > 848.85, RH > 45.95**
LM13	SP ≤ 850.55 - > 849.45, RH > 45.95, DWPT ≤ 3.35
LM14	SP ≤ 850.25 - > 849.45, RH > 45.95, DWPT > 3.35
LM15	SP ≤ 850.55 - > 850.25, RH > 45.95, DWPT > 3.35
LM16	SP > 850.55, BC ≤ 2.5, RH ≤ 55.9, MSTR ≤ 10.47
LM17	SP > 850.55, BC ≤ 2.5, RH ≤ 55.9, MSTR > 10.47
LM18	SP > 850.55, BC ≤ 2.5, RH > 55.9
LM19	SP ≤ 854.25 - > 850.55, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8, MSTR ≤ 8.205
LM20	SP ≤ 854.25 - > 850.55, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8, MSTR ≤ 10.815 - > 8.205
LM21	SP > 854.25, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8, MSTR ≤ 7.19, TMP ≤ 18.15
LM22	SP > 854.25, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8, MSTR ≤ 7.19, TMP > 18.15
LM23	SP > 854.25, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8, MSTR ≤ 10.815 - > 7.19
LM24	SP > 850.55, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8, MSTR ≤ 11.025 - > 10.815
LM25	SP > 850.55, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8, MSTR > 11.025
LM26	SP > 850.55, BC > 2.5, DWPT > 8.8, RH ≤ 48.75
LM27	SP > 850.55, BC > 2.5, DWPT > 8.8, RH > 48.75

Çizelge 6.34 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri

Model	log(TAPM) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.020 * TMP + 0.0008 * RH + 0.0003 * SP - 0.0011 * WS + 0.00041 * DWPT - 0.00047 * MSTR + 1.81
LM2	0.0025 * TMP + 0.034 * RH + 0.0003 * SP + 0.00104 * WS - 0.11758 * DWPT + 0.209 * MSTR + 0.27
LM3	0.0027 * TMP + 0.00046 * RH + 0.0003 * SP + 0.000003 * WS - 0.00009 * DWPT + 0.03 * MSTR + 0.99
LM4	0.0027 * TMP + 0.00046 * RH + 0.0003 * SP + 0.000003 * WS - 0.00009 * DWPT - 0.34 * MSTR + 5.87
LM5	-0.018 * TMP - 0.0023 * RH + 0.0003 * SP + 0.000003 * WS + 0.02341 * DWPT - 0.017 * MSTR + 2.45
LM6	-0.0101 * TMP - 0.0023 * RH + 0.0003 * SP + 0.000003 * WS + 0.106 * DWPT - 0.087 * MSTR + 1.76
LM7	-0.0026 * TMP - 0.010 * RH + 0.0003 * SP + 0.000003 * WS + 0.0046 * DWPT + 0.0383 * MSTR + 1.80
LM8	0.0004 * TMP - 0.0692 * RH + 0.021 * SP - 0.0162 * WS + 0.00419 * DWPT + 0.0197 * MSTR - 12.29
LM9	0.0004 * TMP + 0.00711 * RH + 0.021 * SP - 0.0162 * WS + 0.00419 * DWPT + 0.04 * MSTR - 15.32
LM10	0.0004 * TMP + 0.00072 * RH + 0.021 * SP - 0.0162 * WS + 0.00419 * DWPT + 0.04 * MSTR - 14.87
LM11	0.0004 * TMP - 0.00524 * RH + 0.4651 * SP - 0.20075 * WS + 0.00419 * DWPT - 0.011 * MSTR - 392.10
LM12	**0.0123 * TMP + 0.0029 * RH - 1.096 * SP - 0.073 * WS - 0.0079 * DWPT - 0.003 * MSTR + 933.40**
LM13	0.0115 * TMP + 0.0027 * RH + 0.148 * SP - 0.0095 * WS + 0.00862 * DWPT + 0.088 * MSTR - 125.75
LM14	0.022 * TMP + 0.0128 * RH + 0.143 * SP - 0.0095 * WS - 0.00208 * DWPT - 0.020 * MSTR - 120.74
LM15	0.023 * TMP - 0.031 * RH + 0.147 * SP - 0.0095 * WS - 0.00208 * DWPT - 0.712 * MSTR - 112.09
LM16	0.00054 * TMP + 0.01478 * RH - 0.072 * SP - 0.00542 * WS - 0.0015 * DWPT - 0.0087 * MSTR + 62.77
LM17	0.00054 * TMP - 0.00084 * RH - 0.00794 * SP - 0.00705 * WS - 0.0015 * DWPT - 0.011 * MSTR + 8.50
LM18	0.00054 * TMP - 0.00108 * RH + 0.083 * SP - 0.083 * WS + 0.033 * DWPT - 0.0048 * MSTR - 69.12
LM19	0.05028 * TMP - 0.00678 * RH - 0.00792 * SP - 0.05 * DWPT - 0.0160 * MSTR + 8.80
LM20	0.13296 * TMP + 0.01764 * RH - 0.00792 * SP - 0.05268 * DWPT + 0.252 * MSTR + 3.50
LM21	0.02466 * TMP + 0.00746 * RH - 0.01064 * SP - 0.0443 * DWPT + 0.0004 * MSTR + 10.23
LM22	0.02466 * TMP + 0.00746 * RH - 0.01064 * SP - 0.07131 * DWPT + 0.0004 * MSTR + 9.97
LM23	0.05172 * TMP + 0.00746 * RH - 0.01064 * SP - 0.02372 * DWPT - 0.00087 * MSTR + 9.81
LM24	0.0231 * TMP + 0.00704 * RH - 0.00863 * SP - 0.01928 * DWPT - 0.028 * MSTR + 8.59
LM25	0.0231 * TMP + 0.00704 * RH - 0.00863 * SP - 0.01928 * DWPT - 0.024 * MSTR + 8.21
LM26	0.011 * TMP + 0.053 * RH - 0.006 * SP + 0.017 * WS - 0.018 * DWPT - 0.00808 * MSTR + 3.99
LM27	0.011 * TMP - 0.0053 * RH - 0.006 * SP + 0.032 * WS - 0.018 * DWPT - 0.00808 * MSTR + 6.37

Çizelge 6.35 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti $1/PM_{10}$ salınım kestirim kuralları

Model	$1/PM_{10}$ salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 848.45, MSTR ≤ 6.24, RH ≤ 27.55, TMP ≤ 26.35
LM2	SP ≤ 848.45, MSTR ≤ 6.24, RH ≤ 27.55, TMP > 26.35
LM3	SP ≤ 848.45, MSTR ≤ 6.24, RH ≤ 29.15 - > 27.55, TMP ≤ 28.3
LM4	SP ≤ 848.45, MSTR ≤ 6.24, RH ≤ 29.15 - > 27.55, TMP > 28.3
LM5	SP ≤ 848.45, MSTR ≤ 6.24, RH > 29.15
LM6	SP ≤ 848.45, MSTR ≤ 10.87 - > 6.24, TMP ≤ 12.75
LM7	SP ≤ 848.45, MSTR ≤ 12.715 - > 10.87, TMP ≤ 12.75
LM8	SP ≤ 848.45, MSTR ≤ 12.715 - > 6.24, TMP > 12.75
LM9	SP ≤ 845.5, MSTR > 12.715, RH ≤ 47.85
LM10	SP ≤ 845.5, MSTR > 12.715, RH > 47.85
LM11	SP ≤ 848.45 - > 845.5, MSTR ≤ 20.875 - > 12.715
LM12	SP ≤ 848.45 - > 845.5, MSTR > 20.875
LM13	**SP ≤ 849.65 - > 848.45**
LM14	SP ≤ 850.05 - > 849.65, BC ≤ 2.5
LM15	SP > 850.05, BC ≤ 2.5
LM16	SP ≤ 851.05 - > 849.65, BC > 2.5, MSTR ≤ 7.85
LM17	SP ≤ 851.05 - > 849.65, BC > 2.5, MSTR ≤ 8.115 - > 7.85
LM18	SP ≤ 851.05 - > 849.65, BC > 2.5, MSTR ≤ 11.025 - > 8.115, RH ≤ 46.35
LM19	SP ≤ 851.05 - > 849.65, BC > 2.5, MSTR ≤ 9.27 - > 8.115, RH > 46.35
LM20	SP ≤ 851.05 - > 849.65, BC > 2.5, MSTR ≤ 11.025 - > 9.27, RH > 46.35
LM21	SP ≤ 850.95 - > 849.65, BC > 2.5, MSTR ≤ 14.825 - > 11.025, RH ≤ 51.65
LM22	SP ≤ 850.95 - > 849.65, BC > 2.5, MSTR ≤ 14.825 - > 11.025, RH > 51.65
LM23	SP ≤ 850.95 - > 849.65, BC > 2.5, MSTR > 14.825
LM24	SP ≤ 851.05 - > 850.95, BC > 2.5, MSTR > 11.025
LM25	SP ≤ 851.25 - > 851.05, BC > 2.5, MSTR ≤ 8.205, TMP ≤ 20.8, RH ≤ 47.55
LM26	SP ≤ 851.25 - > 851.05, BC > 2.5, MSTR ≤ 8.205, TMP ≤ 20.8, RH > 47.55
LM27	SP ≤ 851.25 - > 851.05, BC > 2.5, MSTR ≤ 8.205, TMP > 20.8
LM28	SP ≤ 851.25 - > 851.05, BC > 2.5, MSTR ≤ 9.305 - > 8.205
LM29	SP ≤ 851.25 - > 851.05, BC > 2.5, MSTR > 9.305
LM30	SP > 851.25, BC > 2.5, MSTR ≤ 7.19
LM31	SP > 851.25, BC > 2.5, MSTR > 7.19

Çizelge 6.36 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti $1/PM_{10}$ salınım kestirim denklemleri

Model	$1/PM_{10}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.036 * TMP - 0.019 * RH - 0.242 * SP - 0.024 * HW - 0.00025 * MSTR + 0.0002 * BC + 206.93
LM2	-0.025 * TMP - 0.100 * RH - 0.3323 * SP - 0.024 * HW - 0.00025 * MSTR + 0.0002 * BC + 285.28
LM3	-0.0122 * TMP - 0.022 * RH - 0.009 * SP - 0.0283 * HW - 0.00025 * MSTR + 0.0002 * BC + 8.64
LM4	-0.0128 * TMP - 0.022 * RH - 0.009 * SP - 0.0283 * HW - 0.00025 * MSTR + 0.0002 * BC + 8.65
LM5	-0.0013 * TMP - 0.00086 * RH - 0.02 * SP + 0.00011 * HW - 0.00025 * MSTR + 0.0002 * BC + 16.73
LM6	-0.012 * TMP + 0.00005 * RH - 0.0008 * SP + 0.024 * HW - 0.00122 * MSTR + 0.0002 * BC + 0.89
LM7	-0.0095 * TMP + 0.00005 * RH - 0.0008 * SP - 0.013 * HW + 0.016 * MSTR + 0.0002 * BC + 0.63
LM8	-0.0005 * TMP + 0.00005 * RH - 0.0008 * SP + 0.00011 * HW - 0.0012 * MSTR + 0.0002 * BC + 0.71
LM9	0.0032 * TMP - 0.00045 * RH + 0.0038 * SP + 0.00003 * HW - 0.00028 * MSTR + 0.0002 * BC - 3.22
LM10	0.0006 * TMP - 0.00028 * RH + 0.0038 * SP + 0.013 * HW - 0.00028 * MSTR + 0.0002 * BC - 3.18
LM11	0.00113 * TMP - 0.00008 * RH + 0.0046 * SP - 0.0003 * HW - 0.00033 * MSTR + 0.0002 * BC - 3.90
LM12	-0.0001 * TMP - 0.00008 * RH + 0.0064 * SP - 0.00628 * HW - 0.00041 * MSTR + 0.0002 * BC - 5.39
LM13	**-0.00003 * TMP + 0.0001 * RH - 0.0083 * SP + 0.0054 * HW + 0.0016 * MSTR + 0.0002 * BC + 7.04**
LM14	-0.00003 * TMP + 0.005 * RH - 0.0009 * SP + 0.0003 * HW - 0.0002 * MSTR + 0.00078 * BC + 0.57
LM15	0.0011 * TMP + 0.0006 * RH - 0.0022 * SP + 0.0003 * HW + 0.00175 * MSTR + 0.00078 * BC + 1.86
LM16	0.00098 * TMP + 0.00086 * RH + 0.013 * SP + 0.015 * HW + 0.034 * MSTR + 0.0007 * BC - 11.52
LM17	0.00126 * TMP + 0.001 * RH + 0.013 * SP - 0.0002 * HW + 0.00153 * MSTR + 0.0007 * BC - 11.32
LM18	0.00033 * TMP + 0.005 * RH + 0.013 * SP - 0.0011 * HW + 0.00097 * MSTR + 0.0007 * BC - 11.46
LM19	0.00033 * TMP + 0.00047 * RH + 0.013 * SP - 0.0031 * HW + 0.023 * MSTR + 0.0007 * BC - 11.43
LM20	0.00033 * TMP - 0.0003 * RH + 0.013 * SP - 0.0031 * HW - 0.0049 * MSTR + 0.0007 * BC - 11.16
LM21	-0.0011 * TMP + 0.00107 * RH + 0.047 * SP + 0.0082 * HW + 0.0074 * MSTR + 0.0007 * BC - 40.09
LM22	-0.0011 * TMP + 0.003 * RH + 0.047 * SP + 0.0325 * HW + 0.0074 * MSTR + 0.0007 * BC - 40.13
LM23	-0.0035 * TMP + 0.00247 * RH + 0.047 * SP + 0.03 * HW + 0.0151 * MSTR + 0.0007 * BC - 40.15
LM24	0.0003 * TMP + 0.0103 * RH + 0.089 * SP + 0.0052 * HW + 0.005 * MSTR + 0.0007 * BC - 76.66
LM25	0.00278 * TMP + 0.0061 * RH + 0.048 * SP + 0.026 * HW + 0.024 * MSTR + 0.0007 * BC - 41.38
LM26	0.00278 * TMP + 0.007 * RH + 0.048 * SP + 0.124 * HW + 0.153 * MSTR + 0.0007 * BC - 42.46
LM27	0.0025 * TMP - 0.0035 * RH + 0.048 * SP + 0.00587 * HW - 0.0019 * MSTR + 0.0007 * BC - 40.61
LM28	0.00228 * TMP + 0.0064 * RH + 0.55 * SP + 0.002 * HW + 0.0013 * MSTR + 0.0007 * BC - 469.92
LM29	-0.0097 * TMP + 0.011 * RH + 1.08918 * SP - 0.052 * HW + 0.0034 * MSTR + 0.0007 * BC - 927.14
LM30	0.0009 * TMP + 0.00068 * RH - 0.00077 * SP + 0.0027 * HW - 0.003 * MSTR + 0.0007 * BC + 0.74
LM31	0.0009 * TMP + 0.00068 * RH - 0.00077 * SP + 0.0027 * HW - 0.0023 * MSTR + 0.0007 * BC + 0.66

Çizelge 6.37 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları

Model	1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 849.65, DWPT ≤ 8.35, MSTR ≤ 14.755, RH ≤ 73.55
LM2	SP ≤ 849.65, DWPT ≤ 8.35, MSTR ≤ 10.87, RH > 73.55
LM3	SP ≤ 849.65, DWPT ≤ 8.35, MSTR ≤ 14.755 - > 10.87, RH > 73.55
LM4	SP ≤ 849.65, DWPT ≤ 8.35, MSTR > 14.755
LM5	SP ≤ 849.65, DWPT > 8.35, HW ≤ -0.0505
LM6	**SP ≤ 849, DWPT > 8.35, HW > -0.0505**
LM7	SP ≤ 849.65 - > 849, DWPT > 8.35, HW > -0.0505, RH ≤ 40.4
LM8	SP ≤ 849.65 - > 849, DWPT > 8.35, HW > -0.0505, RH ≤ 48.85 - > 40.4
LM9	SP ≤ 849.65 - > 849, DWPT > 8.35, HW > -0.0505, RH ≤ 77.45 - > 48.85
LM10	SP ≤ 849.65 - > 849, DWPT > 8.35, HW > -0.0505, RH > 77.45
LM11	SP ≤ 850.05 - > 849.65, RH ≤ 46.55
LM12	SP ≤ 850.05 - > 849.65, RH > 46.55
LM13	SP ≤ 851.05 - > 850.05, MSTR ≤ 6.575
LM14	SP ≤ 851.05 - > 850.05, MSTR ≤ 8.115 - > 6.575
LM15	SP ≤ 851.05 - > 850.05, MSTR ≤ 11.155 - > 8.115
LM16	SP ≤ 851.05 - > 850.05, MSTR ≤ 14.08 - > 11.155
LM17	SP ≤ 851.05 - > 850.05, MSTR > 14.08
LM18	SP ≤ 851.45 - > 851.05, DWPT ≤ 8.8
LM19	SP ≤ 851.45 - > 851.05, DWPT > 8.8, RH ≤ 49.25
LM20	SP ≤ 851.45 - > 851.05, DWPT > 8.8, RH > 49.25
LM21	SP > 851.45, DWPT ≤ 0.15
LM22	SP > 851.45, DWPT > 0.15, MSTR ≤ 6.93
LM23	SP > 851.45, DWPT > 0.15, MSTR > 6.93

Çizelge 6.38 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri

Model	1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	0.00059 * RH - 0.00035 * SP - 0.00042 * DWPT + 0.00182 * HW - 0.0306 * MSTR + 0.802
LM2	0.00086 * RH - 0.00035 * SP - 0.00042 * DWPT + 0.00182 * HW - 0.00408 * MSTR + 0.833
LM3	0.00086 * RH - 0.00035 * SP - 0.00042 * DWPT + 0.00182 * HW - 0.00408 * MSTR + 0.663
LM4	0.00041 * RH - 0.00035 * SP - 0.00042 * DWPT + 0.00182 * HW - 0.00183 * MSTR + 0.449
LM5	-0.00072 * RH - 0.0132 * SP - 0.00021 * DWPT + 0.0031 * HW - 0.00018 * MSTR + 11.386
LM6	**-0.00183 * RH - 0.0272 * SP - 0.00021 * DWPT + 0.0021 * HW - 0.00018 * MSTR + 23.395**
LM7	-0.000001 * RH - 0.0019 * SP - 0.00021 * DWPT + 0.0021 * HW - 0.00018 * MSTR + 1.744
LM8	-0.00018 * RH - 0.0019 * SP - 0.00021 * DWPT + 0.0021 * HW - 0.00018 * MSTR + 1.875
LM9	0.00098 * RH - 0.0019 * SP - 0.00021 * DWPT + 0.0021 * HW - 0.00018 * MSTR + 1.698
LM10	0.00255 * RH - 0.0019 * SP - 0.00021 * DWPT + 0.0021 * HW - 0.00018 * MSTR + 1.697
LM11	0.00884 * RH - 0.00787 * SP + 0.0007 * DWPT + 0.0038 * HW + 0.00402 * MSTR + 6.469
LM12	0.00415 * RH - 0.00787 * SP + 0.0007 * DWPT + 0.0038 * HW + 0.0018 * MSTR + 6.986
LM13	-0.00021 * RH - 0.00184 * SP + 0.0007 * DWPT + 0.0004 * HW + 0.00317 * MSTR + 1.720
LM14	-0.00021 * RH - 0.00184 * SP + 0.0007 * DWPT - 0.00073 * HW + 0.00421 * MSTR + 1.720
LM15	-0.00021 * RH - 0.00184 * SP + 0.0007 * DWPT + 0.00042 * HW + 0.0027 * MSTR + 1.830
LM16	-0.00021 * RH - 0.00184 * SP + 0.0007 * DWPT + 0.00227 * HW - 0.01853 * MSTR + 2.430
LM17	-0.00021 * RH - 0.00184 * SP + 0.0007 * DWPT + 0.00227 * HW + 0.277 * MSTR - 2.181
LM18	0.00088 * RH + 0.00214 * SP + 0.00346 * DWPT + 0.00283 * HW + 0.083 * MSTR - 2.206
LM19	0.00295 * RH + 0.00214 * SP + 0.0036 * DWPT + 0.00283 * HW + 0.00453 * MSTR - 1.414
LM20	0.00543 * RH + 0.00214 * SP + 0.0036 * DWPT + 0.00283 * HW + 0.00453 * MSTR - 1.389
LM21	-0.00247 * RH - 0.003 * SP + 0.00197 * DWPT + 0.00141 * HW - 0.00271 * MSTR + 2.802
LM22	-0.00018 * RH - 0.00718 * SP + 0.0015 * DWPT + 0.00141 * HW - 0.00682 * MSTR + 6.507
LM23	-0.00018 * RH - 0.054 * SP + 0.0015 * DWPT + 0.00141 * HW + 0.00962 * MSTR + 46.168

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham veri setinde elde edilmiştir. Buna göre, 1/PM_1 karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 22 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.39 ve 6.40'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.32'de verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (yan rüzgâr hızı dâhil), yükleyici kova hacmi ve malzeme nemidir. Yapılan modelleme çalışmalarında PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, bağıl nem ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %9,36'sı LM5'i, %1,41'i LM14'ü temsil etmektedir.

Çizelge 6.39 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları

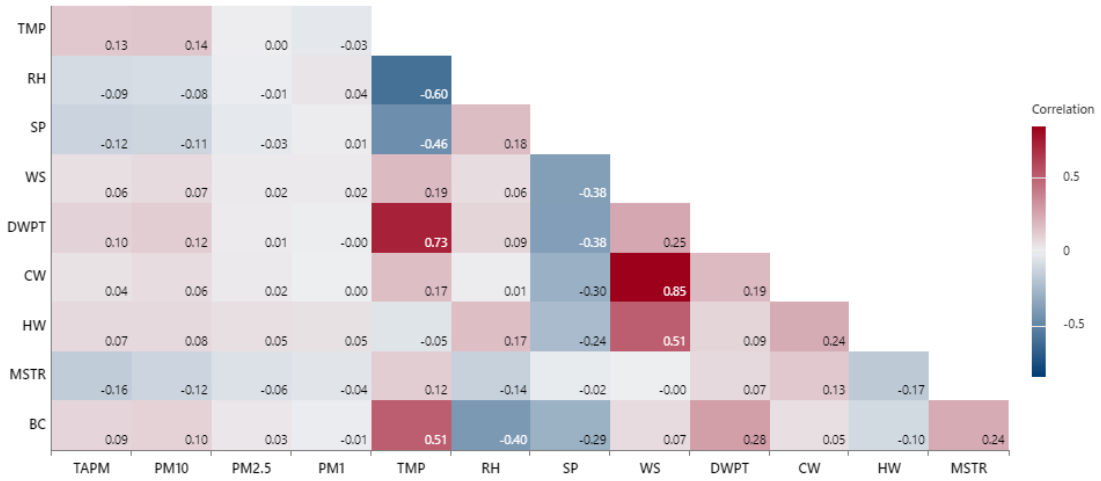
Model	1/PM_1 salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 4.295, RH ≤ 57.8, SP ≤ 849
LM2	MSTR ≤ 8.1 - > 4.295, RH ≤ 33.45, SP ≤ 849
LM3	MSTR ≤ 8.1 - > 4.295, RH ≤ 57.8 - > 33.45, SP ≤ 849
LM4	MSTR ≤ 9.01 - > 8.1, RH ≤ 57.8, SP ≤ 849
LM5	**MSTR ≤ 9.01, RH ≤ 57.8, SP ≤ 850.4 - > 849**
LM6	MSTR ≤ 8.01, RH ≤ 57.8, SP ≤ 852.95 - > 850.4
LM7	MSTR ≤ 9.01 - > 8.01, RH ≤ 57.8, SP ≤ 852.95 - > 850.4
LM8	MSTR ≤ 9.01, RH ≤ 57.8, SP > 852.95
LM9	MSTR ≤ 9.01, RH > 57.8, SP ≤ 854.15
LM10	MSTR ≤ 9.01, RH > 57.8, SP > 854.15
LM11	MSTR > 9.01, SP ≤ 847.95
LM12	MSTR ≤ 11.165 - > 9.01, SP ≤ 851.05 - > 847.95, RH ≤ 63.65, CW ≤ 0.25
LM13	MSTR ≤ 11.165 - > 9.01, SP ≤ 851.05 - > 847.95, RH ≤ 63.65, CW > 0.25
LM14	MSTR ≤ 9.305> 9.01, SP ≤ 851.75 - > 851.05, RH ≤ 63.65
LM15	MSTR ≤ 11.165 - > 9.305, SP ≤ 851.75 - > 851.05, RH ≤ 63.65
LM16	MSTR ≤ 11.165 - > 9.01, SP > 851.75, RH ≤ 63.65,
LM17	MSTR > 11.165, SP ≤ 850.6 - > 847.95, RH ≤ 44.75
LM18	MSTR > 11.165, SP ≤ 850.6 - > 847.95, RH ≤ 63.65 - > 44.75
LM19	MSTR ≤ 14.265 - > 9.01, SP > 850.6, RH ≤ 63.65
LM20	MSTR > 14.265, SP > 850.6, RH ≤ 63.65
LM21	MSTR > 9.01, SP ≤ 848.8 - > 847.95, RH > 63.65
LM22	MSTR > 9.01, SP > 848.8, RH > 63.65

Çizelge 6.40 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_1 salınım kestirim denklemleri
LM1	0.0009 * RH - 0.0034 * SP + 0.0025 * WS + 0.00064 * CW - 0.0073 * MSTR - 0.0099 * BC + 3.89
LM2	0.0001 * RH - 0.0034 * SP + 0.0025 * WS + 0.00064 * CW - 0.00153 * MSTR - 0.0099 * BC + 3.82
LM3	0.0005 * RH - 0.0034 * SP + 0.0025 * WS + 0.00064 * CW - 0.00153 * MSTR - 0.0099 * BC + 3.67
LM4	-0.0132 * RH - 0.0034 * SP + 0.0025 * WS + 0.00064 * CW + 0.0019 * MSTR - 0.0099 * BC + 4.54
LM5	**0.0867 * RH - 0.011 * SP + 0.0025 * WS + 0.00064 * CW + 0.00167 * MSTR - 0.0143 * BC + 6.75**
LM6	0.0019 * RH + 0.466 * SP + 0.0025 * WS + 0.00064 * CW + 0.0106 * MSTR - 0.0055 * BC - 395.81
LM7	0.08527 * RH - 0.01 * SP + 0.0025 * WS + 0.00064 * CW + 0.0138 * MSTR - 0.0055 * BC + 5.93
LM8	0.0006 * RH - 0.015 * SP + 0.0025 * WS + 0.00064 * CW + 0.00675 * MSTR + 0.473 * BC + 12.65
LM9	-0.0004 * RH - 0.082 * SP + 0.0103 * WS + 0.00064 * CW + 0.00019 * MSTR - 0.39 * BC + 71.72
LM10	-0.0004 * RH - 0.0106 * SP + 0.10 * WS + 0.00064 * CW + 0.00019 * MSTR - 0.0363 * BC + 9.36
LM11	-0.010 * RH + 0.00095 * SP + 0.0007 * WS + 0.00086 * CW - 0.0034 * MSTR + 0.031 * BC + 0.48
LM12	0.001 * RH - 0.0185 * SP + 0.0007 * WS - 0.03 * CW - 0.0349 * MSTR - 0.0744 * BC + 17.653
LM13	0.001 * RH - 0.0185 * SP + 0.0007 * WS - 0.02136 * CW - 0.0349 * MSTR - 0.322 * BC + 18.049
LM14	0.001 * RH - 0.0227 * SP + 0.0007 * WS + 0.00086 * CW - 0.1116 * MSTR - 0.058 * BC + 22.440
LM15	0.001 * RH - 0.0227 * SP + 0.0007 * WS + 0.00086 * CW - 0.0843 * MSTR - 0.058 * BC + 21.572
LM16	0.001 * RH - 0.0239 * SP + 0.0007 * WS + 0.00086 * CW - 0.048 * MSTR - 0.0612 * BC + 21.883
LM17	0.03664 * RH + 0.0357 * SP + 0.0007 * WS + 0.00086 * CW - 0.023 * MSTR - 0.28 * BC - 30.102
LM18	0.208 * RH + 0.0357 * SP + 0.0007 * WS + 0.00086 * CW - 0.023 * MSTR - 2.0068 * BC - 33.188
LM19	0.012 * RH + 0.07 * SP + 0.0007 * WS + 0.00086 * CW - 0.0945 * MSTR - 0.095 * BC - 55.460
LM20	0.012 * RH + 0.07 * SP + 0.0007 * WS + 0.00086 * CW - 0.1088 * MSTR - 0.0953 * BC - 56.156
LM21	0.0012 * RH - 0.2536 * SP + 0.0007 * WS + 1.094 * CW - 0.00078 * MSTR - 0.021 * BC + 217.533
LM22	0.0012 * RH - 0.347 * SP + 0.0007 * WS + 0.0605 * CW - 0.00078 * MSTR - 0.021 * BC + 296.069

6.5 Kalker İşletmeleri Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Kalker işletmeleri (A) ve (B) yükleme faaliyetinde ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelerin verisi birleştirilmiş ve yeni setin ilgileşim matrisi Şekil 6.4'de verilmiştir. Her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, makine özellikleri ve nem içeriği) arasındaki ilgileşim çok düşük (R≤%15) düzeyde olduğundan dolayı, herhangi bir bağımlı değişken üzerindeki etki tek bir bağımsız değişken ile açıklanamamaktadır. Hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı ile arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥70), bağıl nem ile arasında negatif yönlü normal ilgileşim (%70>R≥%40) vardır. Benzer şekilde; rüzgâr hızı yan rüzgâr hızı ile arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim, karşı rüzgâr hızı ile arasında pozitif yönlü normal ilgileşim bulunmaktadır.



Şekil 6.4 Kalker işletmelerinde yükleme faaliyetinde tüm parametrelerin ilgileşim matrisi

6.5.1 Regresyon analizi

Kalker işletmelerinde yükleme faaliyeti sırasında ölçülen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 6.41'de verilmiştir. Ham verilerden dönüştürülen doğal logaritma ve logaritma setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerleri dikkate alındığında, veri setleri normal dağılıma uygundur.

Boyut bazında partikül madde salınımı verisi kullanılarak diğer PM boyutlarının da salınım yoğunluğu kestirilebilmektedir. Bu amaca dönük olarak kalker işletmelerinde yükleme faaliyeti sırasında ölçülen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımları arasında ilgileşim analizleri yapılmıştır. Ham veya dönüştürüldükten sonra normal dağılıma uygunluk gösteren PM salınım veri setleri ile kestirim denklemleri üreten regresyon modelleri geliştirilmiştir (Çizelge 6.42). En düşük ilgileşim katsayısı 0,600 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM), en yüksek katsayı 0,977 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10}, PM_1 ile diğer tüm PM boyutları (TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$) arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değerleri logaritmik ve doğal logaritmik olarak dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. Diğer taraftan, PM_1 salınımı ile TAPM ve PM_{10} salınımları arasında normal ilgileşim, diğer PM salınımları arasında yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Bu nedenle, PM boyutlarından herhangi birinin salınım ölçümünün yapılması ile diğer PM boyutlarının da salınım değerleri yüksek doğruluk ile hesaplanabilmektedir.

Kalker işletmelerinin birleştirilmiş veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri oldukça düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı (R^2<%15) sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 6.18 ve 6.19'da sunulmuştur.

Çizelge 6.41 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınım verisi normallik test analiz sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
Ham	TAPM	457,91 ± 967,29	98,4 (1,1 - 6527,9)	3,872	16,928	<0,001
	PM_{10}	308,88 ± 871,79	46,5 (1 - 6527,9)	4,862	25,960	<0,001
	$PM_{2,5}$	18,82 ± 39,08	7,12 (0,3 - 540,22)	5,657	43,898	<0,001
	PM_1	3,52 ± 12,64	1,31 (0,01 - 397,47)	18,844	453,374	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,07 ± 0,74**	**1,99 (0,04 - 3,82)**	**0,104**	**-0,303**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**1,78 ± 0,72**	**1,67 (0 - 3,82)**	**0,572**	**0,180**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**0,89 ± 0,54**	**0,85 (-0,52 - 2,73)**	**0,499**	**0,018**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,19 ± 0,49**	**0,12 (-2 - 2,6)**	**0,370**	**1,276**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,03 ± 0,07	0,01 (0 - 0,91)	5,387	37,589	<0,001
	1/PM_{10}	0,05 ± 0,08	0,02 (0 - 1)	4,366	26,195	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,24 ± 0,28	0,14 (0 - 3,33)	2,583	10,783	<0,001
	1/PM_1	1,23 ± 3,66	0,76 (0 - 100)	20,654	521,727	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**4,76 ± 1,7**	**4,59 (0,1 - 8,78)**	**0,104**	**-0,303**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**4,11 ± 1,66**	**3,84 (0 - 8,78)**	**0,572**	**0,180**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,04 ± 1,24**	**1,96 (-1,2 - 6,29)**	**0,499**	**0,019**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**0,44 ± 1,12**	**0,27 (-4,61 - 5,99)**	**0,370**	**1,276**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	0,46 ± 0,97	0,1 (0 - 6,53)	3,872	16,928	<0,001
	PM_{10}/1000	0,31 ± 0,87	0,05 (0 - 6,53)	4,862	25,961	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,02 ± 0,04	0,01 (0 - 0,54)	5,657	43,902	<0,001
	PM_1/1000	0 ± 0,01	0 (0 - 0,4)	18,813	452,124	<0,001

Çizelge 6.42 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-94,203 (-99,801 - -88,605)		-32,990	0,000			
	TAPM	0,880 (0,875 - 0,886)	0,977	329,884	0,000	0,977	0,977	1,0
ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,717 (-0,776 - -0,659)		-24,058	0,000			
	ln(TAPM)	0,582 (0,570 - 0,593)	0,806	98,545	0,000	0,806	0,806	1,0
*ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,568 (-0,613 - -0,523)		-24,820	0,000			
	ln(PM_{10})	0,638 (0,628 - 0,648)	0,862	123,436	0,000	0,862	0,862	1,0
ln(PM_1)	(Sabit)	-0,801 (-0,857 - -0,745)		-28,108	0,000			
	ln(TAPM)	0,307 (0,296 - 0,318)	0,600	54,377	0,000	0,600	0,600	1,0
*ln(PM_1)	(Sabit)	-0,777 (-0,823 - -0,730)		-32,646	0,000			
	ln(PM_{10})	0,350 (0,339 - 0,360)	0,668	65,048	0,000	0,668	0,668	1,0
**ln(PM_1)	(Sabit)	-0,627 (-0,648 - -0,606)		-57,901	0,000			
	ln($PM_{2,5}$)	0,627 (0,618 - 0,636)	0,886	138,324	0,000	0,886	0,886	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

PM_{10}; F= 108823,246, p≤0,001, Adj.R^2= 0,954, SE= 187,12

ln($PM_{2,5}$); F= 9711,21, p≤0,001, Adj.R^2= 0,649, SE= 0,72

*ln($PM_{2,5}$); F= 15236,525, p≤0,001, Adj.R^2= 0,744, SE= 0,62

ln(PM_1); F= 2956,842, p≤0,001, Adj.R^2= 0,36, SE= 0,69

*ln(PM_1); F= 4231,290, p≤0,001, Adj.R^2= 0,446, SE= 0,64

**ln(PM_1); F= 19133,61, p≤0,001, Adj.R^2= 0,784, SE= 0,4

6.5.2 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Geleneksel regresyon modellerinde (toplu giriş ve aşamalı) düzeltilmiş belirlilik katsayısı çok düşük düzeyde kaldığı için karar ağacı algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir. M5P algoritmasıyla, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki regresyon analiz sonuçları Çizelge 6.43'de verilmiştir.

TAPM veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına logaritmik dönüşümde ulaşılmış ve log(TAPM) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 18 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.44 ve 6.45'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.33'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, malzeme nemi, istasyon basıncı ve yükleyici kova hacmidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise

malzeme nemi, bağıl nem ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Ayrıca, veri setinin yaklaşık %28,82'si LM13'ü, %1,52'si LM3'ü temsil etmektedir.

PM_{10} veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına logaritmik dönüşümde ulaşılmış ve log(PM_{10}) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 21 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.46 ve 6.47'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.34'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, karşı ve yan rüzgâr hızları, istasyon basıncı, malzeme nemi ve yükleyici kova hacmidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, istasyon basıncı ve bağıl nemdir. Ayrıca, veri setinin %27,46'sı LM12'yi, %1,19'u LM14'ü temsil etmektedir.

$PM_{2,5}$ veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına logaritmik dönüşümde ulaşılmış ve log($PM_{2,5}$) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 24 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.48 ve 6.49'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.35'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, karşı rüzgâr hızı, istasyon basıncı, malzeme nemi ve yükleyici kova hacmidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, istasyon basıncı, yükleyici kova hacmi ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Ayrıca, veri setinin yaklaşık %11,45'i LM16'yı, %1,21'i LM13'ü temsil etmektedir.

PM_1 veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına logaritmik dönüşümde ulaşılmış ve log(PM_1) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 18 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.50 ve 6.51'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.36'da verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı, çiğ noktası sıcaklığı, yükleyici kova hacmi ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, malzeme nemi ve istasyon basıncıdır. Ayrıca, veri setinin yaklaşık %13,44'ü LM14'ü, %2,39'u LM3'ü temsil etmektedir.

Çizelge 6.43 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	$log(PM_{10})$	$ln(PM_{10})$	$1/PM_{10}$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.5898	0.5898	**0.5939**	0.5939	0.5419	0.5437	0.5437	**0.6161**	0.6161	0.5543
	MAE	405.449	0.4055	**0.4572**	1.0526	0.0276	317.9037	0.3179	**0.4177**	0.9617	0.0362
	RMSE	782.4513	0.7825	**0.5938**	1.3673	0.062	732.7524	0.7328	**0.5678**	1.3074	0.069
	RAE (%)	73.9932	73.9945	**76.5708**	76.5709	77.134	76.6298	76.6301	**73.8876**	73.8876	77.9621
	RRSE (%)	80.8991	80.8993	**80.4739**	80.4738	84.12	84.0592	84.0593	**78.8021**	78.8024	83.3007
	Model (düğüm) sayısı	26	26	**18**	18	26	20	20	**21**	21	21
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.499	0.4991	**0.5743**	0.5762	0.5043	0.4533	0.4545	**0.5884**	0.5884	0.5194
	MAE	420.0569	0.4183	**0.4662**	1.0729	0.0282	330.7884	0.3308	**0.4289**	0.9874	0.0372
	RMSE	839.1952	0.8387	**0.6042**	1.3888	0.0636	778.107	0.7775	**0.5826**	1.3414	0.0707
	RAE (%)	76.6395	76.3378	**78.0721**	78.0333	78.5842	79.7184	79.7277	**75.8625**	75.8624	79.9401
	RRSE (%)	86.752	86.7068	**81.8615**	81.7247	86.338	89.2492	89.1837	**80.8499**	80.8502	85.4389
	Model (düğüm) sayısı	26	26	**18**	18	26	20	20	**21**	21	21
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.4882	0.4882	**0.5597**	0.5597	0.5227	0.4453	0.4453	**0.563**	0.563	0.5116
	MAE	421.4769	0.4215	**0.4887**	1.1252	0.03	338.9951	0.339	**0.4558**	1.0495	0.0396
	RMSE	856.6941	0.8567	**0.6246**	1.4381	0.0657	800.6965	0.8007	**0.6047**	1.3922	0.0736
	RAE (%)	77.2386	77.2381	**79.9535**	79.9528	81.5036	81.4025	81.4038	**78.945**	78.9452	82.2317
	RRSE (%)	87.2789	87.2788	**82.9538**	82.9529	85.8306	89.5748	89.575	**82.6906**	82.6907	86.181
	Model (düğüm) sayısı	26	26	**18**	18	26	20	20	**21**	21	21
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}/1000$	$log(PM_{2.5})$	$ln(PM_{2.5})$	$1/PM_{2.5}$	PM_1	$PM_1/1000$	$log(PM_1)$	$ln(PM_1)$	$1/PM_1$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.5136	0.5131	**0.6619**	0.6619	0.6691	0.3293	0.3286	**0.6809**	0.6807	0.5087
	MAE	14.6137	0.0148	**0.2855**	0.6573	0.1237	2.8305	0.0029	**0.181**	0.4166	0.7358
	RMSE	33.5472	0.0336	**0.3997**	0.9204	0.2063	11.9417	0.0119	**0.2762**	0.6365	3.1511
	RAE (%)	74.4238	75.1194	**67.3511**	67.3512	63.5105	79.2168	79.5442	**59.8875**	59.8379	73.4372
	RRSE (%)	85.8424	85.8764	**75.0217**	75.0216	74.3926	94.469	94.4948	**73.2844**	73.3068	86.1209
	Model sayısı	23	22	**24**	24	23	17	17	**18**	18	24
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.4822	0.4821	**0.6476**	0.6476	0.6492	0.25	0.2522	**0.6601**	0.659	0.4811
	MAE	14.8217	0.0148	**0.2914**	0.6709	0.1295	2.7913	0.0028	**0.1884**	0.4367	0.7525
	RMSE	34.2362	0.0342	**0.4061**	0.9351	0.211	12.2434	0.0122	**0.2831**	0.6532	3.2078
	RAE (%)	75.4711	75.4892	**68.7422**	68.7436	66.4849	78.1105	78.2254	**62.3152**	62.706	75.0872
	RRSE (%)	87.5941	87.6019	**76.2068**	76.2069	76.0644	96.8468	96.7621	**75.1053**	75.2189	87.648
	Model (düğüm) sayısı	23	22	**24**	24	23	17	17	**18**	18	24
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.4588	0.4523	**0.6284**	0.6284	0.6287	0.2289	0.2299	**0.6489**	0.6493	0.4072
	MAE	15.064	0.0145	**0.3017**	0.6946	0.1343	2.8858	0.0029	**0.198**	0.4557	0.9624
	RMSE	33.5847	0.0336	**0.4153**	0.9562	0.2127	10.4509	0.0105	**0.2859**	0.6584	2.7771
	RAE (%)	77.3717	74.6776	**70.8328**	70.8327	68.812	82.4528	82.4724	**65.6114**	65.5097	96.8643
	RRSE (%)	88.8718	89.2105	**77.8013**	77.8012	77.8132	98.8839	98.8385	**76.167**	76.1389	91.7076
	Model (düğüm) sayısı	23	22	**24**	24	23	17	17	**18**	18	24

Çizelge 6.44 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim kuralları

Model	log(TAPM) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 65.7, DWPT ≤ -3.65
LM2	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 65.7, DWPT ≤ -1.55 - > -3.65
LM3	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 29.6, DWPT ≤ 7.95 - > -1.55, SP ≤ 855.55
LM4	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 65.7 - > 29.6, DWPT ≤ 7.95 - > -1.55, SP ≤ 855.55
LM5	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 65.7, DWPT ≤ 7.95 - > -1.55, SP > 855.55
LM6	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 65.7, DWPT > 7.95, TMP ≤ 19.95
LM7	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 65.7, DWPT > 7.95, TMP > 19.95, BC ≤ 2.6, SP ≤ 847.35
LM8	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 65.7, DWPT > 7.95, TMP > 19.95, BC ≤ 2.6, SP > 847.35
LM9	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 65.7, DWPT > 7.95, TMP > 19.95, BC > 2.6
LM10	MSTR ≤ 5.535, RH > 65.7, SP ≤ 846.85
LM11	MSTR ≤ 5.535, RH ≤ 76.4 - > 65.7, SP > 846.85
LM12	MSTR ≤ 5.535, RH > 76.4, SP > 846.85
LM13	**MSTR > 5.535, SP ≤ 850.55**
LM14	MSTR > 5.535, SP > 850.55, BC ≤ 2.5, TMP ≤ 9.2
LM15	MSTR > 5.535, SP > 850.55, BC ≤ 2.5, TMP > 9.2
LM16	MSTR ≤ 10.815 - > 5.535, SP > 850.55, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8
LM17	MSTR > 10.815, SP > 850.55, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8
LM18	MSTR > 5.535, SP > 850.55, BC > 2.5, DWPT > 8.8

Çizelge 6.45 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(TAPM) salınım kestirim denklemleri

Model	log(TAPM) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.0003 * TMP + 0.00043 * RH - 0.00014 * SP + 0.0065 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0054 * BC + 2.60
LM2	-0.0003 * TMP + 0.00043 * RH - 0.00014 * SP + 0.0049 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0054 * BC + 3.03
LM3	0.0033 * TMP - 0.00117 * RH + 0.0003 * SP - 0.00044 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0066 * BC + 1.85
LM4	0.0033 * TMP + 0.00037 * RH + 0.0003 * SP - 0.00044 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0066 * BC + 1.31
LM5	0.0033 * TMP + 0.0004 * RH + 0.0003 * SP - 0.00044 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0066 * BC + 1.56
LM6	0.008 * TMP + 0.0022 * RH - 0.00062 * SP + 0.0003 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0124 * BC + 2.57
LM7	0.0033 * TMP + 0.0021 * RH - 0.00255 * SP + 0.0003 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0176 * BC + 4.76
LM8	0.0033 * TMP + 0.00178 * RH - 0.00153 * SP + 0.0003 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0176 * BC + 3.49
LM9	0.0033 * TMP + 0.00145 * RH - 0.00015 * SP + 0.0003 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.03 * BC + 2.83
LM10	-0.0028 * TMP + 0.0002 * RH + 0.0034 * SP + 0.0028 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0034 * BC - 1.37
LM11	-0.0028 * TMP + 0.00065 * RH + 0.0016 * SP + 0.0028 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0034 * BC + 0.45
LM12	-0.0028 * TMP + 0.0012 * RH + 0.0016 * SP + 0.0028 * DWPT - 0.00023 * MSTR + 0.0034 * BC + 0.66
LM13	**0.00034 * TMP + 0.00617 * RH - 0.00043 * SP + 0.019 * DWPT - 0.0003 * MSTR + 0.2013 * BC + 1.38**
LM14	0.0028 * TMP + 0.00017 * RH - 0.00168 * SP - 0.00407 * DWPT - 0.0024 * MSTR + 0.0008 * BC + 3.07
LM15	0.00278 * TMP + 0.00017 * RH - 0.00168 * SP - 0.00407 * DWPT - 0.0024 * MSTR + 0.0008 * BC + 3.16
LM16	0.00206 * TMP + 0.00017 * RH - 0.06713 * SP - 0.0051 * DWPT - 0.0093 * MSTR + 0.0008 * BC + 59.22
LM17	0.00206 * TMP + 0.00017 * RH - 0.0014 * SP - 0.0051 * DWPT - 0.0194 * MSTR + 0.0008 * BC + 2.70
LM18	0.00206 * TMP + 0.00017 * RH - 0.0014 * SP - 0.0095 * DWPT - 0.012 * MSTR + 0.0008 * BC + 2.56

Çizelge 6.46 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları

Model	log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 5.955, RH ≤ 65.7, DWPT ≤ -3.65
LM2	MSTR ≤ 5.955, RH ≤ 65.7, DWPT ≤ -2.15 - > -3.65
LM3	MSTR ≤ 5.955, RH ≤ 65.7, DWPT ≤ 9.75 - > -2.15, TMP ≤ 19.25
LM4	MSTR ≤ 5.955, RH ≤ 65.7, DWPT ≤ 9.75 - > -2.15, TMP > 19.25, SP ≤ 847.85
LM5	MSTR ≤ 5.955, RH ≤ 65.7, DWPT ≤ 9.75 - > -2.15, TMP > 19.25, SP > 847.85
LM6	MSTR ≤ 5.955, RH ≤ 65.7, DWPT > 9.75, BC ≤ 2.04
LM7	MSTR ≤ 5.955, RH ≤ 65.7, DWPT > 9.75, BC > 2.04, SP ≤ 847.6
LM8	MSTR ≤ 5.955, RH ≤ 65.7, DWPT > 9.75, BC > 2.04, SP > 847.6
LM9	MSTR ≤ 5.955, RH > 65.7, SP ≤ 846.85
LM10	MSTR ≤ 5.955, RH ≤ 78.6 - > 65.7, SP > 846.85
LM11	MSTR ≤ 5.955, RH > 78.6, SP > 846.85
LM12	**MSTR > 5.955, SP ≤ 850.55**
LM13	MSTR > 5.955, SP > 850.55, BC ≤ 2.5, TMP ≤ 10.15, RH ≤ 65.35
LM14	MSTR > 5.955, SP > 850.55, BC ≤ 2.5, TMP ≤ 10.15, RH > 65.35
LM15	MSTR > 5.955, SP > 850.55, BC ≤ 2.5, TMP > 10.15, MSTR ≤ 10.47
LM16	MSTR > 5.955, SP > 850.55, BC ≤ 2.5, TMP > 10.15, MSTR > 10.47
LM17	MSTR ≤ 8.205 - > 5.955, SP ≤ 854 - > 850.55, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8
LM18	MSTR ≤ 10.815 - > 8.205, SP ≤ 854 - > 850.55, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8
LM19	MSTR ≤ 10.815 - > 5.955, SP > 854, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8
LM20	MSTR > 10.815, SP > 850.55, BC > 2.5, DWPT ≤ 8.8
LM21	MSTR > 5.955, SP > 850.55, BC > 2.5, DWPT > 8.8

Çizelge 6.47 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.00236 * TMP - 0.00052 * RH + 0.0003 * SP + 0.00945 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.00794 * HW - 0.00513 * MSTR + 0.00734 * BC + 1.896
LM2	-0.00236 * TMP - 0.00052 * RH + 0.0003 * SP + 0.00746 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.00794 * HW - 0.00513 * MSTR + 0.00734 * BC + 2.403
LM3	-0.00041 * TMP - 0.00052 * RH + 0.00104 * SP + 0.0016 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.01477 * HW - 0.05352 * MSTR + 0.00734 * BC + 0.738
LM4	-0.00118 * TMP - 0.00052 * RH - 0.07152 * SP + 0.0016 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.18987 * HW - 0.00446 * MSTR + 0.00734 * BC + 62.121
LM5	-0.00118 * TMP - 0.00052 * RH + 0.00071 * SP + 0.0016 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.03008 * HW - 0.00446 * MSTR + 0.00734 * BC + 1.579
LM6	-0.00212 * TMP - 0.00052 * RH - 0.00235 * SP + 0.00233 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.00195 * HW - 0.00279 * MSTR + 0.03345 * BC + 4.072
LM7	-0.00212 * TMP - 0.00052 * RH - 0.004 * SP + 0.00233 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.00195 * HW - 0.1829 * MSTR + 0.0158 * BC + 6.115
LM8	-0.00212 * TMP - 0.00052 * RH + 0.634 * SP + 0.00233 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.00195 * HW + 0.00181 * MSTR + 0.0158 * BC - 536.369
LM9	-0.00392 * TMP - 0.00015 * RH + 0.00348 * SP + 0.0034 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.00196 * HW - 0.0028 * MSTR + 0.00875 * BC - 1.699
LM10	0.02374 * TMP + 0.00119 * RH + 0.00195 * SP + 0.0034 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.00196 * HW - 0.0028 * MSTR + 0.00875 * BC - 0.407
LM11	-0.0015 * TMP + 0.00255 * RH + 0.00195 * SP + 0.0034 * DWPT + 0.00032 * CW + 0.00196 * HW - 0.0028 * MSTR + 0.00875 * BC + 0.054
LM12	**0.00031 * TMP + 0.00013 * RH + 0.0191 * SP + 0.03159 * DWPT - 0.02785 * CW - 0.07689 * HW - 0.00021 * MSTR + 0.00115 * BC - 14.702**
LM13	0.00284 * TMP - 0.00074 * RH - 0.00109 * SP - 0.00492 * DWPT + 0.00063 * CW - 0.00035 * HW - 0.0045 * MSTR + 0.00126 * BC + 2.525
LM14	0.00284 * TMP - 0.00186 * RH - 0.00109 * SP - 0.00492 * DWPT + 0.00063 * CW - 0.00035 * HW - 0.0045 * MSTR + 0.00126 * BC + 2.415
LM15	0.0029 * TMP + 0.00001 * RH - 0.00109 * SP - 0.00492 * DWPT + 0.00063 * CW - 0.00035 * HW - 0.00888 * MSTR + 0.00126 * BC + 2.580
LM16	0.0029 * TMP + 0.00001 * RH - 0.00109 * SP - 0.00492 * DWPT + 0.00063 * CW - 0.00035 * HW - 0.00906 * MSTR + 0.00126 * BC + 2.305
LM17	0.00266 * TMP + 0.00044 * RH - 0.00332 * SP - 0.00563 * DWPT + 0.00063 * CW - 0.00035 * HW - 0.01694 * MSTR + 0.00126 * BC + 4.870
LM18	0.00266 * TMP + 0.00044 * RH - 0.00332 * SP - 0.00563 * DWPT + 0.00063 * CW - 0.00035 * HW - 0.01776 * MSTR + 0.00126 * BC + 4.461
LM19	0.00266 * TMP + 0.00044 * RH - 0.00635 * SP - 0.00563 * DWPT + 0.00063 * CW - 0.00035 * HW - 0.00858 * MSTR + 0.00126 * BC + 7.014
LM20	0.00266 * TMP + 0.00044 * RH - 0.0009 * SP - 0.00563 * DWPT + 0.00063 * CW - 0.00035 * HW - 0.01797 * MSTR + 0.00126 * BC + 2.014
LM21	0.00266 * TMP + 0.00044 * RH - 0.0009 * SP - 0.00979 * DWPT + 0.00063 * CW - 0.00035 * HW - 0.01094 * MSTR + 0.00126 * BC + 1.881

Çizelge 6.48 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 1, RH ≤ 48.45
LM2	MSTR ≤ 1, RH ≤ 54.75 - > 48.45, DWPT ≤ -3.65
LM3	MSTR ≤ 1, RH ≤ 54.75 - > 48.45, DWPT ≤ -1.4 - > -3.65
LM4	MSTR ≤ 1, RH ≤ 54.75 - > 48.45, DWPT > -1.4
LM5	MSTR ≤ 0.36, RH > 54.75
LM6	MSTR ≤ 1 - > 0.36, RH > 54.75, BC ≤ 1.89
LM7	MSTR ≤ 1 - > 0.36, RH > 54.75, BC > 1.89
LM8	MSTR ≤ 1.98 - > 1, SP ≤ 850.35, DWPT ≤ 8.25, BC ≤ 2.6
LM9	MSTR ≤ 15.77 - > 1.98, SP ≤ 850.35, DWPT ≤ 8.25, BC ≤ 2.6
LM10	MSTR ≤ 15.77 - > 1, SP ≤ 851.9 - > 850.35, DWPT ≤ 8.25, BC ≤ 2.6
LM11	MSTR > 15.77, SP ≤ 851.9, DWPT ≤ 8.25, BC ≤ 2.6
LM12	MSTR ≤ 3.245 - > 1, SP ≤ 851.9, DWPT ≤ 8.25, BC > 2.6
LM13	MSTR ≤ 8.205 - > 1, SP ≤ 851.9, DWPT ≤ 8.25, BC > 2.6, RH ≤ 33.35
LM14	MSTR ≤ 8.205 - > 1, SP ≤ 851.9, DWPT ≤ 8.25, BC > 2.6, RH > 33.35
LM15	MSTR > 8.205, SP ≤ 851.9, DWPT ≤ 8.25, BC > 2.6
LM16	**MSTR > 1, SP ≤ 848.85, DWPT > 8.25, RH ≤ 53.95**
LM17	MSTR > 1, SP ≤ 848.85, DWPT > 8.25, RH > 53.95
LM18	MSTR > 1, SP ≤ 849.65 - > 848.85, DWPT > 8.25
LM19	MSTR > 1, SP ≤ 850.95 - > 849.65, DWPT > 8.25
LM20	MSTR > 1, SP ≤ 851.9 - > 850.95, DWPT > 8.25
LM21	MSTR > 1, SP > 851.9, BC ≤ 2.215, RH ≤ 74.75
LM22	MSTR > 1, SP > 851.9, BC ≤ 2.215, RH > 74.75
LM23	MSTR > 1, SP > 851.9, BC > 2.215, MSTR ≤ 7.19
LM24	MSTR > 1, SP > 851.9, BC > 2.215, MSTR > 7.19

Çizelge 6.49 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri
LM1	0.0003 * RH - 0.00009 * SP - 0.002 * DWPT + 0.16 * HW + 0.02 * MSTR + 0.05 * BC + 0.64
LM2	-0.0003 * RH - 0.00009 * SP + 0.046 * DWPT + 0.002 * HW + 0.003 * MSTR + 0.05 * BC + 1.36
LM3	-0.0003 * RH - 0.00009 * SP + 0.023 * DWPT + 0.002 * HW + 0.003 * MSTR + 0.05 * BC + 1.81
LM4	-0.0003 * RH - 0.00009 * SP - 0.0025 * DWPT + 0.002 * HW + 0.003 * MSTR + 0.05 * BC + 1.25
LM5	-0.00044 * RH - 0.00009 * SP - 0.002 * DWPT + 0.002 * HW - 0.146 * MSTR + 0.06 * BC + 1.56
LM6	-0.00044 * RH - 0.00009 * SP - 0.002 * DWPT + 0.002 * HW - 0.061 * MSTR + 0.107 * BC + 0.68
LM7	-0.00044 * RH - 0.00009 * SP - 0.002 * DWPT + 0.002 * HW - 0.061 * MSTR + 0.087 * BC + 0.98
LM8	0.00011 * RH + 0.0014 * SP + 0.00013 * DWPT + 0.00007 * HW - 0.0065 * MSTR + 0.0027 * BC - 0.29
LM9	0.00011 * RH + 0.0014 * SP + 0.00013 * DWPT + 0.00007 * HW - 0.003 * MSTR + 0.0027 * BC - 0.723
LM10	0.00011 * RH + 0.00099 * SP + 0.00013 * DWPT + 0.00007 * HW - 0.041 * MSTR + 0.0027 * BC + 0.18
LM11	0.00011 * RH - 0.00235 * SP + 0.00013 * DWPT + 0.00007 * HW + 0.00017 * MSTR + 0.0027 * BC + 2.83
LM12	0.00012 * RH - 0.0002 * SP + 0.00321 * DWPT + 0.00007 * HW + 0.0002 * MSTR + 0.003 * BC + 0.62
LM13	0.00431 * RH - 0.0002 * SP + 0.005 * DWPT + 0.00007 * HW - 0.0035 * MSTR + 0.003 * BC + 0.59
LM14	0.0024 * RH - 0.0002 * SP + 0.005 * DWPT + 0.00007 * HW - 0.0035 * MSTR + 0.003 * BC + 1.005
LM15	0.00107 * RH - 0.0002 * SP + 0.095 * DWPT + 0.00007 * HW - 0.003 * MSTR + 0.003 * BC + 0.29
LM16	**0.0036 * RH + 0.00031 * SP + 0.00013 * DWPT - 0.00146 * HW - 0.017 * MSTR + 0.0016 * BC + 0.59**
LM17	-0.0009 * RH + 0.00031 * SP + 0.00013 * DWPT - 0.00146 * HW - 0.00087 * MSTR + 0.0016 * BC + 0.359
LM18	-0.0056 * RH + 0.00062 * SP + 0.00013 * DWPT - 0.0957 * HW - 0.00026 * MSTR + 0.0016 * BC + 0.964
LM19	0.00006 * RH - 0.0427 * SP + 0.00013 * DWPT - 0.0015 * HW + 0.00031 * MSTR + 0.0016 * BC + 37.391
LM20	0.00006 * RH - 0.0546 * SP + 0.00013 * DWPT - 0.0015 * HW + 0.00031 * MSTR + 0.0016 * BC + 46.816
LM21	0.00081 * RH + 0.00007 * SP - 0.00004 * DWPT + 0.00007 * HW + 0.041 * MSTR - 0.009 * BC + 0.793
LM22	0.00145 * RH + 0.00007 * SP - 0.00004 * DWPT + 0.00007 * HW + 0.0035 * MSTR - 0.009 * BC + 1.258
LM23	0.00063 * RH + 0.00007 * SP - 0.00004 * DWPT + 0.00007 * HW + 0.0052 * MSTR - 0.017 * BC + 0.539
LM24	0.00063 * RH + 0.00007 * SP - 0.00004 * DWPT + 0.00007 * HW + 0.00738 * MSTR - 0.017 * BC + 0.823

Çizelge 6.50 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları

Model	log(PM_1) salınım kestirim kuralları
LM1	TMP ≤ 11.95, DWPT ≤ -3.75, MSTR ≤ 6.56, RH ≤ 75.65
LM2	TMP ≤ 11.95, DWPT ≤ -2.15 - > -3.75, MSTR ≤ 6.56, RH ≤ 75.65
LM3	TMP ≤ 11.95, DWPT ≤ 2.45 - > -2.15, MSTR ≤ 6.56, RH ≤ 75.65
LM4	TMP ≤ 11.95, DWPT ≤ 2.45, MSTR ≤ 6.56, RH > 75.65
LM5	TMP ≤ 11.95, DWPT ≤ 2.45, MSTR > 6.56
LM6	TMP ≤ 11.95, DWPT > 2.45
LM7	TMP > 11.95, SP ≤ 850.55, DWPT ≤ 8.45, MSTR ≤ 6.595
LM8	TMP > 11.95, SP ≤ 850.55, DWPT ≤ 8.45, MSTR > 6.595
LM9	TMP > 11.95, SP ≤ 849.05, DWPT > 8.45, MSTR ≤ 0.5
LM10	TMP > 11.95, SP ≤ 844.8, DWPT > 8.45, MSTR > 0.5
LM11	TMP > 11.95, SP ≤ 849.05 - > 844.8, DWPT > 8.45, MSTR > 0.5, RH ≤ 43.55
LM12	TMP > 11.95, SP ≤ 849.05 - > 844.8, DWPT > 8.45, MSTR ≤ 0.94 - > 0.5, RH > 43.55
LM13	TMP > 11.95, SP ≤ 849.05 - > 844.8, DWPT > 8.45, MSTR > 0.94, RH > 43.55
LM14	**TMP > 11.95, SP ≤ 850.55 - > 849.05, DWPT > 8.45**
LM15	TMP > 11.95, SP ≤ 854.45 - > 850.55, MSTR ≤ 10.815, DWPT ≤ 5.95
LM16	TMP > 11.95, SP ≤ 854.45 - > 850.55, MSTR ≤ 10.815, DWPT > 5.95
LM17	TMP > 11.95, SP ≤ 854.45 - > 850.55, MSTR > 10.815
LM18	TMP > 11.95, SP > 854.45

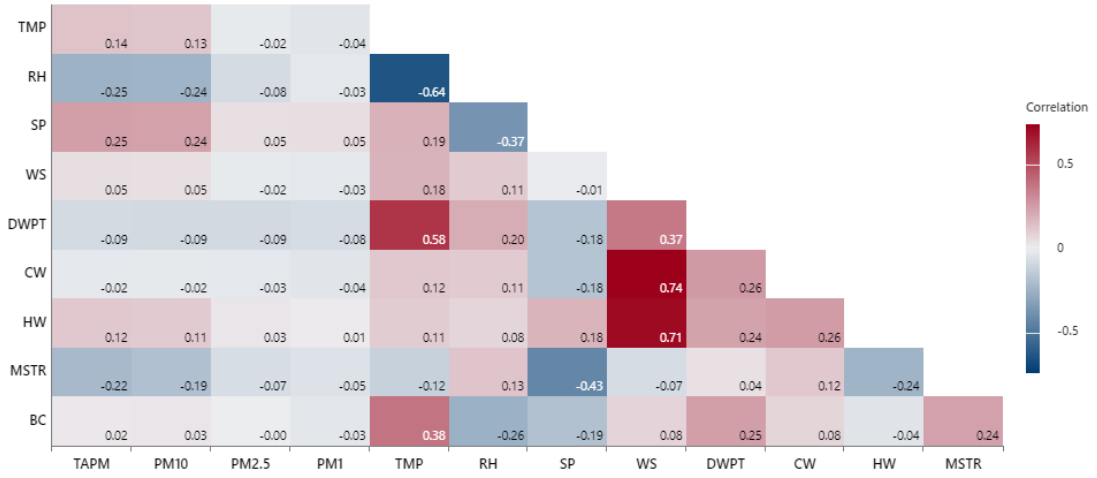
Çizelge 6.51 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_1) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.0005 * TMP + 0.0007 * RH - 0.0001 * SP + 0.0038 * DWPT + 0.0003 * MSTR + 0.00026 * BC + 0.48
LM2	-0.0005 * TMP + 0.0007 * RH - 0.0001 * SP + 0.00095 * DWPT + 0.0003 * MSTR + 0.00026 * BC + 0.89
LM3	-0.0005 * TMP + 0.0007 * RH - 0.0001 * SP - 0.0057 * DWPT + 0.0003 * MSTR + 0.00026 * BC + 0.25
LM4	-0.0005 * TMP + 0.0013 * RH - 0.0001 * SP - 0.0034 * DWPT + 0.0003 * MSTR + 0.00026 * BC + 0.86
LM5	-0.0005 * TMP + 0.0009 * RH - 0.0001 * SP - 0.003 * DWPT + 0.0013 * MSTR + 0.00026 * BC + 0.82
LM6	-0.0005 * TMP + 0.0009 * RH - 0.0001 * SP - 0.0046 * DWPT - 0.0002 * MSTR + 0.00026 * BC + 0.20
LM7	-0.0001 * TMP + 0.005 * RH + 0.00019 * SP + 0.00053 * WS + 0.00048 * DWPT - 0.00024 * MSTR + 0.00022 * BC - 0.189
LM8	-0.00013 * TMP - 0.00002 * RH + 0.00019 * SP + 0.00053 * WS + 0.00048 * DWPT + 0.00552 * MSTR + 0.00022 * BC - 0.149
LM9	-0.00013 * TMP - 0.00025 * RH + 0.00032 * SP + 0.00056 * WS + 0.00032 * DWPT - 0.00179 * MSTR + 0.00022 * BC + 0.268
LM10	-0.00013 * TMP - 0.00043 * RH - 0.00064 * SP + 0.00056 * WS + 0.00032 * DWPT - 0.00185 * MSTR + 0.00022 * BC + 0.932
LM11	-0.00013 * TMP - 0.00035 * RH + 0.00006 * SP + 0.00056 * WS + 0.00032 * DWPT - 0.00147 * MSTR + 0.00022 * BC + 0.163
LM12	-0.00013 * TMP - 0.00096 * RH + 0.00006 * SP + 0.00056 * WS + 0.00032 * DWPT - 0.00325 * MSTR + 0.00022 * BC + 0.282
LM13	-0.00013 * TMP - 0.00282 * RH + 0.00006 * SP + 0.00056 * WS + 0.00032 * DWPT - 0.00211 * MSTR + 0.00022 * BC + 0.222
LM14	**-0.00013 * TMP - 0.0022 * RH + 0.00052 * SP - 0.106 * WS + 0.00032 * DWPT + 0.00827 * MSTR + 0.00022 * BC + 0.204**
LM15	-0.00013 * TMP - 0.00002 * RH - 0.00022 * SP + 0.00038 * WS - 0.00022 * DWPT - 0.00128 * MSTR + 0.05506 * BC + 0.182
LM16	-0.00013 * TMP - 0.00002 * RH - 0.00022 * SP + 0.00038 * WS - 0.00031 * DWPT - 0.02378 * MSTR + 0.00041 * BC + 0.432
LM17	-0.00013 * TMP - 0.00002 * RH - 0.00022 * SP + 0.00038 * WS - 0.00031 * DWPT - 0.00157 * MSTR + 0.00041 * BC + 0.228
LM18	-0.00013 * TMP - 0.00002 * RH - 0.0006 * SP + 0.00038 * WS + 0.0001 * DWPT - 0.0007 * MSTR + 0.00041 * BC + 0.608

6.6 Tüm İşletmelerin Yükleme Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Bu bölümde tüm işletmelerdeki yükleme faaliyeti sırasında ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelere ait veri setleri birleştirilmiştir. İlgileşim matrisi Şekil 6.5'de verilen bağımlı değişkenler (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, makine özellikleri ve nem içeriği) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%25) düzeyde olduğundan herhangi bir bağımlı değişkenin üzerinde etki bir bağımsız değişken ile açıklanamamaktadır. Hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı ile arasında pozitif yönlü normal

ilgileşim (70>R≥40), bağıl nem ile negatif yönlü normal ilgileşim bulunmaktadır. Rüzgâr hızı ile karşı ve yan rüzgâr hızları ile arasında pozitif yönlü ilgileşim vardır.



Şekil 6.5 Tüm işletmelerdeki yükleme faaliyetindeki parametrelerin ilgileşim matrisi

6.6.1 Regresyon analizi

Alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde yükleme faaliyeti sırasında ölçülen ve birleştirilen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 6.52'de verilmiştir. Ham verilerden dönüştürülen yeni veri setlerinden doğal logaritmik ve logaritmik setlere ait çarpıklık ve basıklık değerlerinin literatürde belirtilen aralıkta oldukları ve verilerin normal dağılıma uygun oldukları görülmüştür.

TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Önce, tüm işletmelerin yükleme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımlarının normal dağılıma uygunluğu analiz edilmiş ve normal dağılım göstermeyen ham veri setleri dönüştürülerek oluşan yeni veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu incelenmiştir. Normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayısına sahip olan veri setleri değerlendirmeye alınmıştır. PM salınım kestirim denklemleri Çizelge 6.53'de verilmiştir. En düşük ilgileşim katsayısı 0,641 ile ln(PM_1) ile ln(TAPM), en yüksek katsayı 0,987 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10}, PM_1 ile diğer tüm PM boyutları (TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$) arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değeri logaritmik ve doğal logaritmik olarak dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. PM_1 salınımı ile TAPM ve PM_{10} salınımları arasında normal, diğer PM salınımları arasında yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Bu nedenle PM boyutlarından herhangi birisinin ölçümü ile diğer PM boyut salınımları yüksek doğruluk derecesi ile kestirilebilmektedir.

Tüm işletmelerin birleştirilmiş veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri oldukça düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı (R^2<%13) sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 6.18 ve 6.19'da sunulmuştur.

Çizelge 6.52 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM salınımlarının normallik test analiz sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
Ham	TAPM	775,09 ± 1501,91	139,9 (1,1 - 6527,9)	2,641	6,222	<0,001
	PM_{10}	600,64 ± 1433,54	58 (1 - 6527,9)	3,038	8,432	<0,001
	$PM_{2,5}$	20,17 ± 38,78	6,92 (0,3 - 540,22)	5,125	37,899	<0,001
	PM_1	3,85 ± 12,14	1,24 (0,01 - 397,47)	17,988	431,351	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,21 ± 0,81**	**2,15 (0,04 - 3,82)**	**0,144**	**-0,566**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**1,93 ± 0,83**	**1,76 (0 - 3,82)**	**0,626**	**-0,234**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**0,92 ± 0,55**	**0,84 (-0,52 - 2,73)**	**0,498**	**-0,308**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,21 ± 0,52**	**0,09 (-2 - 2,6)**	**0,470**	**0,332**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,03 ± 0,06	0,01 (0 - 0,91)	5,886	46,722	<0,001
	1/PM_{10}	0,04 ± 0,07	0,02 (0 - 1)	4,606	30,747	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,23 ± 0,25	0,15 (0 - 3,33)	2,498	11,198	<0,001
	1/PM_1	1,19 ± 3,04	0,81 (0 - 100)	24,008	730,667	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**5,09 ± 1,86**	**4,94 (0,1 - 8,78)**	**0,144**	**-0,566**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**4,44 ± 1,91**	**4,06 (0 - 8,78)**	**0,626**	**-0,234**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,11 ± 1,27**	**1,93 (-1,2 - 6,29)**	**0,498**	**-0,307**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**0,48 ± 1,2**	**0,22 (-4,61 - 5,99)**	**0,470**	**0,333**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	0,78 ± 1,5	0,14 (0 - 6,53)	2,641	6,222	<0,001
	PM_{10}/1000	0,6 ± 1,43	0,06 (0 - 6,53)	3,038	8,432	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,02 ± 0,04	0,01 (0 - 0,54)	5,125	37,895	<0,001
	PM_1/1000	0 ± 0,01	0 (0 - 0,4)	17,967	430,502	<0,001

Çizelge 6.53 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-129,755 (-135,414 - -124,096)		-44,945	0,000			
	TAPM	0,942 (0,939 - 0,946)	0,987	551,651	0,000	0,987	0,987	1,0
ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,660 (-0,707 - -0,612)		-27,117	0,000			
	ln(TAPM)	0,544 (0,535 - 0,553)	0,807	121,291	0,000	0,807	0,807	1,0
*ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,373 (-0,410 - -0,336)		-19,791	0,000			
	ln(PM_{10}	0,560 (0,552 - 0,568)	0,850	143,544	0,000	0,850	0,850	1,0
ln(PM_1)	(Sabit)	-0,935 (-0,981 - -0,888)		-39,455	0,000			
	ln(TAPM)	0,324 (0,316 - 0,333)	0,641	74,213	0,000	0,641	0,641	1,0
*ln(PM_1)	(Sabit)	-0,809 (-0,847 - -0,772)		-42,025	0,000			
	ln(PM_{10})	0,344 (0,336 - 0,352)	0,697	86,241	0,000	0,697	0,697	1,0
**ln(PM_1)	(Sabit)	-0,712 (-0,730 - -0,695)		-79,762	0,000			
	ln($PM_{2,5}$)	0,677 (0,669 - 0,684)	0,903	186,186	0,000	0,903	0,903	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

PM_{10}; F= 304318,445, p≤0,001, Adj.R^2= 0,975, SE= 227,94

*ln($PM_{2,5}$); F= 20604,852, p≤0,001, Adj.R^2= 0,723, SE= 0,66

*ln(PM_1); F= 7437,554, p≤0,001, Adj.R^2= 0,485, SE= 0,67

ln($PM_{2,5}$); F= 14711,39, p≤0,001, Adj.R^2= 0,65, SE= 0,74

ln(PM_1); F= 5507,516, p≤0,001, Adj.R^2= 0,411, SE= 0,72

**ln(PM_1); F= 34665,22, p≤0,001, Adj.R^2= 0,81, SE= 0,40

6.6.2 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Geleneksel regresyon yaklaşımı ile geliştirilen doğrusal modellerde (toplu giriş ve aşamalı) bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki düzeltilmiş belirlilik katsayısı çok düşük düzeyde kaldığından dolayı modellemede karar ağacı algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir. M5P algoritmasıyla oluşturulan regresyon analiz sonuçları Çizelge 6.54'de verilmiştir.

Çizelge 6.54 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM veri setlerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	log(PM_{10})	ln(PM_{10})	1/PM_{10}
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	**0.5958**	0.5957	0.6277	0.6277	0.4714	**0.5711**	0.5711	0.5768	0.5768	0.5612
	MAE	**705.0799**	0.7051	0.4976	1.1458	0.0256	**624.0791**	0.6241	0.5315	1.2239	0.0311
	RMSE	**1206.4865**	1.2065	0.6305	1.4516	0.0567	**1176.8853**	1.1769	0.6775	1.56	0.0609
	RAE (%)	**72.9091**	72.9095	74.8569	74.8561	82.8195	**73.0528**	73.057	80.2245	80.2246	74.6786
	RRSE (%)	**80.3352**	80.3354	77.8638	77.8636	88.2118	**82.1016**	82.1019	81.6981	81.6983	82.8045
	Model (düğüm) sayısı	**22**	22	26	26	19	**21**	21	18	18	23
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	**0.5848**	0.5848	0.593	0.593	0.4621	**0.5524**	0.5524	0.5556	0.5556	0.5427
	MAE	**712.2343**	0.7123	0.5151	1.1861	0.0256	**633.0651**	0.6331	0.5382	1.2392	0.0318
	RMSE	**1218.4169**	1.2184	0.652	1.5011	0.057	**1194.9823**	1.195	0.6895	1.5876	0.0618
	RAE (%)	**73.6248**	73.6342	77.4731	77.4727	82.9846	**74.0844**	74.0843	81.2181	81.2182	76.42
	RRSE (%)	**81.106**	81.1073	80.4985	80.4985	88.6689	**83.3403**	83.3401	83.1309	83.131	83.9771
	Model (düğüm) sayısı	**22**	22	26	26	19	**21**	21	18	18	23
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	**0.5666**	0.5666	0.583	0.583	0.4996	**0.537**	0.537	0.5346	0.5346	0.5325
	MAE	**746.7993**	0.7468	0.516	1.1882	0.0267	**657.9597**	0.658	0.5453	1.2554	0.0339
	RMSE	**1246.8336**	1.2468	0.6561	1.5106	0.0598	**1219.7655**	1.2198	0.6979	1.607	0.0663
	RAE (%)	**77.4732**	77.4737	78.1432	78.1427	84.1261	**76.6544**	76.6542	82.9229	82.9227	79.5117
	RRSE (%)	**82.4524**	82.4525	81.2761	81.2764	87.1551	**84.3925**	84.3925	84.5729	84.5729	85.0473
	Model (düğüm) sayısı	**22**	22	26	26	19	**21**	21	18	18	23
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$/1000	log($PM_{2.5}$)	ln($PM_{2.5}$)	1/$PM_{2.5}$	PM_1	PM_1/1000	log(PM_1)	ln(PM_1)	1/PM_1
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.4865	0.4864	**0.6523**	0.6523	0.6074	0.3353	0.3357	**0.7109**	0.7105	0.4991
	MAE	15.9412	0.0159	**0.3126**	0.7199	0.1291	2.853	0.0029	**0.1908**	0.4399	0.6985
	RMSE	33.8898	0.0339	**0.4141**	0.9536	0.2007	11.4433	0.0114	**0.2879**	0.6636	2.6358
	RAE (%)	75.6264	75.6694	**69.6594**	69.6594	71.3349	70.7737	71.0984	**56.0129**	56.0473	75.424
	RRSE (%)	87.3908	87.3964	**75.819**	75.8191	79.4618	94.2315	94.2164	**70.3418**	70.383	86.6813
	Model sayısı	24	24	**25**	25	25	27	28	**23**	23	24
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.4535	0.4534	**0.6311**	0.6311	0.5849	0.2518	0.2541	**0.7027**	0.702	0.4359
	MAE	16.3536	0.0164	**0.3191**	0.7347	0.1309	3.0051	0.003	**0.1941**	0.447	0.6744
	RMSE	34.5634	0.0346	**0.4237**	0.9757	0.2049	11.7641	0.0118	**0.2913**	0.6715	2.7367
	RAE (%)	77.5625	77.5986	**71.0847**	71.0837	72.3193	74.531	74.4149	**56.9541**	56.931	72.8154
	RRSE (%)	89.1137	89.1188	**77.5596**	77.5595	81.096	96.8552	96.7929	**71.1416**	71.2112	89.979
	Model (düğüm) sayısı	24	24	**25**	25	25	27	28	**23**	23	24
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.4135	0.4134	**0.6252**	0.6252	0.5564	0.245	0.2453	**0.6977**	0.6975	0.4744
	MAE	17.7087	0.0177	**0.3265**	0.7517	0.1371	3.0975	0.0031	**0.2016**	0.466	0.7299
	RMSE	36.5488	0.0365	**0.4308**	0.992	0.2216	13.7836	0.0138	**0.2966**	0.6835	3.3699
	RAE (%)	82.9563	83.0085	**71.97**	71.9699	74.6079	74.4168	74.4367	**58.7606**	58.9612	74.9408
	RRSE (%)	91.051	91.0524	**78.2057**	78.2057	83.3089	96.9473	96.9385	**71.7399**	71.7709	90.0346
	Model (düğüm) sayısı	24	24	25	25	25	27	28	**23**	23	24

TAPM veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setinde elde edilmiş ve TAPM karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 22 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.55 ve 6.56'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.37'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, malzeme nemi, istasyon basıncı ve yükleyici kova hacmidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı nemi, hava sıcaklığı ve malzeme nemidir. Veri setinin yaklaşık %14,44'ü LM14'ü, %1,41'i LM16'yı temsil etmektedir.

Çizelge 6.55 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti TAPM salınım kestirim kuralları

Model	TAPM salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 850.85, TMP ≤ 18.45, RH ≤ 53.65
LM2	SP ≤ 850.85, TMP ≤ 17.45, RH > 53.65, MSTR ≤ 7.115
LM3	SP ≤ 850.85, TMP ≤ 18.45 - > 17.45, RH > 53.65, MSTR ≤ 7.115
LM4	SP ≤ 850.85, TMP ≤ 18.45, RH > 53.65, MSTR > 7.115
LM5	SP ≤ 854 - > 850.85, TMP ≤ 18.45, RH ≤ 54.05, MSTR ≤ 8.205
LM6	SP ≤ 854 - > 850.85, TMP ≤ 18.45, RH > 54.05, MSTR ≤ 8.205
LM7	SP ≤ 854 - > 850.85, TMP ≤ 18.45, MSTR > 8.205
LM8	SP ≤ 858.5 - > 854, TMP ≤ 18.45
LM9	SP ≤ 858.5, TMP > 18.45, MSTR ≤ 5.955, BC ≤ 2.04
LM10	SP ≤ 847.55, TMP > 18.45, MSTR ≤ 1.325, BC > 2.04
LM11	SP ≤ 848.65 - > 847.55, TMP > 18.45, MSTR ≤ 1.325, BC > 2.04
LM12	SP ≤ 848.65, TMP > 18.45, MSTR ≤ 5.955 - > 1.325, BC > 2.04
LM13	SP ≤ 858.5 - > 848.65, TMP > 18.45, MSTR ≤ 5.955, BC > 2.04
LM14	**SP ≤ 858.5, TMP > 18.45, MSTR > 5.955**
LM15	SP > 858.5, RH ≤ 31.45, TMP ≤ 21.65
LM16	SP > 858.5, RH ≤ 47.95 - > 31.45, TMP ≤ 21.65
LM17	SP ≤ 860.85 - > 858.5, RH ≤ 47.95, TMP > 21.65, MSTR ≤ 1.525
LM18	SP > 860.85, RH ≤ 47.95, TMP > 21.65, MSTR ≤ 1.525, BC ≤ 2.45
LM19	SP > 860.85, RH ≤ 47.95, TMP > 21.65, MSTR ≤ 1.525, BC > 2.45
LM20	SP > 858.5, RH ≤ 28.75, TMP > 21.65, MSTR > 1.525
LM21	SP > 858.5, RH ≤ 47.95 - > 28.75, TMP > 21.65, MSTR > 1.525
LM22	SP > 858.5, RH > 47.95

Çizelge 6.56 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti TAPM salınım kestirim denklemleri

Model	TAPM salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.2868 * TMP + 0.0621 * RH + 0.028 * SP - 0.7710 * MSTR + 2.0618 * BC + 68.963
LM2	0.5872 * TMP - 0.1082 * RH + 0.028 * SP - 0.4316 * MSTR + 2.0618 * BC + 111.450
LM3	1.2512 * TMP - 0.1082 * RH + 0.028 * SP - 0.4316 * MSTR + 2.0618 * BC + 233.252
LM4	0.0797 * TMP - 0.1082 * RH + 0.028 * SP - 0.2589 * MSTR + 2.0618 * BC + 311.986
LM5	-0.2845 * TMP + 23.1546 * RH + 0.02508 * SP - 2.1533 * MSTR + 2.0618 * BC - 344.408
LM6	-0.2845 * TMP - 1.2473 * RH + 0.02508 * SP - 2.1533 * MSTR + 2.0618 * BC + 345.703
LM7	-0.2845 * TMP - 0.8588 * RH + 0.02508 * SP - 3.7188 * MSTR + 2.0618 * BC + 203.724
LM8	-0.4498 * TMP - 0.2048 * RH + 39.2230 * SP - 0.8486 * MSTR + 62.66503 * BC - 33536.0615
LM9	0.5144 * TMP + 1.2630 * RH + 2.9313 * SP - 4.3330 * MSTR + 50.8640 * BC - 2164.785
LM10	0.5144 * TMP + 37.0223 * RH - 5.7344 * SP - 1.6048 * MSTR + 18.4208 * BC + 4379.660
LM11	0.5144 * TMP + 4.3063 * RH - 15.3019 * SP - 1.6048 * MSTR + 18.4208 * BC + 13091.316
LM12	0.5144 * TMP + 2.4941 * RH - 3.5653 * SP - 4.3414 * MSTR + 18.4208 * BC + 3240.207
LM13	0.5144 * TMP + 2.0966 * RH + 0.8572 * SP + 6.0348 * MSTR + 18.4208 * BC + 930.664
LM14	**0.5812 * TMP + 0.1727 * RH - 0.0509 * SP - 1.0835 * MSTR + 4.6335 * BC + 369.838**
LM15	-6.5873 * TMP - 10.7114 * RH - 6.7073 * SP - 17.0412 * MSTR + 21.2611 * BC + 9715.175
LM16	-6.5873 * TMP - 23.6772 * RH - 6.7073 * SP - 17.0412 * MSTR + 21.2611 * BC + 7636.839
LM17	-4.4391 * TMP - 0.9962 * RH - 10.3139 * SP - 15.6130 * MSTR + 14.8096 * BC + 11595.647
LM18	-27.3479 * TMP - 0.9962 * RH - 6.5600 * SP - 15.6130 * MSTR - 1282.5034 * BC + 10308.776
LM19	-1.8587 * TMP - 0.9962 * RH - 6.5600 * SP - 15.6130 * MSTR + 44.4593 * BC + 8219.331
LM20	-3.9604 * TMP + 1.3922 * RH - 5.2313 * SP - 23.5313 * MSTR + 22.5761 * BC + 4908.625
LM21	-3.9604 * TMP + 0.8536 * RH - 5.2313 * SP - 23.5313 * MSTR + 22.5761 * BC + 5675.488
LM22	-4.3940 * TMP - 1.8366 * RH - 126.8015 * SP - 11.2437 * MSTR + 0.9759 * BC + 110353.222

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setinde elde edilmiş ve PM_{10} karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 21 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.57 ve 6.58'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.38'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, karşı rüzgâr hızı, istasyon basıncı, malzeme ve yükleyici kova hacmidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, hava sıcaklığı ve malzeme nemidir. Veri setinin %11,44'ü LM13'ü, %1,40'ı LM15'i temsil etmektedir.

Çizelge 6.57 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim kuralları

Model	PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 850.85, TMP ≤ 18.45, RH ≤ 53.65
LM2	SP ≤ 850.85, TMP ≤ 12.25, RH > 53.65
LM3	SP ≤ 850.85, TMP ≤18.45 - > 12.25, RH > 53.65
LM4	SP ≤ 854 - > 850.85, TMP ≤ 18.45, MSTR ≤ 8.205
LM5	SP ≤ 854 - > 850.85, TMP ≤ 18.45, MSTR > 8.205
LM6	SP ≤ 858.5 - > 854, TMP ≤ 18.45, BC ≤ 2.215
LM7	SP ≤ 858.5 - > 854, TMP ≤ 18.45, BC > 2.215
LM8	SP ≤ 858.5, TMP > 18.45, MSTR ≤ 5.955, BC ≤ 2.04
LM9	SP ≤ 847.55, TMP > 18.45, MSTR ≤ 1.325, BC > 2.04
LM10	SP ≤ 848.65 - > 847.55, TMP > 18.45, MSTR ≤ 1.325, BC > 2.04
LM11	SP ≤ 848.65, TMP > 18.45, MSTR ≤ 5.955 - > 1.325, BC > 2.04
LM12	SP ≤ 858.5 - > 848.65, TMP > 18.45, MSTR ≤ 5.955, BC > 2.04
LM13	**SP ≤ 858.5, TMP > 18.45, MSTR > 5.955**
LM14	SP > 858.5, RH ≤ 31.45, TMP ≤ 21.65
LM15	SP > 858.5, RH ≤ 47.85 - > 31.45, TMP ≤ 21.65
LM16	SP ≤ 860.85 - > 858.5, RH ≤ 47.85, TMP > 21.65, MSTR ≤ 1.525, BC ≤ 2.45
LM17	SP > 860.85, RH ≤ 47.85, TMP > 21.65, MSTR ≤ 1.525, BC ≤ 2.45
LM18	SP > 858.5, RH ≤ 47.85, TMP > 21.65, MSTR ≤ 1.525, BC > 2.45
LM19	SP > 858.5, RH ≤ 28.75, TMP > 21.65, MSTR > 1.525
LM20	SP > 858.5, RH ≤ 47.85 - > 28.75, TMP > 21.65, MSTR > 1.525
LM21	SP > 858.5, RH > 47.85

Çizelge 6.58 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM_{10} salınım kestirim denklemleri

Model	PM_{10} salınım kestirim denklemleri
LM1	0.302 * TMP - 0.034 * RH + 0.826 * SP + 0.552 * HW - 0.451 * MSTR + 10.358 * BC - 672.86
LM2	0.704 * TMP - 0.09 * RH + 1.118 * SP + 0.552 * HW - 0.451 * MSTR + 15.970 * BC - 918.70
LM3	0.266 * TMP - 0.09 * RH + 0.620 * SP + 0.552 * HW - 0.451 * MSTR + 138.493 * BC - 672.93
LM4	-0.107 * TMP - 9.584 * RH + 0.109 * SP + 0.552 * HW - 1.079 * MSTR + 3.009 * BC + 796.96
LM5	-0.107 * TMP - 0.461 * RH + 0.109 * SP + 0.552 * HW - 1.791 * MSTR + 3.009 * BC + 29.54
LM6	-0.182 * TMP - 0.130 * RH - 0.251 * SP + 0.552 * HW - 0.490 * MSTR + 4.713 * BC + 262.35
LM7	-0.182 * TMP - 0.139 * RH - 0.251 * SP + 0.552 * HW - 0.490 * MSTR + 5.194 * BC + 304.14
LM8	0.41 * TMP + 1.107 * RH + 1.737 * SP + 1.726 * HW - 0.669 * MSTR + 37.641 * BC - 1336.85
LM9	0.41 * TMP + 33.467 * RH - 4.567 * SP + 1.726 * HW + 0.147 * MSTR + 14.25 * BC + 3289.97
LM10	0.41 * TMP + 3.857 * RH - 12.145 * SP + 1.726 * HW + 0.147 * MSTR + 14.25 * BC + 10291.04
LM11	0.410 * TMP + 2.246 * RH - 2.670 * SP + 1.726 * HW - 1.757 * MSTR + 14.25 * BC + 2367.51
LM12	0.410 * TMP + 1.910 * RH + 0.538 * SP + 1.726 * HW + 6.908 * MSTR + 14.25 * BC + 863.36
LM13	**0.461 * TMP + 0.128 * RH + 0.013 * SP + 1.881 * HW - 0.727 * MSTR + 4.397 * BC + 211.89**
LM14	-6.36 * TMP - 10.527 * RH - 5.93 * SP + 0.574 * HW - 14.91 * MSTR + 30.533 * BC + 8736.13
LM15	-6.36 * TMP - 23.404 * RH - 5.93 * SP + 0.574 * HW - 14.91 * MSTR + 30.533 * BC + 6683.64
LM16	-9.045 * TMP - 0.976 * RH - 17.104 * SP + 0.574 * HW - 13.98 * MSTR - 41.6 * BC + 17318.40
LM17	-30.840 * TMP - 0.976 * RH - 11.846 * SP + 0.574 * HW - 13.980 * MSTR - 1090.844 * BC + 14277.57
LM18	-4.606 * TMP - 0.976 * RH - 9.975 * SP + 0.574 * HW - 13.980 * MSTR + 58.170 * BC + 10964.25
LM19	-3.681 * TMP + 1.154 * RH - 4.456 * SP + 0.574 * HW - 21.212 * MSTR + 31.272 * BC + 4076.92
LM20	-3.681 * TMP + 0.673 * RH - 4.456 * SP + 0.574 * HW - 21.212 * MSTR + 31.272 * BC + 4768.59
LM21	-4.177 * TMP - 1.750 * RH - 86.760 * SP + 0.574 * HW - 9.934 * MSTR + 12.044 * BC + 75519.72

$PM_{2,5}$ veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına logaritmik dönüşümde ulaşılmış ve log($PM_{2,5}$) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 25 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.59 ve 6.60'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.39'da verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil), istasyon basıncı, malzeme nemi ve yükleyici kova hacmidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Veri setinin yaklaşık %8,95'i LM21'i, %1,69'u LM23'ü temsil etmektedir.

Çizelge 6.59 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları
LM1	DWPT ≤ -2.15, RH ≤ 54.75, SP ≤ 851.35
LM2	DWPT ≤ -2.15, RH ≤ 54.75, SP > 851.35
LM3	DWPT ≤ -2.15, RH > 54.75
LM4	DWPT ≤ 2.75 - > -2.15, RH ≤ 74.85
LM5	DWPT ≤ 2.75 - > -2.15, RH > 74.85
LM6	DWPT ≤ 8.45 - > 2.75, RH ≤ 38.35, SP ≤ 866.55
LM7	DWPT ≤ 8.45 - > 2.75, RH ≤ 38.35, SP > 866.55
LM8	DWPT ≤ 8.45 - > 2.75, RH > 38.35, BC ≤ 2.765, SP ≤ 848.1
LM9	DWPT ≤ 8.45 - > 2.75, RH > 38.35, BC ≤ 2.765, SP ≤ 864.25 - > 848.1
LM10	DWPT ≤ 8.45 - > 2.75, RH > 38.35, SP ≤ 864.25, BC > 2.765, HW ≤ -0.05
LM11	DWPT ≤ 8.45 - > 2.75, RH > 38.35, SP ≤ 864.25, BC > 2.765, HW > -0.05, MSTR ≤ 8.205
LM12	DWPT ≤ 8.45 - > 2.75, RH > 38.35, SP ≤ 864.25, BC > 2.765, HW > -0.05, MSTR > 8.205
LM13	DWPT ≤ 8.45 - > 2.75, RH > 38.35, SP > 864.25
LM14	DWPT > 8.45, SP ≤ 862.05, MSTR ≤ 1.525, BC ≤ 1.94, RH ≤ 62.4
LM15	DWPT > 8.45, SP ≤ 862.05, MSTR ≤ 1.525, BC ≤ 1.94, RH > 62.4
LM16	DWPT > 8.45, SP ≤ 862.05, MSTR ≤ 1.525, BC > 1.94, HW ≤ 0.05
LM17	DWPT > 8.45, SP ≤ 862.05, MSTR ≤ 0.43, BC > 1.94, HW > 0.05
LM18	DWPT > 8.45, SP ≤ 862.05, MSTR ≤ 1.525 - > 0.43, BC > 1.94, HW > 0.05, RH ≤ 45.55
LM19	DWPT > 8.45, SP ≤ 862.05, MSTR ≤ 1.525 - > 0.43, BC > 1.94, HW > 0.05, RH > 45.55
LM20	DWPT > 8.45, SP ≤ 848.85, MSTR > 1.525
LM21	**DWPT > 8.45, SP ≤ 850.65 - > 848.85, MSTR > 1.525**
LM22	DWPT > 8.45, SP ≤ 862.05 - > 850.65, MSTR > 1.525
LM23	DWPT > 8.45, SP ≤ 863.8 - > 862.05, RH ≤ 42.65
LM24	DWPT > 8.45, SP > 863.8, RH ≤ 42.65
LM25	DWPT > 8.45, SP > 862.05, RH > 42.65

PM_1 veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısına logaritmik dönüşümde ulaşılmış ve log(PM_1) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 23 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 6.61 ve 6.62'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.40'da verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, bağıl nem, karşı rüzgâr hızı, yükleyici kova hacmi ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise yükleyici kova hacmi, bağıl nem, malzeme nemi ve istasyon basıncıdır. Veri setinin yaklaşık %14,97'si LM23'ü, %1,57'si LM17'yi temsil etmektedir.

Çizelge 6.60 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri
LM1	0.00015 * RH + 0.00117 * SP - 0.00019 * WS - 0.0011 * DWPT + 0.00034 * HW - 0.00648 * MSTR - 0.0008 * BC + 0.397
LM2	0.00015 * RH + 0.00093 * SP - 0.00019 * WS - 0.0011 * DWPT + 0.00034 * HW - 0.10568 * MSTR - 0.0008 * BC + 0.998
LM3	0.00015 * RH + 0.00121 * SP - 0.00019 * WS - 0.0011 * DWPT + 0.00034 * HW - 0.00437 * MSTR - 0.0008 * BC + 0.176
LM4	0.00042 * RH + 0.03011 * SP - 0.00019 * WS - 0.00118 * DWPT + 0.00034 * HW - 0.00086 * MSTR - 0.05686 * BC - 24.865
LM5	0.0011 * RH + 0.00345 * SP - 0.00019 * WS - 0.00118 * DWPT + 0.00034 * HW - 0.00086 * MSTR + 0.00636 * BC - 1.621
LM6	-0.00018 * RH + 0.00061 * SP + 0.00008 * WS + 0.00008 * DWPT + 0.13413 * HW + 0.00005 * MSTR + 0.12278 * BC - 0.137
LM7	-0.00018 * RH + 0.00206 * SP + 0.00008 * WS + 0.00008 * DWPT + 0.00769 * HW + 0.00005 * MSTR - 0.01744 * BC - 0.244
LM8	-0.0001 * RH - 0.00111 * SP + 0.00008 * WS + 0.00008 * DWPT + 0.0004 * HW + 0.00017 * MSTR + 0.0006 * BC + 1.759
LM9	-0.0001 * RH - 0.00925 * SP + 0.00008 * WS + 0.00008 * DWPT + 0.0004 * HW - 0.0223 * MSTR + 0.0006 * BC + 8.655
LM10	-0.0001 * RH - 0.00007 * SP + 0.00008 * WS + 0.00008 * DWPT - 0.00295 * HW + 0.00023 * MSTR + 0.00123 * BC + 0.848
LM11	-0.0001 * RH - 0.00007 * SP + 0.00008 * WS + 0.00008 * DWPT - 0.00134 * HW - 0.00067 * MSTR + 0.00123 * BC + 0.821
LM12	-0.0001 * RH - 0.00007 * SP + 0.00008 * WS + 0.00008 * DWPT - 0.00134 * HW - 0.0012 * MSTR + 0.00123 * BC + 0.576
LM13	-0.0001 * RH + 0.04072 * SP + 0.00008 * WS + 0.00008 * DWPT + 0.0004 * HW + 0.00024 * MSTR + 0.00124 * BC - 34.814
LM14	-0.00115 * RH - 0.00014 * SP + 0.0015 * WS + 0.00005 * DWPT + 0.00104 * HW - 0.00581 * MSTR + 0.00977 * BC + 1.157
LM15	-0.00132 * RH - 0.00014 * SP + 0.0015 * WS + 0.00005 * DWPT + 0.00104 * HW - 0.00581 * MSTR + 0.00977 * BC + 0.750
LM16	0.0003 * RH - 0.00014 * SP + 0.0015 * WS + 0.00005 * DWPT + 0.00169 * HW + 0.0039 * MSTR + 0.00431 * BC + 1.145
LM17	0.00018 * RH - 0.00014 * SP + 0.0015 * WS + 0.00005 * DWPT + 0.00079 * HW - 0.00067 * MSTR + 0.00431 * BC + 1.570
LM18	-0.0002 * RH - 0.00014 * SP + 0.0015 * WS + 0.00005 * DWPT + 0.00079 * HW - 0.00067 * MSTR + 0.00431 * BC + 1.479
LM19	-0.00015 * RH - 0.00014 * SP + 0.0015 * WS + 0.00005 * DWPT + 0.00079 * HW - 0.00067 * MSTR + 0.00431 * BC + 1.242
LM20	0.00002 * RH + 0.00149 * SP - 0.00109 * WS + 0.00005 * DWPT - 0.00011 * HW + 0.00735 * MSTR - 0.00011 * BC - 0.478
LM21	**-0.0021 * RH + 0.00105 * SP - 0.15767 * WS + 0.00005 * DWPT - 0.00011 * HW - 0.0007 * MSTR - 0.00011 * BC + 0.602**
LM22	0.00004 * RH - 0.00043 * SP + 0.00135 * WS + 0.00005 * DWPT - 0.00011 * HW - 0.00028 * MSTR - 0.00011 * BC + 0.902
LM23	-0.00041 * RH - 0.01896 * SP + 0.00187 * WS + 0.00005 * DWPT - 0.00029 * HW - 0.00035 * MSTR - 0.00049 * BC + 17.428
LM24	-0.00041 * RH - 0.01004 * SP + 0.00187 * WS + 0.00005 * DWPT - 0.00029 * HW - 0.00035 * MSTR - 0.00049 * BC + 9.362
LM25	-0.00066 * RH - 0.00554 * SP + 0.00187 * WS + 0.00005 * DWPT - 0.00029 * HW - 0.00035 * MSTR - 0.00049 * BC + 5.422

Çizelge 6.61 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları

Model	log(PM_1) salınım kestirim kuralları
LM1	BC ≤ 2.335, SP ≤ 847.35, MSTR ≤ 1
LM2	BC ≤ 2.335, SP ≤ 851.25 - > 847.35, MSTR ≤ 1, RH ≤ 41.6
LM3	BC ≤ 2.335, SP ≤ 851.25 - > 847.35, MSTR ≤ 1, RH > 41.6
LM4	BC ≤ 2.335, SP ≤ 848.8, MSTR > 1
LM5	BC ≤ 2.335, SP ≤ 851.25 - > 848.8, MSTR > 1
LM6	BC ≤ 2.335, SP > 851.25, RH ≤ 30.95
LM7	BC ≤ 1.69, SP > 851.25, RH > 30.95
LM8	BC ≤ 2.335 - > 1.69, SP > 851.25, RH ≤ 55.5 - > 30.95, CW ≤ 0.15, MSTR ≤ 0.925
LM9	BC ≤ 2.335 - > 1.69, SP > 851.25, RH ≤ 55.5 - > 30.95, CW ≤ 0.15, MSTR > 0.925
LM10	BC ≤ 2.335 - > 1.69, SP > 851.25, RH ≤ 55.5 - > 30.95, CW > 0.15
LM11	BC ≤ 2.335 - > 1.69, SP > 851.25, RH > 55.5
LM12	BC > 2.335, SP ≤ 848.55, RH ≤ 33.45
LM13	BC > 2.335, SP ≤ 848.55, RH > 33.45
LM14	BC > 2.335, SP ≤ 848.85 - > 848.55
LM15	BC > 2.335, SP ≤ 850.65 - > 848.85
LM16	BC > 2.335, SP ≤ 851.25 - > 850.65, RH ≤ 50.85, MSTR ≤ 10.815
LM17	BC > 2.335, SP ≤ 851.25 - > 850.65, RH ≤ 50.85, MSTR > 10.815
LM18	BC > 2.335, SP ≤ 858.8 - > 851.25, RH ≤ 50.85
LM19	BC > 2.335, SP ≤ 858.8 - > 850.65, RH > 50.85
LM20	BC > 2.335, SP ≤ 863.2 - > 858.8, RH ≤ 27.3
LM21	BC > 2.335, SP ≤ 863.2 - > 858.8, RH > 27.3, MSTR ≤ 1.55
LM22	BC > 2.335, SP ≤ 863.2 - > 858.8, RH > 27.3, MSTR > 1.55
LM23	**BC > 2.335, SP > 863.2**

Çizelge 6.62 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_1) salınım kestirim denklemleri
LM1	0.00021 * RH - 0.00076 * SP - 0.00041 * CW - 0.0004 * MSTR + 0.004 * BC + 1.1318
LM2	0.00054 * RH - 0.00053 * SP - 0.00041 * CW - 0.0004 * MSTR + 0.004 * BC + 0.631
LM3	0.0005 * RH - 0.00053 * SP - 0.00041 * CW - 0.0004 * MSTR + 0.004 * BC + 0.787
LM4	-0.0034 * RH + 0.00036 * SP - 0.00041 * CW - 0.00033 * MSTR + 0.004 * BC - 0.0073
LM5	0.00002 * RH - 0.15761 * SP - 0.00041 * CW - 0.00033 * MSTR + 0.004 * BC + 134.182
LM6	0.0002 * RH + 0.074 * SP - 0.00412 * CW - 0.00124 * MSTR + 0.042 * BC - 63.324
LM7	0.00073 * RH + 0.00024 * SP - 0.0076 * CW - 0.00165 * MSTR + 0.079 * BC - 0.189
LM8	0.00057 * RH + 0.00024 * SP - 0.0149 * CW - 0.0065 * MSTR + 0.038 * BC + 0.611
LM9	0.00057 * RH + 0.00024 * SP - 0.0149 * CW - 0.0054 * MSTR + 0.038 * BC + 0.364
LM10	0.00057 * RH + 0.00024 * SP - 0.0189 * CW - 0.0038 * MSTR + 0.038 * BC - 0.011
LM11	0.0009 * RH + 0.00024 * SP - 0.0111 * CW - 0.0024 * MSTR + 0.038 * BC + 0.560
LM12	0.0004 * RH + 0.00001 * SP + 0.00073 * CW - 0.00004 * MSTR - 0.0005 * BC + 0.054
LM13	0.00021 * RH + 0.00001 * SP + 0.00073 * CW - 0.00004 * MSTR - 0.0005 * BC + 0.180
LM14	0.00026 * RH - 0.00023 * SP + 0.00073 * CW - 0.00004 * MSTR - 0.0005 * BC + 0.302
LM15	0.0001 * RH - 0.00012 * SP + 0.00318 * CW - 0.00033 * MSTR - 0.0005 * BC + 0.570
LM16	0.000004 * RH + 0.00083 * SP - 0.0284 * CW - 0.0006 * MSTR - 0.0005 * BC - 0.573
LM17	0.000004 * RH + 0.00083 * SP - 0.00018 * CW - 0.00137 * MSTR - 0.0005 * BC - 0.656
LM18	0.000004 * RH + 0.00181 * SP + 0.00224 * CW - 0.00065 * MSTR - 0.0005 * BC - 1.386
LM19	-0.00022 * RH + 0.00088 * SP + 0.00224 * CW - 0.00012 * MSTR - 0.0005 * BC - 0.704
LM20	0.00093 * RH + 0.00036 * SP + 0.00241 * CW - 0.00012 * MSTR - 0.0005 * BC - 0.252
LM21	0.0006 * RH + 0.00036 * SP + 0.00241 * CW - 0.00427 * MSTR - 0.0005 * BC + 0.204
LM22	0.0006 * RH + 0.00036 * SP + 0.00241 * CW - 0.0067 * MSTR - 0.0005 * BC - 0.01
LM23	**-0.00604 * RH - 0.01817 * SP - 0.0430 * CW - 0.00004 * MSTR - 0.0005 * BC + 16.129**

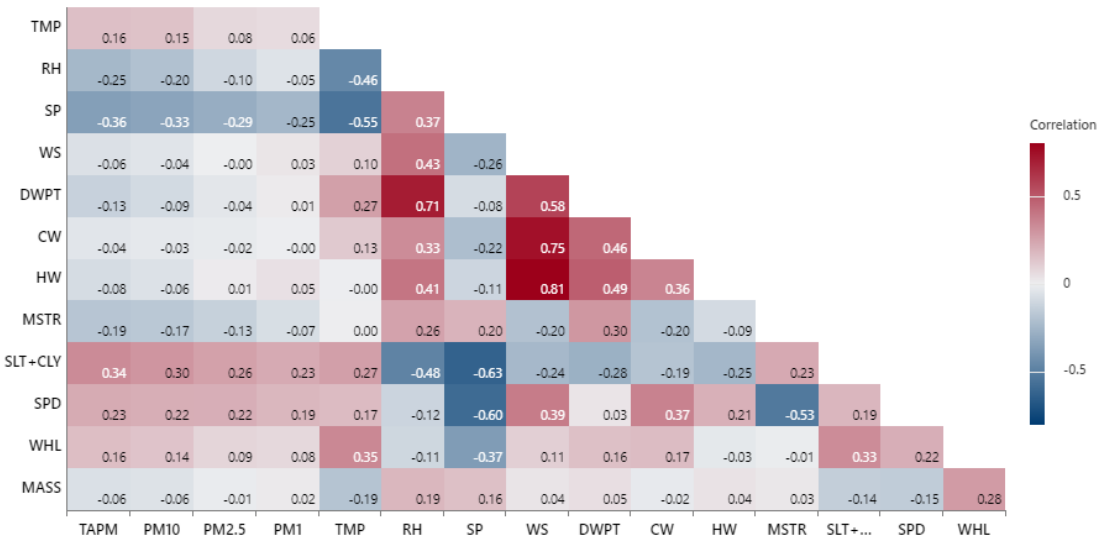
7. TAŞIMA FAALİYETİNDE PM SALINIMI MODELLENMESİ

7.1 Giriş

Bu çalışma kapsamında, Sivas ilinde yer alan bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde taşıma faaliyetleri sırasında eş zamanlı ölçülen PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine özellikleri ile nem ve silt+kil içeriği verisi bir tablolama programına aktarılarak işlenmiştir. Taşıma faaliyetleri için yapılan istatistiksel ve PM salınım çalışmaları delme faaliyeti ile benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla bu bölümde yapılan çalışmaların aşamaları Bölüm 5.1'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

7.2 Alçıtaşı İşletmesi Taşıma Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Alçıtaşı işletmesinde, taşıma faaliyeti sırasında ölçümü yapılan ve hesaplanan tüm parametrelerin ilgileşim matrisi Şekil 7.1'de verilmiştir. Her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile her bir bağımsız değişken (termal konfor parametreleri, makine özellikleri, nem ve silt+kil içerikleri) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%36) düzeyde olduğundan, herhangi bir bağımlı değişkenin üzerinde etkinin tek başına bağımsız değişken ile açıklamak mümkün değildir. Bağıl nem, silt+kil ile arasında negatif yönlü normal ilgileşim (%70>R≥%40), rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil) ile arasında pozitif yönlü normal ilgileşim ve çiğ noktası sıcaklığı ile arasında ise pozitif yönlü yüksek (R≥%70) ilgileşim bulunmaktadır. Benzer şekilde; hava sıcaklığı, bağıl nem ve istasyon basıncı ile arasında pozitif yönlü normal ilgileşim vardır. Ayrıca rüzgâr hızı, çiğ noktası sıcaklığı ile arasında pozitif yönlü normal ilgileşim, karşı ve yan rüzgâr hızları ile arasında ise pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70) olduğu da söylenebilmektedir.



Şekil 7.1 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti parametrik ilgileşim matrisi

7.2.1 Regresyon analizi

Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınımının normallik test analiz sonuçları Çizelge 7.1'de verilmiştir. Ham verilerden dönüştürülen doğal logaritmik ve logaritmik veri setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerleri literatürde belirtilen aralıkta olup normal dağılıma uygundur. Diğer taraftan, TAPM ve PM_{10} ham verileri çarpıklık ve basıklık değerlerine göre normal dağılım göstermesine rağmen, düzeltilmiş belirlilik katsayılarının çok düşük ($R^2 \leq \%19$) olması ve çok geniş bir aralığa yayılmış olduklarından dolayı bu verilerin regresyon analiz sonuçları değerlendirilmemiştir.

Çizelge 7.1 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınımı normallik test sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
Ham	**TAPM**	**1456,411-1905,372**	**459 (24,9 - 6527,9)**	**1,462**	**0,972**	**<0,001**
	PM_{10}	**1269,967-1896,139**	**198,25 (8,5 - 6527,9)**	**1,599**	**1,375**	**<0,001**
	$PM_{2,5}$	81,133-147,692	10,617 (0,988 - 652,79)	2,400	5,213	<0,001
	PM_1	49,117-124,858	1,665 (0,073 - 652,79)	3,193	10,233	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,7-0,695**	**2,662 (1,396 - 3,815)**	**0,086**	**-1,329**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**2,449-0,835**	**2,298 (0,929 - 3,815)**	**0,247**	**-1,401**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**1,272-0,74**	**1,026 (-0,005 - 2,815)**	**0,622**	**-0,917**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,537-0,944**	**0,222 (-1,137 - 2,815)**	**1,039**	**-0,025**	**<0,001**
1/ham	1/ TAPM	0,005-0,007	0,002 (0 - 0,04)	1,698	2,900	<0,001
	1/ PM_{10}	0,012-0,016	0,005 (0 - 0,118)	1,788	4,516	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,134-0,137	0,094 (0,002 - 1,012)	1,343	3,038	<0,001
	1/ PM_1	0,963-1,208	0,601 (0,002 - 13,7)	3,129	19,792	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**6,217-1,6**	**6,129 (3,215 - 8,784)**	**0,086**	**-1,329**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**5,638-1,923**	**5,29 (2,14 - 8,784)**	**0,247**	**-1,401**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,928-1,704**	**2,362 (-0,012 - 6,481)**	**0,622**	**-0,917**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**1,238-2,173**	**0,51 (-2,617 - 6,481)**	**1,039**	**-0,025**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	**1,456-1,905**	**0,459 (0,025 – 6,528)**	**1,462**	**0,972**	**<0,001**
	PM_{10}/1000	**1,269-1,896**	**0,198 (0,008 – 6,528)**	**1,599**	**1,375**	**<0,001**
	$PM_{2,5}$/1000	0,081-0,147	0,010 (0 – 0,6528)	2,400	5,213	<0,001
	PM_1/1000	0,049-0,124	0 (0 – 0,6528)	3,193	10,233	<0,001

Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyetinde örneklenen ve normal dağılım gösteren PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri Çizelge 7.2'de verilmiştir. Buna göre; TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ölçüm değerleri aylar bazında farklı istatistiksel sonuçlar ortaya koymaktadır. PM ölçüm değerleri Ekim 2020 ve Eylül 2021 aylarında diğer aylardan anlamlı olarak farklılık göstermektedir. Örrneğin, log(PM_1) için aylar bazında, Ağustos 2020, Eylül 2020, Kasım 2020, Mayıs 2021, Haziran 2021 aylarında ölçülen partikül madde değerleri arasında anlamlı farklılıklar yoktur. Ayrıca Eylül 2020 ile Temmuz 2021 ve Ağustos 2021 aylarındaki değerler arasında da anlamlı fark yokken, diğer aylar ile arasında anlamlı farklılıkları bulunmaktadır. Ekim 2020 ile diğer tüm aylar arasında anlamlı farklılıklar vardır. Eylül 2021 ile de tüm aylar arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır. Bağımsız değerler içinde TMP için Kasım 2020 diğer aylardan anlamlı farklılıklar çıkmıştır. Silt+kil değerinde ise Temmuz 2021 ayındaki ölçüm değerleri Mayıs 2021 ve Haziran 2021 değerleri arasında anlamlı farklılık çıkmış olup diğer aylarla arasında anlamlı farklılıklar çıkmamıştır.

Çizelge 7.2 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri

	Parametre	Ay	Ağustos 2020	Eylül 2020	Ekim 2020	Kasım 2020	Mayıs 2021	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	p
Alçıtaşı işletmesi	log(TAPM)	Tukey	2,9 ± 0,45^{bc}	2,89 ± 0,67^{bc}	2,31 ± 0,67^{a}	2,72 ± 0,64^{b}	3,13 ± 0,54^{cd}	3,01 ± 0,52^{c}	3 ± 0,43^{c}	2,95 ± 0,59^{bc}	3,32 ± 0,42^{d}	≤0,001
	ln(TAPM)	Tukey	6,69 ± 1,03^{bc}	6,64 ± 1,55^{bc}	5,32 ± 1,53^{a}	6,25 ± 1,46^{b}	7,21 ± 1,24^{cd}	6,92 ± 1,2^{c}	6,91 ± 0,99^{c}	6,79 ± 1,35^{bc}	7,64 ± 0,96^{d}	≤0,001
	log(PM_{10})	Tukey	2,69 ± 0,62^{bc}	2,63 ± 0,87^{bc}	2 ± 0,75^{a}	2,42 ± 0,77^{b}	2,93 ± 0,7^{c}	2,82 ± 0,68^{c}	2,84 ± 0,6^{c}	2,78 ± 0,77^{c}	3,27 ± 0,5^{d}	≤0,001
	ln(PM_{10})	Tukey	6,2 ± 1,42^{bc}	6,06 ± 2,01^{bc}	4,6 ± 1,73^{a}	5,58 ± 1,78^{b}	6,75 ± 1,61^{c}	6,5 ± 1,56^{c}	6,55 ± 1,38^{c}	6,4 ± 1,78^{c}	7,53 ± 1,14^{d}	≤0,001
	log($PM_{2,5}$)	Tukey	1,31 ± 0,65^{b}	1,39 ± 0,85^{bc}	0,89 ± 0,57^{a}	1,32 ± 0,66^{b}	1,65 ± 0,71^{c}	1,56 ± 0,7^{bc}	1,59 ± 0,71^{bc}	1,57 ± 0,79^{bc}	2,08 ± 0,6^{d}	≤0,001
	ln($PM_{2,5}$)	Tukey	3,03 ± 1,49^{b}	3,2 ± 1,96^{bc}	2,05 ± 1,32^{a}	3,03 ± 1,51^{b}	3,8 ± 1,64^{c}	3,59 ± 1,6^{bc}	3,67 ± 1,64^{bc}	3,62 ± 1,82^{bc}	4,78 ± 1,38^{d}	≤0,001
	log(PM_{1})	Tukey	0,59 ± 0,84^{b}	0,73 ± 0,99^{bc}	0,07 ± 0,66^{a}	0,59 ± 0,68^{b}	0,95 ± 1,03^{bc}	0,87 ± 1,03^{bc}	1 ± 1,16^{c}	0,98 ± 1,09^{c}	1,54 ± 0,95^{d}	≤0,001
	ln(PM_{1})	Tukey	1,37 ± 1,94^{b}	1,69 ± 2,27^{bc}	0,15 ± 1,52^{a}	1,35 ± 1,58^{b}	2,18 ± 2,37^{bc}	2 ± 2,37^{bc}	2,3 ± 2,67^{c}	2,27 ± 2,51^{c}	3,55 ± 2,18^{d}	≤0,001
	TMP	Tukey	25,53 ± 0,31^{d}	26,43 ± 0,17^{d}	23,12 ± 0,28^{c}	12,91 ± 0,36^{a}	25,18 ± 0,29^{d}	23,53 ± 0,24^{c}	24,73 ± 0,12^{cd}	25,66 ± 0,7^{d}	18,32 ± 0,28^{d}	≤0,001
	RH	Tukey	34,19 ± 1,1^{c}	21,51 ± 0,22^{a}	35,32 ± 0,9^{c}	27,71 ± 0,51^{b}	23,98 ± 0,91^{ab}	38,49 ± 0,4^{cd}	40,88 ± 0,42^{d}	47,47 ± 2,55^{e}	53,02 ± 0,8^{f}	≤0,001
	SP	Tukey	861,94 ± 0,22^{a}	864,55 ± 0,01^{c}	869,71 ± 0,12^{e}	869,43 ± 0,01^{e}	862,65 ± 0,2^{b}	865,68 ± 0,13^{d}	863,01 ± 0,43^{b}	864,38 ± 0,1^{c}	865,34 ± 0,02^{d}	≤0,001
	WS	Tukey	3,27 ± 0,21^{e}	1,58 ± 0,17^{c}	1,21 ± 0,04^{bc}	0,52 ± 0,05^{a}	0,86 ± 0,08^{ab}	2,37 ± 0,17^{d}	5,79 ± 0,31^{g}	4,33 ± 0,17^{f}	1,67 ± 0,15^{c}	≤0,001
	DWPT	Tukey	8,38 ± 0,25^{d}	2,65 ± 0,11^{b}	4,98 ± 0,22^{c}	-5,65 ± 0,11^{a}	2,39 ± 0,28^{b}	8,53 ± 0,25^{d}	10,53 ± 0,15^{e}	12,28 ± 0,36^{e}	8,54 ± 0,15^{d}	≤0,001
	CW	Tukey	1,08 ± 0,15^{bcd}	1,28 ± 0,17^{cde}	0,71 ± 0,03^{ab}	0,32 ± 0,03^{a}	0,43 ± 0,04^{a}	1,41 ± 0,11^{de}	1,69 ± 0,22^{e}	3,19 ± 0,2^{f}	0,93 ± 0,14^{bc}	≤0,001
	HW	Tukey	2,03 ± 0,39^{d}	0,68 ± 0,09^{ab}	0,77 ± 0,05^{ab}	0,34 ± 0,04^{a}	0,47 ± 0,09^{ab}	1,61 ± 0,18^{cd}	5,38 ± 0,32^{e}	2,25 ± 0,24^{d}	1,03 ± 0,18^{bc}	≤0,001
	MSTR	Tukey	0,43 ± 0,04^{a}	0,47 ± 0,01^{a}	2,78 ± 0,09^{b}	0,28 ± 0^{a}	4,26 ± 0,1^{c}	2,86 ± 0,04^{b}	0,2 ± 0,01^{a}	0,18 ± 0,02^{a}	0,28 ± 0^{a}	≤0,001
	SLT&CLY	Tukey	3,75 ± 0,07^{c}	3,4 ± 0,01^{bc}	2,11 ± 0,14^{ab}	4,44 ± 0,07^{c}	16,38 ± 0,34^{e}	9,56 ± 0,43^{d}	3,24 ± 0,19^{abc}	1,87 ± 0,09^{a}	2,26 ± 0^{ab}	≤0,001
	SPD	Tukey	29,62 ± 1,54^{c}	28,19 ± 0,35^{bc}	22,17 ± 0,15^{a}	28,74 ± 0,2^{bc}	28,39 ± 0,34^{bc}	26,69 ± 0,46^{b}	36,56 ± 1,09^{d}	40,67 ± 0,57^{e}	29,48 ± 0,57^{c}	≤0,001
	MASS	Tukey	57,58 ± 0,14^{d}	27,93 ± 1,98^{a}	42,09 ± 0,72^{bc}	47,31 ± 0,08^{c}	39,83 ± 2,05^{bc}	39,98 ± 2,17^{bc}	37,8 ± 2,82^{b}	46,25 ± 2,72^{bc}	40,98 ± 2,48^{bc}	≤0,001

a-d: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (PM ölçüm verileri)

a-f Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (Termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özellikleri)

TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Önce veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu araştırılmış, uygunluğu sağlayamayan ham veri setleri dönüştürülmüştür. Regresyon modellerinde, ham ve ln-dönüştürülmüş veri setleri kullanılmış ve PM salınım kestirim denklemleri Çizelge 7.3'de verilmiştir. En güçlü ilgileşim R=0,993 ile PM_{10} ve TAPM, en zayıf ilgileşim R=0,790 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM) veri setleri arasındadır. $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10}, PM_1 ile TAPM ve PM_{10} arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değeri logaritmik ve doğal logaritmiğe dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımı arasında yüksek yüksek ilgileşim olduğu için, herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları da makul doğruluk payı ile belirlenebilmektedir.

Çizelge 7.3 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-169,263 (-188,61 - -149,92)		-17,177	0,000			
	TAPM	0,988 (0,980 - 0,996)	0,993	240,42	0,000	0,993	0,993	1,0
ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-3,129 (-3,318 - -2,939)		-32,407	0,000			
	ln(TAPM)	0,974 (0,945 - 1,004)	0,915	64.778	0,000	0,915	0,915	1,0
*ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-1,748 (-1,876 - -1,62)		-26,780	0,000			
	ln(PM_{10})	0,829 (0,808 - 0,851)	0,936	75,683	0,000	0,936	0,936	1,0
ln(PM_1)	(Sabit)	-4,602 (-4,935 - -4,269)		-27,098	0,000			
	ln(TAPM)	0,975 (0,923 - 1,027)	0,790	36,855	0,000	0,790	0,790	1,0
*ln(PM_1)	(Sabit)	-3,311 (-3,549 - -3,073)		-27,277	0,000			
	ln(PM_{10})	0,846 (0,806 - 0,886)	0,824	41,520	0,000	0,824	0,824	1,0
PM_1	(Sabit)	-14,183 (-17,951 - -10,415)		-7,388	0,000			
	$PM_{2,5}$	0,78 (0,758 - 0,803)	0,923	68,457	0,000	0,923	0,923	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

PM_{10}; F= 57799,506, p≤0,001, Adj.R^2= 0,986, SE= 223,86 — ln($PM_{2,5}$); F= 4196,208, p≤0,001, Adj.R^2= 0,837, SE= 0,69

*ln($PM_{2,5}$); F= 5727,889, p≤0,001, Adj.R^2= 0,875, SE= 0,60 — ln(PM_1); F= 1358,305, p≤0,001, Adj.R^2= 0,624, SE= 1,21

*ln(PM_1); F= 1723,942, p≤0,001, Adj.R^2= 0,678, SE= 1,11 — PM_1; F= 4686,309, p≤0,001, Adj.R^2= 0,852, SE= 48,11

Modellemede ilk aşamada, normal dağılım gösteren tüm verilerin modele dâhil edildiği toplu giriş yöntemi üzerinden regresyon analizi ile kestirim modelleri oluşturulmuştur (Çizelge 7.4). Buna göre; logaritmik ve doğal logaritmik TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin regresyon modellerinin istatistiksel sonuçları anlamlı bulunmuş (p≤0,001) ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

a) ln(TAPM), log(TAPM), ln(PM_{10}) ve log(PM_{10}) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr dâhil), kamyon hızı, kamyon kütlesi ve çiğ noktası sıcaklığının model üzerinde anlamlı bir etkisi olmayıp (VIF≥5) istasyon basıncı, kamyon tekerlek sayısı, malzeme nemi ve silt+kil içeriklerinin model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. log(TAPM) ve ln(TAPM)'nin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 43,9, log(PM_{10}) ve ln(PM_{10})'un ise 39,1'dir. Kısmi ilgileşim açısından değerlendirme yapıldığında, regresyon modellerinde en çok etkili olan parametreler malzeme nemi ve silt+kil, en az etkili olan parametreler ise kamyon tekerlek sayısı ve istasyon basıncıdır.

b) ln($PM_{2,5}$) ve log($PM_{2,5}$) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (yan rüzgâr dâhil), kamyon hızı, kamyon tekerlek sayısı, kamyon kütlesi ve çiğ noktası sıcaklığının model üzerinde anlamlı bir etkisi olmayıp (VIF≥5) karşı rüzgâr hızı, istasyon basıncı, malzeme nemi ve silt+kil içeriklerinin model üzerinde anlamlı bir

etkisi (VIF≤5) vardır. log($PM_{2,5}$) ve ln($PM_{2,5}$)'un düzeltilmiş belirlilik katsayısı 32,1'dir. Kısmi ilgileşim açısından değerlendirme yapıldığında, regresyon modellerinde en çok etkili olan parametreler malzeme nemi ve silt+kil, en az etkili olan parametreler ise karşı rüzgâr hızı ve istasyon basıncıdır.

c) ln(PM_1) ve log(PM_1) regresyon modellerinde; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (yan rüzgâr dâhil), kamyon hızı, kamyon tekerlek sayısı, kamyon kütlesi ve çiğ noktası sıcaklığının model üzerinde anlamlı bir etkisi olmayıp (VIF≥5) karşı rüzgâr hızı, malzeme nemi ve silt+kil içeriklerinin model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. log(PM_1) ve ln(PM_1)'in düzeltilmiş belirlilik katsayısı 20,6'dır. Kısmi ilgileşim açısından değerlendirme yapıldığında, regresyon modellerinde en çok etkili olan parametreler malzeme nemi ve silt+kil, en az etkili olan parametre ise karşı rüzgâr hızıdır.

Çizelge 7.4 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti toplu giriş regresyon modeli

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
log(TAPM)	**(Sabit)**	**44,031 (22,528 - 65,533)**		**4,019**	**0,000**			
	TMP	-0,023 (-0,05 - 0,004)	-0,192	-1,685	0,092	0,237	-0,059	18,998
	RH	-0,011 (-0,027 - 0,004)	-0,229	-1,421	0,156	-0,356	-0,050	37,947
	SP	**-0,047 (-0,072 - -0,023)**	**-0,233**	**-3,763**	**0,000**	**-0,565**	**-0,131**	**5,604**
	WS	-0,031 (-0,107 - 0,044)	-0,072	-0,814	0,416	0,055	-0,029	11,499
	DWPT	0,03 (-0,007 - 0,067)	0,247	1,595	0,111	-0,173	0,056	34,981
	CW	-0,004 (-0,076 - 0,068)	-0,006	-0,114	0,910	0,045	-0,004	4,149
	HW	0,032 (-0,023 - 0,086)	0,067	1,137	0,256	-0,007	0,040	5,127
	MSTR	**-0,158 (-0,193 - -0,122)**	**-0,407**	**-8,711**	**0,000**	**-0,331**	**-0,294**	**3,181**
	SLT&CLY	**0,048 (0,034 - 0,063)**	**0,375**	**6,456**	**0,000**	**0,455**	**0,222**	**4,911**
	SPD	-0,003 (-0,012 - 0,006)	-0,027	-0,643	0,520	0,413	-0,023	2,511
	WHL	**0,079 (0,027 - 0,13)**	**0,102**	**2,983**	**0,003**	**0,288**	**0,105**	**1,697**
	MASS	-0,002 (-0,004 - 0,001)	-0,035	-1,155	0,248	-0,097	-0,041	1,354
ln(TAPM)	**(Sabit)**	**101,399 (51,889 - 150,91)**		**4,020**	**0,000**			
	TMP	-0,053 (-0,116 - 0,009)	-0,192	-1,685	0,092	0,237	-0,059	18,998
	RH	-0,026 (-0,062 - 0,01)	-0,229	-1,421	0,156	-0,356	-0,050	37,947
	SP	**-0,109 (-0,166 - -0,052)**	**-0,233**	**-3,764**	**0,000**	**-0,565**	**-0,132**	**5,604**
	WS	-0,072 (-0,246 - 0,102)	-0,072	-0,814	0,416	0,055	-0,029	11,499
	DWPT	0,069 (-0,016 - 0,154)	0,247	1,596	0,111	-0,173	0,056	34,981
	CW	-0,01 (-0,175 - 0,156)	-0,006	-0,113	0,910	0,045	-0,004	4,149
	HW	0,073 (-0,053 - 0,198)	0,067	1,136	0,256	-0,007	0,040	5,127
	MSTR	**-0,363 (-0,445 - -0,281)**	**-0,407**	**-8,711**	**0,000**	**-0,331**	**-0,294**	**3,181**
	SLT&CLY	**0,111 (0,077 - 0,145)**	**0,375**	**6,455**	**0,000**	**0,454**	**0,222**	**4,911**
	SPD	-0,007 (-0,028 - 0,014)	-0,027	-0,643	0,520	0,413	-0,023	2,511
	WHL	**0,181 (0,062 - 0,3)**	**0,102**	**2,982**	**0,003**	**0,288**	**0,105**	**1,697**
	MASS	-0,004 (-0,01 - 0,003)	-0,035	-1,155	0,248	-0,097	-0,041	1,354
log(PM_{10})	(Sabit)	51,301 (24,375 - 78,227)		3,740	0,000			
	TMP	-0,038 (-0,072 - -0,004)	-0,263	-2,205	0,028	0,221	-0,077	18,998
	RH	-0,018 (-0,037 - 0,002)	-0,297	-1,767	0,078	-0,303	-0,062	37,947
	SP	**-0,056 (-0,087 - -0,025)**	**-0,228**	**-3,524**	**0,000**	**-0,541**	**-0,123**	**5,604**
	WS	-0,051 (-0,145 - 0,044)	-0,098	-1,053	0,293	0,068	-0,037	11,499
	DWPT	0,054 (0,008 - 0,101)	0,374	2,316	0,021	-0,126	0,081	34,981
	CW	-0,01 (-0,1 - 0,08)	-0,012	-0,219	0,827	0,050	-0,008	4,149
	HW	0,04 (-0,029 - 0,108)	0,071	1,141	0,254	0,012	0,040	5,127
	MSTR	**-0,187 (-0,232 - -0,143)**	**-0,402**	**-8,255**	**0,000**	**-0,307**	**-0,279**	**3,181**
	SLT&CLY	**0,056 (0,038 - 0,074)**	**0,362**	**5,977**	**0,000**	**0,423**	**0,206**	**4,911**
	SPD	-0,002 (-0,014 - 0,009)	-0,018	-0,413	0,680	0,400	-0,015	2,511
	WHL	**0,085 (0,02 - 0,15)**	**0,092**	**2,572**	**0,010**	**0,272**	**0,090**	**1,697**
	MASS	-0,002 (-0,005 - 0,001)	-0,038	-1,186	0,236	-0,094	-0,042	1,354
ln(PM_{10})	**(Sabit)**	**118,096 (56,098 - 180,094)**		**3,739**	**0,000**			
	TMP	-0,088 (-0,166 - -0,01)	-0,262	-2,204	0,028	0,221	-0,077	18,998
	RH	-0,04 (-0,085 - 0,004)	-0,297	-1,766	0,078	-0,303	-0,062	37,947
	SP	**-0,128 (-0,199 - -0,057)**	**-0,228**	**-3,523**	**0,000**	**-0,541**	**-0,123**	**5,604**
	WS	-0,117 (-0,335 - 0,101)	-0,098	-1,053	0,293	0,068	-0,037	11,499
	DWPT	0,125 (0,019 - 0,232)	0,374	2,315	0,021	-0,126	0,081	34,981
	CW	-0,023 (-0,23 - 0,184)	-0,012	-0,218	0,827	0,050	-0,008	4,149
	HW	0,091 (-0,066 - 0,249)	0,071	1,142	0,254	0,012	0,040	5,127

	MSTR	**-0,431 (-0,533 - -0,328)**	**-0,402**	**-8,255**	**0,000**	**-0,307**	**-0,279**	**3,181**
	SLT&CLY	**0,129 (0,086 - 0,171)**	**0,362**	**5,977**	**0,000**	**0,423**	**0,206**	**4,911**
	SPD	-0,006 (-0,032 - 0,021)	-0,018	-0,413	0,680	0,400	-0,015	2,511
	WHL	**0,196 (0,046 - 0,345)**	**0,092**	**2,572**	**0,010**	**0,272**	**0,090**	**1,697**
	MASS	-0,005 (-0,013 - 0,003)	-0,038	-1,186	0,236	-0,094	-0,042	1,354
log($PM_{2,5}$)	**(Sabit)**	**35,078 (9,885 - 60,271)**		**2,733**	**0,006**			
	TMP	-0,029 (-0,06 - 0,003)	-0,222	-1,765	0,078	0,141	-0,062	18,998
	RH	-0,009 (-0,027 - 0,01)	-0,165	-0,928	0,354	-0,238	-0,033	37,947
	SP	**-0,038 (-0,067 - -0,009)**	**-0,178**	**-2,602**	**0,009**	**-0,466**	**-0,091**	**5,604**
	WS	-0,087 (-0,176 - 0,001)	-0,189	-1,937	0,053	0,058	-0,068	11,499
	DWPT	0,038 (-0,005 - 0,082)	0,298	1,750	0,080	-0,122	0,062	34,981
	CW	0,004 (-0,08 - 0,089)	0,006	0,103	0,918	0,030	0,004	4,149
	HW	**0,073 (0,009 - 0,137)**	**0,147**	**2,246**	**0,025**	**0,034**	**0,079**	**5,127**
	MSTR	**-0,168 (-0,21 - -0,126)**	**-0,408**	**-7,925**	**0,000**	**-0,293**	**-0,269**	**3,181**
	SLT&CLY	**0,053 (0,036 - 0,07)**	**0,389**	**6,089**	**0,000**	**0,374**	**0,210**	**4,911**
	SPD	0,002 (-0,009 - 0,013)	0,016	0,340	0,734	0,376	0,012	2,511
	WHL	0,039 (-0,022 - 0,1)	0,047	1,258	0,209	0,209	0,044	1,697
	MASS	-0,001 (-0,004 - 0,002)	-0,023	-0,685	0,494	-0,080	-0,024	1,354
ln($PM_{2,5}$)	**(Sabit)**	**80,778 (22,771 - 138,784)**		**2,733**	**0,006**			
	TMP	-0,066 (-0,139 - 0,007)	-0,222	-1,765	0,078	0,141	-0,062	18,998
	RH	-0,02 (-0,062 - 0,022)	-0,165	-0,927	0,354	-0,238	-0,033	37,947
	SP	**-0,089 (-0,155 - -0,022)**	**-0,178**	**-2,602**	**0,009**	**-0,466**	**-0,091**	**5,604**
	WS	-0,201 (-0,405 - 0,003)	-0,189	-1,937	0,053	0,058	-0,068	11,499
	DWPT	0,089 (-0,011 - 0,188)	0,298	1,750	0,081	-0,122	0,062	34,981
	CW	0,01 (-0,184 - 0,204)	0,006	0,103	0,918	0,030	0,004	4,149
	HW	**0,168 (0,021 - 0,316)**	**0,147**	**2,246**	**0,025**	**0,034**	**0,079**	**5,127**
	MSTR	**-0,387 (-0,483 - -0,291)**	**-0,408**	**-7,925**	**0,000**	**-0,293**	**-0,269**	**3,181**
	SLT&CLY	**0,123 (0,083 - 0,162)**	**0,389**	**6,089**	**0,000**	**0,374**	**0,210**	**4,911**
	SPD	0,004 (-0,021 - 0,029)	0,016	0,340	0,734	0,376	0,012	2,511
	WHL	0,089 (-0,05 - 0,229)	0,047	1,257	0,209	0,209	0,044	1,697
	MASS	-0,003 (-0,01 - 0,005)	-0,023	-0,684	0,494	-0,080	-0,024	1,354
log(PM_1)	(Sabit)	30,105 (-2,738 - 62,948)		1,799	0,072			
	TMP	-0,028 (-0,069 - 0,014)	-0,169	-1,319	0,187	0,144	-0,046	18,998
	RH	-0,01 (-0,034 - 0,013)	-0,158	-0,868	0,385	-0,215	-0,031	37,947
	SP	-0,033 (-0,071 - 0,004)	-0,121	-1,729	0,084	-0,441	-0,061	5,604
	WS	-0,104 (-0,219 - 0,012)	-0,176	-1,762	0,079	0,087	-0,062	11,499
	DWPT	0,05 (-0,006 - 0,106)	0,305	1,749	0,081	-0,096	0,062	34,981
	CW	0,001 (-0,109 - 0,11)	0,001	0,010	0,992	0,044	0,000	4,149
	HW	**0,102 (0,019 - 0,186)**	**0,161**	**2,408**	**0,016**	**0,067**	**0,085**	**5,127**
	MSTR	**-0,217 (-0,271 - -0,163)**	**-0,412**	**-7,842**	**0,000**	**-0,303**	**-0,266**	**3,181**
	SLT&CLY	**0,068 (0,046 - 0,091)**	**0,391**	**5,984**	**0,000**	**0,328**	**0,206**	**4,911**
	SPD	0,008 (-0,006 - 0,022)	0,052	1,115	0,265	0,380	0,039	2,511
	WHL	-0,001 (-0,08 - 0,078)	-0,001	-0,031	0,975	0,176	-0,001	1,697
	MASS	0,001 (-0,003 - 0,005)	0,011	0,311	0,756	-0,065	0,011	1,354
ln(PM_1)	(Sabit)	69,318 (-6,306 - 144,941)		1,799	0,072			
	TMP	-0,064 (-0,159 - 0,031)	-0,169	-1,319	0,187	0,144	-0,046	18,998
	RH	-0,024 (-0,079 - 0,03)	-0,158	-0,869	0,385	-0,215	-0,031	37,947
	SP	-0,077 (-0,164 - 0,01)	-0,121	-1,729	0,084	-0,441	-0,061	5,604
	WS	-0,239 (-0,505 - 0,027)	-0,176	-1,761	0,079	0,087	-0,062	11,499
	DWPT	0,115 (-0,014 - 0,245)	0,305	1,749	0,081	-0,096	0,062	34,981
	CW	0,001 (-0,251 - 0,254)	0,001	0,010	0,992	0,044	0,000	4,149
	HW	**0,235 (0,043 - 0,427)**	**0,161**	**2,408**	**0,016**	**0,067**	**0,085**	**5,127**
	MSTR	**-0,499 (-0,624 - -0,374)**	**-0,412**	**-7,842**	**0,000**	**-0,303**	**-0,266**	**3,181**
	SLT&CLY	**0,157 (0,106 - 0,209)**	**0,391**	**5,984**	**0,000**	**0,328**	**0,206**	**4,911**
	SPD	0,018 (-0,014 - 0,051)	0,052	1,115	0,265	0,380	0,039	2,511
	WHL	-0,003 (-0,185 - 0,179)	-0,001	-0,031	0,975	0,176	-0,001	1,697
	MASS	0,002 (-0,008 - 0,011)	0,011	0,311	0,756	-0,065	0,011	1,354

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

log(TAPM); F= 54,305, p≤0,001, Adj.R^2= 0,439, SE= 0,521
ln(TAPM); F= 54,304, p≤0,001, Adj.R^2= 0,439, SE= 1,2
log(PM_{10}); F= 44,630, p≤0,001, Adj.R^2= 0,391, SE= 0,652
ln(PM_{10}); F= 44,626, p≤0,001, Adj.R^2= 0,391, SE= 1,50
log($PM_{2,5}$); F= 33,181, p≤0,001, Adj.R^2= 0,321, SE= 0,61
ln($PM_{2,5}$); F= 33,183, p≤0,001, Adj.R^2= 0,321, SE= 1,404
log(PM_1); F= 28,858, p≤0,001, Adj.R^2= 0,290, SE= 0,795
ln(PM_1); F= 28,860, p≤0,001, Adj.R^2= 0,290, SE= 1,830

Toplu giriş algoritmasında elde edilen modellerin açıklayıcı güçlerinin olmaması nedeniyle ikinci modelleme denemesinde aşamalı ve ileriye doğru seçim yöntemleri kullanılmış olup aynı sonuçları verdiği gözlemlendiğinden dolayı aşamalı doğrusal regresyon yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Normal dağılım gösteren en yüksek ilgileşimi veren verilerin modele dâhil edildiği aşamalı yöntem üzerinden regresyon analizi ile kestirim modelleri oluşturulmuştur (Çizelge 7.5). Buna göre; logaritmik ve doğal logaritmik TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve

PM_1 verilerinin regresyon modellerinin istatistiksel sonuçları anlamlı bulunmuş (p≤0,001) ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

a) ln(TAPM), log(TAPM) regresyon modellerinde; istasyon basıncı, malzeme nemi, kamyon tekerlek sayısı ve silt+kil'in model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. ln(TAPM), log(TAPM) modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 43,9'dur. Kısmi ilgileşim açısından regresyon modellerinde en çok etkili olan parametreler malzeme nemi ve silt+kil, en az etkisi olan parametreler ise istasyon basıncı ve kamyon tekerlek sayısıdır.

b) ln(PM_{10}) ve log(PM_{10}) regresyon modellerinde; istasyon basıncı, malzeme nemi, çiğ noktası sıcaklığı ve silt+kil'in model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. ln(PM_{10}) ve log(PM_{10}) modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı 38,6'dır. Kısmi ilgileşim açısından regresyon modellerinde en çok etkili olan parametreler malzeme nemi ve silt+kil, en az etkisi olan parametreler ise istasyon basıncı ve çiğ noktası sıcaklığıdır.

c) ln($PM_{2,5}$) ve log($PM_{2,5}$) regresyon modellerinde; malzeme nemi, istasyon basıncı, bağıl nem, yan rüzgâr hızı ve silt+kil'in model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. ln($PM_{2,5}$) ve log($PM_{2,5}$)'un düzeltilmiş belirlilik katsayısı 31,8'dir. Kısmi ilgileşim açısından regresyon modellerinde en çok etkisi olan parametreler malzeme nemi ve silt+kil, en az etkisi olan parametreler ise yan rüzgâr hızı ve havanın bağıl nemidir.

d) ln(PM_1) ve log(PM_1) regresyon modellerinde; malzeme nemi, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr dâhil), bağıl nem, istasyon basıncı ve silt+kil'in model üzerinde anlamlı bir etkisi (VIF≤5) vardır. ln(PM_1) ve log(PM_1)'in düzeltilmiş belirlilik katsayısı 20,5'dir. Kısmi ilgileşim açısından regresyon modellerinde en çok etkisi olan parametreler malzeme nemi ve silt+kil, en az etkisi olan parametreler ise rüzgâr hızı ve havanın bağıl nemidir.

Çizelge 7.5 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti aşamalı regresyon modeli

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
log(TAPM)	(Sabit)	42,061 (28,468 - 55,654)		6,074	0,000			
	SP	-0,046 (-0,062 - -0,031)	-0,227	-5,814	0,000	-0,565	-0,200	2,212
	MSTR	-0,144 (-0,167 - -0,121)	-0,371	-12,212	0,000	-0,331	-0,394	1,346
	SLT&CLY	0,048 (0,038 - 0,058)	0,372	9,605	0,000	0,455	0,319	2,186
	WHL	0,059 (0,015 - 0,102)	0,076	2,665	0,008	0,288	0,093	1,182
ln(TAPM)	(Sabit)	96,852 (65,555 - 128,149)		6,074	0,000			
	SP	-0,106 (-0,142 - -0,07)	-0,227	-5,814	0,000	-0,565	-0,200	2,212
	MSTR	-0,331 (-0,384 - -0,278)	-0,371	-12,213	0,000	-0,331	-0,394	1,346
	SLT&CLY	0,11 (0,088 - 0,133)	0,372	9,604	0,000	0,454	0,319	2,186
	WHL	0,135 (0,036 - 0,234)	0,076	2,664	0,008	0,288	0,093	1,182
log(PM_{10})	(Sabit)	41,112 (19,394 - 62,83)		3,716	0,000			
	SP	-0,045 (-0,07 - -0,02)	-0,183	-3,505	0,000	-0,541	-0,122	3,617
	MSTR	-0,185 (-0,224 - -0,147)	-0,398	-9,425	0,000	-0,307	-0,314	2,373
	SLT&CLY	0,066 (0,049 - 0,083)	0,427	7,623	0,000	0,423	0,258	4,170
	DWPT	0,014 (0,003 - 0,026)	0,097	2,394	0,017	-0,126	0,084	2,170
ln(PM_{10})	(Sabit)	94,642 (44,636 - 144,648)		3,715	0,000			
	SP	-0,103 (-0,16 - -0,045)	-0,183	-3,504	0,000	-0,541	-0,122	3,617
	MSTR	-0,426 (-0,515 - -0,338)	-0,398	-9,425	0,000	-0,307	-0,314	2,373
	SLT&CLY	0,152 (0,113 - 0,191)	0,427	7,623	0,000	0,423	0,258	4,170
	DWPT	0,032 (0,006 - 0,059)	0,097	2,394	0,017	-0,126	0,084	2,170
log($PM_{2,5}$)	(Sabit)	39,908 (22,729 - 57,086)		4,560	0,000			
	SP	-0,045 (-0,065 - -0,025)	-0,207	-4,445	0,000	-0,466	-0,154	2,593
	MSTR	-0,164 (-0,195 - -0,134)	-0,398	-10,545	0,000	-0,293	-0,347	1,707
	SLT&CLY	0,055 (0,041 - 0,068)	0,398	7,863	0,000	0,374	0,266	3,074
	RH	0,008 (0,004 - 0,012)	0,157	3,927	0,000	-0,238	0,137	1,908
	CW	-0,051 (-0,102 - -0,001)	-0,071	-1,988	0,047	0,030	-0,070	1,507
ln	(Sabit)	91,895 (52,341 - 131,449)		4,560	0,000			

	SP	-0,103 (-0,149 - -0,058)	-0,207	-4,446	0,000	-0,466	-0,154	2,593
	MSTR	-0,378 (-0,448 - -0,308)	-0,398	-10,545	0,000	-0,293	-0,347	1,707
	SLT&CLY	0,126 (0,094 - 0,157)	0,398	7,863	0,000	0,374	0,266	3,074
	RH	0,019 (0,009 - 0,028)	0,157	3,927	0,000	-0,238	0,137	1,908
	CW	-0,119 (-0,236 - -0,001)	-0,070	-1,988	0,047	0,030	-0,070	1,507
log(PM_1)	(Sabit)	48,193 (23,466 - 72,92)		3,826	0,000			
	SP	-0,055 (-0,084 - -0,027)	-0,200	-3,805	0,000	-0,441	-0,132	3,178
	MSTR	-0,208 (-0,248 - -0,168)	-0,395	-10,250	0,000	-0,303	-0,339	1,713
	SLT&CLY	0,063 (0,045 - 0,082)	0,362	6,777	0,000	0,328	0,232	3,290
	RH	0,009 (0,003 - 0,014)	0,131	3,009	0,003	-0,215	0,105	2,180
	HW	0,105 (0,041 - 0,169)	0,165	3,237	0,001	0,067	0,113	2,996
	WS	-0,086 (-0,157 - -0,016)	-0,147	-2,416	0,016	0,087	-0,085	4,249
ln(PM_1)	(Sabit)	90,960 (36,183 - 145,738)		3,267	0,000			
	SP	-0,104 (-0,167 - -0,041)	-0,180	-3,805	0,000	-0,441	-0,132	3,178
	MSTR	-0,361 (-0,449 - -0,273)	-0,328	-10,249	0,000	-0,303	-0,339	1,713
	SLT&CLY	0,119 (0,078 - 0,159)	0,325	6,777	0,000	0,328	0,232	3,290
	RH	0,024 (0,011 - 0,037)	0,173	3,009	0,003	-0,215	0,105	2,180
	HW	0,243 (0,102 - 0,384)	0,183	3,236	0,001	0,067	0,113	2,996
	WS	-0,182 (-0,337 - -0,026)	-0,148	-2,415	0,016	0,087	-0,085	4,249

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

log(TAPM); F= 161,003, p≤0,001, Adj.R^2= 0,439, SE= 0,574 — ln(TAPM); F= 161,001, p≤0,001, Adj.R^2= 0,439, SE= 1,2

log(PM_{10}); F= 129,524, p≤0,001, Adj.R^2= 0,386, SE= 0,654 — ln(PM_{10}); F= 129,514, p≤0,001, Adj.R^2= 0,386, SE= 1,506

log($PM_{2.5}$); F= 77,295, p≤0,001, Adj.R^2= 0,318, SE= 0,611 — ln($PM_{2.5}$); F= 77,301, p≤0,001, Adj.R^2= 0,318, SE= 1,407

log(PM_1); F= 36,216, p≤0,001, Adj.R^2= 0,205, SE= 0,795 — ln(PM_1); F= 36,216, p≤0,001, Adj.R^2= 0,205, SE= 1,83

7.2.2 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Gerek toplu gerek aşamalı ilerleme algoritmalarının kullanıldığı geleneksel doğrusal regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayıları düşük (R^2<%44) düzeyde kalmıştır. Bu durum, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri açıklama düzeyinin yetersizliğine işaret etmektedir. Bu nedenle diğer veri analiz yöntemleri araştırılmış ve Bölüm 2.6'da detaylı biçimde açıklanan karar ağacı tekniğinin kullanılmasına karar verilmiştir. M5P karar ağacı algoritmasıyla hesaplanan, PM salınımı ile bağımsız değişkenler arasındaki regresyon analiz sonuçları Çizelge 7.6'da verilmiştir. Regresyon analizlerinde ham ve dönüştürülmüş veri setleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

TAPM veri setinde yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/TAPM karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 7 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.7 ve 7.8'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.41'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil), silt+kil, kamyon kütlesi ve kamyon hızıdır. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise silt+kil ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %23,59'u LM7'yi, %7,09'u LM6'yı temsil etmektedir.

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/PM_{10} karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 13 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.9 ve 7.10'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.42'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, kamyon hızı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil), kamyon teker sayısı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, yan rüzgâr hızı, bağıl nem ve istasyon basıncıdır. Veri setinin %26,28'i LM4'ü, %1,10'u LM6'yı temsil etmektedir.

Çizelge 7.6 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti PM salınım verisinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	log(PM_{10})	ln(PM_{10})	1/PM_{10}
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.6041	0.6041	0.7679	0.7679	**0.8092**	0.6009	0.6009	0.7546	0.7546	**0.8127**
	MAE	1081.4529	1.0815	0.3584	0.8251	**0.0028**	1066.3717	1.0664	0.434	0.9994	**0.0063**
	RMSE	1521.8513	1.5219	0.4455	1.0259	**0.0041**	1524.4276	1.5244	0.5491	1.2643	**0.0091**
	RAE (%)	71.7021	71.7021	58.0736	58.0732	**53.4608**	71.6515	71.6509	57.9282	57.929	**51.2691**
	RRSE (%)	79.9205	79.9209	64.1369	64.137	**58.7741**	80.4456	80.4454	65.7981	65.7985	**58.3878**
	Model (düğüm) sayısı	11	11	13	13	**7**	12	12	13	13	**13**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.4507	0.4506	0.7052	0.7052	**0.7891**	0.439	0.4622	0.6592	0.6635	**0.7665**
	MAE	1213.4181	1.2134	0.3952	0.91	**0.003**	1200.6322	1.1869	0.4954	1.1357	**0.0068**
	RMSE	1705.4705	1.7055	0.4927	1.1345	**0.0042**	1707.5774	1.6828	0.6285	1.4394	**0.01**
	RAE (%)	80.4017	80.4012	63.9745	63.9752	**56.1722**	80.5894	79.6675	66.0783	65.7911	**55.8248**
	RRSE (%)	89.4752	89.4755	70.838	70.8385	**61.3963**	89.9786	88.6734	75.2627	74.8663	**64.1794**
	Model (düğüm) sayısı	11	11	13	13	**7**	12	12	13	13	**13**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.3953	0.3953	0.6872	0.6872	**0.7957**	0.3881	0.3881	0.6609	0.6609	**0.7398**
	MAE	1204.152	1.2042	0.3984	0.9173	**0.0031**	1176.8699	1.1769	0.4989	1.1487	**0.0074**
	RMSE	1685.3426	1.6854	0.4999	1.151	**0.0042**	1671.5373	1.6715	0.625	1.4391	**0.0104**
	RAE (%)	81.2543	81.2544	65.0482	65.0481	**59.3643**	80.3749	80.3739	65.952	65.9535	**60.7585**
	RRSE (%)	92.7907	92.7912	72.7555	72.7566	**60.4407**	92.8365	92.837	74.9137	74.9141	**67.3201**
	Model (düğüm) sayısı	11	11	13	13	**7**	12	12	13	13	**13**
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}$/1000	log($PM_{2,5}$)	ln($PM_{2,5}$)	1/$PM_{2,5}$	PM_1	PM_1/1000	log(PM_1)	ln(PM_1)	1/PM_1
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.58	0.58	0.708	0.708	**0.7787**	0.6098	0.6098	0.6137	0.6135	**0.7869**
	MAE	76.3962	0.0764	0.4042	0.9307	**0.0619**	54.7403	0.0548	0.4801	1.1066	**0.4607**
	RMSE	120.916	0.1209	0.5233	1.2049	**0.0858**	100.8416	0.1009	0.6786	1.5626	**0.7475**
	RAE (%)	75.0076	75.0163	63.2694	63.2689	**55.342**	71.8411	71.8655	70.0643	70.1432	**55.3339**
	RRSE (%)	81.9204	81.9243	70.7446	70.7436	**62.7659**	80.8145	80.8149	79.1752	79.1903	**61.9048**
	Model sayısı	12	12	14	14	**13**	17	17	14	14	**11**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.3906	0.3952	0.6286	0.6287	**0.7201**	0.2964	0.2876	0.5034	0.4936	**0.7131**
	MAE	83.0817	0.0829	0.4443	1.0229	**0.0694**	65.5371	0.0658	0.5209	1.2085	**0.5174**
	RMSE	136.3121	0.1359	0.5757	1.3255	**0.095**	120.3282	0.1209	0.7411	1.7179	**0.8467**
	RAE (%)	81.5039	81.3409	69.4653	69.4598	**61.9791**	86.0148	86.3375	75.9406	76.5231	**62.1003**
	RRSE (%)	92.2065	91.9348	77.7708	77.7635	**69.404**	96.3732	96.84	86.3854	86.9681	**70.0976**
	Model (düğüm) sayısı	12	12	14	14	**13**	17	17	14	14	**11**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.3935	0.3977	0.5999	0.5999	**0.7019**	0.3214	0.3751	0.5016	0.5011	**0.7744**
	MAE	80.7201	0.0806	0.4567	1.0515	**0.0719**	61.7754	0.0594	0.5196	1.196	**0.5155**
	RMSE	127.8989	0.1276	0.5843	1.3454	**0.094**	108.4726	0.1068	0.7281	1.6768	**0.7058**
	RAE (%)	79.4724	79.3158	70.4897	70.4859	**65.6294**	83.4059	80.1598	74.3658	74.352	**64.1785**
	RRSE (%)	91.7939	91.5682	79.82	79.8188	**71.9592**	96.1652	94.659	86.1597	86.1847	**63.3164**
	Model (düğüm) sayısı	12	12	14	14	**13**	17	17	14	14	**11**

Çizelge 7.7 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları

Model	1/TAPM salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 870.45, DWPT ≤ - 2
LM2	SP ≤ 863.75, DWPT > - 2
LM3	SP ≤ 864.75 - > 863.75, DWPT > - 2
LM4	SP ≤ 870.45 - > 864.75, SLT&CLY ≤ 4.91
LM5	SP ≤ 870.45 - > 864.75, SLT&CLY > 4.91, RH ≤ 31.1
LM6	SP ≤ 870.45 - > 864.75, SLT&CLY > 4.91, RH > 31.1
LM7	**SP > 870.45**

Çizelge 7.8 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri

Model	1/TAPM salınım kestirim denklemleri
LM1	0.000034 * SP + 0.00768 * WS + 0.000001 * DWPT - 0.007097 * CW - 0.008312 * HW - 0.00001 * SLT&CLY + 0.000001 * SPD - 0.024406
LM2	0.000026 * SP - 0.000013 * WS + 0.000007 * DWPT - 0.000417 * CW - 0.000019 * HW - 0.000051 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD - 0.019775
LM3	0.000145 * RH + 0.000026 * SP - 0.000013 * WS - 0.000394 * DWPT + 0.000075 * CW - 0.000041 * HW - 0.000006 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD - 0.021463
LM4	-0.000091 * RH + 0.000075 * SP - 0.000013 * WS + 0.000024 * DWPT + 0.000036 * CW - 0.000024 * HW - 0.001097 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD - 0.000002 * MASS - 0.056425
LM5	-0.000261 * RH + 0.000256 * SP - 0.000013 * WS + 0.000021 * DWPT + 0.000036 * CW - 0.000024 * HW + 0.000858 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD - 0.000001 * MASS - 0.219436
LM6	-0.000034 * RH + 0.000345 * SP - 0.000013 * WS + 0.000021 * DWPT + 0.000036 * CW - 0.000024 * HW + 0.000067 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD - 0.000001 * MASS - 0.296941
LM7	0.00007 * SP - 0.00004 * WS + 0.000028 * DWPT - 0.001793 * CW - 0.000006 * SLT&CLY - 0.000011 * SPD - 0.057013 * MASS + 2.533676

Çizelge 7.9 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları

Model	1/PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 869.45, MSTR ≤ 0.285, CW ≤ 0.35
LM2	SP ≤ 869.45, MSTR ≤ 0.285, CW > 0.35
LM3	SP ≤ 869.45, MSTR ≤ 0.91 - > 0.285
LM4	**SP ≤ 869.45, MSTR > 0.91, CW ≤ 1.15**
LM5	SP ≤ 869.45, MSTR > 0.91, CW > 1.15
LM6	SP > 869.45, RH ≤ 45.35, SPD ≤ 27.5, MSTR ≤ 4.28, WS ≤ 1.45
LM7	SP > 869.45, RH ≤ 45.35, SPD ≤ 27.5, MSTR ≤ 4.28, WS > 1.45
LM8	SP > 869.45, RH ≤ 50.35 - > 45.35, SPD ≤ 27.5, MSTR ≤ 4.28
LM9	SP > 869.45, RH ≤ 48.65, SPD ≤ 27.5, MSTR > 4.28
LM10	SP > 869.45, RH ≤ 50.35 - > 48.65, SPD ≤ 27.5, MSTR > 4.28
LM11	SP > 869.45, RH ≤ 50.35, SPD > 27.5
LM12	SP > 869.45, RH > 50.35, DWPT ≤ 8.25
LM13	SP > 869.45, RH > 50.35, DWPT > 8.25

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/$PM_{2,5}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 13 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.11 ve 7.12'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.43'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil), kamyon kütlesi, kamyon teker sayısı ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise silt+kil, hava sıcaklığı, malzeme nemi, çiğ noktası sıcaklığı ve rüzgâr hızıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %20,04'ü LM12'yi, %0,98'i LM8'i temsil etmektedir.

Çizelge 7.10 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri
LM1	0.00016 * TMP - 0.00012 * RH + 0.00003 * SP + 0.00024 * WS - 0.00024 * DWPT - 0.01337 * CW - 0.00014 * HW + 0.00007 * MSTR - 0.00003 * SLT&CLY + 0.00002 * SPD + 0.0003 * WHL - 0.0224
LM2	0.00016 * TMP + 0.00007 * RH + 0.00003 * SP + 0.0001 * WS - 0.00024 * DWPT - 0.00012 * CW - 0.00006 * HW + 0.00007 * MSTR - 0.00003 * SLT&CLY + 0.00002 * SPD + 0.001 * WHL - 0.0415
LM3	0.00073 * TMP + 0.00062 * RH + 0.00003 * SP - 0.00153 * DWPT + 0.00004 * CW + 0.00007 * MSTR - 0.00003 * SLT&CLY + 0.00001 * SPD + 0.00006 * WHL - 0.0506
LM4	**0.00066 * TMP + 0.0004 * RH + 0.00003 * SP - 0.00076 * DWPT - 0.00257 * CW + 0.00007 * MSTR - 0.00003 * SLT&CLY - 0.00005 * WHL - 0.04759**
LM5	0.00127 * TMP + 0.00011 * RH + 0.00003 * SP - 0.00023 * DWPT + 0.00027 * CW + 0.00007 * MSTR - 0.00003 * SLT&CLY - 0.00005 * WHL - 0.0550
LM6	0.00121 * TMP + 0.00027 * RH + 0.00073 * SP + 0.00266 * WS - 0.00077 * DWPT - 0.00198 * CW - 0.00054 * HW - 0.00275 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY - 0.00032 * SPD - 0.00011 * WHL - 0.6156
LM7	0.00121 * TMP + 0.00027 * RH + 0.00073 * SP + 0.00274 * WS - 0.00077 * DWPT - 0.00198 * CW - 0.00054 * HW - 0.00275 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY - 0.00032 * SPD - 0.00011 * WHL - 0.6135
LM8	0.00121 * TMP + 0.00039 * RH + 0.00073 * SP + 0.00079 * WS - 0.00077 * DWPT - 0.00113 * CW - 0.00386 * HW - 0.00275 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY - 0.00032 * SPD - 0.00011 * WHL - 0.6164
LM9	0.00154 * TMP + 0.00047 * RH + 0.00073 * SP + 0.00079 * WS - 0.00148 * DWPT - 0.00053 * CW - 0.00126 * HW - 0.00318 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY - 0.00032 * SPD - 0.00011 * WHL - 0.6291
LM10	0.00154 * TMP + 0.00074 * RH + 0.00073 * SP + 0.00079 * WS - 0.00166 * DWPT - 0.00053 * CW - 0.00154 * HW - 0.00318 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY - 0.00032 * SPD - 0.00011 * WHL - 0.6376
LM11	0.00068 * TMP + 0.00035 * RH + 0.00073 * SP - 0.00907 * WS - 0.00006 * DWPT - 0.00053 * CW - 0.00054 * HW - 0.00255 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY - 0.00032 * SPD - 0.00011 * WHL - 0.6231
LM12	0.00027 * TMP + 0.00014 * RH + 0.03337 * SP + 0.00195 * WS - 0.00178 * DWPT - 0.00132 * CW - 0.00134 * HW - 0.00283 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY - 0.0008 * SPD - 0.00011 * WHL - 29.0060
LM13	0.00027 * TMP + 0.00014 * RH + 0.01627 * SP + 0.00195 * WS - 0.00085 * DWPT - 0.00132 * CW - 0.00134 * HW - 0.00283 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY - 0.0008 * SPD - 0.00011 * WHL - 14.1168

Çizelge 7.11 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları

Model	1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları
LM1	SLT&CLY ≤ 1.395, MASS ≤ 45.25
LM2	SLT&CLY ≤ 1.395, MASS > 45.25, WS ≤ 2.15
LM3	SLT&CLY ≤ 1.395, MASS > 45.25, WS > 2.15
LM4	SLT&CLY ≤ 4.515 - > 1.395, DWPT ≤ 3.25, MASS ≤ 31.8
LM5	SLT&CLY ≤ 4.515 - > 1.395, DWPT ≤ 3.25, MASS > 31.8, TMP ≤ 11.15
LM6	SLT&CLY ≤ 4.515 - > 1.395, DWPT ≤ 3.25, MASS > 31.8, TMP ≤ 16.14 - > 11.15
LM7	SLT&CLY ≤ 4.515 - > 1.395, DWPT ≤ 3.25, MASS > 31.8, TMP > 16.4
LM8	SLT&CLY ≤ 4.515 - > 1.395, DWPT > 3.25, TMP ≤ 23.3
LM9	SLT&CLY ≤ 4.515 - > 1.395, DWPT > 3.25, TMP > 23.3
LM10	SLT&CLY > 4.515, TMP ≤ 21.55
LM11	SLT&CLY > 4.515, TMP > 21.55, MSTR ≤ 0.91
LM12	**SLT&CLY > 4.515, TMP > 21.55, MSTR > 0.91, WS ≤ 1.15**
LM13	SLT&CLY > 4.515, TMP > 21.55, MSTR > 0.91, WS > 1.15

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/PM_1 karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 11 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları Çizelge 7.13 ve 7.14'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.44'de verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, bağıl nem, yan rüzgâr hızı, kamyon teker sayısı, kamyon kütlesi ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, bağıl nem ve yan rüzgâr hızıdır. Veri setinin yaklaşık %31,29'u LM4'ü, %0,98'i LM10'u temsil etmektedir.

Çizelge 7.12 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri

Model	1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.00122 * TMP + 0.00049 * SP - 0.09154 * WS - 0.00135 * DWPT + 0.0519 * CW + 0.09487 * HW + 0.05759 * MSTR - 0.00066 * SLT&CLY - 0.00084 * WHL + 0.00036 * MASS - 0.31714
LM2	-0.0115 * TMP + 0.00049 * SP - 0.0164 * WS - 0.00228 * DWPT + 0.0106 * CW + 0.00391 * HW - 0.0016 * MSTR - 0.00066 * SLT&CLY - 0.00084 * WHL + 0.00058 * MASS + 0.10022
LM3	-0.00658 * TMP + 0.00049 * SP - 0.02565 * WS - 0.00228 * DWPT + 0.02805 * CW + 0.00391 * HW - 0.0016 * MSTR - 0.00066 * SLT&CLY - 0.00084 * WHL + 0.00058 * MASS - 0.05632
LM4	0.00007 * TMP - 0.0007 * SP + 0.03042 * WS - 0.00129 * DWPT + 0.00417 * CW + 0.00879 * HW + 0.00404 * MSTR - 0.00035 * SLT&CLY - 0.0003 * WHL + 0.00076 * MASS + 0.64232
LM5	-0.0043 * TMP - 0.0007 * SP + 0.00134 * WS - 0.00129 * DWPT + 0.00245 * CW + 0.00496 * HW + 0.00404 * MSTR - 0.00035 * SLT&CLY - 0.0003 * WHL + 0.00048 * MASS + 0.77156
LM6	-0.00246 * TMP - 0.0007 * SP + 0.00134 * WS - 0.00129 * DWPT + 0.00245 * CW + 0.00496 * HW + 0.00404 * MSTR - 0.00035 * SLT&CLY - 0.0003 * WHL + 0.00048 * MASS + 0.72477
LM7	0.00083 * TMP - 0.0007 * SP + 0.00134 * WS + 0.00171 * DWPT + 0.00245 * CW + 0.00496 * HW + 0.00404 * MSTR - 0.00035 * SLT&CLY - 0.0003 * WHL + 0.00048 * MASS + 0.73326
LM8	0.00007 * TMP - 0.00263 * SP + 0.00112 * WS - 0.00107 * DWPT + 0.00021 * CW + 0.00149 * HW + 0.00849 * MSTR - 0.00035 * SLT&CLY - 0.0003 * WHL + 0.00028 * MASS + 2.30571
LM9	0.00007 * TMP - 0.0016 * SP + 0.00112 * WS + 0.00702 * DWPT - 0.01155 * CW + 0.00076 * HW + 0.00598 * MSTR - 0.00035 * SLT&CLY - 0.0003 * WHL + 0.00019 * MASS + 1.40482
LM10	0.00018 * TMP + 0.00055 * SP + 0.00018 * WS - 0.00012 * DWPT + 0.00021 * CW + 0.00081 * MSTR - 0.00031 * SLT&CLY - 0.0003 * WHL + 0.00183 * MASS - 0.49457
LM11	0.0005 * TMP + 0.00031 * SP + 0.00018 * WS - 0.00012 * DWPT - 0.02954 * CW + 0.00081 * MSTR - 0.00031 * SLT&CLY - 0.0016 * WHL + 0.00001 * MASS - 0.16147
LM12	**0.00042 * TMP + 0.00031 * SP - 0.04024 * WS - 0.00012 * DWPT + 0.00122 * CW + 0.00081 * MSTR - 0.00031 * SLT&CLY - 0.0007 * WHL + 0.00001 * MASS - 0.19892**
LM13	0.00072 * TMP + 0.00031 * SP + 0.00018 * WS - 0.00012 * DWPT + 0.00269 * CW + 0.00081 * MSTR - 0.00031 * SLT&CLY - 0.0007 * WHL + 0.00001 * MASS - 0.2098

Çizelge 7.13 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları

Model	1/PM_1 salınım kestirim kuralları
LM1	SP ≤ 866.65, RH ≤ 36.95, CW ≤ 1.05
LM2	SP ≤ 866.65, RH ≤ 36.95, CW > 1.05, MSTR ≤ 0.455
LM3	SP ≤ 866.65, RH ≤ 36.95, CW > 1.05, MSTR > 0.455
LM4	**SP ≤ 870.45 - > 866.65, RH ≤ 36.95**
LM5	SP ≤ 870.45, RH ≤ 42.75 - > 36.95, MASS ≤ 59.175
LM6	SP ≤ 870.45, RH > 42.75, MASS ≤ 59.175
LM7	SP ≤ 870.45, RH > 36.95, MASS > 59.175
LM8	SP > 870.45, RH ≤ 51.15
LM9	SP > 870.45, RH > 51.15, CW ≤ 0.65
LM10	SP > 870.45, RH > 51.15, CW ≤ 1.25 - > 0.65
LM11	SP > 870.45, RH > 51.15, CW > 1.25

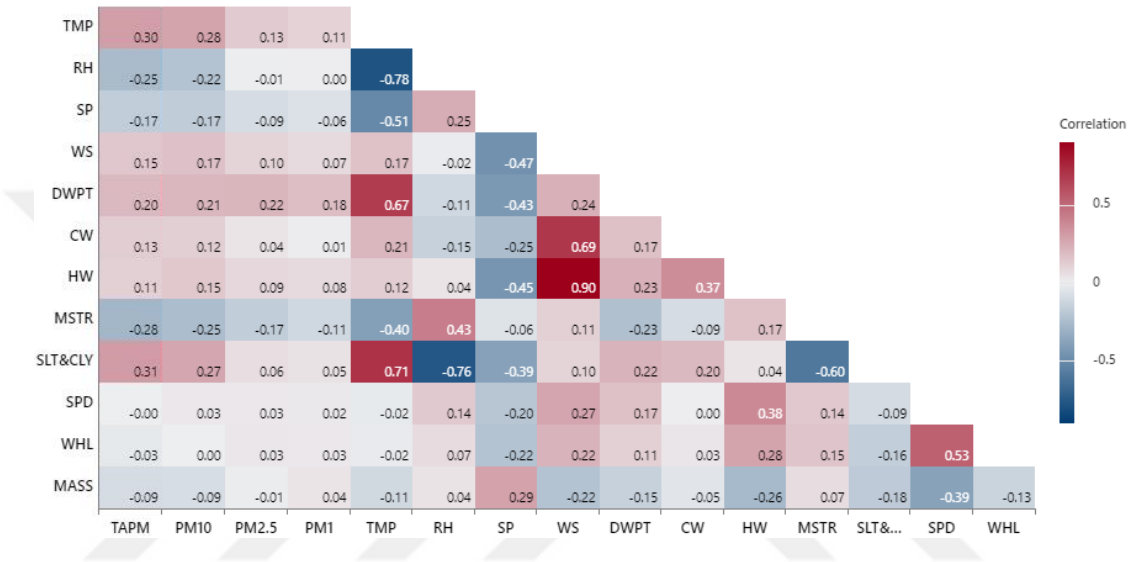
Çizelge 7.14 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_1 salınım kestirim denklemleri
LM1	0.011 * RH + 0.00822 * SP - 0.236 * CW + 0.0051 * MSTR - 0.003 * WHL + 0.0005 * MASS - 6.82
LM2	-0.006 * RH + 0.014 * SP + 0.0053 * CW + 0.063 * MSTR + 0.09 * WHL + 0.0008 * MASS - 12.84
LM3	-0.0052 * RH + 0.014 * SP + 0.0053 * CW + 0.06 * MSTR - 0.003 * WHL + 0.0008 * MASS - 11.53
LM4	**-0.0247 * RH + 0.236 * SP + 0.07 * CW + 0.215 * MSTR - 0.003 * WHL - 0.0029 * MASS - 203.82**
LM5	-0.002 * RH - 0.0036 * SP + 0.018 * CW + 0.0051 * MSTR - 0.113 * WHL + 0.0014 * MASS + 5.02
LM6	-0.0024 * RH - 0.04 * SP + 0.018 * CW + 0.0051 * MSTR - 0.003 * WHL + 0.0014 * MASS + 34.20
LM7	0.00038 * RH + 0.0028 * SP - 0.40 * CW - 0.70 * MSTR - 0.003 * WHL + 0.00276 * MASS + 0.60
LM8	0.0011 * RH - 3.94 * SP + 0.037 * CW - 0.37 * MSTR - 0.009 * WHL + 0.00032 * MASS + 3435.40
LM9	0.00117 * RH - 0.627 * SP + 0.08 * CW - 0.14 * MSTR - 0.009 * WHL + 0.00032 * MASS + 549.93
LM10	-0.2194 * RH - 0.627 * SP - 0.672 * CW - 0.14 * MSTR - 0.009 * WHL + 0.00032 * MASS + 563.83
LM11	-0.1168 * RH - 0.627 * SP - 0.323 * CW - 0.14 * MSTR - 0.009 * WHL + 0.00032 * MASS + 557.23

7.3 Kalker İşletmesi (A) Taşıma Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti sırasında ölçümü yapılan ve hesaplanan tüm parametrelerin birbirleriyle olan ilgileşimleri Şekil 7.2'de verilmiştir. Bağımlı değişkenler (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, makine özellikleri, nem ve silt+kil içeriği) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%31) düzeydedir ve herhangi

bir bağımlı değişkenin üzerinde etkiyi tek bir bağımsız değişken ile açıklamak mümkün değildir. Bağıl nem, silt+kil ile arasında negatif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70), malzeme nemi ile arasında pozitif yönlü normal ilgileşim (%40≤R<%70) bulunmaktadır. Hava sıcaklığı, silt+kil ile arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim, çiğ noktası sıcaklığı ile arasında normal yönlü pozitif ilgileşim ve bağıl nem ile arasında ise negatif yönlü yüksek ilgileşim vardır. Ayrıca, malzeme nem ile silt+kil arasında normal negatif yönlü normal ilgileşim olduğu görülmüştür. benzer şekilde; rüzgâr hızı karşı rüzgâr hızı ile arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim, yan rüzgâr hızı ile arasında normal ilgileşim bulunmaktadır.



Şekil 7.2 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi

7.3.1 Regresyon analizi

Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti sırasında ölçümü yapılan PM salınımlarına ait normallik test analiz sonuçları Çizelge 7.15'de verilmiştir. Yeni veri setlerinden doğal logaritmik ve logaritmik setlere ait çarpıklık ve basıklık değerlerinin literatürde belirtilen aralıkta oldukları ve verilerin normal dağılıma uygun oldukları görülmüştür. Normal dağılım gösteren PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özelliklerine ait betimleyici istatistikler Çizelge 7.16'da verilmiştir.

Kalker işletmesi (A) her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark bulunmamaktadır. Buna göre; TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ölçüm değerleri Ekim 2020 ve Eylül 2021 ayları diğer aylardan anlamlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin, $logPM_{2,5}$ için partikül madde değerlerini yorumladığımızda Ağustos 2020, Ekim 2020 ve Kasım 2021 ayları arasında anlamlı farklılık yokken bu aylarla diğer aylar arasında anlamlı farklılıklar vardır. Ayrıca Eylül 2020, Kasım 2020, Haziran 2021 ayları ile Temmuz 2021 ve Ağustos 2021 ayları arasında da anlamlı farklılıklar yoktur. Temmuz 2021 ve Ağustos 2021 ayları aynı zamanda Eylül 2021 arasında da anlamlı fark yoktur; yalnız Eylül 2021 diğer aylarla arasında anlamlı farklılıklar vardır. Bağımsız değerler içinde örneğin Kasım 2020'de TMP ölçüm değerleri diğer aylardan anlamlı farklıdır. Silt+kil değeri içinde Ağustos 2020 ayındaki ölçüm değerleri Haziran

2021 değerleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Bu aylar ile diğer aylar arasında anlamlı farklılıklar olduğu görülmüştür. Yan rüzgâr hızı (CW) değerlerine bakıldığında, Eylül 2020 ile Kasım 2021 değerleri arasında anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır.

Çizelge 7.15 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti normallik test analiz sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
Ham	TAPM	1030,149 -1412,664	402,9 (19,1 - 6527,9)	2,047	3,729	<0,001
	PM_{10}	826,534 -1385,71	178,95 (5,8 - 6527,9)	2,287	4,802	<0,001
	$PM_{2,5}$	51,982 -92,013	16,395 (1,36 - 652,79)	3,381	13,143	<0,001
	PM_1	19,698 -64,568	2,925 (0,06 - 652,79)	5,437	35,327	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,645 -0,59**	**2,605 (1,281 - 3,815)**	**0,045**	**-0,633**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**2,392 -0,681**	**2,253 (0,763 - 3,815)**	**0,386**	**-0,725**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**1,334 -0,537**	**1,215 (0,134 - 2,815)**	**0,596**	**-0,111**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,581 -0,627**	**0,466 (-1,222 - 2,815)**	**1,175**	**2,207**	**<0,001**
1/ham	1/ TAPM	0,005 -0,008	0,002 (0 - 0,052)	3,128	10,997	<0,001
	1/ PM_{10}	0,01 -0,016	0,006 (0 - 0,172)	4,185	26,429	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,084 -0,091	0,061 (0,002 - 0,735)	2,369	7,633	<0,001
	1/ PM_1	0,573 -1,157	0,342 (0,002 - 16,667)	7,846	75,872	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**6,091 -1,358**	**5,999 (2,95 - 8,784)**	**0,045**	**-0,633**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**5,507 -1,568**	**5,187 (1,758 - 8,784)**	**0,386**	**-0,725**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**3,073 -1,236**	**2,797 (0,307 - 6,481)**	**0,596**	**-0,111**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**1,337 -1,443**	**1,074 (-2,813 - 6,481)**	**1,175**	**2,208**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	1,03 -1,413	0,403 (0,019 - 6,528)	2,047	3,729	<0,001
	PM_{10}/1000	0,827 -1,386	0,179 (0,006 - 6,528)	2,287	4,802	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,052 -0,092	0,016 (0,001 - 0,653)	3,381	13,149	<0,001
	PM_1/1000	0,02 -0,065	0,003 (0 - 0,653)	5,439	35,360	<0,001

TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Bunun için, kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti sırasında ölçümü yapılan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 verilerinin ilgileşim analizi yapılmış ve normal dağılım göstermeyen ham veri setleri dönüştürülerek oluşan yeni veri setlerinden normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayılarına sahip veriler değerlendirmeye alınmıştır. En yüksek ilgileşim katsayıları ve salınım kestirim denklemleri Çizelge 7.17'de verilmiştir. En düşük ilgileşim katsayısı 0,577 ile PM_1 ve TAPM, en yüksek katsayı 0,990 ile PM_{10} ve TAPM arasındadır. PM_1 ile $PM_{2,5}$ ve PM_{10}, $PM_{2,5}$ ile TAPM arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değeri, logaritmik ve doğal logaritmik olarak dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. PM_1'in TAPM ve PM_{10} ile arasında normal ilgileşim, diğer PM salınımları arasında yüksek ilgileşim olduğu için, herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları da makul doğruluk payı ile hesaplanabilmektedir.

Kalker işletmesi (A) verilerinde yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modellerinin anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi ilgileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 7.18 ve 7.19'da verilmiştir.

Çizelge 7.16 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri

	Parametre	Ay	Ağustos 2020	Eylül 2020	Ekim 2020	Kasım 2020	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Kasım 2021	p
Kalker (A) İşletmesi	log(TAPM)	Tukey	2,651 ±0,498^{b}	2,695 ±0,549^{b}	2,328 ±0,312^{a}	2,595 ±0,496^{ab}	3,157 ±0,428^{d}	3,015 ±0,438^{cd}	2,674 ±0,579^{b}	2,872 ±0,473^{bc}	2,319 ±0,585^{a}	≤0,001
	ln(TAPM)	Tukey	6,104 ±1,146^{b}	6,204 ±1,263^{b}	5,36 ±0,718^{a}	5,975 ±1,143^{a}	7,269 ±0,985^{d}	6,942 ±1,009^{cd}	6,157 ±1,332^{b}	6,613 ±1,089^{bc}	5,34 ±1,347^{a}	≤0,001
	log(PM_{10})	Tukey	2,348 ±0,635^{b}	2,391 ±0,683^{b}	2,192 ±0,385^{ab}	2,311 ±0,55^{ab}	2,966 ±0,558^{d}	2,84 ±0,597^{d}	2,486 ±0,67^{bc}	2,772 ±0,542^{cd}	2,002 ±0,604^{a}	≤0,001
	ln(PM_{10})	Tukey	5,405 ±1,462^{b}	5,505 ±1,572^{b}	5,047 ±0,886^{ab}	5,321 ±1,267^{ab}	6,828 ±1,285^{d}	6,539 ±1,375^{d}	5,725 ±1,542^{bc}	6,384 ±1,247^{cd}	4,61 ±1,392^{a}	≤0,001
	log($PM_{2,5}$)	Tukey	0,999 ±0,566^{a}	1,42 ±0,578^{b}	0,943 ±0,329^{a}	1,428 ±0,468^{b}	1,433 ±0,59^{b}	1,578 ±0,579^{bc}	1,569 ±0,486^{bc}	1,717 ±0,422^{c}	1,069 ±0,393^{a}	≤0,001
	ln($PM_{2,5}$)	Tukey	2,301 ±1,302^{a}	3,27 ±1,332^{b}	2,171 ±0,758^{a}	3,289 ±1,079^{b}	3,301 ±1,359^{b}	3,634 ±1,334^{bc}	3,613 ±1,119^{bc}	3,954 ±0,971^{c}	2,462 ±0,904^{a}	≤0,001
	log(PM_{1})	Tukey	0,183 ±0,594^{ab}	0,593 ±0,858^{cd}	0,065 ±0,445^{a}	0,688 ±0,437^{cde}	0,547 ±0,769^{c}	0,726 ±0,765^{cde}	0,866 ±0,534^{de}	0,971 ±0,729^{e}	0,44 ±0,39^{bc}	≤0,001
	ln(PM_{1})	Tukey	0,422 ±1,369^{ab}	1,366 ±1,977^{cd}	0,15 ±1,025^{a}	1,585 ±1,006^{cde}	1,26 ±1,77^{c}	1,671 ±1,762^{cde}	1,995 ±1,23^{de}	2,236 ±1,678^{e}	1,014 ±0,897^{bc}	≤0,001
	TMP	Tukey	28,495 ±4,341^{g}	18,641 ±1,559^{d}	13,172 ±0,648^{c}	5,88 ±0,964^{a}	22,978 ±2,132^{f}	20,764 ±0,882^{e}	18,753 ±0,791^{d}	12,53 ±0,376^{c}	9,861 ±3,664^{b}	≤0,001
	RH	Tukey	29,207 ±12,787^{a}	59,815 ±4,443^{d}	71,528 ±2,699^{fg}	73,923 ±6,483^{g}	38,923 ±9,747^{b}	53,327 ±3,617^{c}	67,482 ±2,891^{ef}	74,452 ±1,208^{g}	65,491 ±15,209^{e}	≤0,001
	SP	Tukey	842,08 ±0,991^{a}	852,391 ±0,21^{d}	854,675 ±0,044^{e}	851,754 ±0,942^{d}	845,911 ±0,363^{b}	845,235 ±1,917^{b}	845,375 ±1,077^{b}	845,285 ±0,083^{b}	850,245 ±2,318^{c}	≤0,001
	WS	Tukey	1,063 ±0,645^{ab}	0,596 ±0,595^{a}	2,266 ±0,761^{c}	1,307 ±0,833^{b}	2,674 ±1,137^{c}	4,418 ±1,911^{d}	2,129 ±0,796^{c}	3,855 ±0,914^{d}	1,484 ±1,228^{b}	≤0,001
	DWPT	Tukey	7,222 ±4,359^{c}	10,633 ±1,338^{e}	8,131 ±0,733^{d}	1,543 ±1,743^{a}	7,858 ±1,974^{cd}	10,903 ±1,095^{e}	12,594 ±0,594^{f}	8,109 ±0,437^{d}	3,293 ±0,725^{b}	≤0,001
	CW	Tukey	0,812 ±0,651^{b}	0,339 ±0,38^{a}	1,303 ±0,734^{c}	0,845 ±0,77^{b}	1,799 ±0,798^{d}	2,158 ±1,516^{d}	0,793 ±0,647^{b}	1,133 ±0,77^{bc}	0,721 ±0,7^{a}	≤0,001
	HW	Tukey	0,207 ±0,651^{a}	0,436 ±0,518^{a}	1,753 ±0,625^{d}	0,63 ±0,839^{ab}	1,717 ±1,272^{cd}	3,564 ±1,876^{e}	1,897 ±0,718^{d}	3,53 ±1,112^{e}	1,145 ±1,18^{bc}	≤0,001
	MSTR	Tukey	0,401 ±0,01^{a}	0,241 ±0,043^{a}	0,194 ±0,009^{a}	2,459 ±0,994^{b}	0,221 ±0,108^{a}	0,506 ±1,014^{a}	3,179 ±3,945^{b}	0,329 ±0,018^{a}	3,048 ±3,704^{b}	≤0,001
	SLT&CLY	Tukey	10,26 ±1,515^{f}	3,261 ±1,704^{c}	5,539 ±1,398^{e}	0,807 ±1,248^{a}	9,717 ±1,833^{f}	4,464 ±1,826^{d}	2,239 ±1,93^{b}	5,047 ±0,045^{de}	2,786 ±1,801^{bc}	≤0,001
	SPD	Tukey	10 ±0^{a}	13,624 ±2,243^{c}	27,188 ±4,568^{ef}	9,703 ±4,951^{ab}	12,767 ±2,662^{bc}	24,191 ±4,878^{d}	28,158 ±7,765^{f}	35,909 ±11,487^{g}	25,117 ±5,548^{de}	≤0,001
	MASS	Tukey	50,05 ±0,05^{e}	50,44 ±0,04^{e}	23,53 ±14,344^{a}	43,95 ±13,78^{de}	31,63 ±17,01^{bc}	26,01 ±14,04^{ab}	27,42 ±13,91^{ab}	26,92 ±13,42^{ab}	38,17 ±15,87^{cd}	≤0,001

a-e: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (PM ölçüm verileri)

a-g Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (Termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özellikleri)

Çizelge 7.17 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-169,653 (-184,38 - -154,92)		-22,60	0,000			
	TAPM	0,971 (0,963 - 0,980)	0,990	225,95	0,000	0,990	0,990	1,0
$ln(PM_{2,5})$	(Sabit)	-1,113 (-1,342 - -0,884)		-9,533	0,000			
	ln(TAPM)	0,686 (0,649 - 0,722)	0,751	36,591	0,000	0,751	0,751	1,0
$PM_{2,5}$	(Sabit)	7,198 (3,425 - 10,971)		3,743	0,000			
	PM_{10}	0,054 (0,051 - 0,056)	0,813	44,911	0,000	0,813	0,813	1,0
PM_1	(Sabit)	-7,376 (-11,268 - -3,484)		-3,719	0,000			
	TAPM	0,026 (0,024 - 0,028)	0,577	22,745	0,000	0,577	0,577	1,0
$ln(PM_1)$	(Sabit)	-1,660 (-1,885 - -1,434)		-14,456	0,000			
	$ln(PM_{10})$	0,554 (0,514 - 0,593)	0,651	27,613	0,000	0,651	0,651	1,0
$*ln(PM_1)$	(Sabit)	-1,578 (-1,672 - -1,484)		-33,059	0,000			
	$ln(PM_{2,5})$	0,971 (0,942 - 0,999)	0,901	67,098	0,000	0,901	0,901	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı
PM_{10}; F= 51054,783, p≤0,001, Adj.R^2= 0,980, SE= 195,65
$ln(PM_{2,5})$; F= 1338,869, p≤0,001, Adj.R^2= 0,563, SE= 0,82
$PM_{2,5}$; F= 2016,975, p≤0,001, Adj.R^2= 0,66, SE= 53,20
PM_1; F= 517,327, p≤0,001, Adj.R^2= 0,332, SE= 51,69
$ln(PM_1)$; F= 762,480, p≤0,001, Adj.R^2= 0,423, SE= 1,02
$*ln(PM_1)$; F= 4502,094, p≤0,001, Adj.R^2= 0,812, SE= 0,58

Çizelge 7.18 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti veri setlerinin toplu giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları

Örnekleme yerleri	Bağımlı değişken	Toplu giriş metodu ile doğrusal regresyon			
		Model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler (p<0,05; VIF ≤ 5)	Düzeltilmiş R^2 (%)	Kısmi ilgileşim	
				Çok etkili	Az etkili
Alçıtaşı işletmesi	ln(TAPM)	SP, MSTR, SLT&CLY, WHL	43,9	MSTR, SLT&CLY	SP, WHL
	log(TAPM)				
	$ln(PM_{10})$		39,1		
	$log(PM_{10})$				
	$ln(PM_{2,5})$	SP, HW, MSTR, SLT&CLY	32,1		SP, HW
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$	HW, MSTR, SLT&CLY	29,0		HW
	$log(PM_1)$				
Kalker (A) işletmesi	ln(TAPM)	MSTR, SPD	29,5	MSTR	SPD
	log(TAPM)				
	$ln(PM_{10})$	MSTR, SLT&CLY	25,8		SLT&CLY
	$log(PM_{10})$				
	$ln(PM_{2,5})$	MSTR, SP	13,6		SP
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$	MSTR, SLT&CLY, SP	11,8		SLT&CLY
	$log(PM_1)$				
Kalker (B) işletmesi	ln(TAPM)	SP, WS, HW, MSTR, SPD, MASS	43,2	MSTR, SPD	SP, WS
	log(TAPM)				
	$ln(PM_{10})$	SP, HW, MSTR, SPD, MASS	33,3		SP, HW
	$log(PM_{10})$				
	$ln(PM_{2,5})$	HW, MSTR, SLT&CLY, SPD, MASS	19,9		MASS, SLT&CLY
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$	SP, WS, HW, MSTR, SLT&CLY, MASS	13,4	HW, SLT&CLY	WS, MASS
	$log(PM_1)$				
Kalker (A+B) işletmeleri	ln(TAPM)	SP, CW, HW, MSTR, SPD, WHL, MASS	36,3	MSTR	MASS, CW
	log(TAPM)				
	$ln(PM_{10})$		28,2		
	$log(PM_{10})$				
	$ln(PM_{2,5})$	SP, CW, HW, MSTR, SLT&CLY, SPD	12,8		SPD, HW
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$	SP, CW, HW, MSTR, SLT&CLY, WHL	5,4		SP, HW
	$log(PM_1)$				
Tüm işletmeler	ln(TAPM)	SP, CW, HW, MSTR, SLT&CLY, SPD, WHL, MASS	35,7	MSTR	WHL, MASS
	log(TAPM)				
	$ln(PM_{10})$		28,7		
	$log(PM_{10})$				
	$ln(PM_{2,5})$	SP, CW, HW, MSTR, SLT&CLY, SPD, MASS	13,8		HW, MASS
	$log(PM_{2,5})$				
	$ln(PM_1)$	SP, CW, HW, MSTR, SLT&CLY, SPD, WHL, MASS	8,2		
	$log(PM_1)$				

Çizelge 7.19 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti veri setlerinin aşamalı giriş tekniği ile doğrusal regresyon model sonuçları

Örnekleme yerleri	Bağımlı değişken	Aşamalı metot ile doğrusal regresyon			
		Model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler (p<0,05; VIF ≤ 5)	Düzeltilmiş R^2 (%)	Kısmi ilgileşim	
				Çok etkili	Az etkili
Alçıtaşı işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	SP, MSTR, SLT&CLY, WHL	43,9	MSTR, SLT&CLY	WHL
		SP, MSTR, SLT&CLY, DWPT	38,6		DWPT
		SP, MSTR, SLT&CLY, RH, CW	31,8		CW, RH
		SP, MSTR, SLT&CLY, RH, WS, HW	20,5		WS, RH
Kalker (A) işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	MSTR, TMP, WS, HW	28,6	MSTR	HW
		MSTR, TMP, WS	24,8		WS
		MSTR, SP, DWPT, RH	12,3		DWPT
		MSTR, SLT&CLY, DWPT, RH, SP	10,4	SP, MSTR	SLT&CLY
Kalker (B) işletmesi	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	MSTR, HW, SPD, TMP, MASS, WS, SP	43,2	MSTR, SPD	SP, WS
		MSTR, HW, TMP, SPD, MASS, SP, CW	33,3		SP, CW
		MSTR, TMP, SPD, HW, SLT&CLY, MASS	19,9	TMP, SPD	MASS
		MSTR, RH, HW, SLT&CLY, SP, MASS	13,3	SLT&CLY, HW	
Kalker (A+B) işletmeleri	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	MSTR, TMP, HW, SP, SPD, WHL, CW, MASS	36,3	MSTR	CW, MASS
		MSTR, TMP, SP, SPD, HW, WHL, MASS	27,9		HW, MASS
		MSTR, SLT&CLY, DWPT, SP, SPD	12,5		SPD
		MSTR, SLT&CLY, SP, WHL	4,7		WHL
Tüm işletmeler	ln(TAPM) log(TAPM) ln(PM_{10}) log(PM_{10}) ln($PM_{2,5}$) log($PM_{2,5}$) ln(PM_1) log(PM_1)	MSTR, SLT&CLY, TMP, SPD, SP, MASS, WHL, WS, CW, HW	35,7	MSTR, SLT&CLY	WS, WHL
		MSTR, SLT&CLY, SPD, TMP, SP, MASS, HW, WHL	28,4		HW, WHL
		MSTR, SLT&CLY, SPD, SP, MASS, TMP	13,5	MSTR, SPD	TMP, MASS
		MSTR, SLT&CLY, WHL, SP, WS, CW, HW, DWPT, SPD, MASS	7,9	MSTR, SLT&CLY	HW, MASS

7.3.2 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Geleneksel regresyon modellemesinde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında yapılan doğrusal regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısının düşük (R^2<%30) olması nedeniyle karar ağacı tekniğinde M5P algoritması kullanılmış ve model sonuçları Çizelge 7.20'de verilmiştir. TAPM veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/TAPM karar ağacı düğümlerinden 17 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.21 ve 7.22'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.45'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, karşı rüzgâr hızı, malzeme nemi, silt+kil, kamyon teker sayısı, kamyon kütlesi ve kamyon hızıdır. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi ve hava sıcaklığıdır. Veri setinin yaklaşık %33,94'ü LM1'i, %0,2'si LM11'i temsil etmektedir.

Çizelge 7.20 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti PM verilerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	log(PM_{10})	ln(PM_{10})	1/PM_{10}
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.6348	0.6348	0.75	0.75	**0.8554**	0.63	0.63	**0.6843**	0.6843	0.774
	MAE	718.3556	0.7183	0.3094	0.7124	**0.0027**	680.3857	0.6804	**0.3899**	0.8978	0.0063
	RMSE	1097.3406	1.0973	0.3937	0.9065	**0.0042**	1084.3704	1.0844	**0.4996**	1.1504	0.0113
	RAE (%)	70.169	70.1679	63.3889	63.3882	**53.9975**	69.5263	69.5268	**68.4361**	68.4376	63.9301
	RRSE (%)	77.7562	77.7561	66.4835	66.4843	**52.1805**	78.311	78.3111	**72.9824**	72.9828	64.8078
	Model (düğüm) sayısı	17	17	22	22	**17**	18	18	**10**	10	15
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.4487	0.4539	0.6563	0.6488	**0.7946**	0.4138	0.4138	**0.6018**	0.6057	0.5774
	MAE	825.9409	0.8236	0.3519	0.8165	**0.003**	798.109	0.7981	**0.4265**	0.9765	0.0069
	RMSE	1264.8264	1.2604	0.4469	1.038	**0.0049**	1269.2258	1.2692	**0.5475**	1.2556	0.0142
	RAE (%)	80.5861	80.3597	72.0221	72.5834	**59.8702**	81.4667	81.4637	**74.7874**	74.3693	69.9552
	RRSE (%)	89.5098	89.1965	75.3748	76.0418	**60.6312**	91.5447	91.5459	**79.8883**	79.5756	81.6051
	Model (düğüm) sayısı	17	17	22	22	**17**	18	18	**10**	10	15
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.4472	0.4472	0.6492	0.6492	**0.7836**	0.445	0.445	**0.6161**	0.6161	0.6257
	MAE	843.6279	0.8436	0.3532	0.8133	**0.003**	788.5578	0.7886	**0.4256**	0.9799	0.0067
	RMSE	1269.1978	1.2692	0.4534	1.044	**0.0046**	1235.9321	1.2359	**0.5441**	1.2527	0.0126
	RAE (%)	81.8718	81.8708	70.7857	70.7868	**62.4306**	80.0246	80.0239	**73.6128**	73.6149	70.6641
	RRSE (%)	89.6306	89.6306	76.0395	76.0413	**63.2684**	89.6036	89.6034	**78.7278**	78.7262	77.9826
	Model (düğüm) sayısı	17	17	22	22	**17**	18	18	**10**	10	15
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$/1000	log($PM_{2.5}$)	ln($PM_{2.5}$)	1/$PM_{2.5}$	PM_1	PM_1/1000	log(PM_1)	ln(PM_1)	1/PM_1
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.5712	0.5559	**0.6664**	0.6664	0.6864	0.5242	0.5239	**0.6594**	0.6594	0.6899
	MAE	41.0845	0.042	**0.3079**	0.709	0.0465	22.7723	0.0228	**0.3057**	0.704	0.3715
	RMSE	75.1662	0.0761	**0.405**	0.9325	0.0718	54.0398	0.054	**0.4414**	1.0164	0.8451
	RAE (%)	74.9993	76.7321	**70.922**	70.9223	70.805	81.4386	81.5338	**72.6428**	72.6431	78.6858
	RRSE (%)	82.4347	83.501	**74.8705**	74.8705	73.9821	85.4824	85.5024	**75.7916**	75.7928	74.5607
	Model sayısı	16	15	**18**	18	24	5	5	**15**	15	11
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.3553	0.3503	**0.5531**	0.5485	0.5435	0.2739	0.2621	**0.5154**	0.505	0.3723
	MAE	47.4257	0.0476	**0.343**	0.7974	0.0524	24.6994	0.0252	**0.3398**	0.7882	0.418
	RMSE	86.3755	0.0866	**0.4511**	1.0425	0.0815	62.0162	0.0622	**0.4997**	1.1593	1.0556
	RAE (%)	86.5363	86.8714	**78.9617**	79.7265	79.7223	88.2681	90.2165	**80.6859**	81.2743	88.4609
	RRSE (%)	94.6578	94.8721	**83.3537**	83.6679	83.8978	98.0437	98.2771	**85.7517**	86.3871	93.0905
	Model (düğüm) sayısı	16	15	**18**	18	24	5	5	**15**	15	11
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.4803	0.48	**0.574**	0.574	0.5536	0.3782	0.3786	**0.5372**	0.5372	0.2124
	MAE	43.6613	0.0437	**0.3394**	0.7814	0.0498	22.2893	0.0222	**0.3448**	0.7941	0.3759
	RMSE	74.5703	0.0746	**0.4405**	1.0143	0.0768	53.1441	0.0531	**0.5069**	1.1674	0.7968
	RAE (%)	81.005	81.0993	**78.358**	78.3549	77.4355	80.6886	80.6051	**79.3173**	79.3317	90.7694
	RRSE (%)	87.9723	87.9911	**81.9243**	81.9224	83.5144	93.6508	93.6145	**84.4851**	84.4884	113.0412
	Model (düğüm) sayısı	16	15	18	18	24	5	5	**15**	15	11

Çizelge 7.21 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları

Model	1/TAPM salınım kestirim kuralları
LM1	**MSTR ≤ 3.03, SP ≤ 850.1**
LM2	MSTR ≤ 3.03, SP > 850.1, SLT&CLY ≤ 3.655
LM3	MSTR ≤ 0.505, SP > 850.1, SLT&CLY > 3.655
LM4	MSTR ≤ 3.03 - > 0.505, SP > 850.1, SLT&CLY > 3.655
LM5	MSTR ≤ 5.985 - > 3.03, TMP ≤ 5.2
LM6	MSTR > 5.985, TMP ≤ 5.2, SP ≤ 846.55
LM7	MSTR > 5.985, TMP ≤ 5.2, SP > 846.55, MASS ≤ 48
LM8	MSTR > 5.985, TMP ≤ 5.2, SP > 846.55, MASS > 48
LM9	MSTR > 3.03, TMP > 5.2, HW ≤ 0.25, DWPT ≤ 3.15
LM10	MSTR > 3.03, TMP > 5.2, HW ≤ 0.25, DWPT > 3.15
LM11	MSTR > 3.03, TMP ≤ 5.95 - > 5.2, HW > 0.25, SPD ≤ 22.5, DWPT ≤ 2.05
LM12	MSTR > 3.03, TMP > 5.95, HW > 0.25, SPD ≤ 22.5, DWPT ≤ 2.05
LM13	MSTR > 3.03, TMP > 5.2, HW > 0.25, SPD ≤ 22.5, DWPT ≤ 2.15 - > 2.05
LM14	MSTR > 3.03, TMP > 5.2, HW > 0.25, SPD ≤ 22.5, DWPT ≤ 2.95 - > 2.15
LM15	MSTR > 3.03, TMP > 5.2, HW > 0.25, SPD ≤ 22.5, DWPT > 2.95
LM16	MSTR > 3.03, TMP > 5.2, HW > 0.25, SPD > 22.5, DWPT ≤ 12.55
LM17	MSTR > 3.03, TMP > 5.2, HW > 0.25, SPD > 22.5, DWPT > 12.55

Çizelge 7.22 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri

Model	1/TAPM salınım kestirim denklemleri
LM1	**-0.000008 * TMP - 0.00027 * SP – 0.000002 * DWPT - 0.00011 * HW + 0.00123 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY – 0.000001 * SPD - 0.00001 * WHL – 0.000001 * MASS + 0.23**
LM2	0.00048 * TMP + 0.00113 * SP - 0.00082 * DWPT + 0.00094 * HW + 0.00005 * MSTR – 0.000001 * SLT&CLY - 0.00013 * SPD - 0.00001 * WHL – 0.000002 * MASS - 0.96
LM3	0.00001 * TMP + 0.00064 * SP - 0.00011 * DWPT + 0.00001 * HW + 0.00104 * MSTR – 0.000001 * SLT&CLY - 0.00006 * SPD - 0.00001 * WHL - 0.00005 * MASS - 0.54
LM4	0.00001 * TMP + 0.00052 * SP - 0.0026 * DWPT + 0.00001 * HW + 0.00247 * MSTR – 0.000001 * SLT&CLY - 0.00065 * SPD - 0.00001 * WHL - 0.00003 * MASS - 0.408
LM5	-0.00896 * TMP - 0.07299 * SP - 0.0372 * DWPT + 0.00124 * HW - 0.00055 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00116 * SPD - 0.00288 * WHL + 62.03
LM6	-0.02031 * TMP - 0.02821 * SP + 0.0144 * DWPT + 0.00142 * HW - 0.0003 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00061 * SPD - 0.0026 * WHL + 0.00021 * MASS + 24.00
LM7	-0.01122 * TMP - 0.03426 * SP + 0.00747 * DWPT + 0.00343 * HW - 0.0003 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00043 * SPD - 0.00593 * WHL + 29.12
LM8	-0.01122 * TMP - 0.03426 * SP + 0.00512 * DWPT + 0.00441 * HW - 0.0003 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00043 * SPD - 0.00441 * WHL + 29.11
LM9	0.00046 * TMP - 0.00093 * SP - 0.001 * DWPT + 0.00036 * HW - 0.0011 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00011 * SPD - 0.00023 * WHL + 0.80
LM10	0.00084 * TMP - 0.00093 * SP - 0.00155 * DWPT + 0.00036 * HW - 0.00236 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00011 * SPD - 0.00023 * WHL + 0.80
LM11	0.0003 * TMP - 0.00415 * SP - 0.00091 * DWPT + 0.00025 * HW + 0.00002 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY 0.00012 * SPD - 0.00023 * WHL + 0.00014 * MASS + 3.55
LM12	0.0003 * TMP - 0.0042 * SP - 0.00091 * DWPT + 0.00025 * HW + 0.00002 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00012 * SPD - 0.00023 * WHL + 0.00014 * MASS + 3.55
LM13	0.0003 * TMP - 0.0042 * SP - 0.00091 * DWPT + 0.00025 * HW + 0.00002 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00012 * SPD - 0.00023 * WHL + 0.00014 * MASS + 3.55
LM14	0.00133 * TMP - 0.00273 * SP - 0.00091 * DWPT - 0.00096 * HW + 0.00002 * MSTR + 0.00001 * SLT&CL - 0.00012 * SPD - 0.00023 * WHL + 0.00009 * MASS + 2.33
LM15	0.00055 * TMP - 0.00197 * SP - 0.00147 * DWPT - 0.00031 * HW + 0.00045 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00012 * SPD - 0.00023 * WHL + 0.00011 * MASS + 1.68
LM16	0.00028 * TMP - 0.00123 * SP - 0.00064 * DWPT + 0.00006 * HW + 0.00002 * MSTR + 0.00001 * SLT&CL - 0.00024 * SPD - 0.00023 * WHL + 0.00001 * MASS + 1.06
LM17	0.00114 * TMP - 0.00141 * SP - 0.00071 * DWPT - 0.00008 * HW + 0.00002 * MSTR + 0.00001 * SLT&CLY - 0.00018 * SPD - 0.00023 * WHL + 0.00002 * MASS + 1.20

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik veri setinde elde edilmiş ve log(PM_{10}) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 10 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.23 ve 7.24'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.46'da verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, kamyon hızı, kamyon kütlesi, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, karşı ve yan rüzgâr

hızları, kamyon teker sayısı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler malzeme nemi, karşı rüzgâr hızı ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin %21,05'i LM4'ü, %1,25'i LM2'yi temsil etmektedir.

Çizelge 7.23 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları

Model no	log(PM_{10}) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.605, SP ≤ 843.8, HW ≤ 0.35
LM2	MSTR ≤ 0.605, SP ≤ 843.8, HW ≤ 1.75 - > 0.35
LM3	MSTR ≤ 0.605, SP ≤ 851.75 - > 843.8, HW ≤ 1.75
LM4	**MSTR ≤ 0.605, SP ≤ 851.75, HW > 1.75**
LM5	MSTR ≤ 0.605, SP > 851.75, DWPT ≤ 10.55, HW ≤ 0.75
LM6	MSTR ≤ 0.605, SP > 851.75, DWPT ≤ 10.55, HW > 0.75
LM7	MSTR ≤ 0.605, SP > 851.75, DWPT > 10.55
LM8	MSTR > 0.605, SP ≤ 846.65
LM9	MSTR > 0.605, SP > 846.65, SLT&CLY ≤ 2.705
LM10	MSTR > 0.605, SP > 846.65, SLT&CLY > 2.705

Çizelge 7.24 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_{10}) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.02348 * TMP - 0.00705 * RH + 0.17855 * SP + 0.03895 * DWPT + 0.03329 * CW - 0.05907 * HW - 0.0502 * MSTR + 0.0078 * SLT&CLY + 0.00761 * SPD + 0.04683 * WHL + 0.00048 * MASS - 147.90
LM2	-0.03441 * TMP - 0.00705 * RH + 0.26106 * SP + 0.04544 * DWPT + 0.03329 * CW - 0.09148 * HW - 0.0502 * MSTR + 0.0078 * SLT&CLY + 0.00761 * SPD + 0.04683 * WHL + 0.00048 * MASS - 217.33
LM3	-0.00162 * TMP - 0.01907 * RH - 0.07202 * SP + 0.01498 * DWPT + 0.01278 * CW + 0.00575 * HW - 0.0502 * MSTR + 0.0078 * SLT&CLY + 0.02581 * SPD + 0.12795 * WHL + 0.00754 * MASS + 62.40
LM4	**-0.00162 * TMP - 0.00143 * RH + 0.05161 * SP + 0.0667 * DWPT + 0.00162 * CW + 0.00522 * HW - 0.04487 * MSTR + 0.051 * SLT&CLY + 0.00174 * SPD + 0.00874 * WHL + 0.00503 * MASS - 41.84**
LM5	-0.0038 * TMP + 0.00224 * RH - 0.03121 * SP + 0.04788 * DWPT + 0.00162 * CW + 0.06545 * HW - 0.04305 * MSTR + 0.00541 * SLT&CLY + 0.00171 * SPD + 0.01092 * WHL + 0.00039 * MASS + 28.00
LM6	-0.0038 * TMP + 0.00224 * RH - 0.03121 * SP + 0.16499 * DWPT + 0.00162 * CW + 0.06921 * HW - 0.04305 * MSTR + 0.00541 * SLT&CLY + 0.00171 * SPD + 0.01092 * WHL + 0.00039 * MASS + 27.20
LM7	-0.09721 * TMP + 0.00454 * RH + 0.57988 * SP + 0.02519 * DWPT + 0.00162 * CW + 0.03161 * HW - 0.04305 * MSTR + 0.00541 * SLT&CLY + 0.00171 * SPD + 0.01092 * WHL + 0.00039 * MASS - 490.51
LM8	-0.0003 * TMP - 0.02356 * RH + 0.00614 * SP + 0.0035 * DWPT - 0.00546 * CW - 0.01607 * HW + 0.03313 * MSTR - 0.01634 * SLT&CLY + 0.02507 * SPD + 0.13582 * WHL - 4.05
LM9	-0.00252 * TMP - 0.00111 * RH + 0.18074 * SP + 0.0828 * DWPT - 0.00442 * CW - 0.16082 * HW - 0.05759 * MSTR - 0.02246 * SLT&CLY + 0.03336 * SPD - 0.00218 * WHL - 0.00767 * MASS - 151.40
LM10	-0.00297 * TMP - 0.00123 * RH - 0.35463 * SP + 0.00406 * DWPT - 0.24522 * CW - 0.01798 * HW - 0.01084 * MSTR - 0.02603 * SLT&CLY + 0.03153 * SPD + 0.11192 * WHL + 302.40

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizi sonucuna göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik veri setinde elde edilmiş ve log($PM_{2,5}$) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 18 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin regresyon salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.25 ve 7.26'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.47'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, malzeme nemi, karşı rüzgâr hızı, kamyon kütlesi, kamyon teker sayısı ve kamyon hızıdır. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler istasyon basıncı, malzeme nemi ve kamyon hızıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %13,17'si LM5'i, %1,15'i LM17'yi temsil etmektedir.

Çizelge 7.25 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.365, WHL ≤ 11, DWPT ≤ 10.55, SP ≤ 852.65, HW ≤ 0.5
LM2	MSTR ≤ 0.365, WHL ≤ 11, DWPT ≤ 10.55, SP ≤ 852.65, HW > 0.5
LM3	MSTR ≤ 0.365, WHL ≤ 11, DWPT ≤ 10.55, SP > 852.65
LM4	MSTR ≤ 0.365, WHL ≤ 11, DWPT > 10.55
LM5	**MSTR ≤ 0.365, WHL > 11, MASS ≤ 41.575**
LM6	MSTR ≤ 0.365, WHL > 11, MASS > 41.575
LM7	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25, MSTR ≤ 1.255, MASS ≤ 44, HW ≤ 0.4
LM8	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25, MSTR ≤ 1.255, MASS ≤ 44, HW > 0.4
LM9	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25, MSTR ≤ 1.255, MASS > 44
LM10	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25, MSTR > 1.255, RH ≤ 61.7
LM11	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25, MSTR > 1.255, RH > 61.7, SPD ≤ 24
LM12	MSTR > 0.365, SP ≤ 846.75, MSTR > 1.255, RH > 61.7, SPD > 24, RH ≤ 86.6, SPD ≤ 32.5
LM13	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25 - > 846.75, MSTR > 1.255, RH > 61.7, SPD > 24, RH ≤ 86.6, SPD ≤ 32.5
LM14	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25, MSTR > 1.255, RH > 61.7, SPD > 24, RH ≤ 86.6, SPD > 32.5
LM15	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25, MSTR > 1.255, RH > 61.7, SPD > 24, RH ≤ 89.25 - > 86.6
LM16	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25, MSTR > 1.255, RH > 61.7, SPD > 24, RH > 89.25, HW ≤ 3.15
LM17	MSTR > 0.365, SP ≤ 852.25, MSTR > 1.255, RH > 61.7, SPD > 24, RH > 89.25, HW > 3.15
LM18	MSTR > 0.365, SP > 852.25

Çizelge 7.26 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri

Model	log($PM_{2,5}$) salınım kestirim denklemleri
LM1	0.00235 * RH - 0.00884 * SP - 0.01156 * DWPT + 0.00069 * HW - 0.00156 * MSTR + 0.00776 * SPD + 0.00634 * WHL + 0.00189 * MASS + 8.49
LM2	0.01827 * RH - 0.00884 * SP - 0.0561 * DWPT + 0.00069 * HW - 0.00156 * MSTR + 0.00597 * SPD + 0.00634 * WHL + 0.00189 * MASS + 8.30
LM3	0.02354 * RH - 0.20381 * SP - 0.00028 * DWPT + 0.00069 * HW - 0.00156 * MSTR + 0.00594 * SPD + 0.00634 * WHL + 0.0026 * MASS + 173.25
LM4	-0.00006 * RH - 0.00845 * SP + 0.00691 * DWPT + 0.1564 * HW + 3.2264 * MSTR + 0.00422 * SPD + 0.00634 * WHL + 0.00209 * MASS + 7.67
LM5	**-0.00126 * RH - 0.00261 * SP + 0.05061 * DWPT + 0.00069 * HW + 0.08316 * MSTR + 0.01218 * SPD + 0.00904 * WHL + 0.00179 * MASS + 2.95**
LM6	-0.00325 * RH - 0.00261 * SP + 0.05115 * DWPT + 0.00069 * HW + 0.2414 * MSTR + 0.00552 * SPD + 0.00904 * WHL + 0.00373 * MASS + 3.51
LM7	0.00929 * RH - 0.10988 * SP - 0.00245 * DWPT - 0.05436 * HW - 0.00329 * MSTR + 0.01796 * SPD - 0.00273 * WHL - 0.00134 * MASS + 94.11
LM8	0.01141 * RH - 0.16542 * SP - 0.00245 * DWPT - 0.0178 * HW - 0.00329 * MSTR + 0.02672 * SPD - 0.00273 * WHL - 0.00134 * MASS + 140.64
LM9	-0.00229 * RH - 0.01067 * SP - 0.00164 * DWPT + 0.00579 * HW - 0.00329 * MSTR + 0.00319 * SPD - 0.00273 * WHL + 0.03947 * MASS + 8.13
LM10	-0.01787 * RH - 0.00539 * SP + 0.05541 * DWPT - 0.16787 * HW - 0.00276 * MSTR + 0.00131 * SPD + 0.00262 * WHL - 0.00023 * MASS + 6.40
LM11	0.00366 * RH + 0.01748 * SP + 0.02706 * DWPT - 0.00464 * HW - 0.01257 * MSTR + 0.0048 * SPD + 0.02062 * WHL - 0.00343 * MASS - 14.32
LM12	0.0029 * RH + 0.01128 * SP + 0.0069 * DWPT - 0.05688 * HW - 0.00367 * MSTR + 0.00931 * SPD + 0.02188 * WHL - 0.00631 * MASS - 8.79
LM13	0.0029 * RH + 0.01212 * SP + 0.00722 * DWPT - 0.01977 * HW - 0.00367 * MSTR + 0.00931 * SPD + 0.02188 * WHL - 0.00376 * MASS - 9.63
LM14	0.0029 * RH + 0.00838 * SP + 0.00476 * DWPT - 0.00464 * HW - 0.00367 * MSTR + 0.01108 * SPD + 0.02188 * WHL - 0.00549 * MASS - 6.42
LM15	0.00373 * RH + 0.00496 * SP - 0.08803 * DWPT - 0.00464 * HW - 0.00367 * MSTR + 0.00934 * SPD + 0.02188 * WHL - 0.00164 * MASS - 3.40
LM16	0.00198 * RH + 0.74949 * SP + 0.00476 * DWPT - 0.02018 * HW - 0.00367 * MSTR + 0.00732 * SPD + 0.07831 * WHL - 0.00023 * MASS - 634.49
LM17	0.00198 * RH + 0.30031 * SP + 0.00476 * DWPT - 0.02478 * HW - 0.00367 * MSTR + 0.00732 * SPD + 0.05658 * WHL - 0.00023 * MASS - 254.05
LM18	0.00087 * RH + 0.00081 * SP + 0.276 * DWPT - 0.094 * HW + 0.24 * MSTR - 0.0098 * WHL + 0.38 * MASS - 20.03

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizi sonucuna göre, en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik veri setinde elde edilmiş ve log(PM_1) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 15 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.27 ve 7.28'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.48'de verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, bağıl nem,

hava sıcaklığı, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil), kamyon teker sayısı, kamyon kütlesi ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, kamyon teker sayısı ve bağıl nemdir. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %23,17'si LM15'i, %0,67'si LM3 ve LM8'i temsil etmektedir.

Çizelge 7.27 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları

Model	log(PM_1) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.365, WHL ≤ 11, TMP ≤ 18.95, SP ≤ 853.7, RH ≤ 64.1
LM2	MSTR ≤ 0.365, WHL ≤ 11, TMP ≤ 18.95, SP ≤ 853.7, RH > 64.1, HW ≤ 1.75
LM3	MSTR ≤ 0.365, WHL ≤ 11, TMP ≤ 18.95, SP ≤ 853.7, RH > 64.1, HW > 1.75
LM4	MSTR ≤ 0.365, WHL ≤ 11, TMP ≤ 18.95, SP > 853.7
LM5	MSTR ≤ 0.365, WHL ≤ 11, TMP > 18.95
LM6	MSTR ≤ 0.365, WHL > 11, MASS ≤ 41.575, MSTR ≤ 0.32
LM7	MSTR ≤ 0.365, WHL > 11, MASS ≤ 41.575, MSTR > 0.32, HW ≤ 4.85
LM8	MSTR ≤ 0.365, WHL > 11, MASS ≤ 41.575, MSTR > 0.32, HW > 4.85
LM9	MSTR ≤ 0.17, WHL > 11, MASS > 41.575
LM10	MSTR ≤ 0.365 - > 0.17, WHL > 11, MASS > 41.575,
LM11	MSTR ≤ 0.71 - > 0.365, RH ≤ 69, WS ≤ 2.85
LM12	MSTR ≤ 0.71 - > 0.365, RH ≤ 69, WS > 2.85
LM13	MSTR > 0.71, RH ≤ 62.45
LM14	MSTR > 0.71, RH ≤ 69 - > 62.45
LM15	**MSTR > 0.365, RH > 69**

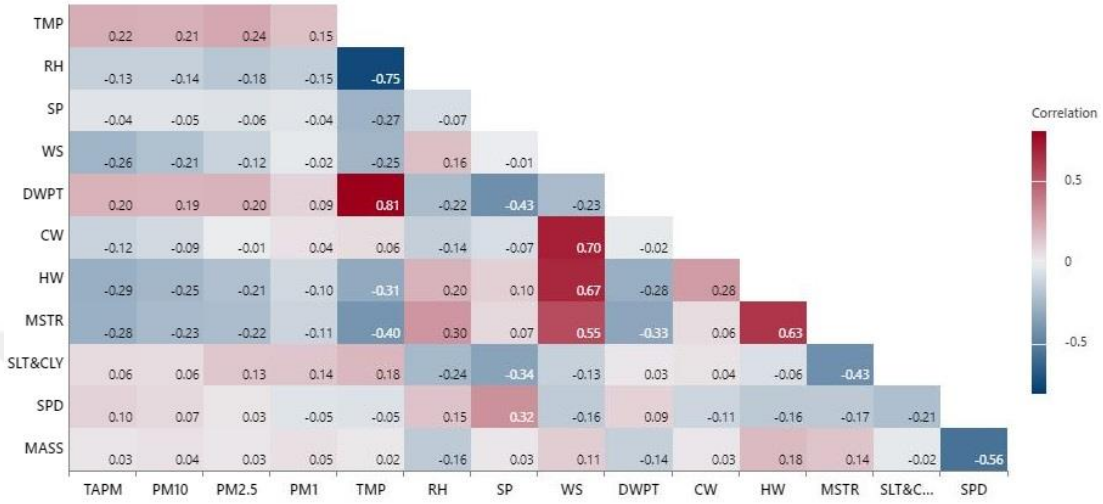
Çizelge 7.28 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_1) salınım kestirim denklemleri
LM1	0.02311 * TMP + 0.00494 * RH - 0.00898 * SP + 0.00042 * WS + 0.25904 * HW - 0.24571 * MSTR + 0.01041 * WHL + 0.0014 * MASS + 7.30
LM2	0.02311 * TMP - 0.148 * RH - 0.00898 * SP + 0.1443 * WS + 0.10818 * HW - 0.24571 * MSTR + 0.01041 * WHL + 0.0014 * MASS + 17.69
LM3	0.02311 * TMP - 0.07365 * RH - 0.00898 * SP + 0.24613 * WS + 0.10818 * HW - 0.24571 * MSTR + 0.01041 * WHL + 0.0014 * MASS + 12.82
LM4	0.0544 * TMP + 0.01575 * RH - 0.00898 * SP - 0.02723 * WS + 0.10745 * HW - 0.24571 * MSTR + 0.01041 * WHL + 0.0014 * MASS + 5.80
LM5	0.03993 * TMP + 0.0156 * RH - 0.00906 * SP - 0.02751 * WS + 0.02421 * HW - 0.24915 * MSTR + 0.01041 * WHL + 0.00141 * MASS + 6.45
LM6	0.05713 * TMP + 0.01472 * RH - 0.00438 * SP - 0.02409 * WS + 0.02287 * HW + 0.22463 * MSTR + 0.01438 * WHL + 0.00084 * MASS + 2.38
LM7	-0.05975 * TMP - 0.01251 * RH - 0.00438 * SP - 0.02409 * WS - 0.03581 * HW + 0.22463 * MSTR + 0.01438 * WHL - 0.0008 * MASS + 6.31
LM8	-0.10189 * TMP - 0.02329 * RH - 0.00438 * SP - 0.02409 * WS + 0.13432 * HW + 0.22463 * MSTR + 0.01438 * WHL - 0.0008 * MASS + 7.26
LM9	0.05275 * TMP + 0.00095 * RH - 0.00438 * SP - 0.08737 * WS + 0.04352 * HW + 1.94992 * MSTR + 0.01438 * WHL + 0.00343 * MASS + 3.34
LM10	0.1505 * TMP + 0.02623 * RH - 0.00438 * SP - 0.0851 * WS + 0.04352 * HW + 1.87543 * MSTR + 0.01438 * WHL + 0.00343 * MASS + 0.35
LM11	0.01066 * TMP - 0.0017 * RH + 0.02425 * SP + 0.02227 * WS - 0.01142 * HW - 0.00213 * MSTR - 0.00088 * WHL - 0.00527 * MASS - 20.16
LM12	0.11008 * TMP + 0.04891 * RH + 0.01553 * SP + 0.04352 * WS - 0.16099 * HW - 0.00213 * MSTR - 0.00088 * WHL - 0.00183 * MASS - 16.63
LM13	-0.01185 * TMP - 0.01253 * RH - 0.16512 * SP - 0.06695 * WS - 0.13834 * HW + 0.00034 * MSTR + 0.03392 * WHL - 0.00014 * MASS + 141.42
LM14	-0.00163 * TMP + 0.00127 * RH - 0.02643 * SP - 0.01051 * WS - 0.0043 * HW + 0.00262 * MSTR + 0.00455 * WHL - 0.00014 * MASS + 22.78
LM15	**0.00125 * TMP + 0.00117 * RH - 0.03763 * SP + 0.05539 * WS - 0.1673 * HW - 0.00082 * MSTR - 0.0017 * WHL - 0.00005 * MASS + 32.75**

7.4 Kalker İşletmesi (B) Taşıma Faaliyeti PM Salınımının Modellenmesi

Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti sırasında ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelerin ilgileşim matrisi Şekil 7.3'de verilmiştir. Her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile her bir bağımsız değişken (termal konfor parametreleri, makine özellikleri, nem ve silt+kil içeriği) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%29) düzeyde olduğundan herhangi bir bağımlı değişken üzerinde etki tek bir bağımsız değişken ile açıklanamamaktadır. Hava sıcaklığı ile

çiğ noktası sıcaklığı arasında, pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70), bağıl nem arasında ise negatif yönlü yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Malzeme nemi, silt+kil ve hava sıcaklığı ile arasında normal negatif yönlü ilgileşim (%70>R≥%40) vardır. Benzer şekilde; karşı rüzgâr hızı ile malzeme nemi ve rüzgâr hızı ile karşı ve yan rüzgâr hızları arasında pozitif yönlü normal ilgileşim bulunmaktadır.



Şekil 7.3 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyetinde ölçülen parametrelerin ilgileşim matrisi

7.4.1 Regresyon analizi

Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti sırasında ölçülen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 7.29'da verilmiştir. Buna göre, ham verilerden dönüştürülen yeni veri setlerinden doğal logaritma (ln) ve logaritma (log) setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerlerinin literatürde belirtilen aralıkta oldukları ve verilerin normal dağılıma uygun oldukları görülmüştür.

Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti sırasında ölçülen ve normal dağılım gösteren PM, termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri Çizelge 7.30'da verilmiştir. Kalker işletmesi (B) her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark bulunmamaktadır. Buna göre; TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ölçüm değerleri Kasım 2020 ayı diğer aylardan anlamlı olarak farklılık göstermektedir. Silt+kil'in Temmuz 2020, Ağustos 2020 aylarındaki ölçüm değerleri diğer aylardaki ölçüm değerlerinden anlamlı farklılıklar göstermektedir. log(TAPM) Ağustos 2020, Eylül 2020, Haziran 2021, Temmuz 2021, Eylül 2021 aylarındaki ölçüm değerleri ile Ağustos 2021 ayındaki ölçüm değeri arasında anlamlı farklılık yokken diğer aylar ile arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır. Yalnız Ağustos 2021 ile Temmuz 2020 arasında da anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır. Temmuz 2020, Ağustos 2021 ve Ekim 2020 arasında anlamlı farklılıklar göstermezken diğer aylarla anlamlı farklılıklar göstermektedir. Ekim 2021 ile Ekim 2020 ayları arasanda da anlamlı farklılıklar yoktur. Ekim 2021 diğer aylarla arasında anlamlı farklılıkları bulunmaktadır. Kasım 2020 ayındaki log(TAPM) değeri ile tüm aylar arasında anlamlı farklılıklar bulunmaktadır.

Çizelge 7.29 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM verilerinin normallik test analiz sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
Ham	TAPM	908,722 -1392,27	271,75 (6,3 - 6527,9)	2,208	4,470	<0,001
	PM_{10}	691,911 -1312,604	124,5 (2 - 6527,9)	2,658	6,750	<0,001
	$PM_{2,5}$	42,568 -80,163	12,9 (1,06 - 652,79)	3,977	18,834	<0,001
	PM_1	12,056 -51,218	2,15 (0,22 - 652,79)	8,105	74,704	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,457 -0,718**	**2,434 (0,799 - 3,815)**	**-0,006**	**-0,903**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**2,205 -0,757**	**2,095 (0,301 - 3,815)**	**0,367**	**-0,770**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**1,246 -0,526**	**1,111 (0,025 - 2,815)**	**0,729**	**-0,034**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,473 -0,517**	**0,332 (-0,658 - 2,815)**	**1,674**	**3,787**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,011 -0,018	0,004 (0 - 0,159)	2,505	7,241	<0,001
	1/PM_{10}	0,019 -0,029	0,008 (0 - 0,5)	5,429	66,901	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,098 -0,098	0,078 (0,002 - 0,943)	2,675	13,262	<0,001
	1/PM_1	0,524 -0,432	0,465 (0,002 - 4,545)	2,261	10,991	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	5,657 -1,652	5,605 (1,841 - 8,784)	-0,006	-0,903	<0,001
	ln(PM_{10})	5,078 -1,742	4,824 (0,693 - 8,784)	0,367	-0,770	<0,001
	ln($PM_{2,5}$)	2,868 -1,212	2,558 (0,058 - 6,481)	0,730	-0,034	<0,001
	ln(PM_1)	1,09 -1,191	0,765 (-1,514 - 6,481)	1,674	3,787	<0,001
ham/1000	TAPM/1000	0,909 -1,392	0,272 (0,006 - 6,528)	2,208	4,470	<0,001
	PM_{10}/1000	0,692 -1,313	0,125 (0,002 - 6,528)	2,658	6,750	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,043 -0,08	0,013 (0,001 - 0,653)	3,977	18,833	<0,001
	PM_1/1000	0,012 -0,051	0,002 (0 - 0,653)	8,103	74,685	<0,001

Boyut bazında partikül madde salınımı verisi kullanılarak diğer PM boyutlarının da salınım yoğunluğu kestirilebilmektedir. Bu amaca dönük olarak kalker işletmesi (B) taşıma faaliyetinde ölçülen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımları arasında ilgileşim analizleri yapılmıştır. Önce, normal dağılım göstermeyen ham veri setleri dönüştürülerek oluşan yeni veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu incelenmiş, normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayısına sahip veriler değerlendirmeye alınmıştır. Logaritmik ve doğal logaritmik dönüşümlerinin ilgileşim katsayıları eşit olduğu için değerlendirmeler doğal logaritmik veri setleri üzerinden yapılmıştır. PM ölçüm verilerinin birbirleriyle olan en yüksek ilgileşim katsayıları ve salınım kestirim denklemleri Çizelge 7.31'de verilmiştir. En düşük ilgileşim katsayısı 0,682 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM), en yüksek 0,984 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasında gerçekleşmiştir. PM_1 ile TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ ve $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10} arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değeri ham verilerin log ve ln'lerine dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. ln(PM_1) ile ln(TAPM) arasında normal ilgileşim, diğer veri setleri arasında ise yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Bu nedenle, bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları makul doğruluk payı ile hesaplanabilmektedir.

Kalker işletmesi (B) veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı (R^2<%44) sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 7.18 ve 7.19'da sunulmuştur.

Çizelge 7.30 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyetinde örneklenen PM salınımı, termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özelliklerinin betimleyici istatistikleri

	Parametre	Ay	Temmuz 2020	Ağustos 2020	Eylül 2020	Ekim 2020	Kasım 2020	Haziran 2021	Temmuz 2021	Ağustos 2021	Eylül 2021	Ekim 2021	p
Kalker (B) İşletmesi	log(TAPM)	Tukey	2,476 ±0,375^{c}	2,858 ±0,586^{d}	2,765 ±0,565^{d}	2,409 ±0,514^{bc}	1,841 ±0,718^{a}	2,79 ±0,533^{d}	2,823 ±0,521^{d}	2,591 ±0,827^{cd}	2,822 ±0,501^{d}	2,197 ±0,407^{b}	≤0,001
	ln(TAPM)	Tukey	5,702 ±0,864^{c}	6,581 ±1,349^{d}	6,367 ±1,3^{d}	5,547 ±1,184^{bc}	4,24 ±1,654^{a}	6,424 ±1,228^{d}	6,5 ±1,2^{d}	5,967 ±1,904^{cd}	6,499 ±1,153^{d}	5,06 ±0,936^{b}	≤0,001
	log(PM_{10})	Tukey	2,26 ±0,461^{cd}	2,65 ±0,694^{f}	2,542 ±0,688^{def}	2,095 ±0,561^{bc}	1,643 ±0,687^{a}	2,515 ±0,654^{def}	2,597 ±0,62^{ef}	2,313 ±0,953^{cde}	2,534 ±0,589^{def}	1,92 ±0,427^{ab}	≤0,001
	ln(PM_{10})	Tukey	5,205 ±1,062^{cd}	6,101 ±1,597^{f}	5,852 ±1,584^{de}	4,823 ±1,291^{bc}	3,784 ±1,583^{a}	5,79 ±1,507^{def}	5,98 ±1,428^{ef}	5,327 ±2,194^{cd}	5,834 ±1,356^{def}	4,422 ±0,983^{ab}	≤0,001
	log($PM_{2,5}$)	Tukey	1,197 ±0,51^{b}	1,57 ±0,61^{d}	1,514 ±0,674^{cd}	1,211 ±0,386^{b}	0,966 ±0,395^{a}	1,37 ±0,553^{bcd}	1,5 ±0,515^{cd}	1,258 ±0,708^{b}	1,345 ±0,422^{bc}	1,152 ±0,376^{ab}	≤0,001
	ln($PM_{2,5}$)	Tukey	2,756 ±1,175^{b}	3,615 ±1,406^{d}	3,485 ±1,552^{cd}	2,788 ±0,89^{b}	2,225 ±0,908^{a}	3,154 ±1,273^{bcd}	3,455 ±1,185^{cd}	2,898 ±1,63^{b}	3,096 ±0,971^{bc}	2,652 ±0,866^{ab}	≤0,001
	log(PM_{1})	Tukey	0,298 ±0,616^{a}	0,782 ±0,764^{c}	0,754 ±0,822^{c}	0,424 ±0,315^{ab}	0,393 ±0,38^{ab}	0,514 ±0,532^{ab}	0,579 ±0,555^{bc}	0,406 ±0,658^{ab}	0,47 ±0,409^{ab}	0,393 ±0,401^{ab}	≤0,001
	ln(PM_{1})	Tukey	0,687 ±1,419^{a}	1,801 ±1,76^{c}	1,737 ±1,892^{c}	0,976 ±0,725^{ab}	0,906 ±0,875^{ab}	1,184 ±1,226^{ab}	1,333 ±1,278^{bc}	0,934 ±1,515^{ab}	1,083 ±0,941^{ab}	0,906 ±0,924^{ab}	≤0,001
	TMP	Tukey	23,245 ±0,873^{g}	24,098±2,635^{gh}	25,049 ±1,045^{h}	17,457 ±1,338^{d}	9,165 ±2,755^{a}	15,154 ±3,449^{c}	19,138 ±1,605^{e}	21,062 ±2,905^{f}	12,074 ±4,747^{b}	11,465 ±1,435^{b}	≤0,001
	RH	Tukey	37,279 ±2,835^{a}	40,518±6,821^{ab}	40,849 ±2,35^{ab}	42,269 ±2,463^{b}	60,513 ±12,298^{d}	57,968 ±8,595^{cd}	55,121 ±4,067^{c}	58,961 ±11,092^{cd}	68,977 ±9,308^{e}	61,746 ±3,743^{d}	≤0,001
	SP	Tukey	860,524 ±2,593^{b}	855,43±7,139^{a}	871,567 ±0,076^{e}	877,876 ±0,055^{f}	866,821 ±7,154^{d}	862,768 ±2,853^{c}	862,618 ±0,091^{c}	862,411 ±0,371^{c}	863,129 ±1,486^{c}	867,007 ±0,266^{d}	≤0,001
	WS	Tukey	4,479 ±2,435^{e}	0,832 ±0,596^{a}	2,133 ±0,894^{d}	1,319 ±0,708^{c}	2,418 ±1,411^{d}	1,277 ±0,81^{bc}	2,315 ±0,89^{d}	0,852 ±0,805^{ab}	0,719 ±0,576^{a}	1,557 ±0,452^{c}	≤0,001
	DWPT	Tukey	7,828 ±1,087^{d}	9,625 ±1,171^{e}	10,806 ±0,789^{f}	4,481 ±0,715^{b}	1,545 ±1,39^{a}	6,756 ±2,193^{c}	9,872 ±0,551^{e}	12,44 ±1,184^{f}	6,366 ±2,783^{c}	4,352 ±0,543^{b}	≤0,001
	CW	Tukey	2,962 ±1,755^{f}	0,661±0,533^{bc}	1,929 ±0,891^{e}	0,62 ±0,419^{abc}	1,083 ±0,742^{d}	0,81 ±0,783^{cd}	2,029 ±0,862^{e}	0,477 ±0,579^{ab}	0,337 ±0,387^{a}	1,005 ±0,516^{d}	≤0,001
	HW	Tukey	3,134 ±2,092^{f}	0,036 ±0,582^{a}	-0,063 ±0,942^{a}	1,094 ±0,682^{d}	1,754 ±1,748^{e}	-0,201 ±0,996^{a}	0,579 ±0,981^{bc}	0,057 ±0,896^{a}	0,127 ±0,754^{ab}	1,072 ±0,449^{cd}	≤0,001
	MSTR	Tukey	0,891 ±0,11^{ab}	0,63 ±0,1^{a}	0,439 ±0,018^{a}	1,009 ±0,075^{ab}	5,738 ±4,629^{d}	2,222 ±2,372^{c}	0,623 ±0,021^{a}	1,824 ±1,957^{bc}	1,375 ±1,14^{abc}	1,832 ±1,173^{bc}	≤0,001
	SLT&CLY	Tukey	4,327 ±0,19^{f}	3,679 ±1,912^{e}	1,055 ±0,987^{c}	0,435 ±0,005^{ab}	0,727 ±1,042^{bc}	0,184 ±0,161^{a}	0,417 ±0,112^{ab}	0,69 ±0,561^{bc}	0,932 ±0,644^{c}	2,309 ±1,733^{d}	≤0,001
	SPD	Tukey	45,862 ±5,012^{b}	36,447±10,511^{a}	40 ±0^{a}	50 ±0^{cd}	38,799 ±8,691^{a}	58,417 ±7,22^{e}	53,8 ±9,199^{d}	47,843 ±9,917^{b}	50,89 ±6,86^{cd}	58,36 ±10,063^{e}	≤0,001
	MASS	Tukey	42,159 ±0,05^{c}	41,555 ±0,434^{c}	41,816 ±0,406^{c}	42,046 ±0,05^{c}	41,919 ±0,306^{c}	31,134±12,751^{ab}	30,473 ±12,86^{ab}	33,597 ±12,207^{b}	33,487 ±12,311^{b}	27,663 ±12,863^{a}	≤0,001

a-f: Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (PM ölçüm verileri)

a-h Her bir ölçüm değeri için aynı harfe sahip kompozitler arasında fark yoktur (Termal konfor parametreleri, makine ve malzeme özellikleri)

Çizelge 7.31 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-150,906 (-163,03 - -138,77)		-24,401	0,000			
	TAPM	0,927 (0,920 - 0,935)	0,984	249,29	0,000	0,984	0,984	1,0
$ln(PM_{2,5})$	(Sabit)	-0,693 (-0,789 - -0,597)		-14,189	0,000			
	ln(TAPM)	0,629 (0,613 - 0,646)	0,858	75,979	0,000	0,858	0,858	1,0
*$ln(PM_{2,5})$	(Sabit)	-0,332 (-0,400 - -0,264)		-9,548	0,000			
	$ln(PM_{10})$	0,630 (0,618 - 0,643)	0,906	97,302	0,000	0,906	0,906	1,0
$ln(PM_1)$	(Sabit)	-1,585 (-1,716 - -1,455)		-23,869	0,000			
	ln(TAPM)	0,478 (0,456 - 0,500)	0,682	42,386	0,000	0,682	0,682	1,0
*$ln(PM_1)$	(Sabit)	-1,365 (-1,469 - -1,261)		-25,708	0,000			
	$ln(PM_{10})$	0,489 (0,469 - 0,508)	0,736	49,413	0,000	0,736	0,736	1,0
**$ln(PM_1)$	(Sabit)	-1,346 (-1,402 - -1,290)		-47,007	0,000			
	$ln(PM_{2,5})$	0,859 (0,841 - 0,877)	0,899	93,387	0,000	0,899	0,899	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

PM_{10}; F= 62148,455, p≤0,001, Adj.R^2= 0,968, SE= 235,6

$ln(PM_{2,5})$; F= 5772,792, p≤0,001, Adj.R^2= 0,736, SE= 0,62

*$ln(PM_{2,5})$; F= 9467,665, p≤0,001, Adj.R^2= 0,821, SE= 0,51

$ln(PM_1)$; F= 1796,610, p≤0,001, Adj.R^2= 0,465, SE= 0,84

*$ln(PM_1)$; F= 2441,684, p≤0,001, Adj.R^2= 0,541, SE= 0,78

**$ln(PM_1)$; F= 8721,174, p≤0,001, Adj.R^2= 0,808, SE= 0,50

7.4.2 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

M5P karar ağacı algoritmasının kullanıldığı regresyon modelleri Çizelge 7.32'de verilmiştir. TAPM veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/TAPM karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 13 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.33 ve 7,34'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.49'da verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil), malzeme nemi, silt+kil, kamyon kütlesi ve kamyon hızıdır. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler malzeme nemi ve bağıl nemdir. Ayrıca veri setinin yaklaşık %32,36'sı LM4'ü, %1,16'sı LM9'u temsil etmektedir.

PM_{10} veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/PM_{10} karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 16 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.35 ve 7.36'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.50'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, kamyon hızı, çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil), malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi ve bağıl nemdir. Ayrıca veri setinin %21,45'i LM1'i, %0,53'ü LM15'i temsil etmektedir.

$PM_{2,5}$ veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/$PM_{2,5}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 23 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.37 ve 7.38'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.51'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil), istasyon basıncı, malzeme nemi, silt+kil, kamyon kütlesi ve kamyon hızıdır. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, malzeme nemi ve hava sıcaklığıdır. Veri setinin yaklaşık %15,07'si LM5'i, %0,14'ü LM12'yi temsil etmektedir.

Çizelge 7.32 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile modelleme sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	$log(PM_{10})$	$ln(PM_{10})$	$1/PM_{10}$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.5863	0.5863	0.8101	0.8013	**0.8533**	0.5507	0.5601	0.7677	0.7676	**0.8182**
	MAE	718.5238	0.7185	0.3299	0.7827	**0.005**	648.1518	0.638	0.3671	0.8456	**0.0081**
	RMSE	1128.6034	1.1286	0.4208	0.9887	**0.0093**	1097.1515	1.0891	0.4852	1.1172	**0.0169**
	RAE (%)	73.4005	73.4005	54.7852	56.4579	**40.8534**	75.4727	74.294	58.2229	58.2483	**42.648**
	RRSE (%)	81.0817	81.0816	58.6586	59.8563	**52.1566**	83.6061	82.9911	64.1321	64.1408	**57.7232**
	Model (düğüm) sayısı	14	14	18	16	**13**	16	17	16	16	**16**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.4662	0.463	0.7838	0.7799	**0.8331**	0.414	0.4403	0.7278	0.7265	**0.7722**
	MAE	781.2615	0.7827	0.3469	0.8099	**0.0052**	706.3184	0.6933	0.3916	0.903	**0.0086**
	RMSE	1235.0822	1.2376	0.4455	1.0339	**0.0099**	1198.7095	1.1806	0.5188	1.1969	**0.0186**
	RAE (%)	79.7423	79.8863	57.589	58.3959	**42.6468**	82.1687	80.6532	62.0884	62.1799	**45.6038**
	RRSE (%)	88.6452	88.8289	62.0801	62.5665	**55.2945**	91.2536	89.8722	68.5546	68.6891	**63.5197**
	Model (düğüm) sayısı	14	14	18	16	**13**	16	17	16	16	**16**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.473	0.473	0.7751	0.7708	**0.8146**	0.4453	0.4378	0.7306	0.7306	**0.7383**
	MAE	809.6656	0.8097	0.3639	0.8567	**0.0055**	742.1924	0.7234	0.4067	0.9365	**0.0092**
	RMSE	1280.4658	1.2805	0.4638	1.0791	**0.0112**	1234.7951	1.2366	0.5249	1.2086	**0.0211**
	RAE (%)	80.2677	80.2676	59.0356	60.3606	**44.1905**	83.712	82.5259	63.6748	63.677	**48.1993**
	RRSE (%)	88.1178	88.1175	63.1123	63.7669	**58.5313**	89.523	89.9166	68.3759	68.3765	**67.52**
	Model (düğüm) sayısı	14	14	18	16	**13**	16	17	16	16	**16**
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}/1000$	$log(PM_{2,5})$	$ln(PM_{2,5})$	$1/PM_{2,5}$	PM_1	$PM_1/1000$	$log(PM_1)$	$ln(PM_1)$	$1/PM_1$
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.5793	0.5792	0.6837	0.6837	**0.8417**	0.5737	0.5698	0.6429	0.6368	**0.7926**
	MAE	33.6151	0.0336	0.2756	0.6347	**0.0359**	13.6139	0.0137	0.2624	0.6009	**0.1899**
	RMSE	65.7575	0.0658	0.3845	0.8853	**0.053**	43.0299	0.0431	0.3867	0.8952	**0.264**
	RAE (%)	74.1489	74.1649	64.0911	64.0904	**51.7197**	82.4434	82.924	70.9726	70.5915	**59.9035**
	RRSE (%)	82.05	82.0548	73.0625	73.0618	**54.2849**	84.0338	84.1845	76.9453	77.3548	**61.1561**
	Model sayısı	22	22	20	20	**23**	17	23	22	24	**17**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.392	0.395	0.6212	0.621	**0.7773**	0.2907	0.2813	0.5287	0.5099	**0.7561**
	MAE	37.981	0.0378	0.3001	0.6877	**0.0401**	15.11	0.015	0.2788	0.6485	**0.1992**
	RMSE	74.0807	0.0739	0.4126	0.9504	**0.0615**	49.2315	0.0495	0.4267	0.9964	**0.2826**
	RAE (%)	83.7178	83.3892	69.7257	69.4001	**57.8356**	91.3841	90.834	75.3826	76.1151	**62.8064**
	RRSE (%)	92.3554	92.134	78.3539	78.3785	**62.94**	96.068	96.6061	84.8411	86.0086	**65.4536**
	Model (düğüm) sayısı	22	22	20	20	**23**	17	23	22	24	**17**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.3955	0.3956	0.6376	0.6639	**0.7517**	0.2	0.2002	0.5035	0.5283	**0.7574**
	MAE	39.7396	0.0398	0.306	0.6868	**0.0422**	15.3244	0.0153	0.2936	0.6649	**0.2059**
	RMSE	78.2701	0.0783	0.4242	0.9465	**0.0632**	50.1852	0.0502	0.4443	1.0389	**0.2872**
	RAE (%)	84.5337	84.5464	69.1113	67.3769	**60.8632**	93.2439	93.3275	77.8867	75.5165	**64.2232**
	RRSE (%)	91.8089	91.8031	77.2148	74.8174	**65.9393**	99.5308	99.528	86.4633	85.0065	**65.5118**
	Model (düğüm) sayısı	22	22	20	20	**23**	17	23	22	24	**17**

Çizelge 7.33 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları

Model	1/TAPM salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.95, RH ≤ 35.35, TMP ≤ 21.3
LM2	MSTR ≤ 0.95, RH ≤ 52.05 - > 35.35, TMP ≤ 21.3
LM3	MSTR ≤ 0.95, RH ≤ 52.05, TMP > 21.3
LM4	**MSTR ≤ 0.95, RH > 52.05**
LM5	MSTR ≤ 3.25 - > 0.95, RH ≤ 63.35
LM6	MSTR ≤ 4.41 - > 3.25, RH ≤ 63.35
LM7	MSTR > 4.41, RH ≤ 63.35
LM8	MSTR ≤ 2.57 - > 0.95, RH > 63.35, SPD ≤ 52.5, TMP ≤ 10
LM9	MSTR ≤ 2.57 - > 0.95, RH > 63.35, SPD ≤ 52.5, TMP > 10
LM10	MSTR > 2.57, RH > 63.35, SPD ≤ 52.5
LM11	MSTR ≤ 3.085 - > 0.95, RH > 63.35, SPD > 52.5, MASS ≤ 42.15
LM12	MSTR > 3.085, RH > 63.35, SPD > 52.5, MASS ≤ 42.15
LM13	MSTR > 0.95, RH > 63.35, SPD > 52.5, MASS > 42.15

Çizelge 7.34 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri

Model	1/TAPM salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.00002 * TMP + 0.00285 * RH + 0.00002 * WS + 0.00002 * HW + 0.00044 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD – 0.000002 * MASS - 0.08
LM2	-0.00002 * TMP - 0.00003 * RH + 0.00002 * WS + 0.00002 * HW + 0.00044 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD – 0.000002 * MASS + 0.006
LM3	-0.00033 * TMP - 0.00012 * RH + 0.00002 * WS + 0.00002 * HW + 0.00038 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD – 0.000002 * MASS + 0.016
LM4	**-0.00001 * TMP - 0.00004 * RH + 0.00055 * WS + 0.00002 * HW + 0.00504 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00007 * SPD - 0.00003 * MASS + 0.005**
LM5	-0.00001 * TMP + 0.00005 * RH + 0.00007 * WS + 0.00032 * HW - 0.0004 * MSTR - 0.00003 * SPD + 0.00001 * MASS + 0.005
LM6	-0.0008 * TMP + 0.00005 * RH + 0.00007 * WS + 0.0003 * HW + 0.00023 * MSTR - 0.00032 * SPD - 0.00006 * MASS + 0.038
LM7	0.00002 * TMP + 0.00019 * RH + 0.00007 * WS + 0.00028 * HW + 0.00004 * MSTR - 0.00015 * SPD + 0.00001 * MASS + 0.0012
LM8	0.00017 * TMP + 0.00472 * RH + 0.00092 * WS - 0.00043 * HW + 0.00113 * MSTR + 0.02961 * SLT&CLY - 0.00004 * SPD + 0.00001 * MASS - 0.37
LM9	-0.00025 * TMP + 0.00091 * RH + 0.00092 * WS - 0.00043 * HW + 0.00113 * MSTR + 0.00553 * SLT&CLY - 0.00004 * SPD + 0.00001 * MASS - 0.057
LM10	0.00274 * TMP - 0.001 * RH - 0.00219 * WS + 0.00346 * HW + 0.00294 * MSTR + 0.0008 * SLT&CLY - 0.00004 * SPD + 0.00001 * MASS + 0.060
LM11	0.00136 * TMP + 0.00023 * RH + 0.00018 * WS + 0.0001 * HW - 0.00083 * MSTR + 0.00054 * SLT&CLY - 0.00132 * SPD - 0.00001 * MASS + 0.061
LM12	0.00068 * TMP + 0.00023 * RH + 0.00018 * WS + 0.0001 * HW - 0.00137 * MSTR + 0.00054 * SLT&CLY - 0.00055 * SPD - 0.00001 * MASS + 0.019
LM13	0.00031 * TMP + 0.00026 * RH + 0.00239 * WS + 0.0001 * HW - 0.00487 * MSTR + 0.00054 * SLT&CLY - 0.00021 * SPD - 0.00002 * MASS + 0.0013

Çizelge 7.35 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları

Model	1/PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	**MSTR ≤ 0.68, RH ≤ 60.65**
LM2	MSTR ≤ 0.95 - > 0.68, RH ≤ 36.35, SLT&CLY ≤ 1.03
LM3	MSTR ≤ 0.95 - > 0.68, RH ≤ 60.65 - > 36.35, SLT&CLY ≤ 1.03
LM4	MSTR ≤ 0.95 - > 0.68, RH ≤ 60.65, SLT&CLY > 1.03
LM5	MSTR ≤ 0.95, RH > 60.65, SPD ≤ 52.5
LM6	MSTR ≤ 0.95, RH > 60.65, SPD > 52.5
LM7	MSTR > 0.95, RH ≤ 65.65, DWPT ≤ 3.95
LM8	MSTR ≤ 3.25 - > 0.95, RH ≤ 65.65, DWPT > 3.95
LM9	MSTR ≤ 4.41 - > 3.25, RH ≤ 65.65, DWPT > 3.95
LM10	MSTR > 4.41, RH ≤ 65.65, DWPT > 3.95
LM11	MSTR ≤ 1.06 - > 0.95, RH > 65.65, DWPT > 3.95
LM12	MSTR ≤ 6.57 - > 1.06, RH > 65.65, DWPT ≤ 3.85
LM13	MSTR ≤ 6.57 - > 1.06, RH > 65.65, DWPT ≤ 12.35 - > 3.85
LM14	MSTR ≤ 6.57 - > 0.95, RH > 65.65, DWPT >12.35, HW ≤ 1.55
LM15	MSTR ≤ 6.57 - > 0.95, RH > 65.65, DWPT >12.35, HW > 1.55
LM16	MSTR > 6.57, RH > 65.65

Çizelge 7.36 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri
LM1	**-0.000003 * RH + 0.00101 * WS - 0.00001 * DWPT – 0.000001 * HW + 0.00649 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00008 * SPD + 0.005**
LM2	-0.00017 * RH + 0.00067 * WS + 0.00014 * DWPT - 0.00001 * HW - 0.00507 * MSTR - 0.00018 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.03
LM3	-0.00007 * RH + 0.00366 * WS + 0.00004 * DWPT - 0.00001 * HW - 0.00094 * MSTR - 0.00018 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.010
LM4	-0.00005 * RH + 0.00007 * WS - 0.00001 * DWPT - 0.00001 * HW + 0.00092 * MSTR - 0.00032 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.009
LM5	-0.00001 * RH + 0.00005 * WS + 0.00012 * DWPT + 0.00003 * HW + 0.00044 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY - 0.00009 * SPD + 0.007
LM6	-0.00001 * RH + 0.00005 * WS - 0.00111 * DWPT + 0.00088 * HW - 0.01967 * MSTR - 0.00005 * SLT&CLY + 0.00028 * SPD + 0.009
LM7	0.00076 * RH + 0.00018 * WS + 0.00012 * DWPT + 0.0002 * HW - 0.00011 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00005 * SPD - 0.02
LM8	0.00006 * RH - 0.00009 * WS + 0.00007 * DWPT + 0.00361 * HW + 0.00026 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00005 * SPD + 0.007
LM9	0.00006 * RH - 0.0001 * WS - 0.00125 * DWPT + 0.00077 * HW + 0.00027 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00048 * SPD + 0.049
LM10	0.00033 * RH + 0.00018 * WS + 0.00016 * DWPT + 0.00061 * HW - 0 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00036 * SPD + 0.009
LM11	0.00005 * RH + 0.0008 * WS - 0.00264 * DWPT + 0.0007 * HW - 0.00271 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00004 * SPD + 0.075
LM12	0.00005 * RH + 0.0008 * WS - 0.00144 * DWPT + 0.0007 * HW - 0.00324 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00004 * SPD + 0.041
LM13	0.00005 * RH + 0.0008 * WS - 0.00118 * DWPT + 0.0007 * HW + 0.00013 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00004 * SPD + 0.019
LM14	0.00005 * RH + 0.0008 * WS + 0.00223 * DWPT + 0.00867 * HW - 0.00557 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00004 * SPD + 0.062
LM15	0.00005 * RH + 0.0008 * WS + 0.00223 * DWPT + 0.01818 * HW - 0.00557 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00004 * SPD + 0.084
LM16	0.00005 * RH - 0.0068 * WS + 0.00037 * DWPT + 0.01008 * HW + 0.00441 * MSTR - 0.00001 * SLT&CLY - 0.00004 * SPD - 0.00009

Çizelge 7.37 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları

Model	1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.95, TMP ≤ 10.45, SP ≤ 864.35, MASS ≤ 16.45
LM2	MSTR ≤ 0.95, TMP ≤ 17.55 - > 10.45, SP ≤ 864.35, MASS ≤ 16.45
LM3	MSTR ≤ 0.95, TMP ≤ 17.55, SP ≤ 864.35, MASS ≤ 42.15 - > 16.45
LM4	MSTR ≤ 0.95, TMP ≤ 17.55, SP ≤ 864.35, MASS > 42.15
LM5	**MSTR ≤ 0.95, TMP ≤ 17.55, SP > 864.35**
LM6	MSTR ≤ 0.95, TMP > 17.55, SLT&CLY ≤ 0.36
LM7	MSTR ≤ 0.95, TMP > 17.55, SLT&CLY > 0.36, SP ≤ 862.45, RH ≤ 51.95
LM8	MSTR ≤ 0.95, TMP > 17.55, SLT&CLY > 0.36, SP ≤ 862.45, RH > 51.95
LM9	MSTR ≤ 0.95, TMP > 17.55, SLT&CLY > 0.36, SP > 862.45, RH ≤ 43.4
LM10	MSTR ≤ 0.95, TMP > 17.55, SLT&CLY > 0.36, SP > 862.45, RH > 43.4
LM11	MSTR > 0.95, SP ≤ 863.65, RH ≤ 69.3, SLT&CLY ≤ 2.995, TMP ≤ 7.85
LM12	MSTR > 0.95, SP ≤ 863.65, RH ≤ 69.3, SLT&CLY ≤ 2.995, TMP ≤ 8.45 - > 7.85, HW ≤ -0.05
LM13	MSTR > 0.95, SP ≤ 863.65, RH ≤ 69.3, SLT&CLY ≤ 2.995, TMP ≤ 8.45 - > 7.85, HW > -0.05
LM14	MSTR > 0.95, SP ≤ 863.65, RH ≤ 57.15, SLT&CLY ≤ 2.995, TMP > 8.45, SPD ≤ 52.5
LM15	MSTR > 0.95, SP ≤ 863.65, RH ≤ 57.15, SLT&CLY ≤ 2.995, TMP > 8.45, SPD > 52.5
LM16	MSTR > 0.95, SP ≤ 863.65, RH ≤ 69.3 - > 57.15, SLT&CLY ≤ 2.995, TMP > 8.45
LM17	MSTR > 0.95, SP ≤ 863.65, RH ≤ 69.3, SLT&CLY > 2.995
LM18	MSTR ≤ 2.57 - > 0.95, SP ≤ 863.65, RH > 69.3
LM19	MSTR > 2.57, SP ≤ 863.65, RH > 69.3, MASS ≤ 42.15
LM20	MSTR > 2.57, SP ≤ 863.65, RH > 69.3, MASS > 42.15
LM21	MSTR > 0.95, SP > 863.65, TMP ≤ 9.25
LM22	MSTR > 0.95, SP ≤ 866.85 - > 863.65, TMP > 9.25
LM23	MSTR > 0.95, SP > 866.85, TMP > 9.25

Çizelge 7.38 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri

Model	1/$PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.009 * TMP - 0.0030 * RH - 0.0013 * SP - 0.0066 * WS - 0.0034 * CW + 0.00032 * HW - 0.175 * MSTR - 0.00062 * SLT&CLY - 0.00014 * SPD - 0.00065 * MASS + 1.69
LM2	-0.0064 * TMP - 0.0043 * RH - 0.0013 * SP - 0.0034 * WS - 0.0235 * CW + 0.00032 * HW - 0.30 * MSTR - 0.0006 * SLT&CLY - 0.00014 * SPD - 0.00065 * MASS + 1.80
LM3	-0.003 * TMP - 0.001 * RH - 0.0013 * SP + 0.0007 * WS - 0.0035 * CW + 0.00032 * HW - 0.042 * MSTR - 0.00062 * SLT&CLY - 0.00014 * SPD - 0.00062 * MASS + 1.33
LM4	-0.003 * TMP - 0.00004 * RH - 0.015 * SP + 0.0007 * WS - 0.018 * CW - 0.0065 * HW + 0.0027 * MSTR - 0.00062 * SLT&CLY - 0.00014 * SPD - 0.00026 * MASS + 13.41
LM5	**0.000001 * TMP - 0.0016 * RH - 0.0023 * SP + 0.028 * WS - 0.0333 * CW + 0.0003 * HW + 0.0027 * MSTR - 0.0006 * SLT&CLY - 0.00143 * SPD - 0.00011 * MASS + 2.24**
LM6	-0.03 * TMP + 0.0046 * RH + 0.014 * SP + 0.0001 * WS + 0.00128 * CW - 0.012 * HW + 0.14 * MSTR - 0.67 * SLT&CLY - 0.00014 * SPD - 0.00004 * MASS - 11.59
LM7	0.0004 * TMP + 0.00013 * RH + 0.0002 * SP - 0.0004 * WS + 0.0013 * CW + 0.0003 * HW + 0.074 * MSTR - 0.00043 * SLT&CLY - 0.0003 * SPD - 0.0002 * MASS - 0.15
LM8	0.00046 * TMP + 0.00013 * RH - 0.007 * SP - 0.012 * WS + 0.0019 * CW + 0.00067 * HW + 0.021 * MSTR - 0.00043 * SLT&CLY - 0.0032 * SPD - 0.0026 * MASS + 6.23
LM9	0.0029 * TMP - 0.0018 * RH + 0.0022 * SP - 0.0146 * WS + 0.0059 * CW - 0.0125 * HW + 0.0188 * MSTR - 0.00043 * SLT&CLY - 0.0003 * SPD - 0.0006 * MASS - 1.85
LM10	0.0447 * TMP + 0.0178 * RH + 0.0023 * SP + 0.0249 * WS + 0.006 * CW - 0.0254 * HW + 0.0188 * MSTR - 0.00043 * SLT&CLY - 0.0003 * SPD - 0.00061 * MASS - 3.77
LM11	0.0042 * TMP - 0.024 * RH - 0.0009 * SP + 0.00223 * WS - 0.0342 * CW - 0.0053 * HW - 0.0062 * MSTR + 0.0011 * SLT&CLY - 0.00098 * SPD - 0.00002 * MASS + 2.44
LM12	0.0042 * TMP - 0.027 * RH - 0.0009 * SP + 0.00223 * WS - 0.03 * CW - 0.02282 * HW - 0.00621 * MSTR + 0.0011 * SLT&CLY - 0.00098 * SPD - 0.00002 * MASS + 2.67
LM13	0.00419 * TMP - 0.02507 * RH - 0.00087 * SP + 0.00223 * WS - 0.03 * CW - 0.018 * HW - 0.006 * MSTR + 0.0011 * SLT&CLY - 0.00098 * SPD - 0.00002 * MASS + 2.54
LM14	-0.00007 * TMP + 0.0010 * RH + 0.00006 * SP + 0.0022 * WS - 0.004 * CW - 0.0053 * HW - 0.0062 * MSTR + 0.0011 * SLT&CLY - 0.002 * SPD - 0.00002 * MASS + 0.14
LM15	0.0023 * TMP + 0.0010 * RH + 0.00006 * SP + 0.0022 * WS - 0.004 * CW - 0.0052 * HW - 0.0062 * MSTR + 0.0011 * SLT&CLY - 0.002 * SPD - 0.00002 * MASS + 0.08
LM16	0.0042 * TMP + 0.0011 * RH - 0.00003 * SP + 0.00223 * WS - 0.017 * CW - 0.0053 * HW - 0.0062 * MSTR + 0.0011 * SLT&CLY - 0.0019 * SPD - 0.00002 * MASS + 0.11
LM17	0.0103 * TMP + 0.0020 * RH - 0.014 * SP + 0.00057 * WS + 0.0002 * CW - 0.019 * HW - 0.0062 * MSTR + 0.003 * SLT&CLY - 0.00062 * SPD - 0.00002 * MASS + 12.08
LM18	0.0096 * TMP + 0.0109 * RH - 0.0034 * SP + 0.009 * WS + 0.0002 * CW - 0.0074 * HW - 0.17 * MSTR - 0.00073 * SLT&CLY - 0.00482 * SPD - 0.00002 * MASS + 3.17
LM19	0.0096 * TMP + 0.0114 * RH - 0.0034 * SP + 0.009 * WS + 0.0002 * CW - 0.0074 * HW - 0.092 * MSTR - 0.00073 * SLT&CLY - 0.00017 * SPD - 0.00002 * MASS + 2.52
LM20	0.0096 * TMP + 0.0135 * RH - 0.0034 * SP + 0.009 * WS + 0.0002 * CW - 0.0074 * HW - 0.092 * MSTR - 0.00073 * SLT&CLY - 0.00017 * SPD - 0.00002 * MASS + 2.40
LM21	0.0117 * TMP - 0.0019 * RH + 0.0368 * SP + 0.0101 * WS - 0.0102 * CW - 0.0082 * HW + 0.0034 * MSTR - 0.0003 * SLT&CLY - 0.0015 * SPD + 0.00001 * MASS - 31.58
LM22	-0.018 * TMP - 0.0037 * RH - 0.00011 * SP + 0.0015 * WS - 0.0147 * CW + 0.019 * HW + 0.0005 * MSTR - 0.0003 * SLT&CLY - 0.0057 * SPD - 0.00086 * MASS + 1.00
LM23	-0.0008 * TMP - 0.00003 * RH + 0.00096 * SP + 0.044 * WS - 0.043 * CW - 0.019 * HW + 0.018 * MSTR - 0.0003 * SLT&CLY - 0.00008 * SPD + 0.00081 * MASS - 0.80

PM_1 veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/PM_1 karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 17 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.39 ve 7.40'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.52'de verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, bağıl nem, hava sıcaklığı, karşı ve yan rüzgâr hızları, kamyon kütlesi, silt+kil ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, silt+kil ve istasyon basıncıdır. Veri setinin yaklaşık %18,26'sı LM7'yi, %0,82'si LM2'yi temsil etmektedir.

Çizelge 7.39 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları

Model	1/PM_1 salınım kestirim kuralları
LM1	SLT&CLY ≤ 0.19, SP ≤ 865.25, MSTR ≤ 3.27, RH ≤ 57.7
LM2	SLT&CLY ≤ 0.19, SP ≤ 865.25, MSTR ≤ 2.57, RH > 57.7
LM3	SLT&CLY ≤ 0.19, SP ≤ 865.25, MSTR ≤ 3.27 - > 2.57, RH > 57.7
LM4	SLT&CLY ≤ 0.19, SP ≤ 864.95, MSTR > 3.27, RH ≤ 57.15
LM5	SLT&CLY ≤ 0.19, SP ≤ 865.25 - > 864.95, MSTR > 3.27, RH ≤ 57.15
LM6	SLT&CLY ≤ 0.19, SP ≤ 865.25, MSTR > 3.27, RH > 57.15
LM7	**SLT&CLY ≤ 0.19, SP > 865.25**
LM8	SLT&CLY > 0.19, SP ≤ 863.5, MSTR ≤ 0.575
LM9	SLT&CLY > 0.19, SP ≤ 863.5, MSTR ≤ 0.635 - > 0.575
LM10	SLT&CLY > 0.19, SP ≤ 863.5, MSTR ≤ 0.92 - > 0.635, TMP ≤ 21.55
LM11	SLT&CLY > 0.19, SP ≤ 863.5, MSTR ≤ 0.92 - > 0.635, TMP > 21.55
LM12	SLT&CLY > 0.19, SP ≤ 866.85 - > 863.5, MSTR ≤ 0.92, MASS ≤ 16.45
LM13	SLT&CLY > 0.19, SP ≤ 866.85 - > 863.5, MSTR ≤ 0.92, MASS > 16.45
LM14	SLT&CLY > 0.19, SP ≤ 865.5, MSTR > 0.92
LM15	SLT&CLY > 0.19, SP ≤ 866.85 - > 865.5, MSTR > 0.92, MASS ≤ 42.2
LM16	SLT&CLY > 0.19, SP ≤ 866.85 - > 865.5, MSTR > 0.92, MASS > 42.2
LM17	SLT&CLY > 0.19, SP > 866.85

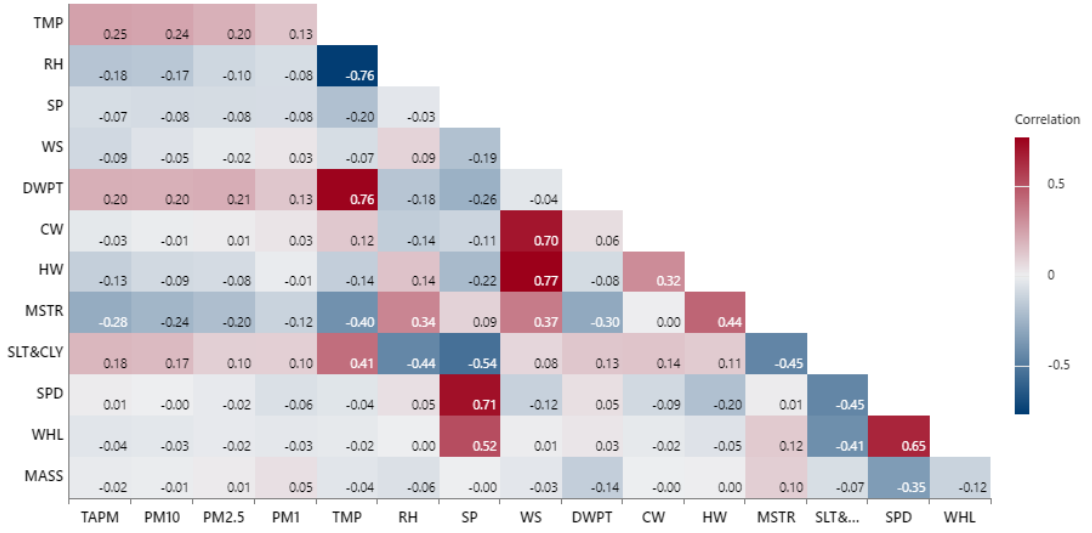
Çizelge 7.40 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_1 salınım kestirim denklemleri
LM1	0.03953 * TMP + 0.01916 * RH + 0.08359 * SP + 0.01421 * CW + 0.0172 * HW - 0.15879 * MSTR - 0.00052 * SLT&CLY - 0.00103 * MASS - 72.646
LM2	0.03835 * TMP + 0.08643 * RH + 0.08035 * SP - 0.05861 * CW + 0.0172 * HW - 0.42009 * MSTR - 0.00052 * SLT&CLY - 0.00094 * MASS - 72.914
LM3	0.03835 * TMP + 0.07748 * RH + 0.08035 * SP - 0.0274 * CW + 0.0172 * HW - 0.30477 * MSTR - 0.00052 * SLT&CLY - 0.00094 * MASS - 73.003
LM4	0.00108 * TMP + 0.003 * RH - 0.00437 * SP + 0.00045 * CW + 0.01254 * HW - 0.01069 * MSTR - 0.00052 * SLT&CLY + 0.00324 * MASS + 4.306
LM5	-0.04651 * TMP + 0.003 * RH + 2.04538 * SP - 0.16031 * CW + 0.01254 * HW - 0.01069 * MSTR - 0.00052 * SLT&CLY + 0.01257 * MASS - 1768.446
LM6	0.0056 * TMP + 0.00198 * RH + 0.00453 * SP - 0.00498 * CW + 0.01254 * HW - 0.01069 * MSTR - 0.00052 * SLT&CLY + 0.00612 * MASS - 3.668
LM7	**0.00405 * TMP - 0.00571 * RH + 0.00073 * SP - 0.0235 * CW + 0.00319 * HW + 0.02371 * MSTR - 0.00052 * SLT&CLY - 0.00004 * MASS + 0.203**
LM8	-0.00212 * TMP - 0.00346 * RH - 0.00021 * SP + 0.0005 * CW + 0.00631 * HW + 0.00829 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY - 0.00055 * MASS + 0.748
LM9	-0.06158 * TMP - 0.01715 * RH - 0.00021 * SP + 0.0005 * CW - 0.06635 * HW + 0.00829 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY - 0.01059 * MASS + 3.180
LM10	-0.00115 * TMP - 0.0013 * RH - 0.00021 * SP + 0.0005 * CW + 0.00726 * HW + 0.00829 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY - 0.00069 * MASS + 0.644
LM11	0.06621 * TMP - 0.0013 * RH - 0.00021 * SP + 0.0005 * CW + 0.01197 * HW + 0.00829 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY - 0.00069 * MASS - 0.763
LM12	-0.07079 * TMP - 0.0012 * RH - 0.00033 * SP - 0.01567 * CW + 0.00524 * HW + 0.00829 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY - 0.00177 * MASS + 1.610
LM13	-0.02127 * TMP - 0.0045 * RH + 0.20139 * SP - 0.06622 * CW + 0.00524 * HW + 0.00829 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY - 0.00086 * MASS - 173.212
LM14	0.03666 * TMP - 0.00122 * RH - 0.019 * SP - 0.00631 * CW - 0.05715 * HW + 0.01877 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY - 0.00113 * MASS + 16.622
LM15	0.05366 * TMP + 0.01758 * RH - 0.0001 * SP - 0.05161 * CW + 0.04069 * HW + 0.01877 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY - 0.00143 * MASS - 0.742
LM16	0.41265 * TMP + 0.3081 * RH - 0.0001 * SP - 0.06608 * CW + 0.159 * HW + 0.01877 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY - 0.00143 * MASS - 23.539
LM17	0.02066 * TMP + 0.00371 * RH - 0.00026 * SP + 0.0005 * CW + 0.03811 * HW + 0.232 * MSTR - 0.00025 * SLT&CLY + 0.00302 * MASS - 0.280

7.5 Kalker İşletmeleri Taşıma Faaliyeti PM Salınım Modellenmesi

Kalker işletmeleri (A) ve (B) taşıma faaliyetinde ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelerin verisi birleştirilmiş ve yeni setin ilgileşim matrisi Şekil 7.4'de verilmiştir. Her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile her bir bağımsız değişken (termal konfor parametreleri, makine özellikleri, nem ve silt+kil içeriği) arasındaki ilgileşim düşük (R≤%28) düzeyde olduğundan herhangi bir bağımlı değişken üzerinde etki tek bir bağımsız değişken ile

açıklanamamaktadır. Hava sıcaklığı malzeme nemi ile arasında negatif yönlü normal ilgileşim (%70>R≥%40), çiğ noktası sıcaklığı ile arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70) ve bağıl nem ile arasında ise negatif yönlü yüksek ilgileşim vardır. Benzer şekilde; silt+kil, hava sıcaklığı ile arasında pozitif yönlü normal ilgileşim, bağıl nem ve malzeme nemi ile arasında ise negatif yönlü normal ilgileşim bulunmaktadır. Ayrıca, rüzgâr hızı ile karşı ve yan rüzgâr hızları arasında pozitif yönlü yüksek bir ilgileşim vardır.



Şekil 7.4 Kalker işletmelerinde taşıma sırasında tüm parametrelerin ilgileşim matrisi

7.5.1 Regresyon analizi

Kalker işletmelerinde taşıma faaliyeti sırasında ölçülen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 7.41'de verilmiştir. Ham verilerden dönüştürülen yeni veri setlerinden doğal logaritma ve logaritma setlerine ait çarpıklık ve basıklık değerleri dikkate alındığında, veri setleri normal dağılıma uygundur.

Boyut bazında partikül madde salınımı verisi kullanılarak diğer PM boyutlarının da salınım yoğunluğu kestirilebilmektedir. Bu amaca dönük olarak kalker işletmelerinde taşıma faaliyetinde ölçülen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımları arasında ilgileşim analizleri yapılmıştır. Ham veya dönüştürüldükten sonra normal dağılıma uygunluk gösteren PM salınım veri setleri ile kestirim denklemleri üreten regresyon modelleri geliştirilmiştir (Çizelge 7.42). En düşük ilgileşim katsayısı 0,645 ile ln(PM_1) ve ln(TAPM), en yüksek katsayı 0,986 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. PM_1 ile diğer tüm PM'ler (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$) ve $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10} arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değerleri ham verilerin logaritma ve doğal logaritmasına dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. PM_1 ile TAPM salınım değerleri arasında normal ilgileşim, diğer veri setleri arasında yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Bu nedenle, PM boyutlarından herhangi birinin salınım ölçümünün yapılması ile diğer PM boyutlarının da salınım değerleri yüksek doğruluk ile hesaplanabilmektedir.

Kalker işletmelerinde birleştirilmiş veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 7.18 ve 7.19'da sunulmuştur.

Çizelge 7.41 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınım verisi normallik test analiz sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
ham	TAPM	948,01 ± 1399,82	314,6 (6,3 - 6527,9)	2,150	4,195	<0,001
	PM_{10}	735,47 ± 1337,95	146,8 (2 - 6527,9)	2,525	6,013	<0,001
	$PM_{2,5}$	45,61 ± 84,28	14,15 (1,06 - 652,79)	3,756	16,577	<0,001
	PM_1	14,53 ± 55,99	2,46 (0,06 - 652,79)	6,931	55,877	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,52 ± 0,68**	**2,5 (0,8 - 3,82)**	**-0,058**	**-0,771**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**2,27 ± 0,74**	**2,17 (0,3 - 3,82)**	**0,334**	**-0,746**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**1,27 ± 0,53**	**1,15 (0,03 - 2,82)**	**0,683**	**-0,074**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,51 ± 0,56**	**0,39 (-1,22 - 2,82)**	**1,497**	**3,204**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,01 ± 0,02	0 (0 - 0,16)	2,917	10,310	<0,001
	1/PM_{10}	0,02 ± 0,03	0,01 (0 - 0,5)	5,724	76,020	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,09 ± 0,1	0,07 (0 - 0,94)	2,585	11,775	<0,001
	1/PM_1	0,54 ± 0,75	0,41 (0 - 16,67)	9,759	145,131	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**5,8 ± 1,58**	**5,75 (1,84 - 8,78)**	**-0,058**	**-0,771**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**5,22 ± 1,7**	**4,99 (0,69 - 8,78)**	**0,334**	**-0,746**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,93 ± 1,22**	**2,65 (0,06 - 6,48)**	**0,683**	**-0,074**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**1,17 ± 1,28**	**0,9 (-2,81 - 6,48)**	**1,497**	**3,204**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	0,95 ± 1,4	0,31 (0,01 - 6,53)	2,150	4,195	<0,001
	PM_{10}/1000	0,74 ± 1,34	0,15 (0 - 6,53)	2,525	6,013	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,05 ± 0,08	0,01 (0 - 0,65)	3,756	16,579	<0,001
	PM_1/1000	0,01 ± 0,06	0 (0 - 0,65)	6,931	55,886	<0,001

Çizelge 7.42 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-156,58 (-166,145 - -147,01)		-32,100	0,000			
	TAPM	0,943 (0,937 - 0,948)	0,986	326,786	0,000	0,986	0,986	1,0
ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,783 (-0,877 - -0,690)		-16,387	0,000			
	ln(TAPM)	0,640 (0,625 - 0,656)	0,822	80,516	0,000	0,822	0,822	1,0
*ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,371 (-0,438 - -0,304)		-10,870	0,000			
	ln(PM_{10})	0,633 (0,620 - 0,645)	0,877	101,731	0,000	0,877	0,877	1,0
ln(PM_1)	(Sabit)	-1,710 (-1,836 - -1,584)		-26,587	0,000			
	ln(TAPM)	0,503 (0,482 - 0,524)	0,645	47,009	0,000	0,645	0,645	1,0
*ln(PM_1)	(Sabit)	-1,452 (-1,551 - -1,353)		-28,789	0,000			
	ln(PM_{10})	0,510 (0,492 - 0,528)	0,705	55,453	0,000	0,705	0,705	1,0
**ln(PM_1)	(Sabit)	-1,431 (-1,480 - -1,382)		-57,176	0,000			
	ln($PM_{2,5}$)	0,900 (0,885 - 0,916)	0,899	114,278	0,000	0,899	0,899	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

PM_{10}; F= 106788,343, p≤0,001, Adj.R^2= 0,972, SE= 225,17

ln($PM_{2,5}$); F= 6482,76, p≤0,001, Adj.R^2= 0,676, SE= 0,69

*ln($PM_{2,5}$); F= 10349,268, p≤0,001, Adj.R^2= 0,769, SE= 0,59

ln(PM_1); F= 2209,861, p≤0,001, Adj.R^2= 0,415, SE= 0,94

*ln(PM_1); F= 3075,072, p≤0,001, Adj.R^2= 0,497, SE= 0,87

**ln(PM_1); F= 13059,45, p≤0,001, Adj.R^2= 0,80, SE= 0,53

7.5.2 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınımlarının karar ağacı ile modellenmesi

Geleneksel regresyon modellerinde (toplu giriş ve aşamalı) düzeltilmiş belirlilik katsayısı düşük (R^2<%40) düzeyde kaldığı için karar ağacı algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir. M5P algoritmasıyla, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki regresyon analiz sonuçları Çizelge 7.43'de verilmiştir.

Çizelge 7.43 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	log(PM_{10})	ln(PM_{10})	1/PM_{10}
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.5698	0.5698	0.7387	0.7387	**0.8342**	0.5022	0.5022	0.6858	0.6858	**0.7619**
	MAE	735.2658	0.7353	0.3653	0.8412	**0.0045**	700.1109	0.7001	0.4212	0.9698	**0.0082**
	RMSE	1151.2555	1.1512	0.4609	1.0613	**0.0086**	1158.0526	1.1581	0.5375	1.2377	**0.017**
	RAE (%)	73.9689	73.9689	64.3763	64.3767	**45.9075**	77.7104	77.7101	68.9164	68.9159	**50.8225**
	RRSE (%)	82.2582	82.2579	67.421	67.4206	**55.2002**	86.5183	86.5184	72.7927	72.7924	**64.9233**
	Model (düğüm) sayısı	24	24	18	18	**21**	20	20	17	17	**14**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.4821	0.4794	0.728	0.728	**0.8169**	0.4061	0.4046	0.6686	0.6686	**0.7133**
	MAE	783.2759	0.7867	0.3705	0.853	**0.0047**	749.6509	0.7524	0.4264	0.9819	**0.0091**
	RMSE	1227.6891	1.2301	0.4687	1.0793	**0.009**	1225.9149	1.2272	0.5491	1.2643	**0.0183**
	RAE (%)	78.7686	79.1086	65.2644	65.2608	**47.5652**	83.1749	83.4823	69.7592	69.7589	**56.2446**
	RRSE (%)	87.6866	87.8616	68.5357	68.5412	**57.6766**	91.5497	91.6461	74.3374	74.3373	**70.0831**
	Model (düğüm) sayısı	24	24	18	18	**21**	20	20	17	17	**14**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.4863	0.4863	0.7088	0.7088	**0.7816**	0.431	0.4309	0.6482	0.6482	**0.7305**
	MAE	775.6289	0.7756	0.3814	0.8782	**0.0049**	727.6985	0.7277	0.4363	1.0045	**0.0089**
	RMSE	1220.2568	1.2202	0.4815	1.1088	**0.0097**	1198.9302	1.1989	0.5557	1.2794	**0.0149**
	RAE (%)	78.3805	78.38	67.2968	67.2996	**49.9121**	81.2238	81.2236	72.4268	72.4273	**57.6432**
	RRSE (%)	87.4914	87.4913	70.5572	70.5591	**62.5069**	90.3407	90.3412	76.1967	76.1972	**68.9553**
	Model (düğüm) sayısı	24	24	18	18	**21**	20	20	17	17	**14**
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}$/1000	log($PM_{2,5}$)	ln($PM_{2,5}$)	1/$PM_{2,5}$	PM_1	PM_1/1000	log(PM_1)	ln(PM_1)	1/PM_1
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.5212	0.5168	0.6723	0.6724	**0.6863**	0.4198	0.4082	**0.5457**	0.5457	0.5455
	MAE	37.9575	0.0385	0.2938	0.6765	**0.0459**	17.4056	0.0177	**0.303**	0.6978	0.2725
	RMSE	71.8881	0.0721	0.3948	0.9089	**0.0712**	50.5662	0.0508	**0.4474**	1.0303	0.6258
	RAE (%)	78.1957	79.218	67.8824	67.8839	**66.9222**	85.5025	87.1559	**78.081**	78.0808	74.6381
	RRSE (%)	85.4755	85.7282	74.123	74.118	**72.9151**	90.923	91.3855	**83.8722**	83.8722	84.0572
	Model sayısı	19	26	25	25	**18**	17	20	**19**	19	23
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.3973	0.3893	0.6071	0.6099	**0.6397**	0.2313	0.2347	**0.4882**	0.4882	0.4644
	MAE	40.9351	0.041	0.3132	0.7228	**0.0489**	18.8808	0.0189	**0.3148**	0.7249	0.2863
	RMSE	77.3569	0.0778	0.4234	0.9719	**0.0751**	54.5552	0.0545	**0.4656**	1.0722	0.6593
	RAE (%)	84.2624	84.3808	72.3567	72.5087	**71.3082**	92.7098	92.7034	**81.0805**	81.0806	78.4011
	RRSE (%)	91.9332	92.471	79.4658	79.2234	**76.949**	98.0608	98.0332	**87.2473**	87.247	88.5437
	Model (düğüm) sayısı	19	26	25	25	**18**	17	20	**19**	19	23
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.3495	0.3469	0.5817	0.5817	**0.5657**	0.326	0.2835	**0.4531**	0.4531	0.3628
	MAE	42.7283	0.0431	0.3146	0.7243	**0.0474**	18.6729	0.0193	**0.3233**	0.7445	0.2939
	RMSE	80.6708	0.0809	0.4271	0.9835	**0.0683**	54.6452	0.0555	**0.4845**	1.1156	0.7293
	RAE (%)	87.6918	88.248	73.5015	73.5035	**73.64**	89.6108	92.3417	**82.8718**	82.8732	82.0173
	RRSE (%)	94.5616	93.8963	81.3904	81.3899	**82.8289**	94.5774	96.0469	**89.2452**	89.2459	93.1749
	Model (düğüm) sayısı	19	26	25	25	**18**	17	20	**19**	19	23

TAPM veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/TAPM karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 21 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.44 ve 7.45'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.53'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (yan rüzgâr hızı dâhil), malzeme nemi, silt+kil, istasyon basıncı ve kamyon hızıdır. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, bağıl nem ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %18,61'i LM9'u, %1,41'i LM1'i temsil etmektedir.

Çizelge 7.44 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları

Model	1/TAPM salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.95, DWPT ≤ 4.15, RH ≤ 35.35, SLT&CLY ≤ 4.235
LM2	MSTR ≤ 0.95, DWPT ≤ 4.15, RH ≤ 68.05 - > 35.35, SLT&CLY ≤ 4.235
LM3	MSTR ≤ 0.95, DWPT ≤ 4.15, RH ≤ 68.05, SLT&CLY > 4.235
LM4	MSTR ≤ 0.95, DWPT ≤ 4.15, RH > 68.05
LM5	MSTR ≤ 0.185, DWPT > 4.15, SP ≤ 846.95
LM6	MSTR ≤ 0.95 - > 0.185, DWPT > 4.15, SP ≤ 846.95
LM7	MSTR ≤ 0.95, DWPT > 4.15, SP ≤ 861.95 - > 846.95, RH ≤ 52.05
LM8	MSTR ≤ 0.95, DWPT > 4.15, SP ≤ 861.95 - > 846.95, RH > 52.05
LM9	**MSTR ≤ 0.95, DWPT > 4.15, SP > 861.95**
LM10	MSTR > 0.95, RH ≤ 63.35, CW ≤ 0.25
LM11	MSTR > 0.95, RH ≤ 63.35, CW > 0.25, DWPT ≤ 3.05
LM12	MSTR > 0.95, RH ≤ 63.35, CW > 0.25, DWPT > 3.05, SP ≤ 867.05, TMP ≤ 17.55
LM13	MSTR > 0.95, RH ≤ 63.35, CW > 0.25, DWPT > 3.05, SP ≤ 867.05, TMP > 17.55
LM14	MSTR ≤ 3.25 - > 0.95, RH ≤ 63.35, CW > 0.25, DWPT > 3.05, SP > 867.05
LM15	MSTR > 3.25, RH ≤ 63.35, CW > 0.25, DWPT > 3.05, SP > 867.05
LM16	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH ≤ 85.3 - > 63.35, SP ≤ 853.55
LM17	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH > 85.3, SP ≤ 853.55
LM18	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH > 63.35, SP ≤ 863.75 - > 853.55
LM19	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH > 63.35, SP > 863.75, DWPT ≤ 4.05
LM20	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH > 63.35, SP > 863.75, DWPT > 4.05
LM21	MSTR > 9.045, RH > 63.35

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/PM_{10} karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 14 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.46 ve 7.47'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.54'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; bağıl nem, kamyon hızı, çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı (karşı rüzgâr hızı dâhil), istasyon basıncı, malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi ve bağıl nemdir. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin %20,90'ı LM10'u, %1,28'i LM3'ü temsil etmektedir.

Çizelge 7.45 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri

Model	1/TAPM salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.000005 * TMP - 0.00006 * RH + 0.000006 * SP + 0.00002 * WS - 0.000006 * CW + 0.0006 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD + 0.0070
LM2	-0.000005 * TMP - 0.00003 * RH + 0.000006 * SP + 0.00002 * WS - 0.000006 * CW + 0.0006 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD + 0.0015
LM3	-0.000005 * TMP - 0.00003 * RH + 0.000006 * SP + 0.00002 * WS - 0.000006 * CW + 0.0012 * MSTR - 0.00009 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD - 0.00037
LM4	-0.000005 * TMP - 0.000015 * RH + 0.000006 * SP + 0.00002 * WS - 0.000788 * CW + 0.0006 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD - 0.002
LM5	-0.00002 * TMP - 0.000003 * RH - 0.00003 * SP + 0.00001 * WS + 0.00001 * DWPT - 0.000017 * CW + 0.00043 * MSTR - 0.000002 * SLT&CLY - 0.000005 * SPD + 0.0267
LM6	-0.00002 * TMP - 0.000003 * RH - 0.0003 * SP + 0.00001 * WS + 0.00001 * DWPT - 0.0003 * CW + 0.0003 * MSTR - 0.000002 * SLT&CLY - 0.000005 * SPD + 0.284
LM7	-0.000047 * TMP + 0.000104 * RH + 0.000006 * SP - 0.000016 * WS + 0.000018 * DWPT + 0.000652 * CW + 0.000086 * MSTR + 0.000003 * SLT&CLY - 0.000006 * SPD - 0.004948
LM8	-0.000413 * TMP - 0.000011 * RH + 0.000006 * SP - 0.000006 * WS + 0.000018 * DWPT + 0.000052 * CW + 0.000086 * MSTR - 0.000255 * SLT&CLY - 0.000045 * SPD + 0.008561
LM9	**-0.000022 * TMP - 0.000006 * RH + 0.000127 * SP + 0.00052 * WS + 0.000015 * DWPT + 0.000011 * CW + 0.00143 * MSTR + 0.000003 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD - 0.108378**
LM10	-0.000055 * TMP - 0.000027 * RH + 0.000024 * SP + 0.0002 * WS + 0.000147 * DWPT + 0.000134 * CW + 0.00007 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.015485
LM11	-0.00016 * TMP - 0.000027 * RH + 0.000021 * SP + 0.0002 * WS + 0.000116 * DWPT + 0.000021 * CW + 0.00007 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.007404
LM12	-0.000155 * TMP - 0.000027 * RH + 0.000032 * SP + 0.0002 * WS + 0.00014 * DWPT + 0.000021 * CW + 0.00007 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.020516
LM13	-0.000141 * TMP - 0.000027 * RH + 0.000032 * SP + 0.0002 * WS + 0.00014 * DWPT + 0.000021 * CW + 0.00007 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.019139
LM14	-0.00018 * TMP - 0.00003 * RH + 0.00003 * SP + 0.0002 * WS + 0.00014 * DWPT + 0.000021 * CW + 0.000263 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.020145
LM15	-0.00018 * TMP - 0.00003 * RH + 0.00003 * SP + 0.0002 * WS + 0.00014 * DWPT + 0.00002 * CW + 0.0002 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.018
LM16	-0.000097 * TMP + 0.00004 * RH + 0.00004 * SP + 0.001484 * WS + 0.00013 * DWPT + 0.000017 * CW + 0.000095 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.032921
LM17	-0.000097 * TMP + 0.000161 * RH - 0.000136 * SP + 0.00099 * WS + 0.00013 * DWPT + 0.000017 * CW + 0.000095 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD + 0.123818
LM18	-0.000097 * TMP - 0.000016 * RH + 0.000212 * SP + 0.001176 * WS + 0.00013 * DWPT + 0.000017 * CW + 0.000095 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.14799
LM19	-0.000097 * TMP - 0.000016 * RH + 0.000032 * SP + 0.000572 * WS - 0.000366 * DWPT + 0.000017 * CW + 0.000095 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.011999
LM20	-0.000097 * TMP - 0.000016 * RH + 0.000032 * SP + 0.000572 * WS - 0.000308 * DWPT + 0.000017 * CW + 0.000095 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD - 0.017963
LM21	-0.000097 * TMP - 0.000913 * RH + 0.000046 * SP + 0.000359 * WS - 0.003758 * DWPT - 0.002374 * CW + 0.000129 * MSTR + 0.000011 * SLT&CLY - 0.000002 * SPD + 0.07691

Çizelge 7.46 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları

Model	1/PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.95, RH ≤ 60.75, DWPT ≤ 4.75, SLT&CLY ≤ 4.235
LM2	MSTR ≤ 0.95, RH ≤ 60.75, DWPT ≤ 4.75, SLT&CLY > 4.235
LM3	MSTR ≤ 0.95, RH ≤ 60.75, DWPT > 4.75, SLT&CLY ≤ 0.05
LM4	MSTR ≤ 0.95, RH ≤ 60.75, DWPT > 4.75, SLT&CLY ≤ 0.52 - > 0.05
LM5	MSTR ≤ 0.95, RH ≤ 60.75, DWPT > 4.75, SLT&CLY > 0.52, SP ≤ 847.05
LM6	MSTR ≤ 0.95, RH ≤ 60.75, DWPT > 4.75, SLT&CLY > 0.52, SP > 847.05
LM7	MSTR ≤ 0.95, RH > 60.75, SPD ≤ 32.5
LM8	MSTR ≤ 0.95, RH > 60.75, SPD ≤ 52.5 - > 32.5
LM9	MSTR ≤ 0.95, RH > 60.75, SPD > 52.5
LM10	**MSTR > 0.95, RH ≤ 65.55**
LM11	MSTR > 0.95, RH > 65.55, SP ≤ 853.1
LM12	MSTR > 0.95, RH > 65.55, SP ≤ 863.75 - > 853.1
LM13	MSTR > 0.95, RH > 65.55, SP ≤ 864.95 - > 863.75
LM14	MSTR > 0.95, RH > 65.55, SP > 864.95

Çizelge 7.47 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.000411 * RH + 0.000008 * SP + 0.00002 * WS - 0.000031 * DWPT + 0.000029 * MSTR - 0.000192 * SLT&CLY - 0.000528 * SPD + 0.049
LM2	-0.000001 * RH + 0.000008 * SP + 0.00002 * WS - 0.000031 * DWPT + 0.000029 * MSTR - 0.000328 * SLT&CLY - 0.000059 * SPD + 0.00297
LM3	0.0000005 * RH + 0.000008 * SP + 0.00002 * WS - 0.000051 * DWPT + 0.000029 * MSTR - 0.00755 * SLT&CLY - 0.000015 * SPD + 0.011404
LM4	0.0000005 * RH + 0.000008 * SP + 0.00002 * WS - 0.000051 * DWPT + 0.000029 * MSTR - 0.002846 * SLT&CLY - 0.000015 * SPD + 0.001548
LM5	-0.000039 * RH - 0.00088 * SP + 0.00002 * WS - 0.000037 * DWPT + 0.000029 * MSTR - 0.000043 * SLT&CLY - 0.000013 * SPD + 0.749614
LM6	0.000083 * RH + 0.000012 * SP + 0.00002 * WS - 0.000465 * DWPT + 0.000029 * MSTR - 0.000043 * SLT&CLY - 0.000109 * SPD + 0.000514
LM7	-0.000314 * RH + 0.000008 * SP + 0.00002 * WS - 0.000036 * DWPT + 0.000029 * MSTR - 0.000017 * SLT&CLY - 0.000012 * SPD + 0.021539
LM8	-0.000006 * RH + 0.000008 * SP + 0.00002 * WS + 0.000067 * DWPT + 0.000029 * MSTR - 0.000017 * SLT&CLY - 0.000005 * SPD - 0.003382
LM9	-0.000006 * RH + 0.000008 * SP + 0.00002 * WS - 0.000634 * DWPT + 0.000029 * MSTR - 0.000017 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD + 0.002368
LM10	**0.00002 * RH + 0.000027 * SP + 0.00291 * WS - 0.000534 * DWPT + 0.00007 * HW + 0.00004 * MSTR + 0.000012 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD- 0.010783**
LM11	0.001157 * RH + 0.000268 * SP + 0.000166 * WS + 0.000035 * DWPT + 0.006868 * HW - 0.00001 * MSTR + 0.000012 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD- 0.309451
LM12	0.000042 * RH - 0.000147 * SP + 0.000166 * WS + 0.000035 * DWPT + 0.001705 * HW - 0.00001 * MSTR + 0.000012 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD+ 0.205963
LM13	0.000042 * RH - 0.000358 * SP + 0.000166 * WS + 0.000035 * DWPT + 0.001705 * HW - 0.00001 * MSTR + 0.000012 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD+ 0.328938
LM14	0.00005 * RH + 0.000108 * SP + 0.000166 * WS + 0.000035 * DWPT + 0.002502 * HW + 0.001964 * MSTR + 0.000012 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD- 0.068826

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analizi sonucuna göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/$PM_{2,5}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 18 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.48 ve 7.49'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.55'de verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, karşı ve yan rüzgâr hızları, istasyon basıncı, malzeme nemi, silt+kil, kamyon kütlesi ve kamyon hızıdır. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise istasyon basıncı, malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %32,50'si LM6'yı, %1,41'i LM16'yı temsil etmektedir.

Çizelge 7.48 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti $1/PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları

Model	$1/PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.95, SP ≤ 858.75, DWPT ≤ 7.55, SLT&CLY ≤ 4.16
LM2	MSTR ≤ 0.95, SP ≤ 858.75, DWPT ≤ 7.55, SLT&CLY > 4.16
LM3	MSTR ≤ 0.4, SP ≤ 858.75, DWPT > 7.55
LM4	MSTR ≤ 0.95 - > 0.4, SP ≤ 858.75, DWPT > 7.55, MASS ≤ 42.05
LM5	MSTR ≤ 0.95 - > 0.4, SP ≤ 858.75, DWPT > 7.55, MASS > 42.05
LM6	**MSTR ≤ 0.95, SP > 858.75**
LM7	MSTR > 0.95, SP ≤ 852.95, RH ≤ 61.75
LM8	MSTR > 0.95, SP ≤ 852.95, RH > 61.75, HW ≤ 0.35
LM9	MSTR > 0.95, SP ≤ 852.95, RH ≤ 88.85 - > 61.75, HW > 0.35, DWPT > 2.35
LM10	MSTR > 0.95, SP ≤ 852.95, RH ≤ 88.85 - > 61.75, HW > 0.35, DWPT ≤ 2.35
LM11	MSTR > 0.95, SP ≤ 852.95, RH > 88.85, HW > 0.35
LM12	MSTR > 0.95, SP ≤ 864.05 - > 852.95, RH ≤ 69.3, SLT&CLY ≤ 2.995
LM13	MSTR > 0.95, SP ≤ 864.05 - > 852.95, RH ≤ 69.3, SLT&CLY > 2.995
LM14	MSTR > 0.95, SP ≤ 864.05 - > 852.95, RH > 69.3
LM15	MSTR > 0.95, SP > 864.05, DWPT ≤ 3.85
LM16	MSTR > 0.95, SP ≤ 867.05 - > 864.05, DWPT > 3.85, MSTR ≤ 1.06
LM17	MSTR > 0.95, SP ≤ 867.05 - > 864.05, DWPT > 3.85, MSTR > 1.06
LM18	MSTR > 0.95, SP > 867.05, DWPT > 3.85

Çizelge 7.49 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti $1/PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri

Model	$1/PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.00001 * RH + 0.00025 * SP - 0.0002 * DWPT + 0.00012 * CW + 0.00627 * MSTR - 0.00059 * SLT&CLY - 0.00055 * SPD - 0.00001 * MASS - 0.05256
LM2	-0.00001 * RH + 0.00025 * SP - 0.0002 * DWPT + 0.00012 * CW + 0.00627 * MSTR - 0.00009 * SLT&CLY - 0.0019 * SPD - 0.00001 * MASS - 0.07715
LM3	-0.00066 * RH + 0.0056 * SP - 0.00009 * DWPT + 0.00012 * CW + 0.0036 * MSTR + 0.00015 * SLT&CLY - 0.00007 * SPD - 0.0003 * MASS - 4.64253
LM4	-0.00007 * RH + 0.00028 * SP - 0.00009 * DWPT + 0.00012 * CW + 0.0036 * MSTR + 0.00015 * SLT&CLY - 0.00007 * SPD + 0.00025 * MASS - 0.18192
LM5	-0.00007 * RH + 0.00028 * SP - 0.00009 * DWPT + 0.00012 * CW + 0.0036 * MSTR + 0.00015 * SLT&CLY - 0.00007 * SPD + 0.00029 * MASS - 0.12677
LM6	**-0.00046 * RH + 0.00002 * SP - 0 * DWPT + 0.0001 * CW + 0.05673 * MSTR - 0.00529 * SLT&CLY - 0.00173 * SPD - 0.00136 * MASS + 0.17304**
LM7	-0.00017 * RH + 0.00049 * SP + 0.00021 * DWPT + 0.08061 * CW + 0.0027 * HW + 0.00019 * MSTR + 0.00133 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD - 0.30683
LM8	-0.00012 * RH + 0.00049 * SP + 0.00011 * DWPT + 0.00215 * CW + 0.00405 * HW + 0.00019 * MSTR + 0.00133 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD - 0.36664
LM9	-0.00004 * RH + 0.00049 * SP + 0.00024 * DWPT + 0.00215 * CW + 0.00287 * HW + 0.00019 * MSTR + 0.00133 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD - 0.33976
LM10	-0.00004 * RH + 0.00049 * SP + 0.00024 * DWPT + 0.00215 * CW + 0.00287 * HW + 0.00019 * MSTR + 0.00133 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD - 0.35799
LM11	0.00005 * RH + 0.00049 * SP + 0.00024 * DWPT + 0.00215 * CW + 0.00287 * HW + 0.00019 * MSTR + 0.00133 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD - 0.33304
LM12	0.001 * RH + 0.00091 * SP + 0.00074 * DWPT + 0.00243 * CW + 0.00217 * HW + 0.00019 * MSTR + 0.00475 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD - 0.72399
LM13	0.001 * RH + 0.00091 * SP + 0.00074 * DWPT + 0.00243 * CW + 0.00217 * HW + 0.00019 * MSTR + 0.00684 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD - 0.64855
LM14	0.00235 * RH + 0.00091 * SP + 0.00074 * DWPT + 0.00243 * CW + 0.00217 * HW + 0.00019 * MSTR + 0.00226 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD - 0.56504
LM15	0.00002 * RH - 0.00002 * SP - 0.00067 * DWPT + 0.0005 * CW + 0.0002 * HW + 0.0025 * MSTR + 0.00048 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD - 0.00095 * MASS + 0.20024
LM16	0.00002 * RH - 0.00002 * SP - 0.00064 * DWPT + 0.0005 * CW + 0.0002 * HW + 0.00106 * MSTR + 0.00048 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD + 0.00002 * MASS + 0.07468
LM17	0.00002 * RH - 0.00002 * SP - 0.00064 * DWPT + 0.0005 * CW + 0.0002 * HW + 0.00061 * MSTR + 0.00048 * SLT&CLY - 0.00351 * SPD + 0.00002 * MASS + 0.30354
LM18	0.00002 * RH - 0.00002 * SP - 0.00064 * DWPT + 0.0005 * CW + 0.0002 * HW + 0.00053 * MSTR + 0.00048 * SLT&CLY - 0.00003 * SPD + 0.00002 * MASS + 0.11204

PM_1 veri setinde en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşüm ile ulaşılmış ve log(PM_1) karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 19 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.50 ve 7.51'de, modele ait karar karar ağacı Şekil EK-1.56'da verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; istasyon basıncı, bağıl nem, karşı rüzgâr hızı, kamyon kütlesi, kamyon hızı,

kamyon teker sayısı, silt+kil ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, bağıl nem, silt+kil ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %14,37'si LM18'i, %0,9'u LM7'yi temsil etmektedir.

Çizelge 7.50 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim kuralları

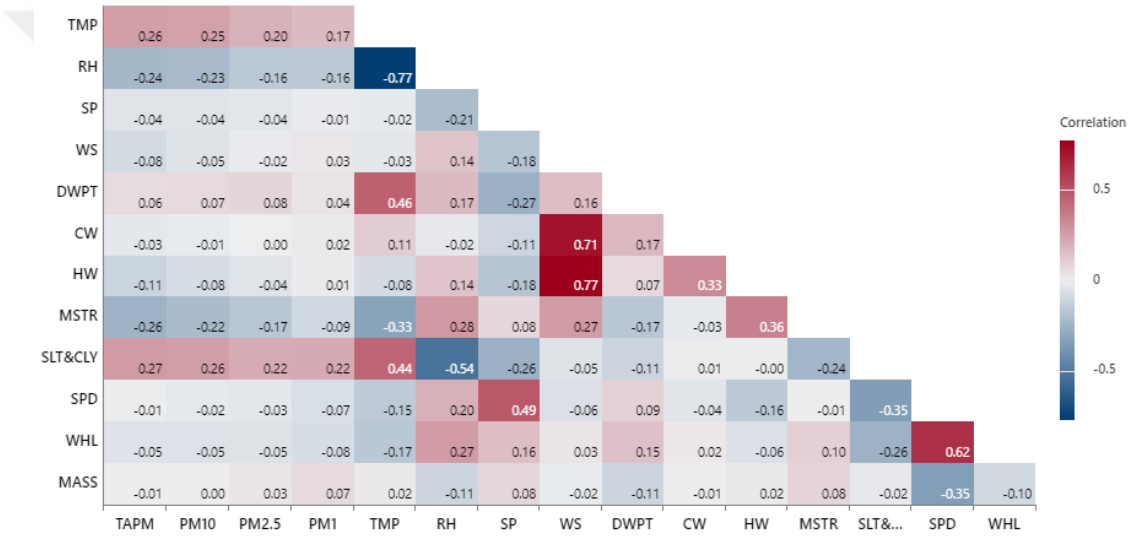
Model	log(PM_1) salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.68, SLT&CLY ≤ 2.385, RH ≤ 71.55
LM2	MSTR ≤ 0.695 - > 0.68, SLT&CLY ≤ 2.385, RH ≤ 71.55
LM3	MSTR ≤ 0.695, SLT&CLY ≤ 2.385, RH > 71.55
LM4	MSTR ≤ 0.695, SLT&CLY ≤ 7.635 - > 2.385, WHL ≤ 11, MASS ≤ 46.3
LM5	MSTR ≤ 0.695, SLT&CLY ≤ 7.635 - > 2.385, WHL ≤ 11, MASS > 46.3
LM6	MSTR ≤ 0.695, SLT&CLY ≤ 7.635 - > 2.385, WHL > 11, SP ≤ 846.95, MASS ≤ 41.575
LM7	MSTR ≤ 0.695, SLT&CLY ≤ 7.635 - > 2.385, WHL > 11, SP ≤ 846.95, MASS > 41.575
LM8	MSTR ≤ 0.695, SLT&CLY ≤ 7.635 - > 2.385, WHL > 11, SP > 846.95, RH ≤ 43.4
LM9	MSTR ≤ 0.695, SLT&CLY ≤ 7.635 - > 2.385, WHL > 11, SP > 846.95, RH > 43.4
LM10	MSTR ≤ 0.695, SLT&CLY > 7.635
LM11	MSTR ≤ 1.115 - > 0.695, MASS ≤ 41.75
LM12	MSTR ≤ 1.115 - > 0.695, MASS > 41.75
LM13	MSTR ≤ 1.735 - > 1.115, RH ≤ 72.25, SP ≤ 865.35
LM14	MSTR > 1.735, RH ≤ 72.25, SP ≤ 848.6, SPD ≤ 52.5
LM15	MSTR ≤ 6.17 - > 1.735, RH ≤ 72.25, SP ≤ 865.35 - > 848.6, SPD ≤ 52.5
LM16	MSTR > 6.17, RH ≤ 72.25, SP ≤ 865.35 - > 848.6, SPD ≤ 52.5
LM17	MSTR > 1.735, RH ≤ 72.25, SP ≤ 865.35, SPD > 52.5
LM18	**MSTR > 1.115, RH ≤ 72.25, SP > 865.35**
LM19	MSTR > 1.115, RH > 72.25

Çizelge 7.51 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti log(PM_1) salınım kestirim denklemleri

Model	log(PM_1) salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.00021 * RH - 0.00007 * SP - 0.05223 * HW + 0.02551 * MSTR + 0.17888 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.005 * WHL + 0.00047 * MASS + 0.45565
LM2	-0.00021 * RH - 0.00007 * SP - 0.01421 * HW + 0.08397 * MSTR + 0.02495 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.005 * WHL + 0.00102 * MASS + 0.82642
LM3	-0.01195 * RH - 0.00007 * SP - 0.01004 * HW + 0.0456 * MSTR + 0.01128 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.005 * WHL + 0.00064 * MASS + 1.39861
LM4	-0.00063 * SP - 0.01568 * MSTR - 0.00122 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.02228 * WHL + 0.00167 * MASS + 0.70196
LM5	-0.00063 * SP - 0.01568 * MSTR - 0.00122 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.02228 * WHL + 0.00151 * MASS + 1.02337
LM6	-0.0004 * SP - 0.01568 * MSTR - 0.00122 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.01736 * WHL + 0.00101 * MASS + 1.09474
LM7	-0.0004 * SP - 0.01568 * MSTR - 0.00122 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.01736 * WHL + 0.00231 * MASS + 1.50151
LM8	-0.00146 * RH - 0.0004 * SP - 0.01568 * MSTR - 0.00122 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.01736 * WHL + 0.02092 * MASS + 0.28003
LM9	-0.00308 * RH - 0.0004 * SP - 0.01568 * MSTR - 0.00122 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.01736 * WHL + 0.00199 * MASS + 0.78785
LM10	-0.00007 * SP - 0.01568 * MSTR - 0.00372 * SLT&CLY - 0.00001 * SPD + 0.02232 * WHL - 0.00427 * MASS + 0.38875
LM11	0.00008 * RH + 0.0214 * SP - 0.00076 * HW + 1.38633 * MSTR - 0.00017 * SLT&CLY - 0.00274 * SPD + 0.00029 * WHL - 0.00057 * MASS - 18.8854
LM12	0.00008 * RH + 0.00083 * SP - 0.00076 * HW - 0.01412 * MSTR - 0.00017 * SLT&CLY + 0.00656 * SPD + 0.00029 * WHL + 0.02811 * MASS - 1.77793
LM13	0.00017 * RH - 1.27891 * SP - 0.00161 * HW + 0.00094 * MSTR - 0.00017 * SLT&CLY + 0.00105 * SPD + 0.00029 * WHL - 0.00002 * MASS + 1089.560
LM14	0.00017 * RH - 0.00545 * SP - 0.00161 * HW + 0.00563 * MSTR - 0.00017 * SLT&CLY + 0.00145 * SPD + 0.00029 * WHL - 0.00002 * MASS + 4.99167
LM15	0.00017 * RH - 0.00398 * SP - 0.00161 * HW + 0.00608 * MSTR - 0.00017 * SLT&CLY + 0.00145 * SPD + 0.00029 * WHL - 0.00002 * MASS + 3.45851
LM16	0.00017 * RH - 0.00398 * SP - 0.00161 * HW + 0.00672 * MSTR - 0.00017 * SLT&CLY + 0.00145 * SPD + 0.00029 * WHL - 0.00002 * MASS + 3.5958
LM17	0.00017 * RH - 0.00468 * SP - 0.00161 * HW + 0.00367 * MSTR - 0.00017 * SLT&CLY + 0.00237 * SPD + 0.00029 * WHL - 0.00002 * MASS + 4.30085
LM18	**-0.00731 * RH - 0.00098 * SP - 0.00161 * HW + 0.00012 * MSTR - 0.00017 * SLT&CLY + 0.00021 * SPD + 0.00029 * WHL + 0.00232 * MASS + 1.427**
LM19	0.00045 * RH - 0.04913 * SP - 0.15026 * HW + 0.00037 * MSTR - 0.00017 * SLT&CLY - 0.00007 * SPD + 0.00029 * WHL + 0.00002 * MASS + 42.64403

7.6 Tüm işletmelerin Taşıma Faaliyeti PM Salınımlarının Modellenmesi

Bu bölümde alçıtaşı, kalker (A) ve kalker (B) işletmelerindeki taşıma faaliyeti sırasında ölçülen ve hesaplanan tüm parametrelere ait veriler bir tablolama programı yardımıyla birleştirilmiştir. İlgileşim matrisi Şekil 7.5'de verilen bağımlı değişkenler (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile her bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, makine özellikleri, nem ve silt+kil içeriği) arasındaki ilgileşim düşük (R<%30) düzeyde olduğundan herhangi bir bağımlı değişken üzerindeki etki tek bir bağımsız değişken ile açıklanamamaktadır. Hava sıcaklığı, silt+kil ve çiğ noktası sıcaklığı ile arasında pozitif yönlü normal ilgileşim (%70>R≥%40), bağıl nem ile arasında ise negatif yönlü yüksek ilgileşim (R≥%70) bulunmaktadır. Benzer şekilde; bağıl nem ile silt+kil arasında negatif yönlü normal ilgileşim vardır. Ayrıca, rüzgâr hızı ile karşı ve yan rüzgâr hızları arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim bulunmaktadır



Şekil 7.5 Tüm işletmelerdeki taşıma faaliyetinde parametrelerin ilgileşim matrisi

7.6.1 Regresyon analizi

Alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde taşıma faaliyeti sırasında ölçülen ve birleştirilen PM'lerin normallik test analiz sonuçları Çizelge 7.52'de verilmiştir. Buna göre, ham verilerden dönüştürülen yeni veri setlerinden doğal logaritmik ve logaritmik setlere ait çarpıklık ve basıklık değerlerinin literatürde belirtilen aralıkta oldukları ve verilerin normal dağılıma uygun oldukları görülmüştür.

TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Önce, tüm işletmelerin taşıma faaliyeti sırasında ölçümü yapılan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ PM_1 salınımlarının normal dağılıma uygunluğu analiz edilmiş ve normal dağılım göstermeyen ham veri setleri dönüştürülerek oluşan yeni veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu incelenmiştir. Normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayısına sahip veri setleri değerlendirmeye alınmıştır. PM salınım kestirim denklemleri Çizelge 7.53'de verilmiştir. En düşük ilgileşim katsayısı 0,676 ile $\ln(PM_1)$

ve ln(TAPM), en yüksek katsayı 0,988 ile PM_{10} ve TAPM veri setleri arasındadır. $PM_{2,5}$ ile PM_{10} ve PM_1 ile diğer tüm PM boyutları (TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$) arasındaki ilgileşim katsayısının en yüksek değerleri logaritmik ve doğal logaritmik olarak dönüştürülmüş veri setlerinde elde edilmiştir. PM_1 salınımı ile TAPM salınımı arasında normal, diğer tüm PM salınımları arasında yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Bu nedenle, PM boyutlarından herhangi birinin ölçümü ile diğer PM boyut salınımları yüksek doğruluk derecesi ile hesaplanabilmektedir.

Çizelge 7.52 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM salınımlarının normallik test analiz sonuçları

Tür	PM ölçüm verileri (µg/m³)	Ortalama ± SD	Medyan (Min-Mak)	Çarpıklık	Basıklık	Sig.
Ham	TAPM	1055,25 ± 1534,32	329,65 (6,3 - 6527,9)	1,997	3,325	<0,001
	PM_{10}	848,21 ± 1489,17	151,65 (2 - 6527,9)	2,289	4,584	<0,001
	$PM_{2,5}$	53,11 ± 102,03	13,72 (0,99 - 652,79)	3,450	13,161	<0,001
	PM_1	21,82 ± 77,19	2,31 (0,06 - 652,79)	5,406	32,528	<0,001
log(ham)	**log(TAPM)**	**2,56 ± 0,69**	**2,52 (0,8 - 3,82)**	**-0,021**	**-0,847**	**<0,001**
	log(PM_{10})	**2,3 ± 0,76**	**2,18 (0,3 - 3,82)**	**0,339**	**-0,892**	**<0,001**
	log($PM_{2,5}$)	**1,27 ± 0,58**	**1,14 (-0,01 - 2,82)**	**0,679**	**-0,244**	**<0,001**
	log(PM_1)	**0,51 ± 0,66**	**0,36 (-1,22 - 2,82)**	**1,392**	**2,234**	**<0,001**
1/ham	1/TAPM	0,01 ± 0,01	0 (0 - 0,16)	3,155	12,618	<0,001
	1/PM_{10}	0,02 ± 0,02	0,01 (0 - 0,5)	5,739	80,645	<0,001
	1/$PM_{2,5}$	0,1 ± 0,11	0,07 (0 - 1,01)	2,214	8,304	<0,001
	1/PM_1	0,63 ± 0,88	0,43 (0 - 16,67)	6,663	75,095	<0,001
ln(ham)	**ln(TAPM)**	**5,89 ± 1,59**	**5,8 (1,84 - 8,78)**	**-0,021**	**-0,847**	**<0,001**
	ln(PM_{10})	**5,31 ± 1,76**	**5,02 (0,69 - 8,78)**	**0,339**	**-0,892**	**<0,001**
	ln($PM_{2,5}$)	**2,93 ± 1,34**	**2,62 (-0,01 - 6,48)**	**0,679**	**-0,244**	**<0,001**
	ln(PM_1)	**1,18 ± 1,51**	**0,84 (-2,81 - 6,48)**	**1,392**	**2,234**	**<0,001**
ham/1000	TAPM/1000	1,06 ± 1,53	0,33 (0,01 - 6,53)	1,997	3,325	<0,001
	PM_{10}/1000	0,85 ± 1,49	0,15 (0 - 6,53)	2,289	4,584	<0,001
	$PM_{2,5}$/1000	0,05 ± 0,1	0,01 (0 - 0,65)	3,450	13,165	<0,001
	PM_1/1000	0,02 ± 0,08	0 (0 - 0,65)	5,406	32,536	<0,001

Çizelge 7.53 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM salınımları arasındaki ilişki

Veri		*B (%95CI)	**Beta	t	p	Zero-order	Partial	VIF
PM_{10}	(Sabit)	-162,857 (-171,512 - -154,20)		-36,894	0,000			
	TAPM	0,959 (0,955 - 0,964)	0,988	404,250	0,000	0,988	0,988	1,0
$PM_{2,5}$	(Sabit)	-5,354 (-7,488 - -3,219)		-4,918	0,000			
	TAPM	0,055 (0,054 - 0,056)	0,834	94,532	0,000	0,834	0,834	1,0
ln($PM_{2,5}$)	(Sabit)	-0,655 (-0,717 - -0,593)		-20,761	0,000			
	ln(PM_{10})	0,676 (0,665 - 0,687)	0,886	119,670	0,000	0,886	0,886	1,0
ln(PM_1)	(Sabit)	-2,294 (-2,420 - -2,169)		-35,779	0,000			
	ln(TAPM)	0,604 (0,583 - 0,624)	0,676	57,413	0,000	0,676	0,676	1,0
*ln(PM_1)	(Sabit)	-1,894 (-1,990 - -1,798)		-38,744	0,000			
	ln(PM_{10})	0,594 (0,577 - 0,611)	0,735	67,966	0,000	0,735	0,735	1,0
**ln(PM_1)	(Sabit)	-1,558 (-1,603 - -1,513)		-68,033	0,000			
	ln($PM_{2,5}$)	0,962 (0,948 - 0,976)	0,907	135,302	0,000	0,907	0,907	1,0

*B; Standartlaştırılmamış katsayı, **Beta; Standartlaştırılmış katsayı

PM_{10}; F= 163418,434, p≤0,001, Adj.R^2= 0,977, SE= 227,91 — $PM_{2,5}$; F= 8936,285, p≤0,001, Adj.R^2= 0,695, SE= 56,20

ln($PM_{2,5}$); F= 14320,964, p≤0,001, Adj.R^2= 0,785, SE= 0,62 — ln(PM_1); F= 3296,282, p≤0,001, Adj.R^2= 0,456, SE= 1,04

*ln(PM_1); F= 4619,321, p≤0,001, Adj.R^2= 0,540, SE= 0,96 — **ln(PM_1); F= 18306,54, p≤0,001, Adj.R^2= 0,823, SE= 0,6

Tüm işletmelerin birleştirilmiş veri setleri ile yapılan toplu giriş ve aşamalı doğrusal regresyon modelleri düşük düzeltilmiş belirlilik katsayısı sağlayabilmiştir. Her iki model üzerinde anlamlı etkiye sahip bağımsız değişkenler, modelin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ile yüksek ve düşük kısmi etkileşime sahip bağımsız değişkenler Çizelge 7.18 ve 7.19'da sunulmuştur.

7.6.2 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM salınımının karar ağacı ile modellenmesi

Geleneksel regresyon yaklaşımı ile geliştirilen toplu girişli ve aşamalı doğrusal modellerde bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki düzeltilmiş belirlilik katsayısı düşük (R^2<%40) düzeyde kaldığından modellemede karar ağacı algoritmasının kullanılmasına karar verilmiştir. M5P algoritmasıyla elde edilen regresyon analiz sonuçları Çizelge 7.54'de verilmiştir.

TAPM veri seti için yapılan regresyon analiz sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/TAPM karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 19 adet salınım kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.55 ve 7.56'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.57'de verilmiştir. TAPM salınım modellerinde etkin olan parametreler; çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (yan rüzgâr hızı dâhil), malzeme nemi, silt+kil, istasyon basıncı ve kamyon hızıdır. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise malzeme nemi, bağıl nem, istasyon basıncı ve rüzgâr hızıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %13,08'i LM6'yı, %1,27'si LM15'i temsil etmektedir.

PM_{10} veri seti için yapılan regresyon analiz sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/PM_{10} karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 19 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.57 ve 7.58'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.58'de verilmiştir. PM_{10} salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil), istasyon basıncı, kamyon hızı, kamyon kütlesi ve silt+kil içeriğidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise silt+kil, hava sıcaklığı ve bağıl nemdir. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin %37,55'i LM19'u, %0,30'u LM7'yi temsil etmektedir.

$PM_{2,5}$ veri seti için yapılan regresyon analiz sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve 1/$PM_{2,5}$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 24 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.59 ve 7.60'da, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.59'da verilmiştir. $PM_{2,5}$ salınım modellerinde etkin olan parametreler; çiğ noktası sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil), istasyon basıncı, malzeme nemi, silt+kil, kamyon teker sayısı ve kamyon kütlesidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler silt+kil, bağıl nem ve çiğ noktası sıcaklığıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %17,94'ü LM1'i, %0,50'si LM6'yı temsil etmektedir.

Çizelge 7.54 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti PM veri setlerinin karar ağacı algoritması ile regresyon analiz sonuçları

Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	TAPM	TAPM/1000	log(TAPM)	ln(TAPM)	1/TAPM	PM_{10}	TAPM/1000	log(PM_{10})	ln(PM_{10})	1/PM_{10}
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.5259	0.5259	0.7384	0.7383	**0.8313**	0.5297	0.5297	0.6834	0.6793	**0.8025**
	MAE	861.1076	0.8611	0.372	0.8565	**0.0043**	792.7478	0.7927	0.4378	1.0167	**0.0079**
	RMSE	1304.1339	1.3041	0.4654	1.0716	**0.0079**	1262.9378	1.2629	0.5572	1.2895	**0.0146**
	RAE (%)	77.1955	77.1954	64.1772	64.1788	**48.479**	76.1119	76.1116	68.1662	68.7498	**51.6091**
	RRSE (%)	85.0999	85.0998	67.4587	67.4592	**55.6321**	84.8968	84.8967	73.0217	73.4021	**59.8415**
	Model (düğüm) sayısı	19	19	23	23	**19**	23	23	20	20	**19**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.4721	0.4722	0.7125	0.7125	**0.8165**	0.4223	0.4241	0.6627	0.6621	**0.7678**
	MAE	890.277	0.8902	0.3885	0.8945	**0.0045**	848.9451	0.8489	0.4483	1.0344	**0.008**
	RMSE	1353.8687	1.3538	0.4841	1.1146	**0.0082**	1350.8104	1.3492	0.5714	1.3166	**0.0156**
	RAE (%)	79.7915	79.785	67.0035	67.0056	**50.1606**	81.4966	81.497	69.7791	69.9312	**52.6124**
	RRSE (%)	88.3236	88.3198	70.1483	70.1488	**57.748**	90.7842	90.6734	74.8685	74.9256	**64.1171**
	Model (düğüm) sayısı	19	19	23	23	**19**	23	23	20	20	**19**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.4569	0.4569	0.7008	0.6983	**0.8025**	0.404	0.404	0.6439	0.6357	**0.7869**
	MAE	915.7427	0.9157	0.3994	0.9193	**0.0047**	876.6421	0.8766	0.4574	1.0624	**0.008**
	RMSE	1369.6129	1.3696	0.4904	1.1338	**0.0079**	1365.5265	1.3655	0.5786	1.3449	**0.0137**
	RAE (%)	81.1141	81.1139	69.6345	69.6052	**54.2683**	83.3878	83.3883	72.6061	73.2509	**53.3226**
	RRSE (%)	89.0885	89.0885	71.3477	71.6383	**59.9159**	91.6972	91.6974	76.6079	77.3349	**61.8189**
	Model (düğüm) sayısı	19	19	23	23	**19**	23	23	20	20	**19**
Test Yöntemi	Değerlendirme ölçütü	$PM_{2,5}$	$PM_{2,5}$/1000	log($PM_{2,5}$)	ln($PM_{2,5}$)	1/$PM_{2,5}$	PM_1	PM_1/1000	log(PM_1)	ln(PM_1)	1/PM_1
Eğitim seti	İlgileşim katsayısı	0.4948	0.4948	0.6181	0.6181	**0.7215**	0.4961	0.4962	0.5419	0.5419	**0.604**
	MAE	47.429	0.0474	0.3433	0.7904	**0.0508**	26.4496	0.0265	0.3468	0.7987	**0.3466**
	RMSE	88.4202	0.0884	0.4577	1.0538	**0.075**	66.8382	0.0668	0.5187	1.1945	**0.7004**
	RAE (%)	78.7428	78.7478	72.1632	72.1628	**64.5564**	79.9658	80.0037	77.3988	77.4174	**73.7958**
	RRSE (%)	86.9298	86.9328	78.6579	78.6574	**69.34**	87.0927	87.0881	84.1213	84.1267	**79.7233**
	Model sayısı	28	28	24	24	**24**	21	21	27	27	**22**
Çapraz doğrulama	İlgileşim katsayısı	0.394	0.3854	0.5821	0.5821	**0.6904**	0.3208	0.3138	0.4892	0.4896	**0.5584**
	MAE	50.8663	0.0508	0.3581	0.8245	**0.0528**	29.1138	0.0291	0.3621	0.8323	**0.3547**
	RMSE	93.7041	0.0942	0.4731	1.0893	**0.0783**	73.2142	0.0733	0.5379	1.2382	**0.7292**
	RAE (%)	84.438	84.3323	75.2552	75.254	**67.1196**	88.0137	88.0384	80.7894	80.6544	**75.5028**
	RRSE (%)	92.1074	92.5642	81.2931	81.2922	**72.377**	95.3861	95.5185	87.2075	87.1858	**82.9805**
	Model (düğüm) sayısı	28	28	24	24	**24**	21	21	27	27	**22**
Yüzdelik ayırma	İlgileşim katsayısı	0.3896	0.3896	0.5545	0.5545	**0.6635**	0.3089	0.2969	0.4752	0.4752	**0.5394**
	MAE	51.6449	0.0516	0.3629	0.8355	**0.0537**	28.4184	0.0286	0.3687	0.8492	**0.3569**
	RMSE	92.7793	0.0928	0.4798	1.1046	**0.0768**	72.5055	0.0729	0.5405	1.2447	**0.6915**
	RAE (%)	85.6026	85.6001	77.0236	77.0209	**69.926**	86.6138	87.1532	82.0015	82.0047	**78.6641**
	RRSE (%)	92.4135	92.4114	83.2913	83.2898	**75.0763**	95.3294	95.871	87.992	87.9912	**84.2357**
	Model (düğüm) sayısı	28	28	24	24	**24**	21	21	27	27	**22**

Çizelge 7.55 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim kuralları

Model	1/TAPM salınım kestirim kuralları
LM1	MSTR ≤ 0.95, SP ≤ 846.95
LM2	MSTR ≤ 0.505, SP ≤ 861.95 - > 846.95, DWPT ≤ 10.25
LM3	MSTR ≤ 0.505, SP ≤ 861.95 - > 846.95, DWPT > 10.25
LM4	MSTR ≤ 0.95 - > 0.505, SP ≤ 858.25 - > 846.95
LM5	MSTR ≤ 0.95 - > 0.505, SP ≤ 861.95 - > 858.25
LM6	**MSTR ≤ 0.95, SP ≤ 867.05 - > 861.95, WS ≤ 1.45**
LM7	MSTR ≤ 0.3, SP ≤ 867.05 - > 861.95, WS > 1.45
LM8	MSTR ≤ 0.95 - > 0.3, SP ≤ 867.05 - > 861.95, WS > 1.45
LM9	MSTR ≤ 0.95, SP > 867.5
LM10	MSTR > 0.95, RH ≤ 63.35, SP ≤ 861.5
LM11	MSTR > 0.95, RH ≤ 63.35, SP ≤ 867.15 - > 861.5
LM12	MSTR > 0.95, RH ≤ 63.35, SP > 867.15, SPD ≤ 22.5
LM13	MSTR > 0.95, RH ≤ 63.35, SP > 867.15, SPD > 22.5
LM14	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH ≤ 85.3 - > 63.35, SP ≤ 853.55
LM15	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH > 85.3, SP ≤ 853.55
LM16	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH > 63.35, SP ≤ 863.75 - > 853.55
LM17	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH > 63.35, SP > 863.75, DWPT ≤ 4.05
LM18	MSTR ≤ 9.045 - > 0.95, RH > 63.35, SP > 863.75, DWPT > 4.05
LM19	MSTR > 9.045, RH > 63.35

Çizelge 7.56 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/TAPM salınım kestirim denklemleri

Model	1/TAPM salınım kestirim denklemleri
LM1	0.000003 * RH + 0.000001 * SP - 0.000192 * WS - 0.000011 * DWPT + 0.000006 * CW + 0.003281 * MSTR - 0.000004 * SLT&CLY - 0.000001 * SPD + 0.00104
LM2	0.000005 * RH - 0.000003 * SP + 0.000002 * WS - 0.000015 * DWPT + 0.000006 * CW + 0.000237 * MSTR - 0.000004 * SLT&CLY - 0.000001 * SPD + 0.0065
LM3	0.000005 * RH - 0.000003 * SP + 0.000002 * WS - 0.000015 * DWPT + 0.000006 * CW + 0.000237 * MSTR - 0.000004 * SLT&CLY - 0.000001 * SPD + 0.00528
LM4	0.000004 * RH - 0.000016 * SP + 0.000002 * WS - 0.000013 * DWPT + 0.000006 * CW + 0.000207 * MSTR - 0.000004 * SLT&CLY - 0.000001 * SPD + 0.0191
LM5	0.000004 * RH - 0.00001 * SP + 0.000002 * WS - 0.000013 * DWPT + 0.000006 * CW + 0.000207 * MSTR - 0.000004 * SLT&CLY - 0.000001 * SPD + 0.0110
LM6	**-0.000013 * RH + 0.0000004 * SP + 0.000007 * WS - 0.000046 * DWPT + 0.00002 * CW + 0.00013 * MSTR - 0.000004 * SLT&CLY - 0.000001 * SPD + 0.0024**
LM7	0.0000002 * RH + 0.0000004 * SP + 0.000007 * WS - 0.000001 * DWPT + 0.00011 * CW + 0.00068 * MSTR - 0.000004 * SLT&CLY - 0.000001 * SPD + 0.00054
LM8	0.0000002 * RH + 0.0000004 * SP + 0.000007 * WS - 0.000001 * DWPT + 0.00053 * CW + 0.00037 * MSTR - 0.000004 * SLT&CLY - 0.000001 * SPD + 0.0015
LM9	0.0000002 * RH + 0.000001 * SP + 0.000005 * WS - 0.000006 * DWPT - 0.00108 * CW + 0.000016 * MSTR - 0.000631 * SLT&CLY - 0.000001 * SPD + 0.0066
LM10	0.000009 * RH + 0.000013 * SP + 0.000014 * WS - 0.00001 * DWPT + 0.001882 * CW + 0.000064 * MSTR - 0.00002 * SLT&CLY - 0.000006 * SPD - 0.0065
LM11	0.000009 * RH + 0.000015 * SP + 0.000014 * WS - 0.00001 * DWPT + 0.000054 * CW + 0.000064 * MSTR - 0.000119 * SLT&CLY - 0.000006 * SPD - 0.0097
LM12	0.000009 * RH + 0.000027 * SP + 0.000014 * WS - 0.00001 * DWPT + 0.000029 * CW - 0.005596 * MSTR - 0.00002 * SLT&CLY - 0.000017 * SPD + 0.01425
LM13	0.000009 * RH + 0.000027 * SP + 0.000014 * WS - 0.00001 * DWPT + 0.000029 * CW + 0.000131 * MSTR - 0.00002 * SLT&CLY - 0.000019 * SPD - 0.01444
LM14	0.000074 * RH + 0.000021 * SP + 0.000014 * WS + 0.000024 * DWPT + 0.000032 * CW + 0.00013 * MSTR + 0.000004 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD - 0.0175
LM15	0.000204 * RH - 0.000176 * SP + 0.000014 * WS + 0.000024 * DWPT + 0.000032 * CW + 0.00013 * MSTR + 0.000004 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD + 0.1554
LM16	0.000017 * RH + 0.000187 * SP + 0.000014 * WS + 0.000024 * DWPT + 0.000032 * CW + 0.00013 * MSTR + 0.000004 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD - 0.1274
LM17	0.000022 * RH + 0.000035 * SP + 0.000014 * WS - 0.00047 * DWPT + 0.000032 * CW + 0.00013 * MSTR + 0.000004 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD - 0.01716
LM18	0.000022 * RH + 0.000035 * SP + 0.000014 * WS - 0.000412 * DWPT + 0.000032 * CW + 0.00013 * MSTR + 0.000004 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD - 0.02314
LM19	-0.00085 * RH + 0.000051 * SP + 0.000014 * WS - 0.00384 * DWPT + 0.000032 * CW + 0.00018 * MSTR + 0.000004 * SLT&CLY - 0.000003 * SPD + 0.06583

Çizelge 7.57 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim kuralları

Model	1/PM_{10} salınım kestirim kuralları
LM1	SLT&CLY ≤ 0.05, RH ≤ 66.1, SPD ≤ 22.5
LM2	SLT&CLY ≤ 0.05, RH ≤ 66.1, SPD > 22.5
LM3	SLT&CLY ≤ 0.05, RH ≤ 89.25 - > 66.1, SP ≤ 865.25, MASS ≤ 48, TMP ≤ 17.05
LM4	SLT&CLY ≤ 0.05, RH > 89.25, SP ≤ 865.25, MASS ≤ 48, TMP ≤ 17.05
LM5	SLT&CLY ≤ 0.05, RH > 66.1, SP ≤ 862.8, MASS ≤ 48, TMP > 17.05
LM6	SLT&CLY ≤ 0.05, RH > 66.1, SP ≤ 865.25 - > 862.8, MASS ≤ 48, TMP > 17.05, HW ≤ 1.45
LM7	SLT&CLY ≤ 0.05, RH > 66.1, SP ≤ 865.25 - > 862.8, MASS ≤ 48, TMP > 17.05, HW > 1.45
LM8	SLT&CLY ≤ 0.05, RH > 66.1, SP ≤ 865.25, MASS > 48
LM9	SLT&CLY ≤ 0.05, RH > 66.1, SP > 865.25
LM10	SLT&CLY > 0.05, TMP ≤ 10.65, RH ≤ 68.45, SPD ≤ 21.5, SP ≤ 853.55
LM11	SLT&CLY > 0.05, TMP ≤ 10.65, RH ≤ 66.35, SPD ≤ 21.5, SP > 853.55
LM12	SLT&CLY > 0.05, TMP ≤ 10.65, RH ≤ 68.45 - > 66.35, SPD ≤ 21.5, SP > 853.55
LM13	SLT&CLY > 0.05, TMP ≤ 10.65, RH ≤ 68.45, SPD > 21.5, HW ≤ 0.75
LM14	SLT&CLY > 0.05, TMP ≤ 10.65, RH ≤ 68.45, SPD > 21.5, HW > 0.75, SP ≤ 866.75
LM15	SLT&CLY > 0.05, TMP ≤ 10.65, RH ≤ 68.45, SPD > 21.5, HW > 0.75, SP > 866.75
LM16	SLT&CLY > 0.05, TMP ≤ 10.65, RH > 68.45, MASS ≤ 16.45
LM17	SLT&CLY > 0.05, TMP ≤ 10.65, RH > 68.45, MASS > 16.45
LM18	SLT&CLY > 0.05, TMP ≤ 17.65 - > 10.65
LM19	**SLT&CLY > 0.05, TMP > 17.65**

Çizelge 7.58 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_{10} salınım kestirim denklemleri
LM1	-0.004038 * TMP + 0.000076 * RH + 0.000085 * SP + 0.000129 * WS - 0.0001 * CW + 0.00024 * HW - 0.00001 * SLT&CLY - 0.000037 * SPD + 0.000913 * MASS - 0.0074
LM2	0.000052 * TMP + 0.000423 * RH + 0.000076 * SP + 0.001282 * WS - 0.0001 * CW + 0.00024 * HW - 0.00001 * SLT&CLY - 0.000026 * SPD + 0.000113 * MASS - 0.0793
LM3	0.001559 * TMP + 0.001593 * RH + 0.000659 * SP + 0.000123 * WS - 0.000096 * CW + 0.002472 * HW - 0.00001 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD + 0.00005 * MASS - 0.682
LM4	0.001559 * TMP + 0.001738 * RH + 0.001007 * SP + 0.000123 * WS - 0.000096 * CW + 0.002472 * HW - 0.00001 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD + 0.00005 * MASS - 0.972
LM5	0.00182 * TMP + 0.001589 * RH + 0.003116 * SP + 0.000123 * WS - 0.000096 * CW + 0.011383 * HW - 0.00001 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD + 0.00005 * MASS - 2.7927
LM6	0.00182 * TMP + 0.001589 * RH + 0.002288 * SP + 0.000123 * WS - 0.000096 * CW + 0.017334 * HW - 0.00001 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD + 0.00005 * MASS - 2.0522
LM7	0.00182 * TMP + 0.001589 * RH + 0.002288 * SP + 0.000123 * WS - 0.000096 * CW + 0.02689 * HW - 0.00001 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD + 0.00005 * MASS - 2.034
LM8	-0.00068 * TMP + 0.000155 * RH + 0.00061 * SP + 0.000123 * WS - 0.000096 * CW + 0.001378 * HW - 0.00001 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD - 0.008908 * MASS - 0.0711
LM9	0.00035 * TMP + 0.000294 * RH + 0.000281 * SP + 0.000123 * WS - 0.0036 * CW + 0.002696 * HW - 0.00001 * SLT&CLY - 0.000004 * SPD + 0.000021 * MASS - 0.2162
LM10	-0.000021 * TMP + 0.00095 * RH + 0.000833 * SP + 0.000038 * WS + 0.00124 * CW - 0.00266 * HW - 0.000013 * SLT&CLY - 0.000065 * SPD - 0.000007 * MASS - 0.749
LM11	-0.000021 * TMP + 0.002783 * RH - 0.08639 * SP + 0.000038 * WS + 0.00124 * CW - 0.002032 * HW - 0.000013 * SLT&CLY - 0.000065 * SPD - 0.000007 * MASS + 73.62
LM12	-0.000021 * TMP + 0.00397 * RH + 0.00062 * SP + 0.000038 * WS + 0.00124 * CW - 0.002032 * HW - 0.000013 * SLT&CLY - 0.000065 * SPD - 0.000007 * MASS - 0.721
LM13	-0.000021 * TMP + 0.00008 * RH + 0.000013 * SP + 0.00004 * WS + 0.00084 * CW + 0.0004 * HW - 0.000013 * SLT&CLY - 0.000032 * SPD - 0.000007 * MASS - 0.0048
LM14	-0.000021 * TMP + 0.00009 * RH - 0.00065 * SP + 0.00004 * WS - 0.000308 * CW + 0.00154 * HW - 0.000013 * SLT&CLY - 0.001027 * SPD - 0.000007 * MASS + 0.646
LM15	-0.000021 * TMP + 0.00009 * RH - 0.00068 * SP + 0.00004 * WS - 0.000356 * CW + 0.0121 * HW - 0.000013 * SLT&CLY - 0.000032 * SPD - 0.000007 * MASS + 0.589
LM16	-0.000021 * TMP - 0.000002 * RH - 0.00005 * SP + 0.00004 * WS + 0.0011 * CW - 0.000026 * HW - 0.000013 * SLT&CLY - 0.000006 * SPD - 0.000033 * MASS + 0.0525
LM17	-0.000021 * TMP - 0.000002 * RH - 0.00005 * SP + 0.00004 * WS + 0.0011 * CW - 0.00087 * HW - 0.000013 * SLT&CLY - 0.000071 * SPD - 0.000022 * MASS + 0.0530
LM18	-0.00099 * TMP - 0.000316 * RH + 0.000006 * SP + 0.000002 * WS + 0.002027 * CW + 0.0009 * HW - 0.001743 * SLT&CLY - 0.000168 * SPD - 0.000076 * MASS + 0.0478
LM19	**-0.000214 * TMP - 0.000067 * RH + 0.000052 * SP - 0.000542 * WS + 0.000593 * CW + 0.000005 * HW - 0.00034 * SLT&CLY - 0.000079 * SPD - 0 * MASS - 0.02701**

Çizelge 7.59 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti $1/PM_{2,5}$ salınım kestirim kuralları

Model	$1/PM_{2,5}$ PM salınım kestirim kuralları
LM1	**SLT&CLY ≤ 0.05, DWPT ≤ 6.95**
LM2	SLT&CLY ≤ 0.05, DWPT > 6.95, SP ≤ 862.4
LM3	SLT&CLY ≤ 0.05, DWPT > 6.95, SP > 862.4, RH ≤ 49.55, MSTR ≤ 3.825
LM4	SLT&CLY ≤ 0.05, DWPT > 6.95, SP > 862.4, RH ≤ 49.55, MSTR > 3.825
LM5	SLT&CLY ≤ 0.05, DWPT > 6.95, SP > 862.4, RH ≤ 51.85 - > 49.55
LM6	SLT&CLY ≤ 0.05, DWPT > 6.95, SP > 862.4, RH > 51.85, MSTR ≤ 2.83
LM7	SLT&CLY ≤ 0.05, DWPT > 6.95, SP > 862.4, RH > 51.85, MSTR > 2.83
LM8	SLT&CLY ≤ 2.48 - > 0.05, WS ≤ 1.95, MASS ≤ 42.125, SP ≤ 875.55, CW ≤ 0.4455
LM9	SLT&CLY ≤ 2.48 - > 0.05, WS ≤ 1.95, MASS ≤ 42.125, SP ≤ 875.55, CW > 0.4455
LM10	SLT&CLY ≤ 2.48 - > 0.05, WS ≤ 1.95, MASS ≤ 42.125, SP > 875.55
LM11	SLT&CLY ≤ 2.48 - > 0.05, WS ≤ 1.95, MASS > 42.125
LM12	SLT&CLY ≤ 2.48 - > 0.05, WS > 1.95
LM13	SLT&CLY ≤ 4.16 - > 2.48, DWPT ≤ 3.95, CW ≤ 0.85, SP ≤ 851.75, RH ≤ 68.5
LM14	SLT&CLY ≤ 4.16 - > 2.48, DWPT ≤ 3.95, CW ≤ 0.85, SP ≤ 851.75, RH > 68.5
LM15	SLT&CLY ≤ 4.16 - > 2.48, DWPT ≤ 3.95, CW ≤ 0.85, SP > 851.75
LM16	SLT&CLY ≤ 4.16 - > 2.48, DWPT ≤ 3.95, CW > 0.85, RH ≤ 62.45
LM17	SLT&CLY ≤ 4.16 - > 2.48, DWPT ≤ 3.95, CW > 0.85, RH ≤ 65.2 - > 62.45
LM18	SLT&CLY ≤ 4.16 - > 2.48, DWPT ≤ 3.95, CW > 0.85, RH > 65.2
LM19	SLT&CLY ≤ 4.16 - > 2.48, DWPT > 3.95
LM20	SLT&CLY > 4.16, RH ≤ 50.1, SP ≤ 846.65
LM21	SLT&CLY > 4.16, RH ≤ 50.1, SP > 846.65, WS ≤ 1.15
LM22	SLT&CLY > 4.16, RH ≤ 50.1, SP > 846.65, WS > 1.15
LM23	SLT&CLY > 4.16, RH > 50.1, SP ≤ 860.85
LM24	SLT&CLY > 4.16, RH > 50.1, SP > 860.85

PM_1 veri seti için yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre, en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham setinde elde edilmiş ve $1/PM_1$ karar ağacının yapraklarındaki budanmış düğümlerinden 22 adet regresyon kestirim denklemi türetilmiştir. Modelin salınım kestirim kuralları ve denklemleri Çizelge 7.61 ve 7.62'de, modele ait karar ağacı Şekil EK-1.60'da verilmiştir. PM_1 salınım modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, karşı ve yan rüzgâr hızları, kamyon kütlesi, kamyon hızı, silt+kil ve malzeme nemidir. PM salınımı üzerinde en etkili parametreler ise kamyon hızı, hava sıcaklığı, malzeme nemi, silt+kil ve istasyon basıncıdır. Ayrıca regresyon analiz sonucuna göre veri setinin yaklaşık %12,85'i LM18'i, %1,24'ü LM17'yi temsil etmektedir.

Çizelge 7.60 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti $1/PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri

Model	$1/PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemleri
LM1	**-0.0014 * RH + 0.002 * SP - 0.00008 * WS - 0.0104 * DWPT - 0.0084 * CW + 0.009 * HW + 0.006 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.00032 * WHL + 0.00003 * MASS - 1.57**
LM2	-0.005 * RH - 0.0014 * SP - 0.00008 * WS + 0.0007 * DWPT - 0.0002 * CW + 0.001 * HW - 0.0007 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.00032 * WHL + 0.00006 * MASS + 1.57
LM3	0.001 * RH + 0.0011 * SP - 0.00008 * WS + 0.0007 * DWPT - 0.0002 * CW + 0.001 * HW + 0.015 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.00032 * WHL + 0.00006 * MASS - 0.83
LM4	0.001 * RH + 0.0011 * SP - 0.00008 * WS + 0.0007 * DWPT - 0.0002 * CW + 0.0012 * HW - 0.095 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.00032 * WHL + 0.00006 * MASS - 0.295
LM5	0.001 * RH + 0.0011 * SP - 0.00008 * WS + 0.0007 * DWPT - 0.0002 * CW + 0.0012 * HW + 0.011 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.00032 * WHL + 0.00006 * MASS - 0.76
LM6	0.0014 * RH + 0.0011 * SP - 0.00008 * WS + 0.0007 * DWPT - 0.0002 * CW + 0.0012 * HW - 0.039 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.00032 * WHL + 0.00006 * MASS - 0.42
LM7	0.0014 * RH + 0.0011 * SP - 0.00008 * WS + 0.0007 * DWPT - 0.0002 * CW + 0.0012 * HW - 0.013 * MSTR - 0.00004 * SLT&CLY - 0.00032 * WHL + 0.00006 * MASS - 0.64
LM8	-0.00004 * RH - 0.0042 * SP - 0.00003 * WS - 0.006 * DWPT - 0.00209 * CW + 0.00003 * HW + 0.00095 * MSTR - 0.0005 * SLT&CLY - 0.0002 * WHL - 0 * MASS + 3.74
LM9	-0.00004 * RH - 0.00018 * SP - 0.00003 * WS - 0.0004 * DWPT - 0.00216 * CW + 0.00003 * HW + 0.00095 * MSTR - 0.0005 * SLT&CLY - 0.0002 * WHL - 0 * MASS + 0.21
LM10	-0.00152 * RH - 0.00015 * SP - 0.00003 * WS - 0.0004 * DWPT - 0.00226 * CW + 0.00003 * HW + 0.0018 * MSTR - 0.0005 * SLT&CLY - 0.0002 * WHL - 0 * MASS + 0.27
LM11	-0.00004 * RH - 0.00008 * SP - 0.00003 * WS - 0.00017 * DWPT - 0.00035 * CW + 0.00003 * HW + 0.00066 * MSTR - 0.0207 * SLT&CLY - 0.0002 * WHL - 0.00001 * MASS + 0.146
LM12	0.0007 * RH - 0.00001 * SP - 0.00003 * WS - 0.00004 * DWPT + 0.02 * CW + 0.00003 * HW + 0.012 * MSTR - 0.0005 * SLT&CLY - 0.0002 * WHL + 0.00001 * MASS - 0.010
LM13	-0.00036 * RH + 0.00018 * SP + 0.0042 * WS - 0.00032 * DWPT + 0.0015 * CW + 0.00003 * HW + 0.00026 * MSTR - 0.00011 * SLT&CLY - 0.00004 * WHL + 0.00004 * MASS - 0.038
LM14	-0.00098 * RH + 0.00018 * SP + 0.00423 * WS - 0.00032 * DWPT + 0.00152 * CW + 0.00003 * HW + 0.00026 * MSTR - 0.00011 * SLT&CLY - 0.00004 * WHL + 0.00004 * MASS - 0.029
LM15	0.00169 * RH + 0.00008 * SP + 0.0168 * WS - 0.0083 * DWPT + 0.00152 * CW + 0.00003 * HW + 0.00026 * MSTR - 0.00011 * SLT&CLY - 0.00004 * WHL + 0.00004 * MASS - 0.022
LM16	0.00002 * RH - 0.00003 * SP + 0.0024 * WS - 0.0003 * DWPT + 0.0024 * CW + 0.00003 * HW + 0.00026 * MSTR - 0.0001 * SLT&CLY - 0.00004 * WHL + 0.00004 * MASS + 0.21
LM17	0.00002 * RH - 0.00003 * SP + 0.0024 * WS - 0.00032 * DWPT + 0.0024 * CW + 0.00003 * HW + 0.00026 * MSTR - 0.00011 * SLT&CLY - 0.00004 * WHL + 0.00004 * MASS + 0.158
LM18	0.00002 * RH - 0.00003 * SP + 0.0024 * WS - 0.00032 * DWPT + 0.0024 * CW + 0.00003 * HW + 0.00026 * MSTR - 0.00011 * SLT&CLY - 0.00004 * WHL + 0.00004 * MASS + 0.232
LM19	0.00003 * RH - 0.0012 * SP - 0.00003 * WS - 0.00652 * DWPT + 0.00096 * CW + 0.00003 * HW + 0.00026 * MSTR - 0.00011 * SLT&CLY + 0.00004 * WHL + 0.00144 * MASS + 1.10
LM20	-0.00001 * RH - 0.00018 * SP - 0.01378 * WS - 0.00008 * DWPT + 0.00025 * CW + 0.00003 * HW + 0.00015 * MSTR - 0.0001 * SLT&CLY - 0.00025 * WHL + 0.00001 * MASS + 0.30
LM21	-0.00001 * RH - 0.00008 * SP - 0.04 * WS - 0.00008 * DWPT + 0.00025 * CW + 0.00003 * HW + 0.00015 * MSTR - 0.0001 * SLT&CLY - 0.00025 * WHL - 0.00037 * MASS + 0.17
LM22	-0.00001 * RH - 0.00008 * SP - 0.00003 * WS - 0.00008 * DWPT + 0.0003 * CW + 0.00003 * HW + 0.0002 * MSTR - 0.0001 * SLT&CLY - 0.0003 * WHL + 0.00001 * MASS + 0.15
LM23	0.00471 * SP - 0.00003 * WS - 0.00008 * DWPT + 0.00025 * CW + 0.00003 * HW + 0.00002 * MSTR - 0.0001 * SLT&CLY - 0.00025 * WHL + 0.00001 * MASS - 3.9404
LM24	0.00006 * RH - 0.00007 * SP - 0.00003 * WS - 0.00008 * DWPT + 0.00025 * CW + 0.00003 * HW + 0.00002 * MSTR - 0.0001 * SLT&CLY - 0.00025 * WHL + 0.00001 * MASS + 0.10

Çizelge 7.61 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim kuralları

Model	1/PM_1 salınım kestirim kuralları
LM1	SPD ≤ 21.5, TMP ≤ 12.25, RH ≤ 68.2
LM2	SPD ≤ 21.5, TMP ≤ 12.25, RH > 68.2
LM3	SPD ≤ 21.5, TMP ≤ 20.45 - > 12.25, SP ≤ 852
LM4	SPD ≤ 21.5, TMP > 20.45, SP ≤ 852
LM5	SPD ≤ 21.5, TMP > 12.25, SP > 852, HW ≤ 0.35
LM6	SPD ≤ 21.5, TMP > 12.25, SP > 852, HW > 0.35
LM7	SPD > 21.5, TMP ≤ 16.95, MSTR ≤ 0.64, RH ≤ 58.15
LM8	SPD > 21.5, TMP ≤ 16.95, MSTR ≤ 0.64, RH > 58.15
LM9	SPD ≤ 52.5 - > 21.5, TMP ≤ 16.95, MSTR ≤ 1.04 - > 0.64, HW ≤ 0.55, SP ≤ 869.85
LM10	SPD ≤ 52.5 - > 21.5, TMP ≤ 16.95, MSTR ≤ 1.04 - > 0.64, HW ≤ 0.55, SP > 869.85
LM11	SPD ≤ 52.5 - > 21.5, TMP ≤ 16.95, MSTR ≤ 1.04 - > 0.64, HW > 0.55
LM12	SPD > 52.5, TMP ≤ 16.95, MSTR ≤ 1.04 - > 0.64
LM13	SPD > 21.5, TMP ≤ 16.95, MSTR > 1.04, SP ≤ 865.25
LM14	SPD > 21.5, TMP ≤ 16.95, MSTR > 1.04, SP > 865.25, RH ≤ 64.45
LM15	SPD > 21.5, TMP ≤ 16.95, MSTR > 1.04, SP > 865.25, RH > 64.45
LM16	SPD > 21.5, TMP > 16.95, SP ≤ 862.85, SLT&CLY ≤ 0.34, MSTR ≤ 6.29
LM17	SPD > 21.5, TMP > 16.95, SP ≤ 862.85, SLT&CLY ≤ 0.34, MSTR > 6.29
LM18	**SPD > 21.5, TMP > 16.95, SP ≤ 862.85, SLT&CLY > 0.34, RH ≤ 56.15**
LM19	SPD > 21.5, TMP > 16.95, SP ≤ 862.85, SLT&CLY > 0.34, RH > 56.15
LM20	SPD > 21.5, TMP > 16.95, SP ≤ 866.85 - > 862.85, RH ≤ 64.55
LM21	SPD > 21.5, TMP > 16.95, SP ≤ 866.85 - > 862.85, RH > 64.55
LM22	SPD > 21.5, TMP > 16.95, SP > 866.85

Çizelge 7.62 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_1 salınım kestirim denklemleri

Model	1/PM_1 salınım kestirim denklemleri
LM1	0.0024 * TMP - 0.0007 * RH + 0.0036 * SP + 0.00037 * CW + 0.0044 * HW + 0.00032 * MSTR - 0.00024 * SLT&CLY - 0.0003 * SPD - 0.00003 * MASS - 2.48
LM2	0.0024 * TMP - 0.0007 * RH + 0.0036 * SP + 0.00037 * CW + 0.0044 * HW + 0.00032 * MSTR - 0.00024 * SLT&CLY - 0.0003 * SPD - 0.00003 * MASS - 2.70
LM3	0.004 * TMP + 0.00026 * RH + 0.006 * SP + 0.00037 * CW + 0.0027 * HW + 0.00032 * MSTR - 0.00024 * SLT&CLY - 0.0003 * SPD - 0.00003 * MASS - 4.46
LM4	0.0032 * TMP + 0.00026 * RH + 0.006 * SP + 0.00037 * CW + 0.0027 * HW + 0.00032 * MSTR - 0.00024 * SLT&CLY - 0.0003 * SPD - 0.00003 * MASS - 4.13
LM5	0.0017 * TMP + 0.00026 * RH + 0.0052 * SP + 0.00037 * CW + 0.123 * HW + 0.00032 * MSTR - 0.00024 * SLT&CLY - 0.0003 * SPD - 0.00003 * MASS - 3.67
LM6	0.0017 * TMP + 0.00026 * RH + 0.0052 * SP + 0.00037 * CW + 0.043 * HW + 0.00032 * MSTR - 0.00024 * SLT&CLY - 0.0003 * SPD - 0.00003 * MASS - 2.21
LM7	0.0004 * TMP + 0.0003 * RH - 0.0003 * SP + 0.00045 * CW - 0.0006 * HW + 0.0008 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00017 * SPD - 0.00001 * MASS + 0.63
LM8	0.0004 * TMP + 0.0003 * RH - 0.0003 * SP + 0.00045 * CW - 0.0006 * HW + 0.0008 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00017 * SPD - 0.00001 * MASS + 0.78
LM9	0.0004 * TMP + 0.0001 * RH - 0.0024 * SP + 0.00045 * CW + 0.0055 * HW + 0.0008 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00012 * SPD - 0.00001 * MASS + 2.39
LM10	0.0004 * TMP + 0.0001 * RH - 0.002 * SP + 0.00045 * CW + 0.0055 * HW + 0.0008 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00012 * SPD - 0.00001 * MASS + 1.84
LM11	0.0004 * TMP + 0.0001 * RH - 0.0016 * SP + 0.00045 * CW + 0.0127 * HW + 0.0008 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00012 * SPD - 0.00001 * MASS + 1.69
LM12	0.0004 * TMP + 0.015 * RH - 0.00068 * SP + 0.00045 * CW + 0.002 * HW + 0.0008 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00012 * SPD - 0.00001 * MASS - 0.06
LM13	0.0004 * TMP - 0.012 * RH + 0.00061 * SP + 0.00045 * CW + 0.00056 * HW + 0.0008 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00005 * SPD - 0.00001 * MASS + 0.79
LM14	0.0004 * TMP + 0.0006 * RH + 0.0004 * SP + 0.00045 * CW + 0.00056 * HW + 0.0008 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00005 * SPD - 0.00001 * MASS + 0.16
LM15	0.0004 * TMP - 0.032 * RH + 0.00043 * SP + 0.00045 * CW + 0.00056 * HW + 0.0008 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.00005 * SPD - 0.00001 * MASS + 2.53
LM16	0.0004 * TMP - 0.00027 * RH + 0.00053 * SP + 0.0043 * CW + 0.0007 * HW - 0.00057 * MSTR - 0.0017 * SLT&CLY - 0.0001 * SPD + 0.00002 * MASS + 0.27
LM17	0.0004 * TMP - 0.00027 * RH + 0.00053 * SP + 0.0043 * CW + 0.0007 * HW - 0.006 * MSTR - 0.0017 * SLT&CLY - 0.0001 * SPD + 0.00002 * MASS + 0.04
LM18	**0.0004 * TMP - 0.00001 * RH + 0.00053 * SP + 0.003 * CW + 0.03 * HW + 0.0014 * MSTR - 0.0006 * SLT&CLY - 0.0001 * SPD + 0.00002 * MASS - 0.08**
LM19	0.0004 * TMP - 0.00023 * RH + 0.00053 * SP + 0.004 * CW + 0.002 * HW + 0.0014 * MSTR - 0.0006 * SLT&CLY - 0.0001 * SPD + 0.00002 * MASS - 0.17
LM20	0.0004 * TMP + 0.0027 * RH - 0.0013 * SP + 0.0018 * CW + 0.0009 * HW + 0.00126 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.0001 * SPD + 0.0068 * MASS + 1.36
LM21	0.0004 * TMP + 0.006 * RH - 0.0013 * SP + 0.0018 * CW + 0.0009 * HW + 0.00126 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.0001 * SPD + 0.00003 * MASS + 2.52
LM22	0.0004 * TMP + 0.0013 * RH - 0.0014 * SP + 0.0018 * CW + 0.0009 * HW + 0.00126 * MSTR - 0.00007 * SLT&CLY - 0.0001 * SPD + 0.00003 * MASS + 1.63

8. ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1 Giriş

Bu çalışma kapsamında, Sivas ilinde bulunan bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri sırasında eş zamanlı PM salınımı ve termal konfor parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, ölçümler yapılırken eş zamanlı olarak iş makinelerinin özellikleri kaydedilmiş ve çalışılan malzemenin özelliklerini temsil eden numuneler (~ 5 dak/numune) alınmış olup laboratuvarda nem ve silt+kil içerikleri tayin edilmiştir.

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde ölçülen ve laboratuvarda analizi yapılan verilerden faydalanılarak PM salınım kestirim denklemlerinin oluşturulması için iki farklı analiz paket programından faydalanılmıştır. İlk aşamada, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi'ne yerleşke lisanslaması yapılan bir istatistiksel analiz paketinden (SPSS, 2018) yararlanılmıştır. Bu analiz paketi yardımıyla delme, yükleme ve taşıma faaliyetlerinden kaydedilen ham verilerin normal dağılıma uygunlukları test edilmiştir. Buna göre ölçümü yapılan tüm ham (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) veri setlerinin çoğunlukla normal dağılıma uymadıkları görülmüştür. Bunun temel sebebi ölçüm verilerinin geniş bir aralığa (TAPM ve PM_{10} 0 - 6527,9+, $PM_{2,5}$ ve PM_1 0 - 652,79+) yayılmış olmasıdır. Dolayısıyla faaliyet bazında (delme, yükleme ve taşıma) ölçümü yapılan tüm ham veri setlerinin regresyon analizleri yapılamamıştır. Bu nedenle, alçıtaşı ve kalker işletmelerindeki ham veri setleri, doğal logaritma (ln), logaritma (log), sayının tersi (1/ham) ve binde biri (ham/1000) alınarak dönüştürülmüş ve oluşturulan yeni veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu test edilmiştir. Doğal logaritma (ln) ve logaritması (log) alınarak dönüştürülen setler, normal dağılıma uygunluğu sağlamıştır.

Normal dağılım gösteren ve ikiden fazla bağımsız değişkene sahip gruplar için parametrik test tekniklerinden tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Analizlerde güven aralığı %95 ve manidarlık düzeyi α, %5 alınmış, analiz sonuçları Tukey testi üzerinden değerlendirilmiştir. Buna göre tek yönlü varyans analizlerinde aylık bazda PM salınımları arasında fark olup olmadığı, hipotez testleri aracılığıyla sorgulanmış ve bağımsız değişkenlerin karşılaştırılması sonucunda PM salınımları, termal konfor parametreleri ve silt+kil içerikleri arasında aylar bazında anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Normal dağılıma uygunluk sağlayan veriler, istatistiksel analiz paketi yardımıyla toplu giriş, aşamalı ve ileriye doğru seçim olmak üzere üç farklı yöntemle regresyon analizine tabi tutulmuştur. Aşamalı ve ileriye doğru seçim yöntemlerinin aynı sonuçları verdiği gözlemlendiğinden aşamalı doğrusal regresyon modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Gerek toplu giriş gerek aşamalı doğrusal regresyon modelleri incelendiğinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetine ait düzeltilmiş belirlilik katsayısı düşüktür ($R^2 \leq \%45$). Genel olarak bakıldığında; delme ve yükleme faaliyetine ait düzeltilmiş belirlilik katsayısı, taşıma faaliyetine

ait düzeltilmiş belirlilik katsayısından daha düşüktür. Bunun temel nedeni, delme ve yükleme faaliyetlerine ait PM salınım modellerine tüm verinin dâhil edilmesi, taşıma faaliyeti modellerine ise yalnızca kamyonların ölçüm cihazı yanından geçişi sırasında kaydedilen ve sayıca çok daha az olan verinin dâhil edilmesidir.

PM salınım modellerine ait düzeltilmiş belirlilik katsayılarının düşük olması ve geliştirilen modellerin bağımlı değişkeni güçlü biçimde yansıtamamasından dolayı karar ağacı algoritmasını kullanan bir paket program ile modellemeler yapılmıştır. Çok sayıdaki analiz yöntemi arasından M5P karar ağacı algoritması kullanılmış ve beher veri grubu için bir regresyon formülü türetilmiştir. Düzeltilmiş belirlilik katsayıları, modellerin gücünü yansıtabilecek şekilde tatminkâr düzeydedir.

Karar ağacı algoritması ile bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki genel olarak üç farklı yöntem ile (eğitim veri seti, çapraz doğrulama, yüzdelik ayırma) test edilmiştir. Karar ağacı algoritmasıyla test edilen modelin başarısı son derece önemlidir. Modelin başarısı, ilgileşim katsayısı (*R*), belirleme katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (*MAE*), hataların karelerinin ortalamasının karekökü (*RMSE*), göreceli mutlak hata (*RAE*) ve göreceli mutlak hata karekökü (*RRSE*) değerleri ve hesaplama ölçütlerine göre değerlendirilmektedir. Buna göre genel olarak literatüre bakıldığında, R'nin %40'dan büyük, MAE ve RMSE'nin birer hata ölçüsü olması nedeniyle sıfıra yakın düşük değerler alması modelin başarılı olduğu anlamına gelmektedir. Bu çalışmada, literatürde bahsedilen model başarı ölçütlerine ilaveten modeldeki düğüm sayısının az olmasının da (<40) modelin başarısı için son derece önemli olduğu görülmüştür.

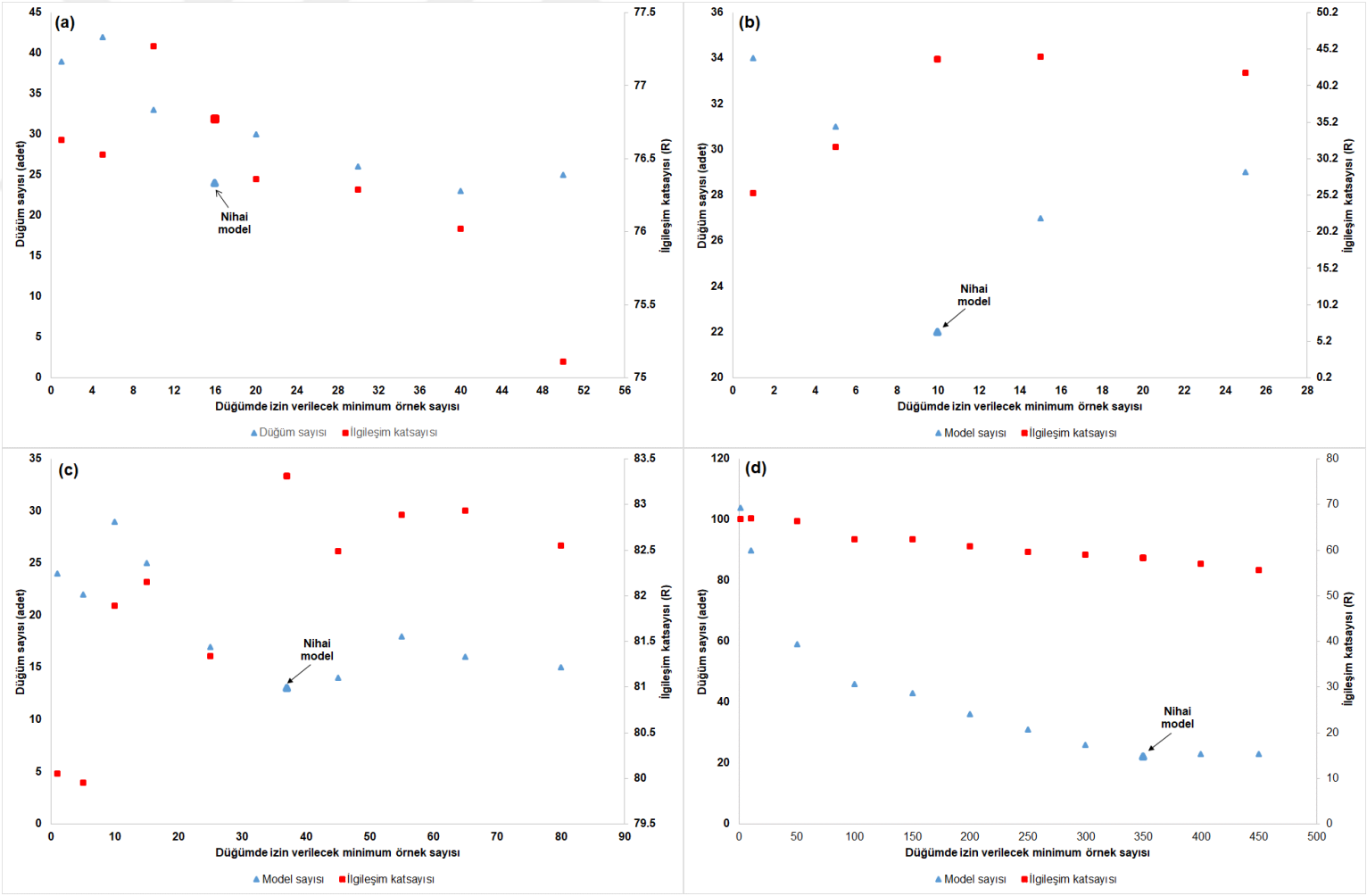
Yapılan M5P karar ağacı PM salınım modellemelerinde MAE ve RMSE'nin çok fazla değişmediği, bu nedenle modellemelerde en önemli ölçütlerin ilgileşim katsayısı ve modeldeki düğüm sayısının olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Karar ağacı algoritması ile oluşturulan PM salınım modellerinin başarısı, meta öğrenme algoritmasına, arama yöntemine (regresyon analizi değişken ekleme yöntemi) ve bir düğümde izin verilecek minimum örnek sayısına göre değişmektedir. PM salınımı için model kurulmadan önce meta öğrenme algoritması, arama yöntemi ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı algoritmaya veri olarak girilmekte ve model çalıştırılmaktadır. Modelde her seferinde düğümdeki minimum örnek sayısı ve arama yöntemi değiştirilmekte ve bu sayede modelin sonuçları test edilmektedir. Minimum örnek sayısı 1'den başlatılarak model her seferinde çalıştırılmakta ve yukarıda bahsedilen model başarı ölçütleri kayıt altına alınmaktadır. PM salınımı için model (düğüm) sayısı en küçük değerini, ilgileşim katsayısı en büyük değerini aldığında en iyi model olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, her bir bağımlı değişken (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ile bağımsız değişkenler (termal konfor parametreleri, makine özellikleri ile malzemenin nem ve silt+kil içeriği) arasındaki ilişki üç test yöntemiyle ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Eğitim veri seti yönteminde tüm veriler, hem eğitim için hem de test için kullanılmıştır. Çapraz doğrulama yönteminde, modelde veri kümesi boyutuna bağlı olarak her seferinde 5'den başlayarak 15'e kadar bölünmüş ve bu sayede modelin doğruluğu test edilmiştir. Böylece veriler parça sayısına bölünerek bunların

bir parçası test, geriye kalanları eğitim verisi olarak kullanılmıştır. Bu işlem tüm veri parçaları için yer değiştirilerek uygulanmıştır. Dolayısıyla, bu yöntemde bölünen tüm veri parçaları hem eğitim ve hem de test için kullanılmıştır. Yapılan modellemelerin büyük çoğunluğunda verilerin %10'u test verisi, %90'ı ise eğitim verisi olarak kullanıldığında en iyi sonuç alınmıştır. Yüzdelik ayırma yönteminde veri kümesi belirli bir oranda ikiye bölünmüş, ilk veri kümesi eğitim ve ikinci veri kümesi ise test amaçlı olarak kullanılmıştır. Bu yöntemde bölünme işlemi her seferinde %60'dan başlayarak %70'e kadar artırılmıştır. Bölünme işleminde yukarıda bahsedilen kriterlere göre en iyi sonuç büyük oranda, %66'lık bölünmede gerçekleşmiştir. Burada, %66'lık bölünme, kümenin ilk %66 kısmının eğitim ve sonraki %34 kısmının ise test amaçlı kullanılması anlamına gelmektedir.

Yapılan modelleme çalışmalarının sonuçlarına göre, eğitim veri seti yöntemindeki ilgileşim katsayısının diğer iki yönteme göre daha yüksek olduğu (%1<R<%20), diğer iki yöntemdeki ilgileşim katsayılarının birbirine yakın sonuçlar verdiği (R≤%5) görülmüştür. PM salınım modellerinde kullanılan verinin büyük aralığa saçılması durumunda eğitim veri seti ile yapılan modellemelerdeki ilgileşim katsayısının diğer iki yönteme göre belirgin bir şekilde yüksek olduğu (R>%5), veri dağılımlarının birbirine yakın olması durumunda ise her üç test yöntemindeki ilgileşim katsayılarının birbirine yakın sonuçlar (R≤%5) verdiği gözlemlenmiştir. Üç ayrı test yöntemiyle yapılan nihai PM salınım modellerinde; düğüm sayısı, regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri ve düğümde kullanılacak minimum örnek sayısı aynıdır.

Literatürde, en çok uygulanan çapraz doğrulama test yöntemi ile değerlendirilen PM salınım örneklerinden dört adedi aşağıda verilmiştir (Şekil 8.1). Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri için geliştirilen nihai salınım modellerindeki ilgileşim katsayısı ve düğümde kullanılacak minimum örnek sayısı değişkenlik göstermektedir. Örneğin, kalker (A) işletmesi delme faaliyeti nihai TAPM salınım modelinde her bir düğüm için kullanılan minimum örnek sayısı 16 ve ilgileşim katsayısı %76,77 iken, alçıtaşı işletmesinde bu değerler 10 ve %43,78'dir. Bu nedenle, her bir PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) nihai salınım modeli için bu hesaplamalar tek tek yapılmıştır.



Şekil 8.1 Nihai PM salınım modelleri (kalker (A) işletmesi delme faaliyeti nihai TAPM salınım modeli (a), Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti nihai TAPM salınım modeli (b), Kalker (B) işletmesi taşıma faaliyeti nihai 1/TAPM salınım modeli (c), Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti nihai TAPM salınım modeli (d))

8.2 Delme Faaliyeti Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) salınım verilerinin dağılımı Çizelge 8.1'de verilmiştir. Buna göre;

a) Alçıtaşı ve kalker (A) işletmesinde ölçülen TAPM salınım değerleri 500 µg/m³'ün üzerinde, kalker (B) işletmesinde ise 100 µg/m³'ün altında yoğunlaşmıştır.
b) Alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde ölçülen PM_{10} salınım değerleri 100 µg/m³'ün altında, kalker (A) işletmesinde ise 500 µg/m³'ün üstünde yoğunlaşmıştır.
c) Alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde ölçülen $PM_{2,5}$ salınım değerleri 10 µg/m³'ün altında, kalker (A) işletmesinde ise 50 µg/m³'ün üstünde yoğunlaşmıştır.
d) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde ölçülen PM_1 salınım değerleri 10 µg/m³'ün altında daha fazla yoğunlaşmıştır.
e) Kalker (B) işletmesindeki TAPM ve PM_{10} salınım değerlerinin alçıtaşı ve kalker (A) işletmesine göre daha düşük olmasının temel nedeni, bu işletmedeki malzeme nem değerlerinin diğer iki işletmeye göre daha yüksek ve silt+kil içeriğinin ise daha düşük olmasıdır.
f) Kalker (A) işletmesi PM ölçüm değerlerinin en yüksek olduğu işletmedir. Bunun temel sebebi, bu işletmede delinen kalkerin nem değerlerinin diğer iki işletmeye göre daha düşük ve delme işlemi sırasında deliklerin içerisinde diğer işletmelere göre daha düşük düzeyde su bulunmasıdır.

Çizelge 8.1 İşletme bazında delme faaliyeti PM salınım verilerinin dağılımı

PM	Salınım dağılımı (µg/m³)	Alçıtaşı (%)	Kalker (A) (%)	Kalker (B) (%)
TAPM	≤100	37,56	23,50	**62,02**
	100 - 300	16,78	18,17	16,76
	300 - 500	4,92	9,74	4,96
	>500	**40,74**	**48,59**	16,26
PM_{10}	≤100	**54,40**	34,12	**76,75**
	100 - 300	7,54	19,30	8,69
	300 - 500	2,02	6,88	2,14
	>500	36,04	**39,70**	12,42
$PM_{2,5}$	≤10	**55,98**	26,21	**50,28**
	10 - 30	18,91	25,90	37,30
	30 - 50	5,85	9,02	3,61
	>50	19,26	**38,87**	8,81
PM_1	≤10	**84,14**	**61,41**	**92,05**
	10 - 30	6,72	15,07	4,45
	30 - 50	0,65	4,93	0,39
	>50	8,49	18,59	3,11

Alçıtaşı ve kalker işletmelerindeki delme faaliyeti sırasında ölçümü yapılan PM salınımı ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

a) TAPM miktarı alçıtaşı işletmesinde 3,9 - 6527,9 µg/m³, kalker (A) işletmesinde 2,1 - 6527,9 µg/m³ ve kalker (B) işletmesinde 1,6 - 6527,9 µg/m³ arasında değişmiştir.

b) PM_{10} miktarı alçıtaşı işletmesinde 3,7 - 6527,9 µg/m³, kalker (A) işletmesinde 2,0 - 6527,9 µg/m³ ve kalker (B) işletmesinde 1,5 - 6527,9 µg/m³ arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ miktarı; alçıtaşı işletmesinde 0,2 - 652,79 µg/m³, kalker (A) işletmesinde 0,49 - 652,79 µg/m³ ve kalker (B) işletmesinde 0,56 - 652,79 µg/m³ arasında değişmiştir.
d) PM_1 miktarı; alçıtaşı işletmesinde 0,1 - 652,79 µg/m³, kalker (A) işletmesinde 0,11 - 652,79 µg/m³ ve kalker (B) işletmesinde 0,18 - 652,79 µg/m³ arasında değişmiştir.
e) Kaydedilen en yüksek PM miktarı kullanılan PM ölçerin teknik kapasitesi ile ilgili olup gerçek PM miktarı, PM ölçerin limit aşımı verdiği değerden muhtemelen daha yüksek olmalıdır. Delme faaliyeti sırasında ölçülen PM değerlerinin belirli bölümü (alçıtaşı işletmesi TAPM ve PM_{10}'da %4,15, $PM_{2,5}$ ve PM_1'de %0,54, kalker (A) işletmesi TAPM ve PM_{10}'da %8,51, $PM_{2,5}$ ve PM_1'de %2,74 ve kalker (B) işletmesi TAPM ve PM_{10}'da %0,67, $PM_{2,5}$ ve PM_1'de %0,05) PM ölçerin ölçüm aralığını aşmıştır.
f) Nem değerleri alçıtaşı işletmesinde %0,15 - %1,93, kalker (A) işletmesinde %0,06 - %1,87 ve kalker (B) işletmesinde %1,24 - %9,82 arasında değişmiştir.
g) Silt+kil içerikleri alçıtaşı işletmesinde %5,53 - %67,89, kalker (A) işletmesinde %0,64 - %16,9 ve kalker (B) işletmesinde %0 - %14,93 arasında değişmiştir.
h) İşletmeler arasında nem ve silt+kil içeriklerinde önemli derecede farklılık bulunmaktadır. Ayrıca nem ile silt+kil içeriği arasında negatif yönlü bir ilgileşim de vardır.

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme faaliyetinde oluşan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla istatistiksel analiz paketiyle (SPSS, 2018) regresyon modelleri hazırlanmıştır. Önce ham veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu araştırılmış, uygunluğu sağlayamayan ham veri setleri doğal logaritma (ln), logaritma (log), 1/ham ve ham/1000 olacak şekilde dönüştürülmüştür. Normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayıları olan veriler değerlendirmeye alınmış ve PM salınım kestirim denklemleri oluşturulmuştur.

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde ham TAPM ve PM_{10} veri setleri arasında normal dağılım göstermiş olup, aralarında pozitif yönlü güçlü ilgileşim vardır. Kalker işletmelerinde $PM_{2,5}$'un TAPM ve PM_{10} veri setleri ile arasında normal dağılım ham veri setlerinde, alçıtaşı işletmesinde ise doğal logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. Üç işletmede de $PM_{2,5}$ ile TAPM ve $PM_{2,5}$ ile PM_{10} arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim bulunmaktadır.

Alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde PM_1 ile $PM_{2,5}$ veri setleri arasındaki normal dağılım ham veri setlerinde, kalker (A) işletmesinde ise doğal logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. Ölçüm yapılan üç işletmede de PM_1 ve $PM_{2,5}$ veri setleri arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Ölçüm yapılan işletmelerdeki PM_1 - TAPM ve PM_1 - PM_{10} veri setleri arasında normal dağılımları logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. PM_1 - TAPM arasında alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde pozitif yönlü normal ilgileşim, kalker (A) işletmesinde ise pozitif yönlü yüksek ilgileşim vardır. Benzer şekilde; PM_1 - PM_{10} arasında kalker (B) işletmesinde pozitif yönlü normal ilgileşim, alçıtaşı ve kalker (A) işletmesinde ise pozitif yönlü yüksek ilgileşim

vardır. Sonuç olarak ölçüm yapılan üç işletmede de TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımları arasında normal dağılım gösteren veri setleri değişmekte olup aralarındaki ilgileşim düzeylerinden (normal ve yüksek ilgileşim) dolayı, herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları da makul doğruluk payı ile hesaplanabilmektedir. Diğer taraftan, ölçüm yapılan işletmelerdeki PM salınım tahmin kestirim denklemleri değişkenlik göstermektedir.

Bağımsız değişkenler kullanılarak PM salınım kestirim denklemleri geliştirilmiştir. İlk aşamada; istatistiksel analiz paketi yardımıyla delme faaliyeti sırasında ölçülen ve normal dağılıma uygunluk sağlayan verilerin, toplu ve aşamalı giriş teknikleri kullanılarak regresyon analizleri yapılmış olup sonuçları Çizelge 5.18 ve 5.19'da sunulmuştur.

İstatistiksel analiz paketi yardımıyla geliştirilen PM salınım kestirim denklemleri için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

a) Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti toplu giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%8 ile çok düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler istasyon basıncı ve silt+kil içeriği, en az etkili parametreler ise TAPM ve PM_{10} için malzeme nemi ve yan rüzgâr hızı, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ise malzeme nemidir.
b) Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti toplu giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%18'dir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM ve PM_{10} için malzeme nemi, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ise yan rüzgâr hızıdır. En az etkili parametreler ise TAPM ve PM_{10} için yan rüzgâr hızı, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ise malzeme nemidir.
c) Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti toplu giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%18,7 olup oldukça düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM için karşı rüzgâr hızı iken PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ise silt+kil içeriğidir. En az etkili parametreler ise TAPM için silt+kil içeriği, PM_{10} ve PM_1 için istasyon basıncı ve $PM_{2,5}$ için ise yan rüzgâr hızıdır.
d) Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti aşamalı giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%8,5'dur. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM ve PM_{10} için rüzgâr hızı, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ise malzemenin silt+kil içeriğidir. En az etkili parametreler ise TAPM, PM_{10} ve PM_1 için malzeme nemi, $PM_{2,5}$ için ise malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığıdır.
e) Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti aşamalı giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%17'dir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ için malzeme nemi, PM_1 için ise çiğ noktası sıcaklığıdır. En az etkili parametreler ise TAPM ve PM_{10} için karşı rüzgâr hızı, $PM_{2,5}$ için yan rüzgâr hızı ve PM_1 için ise istasyon basıncıdır.

f) Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti aşamalı giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%15,9'dir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM, PM_{10} ve PM_1 için karşı rüzgâr hızı, $PM_{2,5}$ için ise malzeme nemidir. En az etkili parametreler ise TAPM ve PM_{10} için istasyon basıncı, $PM_{2,5}$ için karşı rüzgâr hızı ve PM_1 için ise malzeme nemidir.

g) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme faaliyeti sırasında ölçülen ve normal dağılıma uygunluk sağlayan verileri kullanarak istatistiksel analiz paketi yardımıyla yapılan regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı çok düşüktür (<%20). İşletmeler bazında delme faaliyeti PM salınımları için etkin olan parametreler değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, delme faaliyeti PM salınım kestirim denklemleri istatistiksel analiz paketi yardımıyla sağlıklı biçimde belirlenememiştir.

Doktora çalışmasının ikinci aşamasında PM salınım kestirim denklemlerinin geliştirilmesi için karar ağacı algoritması kullanılmıştır. Karar ağacı algoritmasıyla yapılan regresyon modellerinde en yüksek ilgileşim katsayısı, düğüm sayısı ve etkin olan parametreler Çizelge 8.2'de verilmiştir. İlgileşim katsayısı ham veri, ln, log, 1/ham ve ham veri/1000 veri setleri için ayrı ayrı hesaplanmış olup modellemelerde en yüksek ilgileşim katsayısı olan veriler değerlendirilmiştir.

Literatürde, delme faaliyetinde oluşan PM salınımının modellenmesi için karar ağacı algoritmasının kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, karar ağacı algoritmasıyla geliştirilen PM salınım kestirim denklemleri için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

a) Literatürde TAPM salınım kestirim denklemleri ham veri setleri üzerinden yapılmıştır. TAPM kestirim denklemlerinin birimleri lb/delik (Axetell ve Cowherd 1984), g/s (Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012; Nagesha vd., 2016) ve kg/delik (USEPA, 1998a; NPI, 2012) olarak verilmiştir. Bu çalışmada, kestirilen TAPM salınımı birimi μg/m³'dür. Dolayısıyla, bu çalışmada açık işletmelerdeki patlatma deliklerinin içindeki TAPM miktarı yerine, delme sırasında dış ortamda, havadaki TAPM yoğunluğu hesaplanmıştır. İlave olarak, hem ham TAPM ve hem de dönüşümü gerçekleştirilmiş veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı ve en düşük model (düğüm sayısı) baz alınarak, nihai salınım kestirim denklemleri türetilmiştir.

b) TAPM salınım kestirim denklemlerine göre en yüksek ilgileşim katsayısı alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde logaritmik dönüşümde, kalker (A), kalker işletmeleri ve tüm işletmelerde ise ham veri setlerinde gerçekleşmiştir. Karar ağacı analizlerinde en düşük ilgileşim katsayısı %52 ile alçıtaşı işletmesi, en yüksek %77 ile kalker (A) işletmesine aittir. En fazla düğüm sayısı 33 ile alçıtaşı işletmesinde, en az 19 ile kalker işletmelerine aittir.

c) PM_{10} salınım kestirim denklemlerine göre en yüksek ilgileşim katsayısı alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde logaritmik dönüşümde, diğer işletmelerde ise ham veri setlerinde gerçekleşmiştir. Karar ağacı analizlerinde en düşük ilgileşim katsayısı %54

ile alçıtaşı işletmesi, en yüksek %74 ile kalker (A) işletmesine aittir. Düğüm sayısı en çok 32 ile alçıtaşı işletmesinde, en az 16 ile kalker (A) işletmesinde hesaplanmıştır.

d) $PM_{2,5}$ salınım kestirim denklemlerine göre en yüksek ilgileşim katsayısı alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde logaritmik dönüşümde, diğer işletmelerde ise ham veri setlerinde gerçekleşmiştir. Karar ağacı analizlerinde en düşük ilgileşim katsayısı %53 ile alçıtaşı işletmesi, en yüksek %77 ile kalker (B) işletmesine aittir. Düğüm sayısı en çok 23 ile alçıtaşı işletmesinde, en az 16 ile kalker (A) işletmesinde hesaplanmıştır.

e) PM_1 salınım kestirim denklemlerine göre en yüksek ilgileşim katsayısı kalker (A) ve tüm işletmelerde logaritmik dönüşümde, diğer işletmelerde ise 1/ham veri setlerinde gerçekleşmiştir. Karar ağacı analizlerinde en düşük ilgileşim katsayısı %58 ile alçıtaşı işletmesi, en yüksek %77 ile kalker (B) işletmesine aittir. Düğüm sayısı ise en çok 25 ile alçıtaşı işletmesinde, en az 14 ile kalker (B) işletmesinde hesaplanmıştır.

f) PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) salınım modellerinde herhangi bir bağımsız değişkenin tek başına model üzerinde etkisinin olduğunu söylemek oldukça güçtür. Bunun temel sebebi bağımlı değişken değerinin çok geniş aralıkta dalgalanmasıdır.

g) Literatür incelendiğinde açık kömür işletmelerindeki örtü tabakalarında delme faaliyetinde TAPM salınımının modellemesinde; delinen formasyonun nem ve silt içeriği, rüzgâr hızı, delik çapı ve delme sıklığı (Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012), delinen malzemenin nem ve silt içeriği gibi parametreler kullanılmıştır (Nagesha vd., 2016). Ayrıca kömürde delme faaliyeti sırasında TAPM salınım değeri 0,1 kg/delik (USEPA 1998a), kömür dekapajında ise 0,59 kg/delik (USEPA 1998a; NPI, 2012) sabit değeri verilmiştir.

h) Açık maden işletmelerinde delme faaliyetinde TAPM salınımını kestiren denklemler genellikle kömür madenleri için yapılmıştır. Bu çalışmada, TAPM salınım kestirim denklemleri bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde yapılmıştır. Yapılan TAPM modellemelerinde, öncel çalışmalara ilave olarak hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, malzemenin kil içeriği ile karşı ve yan rüzgâr hızlarının da etkin olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu çalışmada, literatürdeki modellerden daha fazla sayıda bağımsız değişken kullanılmıştır. Ayrıca, daha önce yapılan salınım kestirim denklemlerinin modelleme çalışmalarında termal konfor şartlarının göz ardı edildiği, yapılan bu çalışma ile termal konfor şartlarının PM salınımı üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

i) Yapılan tüm PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) salınımı modellerinde etkin olan parametreler; hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil), malzemenin silt+kil içeriği ile nemidir.

j) Literatürde açık maden işletmelerindeki delici iş makinelerinin çalışmasında PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımı ile ilgili herhangi bir kestirim modeline rastlanmamıştır. Yalnızca bir çalışmada PM_{10} için 0,31 kg/delik sabit değeri kullanılmıştır (NPI, 2012). Bu çalışmada PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ayrı PM salınım kestirim denklemleri türetilmiştir.

k) Hindistan'da bulunan iki açık kömür işletmesinde meteorolojik veriler ile delicilerin çalışması ile ilgili yapılan çalışmada, birinci kömür madeninde 90 - 380 µg/m³, ikinci kömür madeninde 275 - 662 µg/m³ toz salınımı olduğu hesaplanmıştır (Nagesha vd., 2016). Diğer bir açık kömür madeninde delme işlemi sırasında PM_{10} salınımı için maksimum ve ortalama toz konsantrasyonunun 150,0 mg/m³ ve 26,8 mg/m³ olduğu bildirilmiştir (Tripathy vd., 2015). Bu çalışmada, ölçüm yapılan her üç işletmede de TAPM ve PM_{10} konsantrasyonlarının maksimum değeri 6527,9 µg/m³, $PM_{2,5}$ ve PM_1'inki ise 652,79 µg/m³ olarak bulunmuştur. Diğer taraftan PM ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde, ölçümlerde kullanılan PM ölçerin ölçüm aralığı kısıdından dolayı PM ölçüm maksimum değerlerinin daha yüksek olacağı sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) konsantrasyonlarının maksimum değerleri kesin olarak belirlenememiştir.

l) Öncel araştırmalara bakıldığında, açık kömür işletmeciliğinde önemli miktarda tozun salındığı, salınım kestirim denklemlerinin maden sahalarına özgü olduğu ve bir saha için geliştirilen faktörlerin başka bir sahada doğru sonuçlar vermeyeceği, bunu için salınım faktörlerinin her bir saha için uyarlanması gerektiği ifade edilmiştir (Ghose, 2004; Huertas vd., 2012; Papagiannis, vd., 2014; Richardson vd., 2019). Bu çalışmada da ölçüm yapılan işletmelerdeki salınım kestirim denklemlerinde etken olan parametreler benzer olmasına rağmen, kestirim denklemleri değişkenlik göstermiştir.

Çizelge 8.2 İşletmelerdeki delme faaliyeti için hesaplanan model, düğüm sayısı, ilgileşim katsayısı ve önemli parametreler

Alçıtaşı İşletmesi			**Kalker (A) İşletmesi**			**Kalker (B) İşletmesi**			**Kalker İşletmeleri**			**Tüm İşletmeler**		
Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler
log(TAPM) (%52)	33	TMP, RH, SP, DWPT, HW, MSTR	TAPM (%77)	24	RH, SP, WS, HW, CW, DWPT, MSTR, SLT&CLY	log(TAPM) (%61)	21	TMP, RH, CW, WS, DWPT, MSTR, SLT&CLY	TAPM (%73)	19	RH, DWPT, HW, MSTR, SLT&CLY, SP	TAPM (%63)	25	WS, DWPT, HW, MSTR, SLT&CLY
log(PM_{10}) (%54)	32	TMP, RH, SP, DWPT, HW, MSTR, CW, SLT&CLY	PM_{10} (%74)	16	TMP, SP, WS, RH, HW, DWPT, MSTR, SLT&CLY	log(PM_{10}) (%60)	23	RH, DWPT, CW, MSTR, SLT&CLY	PM_{10} (%71)	19	RH, DWPT, HW, MSTR, SP, WS, SLT&CLY	PM_{10} (%63)	23	RH, SP, WS, HW, DWPT, MSTR, SLT&CLY
log($PM_{2,5}$) (%53)	23	TMP, SP, HW, DWPT, MSTR, SLT&CLY	$PM_{2,5}$ (%71)	20	TMP, SP, RH, WS, MSTR, SLT&CLY, HW	1/$PM_{2,5}$ (%77)	16	RH, DWPT, SP, MSTR, SLT&CLY, WS, CW, HW	$PM_{2,5}$ (%71)	20	RH, DWPT, CW, MSTR, SLT&CLY	$PM_{2,5}$ (%65)	22	RH, DWPT, CW, MSTR SP, WS, SLT&CLY
1/PM_1 (%58)	25	TMP, RH, SP, HW, DWPT, MSTR, SLT&CLY	log(PM_1) (%66)	18	TMP, SP, RH, WS, MSTR, HW, CW, SLT&CLY	1/PM_1 (%81)	14	RH, TMP, SP, MSTR, WS, SLT&CLY, CW, HW	1/PM_1 (%71)	23	TMP, RH, DWPT, MSTR, SLT&CLY, WS, SP, HW	log(PM_1) (%62)	22	RH, TMP, DWPT, CW, MSTR, SP, SLT&CLY

M5P karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan delme faaliyeti nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri Çizelge 8.3'de verilmiştir. Nihai kestirim denklemlerinde regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı değişmektedir. Buna göre; düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı alçıtaşı işletmesinde 4-49, kalker (A) işletmesinde 4-135 ve kalker (B) işletmesinde ise 4-85 arasında değişmektedir. Nihai PM salınımı kestirim modelleri aşağıdaki sonuçlara göre belirlenmiştir.

a) Alçıtaşı işletmesi; TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. TAPM ve $PM_{2,5}$ geriye doğru değişken çıkarma (backward) yönteminde, PM_{10} ise ileriye doğru değişken ekleme (forward) yönteminde en yüksek katsayıyı vermiştir. Ayrıca, TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 4, 15 ve 4'tür.
b) Alçıtaşı işletmesi; PM_1 veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümde, geriye doğru değişken çıkarma yönteminde ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı 49 olacak şekilde gerçekleşmiştir.
c) Kalker (A) işletmesi; TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri setlerinde gerçekleşmiştir. TAPM ve PM_{10} geriye doğru değişken çıkarma yönteminde, $PM_{2,5}$ ise ileriye doğru değişken ekleme yönteminde en iyi sonucu vermiştir. Ayrıca, TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 16, 105 ve 54'tür.
d) Kalker (A) işletmesi; PM_1 veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısına logaritmik dönüşümde ileriye doğru değişken ekleme yönteminde ulaşılmıştır. Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı 110'dur.
e) Kalker (B) işletmesi; TAPM ve PM_{10} veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. TAPM ileriye doğru değişken ekleme yönteminde, PM_{10} ise geriye doğru değişken çıkarma yönteminde en yüksek katsayıyı vermiştir. TAPM ve PM_{10} veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 50 ve 15'dir.
f) Kalker (B) işletmesi; $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısına 1/ham dönüşümde geriye doğru değişken çıkarma yönteminde erişilmiştir. Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 4 ve 20'dir.

Çizelge 8.3 Delme faaliyeti nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri

Karar Ağacı Regresyon Analizi Değişken Ekleme Yöntemi		Alçıtaşı işletmesi (1829 veri)			Kalker (A) işletmesi (2514 veri)			Kalker (B) işletmesi (1772 veri)		
		Veri seti	Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı		Veri seti	Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı		Veri seti	Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı
	İleriye doğru ekleme	TAPM	10	İleriye doğru ekleme	1/TAPM	4	İleriye doğru ekleme	TAPM	4
		TAPM/1000	10		$1/PM_{10}$	4		TAPM/1000	4
		PM_{10}	6		$log(PM_{10})$	135		**log(TAPM)**	**50**
		PM_{10}/1000	6		$ln(PM_{10})$	135		ln(TAPM)	50
		$1/PM_{10}$	13		**$PM_{2,5}$**	**54**		PM_{10}	8
		$log(PM_{10})$	**15**		$PM_{2,5}$/1000	54		PM_{10}/1000	8
		$ln(PM_{10})$	15		$1/PM_1$	18		$1/PM_{10}$	6
		$log(PM_1)$	4		**$log(PM_1)$**	**110**		$log(PM_{2,5})$	48
		$ln(PM_1)$	4		$ln(PM_1)$	110		$ln(PM_{2,5})$	48
		PM_1	10	Geriye doğru çıkarma	**TAPM**	**16**		$log(PM_1)$	70
		PM_1/1000	10		TAPM/1000	16		$ln(PM_1)$	85
	Geriye doğru çıkarma	1/TAPM	6		log(TAPM)	90	Geriye doğru çıkarma	1/TAPM	8
		log(TAPM)	**4**		ln(TAPM)	90		**$log(PM_{10})$**	**15**
		ln(TAPM)	4		**PM_{10}**	**105**		$ln(PM_{10})$	15
		$PM_{2,5}$	4		PM_{10}/1000	105		$PM_{2,5}$	7
		$PM_{2,5}$/1000	4		$1/PM_{2,5}$	90		$PM_{2,5}$/1000	7
		$log(PM_{2,5})$	**4**		$log(PM_{2,5})$	125		**$1/PM_{2,5}$**	**4**
		$ln(PM_{2,5})$	4		$ln(PM_{2,5})$	125		PM_1	10
		$1/PM_{2,5}$	6		PM_1	16		PM_1/1000	10
		$1/PM_1$	**49**		PM_1/1000	16		**$1/PM_1$**	**20**

Delme faaliyeti sırasında alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde PM_{10} ve $PM_{2,5}$ ölçümleri yapılmıştır. PM_{10} ölçüm verileri işletmeye bağlı olarak 1,5 - 6527,9 µg/m³, $PM_{2,5}$ ise 0,2 - 652,79 µg/m³ arasında değişmiştir. Ölçüm verilerinin geniş aralığa saçılı olmasından dolayı ortalama değer evreni temsil edemeyeceği için ölçüm verilerinin ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki sınır değerleri ile karşılaştırılabilmesi amacıyla veri setleri sınır değerler dikkate alınarak gruplandırılmış ve değerlendirmeler yapılmıştır (Çizelge 8.4). Delme faaliyetinin 24 saat boyunca sürekli yapılıyor olması kabulü ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

a) USEPA iyi ve orta kategorisi; alçıtaşı işletmesinde PM_{10} salınım verisinin yaklaşık %58,93'ü, kalker (A) işletmesinde %42,93'ü ve kalker (B) işletmesinde %81,69'u sınır değerinin altındadır.
b) USEPA iyi ve orta kategorisi ile ABD ve Çin'deki (milli parklar gibi özel bölgeler) ilgili standart uyarınca; alçıtaşı işletmesinde $PM_{2,5}$ salınım verisinin yaklaşık %76,75'i, kalker (A) işletmesinde %55,47'si ve kalker (B) işletmesinde %88,52'si sınır değerin altındadır.
c) USEPA tehlikeli kategorisi; alçıtaşı işletmesinde ölçümü yapılan PM_{10} verilerinin yaklaşık %36,61'i, kalker (A) işletmesinde %40,71'i ve kalker (B) işletmesinde %12,85'i sınır değerinin üzerindedir.
d) USEPA tehlikeli kategorisi; alçıtaşı işletmesinde ölçümü yapılan $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %7,03'ü, kalker (A) işletmesinde %16,64'ü ve kalker (B) işletmesinde %3,05'i sınır değerinin üzerindedir.
e) Türkiye, Avustralya, Çin (milli parklar gibi özel bölgeler), WHO ve AB ülkelerindeki ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde PM_{10} salınım verisinin yaklaşık %39,85'i, kalker (A) işletmesinde %21,44'ü ve kalker (B) işletmesindeki %63,54'ü sınır değerin altındadır.
f) WHO ve Avustralya'daki ilgili standart uyarınca; alçıtaşı işletmesinde $PM_{2,5}$ salınım verisinin yaklaşık %72,38'i, kalker (A) işletmesinde %48,83'ü ve kalker (B) işletmesinde %86,32'si sınır değerin altındadır.
g) ABD ve Çin'deki (kentsel ve endüstriyel alanlar dâhil tüm alanlar) ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde PM_{10} salınım verisinin yaklaşık %57,89'u, kalker (A) işletmesinde %41,89'u ve kalker (B) işletmesinde %80,63'ü sınır değerin altındadır.
h) Çin'deki (kentsel ve endüstriyel alanlar dâhil tüm alanlar) ilgili standart uyarınca; alçıtaşı işletmesinde $PM_{2,5}$ salınım verisinin yaklaşık %84,99'u, kalker (A) işletmesinde %66,03'ü ve kalker (B) işletmesinde %93,13'ü sınır değerin altındadır.
i) Kanada dış ortam hava kalitesi standardı uyarınca; alçıtaşı işletmesinde $PM_{2,5}$ salınım verisinin yaklaşık %73,70'i, kalker (A) işletmesinde %50,94'ü ve kalker (B) işletmesinde %87,39'u sınır değerin altındadır.
j) Ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standart limit değerlerine göre $PM_{2,5}$ ve PM_{10} salınımlarının kıyaslaması yapılmıştır. Buna göre, delme faaliyetinde PM_{10} salınımının $PM_{2,5}$ salınımına göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

k) Sonuç olarak; delme faaliyeti sırasında dış ortamda bulunan çalışanların mutlaka kişisel solunum koruyucu donanım kullanmaları gerekmektedir. Ayrıca, delme faaliyeti sırasında yapılan ölçümlerde sınır değerini en çok kalker (A) işletmesi, en az kalker (B) işletmesi aşmıştır.

Çizelge 8.4 Delme faaliyeti PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınımlarının Türkiye ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standartlara göre değerlendirilmesi

PM	Ülke	Kategori	24 saatlik ortalama (µg/m³)	Alçıtaşı İşl. delme faaliyeti (%)	Kalker (A) İşl. delme faaliyeti (%)	Kalker (B) İşl. delme faaliyeti (%)
		İyi	0 – 54	42,85	22,95	65,54
		Orta	55 – 154	16,08	19,98	16,15
	USEPA	Hassas gruplar için sağlığa zararlı	155 – 254	2,02	7,90	2,90
		Sağlığa zararlı	255 – 354	1,64	5,21	1,91
		Sağlığa çok zararlı	355 – 424	0,80	3,25	0,65
		Tehlikeli	>425	36,61	40,71	12,85
PM_{10}	Türkiye		0 – 50	39,85	21,44	63,54
	ABD		0 – 150	57,89	41,89	80,63
	Kanada		0 – 25	24,76	9,94	38,37
	Avustralya		0 – 50	39,85	21,44	63,54
	Çin		0 – 50	39,85	21,44	63,54
			0 – 150	57,89	41,89	80,63
	WHO		0 – 50	39,85	21,44	63,54
	AB		0 – 50	39,85	21,44	63,54
		İyi	0 – 12	62,32	30,54	58,79
		Orta	12,1 – 35,4	14,43	24,93	29,73
	USEPA	Hassas gruplar için sağlığa zararlı	35,5 – 55,4	4,87	6,91	2,87
		Sağlığa zararlı	55,5 – 150,4	8,44	13,21	4,01
		Sağlığa çok zararlı	150,5 – 250,4	2,91	7,77	1,55
$PM_{2,5}$		Tehlikeli	>250,4	7,03	16,64	3,05
	ABD		0 – 35	76,75	55,47	88,52
	Kanada		0 – 28	73,70	50,94	87,39
	Avustralya		0 – 25	72,38	48,83	86,32
	Çin		0 – 35	76,75	55,47	88,52
			0 – 75	84,99	66,03	93,13
	WHO		0 – 25	72,38	48,83	86,32

8.3 Yükleme Faaliyeti Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde yükleme faaliyetinde PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) salınımı dağılımı Çizelge 8.5'de verilmiştir. Buna göre;

a) Alçıtaşı işletmesinde TAPM salınım değerleri 500 µg/m³ üzerinde, kalker (A) ve (B) işletmesinde ise 100 µg/m³ altında yoğunlaşmıştır.
b) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde PM_{10} salınım değerleri 100 µg/m³ altında yoğunlaşmıştır.
c) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde PM_1 ve $PM_{2,5}$ salınım değerleri 10 µg/m³ altında yoğunlaşmıştır.
d) Kalker (B) işletmesindeki TAPM ve PM_{10} salınım değerlerinin alçıtaşı ve kalker (A) işletmesine göre daha düşük olmasının temel nedeni, bu işletmedeki malzeme nem değerlerinin diğer iki işletmeye göre daha yüksek olmasıdır. Alçıtaşı işletmesinde yüklenen malzemenin tane boyutu kalker işletmelerine göre daha incedir. Ayrıca, alçıtaşı işletmesinin sığ derinlikte olması ve diğer işletmelere göre daha fazla rüzgâr alması PM salınımının artmasına sebep olan en önemli etkenlerdir.

Çizelge 8.5 İşletme bazında yükleme faaliyeti PM salınım verilerinin dağılımı

PM	Salınım dağılımı (µg/m³)	Alçıtaşı (%)	Kalker (A) (%)	Kalker (B) (%)
TAPM	≤100	31,50	**35,40**	**59,96**
	100 - 300	18,91	24,69	18,89
	300 - 500	9,13	9,34	6,39
	>500	**40,46**	30,57	14,76
PM_{10}	≤100	**48,25**	**55,59**	**74,84**
	100 - 300	18,42	20,09	13,56
	300 - 500	2,65	7,45	2,85
	>500	30,68	16,87	8,75
$PM_{2,5}$	≤10	**56,74**	**52,00**	**70,08**
	10 - 30	19,52	25,81	20,64
	30 - 50	11,41	10,02	3,10
	>50	12,33	12,17	6,18
PM_1	≤10	**88,32**	**92,50**	**96,08**
	10 - 30	10,61	7,07	2,91
	30 - 50	0,68	0,30	0,43
	>50	0,39	0,13	0,58

Alçıtaşı ve kalker işletmelerindeki yükleme faaliyetinde PM salınımı ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

a) TAPM ölçüm verileri (µg/m³); alçıtaşı işletmesinde 1,8 - 6527,9, kalker (A) işletmesinde 1,1 - 6527,9 ve kalker (B) işletmesinde 1,1 - 6527,9 arasında değişmiştir.
b) PM_{10} ölçüm verileri (µg/m³); alçıtaşı işletmesinde 1,7 - 6527,9, kalker (A) işletmesinde 1,0 - 6527,9 ve kalker (B) işletmesinde 1,1 - 6527,9 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ ölçüm verileri (µg/m³); alçıtaşı işletmesinde 0,79 - 531,1, kalker (A) işletmesinde 0,3 - 540,2 ve kalker (B) işletmesinde 0,68 - 505,9 arasında değişmiştir.
d) PM_1 ölçüm verileri (µg/m³); alçıtaşı işletmesinde 0,16 - 287,5, kalker (A) işletmesinde 0,01 - 354,2 ve kalker (B) işletmesinde 0,1 - 397,5 arasında değişmiştir.
e) Kaydedilen en yüksek PM salınım değerleri kullanılan cihazın ölçüm üst sınırında olduğundan, ortamdaki gerçek PM miktarı daha yüksek olabilir. Yükleme sırasında ölçülen PM değerleri (alçıtaşı işletmesi TAPM ve PM_{10}'da %6,9, kalker (A) işletmesi TAPM ve PM_{10}'da %0,24 ve kalker (B) işletmesi TAPM ve PM_{10}'da %0,78), cihazın ölçüm üst sınırını temsil etmiştir. Diğer yandan, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ölçümlerinde kullanılan PM ölçerin kapasitesi aşılmamıştır.
f) Nem değerleri (%); alçıtaşı işletmesinde 0,17 - 3,2, kalker (A) işletmesinde 0,02 - 2,5 ve kalker (B) işletmesinde 2,82 - 21,21 arasında değişmiştir. Kalker (B) işletmesindeki nem değerinin diğer iki işletmeye göre belirgin biçimde yüksek olduğu görülmüştür.

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde yükleme faaliyetinde ölçülen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri geliştirilmiştir. Önce ham veri setlerinin normal dağılıma uygunluğu araştırılmış, uygunluğu sağlayamayan ham veri setleri doğal logaritma (ln), logaritma (log), 1/ham ve ham/1000 olacak şekilde dönüştürülmüştür. Daha sonra normal dağılım gösteren ve en

yüksek ilgileşim katsayısına sahip veriler değerlendirmeye alınarak PM salınım kestirim denklemleri oluşturulmuştur.

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde PM_{10} ve TAPM veri setleri arasında normal dağılım ham veri setlerinde gerçekleşmiş olup, aralarında pozitif yönlü yüksek ilgileşim vardır. Üç işletmede de $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10}, PM_1 ile TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri arasında normal dağılım doğal logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. Bu işletmelerdeki $PM_{2,5}$ - TAPM ve PM_{10} veri setleri arasında pozitif yönlü yüksek ilgileşim bulunmaktadır.

Kalker işletmelerinde ölçülen PM_1 ile TAPM ve PM_{10} veri setleri arasında normal ilgileşim, alçıtaşı işletmesindeki ölçüm verilerinde ise yüksek ilgileşim vardır. Benzer şekilde; her üç işletmede de PM_1 ile $PM_{2,5}$ veri setleri arasında yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Sonuç olarak, üç işletmede de TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımları arasında normal dağılım gösteren veri setleri değişmekte olup aralarındaki ilgileşim düzeylerinden (normal ve yüksek ilgileşim) dolayı, herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları da makul doğruluk payı ile hesaplanabilmektedir. Diğer taraftan, ölçüm yapılan işletmelerdeki PM salınım kestirim denklemleri de değişkenlik göstermektedir.

Bağımsız değişkenler kullanılarak PM salınım kestirim denklemleri geliştirilmiştir. İlk aşamada; istatistiksel analiz paketi yardımıyla yükleme faaliyeti sırasında ölçülen ve normal dağılıma uygunluk sağlayan veriler ile toplu ve aşamalı giriş teknikleri kullanılarak regresyon analizleri yapılmış olup sonuçları Çizelge 6.18 ve 6.19'da sunulmuştur. Buna göre;

a) Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti toplu giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%45,1 olup düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM ve PM_{10} için istasyon basıncı ve malzeme nemi, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için istasyon basıncı ve yükleyici kova hacmidir. En az etkili parametreler ise TAPM ve PM_{10} için yükleyici kova hacmi, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için malzeme nemidir.
b) Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti toplu giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%29,5 ile düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler tüm PM salınımları için karşı ve yan rüzgâr hızlarıdır. En az etkili parametreler ise TAPM ve PM_{10} için istasyon basıncı, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için malzeme nemidir.
c) Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti toplu giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%7,4 olup oldukça düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM ve PM_{10} için malzeme nemi, $PM_{2,5}$ için karşı rüzgâr hızı ve PM_1 için istasyon basıncı ile karşı rüzgâr hızıdır. En az etkili parametreler TAPM ve PM_{10} için istasyon basıncı, $PM_{2,5}$ için yükleyici kova hacmi ve PM_1 için malzeme nemi ile yükleyici kova hacmidir.
d) Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti aşamalı giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%44,7 olup düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler tüm PM salınımları

için havanın bağıl nemi ve sıcaklığıdır. En az etkili parametreler ise TAPM ve PM_{10} için yükleyici kova hacmi, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için malzeme nemi ve rüzgâr hızıdır.

e) Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti aşamalı giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%28 olup oldukça düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM için havanın bağıl nemi ve karşı rüzgâr hızı, PM_{10} için malzeme nemi ve karşı rüzgâr hızı, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için hava sıcaklığı ve karşı rüzgâr hızıdır. En az etkili parametreler ise TAPM ve PM_{10} için yükleyici kova hacmi ve istasyon basıncı, $PM_{2,5}$ için havanın bağıl nemi ve rüzgâr hızı iken PM_1 için ise yan rüzgâr hızıdır.

f) Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti aşamalı giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%7,3 olup oldukça düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM ve PM_{10} için malzeme nemi ve çiğ noktası sıcaklığı, $PM_{2,5}$ için havanın bağıl nemi ve PM_1 için malzeme nemi ile istasyon basıncıdır. En az etkili parametreler TAPM ve PM_{10} için istasyon basıncı, $PM_{2,5}$ için karşı rüzgâr hızı ve yükleyici kova hacmi iken PM_1 için rüzgâr hızıdır.

g) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde yükleme faaliyeti sırasında ölçülen ve normal dağılıma uygunluk sağlayan veriler kullanılarak geliştirilen regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı düşük düzeyde (≤%44,7) kalmıştır. İşletmeler bazında yükleme faaliyetinde PM salınımı üzerinde etkin olan parametreler değişkenlik gösterdiği için yükleme faaliyeti için güçlü PM salınım kestirim denklemleri geliştirilememiştir.

Tez çalışmasının ikinci aşamasında karar ağacı algoritması kullanılarak PM salınım kestirim denklemleri oluşturulmuştur. Karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan modellerin en yüksek ilgileşim katsayısı, düğüm sayısı ve etkin parametre listesi Çizelge 8.6'da verilmiştir. İlgileşim katsayısı ham veri, ln, log, 1/ham ve ham/1000 veri setleri için ayrı ayrı hesaplanmış olup modellemelerde en yüksek ilgileşim katsayısı olan veriler değerlendirilmiştir.

Literatürde, yükleme faaliyeti için karar ağacı kullanılarak PM salınımı modelleme çalışmalarına rastlanmamıştır. Karar ağacı algoritmasıyla geliştirilen PM salınım kestirim denklemleri için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

a) TAPM regresyon modellerinde en yüksek ilgileşim katsayısı ham ve logaritmik veri setlerine ait olup %57 - %72 arasında değişmiştir. Modellerdeki düğüm sayıları 18 - 27 arasındadır. Öncel çalışmalarda TAPM salınım kestirim denklemleri ham veri setleri kullanılarak geliştirilmiş ve birimleri lb/ton (Axetell ve Cowherd, 1984; USEPA, 1998a), kg/ton (USEPA, 1991; USEPA, 1995; USEPA, 2006b; NPI, 2012) ve g/s (Chakraborty vd., 2002; Chaulya, 2006; Lal ve Tripathy, 2012) iken bu çalışmada kestirim denklemlerinin birimi, yükleme faaliyeti sırasında ortama salınan PM miktarını gösteren $\mu g/m^3$'dür.

b) PM_{10} kestirim modellerinde en yüksek ilgileşim katsayısı alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde $1/PM_{10}$, kalker A ve kalker işletmelerinde $\log(PM_{10})$ ve tüm işletmelerde ise ham PM_{10} veri setlerine ait olup %55 - %72 arasında değişmiştir. Düğüm sayıları ise 21 - 31 arasındadır.

c) $PM_{2,5}$ kestirim modellerinde en yüksek ilgileşim katsayıları kalker (B) işletmesinde $1/PM_{2,5}$, diğer işletmelerde ise logaritmik veri setlerine aittir ve %63 - %79, düğüm sayıları 15 - 25 arasındadır.

d) PM_1 kestirim modellerinde en yüksek ilgileşim katsayıları kalker (B) işletmesinde $1/PM_1$, diğer işletmelerde ise logaritmik veri setlerine ait olup %66 - %81 arasında değişmiştir. Düğüm sayıları 16 - 23 arasındadır.

e) Açık kömür işletmelerinde üretimde yükleme sırasında ortama salınan TAPM'nin kestirilmesinde yüklenen malzemenin nem içeriği (Axetell ve Cowherd 1984; USEPA, 1991; USEPA, 1995; USEPA, 1998a; NPI, 2012), yüklenen malzemenin nem ve silt içeriği, malzeme boşaltma yüksekliği, rüzgâr hızı, yükleme sıklığı ve yükleyici kapasitesi (Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012) gibi parametreler kullanılmıştır. Kömür ocaklarında dekapajda TAPM salınımının modellenmesinde ise yüklenen malzemenin nem ve silt içeriği, malzeme boşaltma yüksekliği, rüzgâr hızı, yükleme sıklığı ve yükleyici kapasitesi (Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012) ile yüklenen malzemenin nem içeriği ve rüzgâr hızı (NPI, 2012) kullanılmıştır.

f) Açık demir işletmesinde cevher üretimi ve dekapaj sırasında açığa çıkan TAPM'nin modellenmesinde yüklenen malzemenin nem ve silt içeriği, malzeme boşaltma yüksekliği, rüzgâr hızı, yükleme sıklığı ile yükleyici kapasitesi (Chaulya, 2006) kullanılmıştır. Agrega ocaklarında yüklemede ise malzemenin nem içeriği ve rüzgâr hızı (USEPA, 2006b) gibi parametreler kullanılmıştır.

g) Öncel çalışmalar açık demir ve kömür ocaklarında TAPM salınımı modellemesi üzerine yoğunlaşırken bu çalışmada, TAPM salınımı modellemesi alçıtaşı ve kalker ocaklarında yapılmıştır. TAPM modellerinde, önceki çalışmalara ilave olarak hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil), yüklenen malzemenin nemi ve yükleyici kova hacmi de bağımsız değişken olarak kullanılmış ve TAPM salınımı üzerinde etkin oldukları görülmüştür. Önceki salınım modellerinde termal konfor şartları göz ardı edilirken, bu çalışma ile termal konfor şartlarının PM salınım modellenmesinde etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

h) Tüm PM salınım modellerinde etkin olan temel parametreler; hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil), yüklenen malzemenin nemi ve yükleyici kova hacmidir.

i) Açık maden işletmelerinde sürdürülen yükleme faaliyetlerindeki PM_{10} salınımı modelleri öncel çalışmalarda kömür ve agrega ocakları ile sınırlıdır. Kömür üretiminde; PM_{10} kestirim denklemi için $0{,}75*PM_{15}$ (USEPA, 1991; USEPA, 1995), yüklenen malzemenin nem içeriği (NPI, 2012), kömür dekapajında ise yüklenen malzemenin nem içeriği ve rüzgâr hızı (NPI, 2012) gibi parametreler kullanılmıştır. Agrega

yüklemede PM_{10} tahmininde ise 0,35*TAPM formülü kullanılmıştır. Bu çalışmada, PM_{10} salınımı modellenmesinde hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil), yüklenen malzemenin nemi ve yükleyici kova hacmi gibi parametreler kullanılmıştır.

j) Literatürde açık maden işletmelerinde PM_1 salınım modellemesine rastlanmamıştır. Diğer taraftan, sadece açık kömür ve agrega ocaklarında yükleme sırasında açığa çıkan $PM_{2,5}$'un kestirimi için iki farklı eşitlik bulunmaktadır. Kömür üretiminde $PM_{2,5}$ salınımı için 0,019*TAPM (Axetell ve Cowherd 1984; USEPA, 1991; USEPA, 1995; USEPA, 1998a; NPI, 2012) ve agrega yüklenmesi için 0,053*TAPM (USEPA, 2006b) eşitliği bulunmaktadır. Bu çalışmada, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ayrı ayrı PM salınım kestirim denklemleri türetilmiştir. Salınım kestirim denklemlerinde etkin olan en önemli parametreler; hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil), yüklenen malzemenin nemi ve yükleyici kova hacmidir.

k) Öncel araştırmalarda açık kömür işletmeciliğinde çalışma ortamına önemli miktarda toz salındığı, salınım kestirim denklemlerinin maden sahalarına özgü olduğu ve bir saha için geliştirilen faktörlerin başka bir sahada doğru sonuçlar vermeyeceği, bunun için salınım faktörlerinin her bir saha için uyarlanması gerektiği ifade edilmiştir (Ghose, 2004; Huertas vd., 2012; Papagiannis, vd., 2014; Richardson vd., 2019). Bu çalışmada da ölçüm yapılan işletmelerdeki salınım kestirim denklemlerinde etken olan parametreler benzer olmasına rağmen, farklı salınım kestirim denklemleri türetilmiştir.

M5P karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan yükleme faaliyeti nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve modellere değişken ekleme yöntemleri Çizelge 8.7'de verilmiştir. İşletmelerdeki PM salınımları için karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan nihai kestirim denklemlerinde, regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı değişmektedir. Buna göre nihai PM salınım modellerinde; düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı alçıtaşı işletmesinde 5-100, kalker (A) işletmesinde 4-105 ve kalker (B) işletmesinde ise 6-125 arasında değişmektedir. Nihai PM salınımı kestirim modelleri aşağıdaki sonuçlara göre belirlenmiştir.

a) Alçıtaşı işletmesi; TAPM, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. TAPM ve PM_1 ileriye doğru değişken ekleme yönteminde, $PM_{2,5}$ ise geriye doğru değişken çıkarma yönteminde en iyi sonucu vermiştir. TAPM, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 100, 80 ve 80'dir.

b) Alçıtaşı işletmesi; PM_{10} veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümde geriye doğru değişken çıkarma yönteminde ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı 6 olacak şekilde gerçekleşmiştir.

c) Kalker (A) işletmesi; TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. TAPM geriye doğru değişken

çıkarma yönteminde, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri ise ileriye doğru ekleme değişken ekleme yönteminde en iyi sonucu vermiştir. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 81, 95, 130 ve 95'dir.

d) Kalker (B) işletmesi; TAPM veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde geriye doğru değişken çıkarma yönteminde ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı 53 olacak şekilde gerçekleşmiştir.
e) Kalker (B) işletmesi; PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümünde gerçekleşmiştir. PM_{10} ve $PM_{2,5}$ ileriye doğru değişken ekleme yönteminde, PM_1 ise geriye doğru değişken çıkarma yönteminde en iyi sonucu vermiştir. PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 11, 125 ve 122'dir.

Yükleme faaliyeti sırasında bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde PM_{10} ve $PM_{2,5}$ ölçümleri yapılmıştır. PM_{10} ölçüm verileri işletmeye bağlı olarak 1,0 - 6527,9 µg/m³, $PM_{2,5}$ ise 0,3 - 540,22 µg/m³ arasında değişmiştir. Ölçüm verilerinin saçılı olmasından dolayı ortalaması alınamamıştır. Bu nedenle, ölçüm verileri ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki sınır değerleri ile karşılaştırılabilmesi için veri setleri sınır değerler dikkate alınarak gruplandırılmıştır (Çizelge 8.8). Bu sayede, gruplandırılmış veriler üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirmeler, yükleme faaliyetinin 24 saat boyunca sürekli yapılıyor olması kabulüyle yapılmıştır. Buna göre; aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

a) USEPA iyi ve orta kategorisi; alçıtaşı işletmesinde ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %57,64'ü, kalker (A) işletmesinde %65,77'si ve kalker (B) işletmesinde %82,20'si sınır değerinin altındadır.
b) USEPA iyi ve orta kategorisi ile ABD ve Çin'deki (milli parklar gibi özel bölgeler) ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçümü yapılan $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %81,90'ı, kalker (A) işletmesinde %81,05'i ve kalker (B) işletmesinde %91,90'ı sınır değerinin altındadır.
c) USEPA tehlikeli kategorisi; alçıtaşı işletmesinde ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %31,14'ü, kalker (A) işletmesinde %18,50'si ve kalker (B) işletmesinde %9,38'i sınır değerinin üzerindedir.
d) USEPA tehlikeli kategorisi; alçıtaşı işletmesinde ölçümü gerçekleştirilen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %0,58'i, kalker (A) işletmesinde %0,45'i ve kalker (B) işletmesinde %0,33'ü sınır değerinin üzerindedir.
e) Türkiye, Avustralya, Çin (milli parklar gibi özel bölgeler), WHO ve AB ülkelerindeki ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %35,89'u, kalker (A) işletmesinde %35,54'ü ve kalker (B) işletmesindeki %61,99'u sınır değerinin altındadır.
f) WHO ve Avustralya ülkesindeki ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçümü gerçekleştirilen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %70,65'i, kalker (A) işletmesinde %48,83'ü ve kalker (B) işletmesinde %86,32'si sınır değerinin altındadır.

Çizelge 8.6 Ölçüm yapılan işletmelerdeki yükleme faaliyeti için hesaplanan model, düğüm sayısı, ilgileşim katsayısı ve önemli parametreler

Alçıtaşı İşletmesi			Kalker (A) İşletmesi			Kalker (B) İşletmesi			Kalker İşletmeleri			Tüm İşletmeler		
Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Önemli Parametreler
log(TAPM) (%72)	27	TMP, RH, SP, DWPT, WS, MSTR	log(TAPM) (%70)	21	RH, DWPT, SP, HW, CW, MSTR	log(TAPM) (%59)	27	TMP, RH, SP, WS, DWPT, MSTR	log(TAPM) (%57)	18	TMP, RH, SP, DWPT, MSTR, BC	TAPM (%58)	22	TMP, RH, SP, MSTR, BC
$1/PM_{10}$ (%72)	26	SP, BC, WS, DWPT, HW, MSTR, TMP	$log(PM_{10})$ (%71)	21	SP, DWPT, CW, HW, MSTR, BC	$1/PM_{10}$ (%59)	31	TMP, RH, SP, HW, MSTR, BC	$log(PM_{10})$ (%59)	21	TMP, RH, SP, CW, HW, MSTR, BC, DWPT	PM_{10} (%55)	21	TMP, RH, SP, HW, MSTR, BC
$log(PM_{2,5})$ (%76)	24	TMP, RH, SP, WS, CW, MSTR	$log(PM_{2,5})$ (%79)	15	RH, DWPT, MSTR, SP, HW, BC	$1/PM_{2,5}$ (%69)	23	RH, SP, DWPT, HW, MSTR	$log(PM_{2,5})$ (%65)	24	RH, SP, BC DWPT, HW, MSTR	$log(PM_{2,5})$ (%63)	25	RH, DWPT, SP, WS, BC HW, MSTR
$log(PM_1)$ (%81)	22	TMP, RH, DWPT, SP, HW, MSTR	$log(PM_1)$ (%80)	16	TMP, RH, SP, DWPT, MSTR, HW, BC	$1/PM_1$ (%70)	22	RH, SP, WS, CW, MSTR, BC	$log(PM_1)$ (%66)	18	TMP, RH, SP, WS, DWPT, MSTR, BC	$log(PM_1)$ (%70)	23	RH, SP, CW, MSTR, BC

Çizelge 8.7 Yükleme faaliyeti nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri

Karar Ağacı Regresyon Analizi Değişken Ekleme Yöntemi		Alçıtaşı işletmesi (2638 veri)		Kalker (A) işletmesi (2065 veri)		Kalker (B) işletmesi (3192 veri)	
		Veri seti	**Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı**	**Veri seti**	**Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı**	**Veri seti**	**Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı**
	İleriye doğru ekleme	TAPM	16	1/TAPM	11	TAPM	16
		TAPM/1000	10	**log(PM_{10})**	**95**	TAPM/1000	16
		log(TAPM)	**100**	ln(PM_{10})	95	PM_{10}	16
		ln(TAPM)	100	$PM_{2,5}$	18	PM_{10}/1000	16
		1/TAPM	30	$PM_{2,5}$/1000	18	log(PM_{10})	64
		log(PM_{10})	100	**log($PM_{2,5}$)**	**130**	ln(PM_{10})	64
		ln(PM_{10})	100	ln($PM_{2,5}$)	130	**1/PM_{10}**	**11**
		1/$PM_{2,5}$	100	PM_1	10	$PM_{2,5}$	12
		log(PM_1)	**80**	1/PM_1	11	$PM_{2,5}$/1000	12
		ln(PM_1)	80	PM_1/1000	10	**1/$PM_{2,5}$**	**125**
	Geriye doğru çıkarma	PM_{10}	5	**log(PM_1)**	**95**	log(PM_1)	65
		PM_{10}/1000	5	TAPM	5	ln(PM_1)	65
		1/PM_{10}	**6**	TAPM/1000	5	1/TAPM	6
		$PM_{2,5}$	9	**log(TAPM)**	**81**	**log(TAPM)**	**53**
		$PM_{2,5}$/1000	9	ln(TAPM)	81	ln(TAPM)	53
		log($PM_{2,5}$)	**80**	PM_{10}	4	log($PM_{2,5}$)	58
		ln($PM_{2,5}$)	80	1/PM_{10}	5	ln($PM_{2,5}$)	58
		PM_1	5	PM_{10}/1000	4	PM_1	12
		PM_1/1000	5	1/$PM_{2,5}$	95	PM_1/1000	12
		1/PM_1	55	ln(PM_1)	105	**1/PM_1**	**122**

g) ABD ve Çin'deki (kentsel ve endüstriyel alanlar dâhil tüm alanlar) ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçümü gerçekleştirilen PM_{10} verilerinin yaklaşık %56,54'ü, kalker (A) işletmesinde %64,69'u ve kalker (B) işletmesinde %81,10'u sınır değerinin altındadır.

h) Çin'deki (kentsel ve endüstriyel alanlar dâhil tüm alanlar) ilgili standart uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %84,99'u, kalker (A) işletmesinde %73,35'i ve kalker (B) işletmesinde %89,18'i sınır değerinin altındadır.

i) Kanada dış ortam hava kalitesi standardı uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %23,69'u, kalker (A) işletmesinde %20,62'si ve kalker (B) işletmesinde %37,21'i sınır değerinin altındadır.

j) Kanada dış ortam hava kalitesi standardı uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %72,31'i, kalker (A) işletmesinde %75,91'i ve kalker (B) işletmesinde %90,04'ü sınır değerinin altındadır.

k) Ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standart limit değerlerine göre $PM_{2,5}$ ve PM_{10} salınımlarının kıyaslaması yapılmıştır. Buna göre, yükleme faaliyetinde PM_{10} salınımı, $PM_{2,5}$ salınımına göre daha yüksektir.

l) Sonuç olarak; PM ölçümü yapılan tüm işletmelerdeki yükleme faaliyeti sırasında dış ortamda bulunan çalışanların mutlaka kişisel solunum koruyucu donanım kullanmaları gerekmektedir. Yükleme faaliyeti sırasında sınır değerini en çok alçıtaşı işletmesi, en az kalker (B) işletmesi aşmıştır.

Çizelge 8.8 Yükleme faaliyeti PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınımlarının, Türkiye ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standartlara göre değerlendirilmesi

PM	Ülke	Kategori	24 saatlik ortalama (µg/m³)	Alçıtaşı İşl. yükleme faaliyeti (%)	Kalker (A) İşl. yükleme faaliyeti (%)	Kalker (B) İşl. yükleme faaliyeti (%)
PM_{10}	USEPA	İyi	0 – 54	37,89	38,87	64,07
		Orta	55 – 154	19,75	26,90	18,13
		Hassas gruplar için sağlığa zararlı	155 – 254	7,01	6,52	4,53
		Sağlığa zararlı	255 – 354	2,96	6,01	2,41
		Sağlığa çok zararlı	355 – 424	1,25	3,20	1,48
		Tehlikeli	>425	31,14	18,50	9,38
	Türkiye		0 – 50	35,89	35,54	61,99
	ABD		0 – 150	56,54	64,69	81,10
	Kanada		0 – 25	23,69	20,62	37,21
	Avustralya		0 – 50	35,89	35,54	61,99
	Çin		0 – 50	35,89	35,54	61,99
			0 – 150	56,54	64,69	81,10
	WHO		0 – 50	35,89	35,54	61,99
	AB		0 – 50	35,89	35,54	61,99
$PM_{2,5}$	USEPA	İyi	0 – 12	59,17	57,81	74,23
		Orta	12,1 – 35,4	22,73	23,24	17,67
		Hassas gruplar için sağlığa zararlı	35,5 – 55,4	7,46	8,03	2,40
		Sağlığa zararlı	55,5 – 150,4	8,72	10,08	2,81
		Sağlığa çok zararlı	150,5 – 250,4	1,34	0,39	2,56
		Tehlikeli	>250,4	0,58	0,45	0,33
	ABD		0 – 35	81,90	81,05	91,90
	Kanada		0 – 28	72,31	75,91	90,04
	Avustralya		0 – 25	70,65	73,35	89,18
	Çin		0 – 35	81,90	81,05	91,90
			0 – 75	92,95	93,24	95,54
	WHO		0 – 25	70,65	73,35	89,18

8.4 Taşıma Faaliyeti Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde taşıma faaliyeti sırasında oluşan PM salınımının dağılımı Çizelge 8.9'da verilmiştir. Buna göre;

a) Tüm işletmelerde TAPM salınımı 500 µg/m³ üzerinde yoğunlaşmıştır.
b) Kalker işletmelerinde PM_{10} salınımı 100 µg/m³ altında, alçıtaşı işletmesinde 500 µg/m³ üzerindedir.
c) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde PM_1 ve $PM_{2,5}$ salınımı 10 µg/m³ altındadır.
d) Alçıtaşı işletmesinde yüksek PM salınımının önemli sebeplerinden birisi taşıma yolu sulama sıklığının diğer işletmelere göre düşük olmasıdır. En sık sulama kalker (B) işletmesinde yapılmıştır. Ayrıca, kalker (B) işletmesindeki taşıma yolu greyder yardımıyla düzenli olarak tesviye edildiğinden taşıma kaynaklı TAPM ve PM_{10} salınımı düşük olmuştur.

Çizelge 8.9 İşletme bazında taşıma faaliyeti PM salınım verilerinin dağılımı

PM	Salınım dağılımı (µg/m³)	Alçıtaşı (%)	Kalker (A) (%)	Kalker (B) (%)
TAPM	≤100	19,92	10,67	26,32
	100 - 300	23,96	31,44	26,08
	300 - 500	7,09	13,07	9,13
	>500	**49,03**	**44,82**	**38,47**
PM_{10}	≤100	41,56	**32,78**	**45,31**
	100 - 300	13,90	28,17	20,19
	300 - 500	4,40	8,65	9,17
	>500	**40,14**	30,40	25,33
$PM_{2,5}$	≤10	**48,78**	**28,94**	**40,04**
	10 - 30	16,87	37,50	30,04
	30 - 50	4,64	10,67	10,19
	>50	29,71	22,89	19,73
PM_1	≤10	**76,65**	**85,57**	**87,68**
	10 - 30	5,01	5,96	7,53
	30 - 50	1,10	0,28	1,20
	>50	17,24	8.19	3,59

Alçıtaşı ve kalker işletmelerindeki taşıma faaliyetinde PM salınımı ile ilgili aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

a) TAPM salınımı (µg/m³); alçıtaşı işletmesinde 24,9 - 6527,9, kalker (A) işletmesinde 19,1 - 6527,9 ve kalker (B) işletmesinde 6,3 - 6527,9 arasında değişmiştir.
b) PM_{10} salınımı (µg/m³); alçıtaşı işletmesinde 8,5 - 6527,9, kalker (A) işletmesinde 5,8 - 6527,9 ve kalker (B) işletmesinde 2,0 - 6527,9 arasında değişmiştir.
c) $PM_{2,5}$ salınımı (µg/m³); alçıtaşı işletmesinde 0,988 - 652,79, kalker (A) işletmesinde 1,36 - 652,79 ve kalker (B) işletmesinde 1,06 - 652,79 arasında değişmiştir.
d) PM_1 salınımı (µg/m³); alçıtaşı işletmesinde 0,073 - 652,79, kalker (A) işletmesinde 0,06 - 652,79 ve kalker (B) işletmesinde 0,22 - 652,79 arasında değişmiştir.
e) Kaydedilen en yüksek PM salınımı, PM ölçerin boyutsal kapasitesinin fonksiyonu olarak belirmiştir. Taşıma faaliyetinde PM değerlerinin (alçıtaşı işletmesi TAPM ve

PM_{10}'da %4,9, $PM_{2,5}$ ve PM_1'de %1,34, kalker (A) işletmesi TAPM ve PM_{10}'da %1,25, $PM_{2,5}$ ve PM_1'de %0,2 ve kalker (B) işletmesi TAPM ve PM_{10}'da %1,11, $PM_{2,5}$ ve PM_1'de %0,09) PM ölçerin ölçüm aralığını aşmıştır.

f) Nem değerleri (%); alçıtaşı işletmesinde 0,03 - 6,0, kalker (A) işletmesinde 0,08 - 13,36 ve kalker (B) işletmesinde 0,42 - 10,75 arasında değişmiştir.
g) Silt+kil içerikleri (%); alçıtaşı işletmesinde 0 - 21,21, kalker (A) işletmesinde 0 - 11,87 ve kalker (B) işletmesinde 0 - 6,46 arasında değişmiştir.
h) Yağışlı havalar ile yolların sulanması TAPM ve PM_{10} salınımını önemli oranlarda düşürmüş ancak $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımını önemli ölçüde etkilememiştir.

Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde taşıma faaliyeti sırasında ölçülen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde PM_{10} ve TAPM veri setleri arasında normal dağılım ham veri setlerinde gerçekleşmiş olup, aralarında pozitif yönlü yüksek ilgileşim vardır. Alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde $PM_{2,5}$'un TAPM ve PM_{10} veri setleri ile arasında normal dağılım doğal logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. Benzer şekilde; kalker (A) işletmesinde $PM_{2,5}$ ile TAPM veri seti arasında normal dağılım logaritmik dönüşümde, $PM_{2,5}$ ile PM_{10} verilerinde ise ham veri setinde gerçekleşmiştir. Alçıtaşı ve kalker (B) işletmesinde PM_1 ile TAPM veri setlerinde normal dağılım logaritmik dönüşümde olmuştur. Benzer şekilde; alçıtaşı işletmesinde PM_1 ile $PM_{2,5}$ veri setleri arasındaki normal ilgileşim ham veride, kalker işletmelerinde ise logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. Kalker işletmeleri PM_1 - TAPM ve kalker (A) işletmesi PM_1 - PM_{10} veri setleri arasında normal ilgileşim, diğer tüm PM veri setleri arasında yüksek ilgileşim vardır. Sonuç olarak ölçüm yapılan üç işletmede de TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımları arasında normal dağılım gösteren veri setleri değişmekte olup aralarındaki ilgileşim düzeyleri (normal ve yüksek ilgileşim) sayesinde herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutlarına ait salınım da kestirilebilmektedir. Diğer taraftan, ölçüm yapılan işletmelerdeki PM salınım tahmin kestirim denklemleri de değişkenlik göstermektedir.

Bağımsız değişkenler kullanılarak PM salınım kestirim denklemleri geliştirilmiştir. İlk aşamada taşıma faaliyeti verisi ile toplu ve aşamalı giriş teknikleri kullanılarak regresyon analizleri yapılmış olup sonuçları Çizelge 7.18 ve 7.19'da sunulmuştur. Buna göre;

a) Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti toplu giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%43,9 olup düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler tüm PM salınımları için malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. En az etkili parametreler TAPM ve PM_{10} için istasyon basıncı ve kamyon tekerlek sayısı; $PM_{2,5}$ için istasyon basıncı ve karşı rüzgâr hızı; PM_1 için ise karşı rüzgâr hızıdır.
b) Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti toplu giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%29,5 olup oldukça düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler tüm PM

salınımları için malzeme nemidir. En az etkili parametreler TAPM için kamyon hızı; PM_{10} ve PM_1 için silt+kil içeriği; $PM_{2,5}$ için ise istasyon basıncıdır.

c) Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti toplu giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%43,2 olup düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ için malzeme nemi ve kamyon hızı iken PM_1 için karşı rüzgâr hızı ve silt+kil içeriğidir. En az etkili parametreler TAPM için istasyon basıncı ve rüzgâr hızı, PM_{10} için istasyon basıncı ve karşı rüzgâr hızı, $PM_{2,5}$ için kamyon kütlesi ve silt+kil içeriği iken PM_1 için rüzgâr hızı ve kamyon kütlesidir.

d) Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti aşamalı giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%43,9 olup düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler tüm PM salınımları için malzeme nemi ve silt+kil içeriğidir. En az etkili parametreler ise TAPM için kamyon teker sayısı, PM_{10} için çiğ noktası sıcaklığı, $PM_{2,5}$ için yan rüzgâr hızı ve havanın bağıl nemi iken PM_1 için havanın bağıl nemi ve rüzgâr hızıdır.

e) Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti aşamalı giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%28,6 olup oldukça düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin olan parametreler TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ için malzeme nemi, PM_1 için ise malzeme nemi ve istasyon basıncıdır. En az etkili parametreler TAPM için karşı rüzgâr hızı, PM_{10} için rüzgâr hızı ve $PM_{2,5}$ için çiğ noktası sıcaklığı iken PM_1 için ise silt+kil içeriğidir.

f) Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti aşamalı giriş tekniği ile oluşturulan PM salınım regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı ≤%43,2 olup düşük düzeydedir. Kısmi ilgileşim açısından model üzerinde en etkin parametreler TAPM ve PM_{10} için malzeme nemi ve kamyon hızı, $PM_{2,5}$ için hava sıcaklığı ve kamyon hızı iken PM_1 için ise silt+kil içeriği ve karşı rüzgâr hızıdır. En az etkili parametreler TAPM için istasyon basıncı ve rüzgâr hızı, PM_{10} için istasyon basıncı ve karşı rüzgâr hızı, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ise kamyon kütlesidir.

g) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde taşıma faaliyeti sırasında ölçülen ve normal dağılıma uygunluk sağlayan verileri kullanarak istatistiksel analiz paketi yardımıyla yapılan regresyon modellerinin düzeltilmiş belirlilik katsayısı düşük düzeyde (≤%43,9) kalmıştır. İşletmeler bazında taşıma faaliyetinde PM salınımları için etkin olan parametreler değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, taşıma faaliyeti PM salınım kestirim denklemlerinin geleneksel regresyon yöntemi ile sağlıklı biçimde modellenmesi mümkün değildir.

İkinci aşamada PM salınım kestirim denklemlerinin geliştirilmesinde karar ağacı algoritmasından faydalanılmıştır. Regresyon modellerindeki en yüksek ilgileşim katsayısı, düğüm sayısı ve etkin parametreler Çizelge 8.10'da verilmiştir. Literatürde, taşıma faaliyetinde oluşan PM salınımının kestirimi için karar ağaçlarının kullanıldığı bir çalışmaya

rastlanmamıştır. Karar ağacı algoritmasıyla geliştirilen PM salınım kestirim denklemleri için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

a) TAPM regresyon modellerinde en yüksek ilgileşim katsayısı 1/TAPM veri setlerinde gerçekleşmiştir. İlgileşim katsayıları %78 - %81, düğüm sayıları ise 7 - 21 arasındadır. Öncel çalışmalarda TAPM salınım kestirim denklemleri ham veri setleri kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca, TAPM kestirim denklemlerinin birimleri lb/km-araç (Axetell ve Cowherd 1984; USEPA, 1998a), kg/ km-araç (USEPA, 1991; NPI, 2001; USEPA, 2006a; NPI, 2012; ve g/s (Chakraborty vd., 2002; Chaulya, 2006; Lal ve Tripathy, 2012) olarak verilmiştir. Bu çalışmada kamyon geçişi sırasında yol kenarındaki PM yoğunluğu belirlendiği için kestirim denklemlerinin birimi µg/m³'dür.
b) PM_{10} regresyon modellerinde en yüksek ilgileşim katsayısı kalker (A) işletmesinde logaritmik, diğer işletmelerde ise $1/PM_{10}$ veri setlerinde gerçekleşmiştir. İlgileşim katsayısı %60 - %76, düğüm sayıları 10 - 19 arasındadır.
c) $PM_{2,5}$ regresyon modellerinde en yüksek ilgileşim katsayısı kalker (A) işletmesinde logaritmik, diğer işletmelerde ise $1/PM_{2,5}$ veri setlerinde gerçekleşmiştir. İlgileşim katsayısı %55 - %72, düğüm sayıları ise 13 - 24 arasındadır.
d) PM_1 regresyon modellerinde en yüksek ilgileşim katsayısı kalker (A) işletmesinde logaritmik, diğer işletmelerde ise $1/PM_1$ veri setlerinde gerçekleşmiştir. İlgileşim katsayısı %48 - %71, düğüm sayıları ise 11 - 22 arasındadır.
e) Öncel çalışmalarda açık kömür işletmelerinde ocak içi taşıma yapılırken TAPM salınımı modellemesinde; kamyon kütlesi ve yol zemininin silt içeriği (Axetell ve Cowherd 1984; USEPA, 1991; USEPA, 1998a), silt içeriği, kamyon kütlesi ve nem içeriği (NPI, 2001), nem ve silt içeriği, rüzgâr hızı, ortalama kamyon hızı, araç sıklığı ve kamyon kapasitesi (Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012), nem ve silt içeriği ile ortalama kamyon hızı (NPI, 2012); açık demir işletmesinde nem ve silt içeriği, rüzgâr hızı, ortalama kamyon hızı, araç sıklığı ve kamyon kapasitesi (Chaulya, 2006) ve stabilize yolda ise silt içeriği ve kamyon kütlesi (USEPA, 2006a) kullanılmıştır. Ayrıca kömür ve demir işletmelerindeki ana nakliye yolunda taşıma faaliyetinde TAPM salınım modellemesinde; nem ve silt içeriği, rüzgâr hızı, ortalama kamyon hızı ve araç sıklığı (Chakraborty vd., 2002; Lal ve Tripathy, 2012; NPI, 2012) kullanılmıştır. Öncel araştırmalar kömür ve demir madenlerinde, bu çalışma alçıtaşı ve kalker ocaklarında yapılmıştır. Önceki çalışmalara ilave olarak hava sıcaklığı, bağıl nem, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, kamyon teker sayısı, yolun kil içeriği ile karşı ve yan rüzgâr hızları da bağımsız değişkenler olarak kullanılmış ve modellemede etkin oldukları görülmüştür.
f) Tüm PM salınımı regresyon modellerinde etkin olan en önemli parametreler; hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil), yol malzemesinin nemi ve silt+kil içeriği, kamyon kütlesi, kamyon teker sayısı ve kamyon hızıdır.

g) Literatürde açık kömür işletmesindeki ocak içi yollarda PM_{10} kestirimi için 0,60*TAPM formülü önerilmiştir (USEPA, 1991). Modellemede nem ve silt içeriği, kamyon kütlesi (NPI, 2001); nem ve silt içeriği ile ortalama araç hızı (NPI, 2012); stabilize yol için silt ve kamyon kütlesi (USEPA, 2006a); kömür madeni ana nakliye yollarında ise silt ve kamyon kütlesi (NPI, 2012) kullanılmıştır. Bu çalışmada PM_{10} salınımının modellenmesinde hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil), yol malzemesinin nemi ve silt+kil içeriği, kamyon kütlesi, kamyon teker sayısı ve kamyon hızı kullanılmıştır.
h) Literatürde, PM_1 salınımı modellerine rastlanmamıştır. Diğer taraftan sadece stabilize yolda $PM_{2,5}$ salınım tahmini için 0,1*PM_{10} eşitliği bulunmaktadır (USEPA, 2006a). Bu çalışmada, $PM_{2,5}$ ve PM_1 için ayrı ayrı PM salınım kestirim denklemleri türetilmiştir. Salınım kestirim denklemlerinde etkin olan en önemli parametreler; hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, istasyon basıncı, bağıl nem, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızı dâhil), yol malzemesinin nemi ve silt+kil içeriği, kamyon kütlesi, kamyon teker sayısı ve kamyon hızıdır.
i) Literatür araştırmalarında açık kömür işletmeciliği sırasında önemli oranlarda toz salınımının gerçekleştiği, salınım kestirim denklemlerinin maden sahalarına özgü olduğu ve bir saha için geliştirilen faktörlerin başka bir sahada doğru sonuçlar vermeyeceği, bunu için salınım faktörlerinin her bir saha için uyarlanması gerektiği ifade edilmiştir (Ghose, 2004; Huertas vd., 2012; Papagiannis, vd., 2014; Richardson vd., 2019). Bu çalışmada da ölçüm yapılan işletmelerdeki salınım kestirim denklemlerinde etken olan parametreler benzer olmasına rağmen, salınım kestirim denklemleri değişkenlik göstermiş olup sonuçlar literatür ile uyum içindedir.

M5P karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan taşıma faaliyeti nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri Çizelge 8.11'de verilmiştir. İşletmelerdeki PM salınımları için karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan nihai kestirim denklemlerinde, regresyon modellerine değişken ekleme yöntemleri ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı aşağıdaki şekilde değişmiştir: alçıtaşı işletmesinde 1-26, kalker (A) işletmesinde 4-16 ve kalker (B) işletmesinde ise 4-80. Nihai PM salınımı kestirim modelleri aşağıdaki sonuçlara göre belirlenmiştir.

a) Alçıtaşı işletmesi; TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümünde gerçekleşmiştir. PM_1 salınım verisi ileriye doğru değişken ekleme yönteminde ve diğer PM salınım verileri ise geriye doğru değişken çıkarma yönteminde en iyi sonuçları vermiştir. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım verileri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 4, 16, 16 ve 1'dir.
b) Kalker (A) işletmesi; TAPM veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümde, geriye doğru değişken çıkarma yönteminde ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı 5 olacak şekilde gerçekleşmiştir.

c) Kalker (A) işletmesi; PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde olmuştur. PM_{10} ileriye doğru değişken ekleme yönteminde, $PM_{2,5}$ ve PM_1 ise geriye doğru değişken çıkarma yönteminde en yüksek ilgileşim katsayısını vermiştir. PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 10, 7 ve 5'dir.
d) Kalker (B) işletmesi; TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümünde gerçekleşmiştir. PM salınım verileri geriye doğru değişken çıkarma yönteminde en iyi sonuçları vermiştir. Ayrıca, TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım verileri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 37, 49, 7 ve 6'dır.

Taşıma faaliyeti sırasında bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde PM_{10} ve $PM_{2,5}$ ölçümleri yapılmıştır. PM_{10} ölçüm verileri işletmeye bağlı olarak 2,0 - 6527,9 µg/m³, $PM_{2,5}$ ise 0,988 - 652,79 µg/m³ arasında değişmiştir. Ölçüm verilerinin saçılı olmasından dolayı ortalaması alınamamıştır. Bu nedenle, ölçüm verileri ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki sınır değerleri ile karşılaştırılabilmesi için veri setleri sınır değerler dikkate alınarak gruplandırılmıştır (Çizelge 8.12). Değerlendirme, gruplandırılmış veriler üzerinden ve taşıma faaliyetinin 24 saat boyunca sürekli yapılıyor olması kabulüyle yapılmıştır. Buna göre; aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

a) USEPA iyi ve orta kategorisi; alçıtaşı işletmesinde ölçümü gerçekleştirilen PM_{10} verilerinin yaklaşık %48,01'i, kalker (A) işletmesinde %47,01'i ve kalker (B) işletmesinde %55,21'i sınır değerinin altındadır.
b) USEPA iyi ve orta kategorisi ile ABD ve Çin'deki (milli parklar gibi özel bölgeler) ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %67,59'u, kalker (A) işletmesinde %70,07'si ve kalker (B) işletmesinde %73,32'si sınır değerinin altındadır.
c) USEPA tehlikeli kategorisi; alçıtaşı işletmesinde ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %40,91'i, kalker (A) işletmesinde %32,01'i ve kalker (B) işletmesinde %27,21'i sınır değerinin üzerindedir.
d) USEPA tehlikeli kategorisi; alçıtaşı işletmesinde ölçülen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %12,07'si, kalker (A) işletmesinde %6,23'ü ve kalker (B) işletmesinde %2,15'i sınır değerinin üzerindedir.
e) Türkiye, Avustralya, Çin (milli parklar gibi özel bölgeler), WHO ve AB ülkelerindeki ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %27,14'ü, kalker (A) işletmesinde %14,61'i ve kalker (B) işletmesindeki %28,60'ı sınır değerinin altındadır.
f) WHO ve Avustralya ülkesindeki ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçümü gerçekleştirilen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %62,83'ü, kalker (A) işletmesinde %60,36'sı ve kalker (B) işletmesinde %66,08'i sınır değerinin altındadır.

Çizelge 8.10 Ölçüm yapılan işletmelerdeki taşıma faaliyeti için hesaplanan model, düğüm sayısı, ilgileşim katsayısı ve etkin parametreler

Alçıtaşı İşletmesi			Kalker (A) İşletmesi			Kalker (B) İşletmesi			Kalker İşletmeleri			Tüm İşletmeler		
Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Etkin Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Etkin Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Etkin Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Etkin Parametreler	Model (İlgileşim katsayısı)	Düğüm sayısı	Etkin Parametreler
1/TAPM (%78)	7	RH, SP, WS HW, CW, SLT&CLY, MASS, SPD	1/TAPM (%79)	17	TMP, SP, HW, SPD, DWPT, MSTR, WHL, SLT&CLY, MASS	1/TAPM (%83)	13	TMP, RH, HW, WS, SPD, MSTR, MASS, SLT&CLY	1/TAPM (%81)	21	TMP, RH, DWPT, WS, CW, MSTR, SLT&CLY, SP, SPD	1/TAPM (%81)	19	RH, SP, WS, DWPT, CW, MSTR, SLT&CLY, SPD
$1/PM_{10}$ (%76)	13	TMP, RH, SP, WS, SPD, HW, DWPT, WHL MSTR, CW, SLT&CLY	$\log(PM_{10})$ (%60)	10	TMP, SP, CW, RH, HW, SPD DWPT, MSTR, SLT&CLY, WHL, MASS	$1/PM_{10}$ (%77)	16	RH, DWPT, WS, HW, MSTR, SPD, SLT&CLY	$1/PM_{10}$ (%71)	14	RH, DWPT, HW, MSTR, SP, WS, SLT&CLY, SPD	$1/PM_{10}$ (%76)	19	TMP, RH, SP, WS, CW, HW, SLT&CLY, SPD, MASS
$1/PM_{2,5}$ (%72)	13	TMP, SP, WS, CW, DWPT, MASS, HW, SLT&CLY, WHL	$\log(PM_{2,5})$ (%55)	18	RH, MSTR, HW, DWPT, SP, SPD, WHL, MASS	$1/PM_{2,5}$ (%77)	23	TMP, RH, MASS, SP, MSTR, SPD SLT&CLY, WS, CW, HW	$1/PM_{2,5}$ (%64)	18	RH, DWPT, CW, HW, MSTR, SP, SLT&CLY, SPD, MASS	$1/PM_{2,5}$ (%69)	24	RH, DWPT, CW, HW, SP, WS, WHL, MASS, MSTR, SLT&CLY
$1/PM_1$ (%71)	11	RH, SP, CW, MSTR, WHL, MASS	$\log(PM_1)$ (%51)	15	TMP, SP, RH, WS, MSTR, HW, MASS, WHL	$1/PM_1$ (%75)	17	RH, TMP, SP, MSTR, MASS, SLT&CLY, CW, HW	$\log(PM_1)$ (%48)	19	RH, SP, WHL, MASS, MSTR, SLT&CLY, SPD, HW	$1/PM_1$ (%55)	22	RH, TMP, HW, CW, MSTR, SP, SLT&CLY, MASS, SPD

Çizelge 8.11 Taşıma faaliyeti nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri

Karar Ağacı Regresyon Analizi Değişken Ekleme Yöntemi		Alçıtaşı işletmesi (818 veri)			Kalker (A) işletmesi (1040 veri)			Kalker (B) işletmesi (2070 veri)		
		Veri seti	**Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı**		**Veri seti**	**Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı**		**Veri seti**	**Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı**
	İleriye doğru ekleme	log(TAPM)	4	İleriye doğru ekleme	TAPM	11	İleriye doğru ekleme	TAPM	16
		ln(TAPM)	4		TAPM/1000	11		TAPM/1000	16
		$1/PM_1$	**1**		**$log(PM_{10})$**	**10**		log(TAPM)	50
	Geriye doğru çıkarma	TAPM	16		$ln(PM_{10})$	10		ln(TAPM)	80
		TAPM/1000	16		$PM_{2,5}$	16		$log(PM_{10})$	4
		1/TAPM	**4**		$PM_{2,5}$/1000	16		$ln(PM_{10})$	4
		PM_{10}	16		$1/PM_{2,5}$	7		$PM_{2,5}$	16
		PM_{10}/1000	16	Geriye doğru çıkarma	log(TAPM)	4		$PM_{2,5}$/1000	16
		$1/PM_{10}$	**16**		ln(TAPM)	4		$log(PM_{2,5})$	6
		$log(PM_{10})$	4		**1/TAPM**	**5**		$ln(PM_{2,5})$	6
		$ln(PM_{10})$	4		PM_{10}	6		$log(PM_1)$	13
		$PM_{2,5}$	16		PM_{10}/1000	6		$ln(PM_1)$	13
		$PM_{2,5}$/1000	16		$1/PM_{10}$	5	Geriye doğru çıkarma	**1/TAPM**	**37**
		$1/PM_{2,5}$	**16**		**$log(PM_{2,5})$**	**7**		PM_{10}	7
		$log(PM_{2,5})$	26		$ln(PM_{2,5})$	7		PM_{10}/1000	7
		$ln(PM_{2,5})$	26		PM_1	9		**$1/PM_{10}$**	**49**
		PM_1	1		PM_1/1000	9		**$1/PM_{2,5}$**	**7**
		PM_1/1000	1		**$log(PM_1)$**	**5**		PM_1	4
		$log(PM_1)$	26		$ln(PM_1)$	5		PM_1/1000	4
		$ln(PM_1)$	26		$1/PM_1$	4		**$1/PM_1$**	**6**

g) ABD ve Çin'deki (kentsel ve endüstriyel alanlar dâhil tüm alanlar) ilgili standartlar uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %46,94'ü, kalker (A) işletmesinde %45,28'i ve kalker (B) işletmesinde %53,38'i sınır değerinin altındadır.

h) Çin'deki (kentsel ve endüstriyel alanlar dâhil tüm alanlar) ilgili standart uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %75,40'ı, kalker (A) işletmesinde %84,38'i ve kalker (B) işletmesinde %86,19'u sınır değerinin altındadır.

i) Kanada dış ortam hava kalitesi standardı uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen PM_{10} verilerinin yaklaşık %5,74'ü, kalker (A) işletmesinde %4,61'i ve kalker (B) işletmesinde %17,05'i sınır değerinin altındadır.

j) Kanada dış ortam hava kalitesi standardı uyarınca; alçıtaşı işletmesinde ölçülen $PM_{2,5}$ verilerinin yaklaşık %64,65'i, kalker (A) işletmesinde %64,40'ı ve kalker (B) işletmesinde %68,59'u sınır değerinin altındadır.

k) Ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standart limit değerlerine göre $PM_{2,5}$ ve PM_{10} salınımlarının kıyaslaması yapılmıştır. Buna göre, taşıma faaliyetinde PM_{10} salınımı $PM_{2,5}$ salınımından daha yüksektir.

l) Sonuç olarak; PM ölçümü yapılan tüm işletmelerdeki taşıma faaliyeti sırasında dış ortamda bulunan çalışanların mutlaka kişisel solunum koruyucu donanım kullanmaları gerekmektedir. Taşıma faaliyeti sırasında sınır değerini en çok kalker (A) işletmesi, en az kalker (B) işletmesi aşmıştır.

Çizelge 8.12 Taşıma faaliyeti PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınımlarının, Türkiye ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standartlara göre değerlendirilmesi

PM	Ülke	Kategori	24 saatlik ortalama (µg/m³)	Alçıtaşı İşl. taşıma faaliyeti (%)	Kalker (A) İşl. taşıma faaliyeti (%)	Kalker (B) İşl. taşıma faaliyeti (%)
PM_{10}	USEPA	İyi	0 – 54	29,14	16,34	30,43
		Orta	55 – 154	18,87	30,67	24,78
		Hassas gruplar için sağlığa zararlı	155 – 254	4,30	11,34	6,96
		Sağlığa zararlı	255 – 354	4,40	5,09	6,09
		Sağlığa çok zararlı	355 – 424	2,38	4,55	4,53
		Tehlikeli	>425	40,91	32,01	27,21
	Türkiye		0 – 50	27,14	14,61	28,60
	ABD		0 – 150	46,94	45,28	53,38
	Kanada		0 – 25	5,74	4,61	17,05
	Avustralya		0 – 50	27,14	14,61	28,60
	Çin		0 – 50	27,14	14,61	28,60
			0 – 150	46,94	45,28	53,38
	WHO		0 – 50	27,14	14,61	28,60
	AB		0 – 50	27,14	14,61	28,60
$PM_{2,5}$	USEPA	İyi	0 – 12	52,19	36,33	47,68
		Orta	12,1 – 35,4	15,40	33,74	25,65
		Hassas gruplar için sağlığa zararlı	35,5 – 55,4	3,78	8,26	8,39
		Sağlığa zararlı	55,5 – 150,4	10,24	11,90	11,16
		Sağlığa çok zararlı	150,5 – 250,4	6,32	3,54	4,97
		Tehlikeli	>250,4	12,07	6,23	2,15
	ABD		0 – 35	67,59	70,07	73,32
	Kanada		0 – 28	64,65	64,40	68,59
	Avustralya		0 – 25	62,83	60,36	66,08
	Çin		0 – 35	67,59	70,07	73,32
			0 – 75	75,40	84,38	86,19
	WHO		0 – 25	62,83	60,36	66,08

8.5 Kalker İşletmeleri Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kalker işletmelerinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetinde ölçülen ve bir tablolama programı ile birleştirilen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım verisinden kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Delme, yükleme ve taşıma faaliyetlerindeki PM_{10} ve TAPM veri setleri arasında normal dağılım ham veri setlerinde gerçekleşmiş olup, aralarında pozitif yönlü yüksek ilgileşim vardır. Delme faaliyeti $PM_{2,5}$'un TAPM ve PM_{10} veri setleri ile arasında normal dağılım ham veri setlerinde gerçekleşmiştir.

Taşıma ve yükleme faaliyetinde $PM_{2,5}$ ile TAPM ve PM_{10}, PM_1 ile TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setlerinde, delme faaliyetinde ise PM_1'in TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri ile arasında normal dağılım logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. Yükleme ve taşıma faaliyeti PM_1'in TAPM veri seti ile ve yükleme faaliyeti PM_1'in PM_{10} veri seti ile arasında normal ilgileşim, diğer tüm PM veri setleri arasında ise yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Ölçüm yapılan kalker işletmelerindeki delme, yükleme ve taşıma faaliyetinde ölçülen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımları arasında normal dağılım gösteren veri setleri değişmektedir. Veri setleri arasında normal ve yüksek ilgileşim olduğu için herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutlarının salınımı kestirilebilir.

Kalker işletmelerinde delme, yükleme ve taşıma faaliyeti sırasında ölçülen PM verilerinin M5P karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri Çizelge 8.13'de verilmiştir. Modellerde, değişken ekleme yöntemleri ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı değişmektedir. Buna göre nihai PM salınım modellerinde; düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı delme faaliyetinde 7-290, yükleme faaliyetinde 45-330 ve taşıma faaliyetinde ise 4-175 arasında değişmektedir. Nihai PM salınımı kestirim modelleri aşağıdaki sonuçlara göre belirlenmiştir.

a) Kalker işletmeleri; delme faaliyeti, TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümünde gerçekleşmiştir. TAPM ve PM_{10} salınım verileri geriye doğru değişken çıkarma yönteminde ve $PM_{2,5}$ salınım verisi ise ileriye doğru değişken ekleme yönteminde en yüksek ilgileşim katsayısını vermiştir. Ayrıca, TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınım verileri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 120, 165 ve 195'dir.
b) Kalker işletmeleri; delme faaliyeti, PM_1 veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümünde geriye doğru değişken çıkarma yönteminde ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı 210 olacak şekilde gerçekleşmiştir.
c) Kalker işletmeleri; yükleme faaliyeti, TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde olmuştur. TAPM ve $PM_{2,5}$ ileriye doğru değişken ekleme yönteminde, PM_{10} ve PM_1 ise geriye doğru değişken çıkarma yönteminde en yüksek ilgileşim katsayısını vermiştir. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 320, 235, 260 ve 325'dir.

d) Kalker işletmeleri; taşıma faaliyeti, TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümünde gerçekleşmiştir. TAPM ve PM_{10} salınım verileri geriye doğru değişken çıkarma yönteminde, $PM_{2,5}$ ise ileriye doğru değişken ekleme yönteminde en yüksek ilgileşim katsayısını vermiştir. TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınım verileri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 115, 140 ve 145'dir.
e) Kalker işletmeleri; taşıma faaliyeti, PM_1 veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümünde geriye doğru değişken çıkarma yönteminde ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı 130 olacak şekilde gerçekleşmiştir.

Tüm işletmelerin delme, yükleme ve taşıma faaliyeti sırasında ölçümü yapılan ve bir tablolama programı ile birleştirilen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri hazırlanmıştır. Delme, yükleme ve taşıma faaliyetlerindeki PM_{10} ve TAPM veri setleri arasında normal dağılım ham veri setlerinde gerçekleşmiş olup, aralarında pozitif yönlü yüksek ilgileşim vardır.

Delme ve taşıma faaliyeti $PM_{2,5}$ ile PM_{10} veri seti arasında normal dağılım ham veri setlerinde gerçekleşmiştir. Yükleme faaliyeti $PM_{2,5}$ ile TAPM ve delme, yükleme taşıma ve yükleme faaliyetlerinde $PM_{2,5}$ ile PM_{10}, PM_1 ile TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri arasında normal dağılım logaritmik dönüşümde gerçekleşmiştir. Delme ve taşıma faaliyeti PM_1 ile TAPM veri seti, yükleme faaliyetinde ise PM_1'in TAPM ve PM_{10} veri seti ile arasında normal ilgileşim, diğer tüm PM veri setleri arasında ise yüksek ilgileşim bulunmaktadır. Sonuç olarak ölçüm yapılan kalker işletmelerindeki delme, yükleme ve taşıma faaliyeti sırasında ölçülen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımları arasında normal dağılım gösteren veri setleri değişmekte olup aralarındaki ilgileşim düzeylerinden (normal ve yüksek ilgileşim) dolayı, herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları da makul doğruluk payı ile hesaplanabilmektedir.

Çizelge 8.13 Kalker işletmeleri nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri

Karar Ağacı Regresyon Analizi Değişken Ekleme Yöntemi		Delme faaliyeti (4286 veri)			Yükleme faaliyeti (5257 veri)			Taşıma faaliyeti (3110 veri)		
		Veri seti	Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı		Veri seti	Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı		Veri seti	Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı
İleriye doğru ekleme		log(TAPM)	290	İleriye doğru ekleme	TAPM	60	İleriye doğru ekleme	log(PM_{10})	175
		ln(TAPM)	290		TAPM/1000	60		ln(PM_{10})	175
		1/TAPM	9		**log(TAPM)**	**320**		$PM_{2,5}$	5
		log(PM_{10})	290		ln(TAPM)	320		$PM_{2,5}$/1000	5
		ln(PM_{10})	290		1/TAPM	135		**1/$PM_{2,5}$**	**145**
		$PM_{2,5}$	**195**		PM_{10}	45	Geriye doğru çıkarma	TAPM	4
		$PM_{2,5}$/1000	195		PM_{10}/1000	45		TAPM/1000	4
		log($PM_{2,5}$)	235		$PM_{2,5}$	215		log(TAPM)	165
		ln($PM_{2,5}$)	235		$PM_{2,5}$/1000	215		ln(TAPM)	165
		PM_1	7		**log($PM_{2,5}$)**	**260**		**1/TAPM**	**115**
		PM_1/1000	7		ln($PM_{2,5}$)	260		PM_{10}	70
		log(PM_1)	270		1/$PM_{2,5}$	255		PM_{10}/1000	70
Geriye doğru çıkarma		**TAPM**	**120**		1/PM_1	230		**1/PM_{10}**	**140**
		TAPM/1000	120	Geriye doğru çıkarma	**log(PM_{10})**	**235**		log($PM_{2,5}$)	5
		PM_{10}	**165**		ln(PM_{10})	235		ln($PM_{2,5}$)	5
		PM_{10}/1000	165		1/PM_{10}	315		PM_1	24
		1/PM_{10}	160		PM_1	155		PM_1/1000	24
		1/$PM_{2,5}$	200		PM_1/1000	155		**log(PM_1)**	**130**
		ln(PM_1)	270		**log(PM_1)**	**325**		ln(PM_1)	130
		1/PM_1	**210**		ln(PM_1)	330		1/PM_1	90

8.6 Tüm İşletmelerin Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tüm işletmelerde delme, yükleme ve taşıma faaliyeti sırasında ölçümü yapılan ve bir tablolama programı ile birleştirilen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin M5P karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri Çizelge 8.14'de verilmiştir. İşletmelerde ölçülen PM salınımları için karar ağacı algoritmasıyla oluşturulan nihai kestirim denklemlerinde, regresyon modeline değişken ekleme yöntemleri ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı değişmektedir. Buna göre nihai PM salınım modellerinde; düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı delme faaliyetinde 200-335, yükleme faaliyetinde 289-590 ve taşıma faaliyetinde ise 8-225 arasında değişmektedir. Nihai PM salınımı kestirim modelleri aşağıdaki sonuçlara göre belirlenmiştir.

a) Tüm işletmeler; delme faaliyeti, TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümünde gerçekleşmiştir. TAPM salınım verisi geriye doğru değişken çıkarma yönteminde, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınım verisi ise ileriye doğru değişken ekleme yönteminde en iyi sonucu vermiştir. Ayrıca, TAPM, PM_{10} ve $PM_{2,5}$ salınım verileri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 270, 300 ve 250'dir.
b) Tüm işletmeler; delme faaliyeti, PM_1 veri seti için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde ileriye doğru değişken ekleme yönteminde ve düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı 260 olacak şekilde gerçekleşmiştir.
c) Tüm işletmeler; yükleme faaliyeti, TAPM ve PM_{10} veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı ham veri dönüşümde olmuştur. TAPM ve PM_{10} ileriye doğru değişken ekleme yönteminde en iyi sonucu vermiştir. TAPM ve PM_{10} veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 350 ve 390'dır.
d) Tüm işletmeler; yükleme faaliyeti, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı logaritmik dönüşümde olmuştur. $PM_{2,5}$ ve PM_1 geriye doğru değişken çıkarma yönteminde en iyi sonucu vermiştir. $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 390 ve 350'dir.
e) Tüm işletmeler; taşıma faaliyeti, TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 veri setleri için en yüksek ilgileşim katsayısı 1/ham dönüşümünde gerçekleşmiştir. TAPM, PM_{10} ve PM_1 salınım verileri geriye doğru değişken çıkarma yönteminde, $PM_{2,5}$ ise ileriye doğru değişken ekleme yönteminde en iyi sonucu vermiştir. TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım verileri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı sırasıyla 180, 47, 90 ve 196'dir.

Çizelge 8.14 Tüm işletmelerin nihai PM salınım modelleri için düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı ve regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri

Karar Ağacı Regresyon Analizi Değişken Ekleme Yöntemi		Delme faaliyeti (6115 veri)		Yükleme faaliyeti (7895 veri)		Taşıma faaliyeti (3928 veri)	
		Veri seti	**Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı**	**Veri seti**	**Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı**	**Veri seti**	**Düğümde izin verilecek minimum örnek sayısı**
İleriye doğru ekleme		**TAPM**	**270**	**TAPM**	**350**	PM_{10}	8
		TAPM/1000	270	TAPM/1000	350	PM_{10}/1000	8
		$1/PM_{10}$	335	log(TAPM)	435	$log(PM_{2,5})$	115
		$log(PM_{2,5})$	315	ln(TAPM)	435	$ln(PM_{2,5})$	115
		$ln(PM_{2,5})$	315	**PM_{10}**	**390**	**$1/PM_{2,5}$**	**90**
		PM_1	200	PM_{10}/1000	390	$log(PM_1)$	101
		PM_1/1000	200	$log(PM_{10})$	590	$ln(PM_1)$	101
		$log(PM_1)$	**260**	$ln(PM_{10})$	590	TAPM	9
		$ln(PM_1)$	260	$PM_{2,5}$	360	TAPM/1000	9
Geriye doğru çıkarma		log(TAPM)	305	$PM_{2,5}$/1000	360	log(TAPM)	200
		ln(TAPM)	305	$1/PM_{2,5}$	475	ln(TAPM)	200
		1/TAPM	235	$1/PM_1$	335	**1/TAPM**	**180**
		PM_{10}	**300**	1/TAPM	420	$log(PM_{10})$	200
		PM_{10}/1000	300	$1/PM_{10}$	340	$ln(PM_{10})$	225
		$log(PM_{10})$	270	**$log(PM_{2,5})$**	**390**	**$1/PM_{10}$**	**47**
		$ln(PM_{10})$	270	$ln(PM_{2,5})$	390	$PM_{2,5}$	12
		$PM_{2,5}$	**250**	PM_1	289	$PM_{2,5}$/1000	12
		$PM_{2,5}$/1000	250	PM_1/1000	289	PM_1	16
		$1/PM_{2,5}$	333	**$log(PM_1)$**	**350**	PM_1/1000	16
		$1/PM_1$	326	$ln(PM_1)$	350	**$1/PM_1$**	**196**

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1 Sonuçlar

Bu doktora çalışmasında Sivas civarında bulunan bir alçıtaşı ve iki kalker işletmesinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri sırasında partikül madde (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) ve eş zamanlı olarak termal konfor (hava sıcaklığı, çiğ noktası sıcaklığı, yan rüzgâr, karşı rüzgâr/kuyruk rüzgârı, bağıl nem, istasyon basıncı ve rüzgâr hızı) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler yapılırken eş zamanlı olarak iş makinelerinin özellikleri kaydedilmiş ve aynı zamanda çalışma koşullarındaki malzemenin özelliklerini temsil eden numuneler alınmış (~5 dak/numune) olup laboratuvarda nem ve silt+kil içerikleri tayin edilmiştir. Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde ölçülen ve laboratuvarda analizi yapılan veri setlerini kullanarak delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri için ayrı ayrı TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım kestirim denklemleri türetilmiştir. PM salınım kestirim denklemlerinin türetilmesinde istatistiksel analiz paketi ve karar ağacı algoritması olmak üzere iki farklı analiz programı kullanılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Buna göre, aşağıdaki genel sonuçlara varılmıştır.

a) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme faaliyetinde kaydedilen TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %4,94'ü, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin ise yaklaşık %1,30'u kullanılan ölçüm cihazının ölçüm üst sınırında çıkmıştır. Alçıtaşı işletmesinde kaydedilen TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %4,15'i, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin %0,54'ü, kalker (A) işletmesinde TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %8,51'i, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin %2,74'ü, kalker (B) işletmesinde TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %0,67'si, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin %0,05'i kullanılan ölçüm cihazının ölçüm üst sınırında çıkmıştır. Kalker (A) işletmesindeki PM salınım değerlerinin diğer işletmelere göre yüksek olmasının temel sebebi delinen formasyonun nem içeriğinin diğer işletmelere göre daha düşük olmasıdır.

b) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde yükleme faaliyeti sırasında ölçülen TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %2,68'i ölçüm cihazı üst sınırında çıkmış olup, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinde ise cihazın ölçüm aralığını aşan değer yoktur. Yükleme faaliyeti sırasında alçıtaşı işletmesinde kaydedilen TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %6,9'u, kalker (A) işletmesinde TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %0,24'ü, kalker (B) işletmesinde ise TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %0,78'i, ölçüm cihazı üst sınırında çıkmıştır. Alçıtaşı işletmesindeki PM ölçüm değerlerinin diğer işletmelerdeki ölçüm değerlerine göre yüksek olmasının temel sebebi yüklenen malzemenin nem değerlerinin diğer işletmelerdekine göre daha düşük olmasıdır. Alçıtaşı işletmesinde yüklenen malzemenin tane boyutu kalker işletmelerindeki malzemeye göre daha küçüktür. Ayrıca, alçıtaşı işletmesi sığ derinlikte olduğu için diğer işletmelere göre daha fazla rüzgâra maruz kalmakta ve bu durum daha yüksek PM salınımı kaydedilmesine neden olmuştur.

c) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde taşıma faaliyeti sırasında ölçümü yapılan TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %1,93'ü, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin ise yaklaşık %0,38'i kullanılan ölçüm cihazı üst sınırında çıkmıştır. Taşıma faaliyeti sırasında alçıtaşı işletmesinden kaydedilen TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %4,9'u, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin %1,34'ü, kalker (A) işletmesinde TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %1,25'i, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin %0,2'si, kalker (B) işletmesinde TAPM ve PM_{10} verilerinin yaklaşık %1,11'i, $PM_{2,5}$ ve PM_1 verilerinin %0,09'u ölçüm cihazı üst sınırında çıkmıştır. Alçıtaşı işletmesinde PM salınım değerlerinin diğer işletmelere göre yüksek çıkmasının temel sebebi, bu işletmedeki taşıma yollarının diğer işletmelere göre daha az sulanmasıdır.

d) Genel olarak delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri sonucu açığa çıkan PM miktarı; işletmenin bulunduğu bölgenin meteorolojik koşulları (hava sıcaklığı, bağıl nem, çiğ noktası sıcaklığı, karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil rüzgâr hızı, istasyon basıncı), ekipman özellikleri (yükleyici kova hacmi, kamyon kütlesi, kamyon hızı, kamyon teker sayısı), arazi yapısı, işletme derinliği ve operasyon bölgesindeki malzemenin nem ile silt+kil içeriklerine bağlı olduğu belirlenmiştir.

e) İstatistiksel analiz paketi ile alçıtaşı ve kalker işletmelerindeki delme, yükleme ve taşıma faaliyetlerinden kaydedilen ham verilerin normal dağılıma uygunlukları test edilmiştir. Ham veri setleri çoğunlukla normal dağılım göstermemiştir. Bu nedenle veri setlerinin doğal logaritma (ln), logaritma (log), sayının tersi (1/ham) ve binde biri (ham/1000) dönüşümü yapılmıştır. Dönüşümü yapılan veri setlerinden doğal logaritma ve logaritma veri setleri normal dağılıma uygunluk sağlamıştır.

f) Normal dağılıma uygunluk sağlayan tüm veri setleri kullanılarak toplu giriş, aşamalı ve ileriye doğru seçim teknikleri ile klasik regresyon modelleri türetilmiştir. Buna göre; delme ve yükleme faaliyetine ait düzeltilmiş belirlilik katsayısı, taşıma faaliyetine ait düzeltilmiş belirlilik katsayısından daha düşük çıkmıştır. Bunun temel nedeni, delme ve yükleme faaliyetlerine ait PM salınım modellerine tüm verinin dâhil edilmesi, taşıma faaliyeti modellerine ise yalnızca kamyonların ölçüm cihazı yanından geçişi sırasında kaydedilen ve sayıca çok daha az olan verinin dâhil edilmesidir. Yapılan tüm modellerin düzeltilmiş belirlilik katsayısı düşük ($R^2 \leq \%45$) olup benzer işletmelerde bile model tarafından kullanılan bağımsız değişkenler farklı çıkmıştır. Bu nedenle, bu modellerin PM salınımı istastiksel analiz paketi ile sağlıklı biçimde kestirilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

g) İstatistiksel analiz paketini kullanarak alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetinde oluşan TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımlarının kapsayıcı olan birisini kullanarak diğerlerini kestirebilmek amacıyla regresyon modelleri geliştirilmiştir. Bunun için normal dağılım gösteren ve en yüksek ilgileşim katsayısı olan ham ve/veya dönüşümü gerçekleştirilmiş veri setleri kullanılmıştır. Veri setleri arasındaki ilgileşim düzeylerinden (normal ve yüksek ilgileşim) dolayı, herhangi bir PM boyutu salınım değeri kullanılarak diğer PM boyutları yüksek ilgileşim ile

kestirilebilmektedir. Delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri için geliştirilen PM salınım kestirim denklemleri birbirinden farklıdır. Farklılık, benzer işletmelerdeki aynı faaliyetler için de geçerlidir. Bu nedenle, belirli bir işletmedeki herhangi bir operasyon için geliştirilen PM salınım kestirim denkleminin aynı faaliyetin yapıldığı diğer bir işletme için sağlıklı sonuçlar vermeyebileceği sonucuna varılmıştır.

h) Normal dağılım gösteren ve ikiden fazla bağımsız değişkene sahip gruplar Tukey testi üzerinden değerlendirilmiştir. Buna göre PM salınımları, termal konfor parametreleri ve silt+kil içerikleri arasında aylar bazında anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir.

i) Delme, yükleme ve taşıma faaliyeti PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) salınım modellerinde herhangi bir bağımsız değişkenin tek başına model üzerinde etkisinin olduğunu söylemenin oldukça güç olduğu görülmüştür. Bunun temel sebebi bağımlı değişken değerinin çok geniş aralıkta dalgalanmasıdır.

j) PM salınım verisi çok geniş bir aralığa (TAPM ve PM_{10} 0 - 6527,9+, $PM_{2,5}$ ve PM_1 0 - 652,79+) dağıldığı için bu yapıdaki veriyi kümeler halinde gruplayarak modelleyebilen karar ağacı algoritması kullanılmıştır.

k) Karar ağacı algoritması ile bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki üç farklı yöntem ile (eğitim veri seti, çapraz doğrulama, yüzdelik ayırma) test edilmiştir. Eğitim veri seti yönteminde tüm veriler, hem eğitim hem de test için kullanılmıştır. Çapraz doğrulama yönteminde, yapılan modellemelerin büyük çoğunluğunda verilerin %10'ı test verisi, %90'ı ise eğitim verisi olarak kullanıldığında en iyi sonuç alınmıştır. Yüzdelik ayırma yönteminde ise en iyi sonucun büyük oranda, %66'lık bölünmede gerçekleştiği görülmüştür.

l) Karar ağacı algoritmasını kullanarak geliştirilen nihai PM salınım kestirim denklemlerinde, eğitim veri seti yöntemindeki ilgileşim katsayısının diğer iki yönteme göre daha yüksek olduğu (%1<R<%20), diğer iki yöntemdeki ilgileşim katsayılarının birbirine yakın sonuçlar verdiği (R≤%5) görülmüştür. PM salınım modellerinde kullanılan verinin büyük aralığa saçılması durumunda eğitim veri seti ile yapılan modellemelerdeki ilgileşim katsayısının diğer iki yönteme göre belirgin bir şekilde yüksek olduğu (R>%5), veri dağılımlarının birbirine yakın olması durumunda ise her üç test yöntemindeki ilgileşim katsayılarının birbirine yakın sonuçlar (R≤%5) verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca; üç ayrı test yöntemiyle yapılan nihai PM salınım modellerinde düğüm sayısı, regresyon analizi değişken ekleme yöntemleri ve düğümde kullanılacak minimum örnek sayısının da eşit olduğu görülmüştür.

m) Karar ağacı algoritması kullanılarak gerçekleştirilen PM salınım modellemelerinde ortalama mutlak hata (MAE) ve hataların karelerinin ortalamasının karekökü'nün (RMSE) çok fazla değişmediği, bu nedenle modellemelerde en önemli ölçütlerin ilgileşim katsayısı ve modeldeki düğüm sayısının olması gerektiği sonucuna varılmıştır. PM salınım modellerinin başarısı meta öğrenme algoritmasına, arama yöntemine (regresyon analizi değişken ekleme yöntemi) ve bir düğümde izin verilecek minimum örnek sayısına göre değişmiştir.

n) Karar ağacı algoritmasıyla PM salınım kestirim denklemlerinin geliştirilmesinde ham ve dönüşümü yapılmış tüm veri setleri ayrı ayrı kullanılmıştır. Buna göre, ilgileşim katsayısı en yüksek ve düğüm sayısı en düşük olan veri setlerinden nihai kestirim denklemleri oluşturulmuştur.

o) Karar ağacı algoritmasını kullanarak delme faaliyeti için geliştirilen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım modellerinde en önemli parametreler; hava sıcaklığı, havanın bağıl nemi, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil), malzemenin silt+kil içeriği ve malzeme nemidir.

p) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme faaliyeti için karar ağacı algoritmasıyla geliştirilen beher TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım denklemlerindeki düğüm sayıları ve ilgileşim katsayıları farklıdır. Buna göre; alçıtaşı işletmesindeki delme faaliyetinde düğüm sayıları ve ilgileşim katsayıları sırasıyla, 25-33 ve %52-%58, kalker (A) işletmesinde 16-24 ve %66-%77, kalker (B) işletmesinde ise 14-23 ve %60-%81 arasındadır.

q) Karar ağacı algoritmasını kullanarak yükleme faaliyeti için geliştirilen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım modellerinde en önemli parametreler; hava sıcaklığı, havanın bağıl nemi, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil), yükleyici kova hacmi ve malzeme nemidir.

r) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde yükleme faaliyeti için karar ağacı algoritmasıyla geliştirilen beher TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım denklemlerindeki düğüm sayıları ve ilgileşim katsayıları değişiklik göstermiştir. Buna göre; alçıtaşı işletmesindeki yükleme faaliyetinde düğüm sayıları ve ilgileşim katsayıları sırasıyla, 22-27 ve %72-%81, kalker (A) işletmesinde 15-21 ve %70-%80, kalker (B) işletmesinde ise 22-31 ve %59-%70 arasındadır.

s) Karar ağacı algoritmasını kullanarak taşıma faaliyeti için geliştirilen TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım modellerinde en önemli parametreler; hava sıcaklığı, havanın bağıl nemi, istasyon basıncı, çiğ noktası sıcaklığı, rüzgâr hızı (karşı ve yan rüzgâr hızları dâhil), yol malzemesinin nemi ile silt+kil içeriği, kamyon kütlesi, kamyon tekerlek sayısı ve kamyon hızıdır.

t) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde taşıma faaliyeti için karar ağacı algoritmasıyla geliştirilen beher TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınım denklemlerindeki düğüm sayıları ve ilgileşim katsayıları değişiklik göstermiştir. Buna göre; alçıtaşı işletmesindeki taşıma faaliyetinde düğüm sayıları ve ilgileşim katsayıları sırasıyla 7-13 ve %71-%78, kalker (A) işletmesinde 10-18 ve %51-%79, kalker (B) işletmesinde ise 13-23 ve %75-%83 arasındadır.

u) En yüksek PM salınımı delik delme faaliyetinde gerçekleşmiş, bunu taşıma ve yükleme faaliyetleri izlemiştir. Taşıma yollarının sulanması TAPM ve PM_{10} salınımını önemli oranlarda düşürmüş ancak $PM_{2,5}$ ve PM_1 salınımına kayda değer ölçüde etki etmemiştir.

v) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme, yükleme taşıma faaliyeti sırasında ölçümü yapılan $PM_{2,5}$ ve PM_{10} salınımlarının ülkemiz ve gelişmiş ülkelerdeki ilgili standart limit değerlerine göre kıyaslaması yapılmıştır. Buna göre; her üç işletmede de PM salınım ölçüm değerlerinin belirli bir bölümü standart limit değerlerinin üzerindedir. Dolayısıyla bu işletmelerde delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri sırasında dış ortamda sürekli olarak çalışacak personelin solunum koruyucu donanım kullanması önerilmiştir. Ayrıca; delme, yükleme ve taşıma faaliyetinde PM_{10} salınımı, $PM_{2,5}$ salınımından daha fazladır. Bu nedenle, ölçüm yapılan işletmelerdeki PM boyutunun çoğunlukla kaba partiküllerden oluştuğu da söylenebilir.

w) Öncel çalışmalarda PM_1 salınımı modellerine rastlanılmamıştır. $PM_{2,5}$ salınımı da daha çok TAPM ve PM_{10} salınım değerlerinin belirli bir katsayı ile çarpımı biçiminde sunulmuştur. Bu çalışmada, alçıtaşı ve kalker işletmelerinde delme, yükleme ve taşıma faaliyetleri için PM (TAPM, PM_{10}, $PM_{2,5}$ ve PM_1) salınım kestirim denklemleri birbirlerinden bağımsız olarak türetilmiştir.

9.2 Öneriler

Bu bölümde, mevcut araştırma çalışmasının gerek saha gerekse laboratuvar ve ofis aşamalarında karşılaşılan kısıtlar ile araştırmadan edinilen deneyimlerin ışığında, daha sonra yapılabilecek araştırma çalışmalarının kurgusunu geliştirebilmek amacıyla bir dizi öneriye yer verilmiştir. Bunlar;

a) Bu çalışmada, PM ölçümü sırasında malzeme özelliklerini temsil eden numune alma sıklığı kısa (~5 dakika/1 kg) tutulmuştur. Böylece günlük bazda çok sayıda numune alımı gerçekleştiği için malzemenin nem ile silt+kil içeriği tayin süresi, malzeme özelliklerinin değişeceği endişesine neden olacak şekilde uzamasına sebep olmuştur. Ertesi güne bırakılan numunelerin özellikleri muhtemelen değişeceğinden malzeme örneklerinin nem ve silt+kil içerik tayini aynı gün içinde yapılmalıdır. Bu nedenle, laboratuvardaki donanım ve personel olanaklarının eşzamanlı olarak birden fazla nem ve silt+kil içeriği tayini yapılabilecek biçimde desteklenmelidir.

b) İşletmelerde özellikle yaz aylarında gün içerisinde PM ölçümü gerçekleştirilirken taşıma faaliyeti sona bırakılmalıdır. Bunun temel sebebi yolun sulanması sırasında malzeme özelliklerini temsil eden numunelerin nem değerlerini kaybetmeden laboratuvarda analiz edilme süresinin olabildiğince erkene alınmasını sağlayacaktır.

c) Delme, yükleme ve taşıma faaliyetlerinde PM salınımı izlenmesi için bir adet PM ölçer ve bir adet termal konfor cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerde cihazlar iş makinelerine emniyetli bir mesafede (2-10 m), rüzgâr yönüne bağlı olarak konumlandırılmıştır. Ancak farklı yönlerde daha fazla sayıda ölçüm cihazı kullanımının PM salınım kestirimi için daha sağlıklı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

d) Alçıtaşı ve kalker işletmelerinde özellikle hava sıcaklığının yüksek olduğu kurak aylarda kaydedilen PM salınım değerlerinin bir bölümü, PM ölçerin üst sınırında çıkmıştır. TAPM ve PM_{10} ölçümleri değerlendirildiğinde, bu verinin toplam veriye oranı

%8,51'den daha düşük olmasına rağmen ölçüm aralığı daha yüksek olan cihazların kullanılmalıdır. Diğer taraftan toplam $PM_{2,5}$ ve PM_1 verisinin %2,74'lük kısmı PM ölçer cihazının üst sınırında çıktığından bu iki parametrenin izlenmesi amacıyla mevcut PM ölçerden faydalanılabileceği kanısına varılmıştır.

e) Ülkemizdeki madenlerde toz salınımının belirlenmesi için yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, bunların büyük oranda kömür madenlerinde ve kişisel toz maruziyeti amacıyla yapıldığı tespit edilmiştir. Kömür dışı açık işletmelerde makine-ekipman kaynaklı PM salınımlarının belirlenmesi üzerine literatürde çok az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır. Bu nedenle Ülkemizdeki maden işletmelerinde her bir faaliyetten kaynaklanan PM salınımının ölçülmesine yönelik daha ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır. Böylece bu etkenin çalışanlar ve çevre üzerindeki etkileri daha iyi anlaşılabilir.

f) Madencilik sektöründe hava kirliliğine neden olan PM'lerin düşük düzeye indirilebilmesi mümkündür. Bunun için salınım kaynağına bağlı düzenli ölçüm yapılmalı, kaynağa göre PM salınımları/faktörleri belirlenmeli ve faaliyet türüne bağlı olarak toz azaltma teknikleri (sulama, asfaltlama, greyder ile tesviye gibi) uygulamaya konulmalıdır. Böylece, işletme çevresindeki yerleşim/tarım/endüstri bölgelerinin de etkilenmesinin önüne geçilebilir.

g) Ülkemiz mevzuatında madencilik faaliyetleri kaynaklı PM salınımına ait kütlesel debi hesaplamaları için SKHKKY Ek - 1'deki "Taş çıkarma, Kırma ve Sınıflandırma Tesisleri" başlığı altında kontrollü ve kontrolsüz durumlar için salınım faktörleri sayısal değer biçiminde verilmiştir. Bu faktörler tüm operasyonlar, faaliyetler ve cevher tipleri için geçerlidir. Ancak çeşitli araştırmacılar (Ghose, 2004; Huertas vd., 2012; Papagiannis, vd., 2014; Richardson vd., 2019) maden işletmeleri için geliştirilen PM salınım kestirim denklemlerinin aynı operasyon için bile işletmeler arasında değişkenlik gösterdiğini, bu nedenle tahmin modellerinin madene özgü olmasının doğru bir yaklaşım olacağını ifade etmişlerdir. Bunun sonucu olarak maden işletmeleri faaliyete başlamadan önce, PM salınım tahmini için faaliyet türüne bağlı olarak Çizelge 2.8'de verilen görgül formüllerden de yararlanılabilir.

h) Madencilik faaliyetleri kaynaklı PM salınımı, benzer maden işletmeleri için geliştirilmiş olan yaklaşımlar ile maden işletmesi projelendirme aşamasında iken tahmin edilebilir. Böylece maden işletmeleri için tahmin edilen PM salınım değerlerine göre gerekli önlemler (sulama, asfaltlama, greyder ile tesviye gibi) alınmak suretiyle işletmeler ile çevredeki yerleşim yerleri/tarım arazisi sahipleri arasında oluşabilecek muhtemel şikâyet ve anlaşmazlıkların en düşük düzeye indirilebilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

Adams, K., Greenbaum, D. S., Shaikh, R., M. van Erp, A., Russell, G. A. (2015). Particulate matter components, sources, and health: Systematic approaches to testing effects. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(5), 544-558.

Ahmad, A.U., Balakrishnan, U.V., Jha, P.S. (2021). A study of multicollinearity detection and rectification under missing values. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(1S), 399-418.

Akçetin, E., Çelik, U. (2014). İstenmeyen elektronik posta (spam) tespitinde karar ağacı algoritmalarının performans kıyaslaması. *İnternet Uygulamaları ve Yönetimi Dergisi*, 5(2), 43-56. https://doi.org/10.5505/iuyd.2014.43531.

Aksu, G. (2018). Pisa başarısını tahmin etmede kullanılan veri madenciliği yöntemlerinin incelenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü* (Doktora Tezi), 162s, Ankara.

Aksu, G., Doğan, N. (2019). An analysis program used in data mining: WEKA. *Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology*, 10(1), 80-95.

Aktimur, H. (1988). 1/100.000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi Divriği F-26 paftası, MTA yayınları.

Aktimur, H.T., Tekirli, M.E., Yurdakul, M.E. (1990). Sivas-Erzincan Tersiyer havzasının jeolojisi. MTA Dergisi 111: 25-36.

Albayrak, A.S. (2005). Çoklu doğrusal bağlantı halinde en küçük kareler tekniğinin alternatifi yanlı tahmin teknikleri ve bir uygulama. *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(1), 106-126.

Albayrak, A. S., Yılmaz, Ş. K. (2009). Veri madenciliği: Karar ağaç algoritmaları ve İMKB verileri üzerine bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 31-52.

Alfred, R., (2005). Knowledge discovery: enhancing data mining and decision support integration. *The University of York* (Qualifying Dissertation), 45p, York.

Alpar R. (2011). Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler. *Detay Yayıncılık*, 853s, Ankara.

Alsultanny, Y.A. (2020). Machine learning by data mining REPTree and M5P for predicating novel information for PM10. *Cloud Computing and Data Science*, 40-48.

Amaral, S.S., Andrade de Carvalho Jr. J., Martins Costa, M. A., Pinheiro, C. (2015). An overview of particulate matter measurement instruments. *Atmosphere*, 6(9), 1327-1345. doi:10.3390/atmos6091327.

Aneja, P. V., Isherwood, A., Morgan, P. (2012). Characterization of particulate matter (PM_{10}) related to surface coal mining operations in Appalachia. *Atmospheric Environment*, 54, 496-501.

Appleton, T, J., Kingman, S, W., Lowndes, I, S., Silvester, S, A. (2006). The development of a modelling strategy for the simulation of fugitive dust emissions from in-pit quarrying activities: A UK case study. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 20(1), 57-82.

Araújo P. S. I., Costa B. D., J. B. de Moraes, R. (2014). Identification and characterization of particulate matter concentrations at construction jobsites. *Sustainability*, 6, 7666-7688.

Arregoces, H.A., Rojano, R., Angulo, L., Gloria Restrepo, G. (2018). Intake fraction of PM_{10} from coal mine emissions in the north of Colombia. *Journal of Environmental and Public Health*, 2018, Article ID 8532463, 1-8.

Axetell, K., Cowherd, C. (1984). Improved emission factors for fugitive dust from western surface coal mining sources. *Industrial Environmental Reearch Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency*, 293p, Cincinnati.

Aydemir, E. (2018). Weka ile yapay zekâ. *Seçkin Yayınevi*, 231s, Ankara.

Aydemir, E., Kaysi, F., Yavuz, M. (2020). İlaç satış verileri kullanılarak ağaç algoritmaları ile elde edilen gelirin tahmin edilmesi. *Anatolian Journal of Computer Sciences*, 5(1), 14-21.

Avcı, T., (2020). The effects of macroeconomic factors and bank loans on inflation: the case of Turkey. *Journal of Corporate Governance, Insurance, and Risk Management*, 7(2), 70-86.

Badu, A., (2014). Dust monitoring, characterization and prediction in an opencast coal mining project. *National Institute of Technology Department of Mining Engineering* (Diploma Thesis), 76p, Rourkela.

Balcı, S. (2016). Çimento üretiminde toz ve gürültü maruziyetinin değerlendirilmesi. *Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı Ve Güvenliği Genel Müdürlüğü* (İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi), 69s, Ankara.

Banerjee, K., Wang, H., Pisaniello, D. (2006). Iron-ore dust and its health impacts, *Environmental Health*, 6(1), 11-16. http://hdl.handle.net/2440/35637.

Barros, R. C., de Carvalho, C. P. L. F. A., Freitas, A.A. (2015). Automatic design of decision-tree induction algorithms. *SpringerBriefs in Computer Science*, 176p, London.

Baumann, R., Krzyzanowski, M., Chicherin, S. (2006). Framework plan for the development of monitoring of particulate matter in EECCA. *WHO European Centre for Environment and Health*, 40p, Bonn.

Bayhan, İ., Doğan, T. R., Yeşilnacar, M. İ., Derin, P. (2018). Aktif bir mıcır ocağının partikül madde ve bazı meteorolojik parametreler bakımından değerlendirilmesi: Şanlıurfa örneği. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 23-27 Nisan, 849-850, Ankara.

Beloconi, A., Chrysoulakisc, N., Lyapustind, A., Jürg Utzinger, J., Vounatsou, P. (2018). Bayesian geostatistical modelling of PM_{10} and $PM_{2,5}$ surface level concentrations in Europe using high-resolution satellite-derived products. *Environment International*, 121, 57-70.

Beşir, A. Ç. (2015). Yerüstü madenciliğinde kullanılan partikül madde emisyon faktörlerinin Türkiye ve uluslararası uygulamalarla değerlendirilmesi. *Hacettepe Üniversitesi* (Yüksek Lisans Tezi), Ankara.

Bramer, M. (2007). Principles of data mining. *Springer-Verlag London Ltd*., 526p, London.

Bramer, M. (2013). Principles of data mining (2nd ed.), *Springer-Verlag*, 455p, London.

Brownlee, J. (2016). Machine learning mastery with Weka, *Machine Learning Mastery*, 248p.

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324.

Bruxella, J.M. D., Sadhana, S., Geetha, S. (2014). Categorization of data mining tools based on their types. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(3), 445-452.

Bui, X-N., Lee, C.W., Nguyen, H., Bui, H-B., Long, N.Q., Le, Q-T., Nguyen, V-D., Ngoc-Bich Nguyen, N-B., Moayedi, H. (2019). Estimating PM_{10} concentration from drilling operations in open-pit mines using an assembly of SVR and PSO. Applied Sciences, 9(14), 1-23. doi:10.3390/app9142806.

Bükey, A. M., Çetin, B. I. (2017). The analysis of the factors influencing income distribution by the least squares method in Turkey, *Research Journal of Public Finance*, 3(1), 103-117.

Bülbül, E.S. (2000). Çoklu karşılaştırma testleri ve bir örnek uygulama. *Öneri Dergisi*, 3(14), 95-100. DOI: 10.14783/maruoneri.734123.

Büyükuysal, M. Ç., Öz, İ. İ. (2016). Çoklu doğrusal bağıntı varlığında en küçük karelere alternatif yaklaşım: Ridge regresyon. *Journal of Düzce University Health Sciences Institute*, 6(2), 110-114.

CAFE (2004). Second position paper on particulate matter. *CAFE Working Group on Particulate Matter*, 231p.

Cao, J., Chow, C. J., Lee, S. C. F., Watson, G. J. (2013). Evolution of $PM_{2,5}$ measurements and standards in the U.S. and future perspectives for China. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(4), 1197-1211.

Castellani, B., Morini, E., Filipponi, M., Nicolini, A., Palombo, M., Cotana, F., Rossi, F. (2014). Comparative analysis of monitoring devices for particulate content in exhaust gases. *Sustainability*, 6(7), 4287-4307. doi:10.3390/su6074287.

CCME (2012). Guidance document on achievement determination Canadian ambient air quality standards for fine particulate matter and ozone. *Canadian Council of Ministers of the Environment*, 43p, Winnipeg.

Chadha, P., Singh, G. N. (2012). Classification rules and genetic algorithm in data mining. *Global Journal of Computer Science and Technology Software & Data Engineering*, 12(15), 50-54.

Chai, T., Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? - Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7, 1247-1250.

Chakraborty, M. K., Ahmad, M., Singh, R. S., Pal, D., Bandopadhyay, C., Chaulya, S. K. (2002). Determination of the emission rate from various opencast mines operations. *Environmental Modelling & Software*, 17(5), 467-480.

Chaulya, S. K. (2006). Emission rate formulae for surface iron ore mining activities. *Environmental Modeling & Assessment*, 11(4), 361-370.

Chien, C. F., Chen, L. F., (2008). Data mining to improve personnel selection and enhance human capital: A case study in high-technology industry, *Expert Systems with Applications*, 34(1), 280-290.

Choudhary, M. P., Garg, V. (2013). Causes, Consequences and Control of Air Pollution, *Conference: All India Seminar on Methodologies for Air Pollution Control at: Malaviya National Institute of Technology*, Ağustos, 1-10, Jaipur.

Chow, C. J., Watson J. G. (1998). Guideline on speciated particulate monitoring. *U.S. Environmental Protection Agency*, 29p, Research Triangle Park.

Cutler, A., Cutler, D. R., Stevens, J. R. (2011). Random forests, *Machine Learning*, 45(1), 157-176. doi: 10.1007/978-1-4419-9326-7_5.

Czajkowski, M., Kretowski M. (2010). Globally induced model trees: an evolutionary approach. *11th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, September 11-15, 324-333, Krakow.

ÇEDB (2004). Türkiye çevre atlası. *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, 528s, Ankara.

Çınar, İ., Şensöğüt, C. (2017). Mermer fabrikalarında toz koşullarının değerlendirilmesi. *MCBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 23(I), 40-48.

Çınaroğlu, S. (2016). Sağlık harcamasının tahmininde klasik regresyon yöntemleri ile veri madenciliği regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması. *Ekonomik Yaklaşım*, 27(101), 185-218.

Çınaroğlu, S. (2017). Sağlık harcamasının tahmininde makine öğrenmesi regresyon yöntemlerinin karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(2), 179-200.

ÇOB (2008). Hava kalitesi değerlendirme ve yönetimi yönetmeliği, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, 19s, Ankara.

ÇŞB (2014). Sanayi kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik. *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, 1s, Ankara.

del Campo-Avila J., Moreno-Vergara N., Trella-Lopez M. (2011). Analyzing factors to increase the influence of a Twitter user. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, 89, 69-76.

Di, H., Wang, Z., Hua, D. (2019). Precise size distribution measurement of aerosol particles and fog droplets in the open atmosphere. Optics Express, 27(12), A890-A908. https://doi.org/10.1364/oe.27.00a890.

Després, V., Huffman, J. A., Burrows, M. S., Hoose, C., Safatov, A., Buryak, G., Fröhlich-Nowoisky, J., Elbert, W., Andreae, M., Pöschl, U., Jaenicke, R. (2012). Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 64(1), 1-58. https://doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.15598.

Dreshaj, A., Millaku, B., Shala, S., Selimaj, A., Shabani, H. (2017). Sources of air pollution, environmental impacts and exploitation of natural resources in Kosovo, *CBU International Conference on Innovations in Science and Education*, March 22-24, 1275-1280, Prague.

Duran, Z., Erdem, B., Doğan, T., (2021). Açık Maden Işletmelerinde Partikül Madde Salınımı: Literatür Araştırması, *ESOGÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 29(3), 450-465, https://doi.org/10.31796/ogummf.945742.

Environment Agency (2011). Technical guidance note (monitoring) m8, monitoring ambient air. *Environment Agency*, 79p, London.

Erol, İ. (2012). Türkiye Taşkömürü Kurumu ocaklarında solunabilir toz içindeki kül ve kuvars miktarlarının sistematik olarak ölçülmesi ve istatistiksel değerlendirilmesi. *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı* (Doktora Tezi), 219 s, Zonguldak.

EPA (1999a). Sampling of ambient air for total suspended particulate matter (spm) and PM10 using high volume (hv) sampler. *U.S. Environmental Protection Agency*, 78p, Cincinnati.

EPA (1999b). Sampling of ambient air for PM10 concentration using the Rupprecht and Patashnick (R&P) low volume partisol® sampler, *U.S. Environmental Protection Agency*, 40p, Cincinnati.

EPA (2004). Air quality criteria for particulate matter (Final Report, 2004). *U.S. Environmental Protection Agency*, 900p, Washington, DC.

EPA (2008). APTI course 435, atmospheric sampling: student manual. *U.S. Environmental Protection Agency*, 350p, Cincinnati.

EPA (2018). Technical assistance document for the reporting of daily air quality - the air quality index (AQI). *U.S. Environmental Protection Agency*, 22p, Research Triangle Park.

EPA (2019). Integrated science assessment (ISA) for particulate matter. *U.S. Environmental Protection Agency*, 1967p, Research Triangle Park.

EPA (2020a). What is PM? *U.S. Environmental Protection Agency*, Washington, DC. (https://www3.epa.gov/region1/airquality/pm-what-is.html). Erişim tarihi: 10.01.2020.

EPA (2020b). NAAQS table. *U.S. Environmental Protection Agency*, Washington, DC. (https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table). Erişim tarihi: 15.01.2020.

Erbay, Ş., Beydoğan, H. Ö. (2017). Eğitimcilerin eğitim araştırmalarına yönelik tutumları. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(3), 246-260.

EU (2020). Air quality standards. *The European Union*, (https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards). Erişim tarihi: 27.09.2022.

Evyapan, F., Mungan, D., Akgün, M., Arbak, P. (2012). Hava kalitesi ve sağlık. *T.C. Sağlık Bakanlığı ve Türk Toraks Derneği*, 72s, Ankara.

Friedman F., Hastie T., Tibshirani R. (2009). The elements of statistical learning data mining, inference and prediction, 2nd Ed., *Springer series in Statistics, Springer*, 745p, New York.

Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., H. Denier van der Gon, H., Facchini, M. C., Fowler, D., Koren, I., Langford, B., Lohmann, U., Nemitz, E., Pandis,

S., Riipinen, I., Rudich, Y., Schaap, M., Slowik, J. G., Spracklen, D. V., Vignati, E., Wild, M., Williams, M., and Gilardoni, S. (2015). Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 8217-8299.

Gao, G., Sun, F., Thao, T, T, N., Lun, X., Yu, X. (2015). Different concentrations of TSP, PM10, PM2.5 and PM1 of several urban forest types in different seasons, *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(6), 2387-2395.

Gao, M., Beig, G., Şarkı, S., Zhang, H., Hu, J., Ying, Q., Liang, F., Liu, Y., Wang, H., Lu, X., Zhu, T., Carmichael, G.R., Nielsen, C.P., McElroy, M.B. (2018). The impact of power generation emissions on ambient PM2.5 pollution and human health in China and India. *Environment International*, 121(1), 259-275.

Gargano, M. L., Raggad, B. G. (1999). Data mining-a powerful information creating tool. *OCLC Systems & Services*, 15(2), 81-90.

Gautam, S., Patra, A.K., Sahu, S.P., Hitch, M. (2016). Particulate matter pollution in opencast coal mining areas: a threat to human health and environment. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 32(2), 75-92.

Genç, B., Tunç, H. (2019). Optimal training and test sets design for machine learning, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 27, 1-13. doi:10.3906/elk-1807-212.

George, D., Mallery, M. (2010). SPSS for Windows step by step: a simple guide and reference, 17.0 update (10th ed.). *Allyn & Bacon*, 386p, Boston.

Ghose, M. K. (2004). Emission factors for the quantification of dust in India coal mines. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 63, 763-768.

Ghose, M. K., Majee, S. R. (2007). Characteristics of hazardous airborne dust around an Indian surface coal mining area, *Environmental Modeling & Assessment*, 130, 17-25.

Giechaskiel, B., Maricq, M., Ntziachristos, L., Dardiotis, C., Wang, X., Axmann, H., Bergmann, A., Schindler, W. (2014). Review of motor vehicle particulate emissions sampling and measurement: From smoke and filter mass to particle number. *Journal of Aerosol Science*, 67, 48-86.

Good Practice (2016). Good practice guide for assessing and managing dust. *Ministry for the Environment*, 17p, Wellington.

Göndör, M., Bresfelean, V. P. (2012). REPTree and M5P for measuring fiscal policy influences on the Romanian capital market during 2003-2010. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, 6(4), 378-386.

Grimm, H., Eatough, J.D. (2009). Aerosol measurement: the use of optical light scattering for the determination of particulate size distribution, and particulate mass, including the semi-volatile fraction. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 59(1), 101-107. https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.1.101.

Gorunescu, F. (2011). Data mining: concepts, models and techniques. *Springer-Verlag*, 370p, Heidelberg.

Gültepe, Y. (2019). Makine öğrenmesi algoritmaları ile hava kirliliği tahmini üzerine karşılaştırmalı bir değerlendirme. *European Journal of Science and Technology*, 16, 8-15.

Harrison D., Maggs, R., Booker, J. (2006). UK equivalence programme for monitoring of particulate matter. *Department for the Environment, Food and Rural Affairs; Welsh Assembly Government; Scottish Executive; Department of Environment for Northern Ireland*, 126p, London.

Hendryx, M. (2015). The public health impacts of surface coal mining. *The Extractive Industries and Society*, 2, 820-826.

Hendryx, M., Islam, M. S., Dong, G-H., Paul, G. (2020). Air pollution emissions 2008-2018 from Australian coal mining: implications for public and occupational health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1-11. doi:10.3390/ijerph17051570.

Hime, N., Cowie, C., Marks, G. (2015). Review of the health impacts of emission sources, types and levels of particulate matter air pollution in ambient air in NSW. *NSW Environment Protection Authority and NSW Ministry of Health, Environmental Health Branch*, 243p.

Hinds, W. C. (1999). Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. *Wiley*, 504p, New Jersey.

Hollander, A. E. M., Melse, J. M., Lebret, E., Kramers, P. G. N. (1999). An aggregate public health indicator to represent the impact of multiple environmental exposures. *Epidemiology*, 10, 93-110.

Hua, S., Cai, X., Sun, F., Yu, X. (2016). Effect of roadside forest belts on particles including TSP, PM10, PM2.5, and PM1 under different seasons in Beijing. *Nature Environment and Pollution Technology*, 15(4), 1389-1394.

Huertas, J, I., Camacho, D, A., Huertas, M. E. (2012). Standardized emissions inventory methodology for open-pit mining areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 19, 2784-2794.

Huertas, J, I., Huertas, M, E., Cervantes, G., Diaz, J. (2014). Assessment of the natural sources of particulate matter on the opencast mines air quality. *Science of the Total Environment*, 493, 1047-1055. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.111.

Hwang, S. Y., Yang, D. N., Kwon, H. J., Lee, J. Y. (2014). Measurement of PM10 concentration in one dental clinic, *International Journal of Clinical Preventive Dentistry*, 10(4), 273-280. http://dx.doi.org/10.15236/ijcpd.2014.10.4.273.

İSGİP (2015). Meslek hastalıkları ve işle ilgili hastalıklar tanı rehberi. *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü*, 490s, Ankara.

Jović, A., Brkić, K., Bogunović, N. (2014). An overview of free software tools for general data mining. *37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, May 26-30, 1-6, Opatija.

Kamyotra, J. S. (2012). Guidelines for the Measurement of Ambient Air Pollutants Volume-I. *Ministry of Environment & Forests*, 83p, Delhi.

Kara, Ş. E., Şamlı, R. (2021). Yazılım projelerinin maliyet tahmini için WEKA'da makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırmalı analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23, 415-426. doi: 10.31590/ejosat.877296.

Karabulut, C. (2019). Türkiye'de 2000 yılı sonrası e-ticaretin gelişimi. *Yönetim, Ekonomi ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 3(5), 192-207. doi: 10.29226/TR1001.2019.152.

Keskinkılıç, B., Karakaya, K., Kutlu, Ş., Zal, H. (2010). Türkiye'nin hava kirliliği ve iklim değişikliği sorunlarına sağlık açısından yaklaşım. *T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü*, 178s, Ankara.

Kim, K., Ehsanul Kabir, E., Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136-143.

Kiranmai, S. A., Jaya Laxmi, A. J. (2018). Data mining for classification of power quality problems using WEKA and the effect of attributes on classification accuracy. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 3, 1-12. https://doi.org/10.1186/s41601-018-0103-3.

Kishore, K. (2015). Ambient air quality modelling using Aermod and particulate matter characterization in opencast mines. *National Institute of Technology Department of Mining Engineering* (MTech Thesis), 69p, Rourkela.

Knight, L. W., Fraser, P. M., Herckes, P., (2021). Impact of misting systems on local particulate matter (PM) levels. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(5), 1-11. https://doi.org/10.4209/aaqr.200431.

Kurth, L. M., McCawley, M., Hendryx, M., Lusk, S. (2014). Atmospheric particulate matter size distribution and concentration in West Virginia coal mining and non-mining areas. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 24, 405-411. https://doi.org/10.1038/jes.2014.2.

Kurtman, F. (1973). Sîvas-hafik-zara ve imranli bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı, MTA Dergisi 80:1-32.

Küçükönder, H., Vursavuş, K. K., Üçkardeş, F. (2015). K-star, rastgele orman ve karar ağacı (C4.5) sınıflandırma algoritmaları ile domatesin renk olgunluğu üzerinde bazı mekanik özelliklerin etkisinin belirlenmesi. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(5), 300-306.

Lal, B., Tripathy, S. S. (2012). Prediction of dust concentration in open cast coal mine using artificial neural network. *Atmospheric Pollution Research*, 3, 211-218. https://doi.org/10.5094/APR.2012.023.

Laney, A.S., Weissman, D.N. (2014). Respiratory diseases caused by coal mine dust. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 56(10S), 18-22. https://doi.org/10.1097%2FJOM.0000000000000260.

Landwehr, N. (2003). Logistic model trees. *Computer Science at the University of Freiburg* (Diploma Thesis), Germany, 104p, Freiburg.

Lashgari, A., Kecojevic, V. (2016). Comparative analysis of dust emission of digging and loading equipment in surface coal mining. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 30(3), 181-196. https://doi.org/10.1080/17480930.2015.1028516.

Li, Q-F., Wang-Li, L., Liu, Z., Heber, A. J. (2012). Field evaluation of particulate matter measurements using tapered element oscillating microbalance in a layer house. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(3), 322-335. https://doi.org/ 10.1080/10473289.2011.650316.

Li, X., Chen, X., Yuan, X., Zeng, G., León, T., Liang, J., Chen, G., Yuan, X. (2017). Characteristics of particulate pollution (PM2.5 and PM10) and their spacescale-dependent relationships with meteorological elements in China. *Sustainability*, 9(12), 1-14. https//doi.org/10.3390/su9122330, 1-14.

Liu, B. Y. H., Whitby, K. T., Pui, D. Y. H. (1974). A portable electrical analyzer for size distribution measurement of submicron aerosols. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 24(11), 1067-1072. https://doi.org/10.1080/00022470.1974.10470016.

Maduna, K., Tomašić, V. (2017). Air pollution engineering. *Physical Sciences Reviews*, 2(12), 1-29. https://doi.org/10.1515/psr-2016-0122.

Martin, F., Pujadas, M., Artinano, B., Gomez-Moreno, F., Palomino, I., Moreno, N., Alastuey, A., Querol, X., Basora, J., Luaces, J., Guerra, A. (2007). Estimates of atmospheric particle emissions from bulk handling of dusty materials in Spanish harbours. *Atmospheric Environment*, 41(30), 6356-6365. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.003.

Martins, N. R., Carrilho da Graça, G. (2018). Impact of PM2.5 in indoor urban environments: a review. *Sustainable Cities and Society*, 42, 259-275. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.011.

Maulana, M. F., Defriani, M. (2020). Logistic model tree and decision tree J48 algorithms for predicting the length of study period, *Journal Penelitian Ilmu Komputer, System Embedded & Logic*, 8(1), 39-48. https://doi.org/10.33558/piksel.v8i1.2018.

Mayers, E. (2013). Introduction to statistics and SPSS in psychology, *Pearson Education Limited*, 626 p, Londra.

McPherson, M, J. (2012). Subsurface ventilation and environmental engineering. *Springer Dordrecht*, 905 p.

Miçooğulları, A. (2018). Hatay Kuruyer mevkiindeki taş ocaklarında iş güvenliği açısından taş tozu riskinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 96 s, Adana.

Miller, L., Xu, X. (2018). Ambient $PM_{2.5}$ human health effects-findings in China and research directions. *Atmosphere*, 9(11), 1-16. https://doi.org/10.3390/atmos9110424.

Mojala, S. K., Prasad, K. M., Sekhar, N. S. S. (2017). Air quality monitoring in iron ore mining site. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 5(VIII), 2177-2182. http://dx.doi.org/10.22214/ijraset.2017.8310.

Monks, P., ApSimon, H., Carruthers, D., Carslaw, D., Derwent, D., Harrison, R., Laxen, D., Stedman, J. (2012). Fine particulate matter ($PM_{2,5}$) in the United Kingdom. *Department for Environment, Food and Rural Affairs; Scottish Executive; Welsh Government; and Department of the Environment in Northern Ireland*, 191p, London.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., Vining, G. G. (2012). Introduction to linear regression analysis. *Wiley*, 679p, Hoboken.

Mpanza, M., Adam, E., Moolla, R., (2020). Dust deposition impacts at a liquidated gold mine village: Gauteng Province in South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 1-22. https://doi.org/10.3390/ijerph17144929.

Nagesha, K. V., Sastry V. R., Ram, C. K. (2016). Prediction of dust dispersion during drilling operation in open cast coal mines: A multi regression model, *International Journal of Environmental Sciences*, 6(5), 681-696. http://dx.doi.org/10.6088/ijes.6064.

Ngo, N. D., Lee, J., Kim, M-W., Jang, J. (2019). Measurement of PM2.5 mass concentration using an electrostatic particle concentrator-based quartz crystal microbalance. *IEEE Access*, 7, 170640-170647. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2955377.

Njeguš, A., Vanja Nikolić, V., Jovanović, V. (2015). The selection of optimal data mining method for small-sized hotels. *International Scientific Conference of IT and Business-Related Research*, April 16, 519-524, Belgrade.

Nosratabadi, A. R., Graff, P., Karlsson, H., Ljungman, A. G., Leanderson, P. (2019). Use of TEOM monitors for continuous long-term sampling of ambient particles for analysis of constituents and biological effects, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12, 161-171. https://doi.org/10.1007/s11869-018-0638-5.

NPI (2001). Emission estimation technique manual for mining-Version 2.3, *Australian Government*, 69p, Canberra.

NPI (2012). Emission estimation technique manual for mining-Version 3.1, *Australian Government*, 72p, Canberra.

NSAI (2012). Workplace exposure - guide for the use of direct-reading instruments for aerosol monitoring - Part 3: evaluation of airborne particle concentrations using photometers. *National Standards Authority of Ireland*, 24p, Dublin.

NSW EPA (2015). NSW coal mining benchmarking study best practice measures for reducing non-road diesel exhaust emissions. *NSW Environment Protection Authority (EPA)*, 230p, Sydney.

NSW (2020). Clean air for NSW. *State of NSW*, (https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate-site/resources/air/clean-air-nsw 160415.pdf) Erişim tarihi: 15.01.2020.

Nussbaumer, T., Czasch, C., Klippel, N., Johansson, L., Tullin, C. (2008). Particulate emissions from biomass combustion in IEA countries. *16th European Biomass Conference and Exhibition*, January, 40p, Zurich.

NZG (2009). Good practice guide for air quality monitoring and data management 2009. *Ministry for the Environment*, 105p, Wellington.

O'Connor, S., O'Connor, P. F., Feng, H. A., Ashley, K. (2014). Gravimetric analysis of particulate matter using air samplers housing internal filtration capsules, *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, 74(10): 403-410.

Onan, A. (2015). Şirket iflaslarının tahmin edilmesinde karar ağacı algoritmalarının karşılaştırmalı başarım analizi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 8(1), 9-19. https//doi.org/10.17671/btd.36087.

Önder, M., Yiğit, E. (2009). Assessment of respirable dust exposures in an opencast coal mine. *Environmental Monitoring & Assessment*, 152(1-4), 393-401. https://doi.org/10.1007/s10661-008-0324-4.

Özgül, N., Turşucu, A., Özyardımcı, N., Şenol, M., Bingöl, İ., Uysal, Ş. (1981). Munzur Dağları'nın Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No. 6995, Ankara (yayımlanmamış). Ankara.

Öztürk, E. (2012). Görüntü sıkıştırma yöntemlerinin etkinliğini arttıran dönüşüm ve bölümlendirme işlemleri. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 84 s, Edirne.

Öztürk, N. (2016). Açık işletmelerde ağır iş makinesi operatörlerinin gürültü, titreşim ve toz maruziyetlerinin değerlendirilmesi. *Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı* (Uzmanlık Tezi), 117s, Ankara.

Pandey, B., Agrawal, M., Singh S. (2014). Assessment of air pollution around coal mining area: emphasizing on spatial distributions, seasonal variations and heavy metals, using cluster and principal component analysis, *Atmospheric Pollution Research*, 5(1), 79-86. https://doi.org/10.5094/APR.2014.010.

Papagiannis, A., Roussos, D., Menegaki, M., Damigos, D. (2014). Externalities from lignite mining-related dust emissions. *Energy Policy*, 74, 414-424. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.026.

Patra, A, K., Gautam, S., Kumar, P., (2016a). Emissions and human health impact of particulate matter from surface mining operation - A review. *Environmental Technology & Innovation*, 5, 233-249. https://doi.org/10.1016/j.eti.2016.04.002.

Patra, A, K., Gautam, S., Majumdar, S., Kumar, P. (2016b). Prediction of particulate matter concentration profile in an opencast copper mine in India using an artificial neural network model. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 9, 697-711. https://doi.org/10.1007/s11869-015-0369-9.

Perrino, C. (2010). Atmospheric particulate matter. *C.I.S.B. Minisymposium*, March, 35-43, Rome.

Petavratzi, E., Kingman, S., Lowndes, I. (2005). Particulates from mining operations: A review of sources, effects and regulations. *Minerals Engineering*, 18(12), 1183-1199. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.06.017.

Pfeiffer, R. L. (2005). Sampling for PM10 and PM2.5 particulates. *U.S. Department of Agriculture*, 20p, Lincoln.

Pilling, M., ApSimon, H., Carruthers, D., Carslaw, D., Colvile, R., Derwent, D., Dorling, S., Fisher, B., Harrison, R., Heal, M., Laxen, D., Lindley, S., McCrae, I., Stedman, J. (2005). *Particulate matter in the United Kingdom. Department for the Environment, Food and Rural Affairs*, 444p, London.

Poisson, A., Guezou, J.C., Öztürk, A., İnan, S., Haluk, T., Gürsoy, H., Kavak, K. S., Özden, S. (1996). Tectonic setting and evolution of the sivas basin, central anatolia, turkey. International Geology Review, 838-853. https://doi.org/10.1080/00206819709465366.

Pokorna, P., Hovorka, J., Brejcha, J. (2016). Impact of mining activities on the air quality in the village nearby a coal strip mine. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 44 032021*.

Quinlan J.R. (1992). Learning with continuous classes. *5th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*, 343-348, Singapore.

Qiu, D., Liu, J., Zhu, L., Mo, L., Zhang, Z. (2015). Particulate matter assessment of a wetland in Beijing, *Journal of Environmental Sciences*, 36(10), 93-101. http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2015.04.016.

Rahul, J., Jain, M.K. (2014). An investigation in to the impact of particulate matter on vegetation along the national highway: a review. *Research Journal of Environmental Sciences*, 8(7), 356-372. https://dx.doi.org/10.3923/rjes.2014.356.372.

Ramageri, M. B. (2010). Data mining techniques and applications. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 1(4), 301-305.

Ren, L., Yang, W., Bai, Z. (2017). Characteristics of major air pollutants in China. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1017, 7-26. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5657-4_2.

Richardson, C., Rutherford, S., Agranovski E, I. (2019). Open cut black coal mining: Empirical verification of PM2.5 air emission estimation techniques. *Atmospheric Research*, 216, 151-159. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.10.008.

Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., De la Rosa, J. (2007). Atmospheric particulate matter and air quality in the Mediterranean: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 5, 1-7. https://doi.org/10.1007/s10311-006-0071-0.

Sabti, A. A., Rashid, S. M., Hummadi, A. S. (2019). Interrelationships between writing anxiety dimensions and writing goal orientation among Iraqi EFL undergraduates, *International Journal of Instruction*, 12(4), 529-544, https://doi.org/10.29333/iji.2019.12434a.

Sahu, S. P., Yadav, M., Rani, N., Das, A. J. (2018). Assessment of occupational health exposure to particulate matter around opencast coal mines, India: a case study. *Arabian Journal of, Geosciences*, 11(373), 1-11. https://doi.org/10.1007/s12517-018-3631-2.

Saravanan, N., Gayathri, V. (2018). Performance and classification evaluation of J48 algorithm and Kendall's based J48 algorithm (KNJ48). *International Journal of Computer Trends and Technology*, 59(2), 188-198. https://doi.org/10.14445/22312803/IJCTT-V59P112.

Savaş, S., Topaloğlu, N., Yılmaz, M. (2012). Veri madenciliği ve Türkiye'deki uygulama örnekleri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(21), 1-23.

Saygılı, A., (2013). Veri madenciliği ile mühendislik fakültesi öğrencilerinin okul başarılarının analizi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), 129s, İstanbul.

Schober, P., Boer, C., Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: appropriate use and interpretation, *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763-1768. https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864.

SÇR, (2021). Sivas İli 2020 Yılı Çevre Durum Raporu, T.C. Sivas Valiliği Çevre, Şehircilik Ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 188s, Sivas.

Shah, T. N., Khan, M. Z., Ali, M., Khan, B., Idress, N. (2018). CART, J-48graft, J48, ID3, decision stump and random forest: a comparative study. *University of Swabi Journal*, 2(1), 1-6.

Shearer, C. (2000). The Crisp-DM model: the new blueprint for data mining. *Journal of Data Warehousing*, 5(4), 13-23.

Shrestha, N. (2020). Detecting multicollinearity in regression analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 8(2), 39-42. https://doi.org/ 10.12691/ajams-8-2-1.

SIMRAC (2003). Handbook to reduce the exposure of workers to dust. *CSIR Miningtech*, 143 p, South Africa.

Sihag, P., Singh, B., Said, A., Azamathulla, H. M. (2021). Prediction of Manning's coefficient of roughness for high-gradient streams using M5P. *Water Supply*, 22(3), 2707-2720. https://doi.org/10.2166/ws.2021.440.

Silvester, S, A., Lowndes, I. S., Hargreaves, D. M. (2009). A computational study of particulate emissions from an open pit quarry under neutral atmospheric conditions. *Atmospheric Environment*, 43(40), 6415-6424. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.006.

Singh, G., Pal, A., Khoiyanbam, R. S. (2009). Impact of mining on human health in and around Jhansi, Bundelkhand region of Uttar Pradesh, India. *Journal of Ecophysiology and Occupational Health*, 9(1), 47-54.

Souza, J., Matwin, S., Japkowicz, N. (2002). Evaluating data mining models: a pattern language. *9th Conference on Pattern Language of Programs (PLOP'02)*, September 8-12, Monticello.

Srimani, P. K., Patil, M. M. (2015). Performance analysis of Hoeffding trees in data streams by using massive online analysis framework. *International Journal of Data Mining Modelling and Management*, 7(4), 293-313. http://dx.doi.org/10.1504/IJDMMM.2015.073865.

Stefan, S., Iorga, G., Zoran, M. (2006). The atmospheric aerosols and their effects on cloud albedo and radiative forcing. *2nd Environmental Physics Conference*, February 18-22, 63-72, Alexandria.

Şahin, A. Ü. (2012). İstanbul Üniversitesi Avcılar Yerleşkesi'nde solunabilir partikül maddenin boyut dağılımının ve element içeriğinin incelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.

Tabachnick, B. G., Fidell, L. S. (2013). Using multivariate statistics (sixth ed.), *Pearson*, Boston.

Tanni, S. E., Patino, C. M., Ferreira, J. C. (2020). Correlation vs. regression in association studies. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 46(1): e20200030. https://doi.org/10.1590/1806-3713/e20200030.

THHP (2019). Hava kirliliği ve sağlik etkileri kara rapor. *Temiz Hava Hakkı Platformu*, 67s, İstanbul.

Thenoux, G., Bellolio, J, P., Halles, F. (2007). Development of a methodology for measurement of vehicle dust generation on unpaved roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1989(1), 299-304. http://dx.doi.org/10.3141/1989-35.

Tozla Mücadele Yönetmeliği, (2013). Tozla Mücadele Yönetmeliği, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.

Tripathy, D. P., Dash, T. R., Badu, A., Kanungo, R. (2015). Assessment and modelling of dust concentration in an opencast coal mine in India. *Global Nest Journal*, 17(4), 825-834.

TS 1900-1 (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri - bölüm 1: fiziksel özelliklerin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 4447 (1985). Alçı taşı- öğütülmüş (tarımda kullanılan). *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TSE EN 12341 (2014). Ortam havası - askıdaki tanecikli maddenin PM10 veya PM2,5 kütle derişimlerinin tayini için standart gravimetrik ölçme yöntemi. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 197-1 (2002). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- bölüm 1: aşınmaya karşı direncin tayini (mikro- deval). *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

Tsiouri, V., Kakosimos, K., Kumar, P. (2015). Concentrations, sources and exposure risks associated with particulate matter in the Middle East Area - a review. *Air Quality Atmosphere & Health*, 8, 67-80. http://dx.doi.org/10.1007/s11869-014-0277-4.

USEPA, (1988). Supplement B to Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume I: Stationary Point and Area Sources, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, 188 pp.

USEPA, (1991). Review of Surface Coal Mining Emissions Factors. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, 144 pp.

USEPA, (1995). (United States Environmental Protection Agency), AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Introduction, North Carolina.

USEPA, (1998a). Revision of emission factors for AP-42 Section 11.9 Western surface coal mining. Revised final report, MRI Project No. 4604-02; Emission Factor and Inventory

Group, Office of Air Quality Planning and Standards, US Environmental Protection Agency, pp, 350.

USEPA, (1998b). Particulate matter ($PM_{2,5}$) speciation guidance document, US Environmental Protection Agency Monitoring and Quality Assurance Group Emissions, Monitoring, and Analysis Division Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711, pp, 97.

USEPA, (2004). United States Environmental Protection Agency. "Air Quality Criteria for Particulate Matter"; EPA/600/P-99/002aF; USEPA-United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 900.

USEPA, (2006a). Revision of Emission Factors for AP-42. Chapter 13: Miscellaneous Source. Section 13.2.2: Unpaved Roads (Fugitive Dust Sources), 20 pp.

USEPA, (2006b). Revision of Emission Factors for AP-42. Chapter 13: Miscellaneous Source. Section 13.2.4: Aggregate Handling and Storage Piles, 6 pp.

USEPA, (2009). Integrated Science Assessment for Particulate Matter. Research Triangle Park, North Carolina, USA, US Environmental Protection Agency, pp, 1157.

Usha, T. M., Balamurugan, S. A. (2016). Seasonal based electricity demand forecasting using time series analysis. *Circuits and Systems*, 7(10), http://dx.doi.org/10.4236/cs.2016.710283.

Vezir, N. (2019). Şanlıurfa taş ocaklarının çevresel jeolojik özellikleri ve toz emisyonu ölçümü bakımından araştırılması. *T.C. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (Yüksek lisans Tezi), Şanlıurfa.

Vidinli, N., Özkan, E. K., Topçu, D., Yamurluklu, Y., Gedikli, F.G., Kürkçü, E.A. (2016). Çimento sektöründe tozla mücadele rehberi. *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı*, 41s, Ankara.

Vincent, J. H. (2007). Aerosol sampling: science, standards, instrumentation and applications. *Wiley*, Hoboken.

Walli, R. A. (1982). Mine dusts. Mine ventilation and air conditioning. **Hartman, H. L., Mutmansky, J. L., Ramani, R. V., Wang, Y. J.** (Eds.) 84-130, USA.

Wang, W., Xu, Z. (2004). A heuristic training for support vector regression. *Neurocomputing*, 61: 259-275. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2003.11.012.

WHO (1999). Hazard prevention and control in the work environment: airborne dust. *World Health Organization*, 224p, Geneva.

WHO (2003). Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. *World Health Organization*, 94p, Bonn.

WHO (2006). Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. *World Health Organization*, 113p, Copenhagen. pp, 113.

Whalley, J., Zandi, S. (2016). Particulate matter sampling techniques and data modelling methods. Air quality. **Sallis, P.** (Ed.), *IntechOpen*, 27p, London.

Whitby, K. T., Husar, R. B., Liu, B. Y. H. (1972). The aerosol size distribution of Los Angeles smog. *Journal of Colloid and Interface Science*, 39(1), 177-204. https://doi.org/10.1016/0021-9797(72)90153-1.

Winkel, A., Demeyer, P., Feilberg, A., Jørgensen, M., Puterflam, J., Engel, P. (2014). Measurement of particulate matter: recommendations for the VERA test protocol on air cleaning technologies. *Livestock Research*, 38p, Wageningen.

Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A. (2011). Data mining: practical machine learning tools and techniques. *Morgan Kaufmann Publishers*, 665p, Burlington. https://doi.org/10.1016/C2009-0-19715-5.

Xing, Y-F., Xu, Y-H., Shi, M-H., Lian, Y-X. (2016). The impact of $PM_{2,5}$ on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*. 8(1), E69-E74. https://doi.org/10.3978%2Fj.issn.2072-1439.2016.01.19.

Yılmaz, A., Okay, A., Bilgiç, T. (1985). Yukarı Kelkit Çayı yöresi ve güneyinin temel jeoloji özellikleri ve sonuçları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7777. 124 s, (yayımlanmamış). Ankara.

Yılmaz, A., Sümengen, M., Terlemez, İ., Bilgiç, T. (1989). 1/100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Sivas G23 paftası. MTA Jeoloji Etütleri Dairesi Yayınları, Ankara.

Yılmaz, A., Uysal, Ş., Bedi, Y., Eşref, A., Yusufoğlu, H., Havzoğiu, T. ve Aydın, N. (1997). 1:100000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları No.46 Sivas-F22 Paftası, MTA Jeoloji Etüdleri Dairesi, 14 s, Ankara.

Zhang, X., Chen, W., Ma, C., Zhan, S., (2013). Modeling particulate matter emissions during mineral loading process under weak wind simulation. *Science of the Total Environment*, 449, 168-173. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.050.

Zhao, Y., Zhang, Y. (2008). Comparison of decision tree methods for finding active objects. *Advances in Space Research*, 41(12), 1955-1959. https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.07.020.

Url-1 <https://www.who.int/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> alındığı tarih: 18.05.2022.

Url-2<https://www.qld.gov.au/environment/pollution/monitoring/air/air-pollution/pollutants/particles#pm10> alındığı tarih: 21.06.2021.

Url-3 <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm> alındığı tarih: 21.06.2021.

Url-4 <https://manualzz.com/doc/28767715/environmental-monitoring-catalogue> alındığı tarih: 21.06.2021.

Url-5 <https://www.thermofisher.com/tr/en/home/industrial/environmental/environmental-learning-center/air-quality-analysis-information/teom-technology-particulate-matter-measurement.html> alındığı tarih: 22.06.2021.

Url-6 <https://en.wikipedia.org/wiki/Tapered_element_oscillating_microbalance> alındığı tarih: 22.06.2021.

Url-7 <https://metone.com/products/bam-1020/> alındığı tarih: 22.06.2021.

Url-8 <https://en.wikipedia.org/wiki/Beta_attenuation_monitoring> alındığı tarih: 22.06.2021.

Url-9 <https://infostore.saiglobal.com/preview/98705579385.pdf?sku=857774_SAIG_NSAI_NSAI_2040554> alındığı tarih: 22.06.2021.

Url-10 <https://stats.stackexchange.com/questions/228724/m5p-interpretations-and-questions> alındığı tarih: 20.05.2022.

Url-11 < https://community.rapidminer.com/discussion/440/the-regression-trees-returned-by-the-operators-w-m5p-and-w-reptree> alındığı tarih: 20.05.2022.

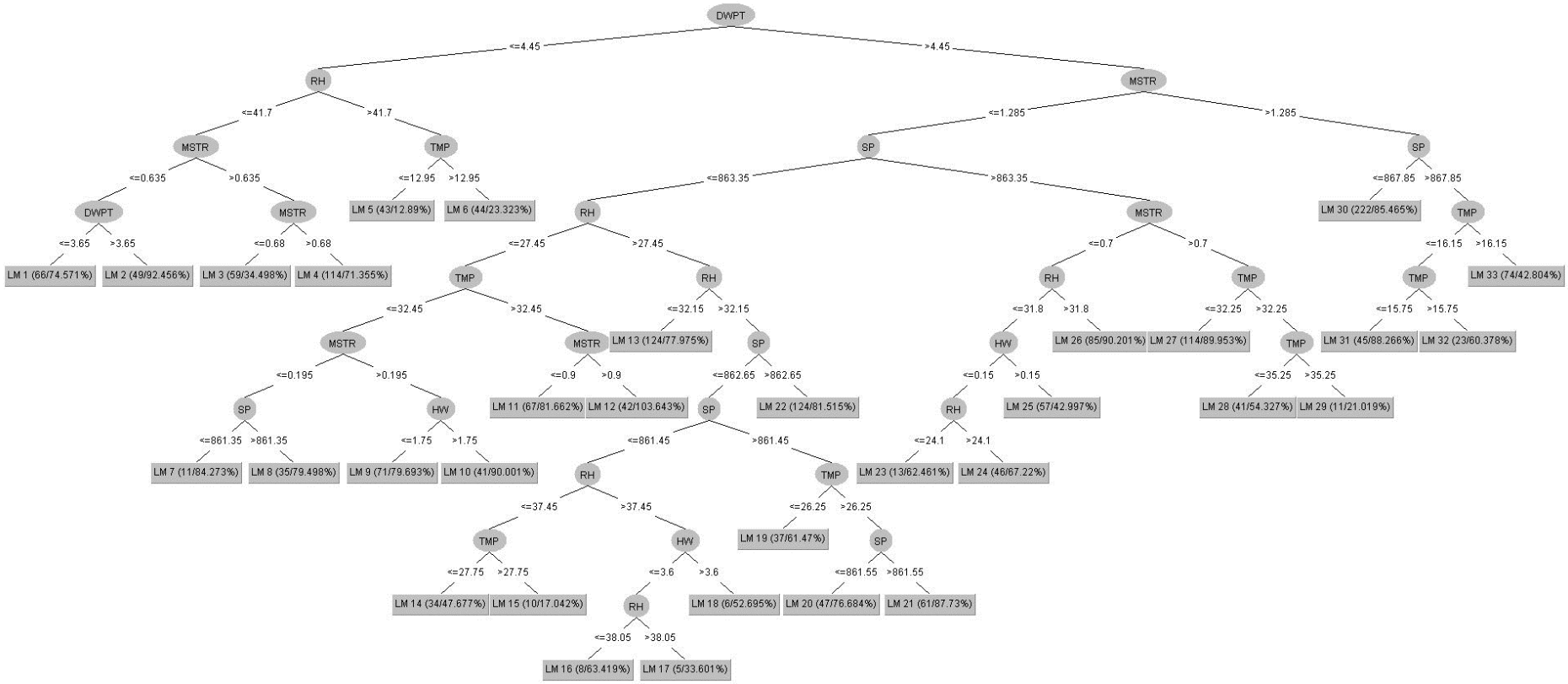
Url-12 <https://list.waikato.ac.nz/hyperkitty/list/wekalist@list.waikato.ac.nz/thread/AA5GPEFMQHXXDT6G4HCINHY52UHODW3Z> alındığı tarih: 20.05.2022.

Url-13 < https://mediawiki.ivao.aero/index.php?title=Crosswind_and_Headwind_calculation> alındığı tarih: 10.07.2021.

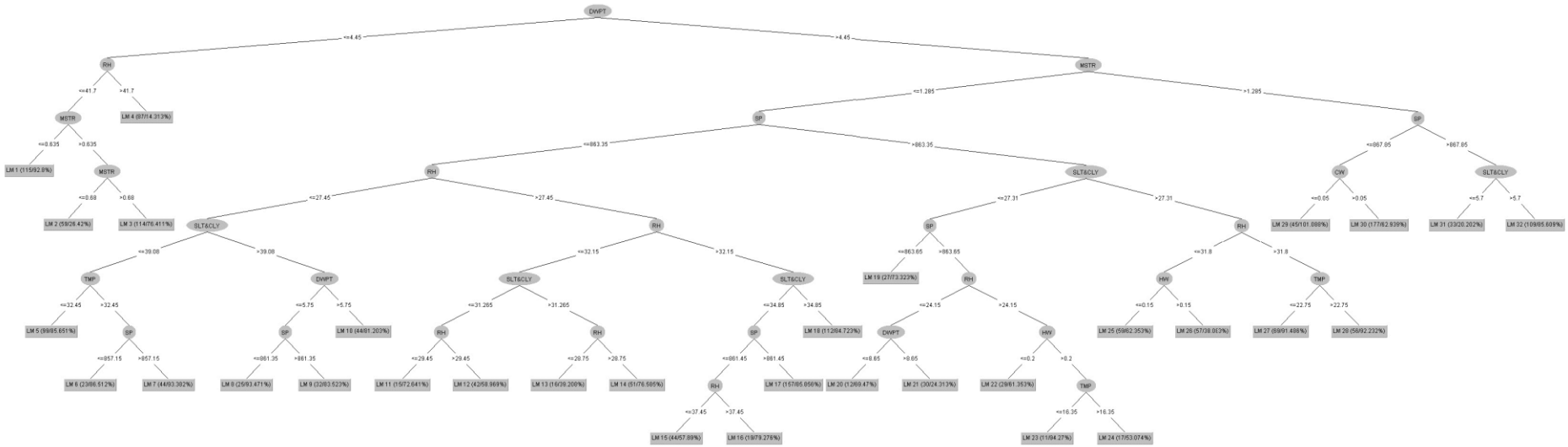
Url-14 <http://www.econorm.com.tr/urunler/ortamda-ve-online-toz-olcum-cihazlari/turnkey-dustmate-anlik-toz-olcum-cihazi/> alındığı tarih: 12.07.2021.

Url-15 <https://turnkey-instruments.com/product/dustmate/> alındığı tarih: 12.07.2021.

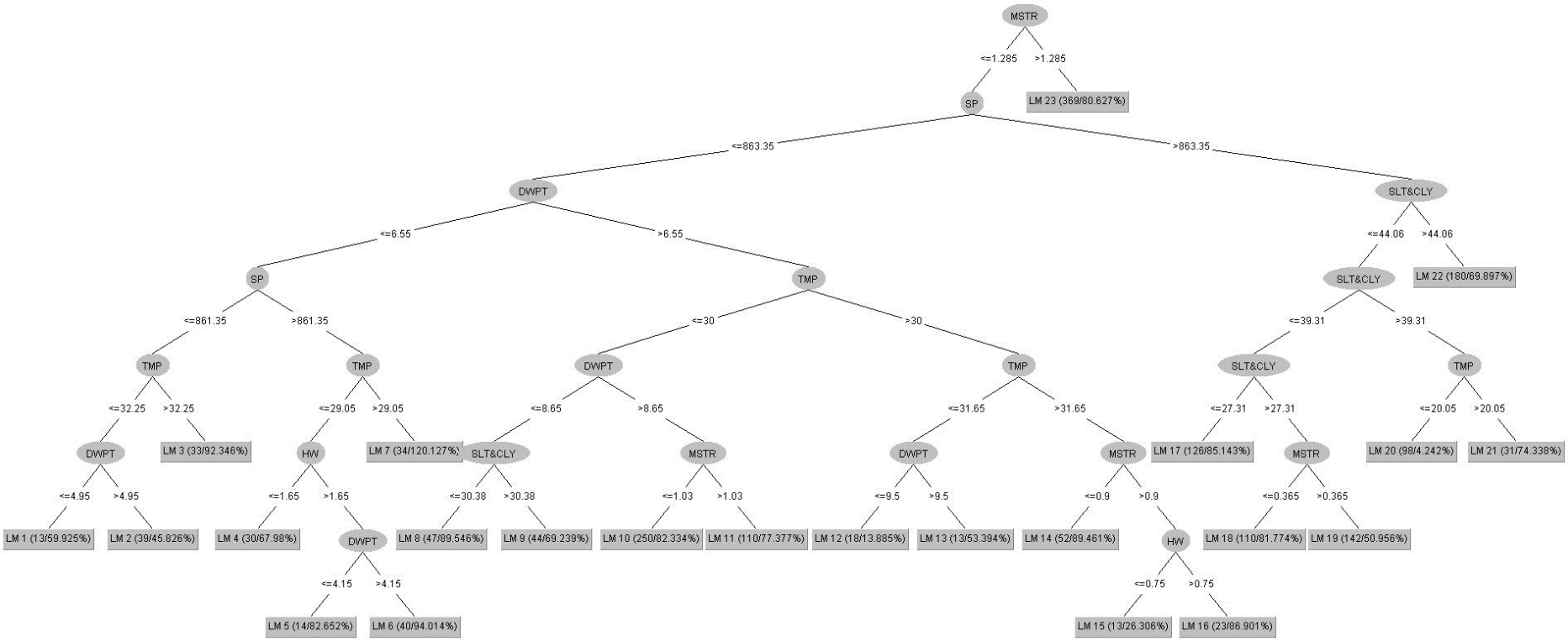
EKLER



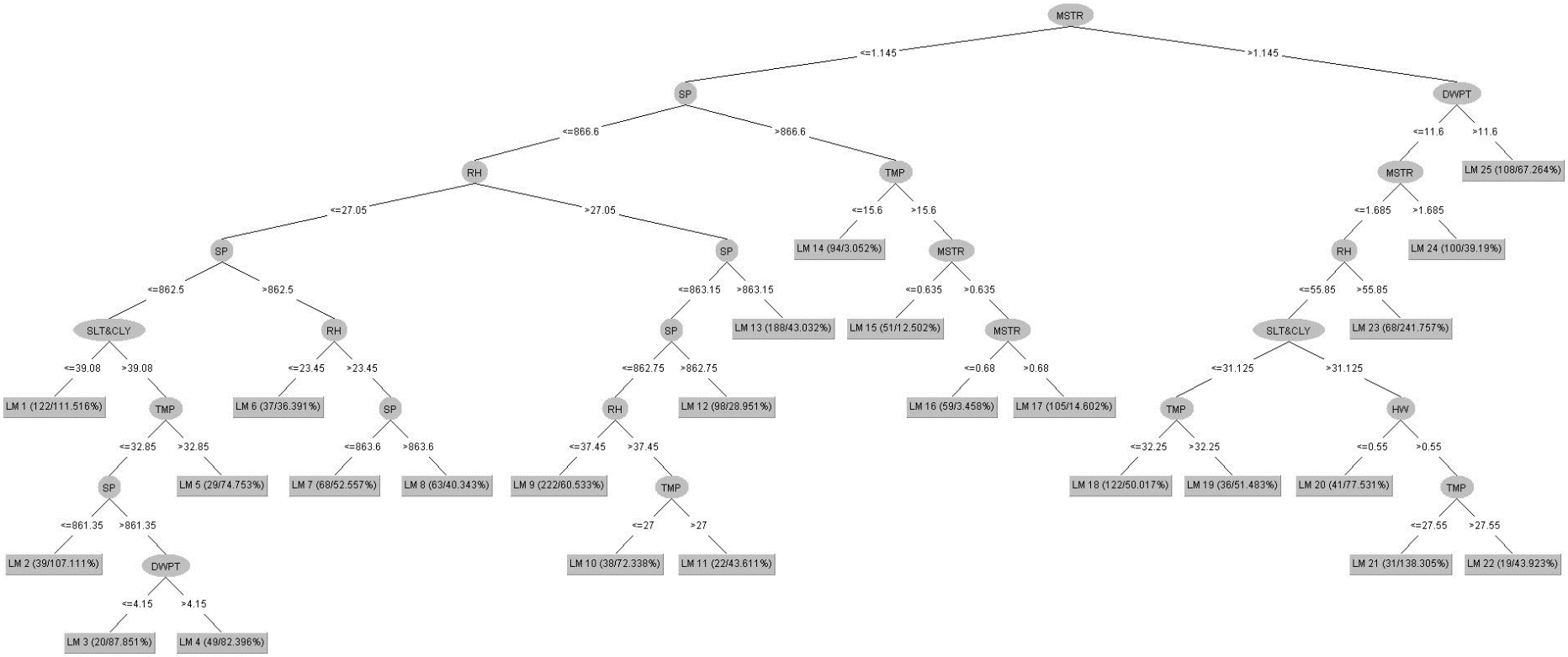
Şekil EK-1.1 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı



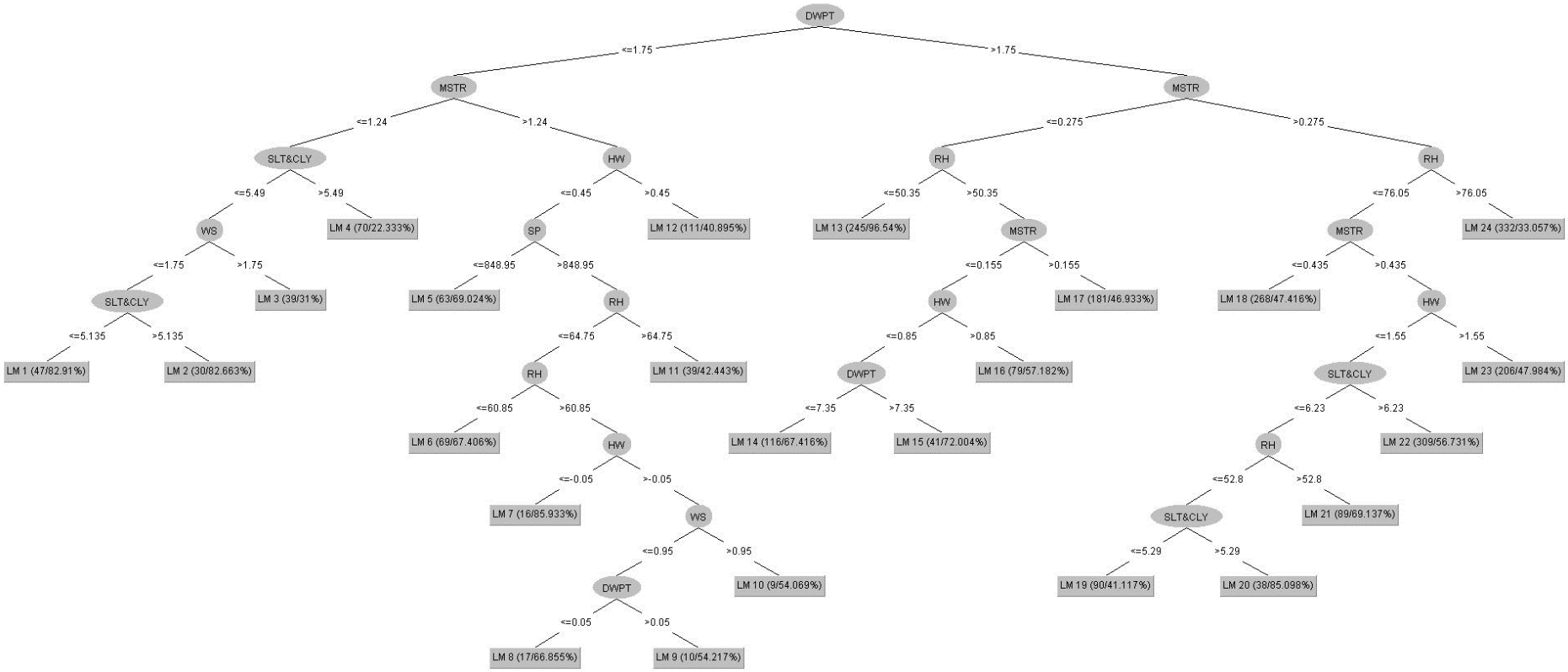
Şekil EK-1.2 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log(PM_{10}) karar ağacı



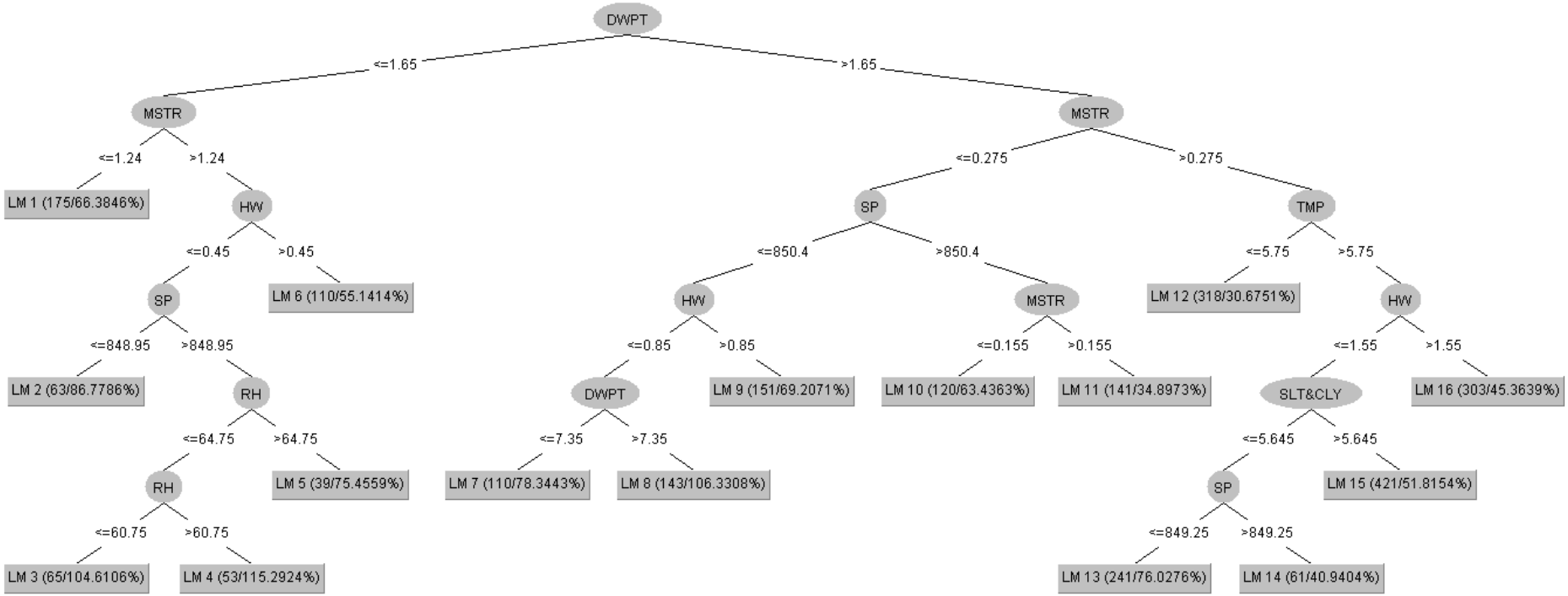
Şekil EK-1.3 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı



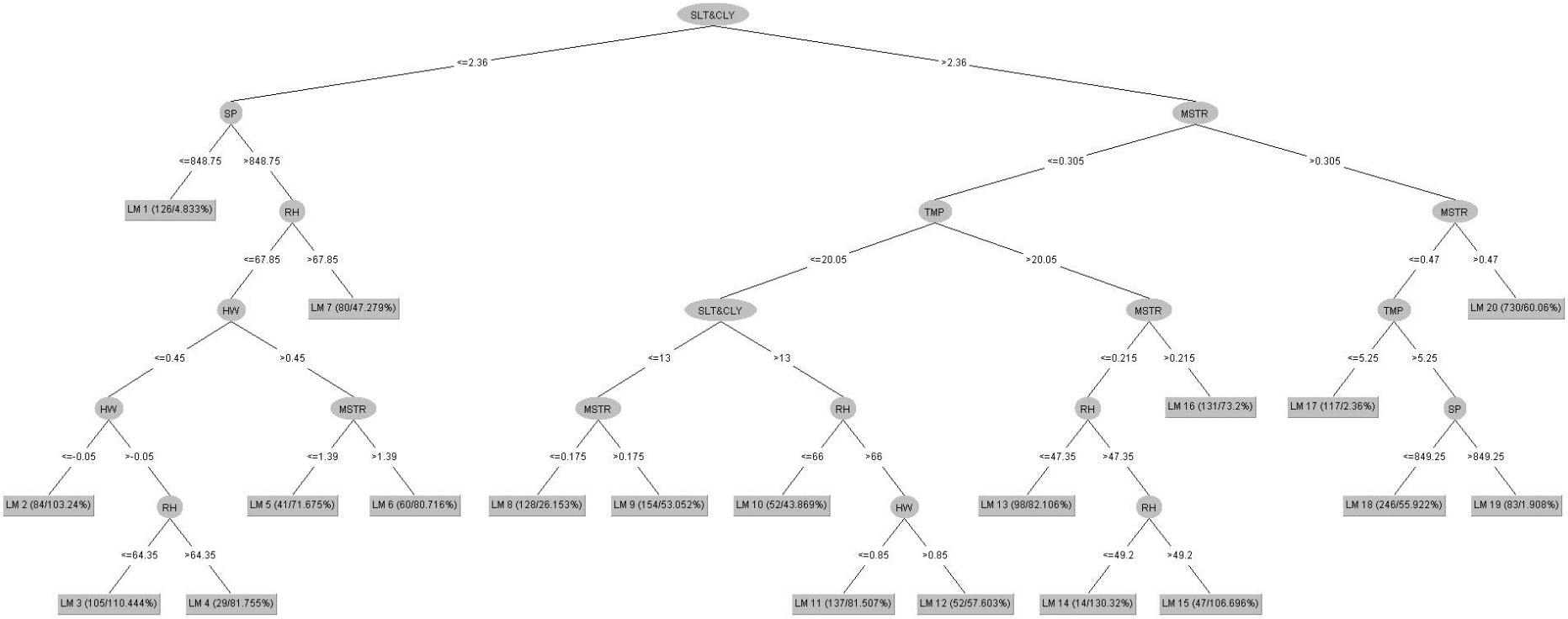
Şekil EK-1.4 Alçıtaşı işletmesi delme faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı



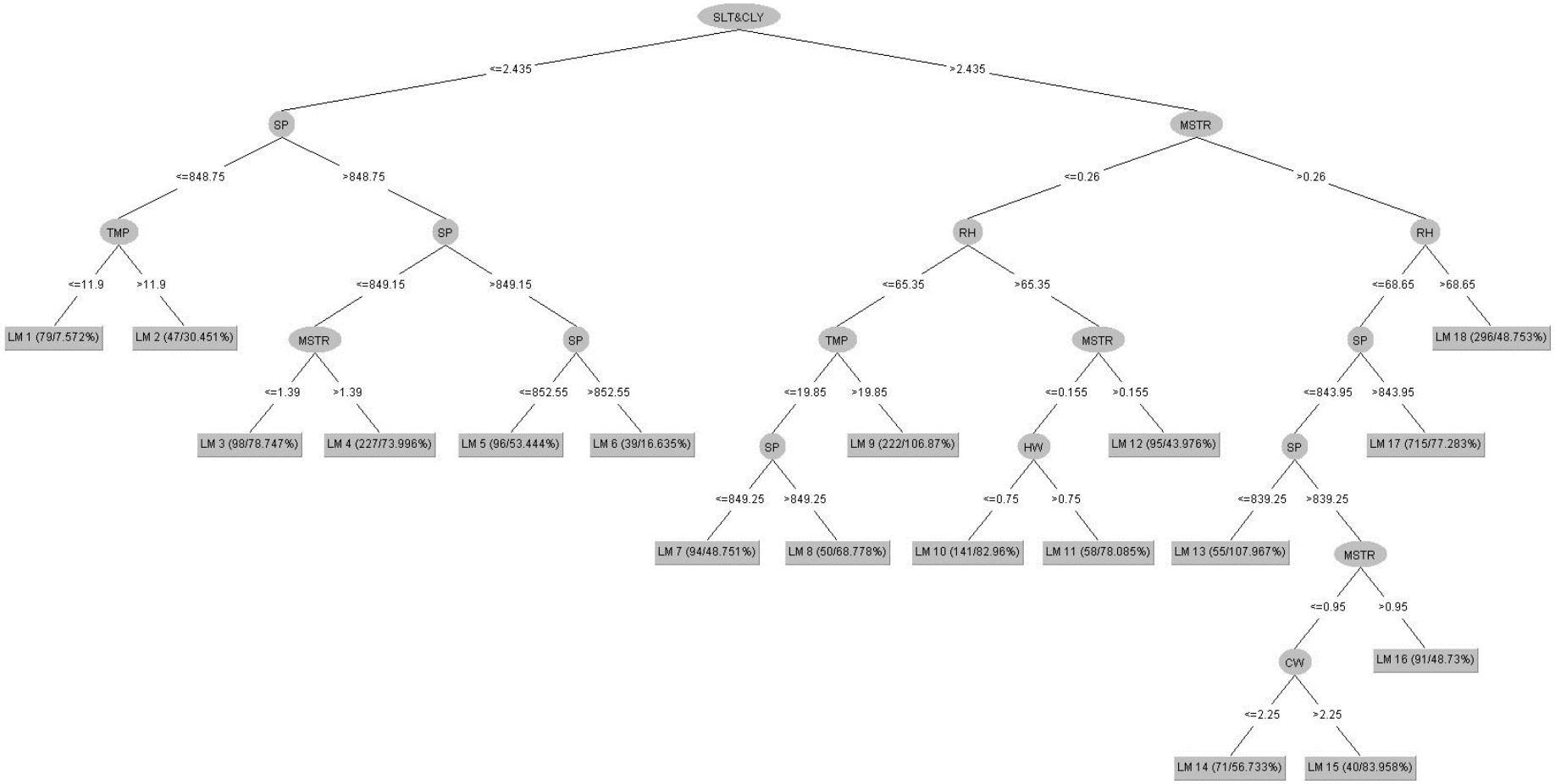
Şekil EK-1.5 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti TAPM karar ağacı



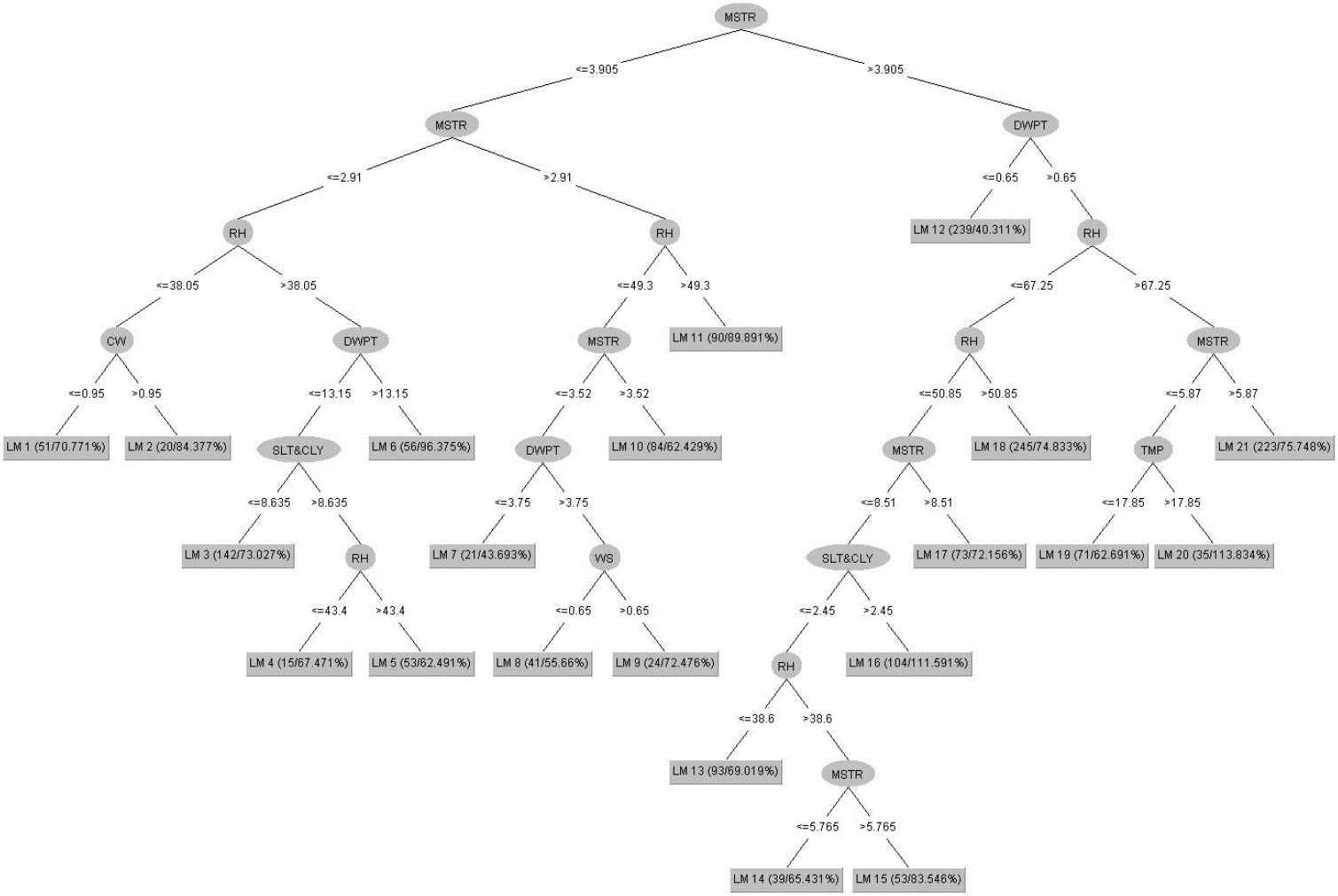
Şekil EK-1.6 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti PM_{10} karar ağacı



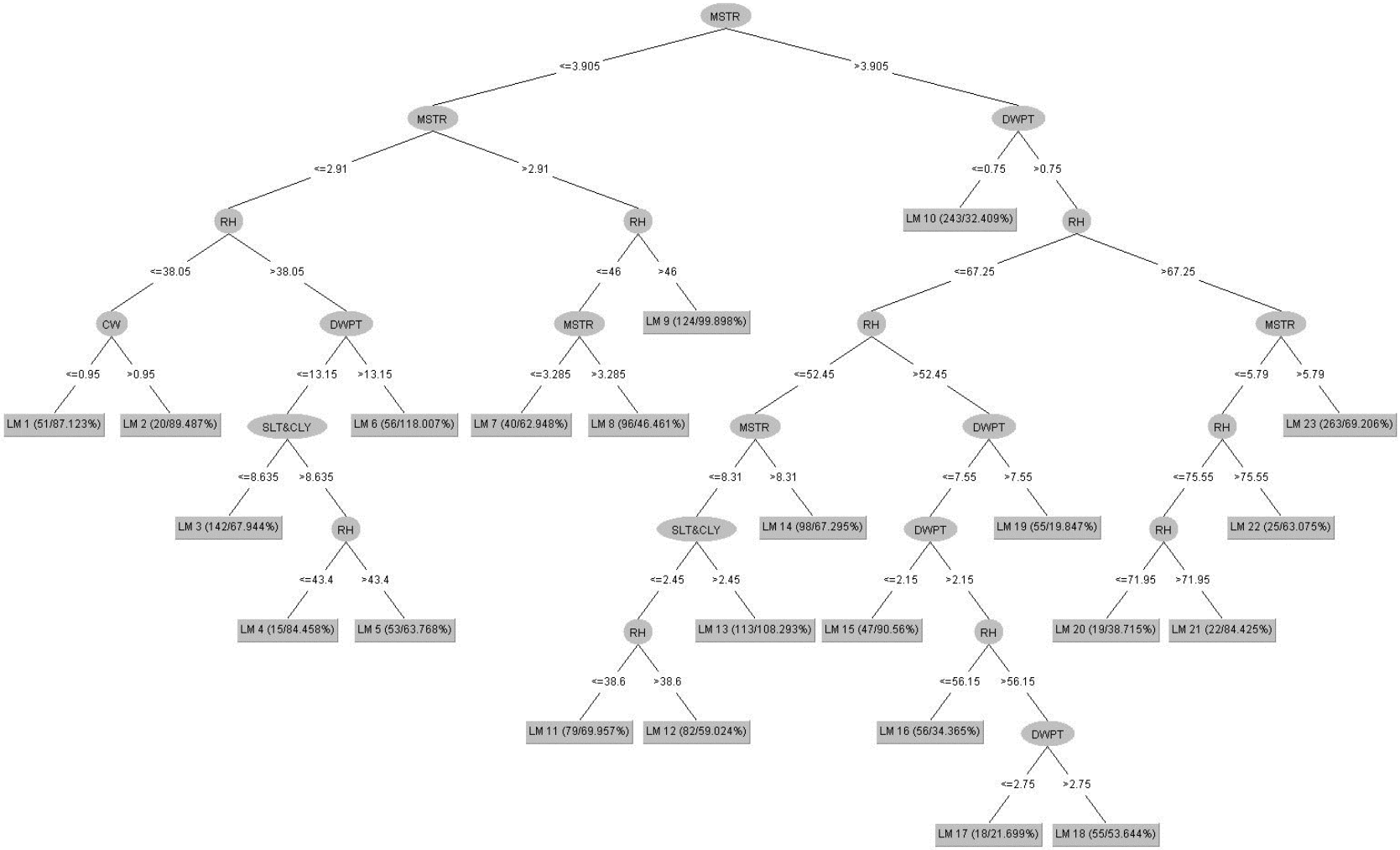
Şekil EK-1.7 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti $PM_{2,5}$ karar ağacı



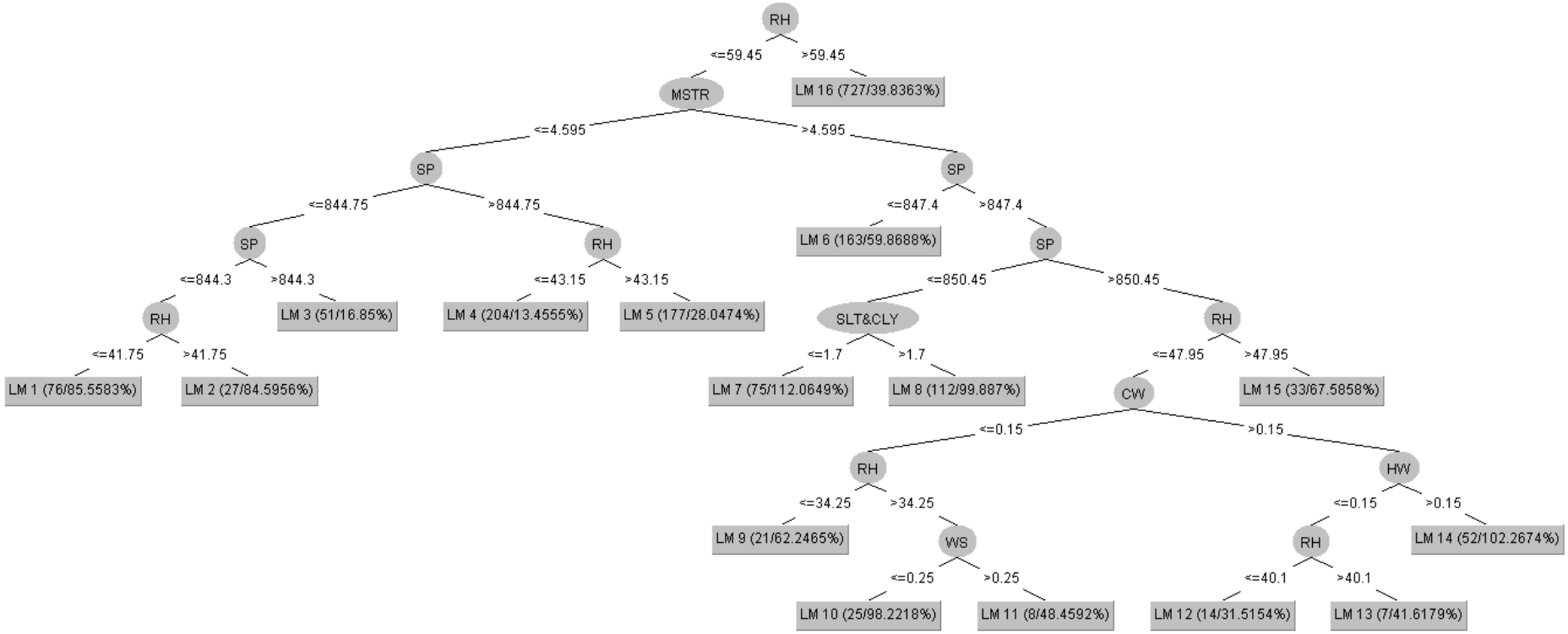
Şekil EK-1.8 Kalker işletmesi (A) delme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı



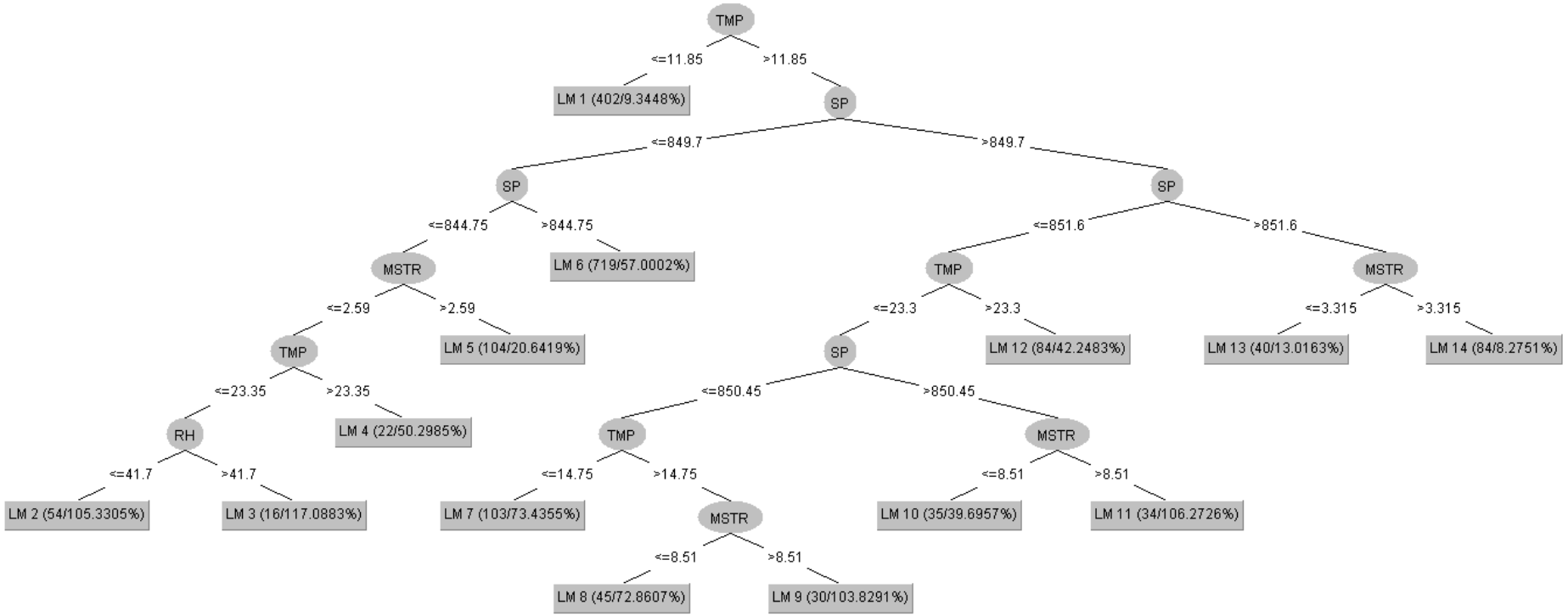
Şekil EK-1.9 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı



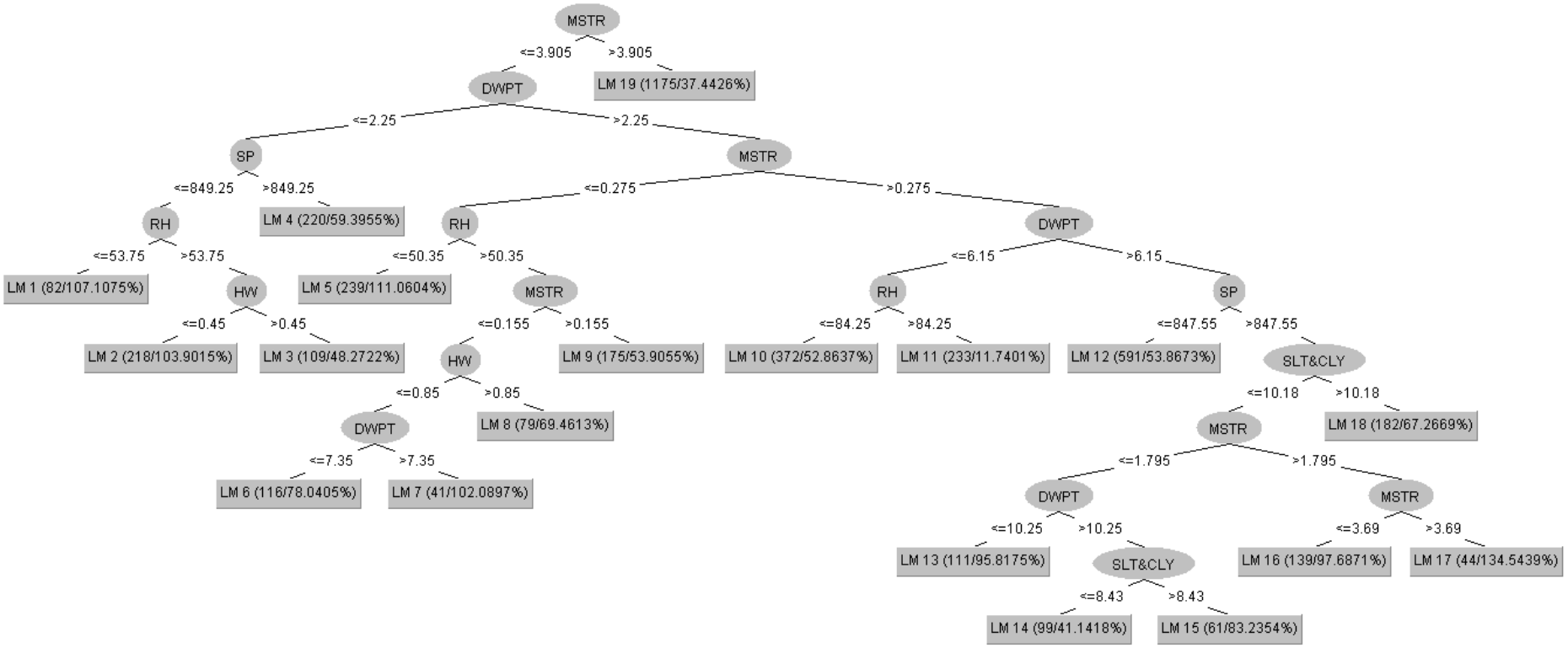
Şekil EK-1.10 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti log(PM_{10}) karar ağacı



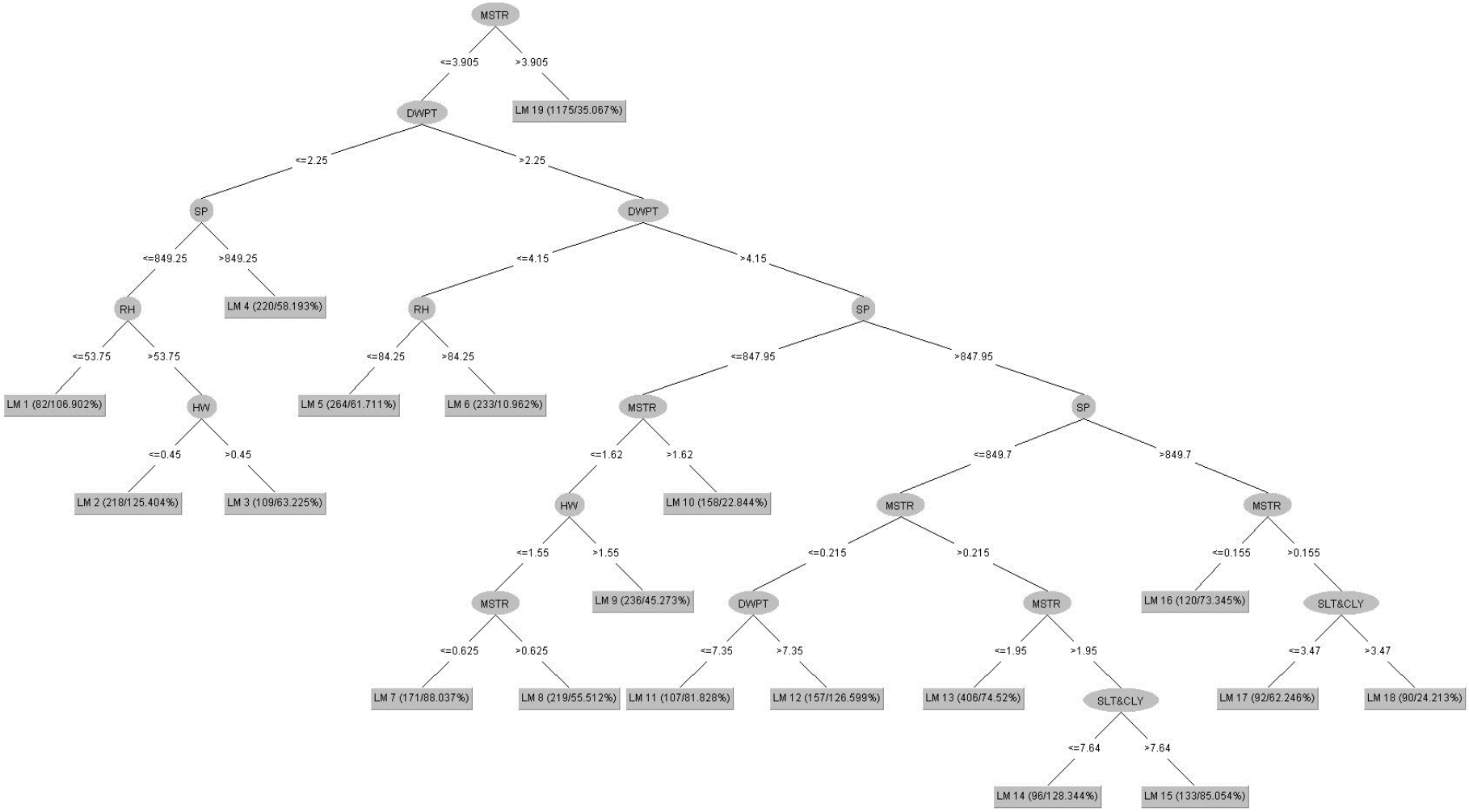
Şekil EK.1-11 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı



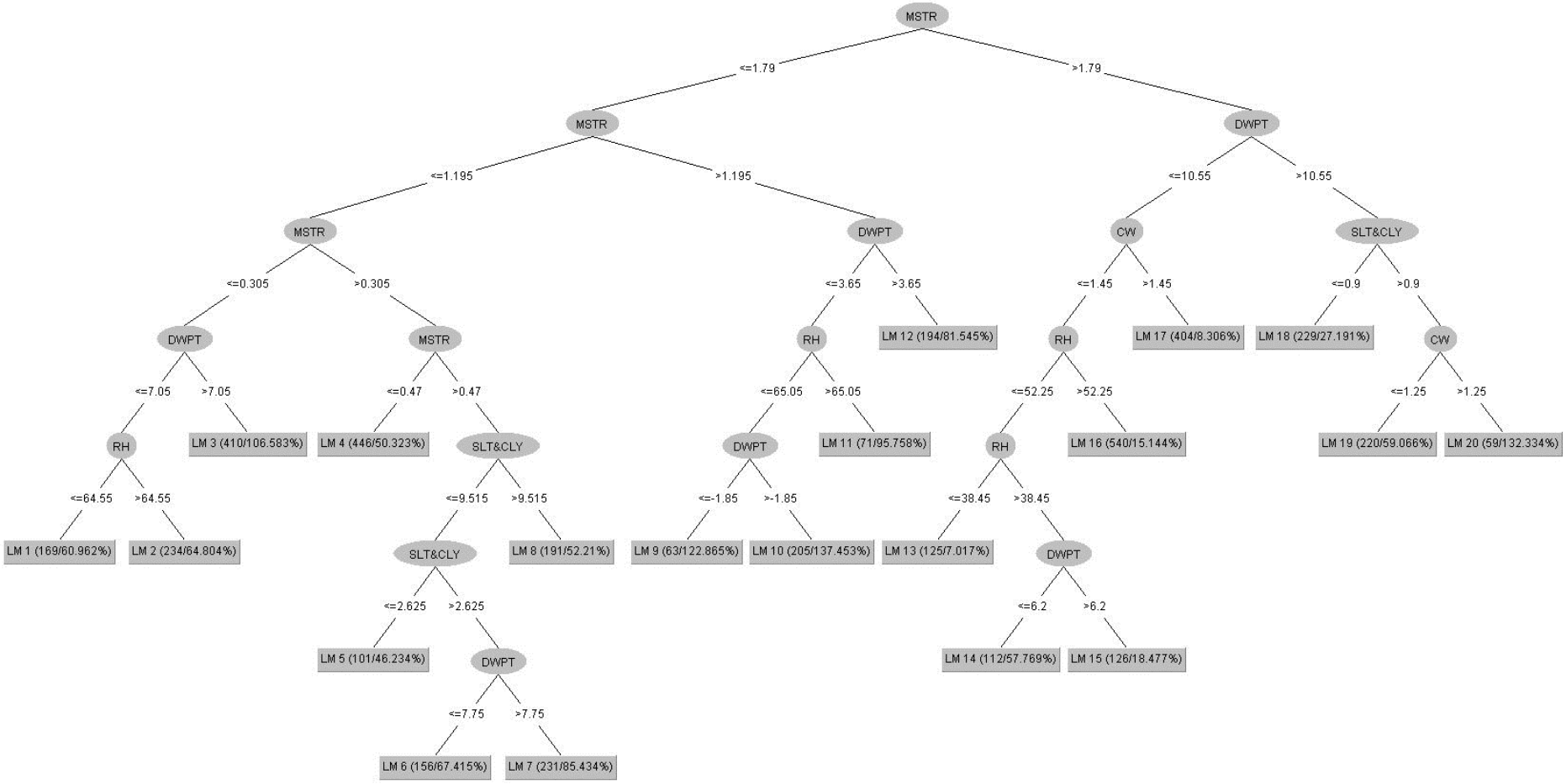
Şekil EK-1.12 Kalker işletmesi (B) delme faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı



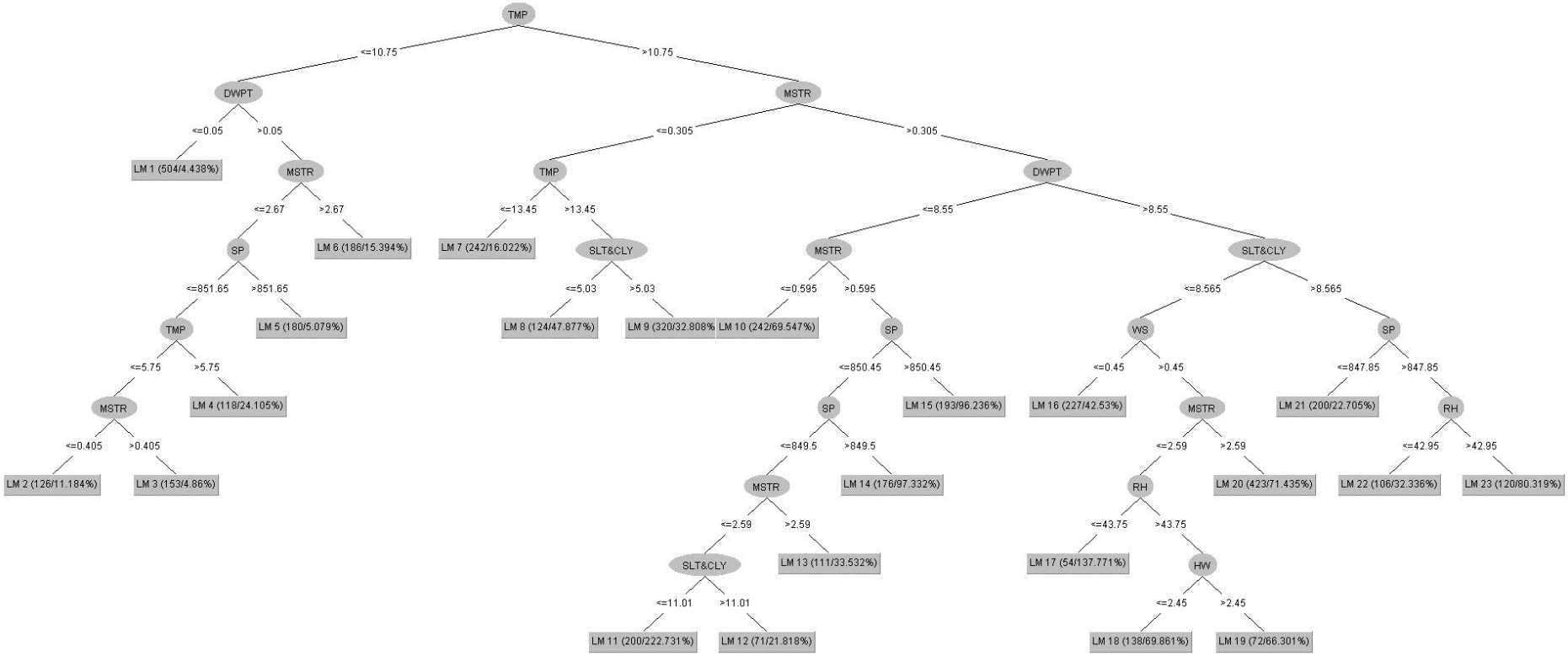
Şekil EK-1.13 Kalker işletmeleri delme faaliyeti TAPM karar ağacı



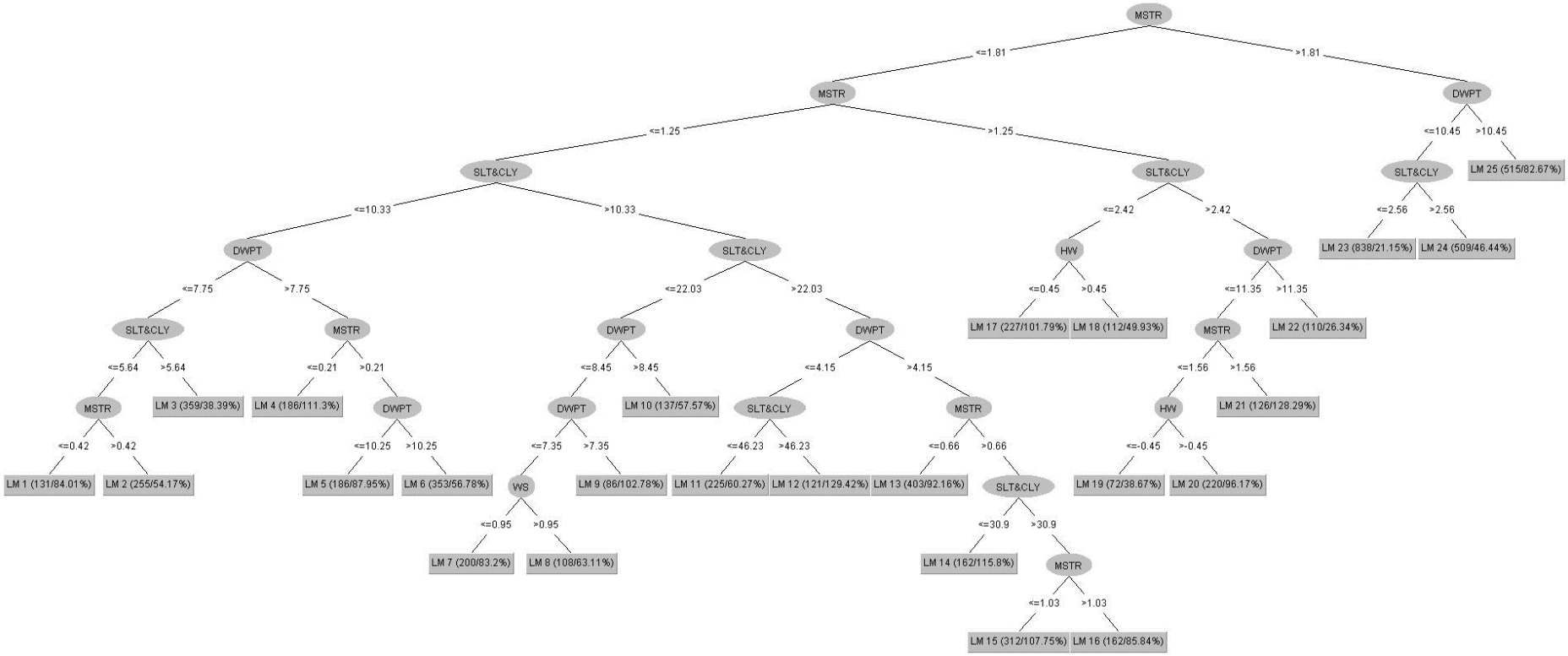
Şekil EK-1.14 Kalker işletmeleri delme faaliyeti PM_{10} karar ağacı



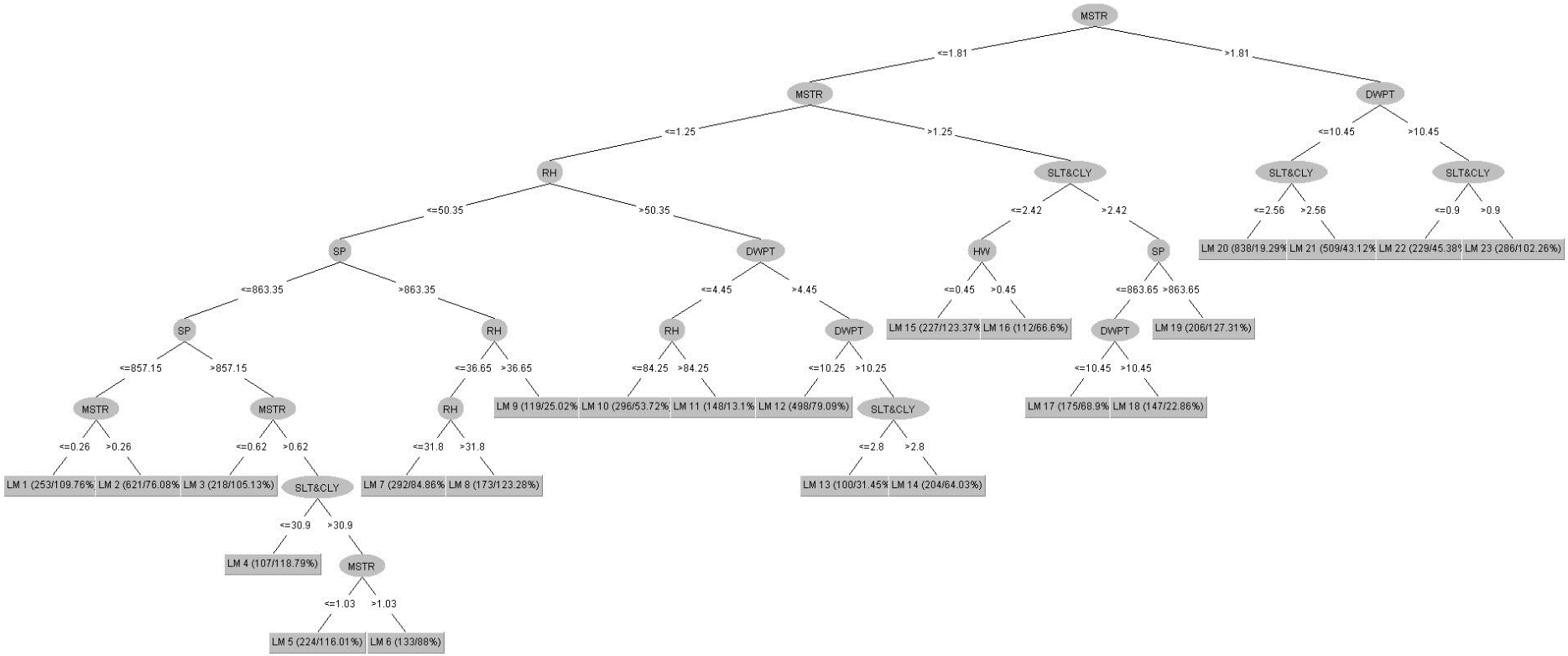
Şekil EK-1.15 Kalker İşletmeleri delme faaliyeti $PM_{2,5}$ karar ağacı



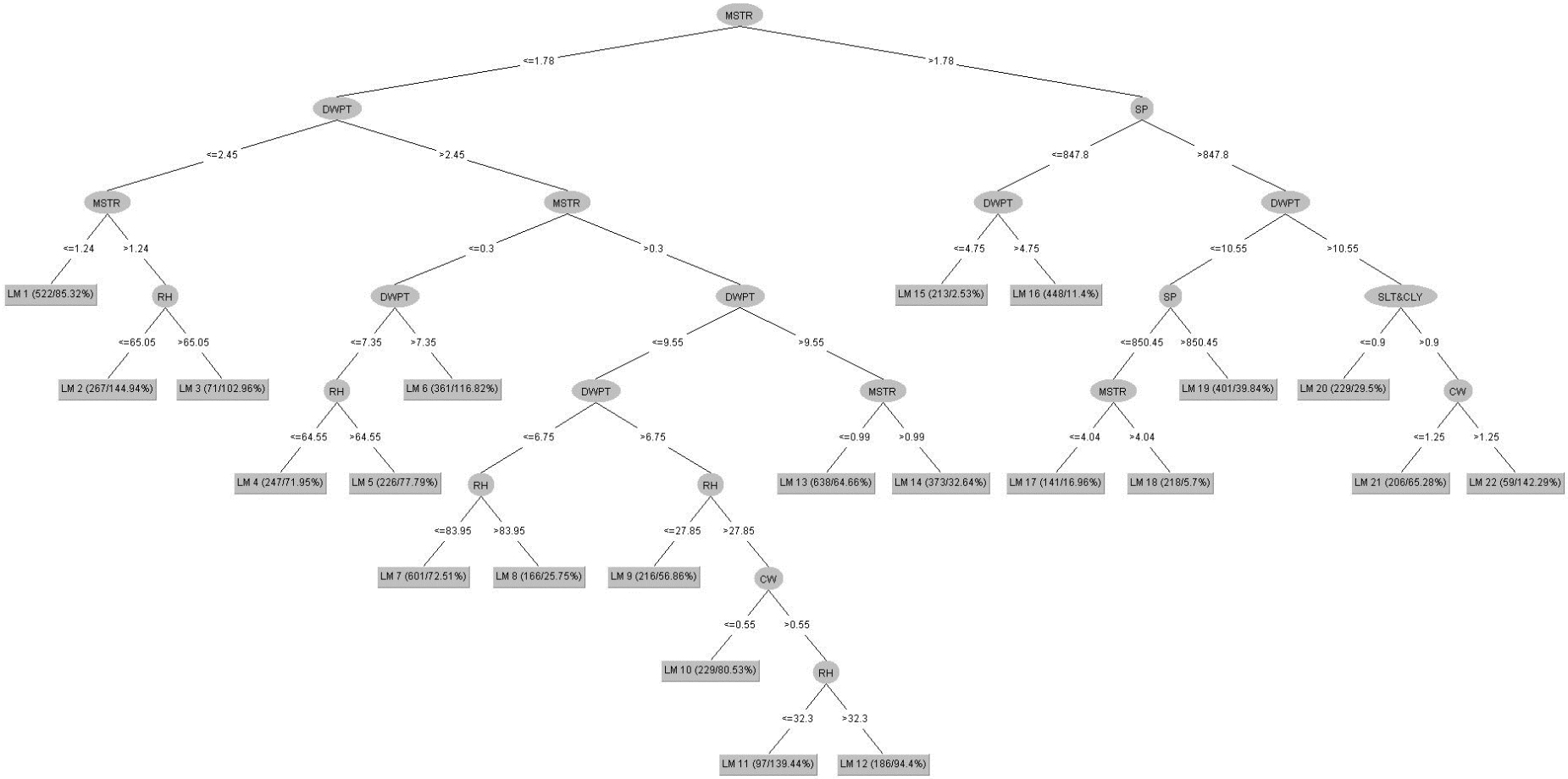
Şekil EK-1.16 Kalker işletmeleri delme faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı



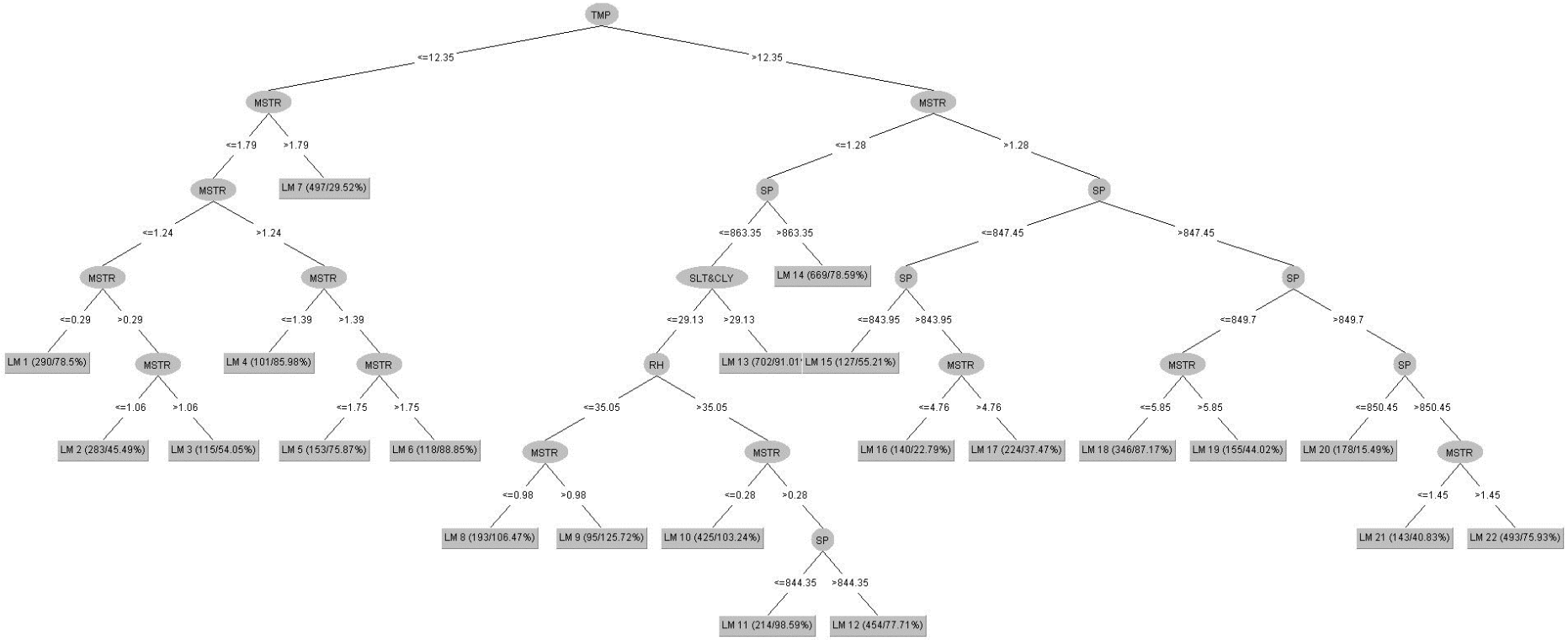
Şekil EK-1.17 Tüm işletmelerin delme faaliyeti TAPM karar ağacı



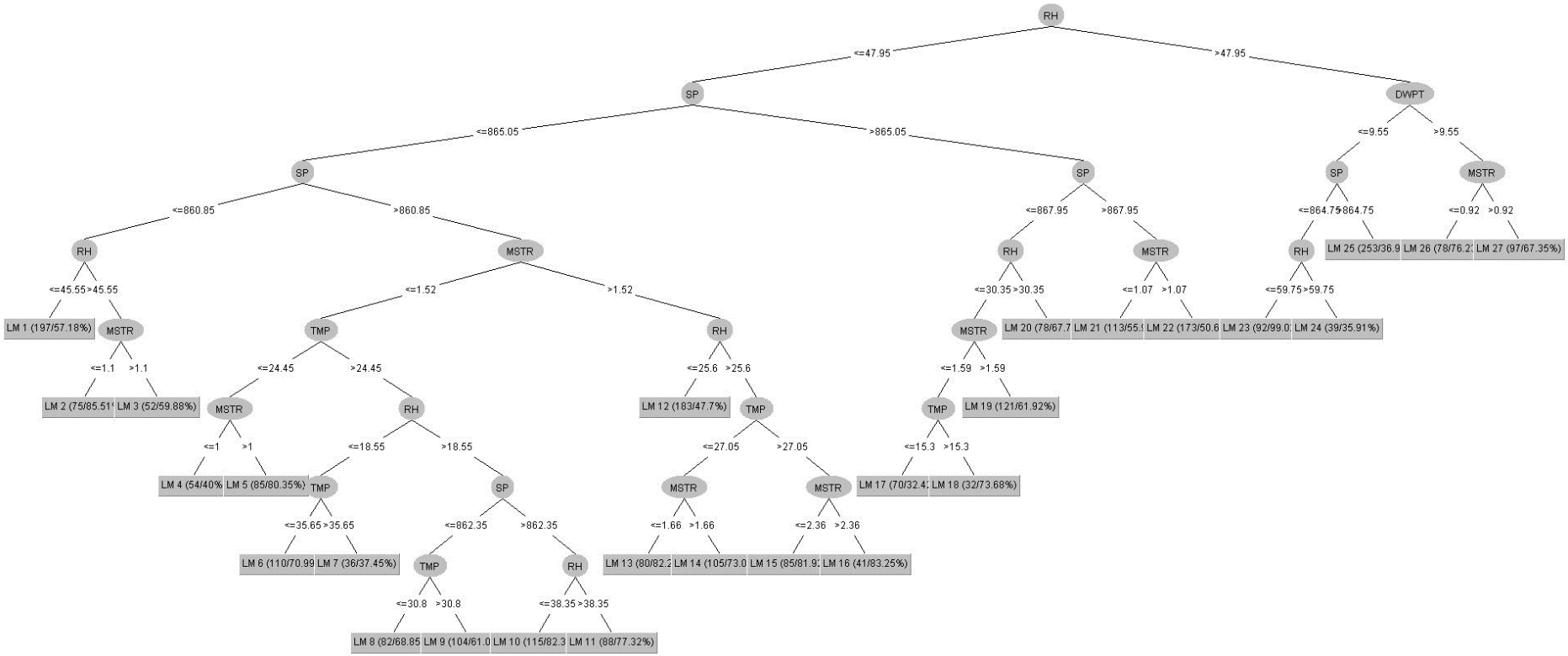
Şekil EK-1.18 Tüm işletmelerin delme faaliyeti PM_{10} karar ağacı



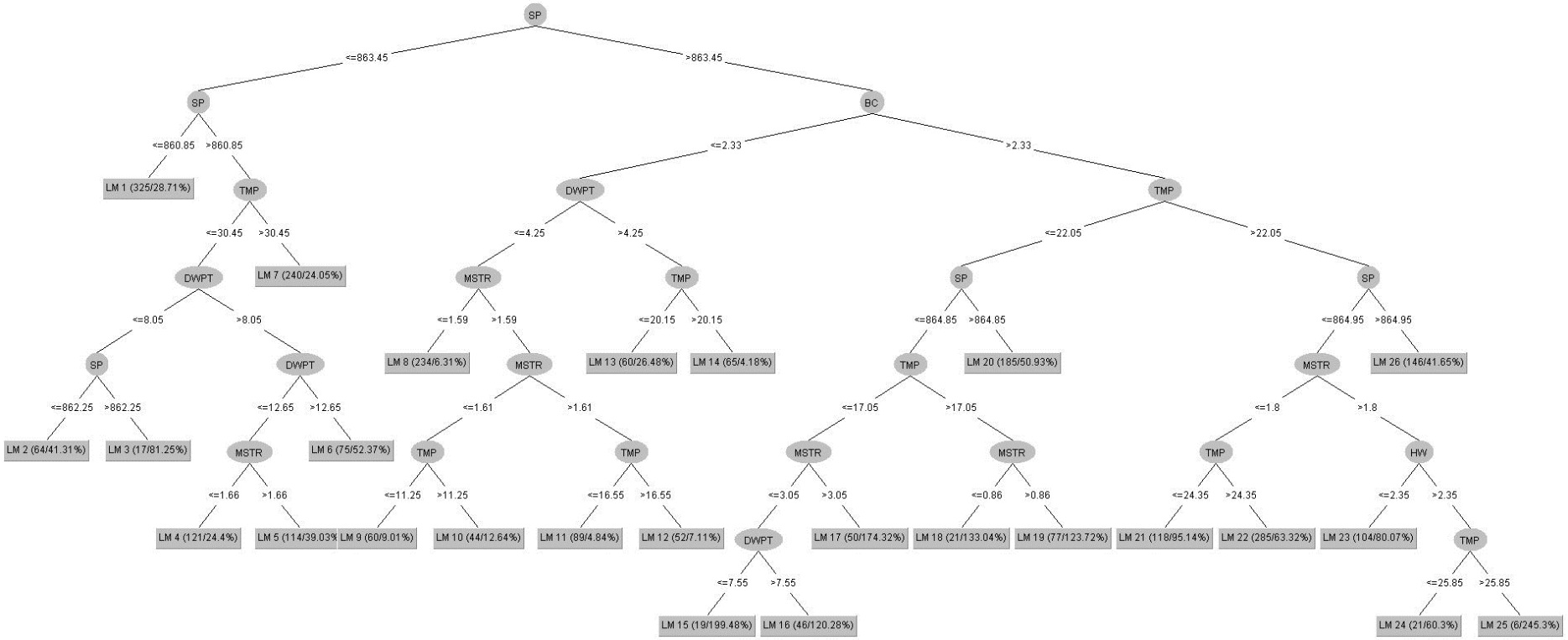
Şekil EK-1.19 Tüm işletmelerin delme faaliyeti $PM_{2,5}$ karar ağacı



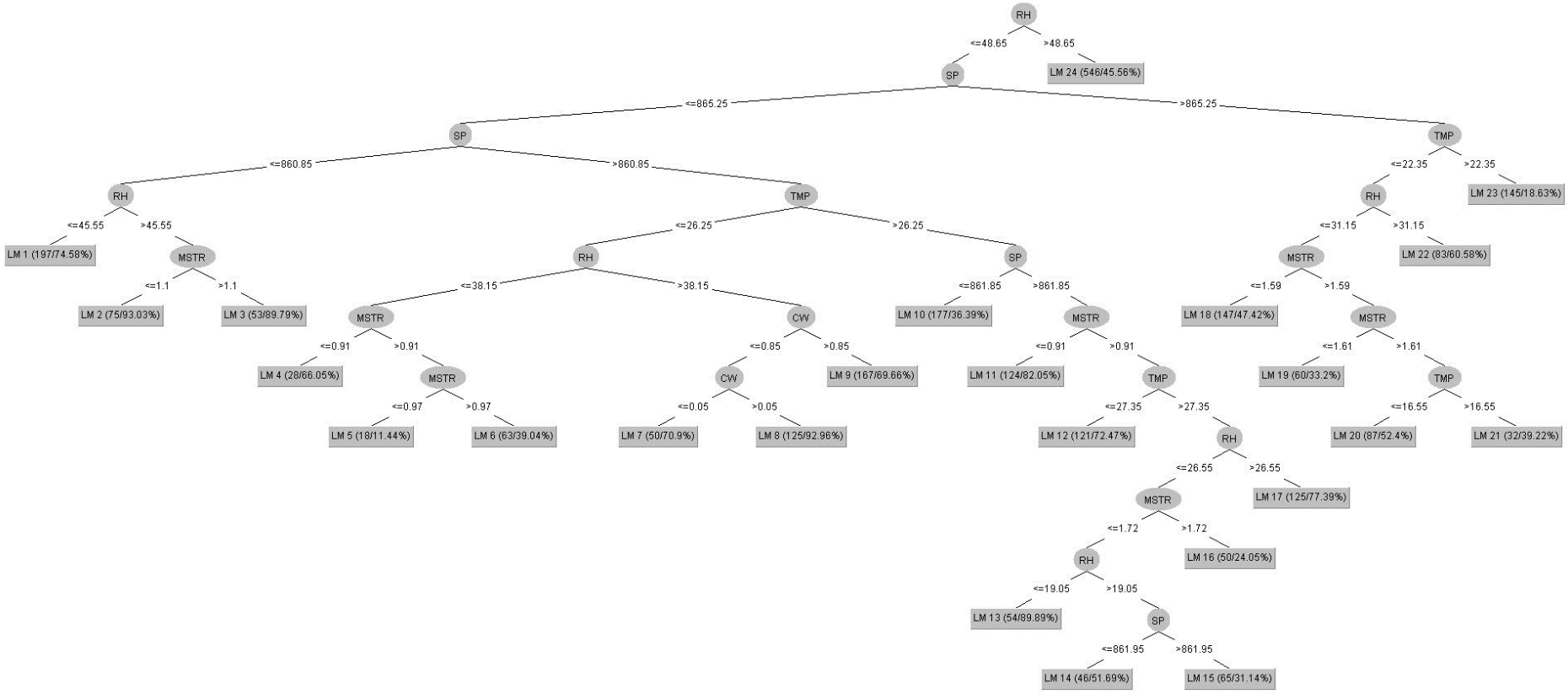
Şekil EK-1.20 Tüm işletmelerin delme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı



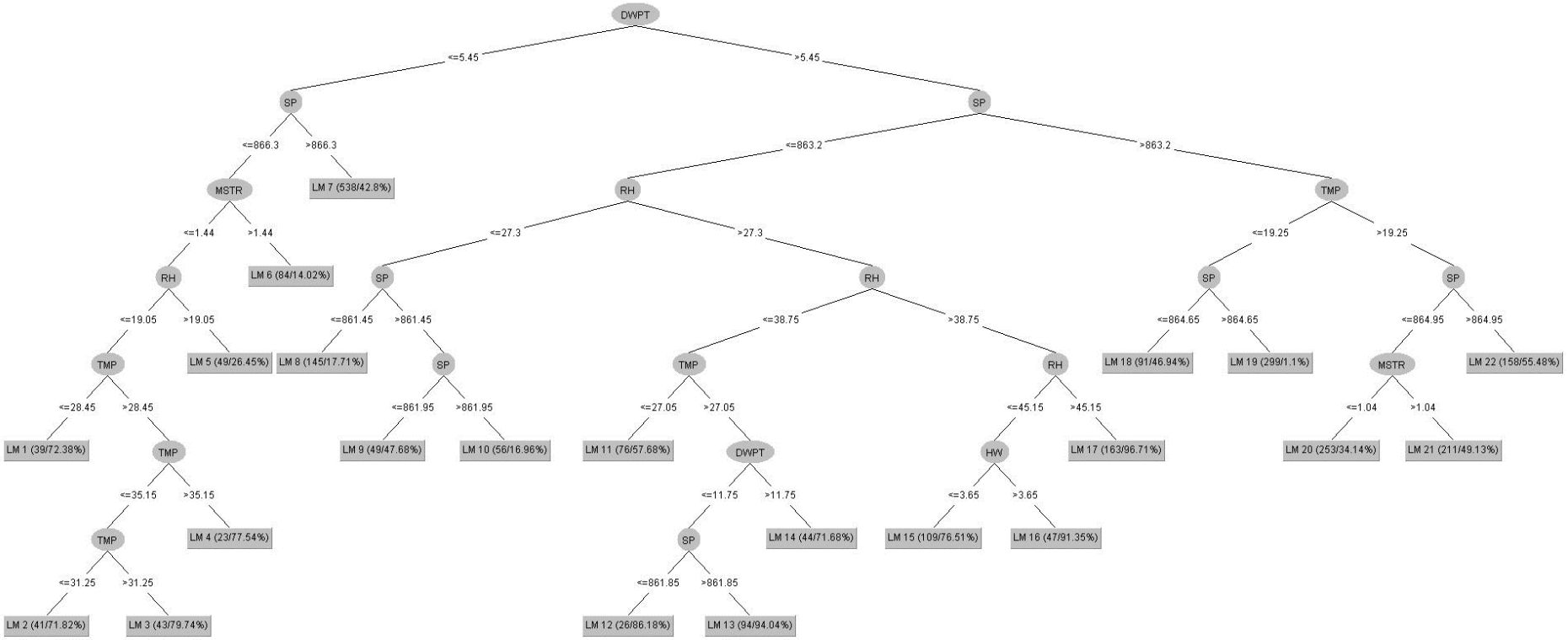
Şekil EK-1.21 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı



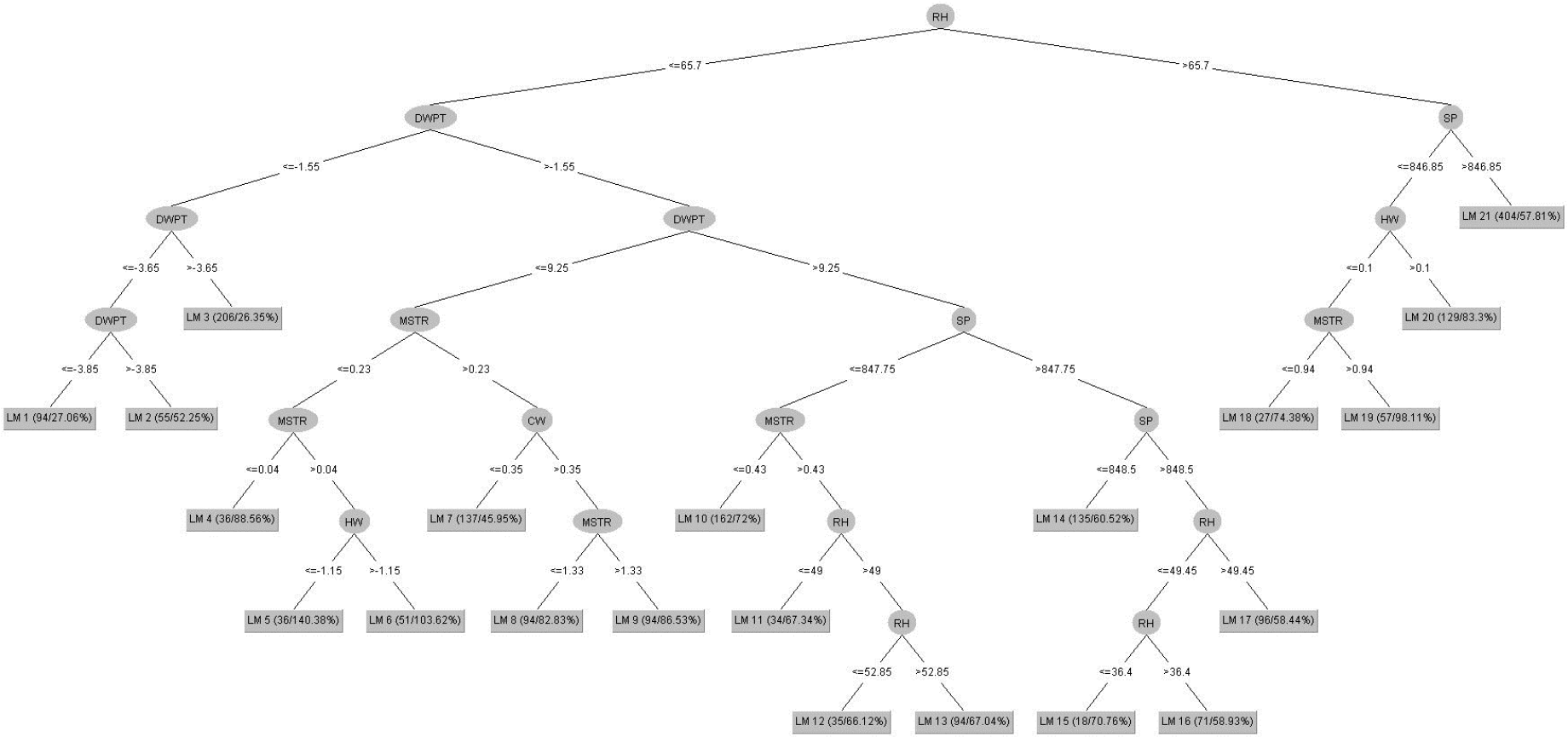
Şekil EK-1.22 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı



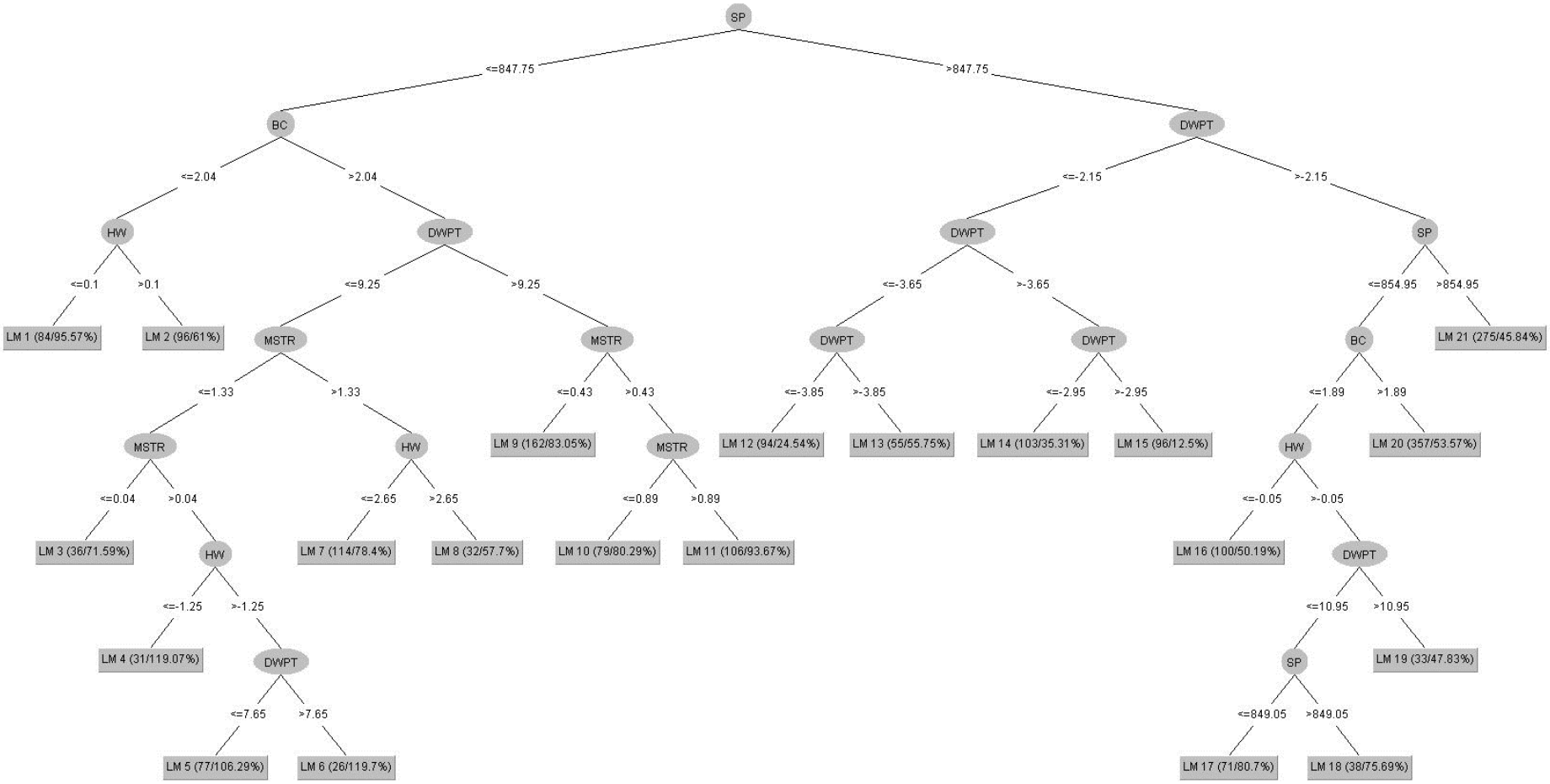
Şekil EK-1.23 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı



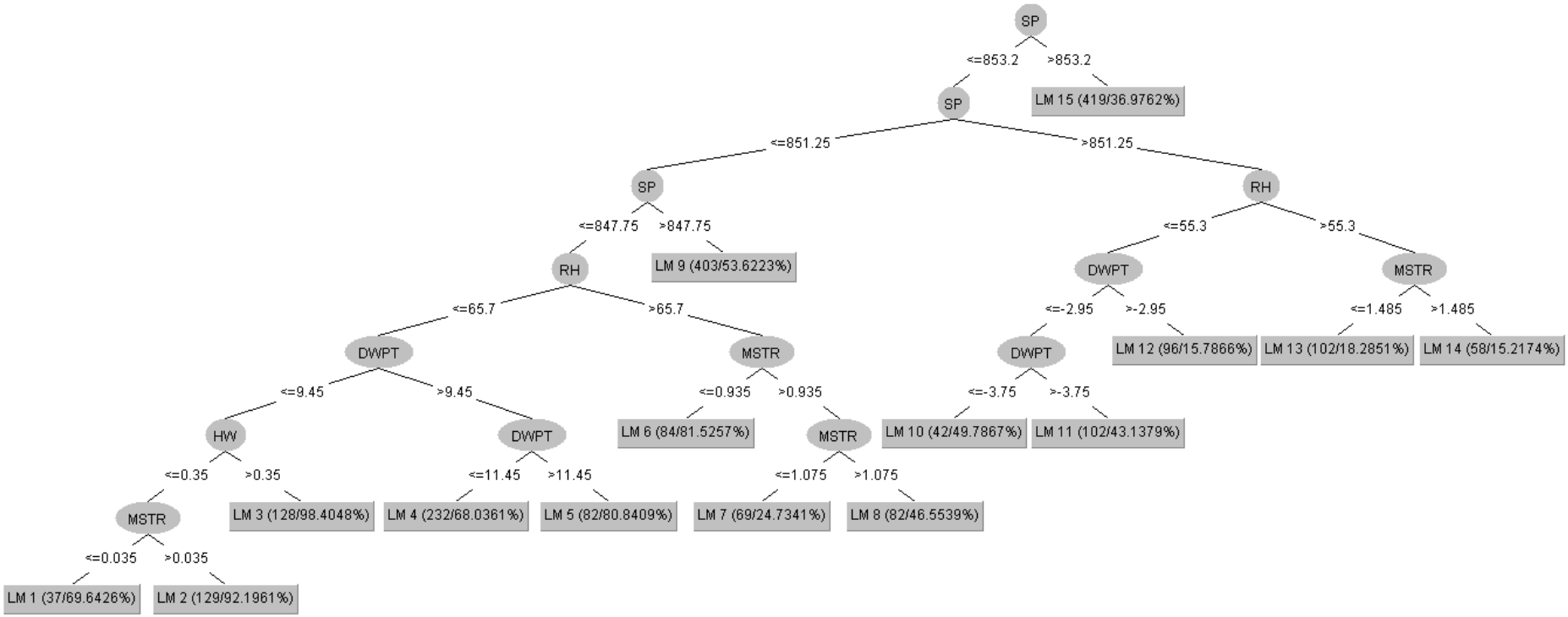
Şekil EK-1.24 Alçıtaşı işletmesi yükleme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı



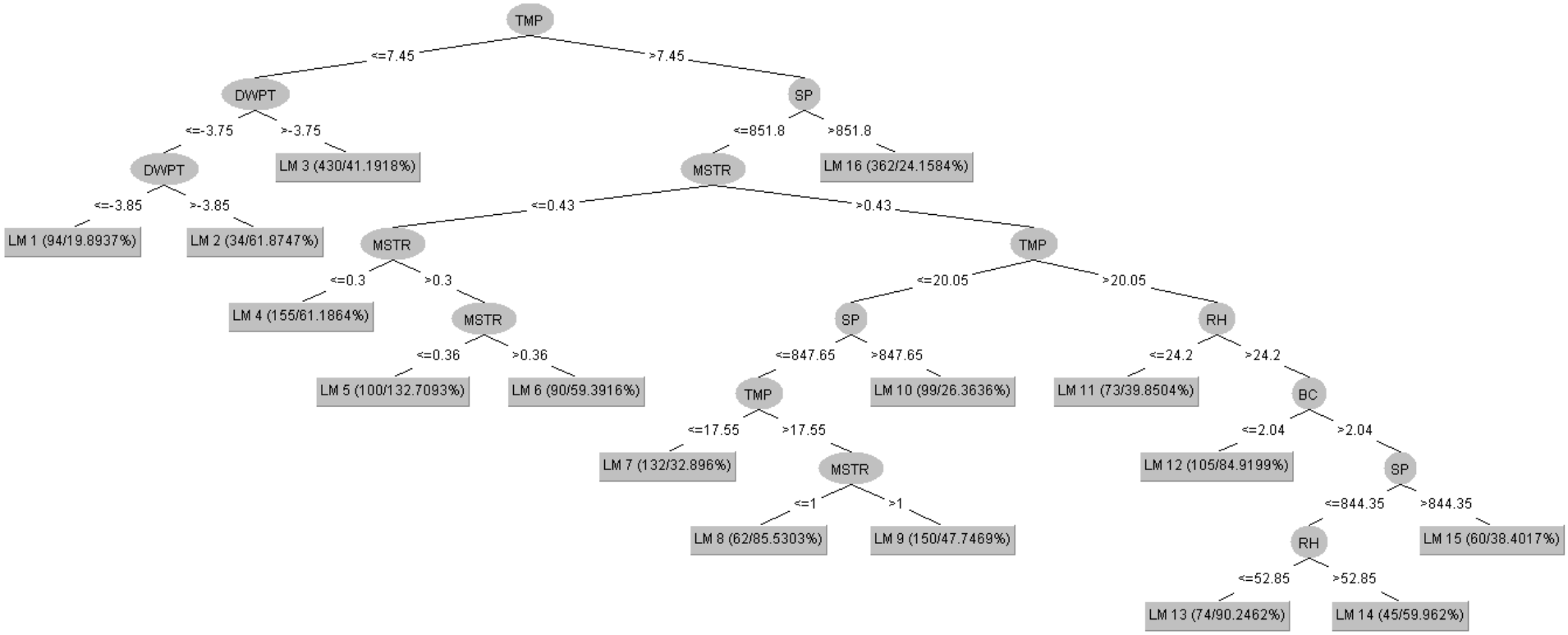
Şekil EK-1.25 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı



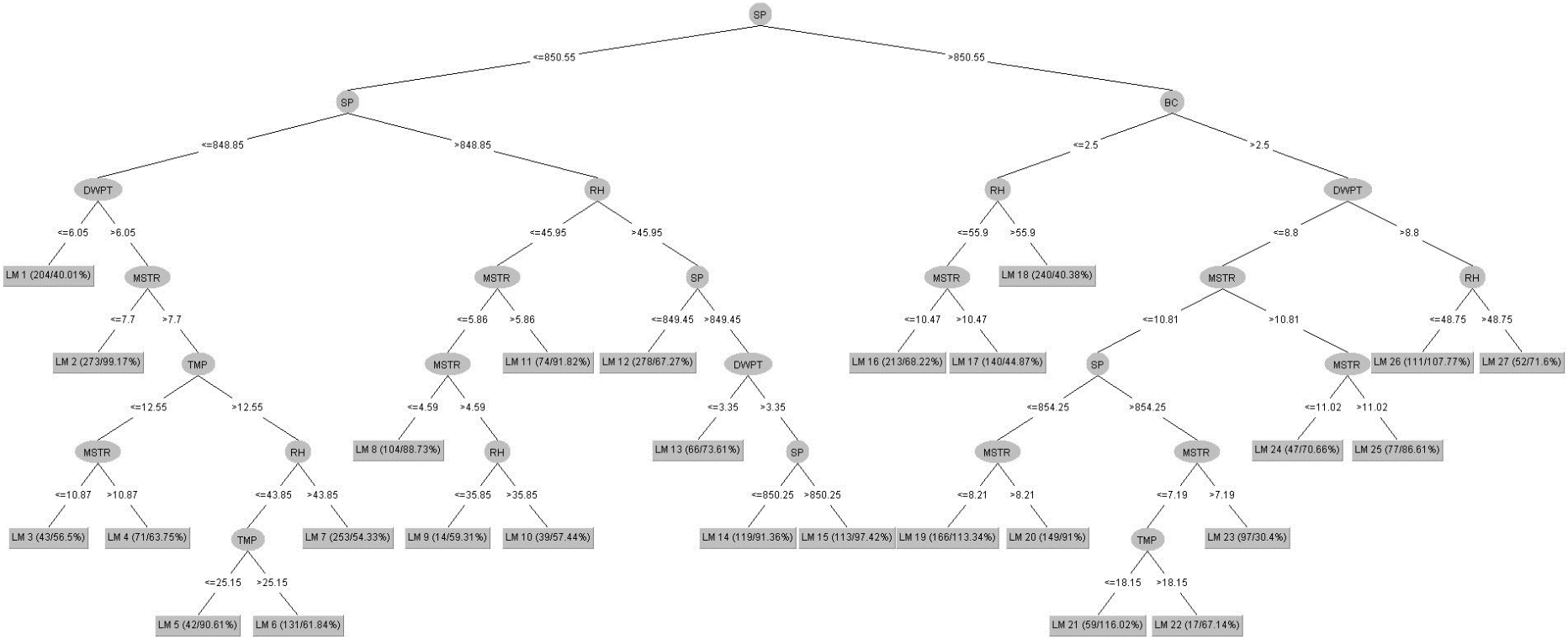
Şekil EK-1.26 Kalker işletmesi (A) yükleme faliyeti log(PM_{10}) karar ağacı



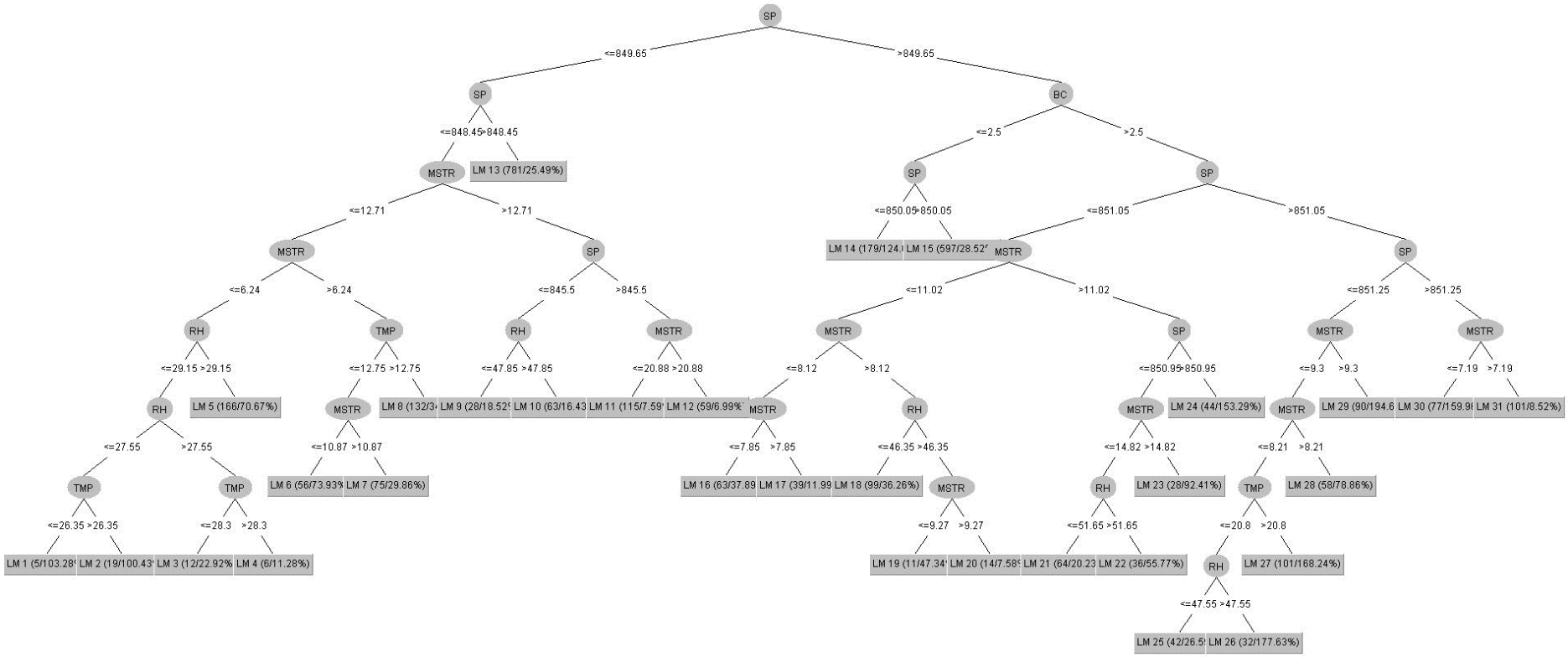
Şekil EK-1.27 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı



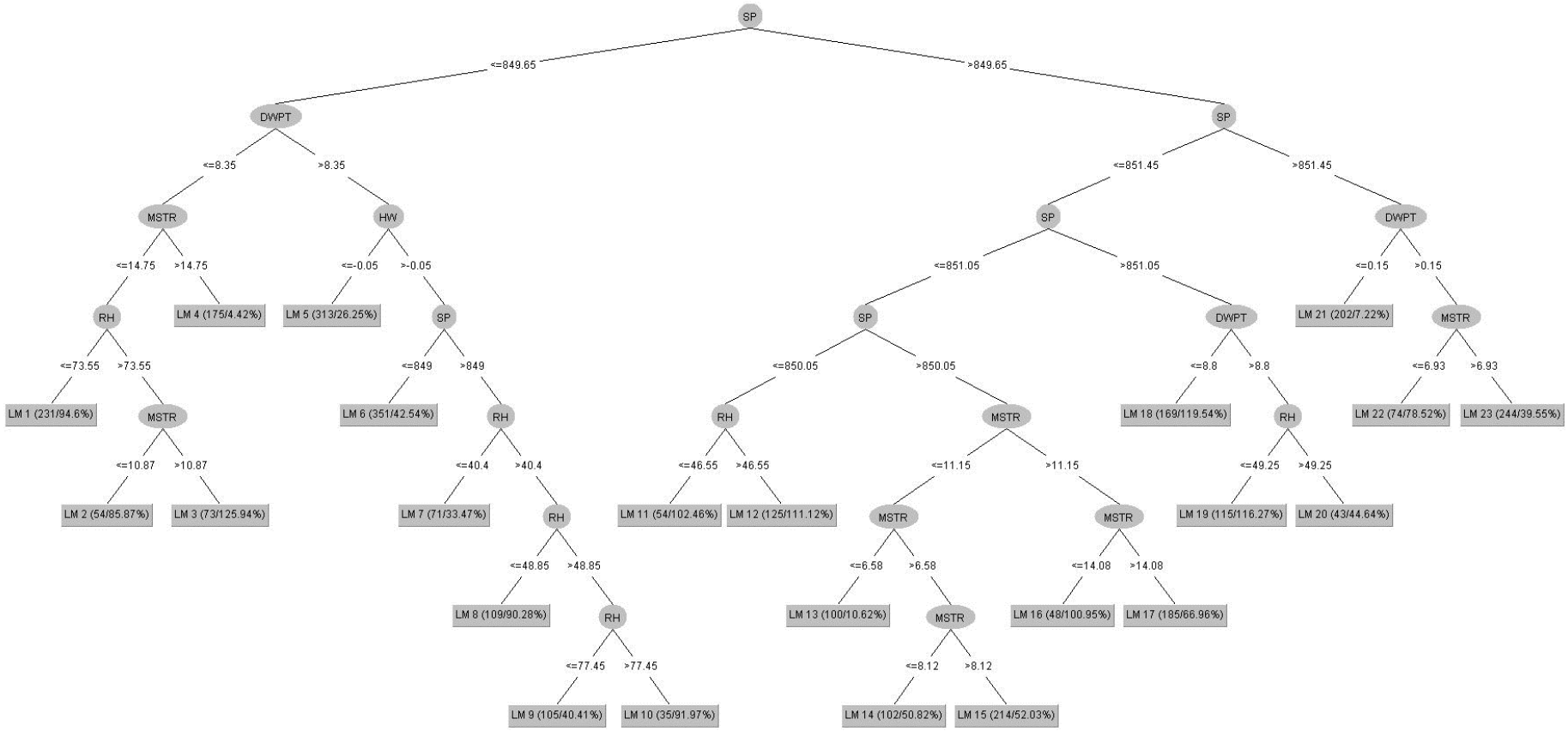
Şekil EK-1.28 Kalker işletmesi (A) yükleme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı



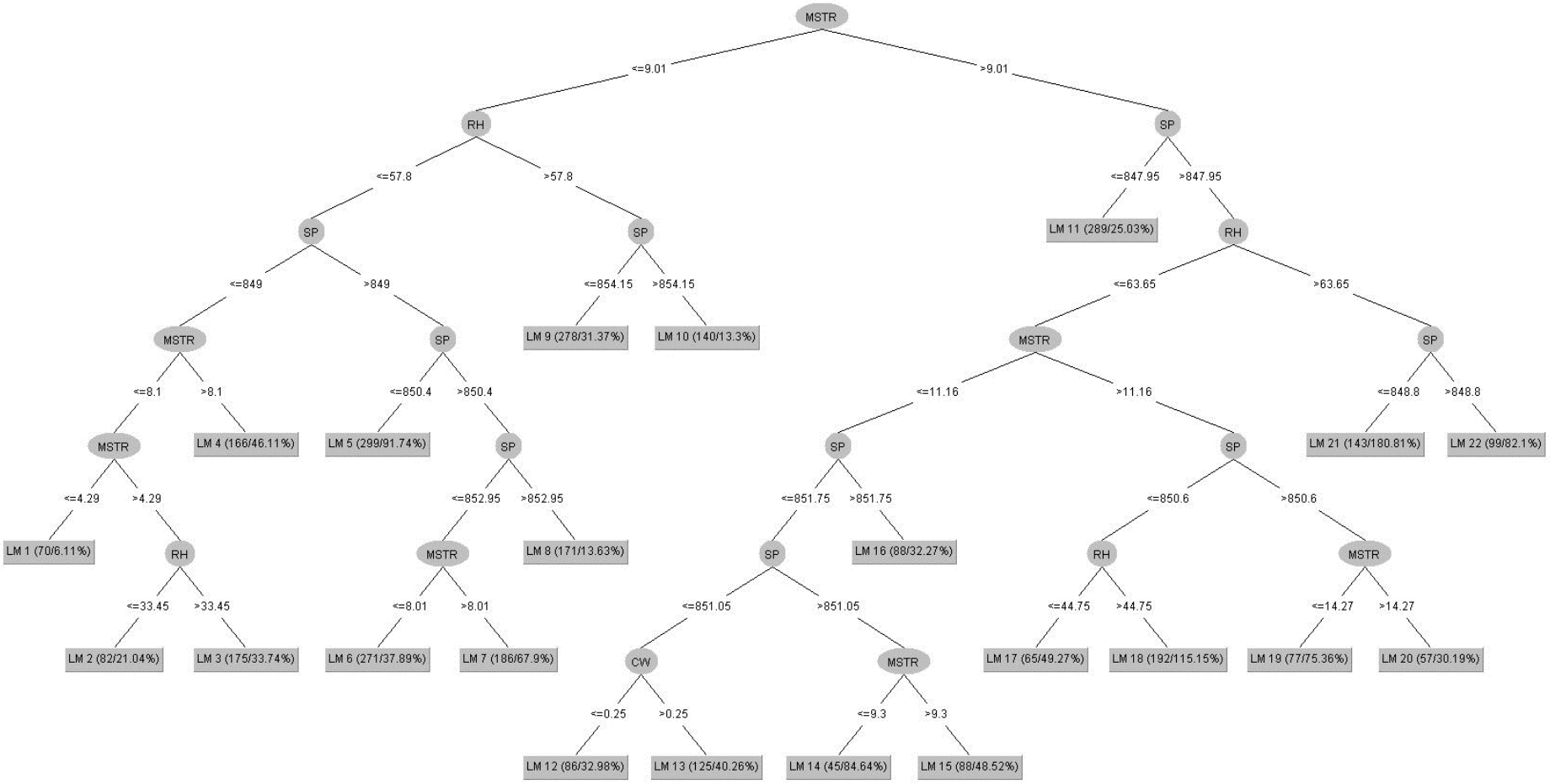
Şekil EK-1.29 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı



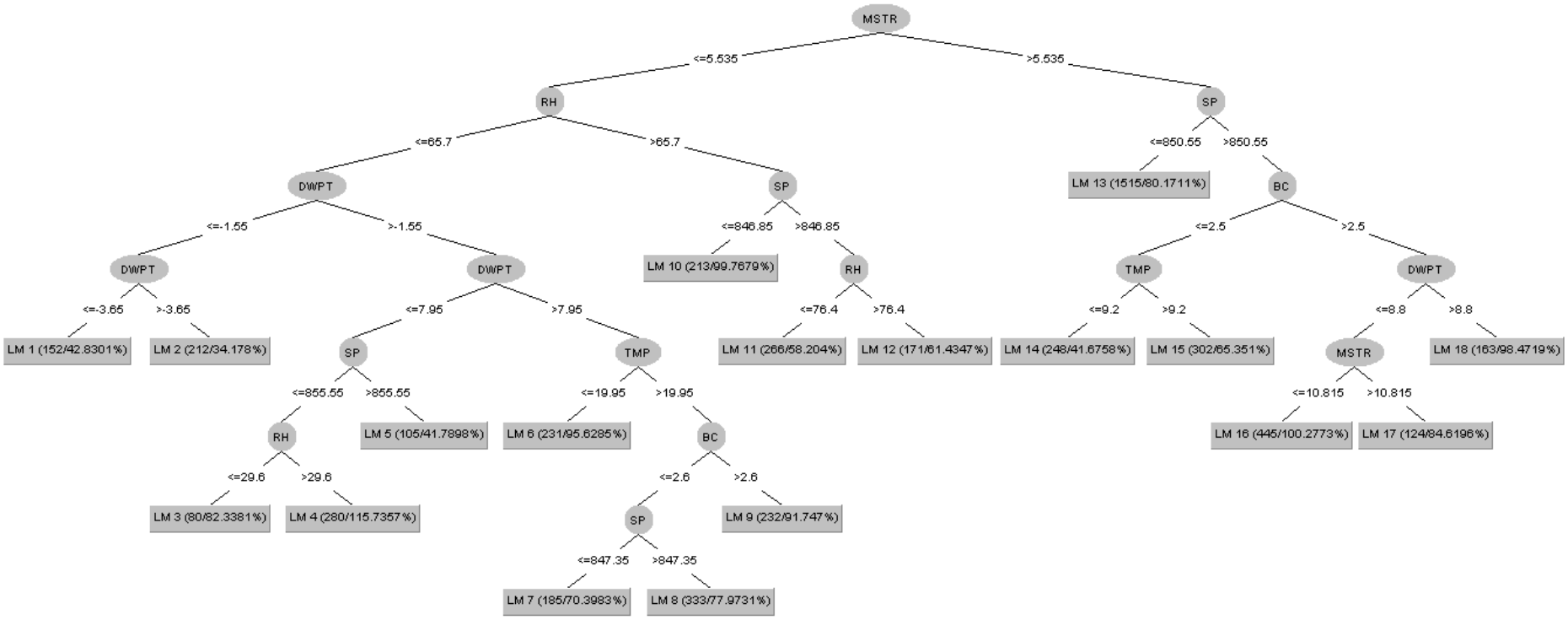
Şekil EK-1.30 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı



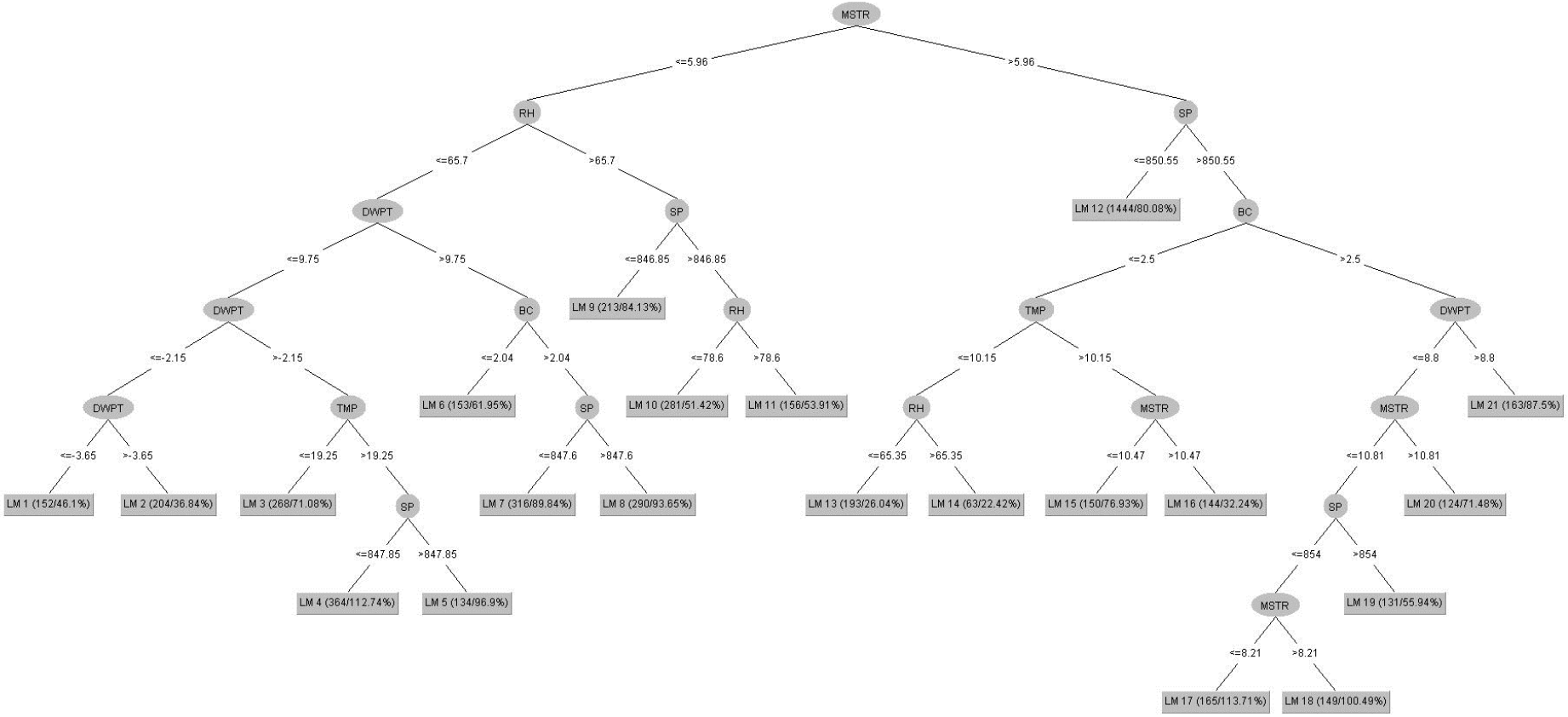
Şekil EK-1.31 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı



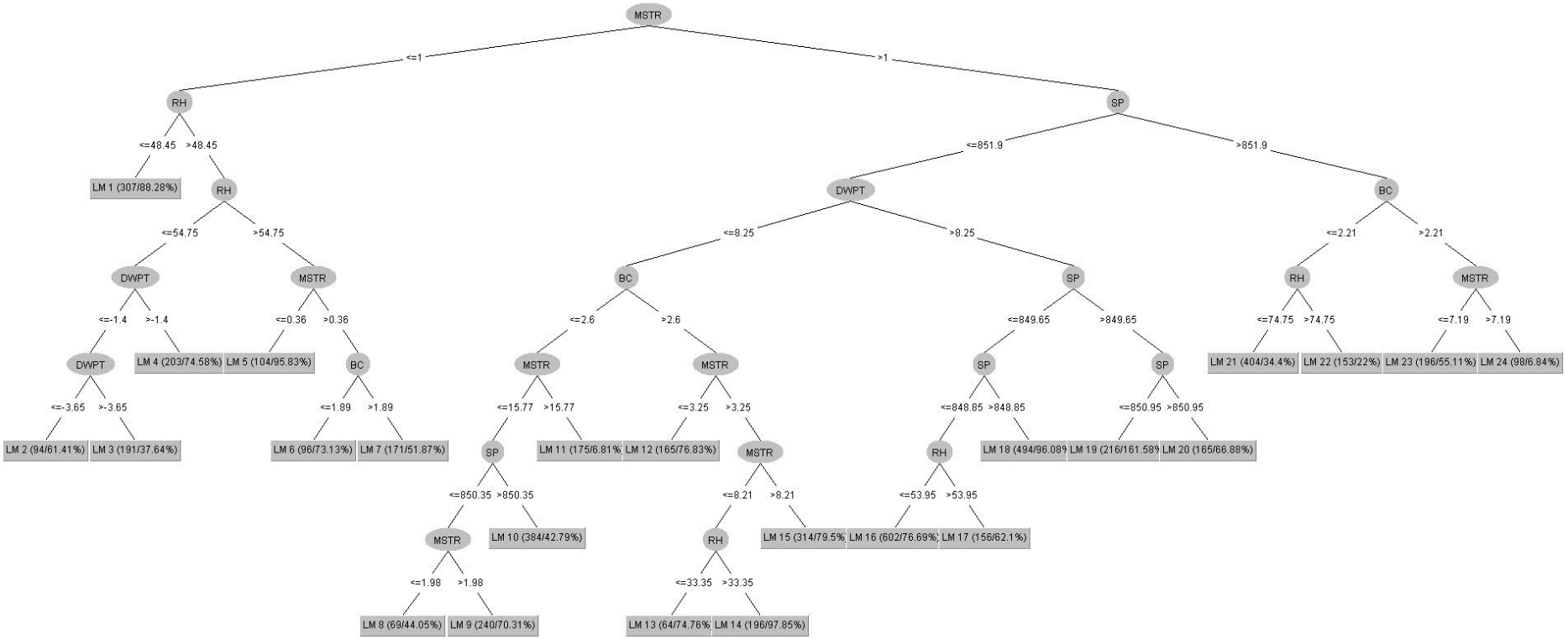
Şekil EK-1.32 Kalker işletmesi (B) yükleme faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı



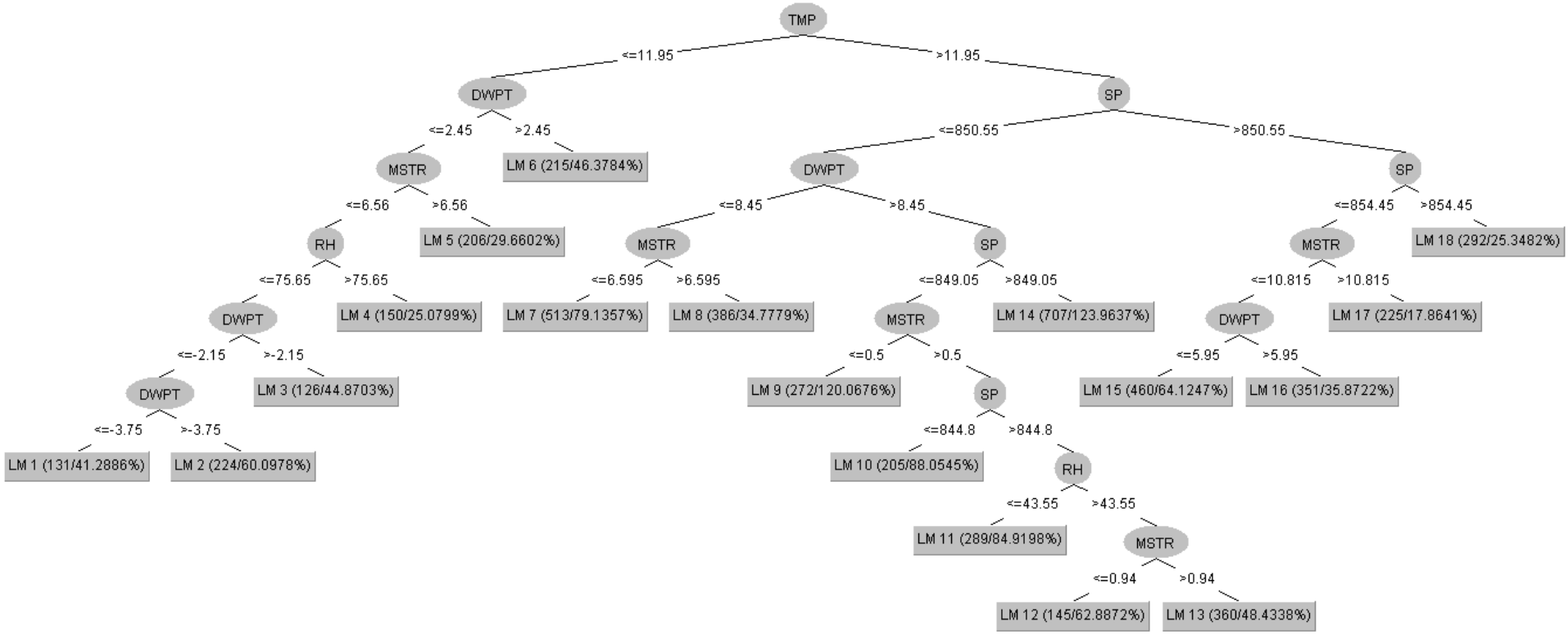
Şekil EK-1.33 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(TAPM) karar ağacı



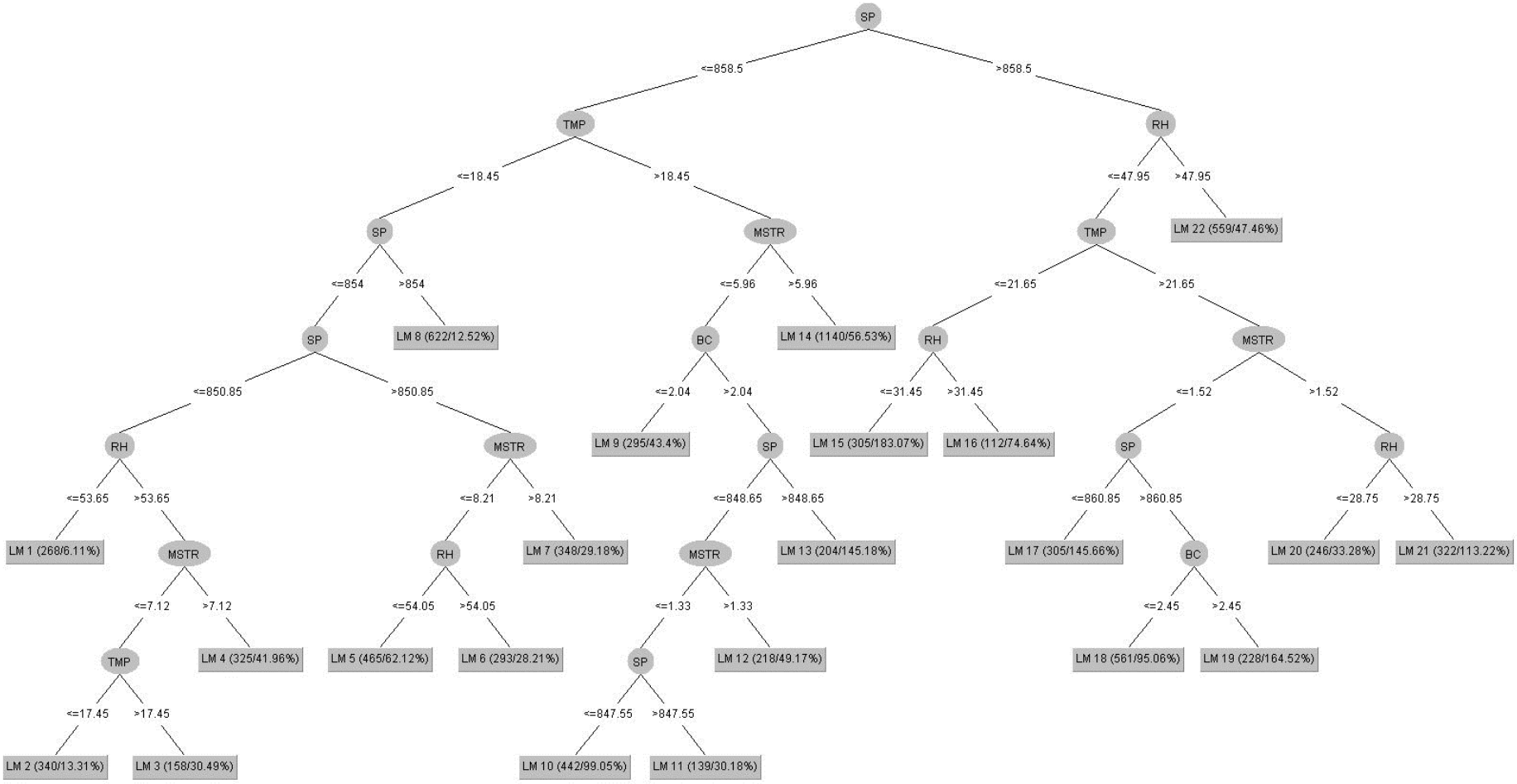
Şekil EK-1.34 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_{10}) karar ağacı



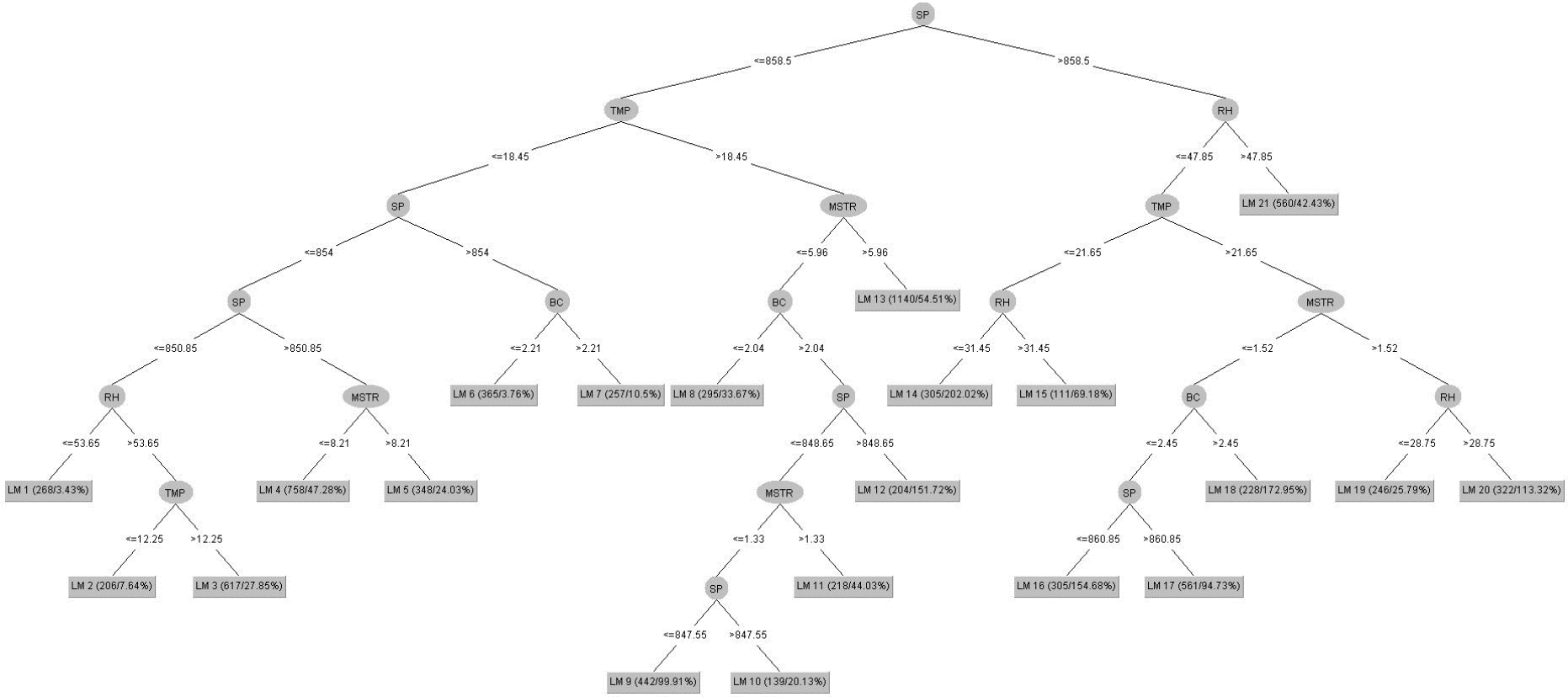
Şekil EK-1.35 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı



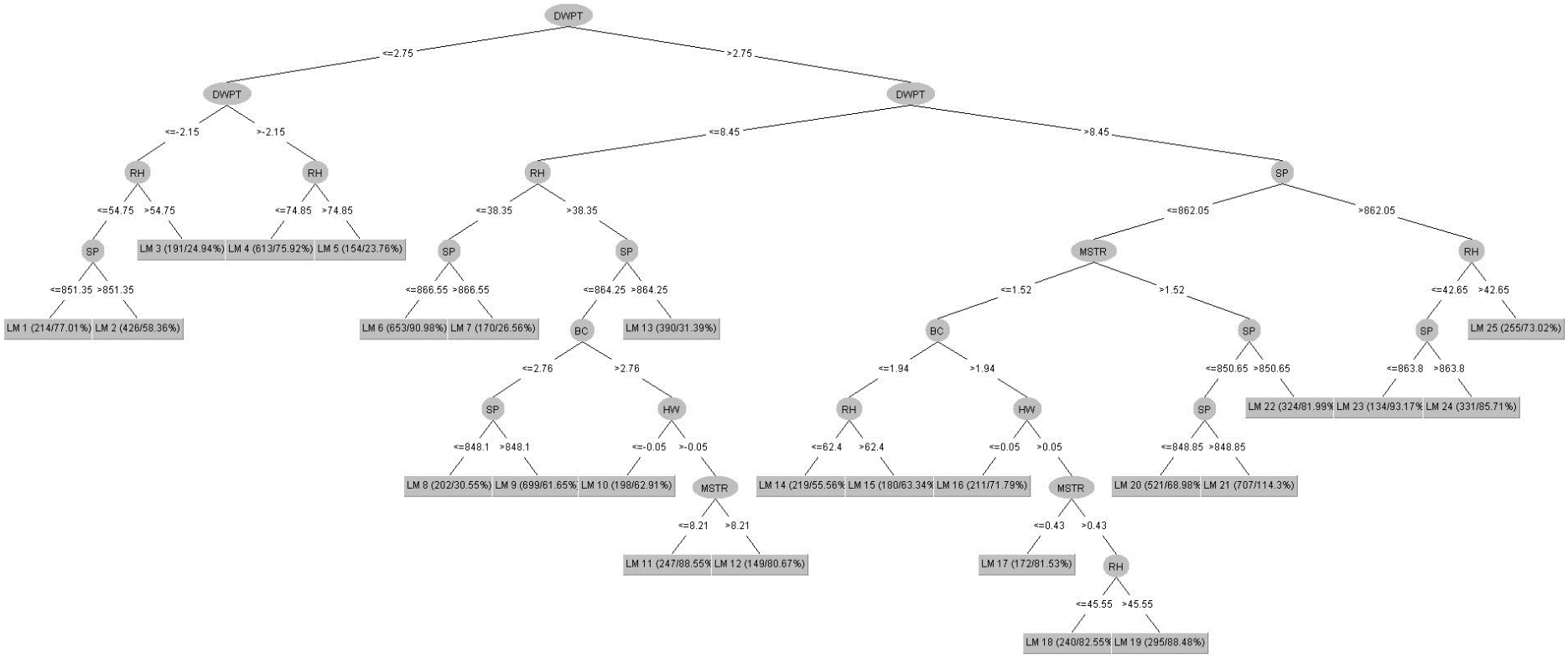
Şekil EK-1.36 Kalker işletmeleri yükleme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı



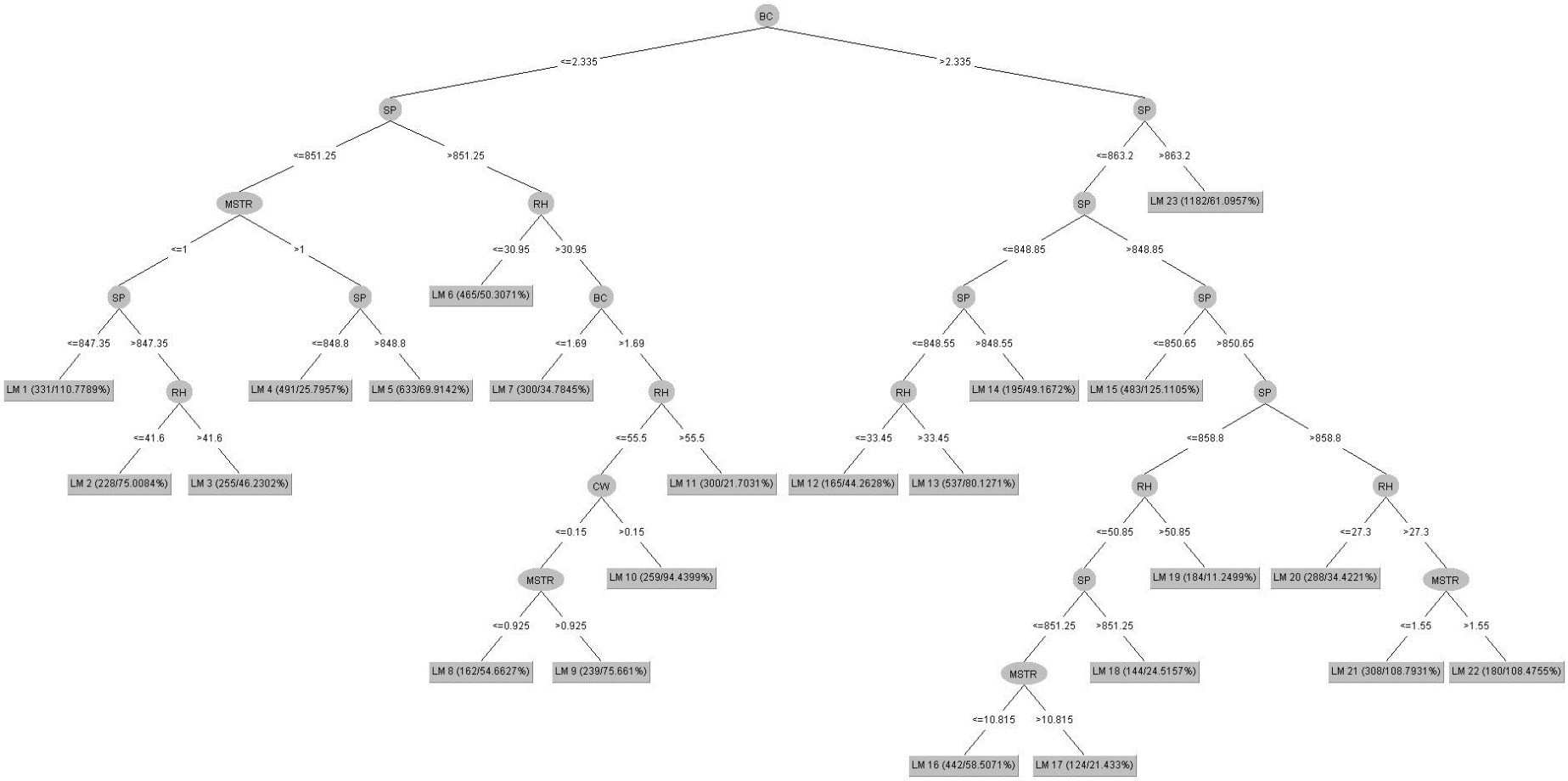
Şekil EK-1.37 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti TAPM karar ağacı



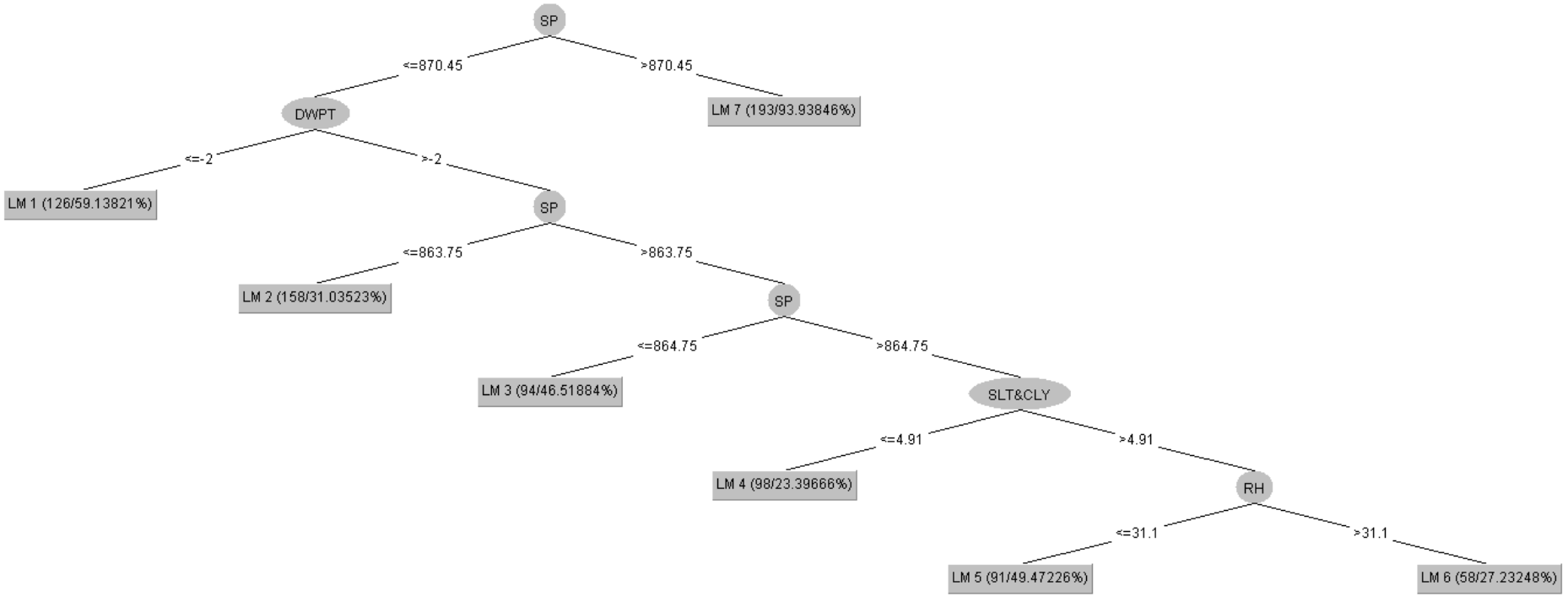
Şekil EK-1.38 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti PM_{10} karar ağacı



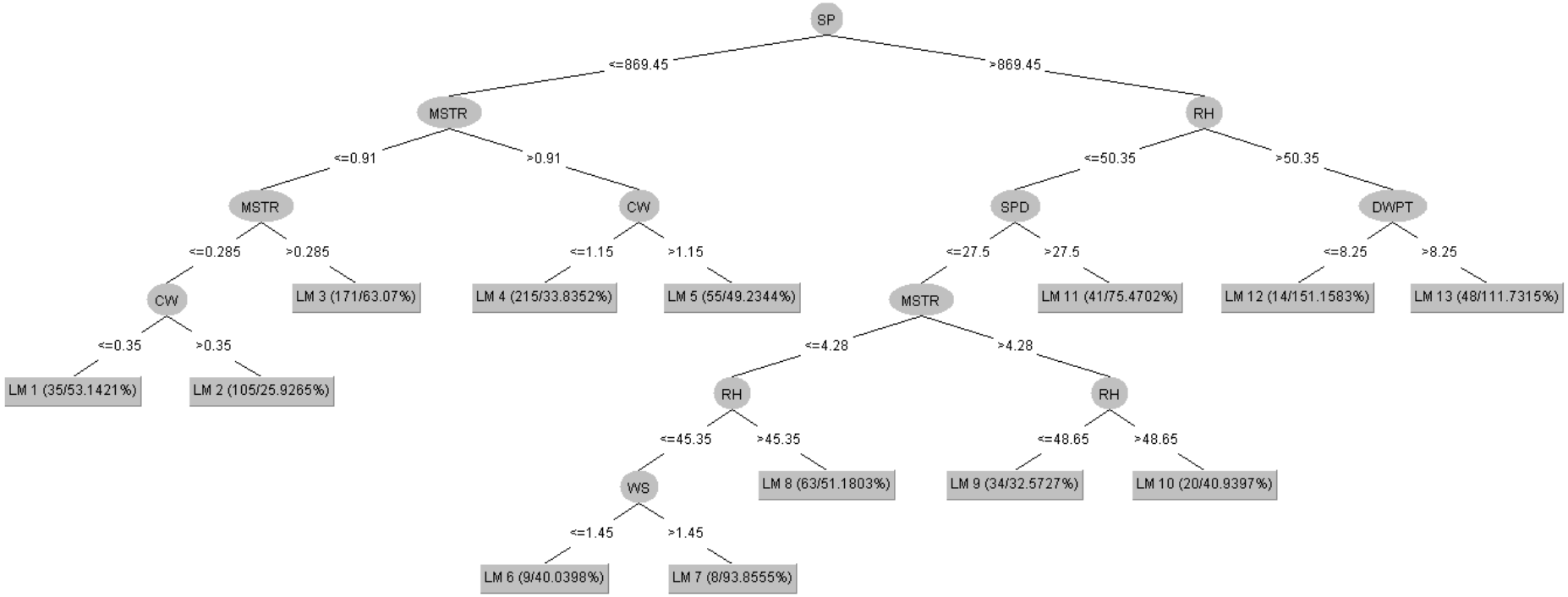
Şekil EK-1.39 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı



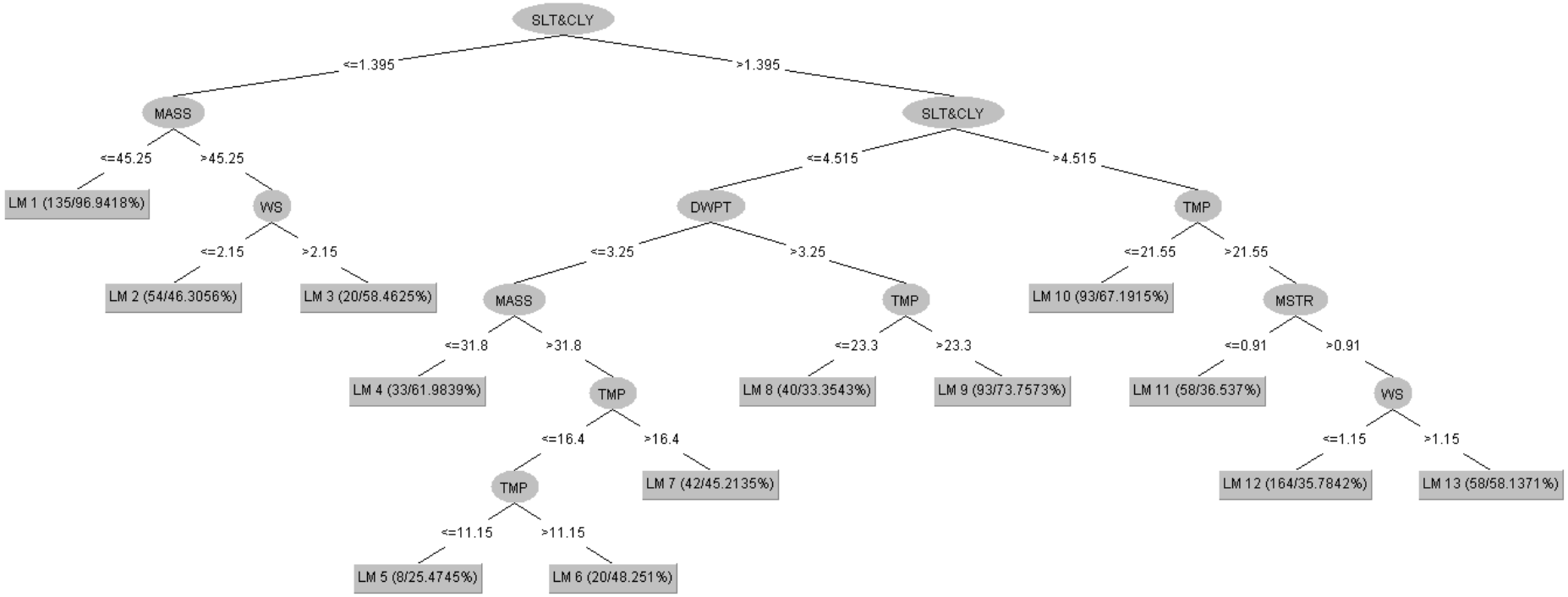
Şekil EK-1.40 Tüm işletmelerin yükleme faaliyeti log(PM_1) karar ağacı



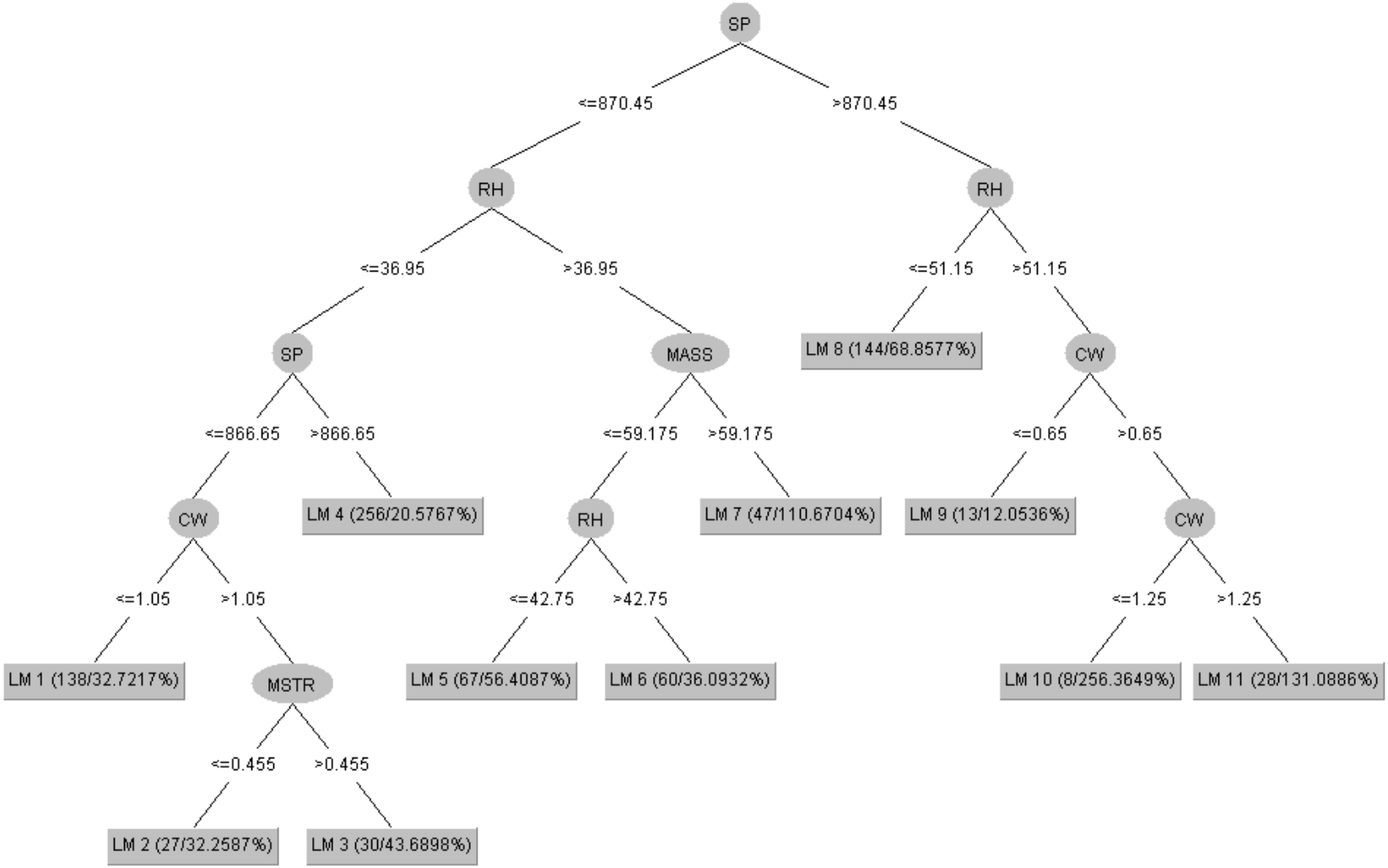
Şekil EK-1.41 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı



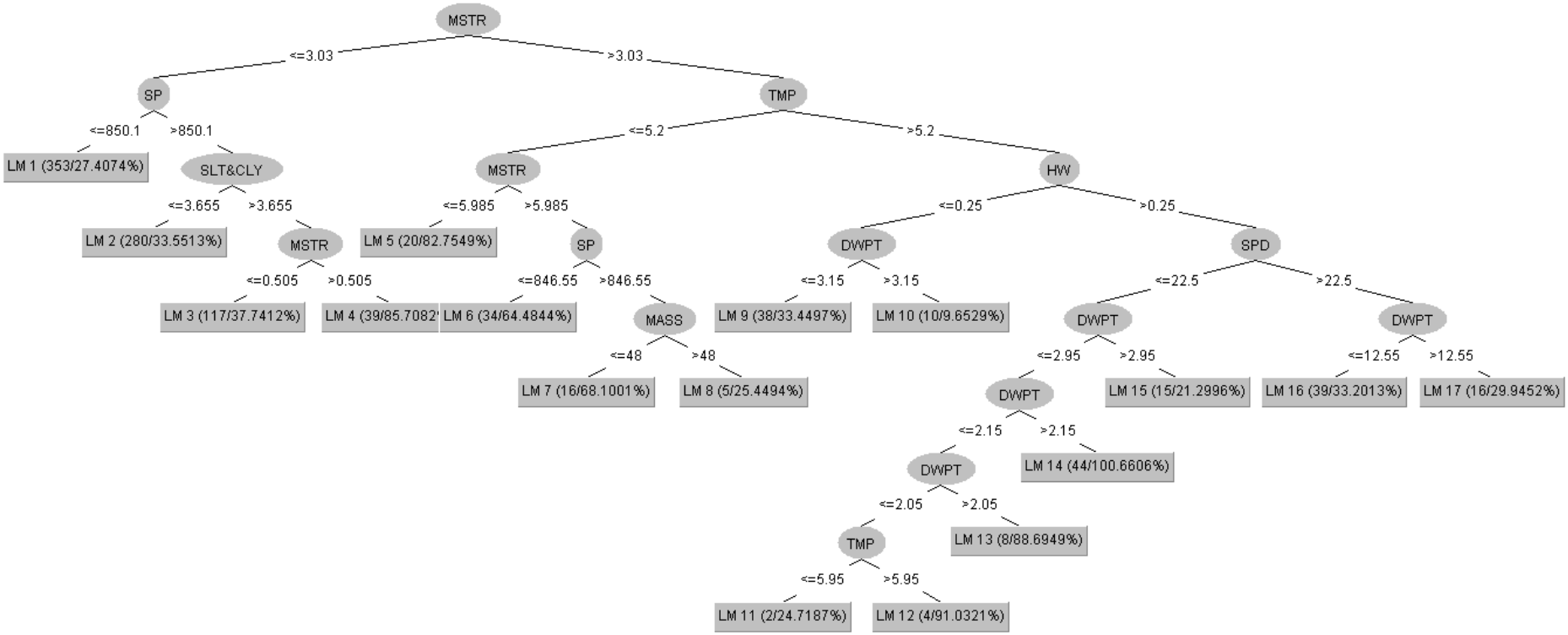
Şekil EK-1.42 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı



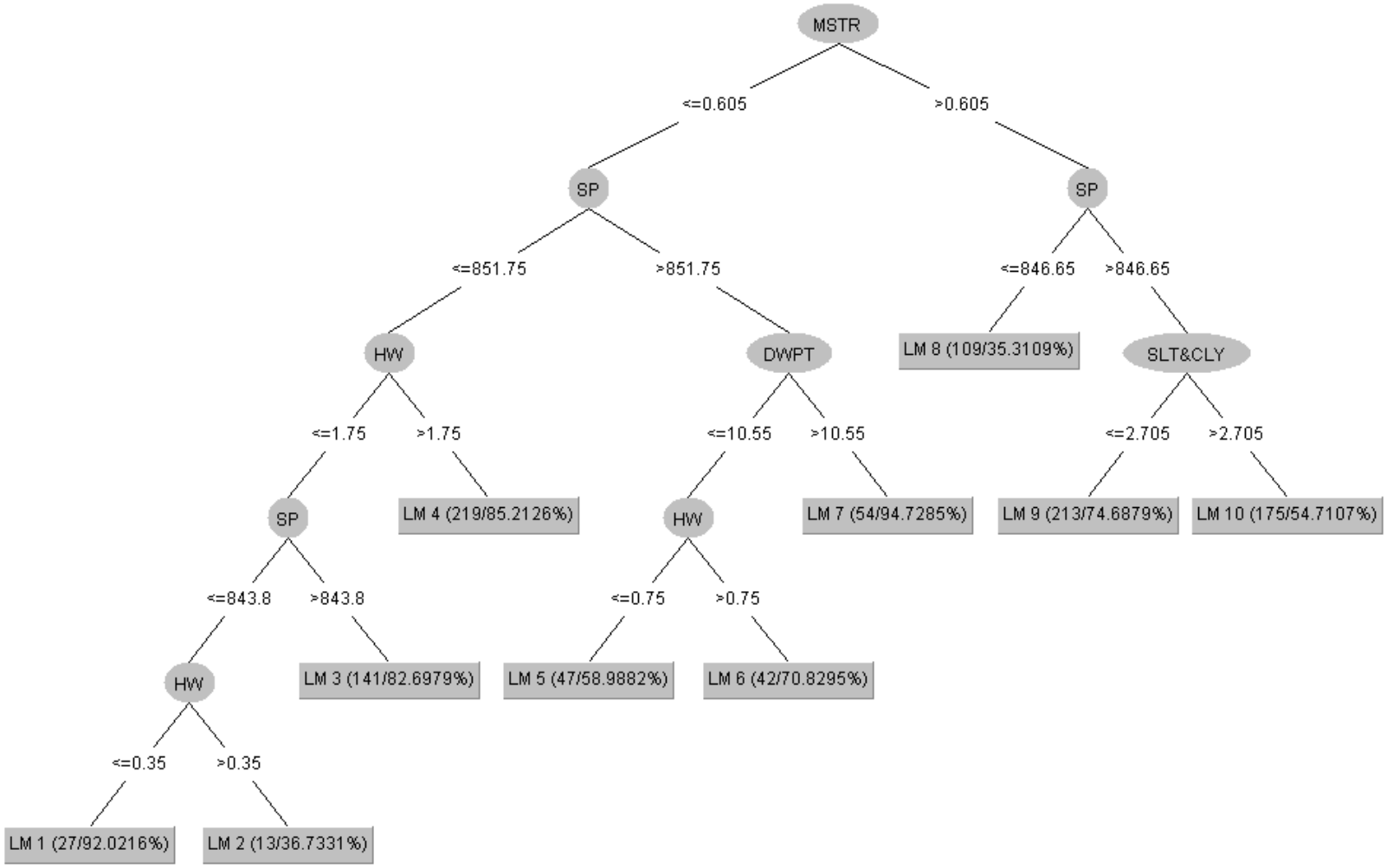
Şekil EK-1.43 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı



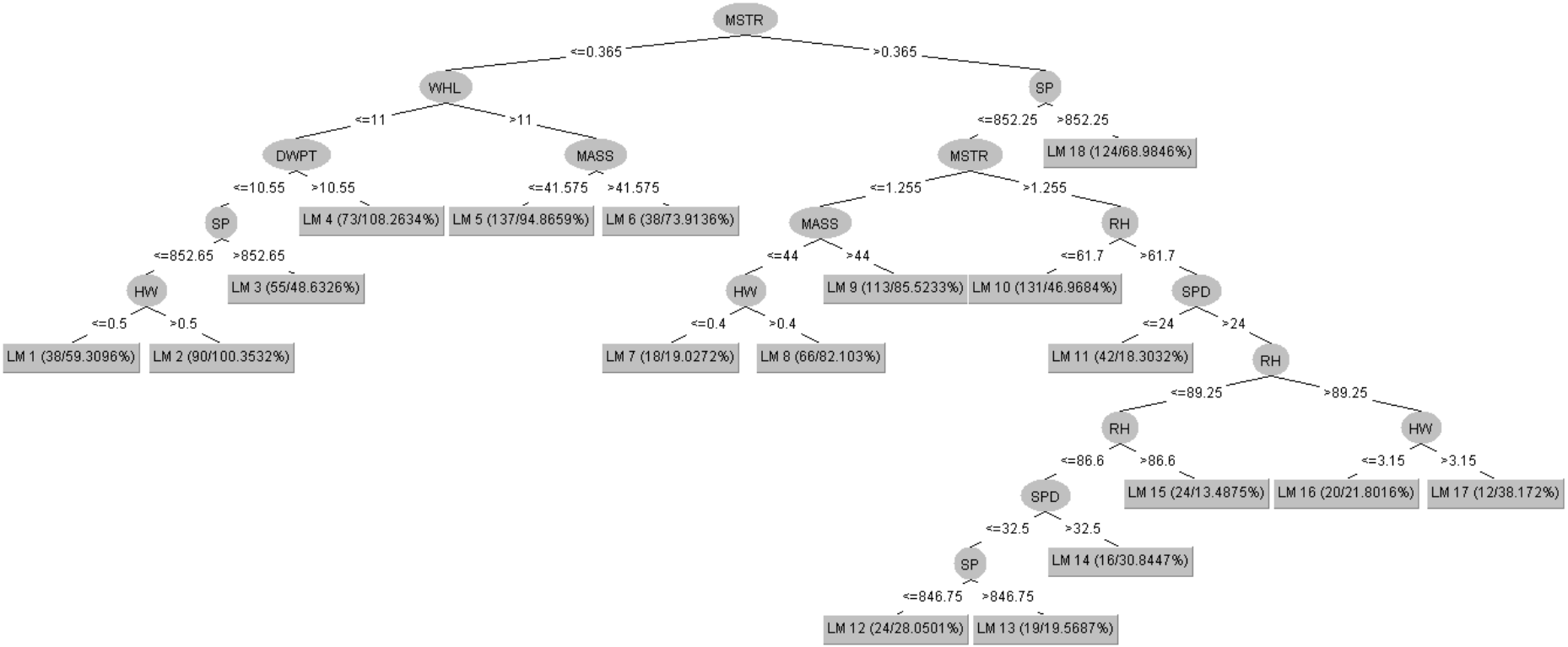
Şekil EK-1.44 Alçıtaşı işletmesi taşıma faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı



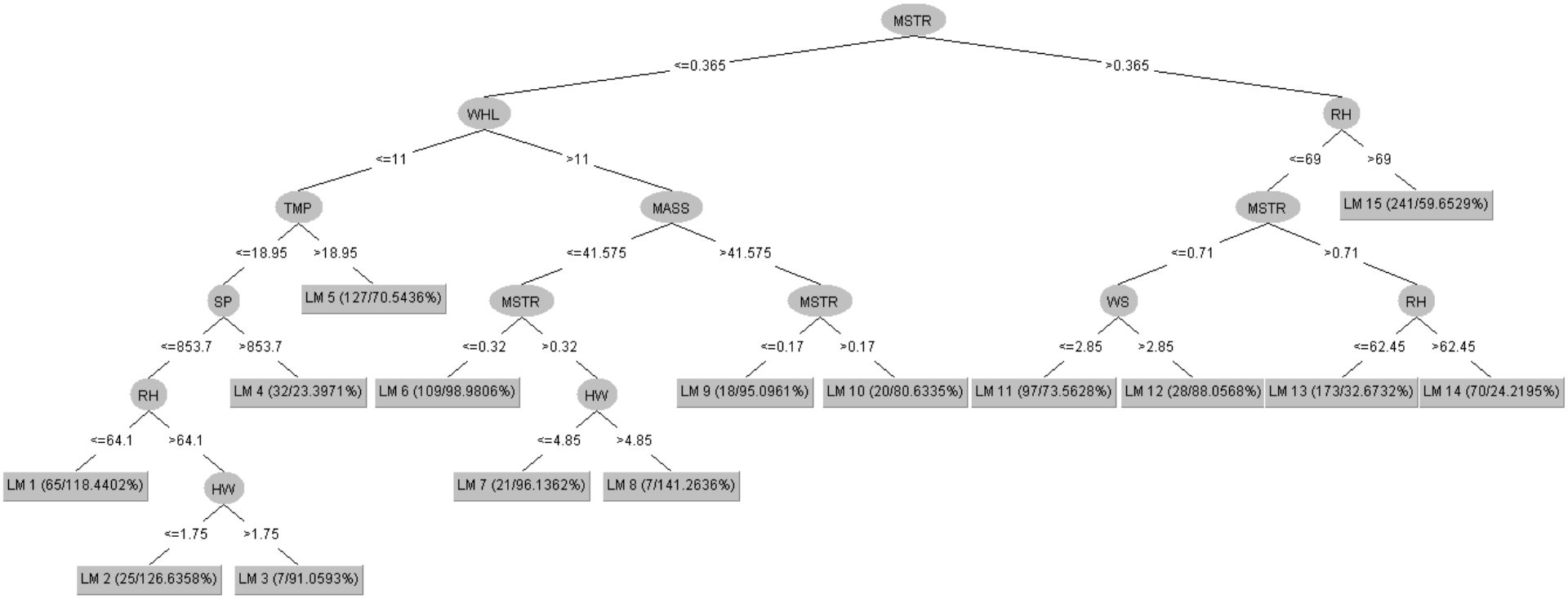
Şekil EK-1.45 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı



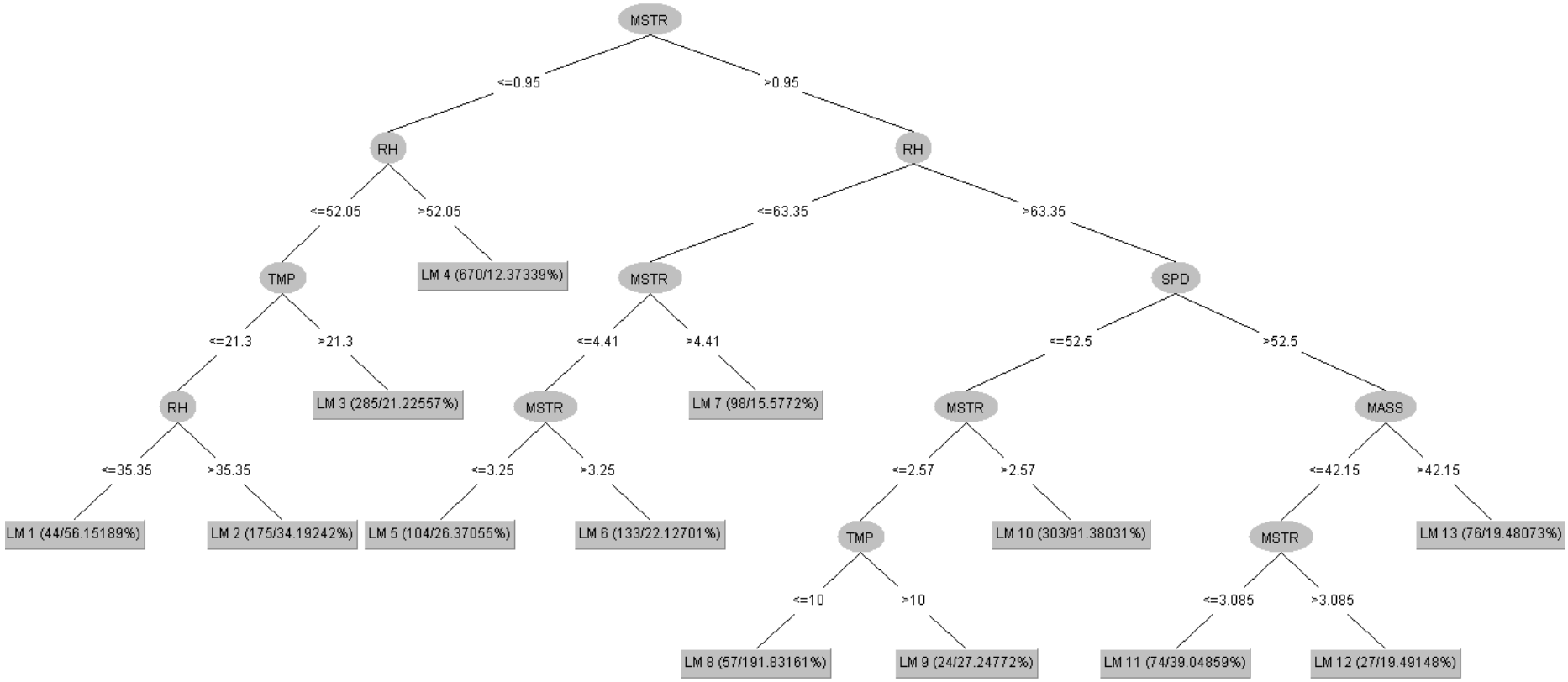
Şekil EK-1.46 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_{10}) karar ağacı



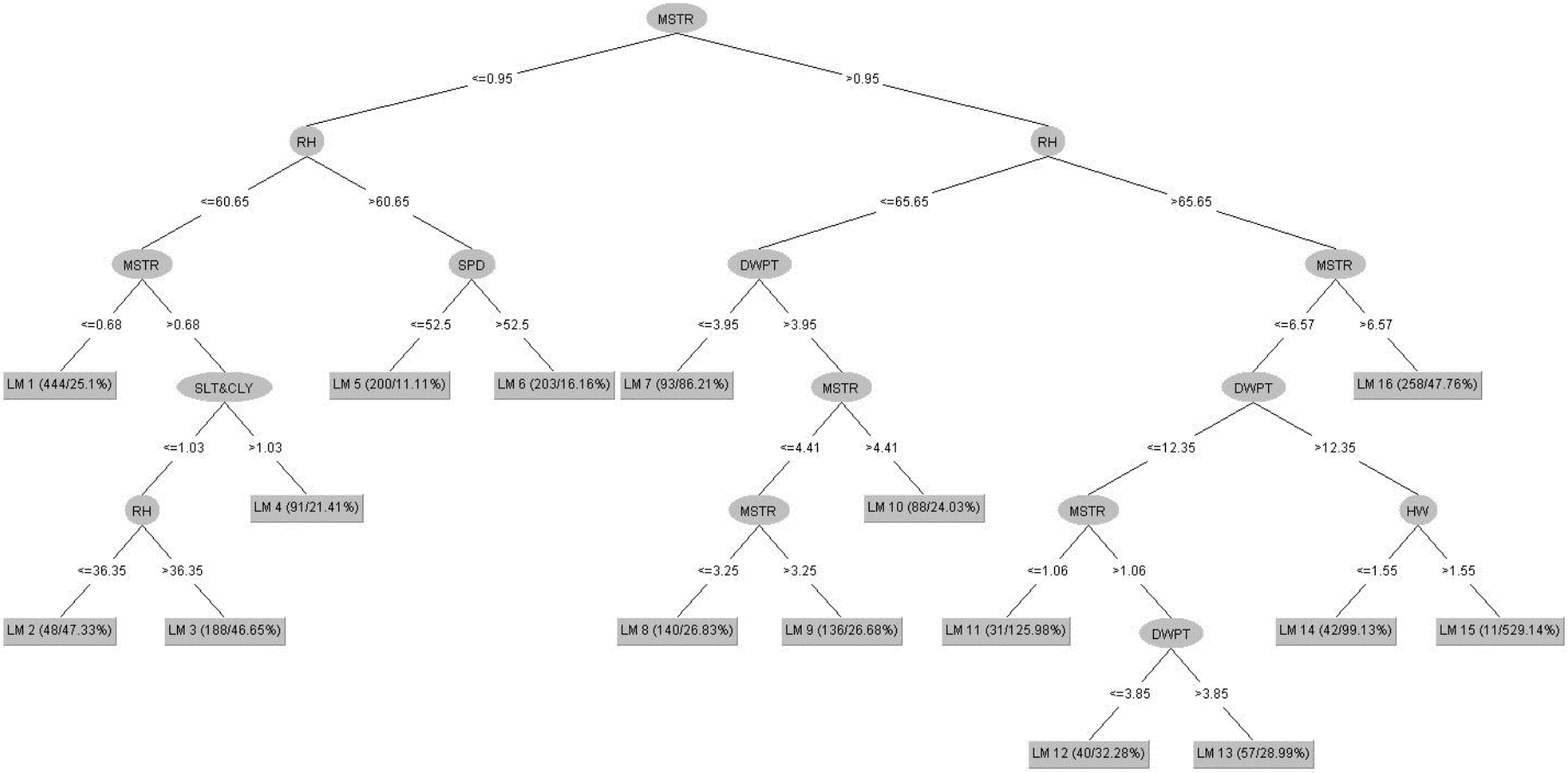
Şekil EK-1.47 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log($PM_{2,5}$) karar ağacı



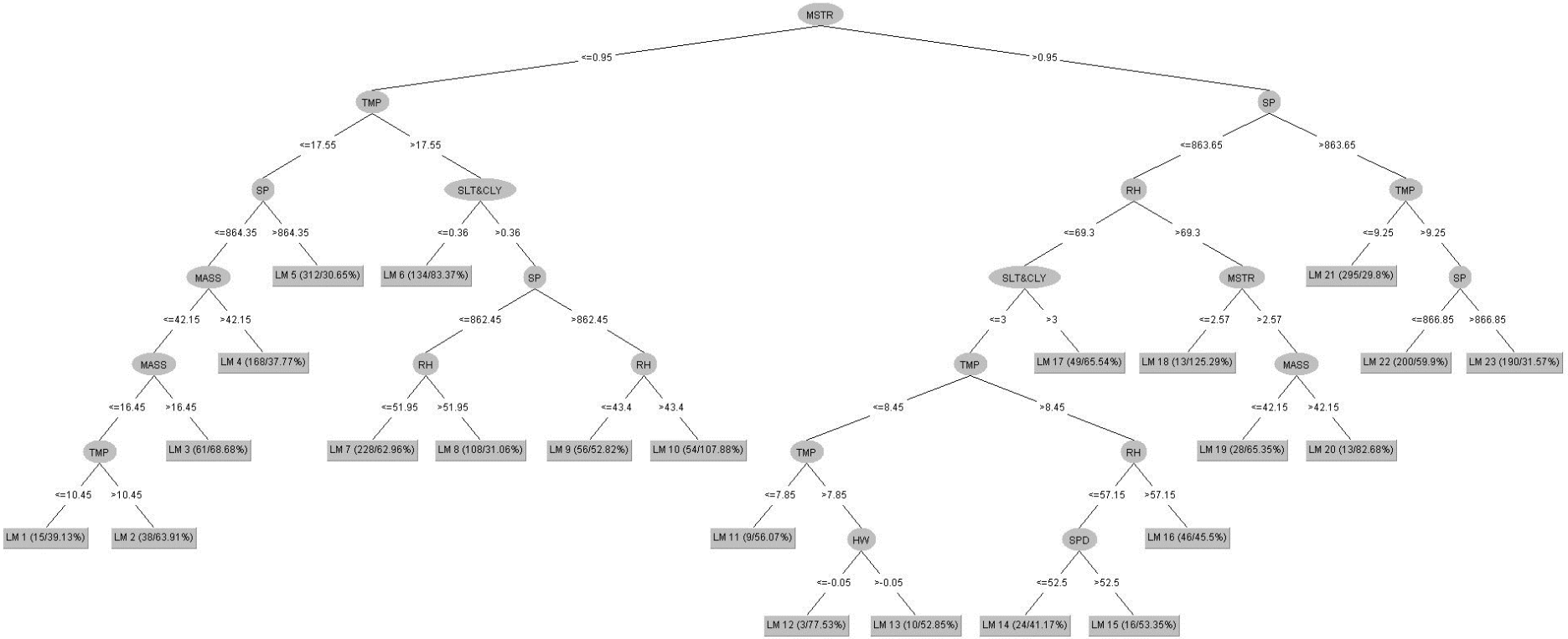
Şekil EK-1.48 Kalker işletmesi (A) taşıma faaliyeti log(PM_1) karar ağacı



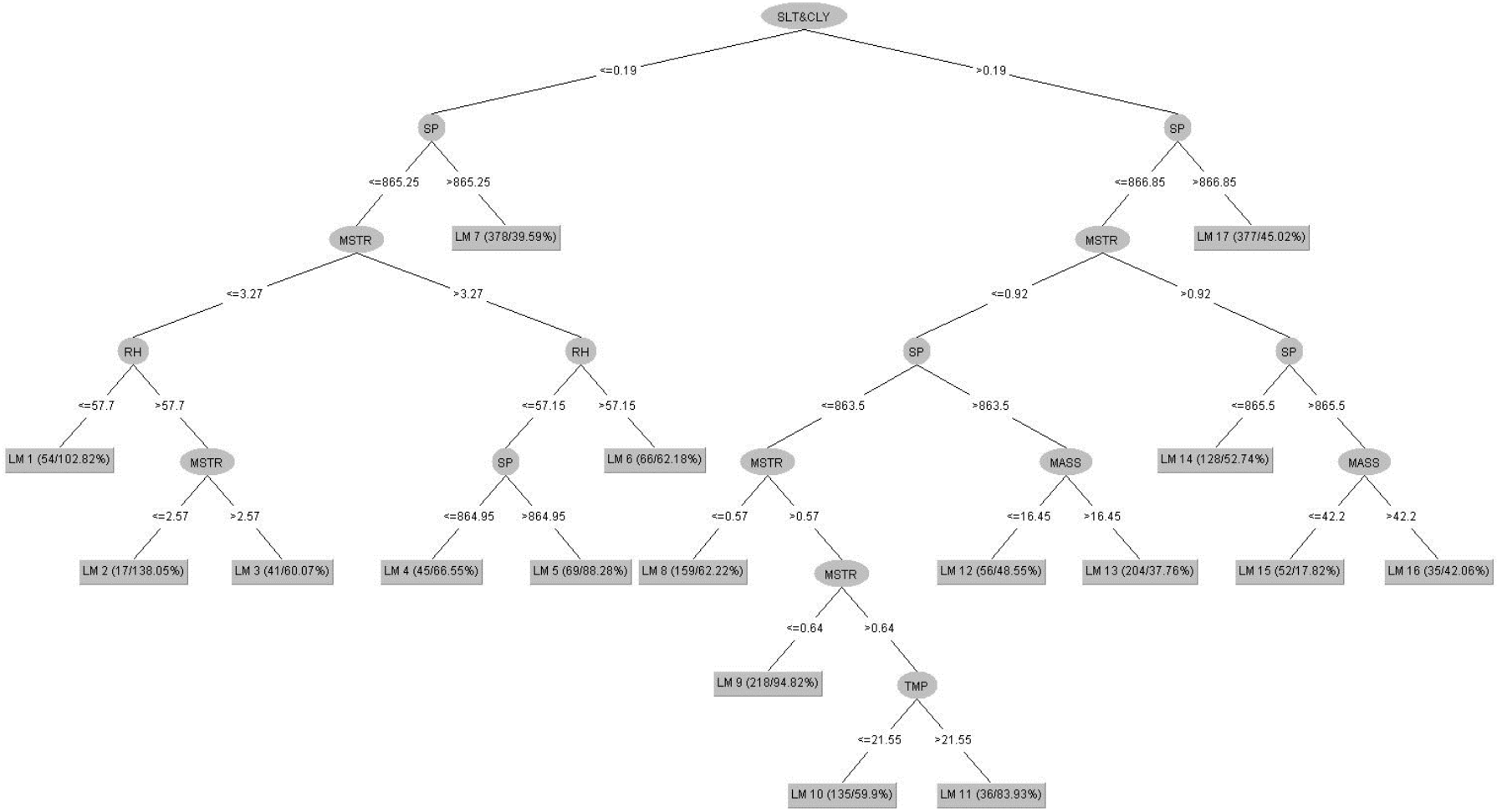
Şekil EK-1.49 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı



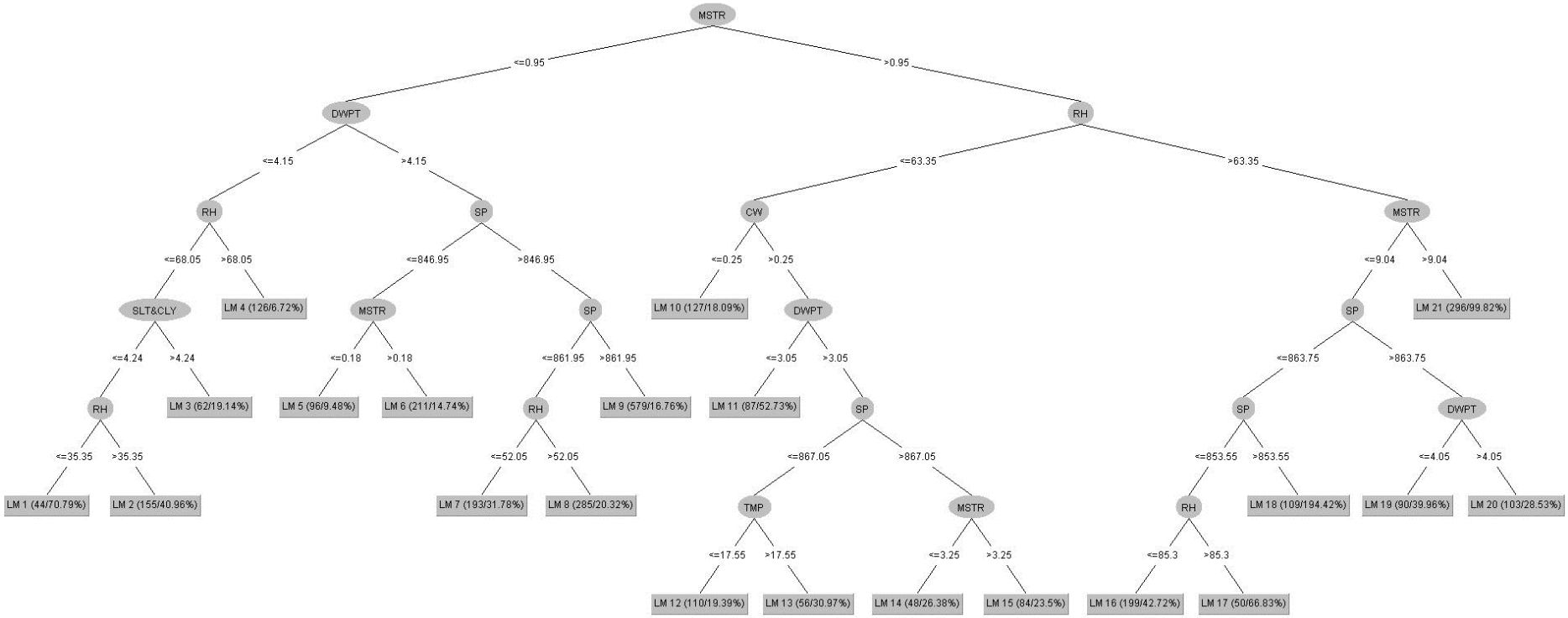
Şekil EK-1.50 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı



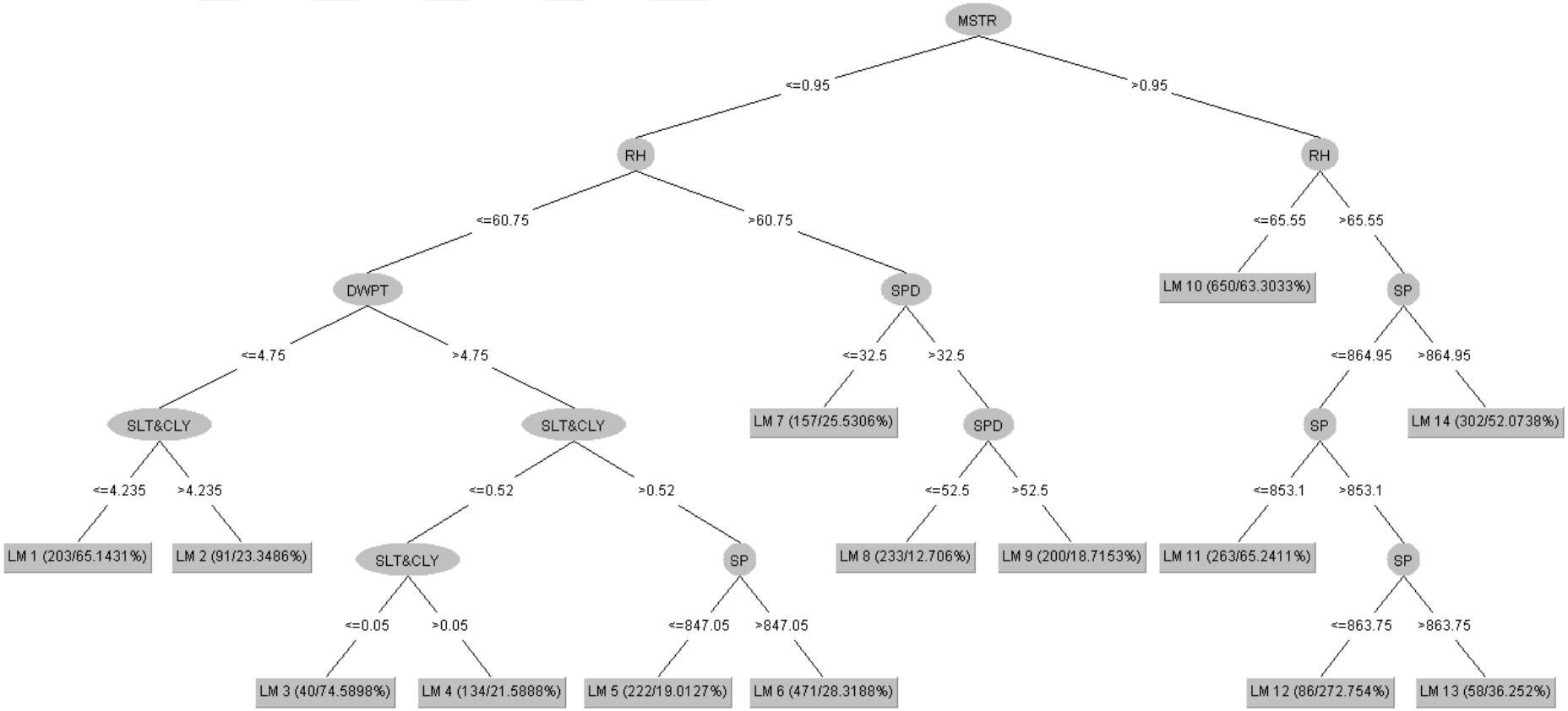
Şekil EK-1.51 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı



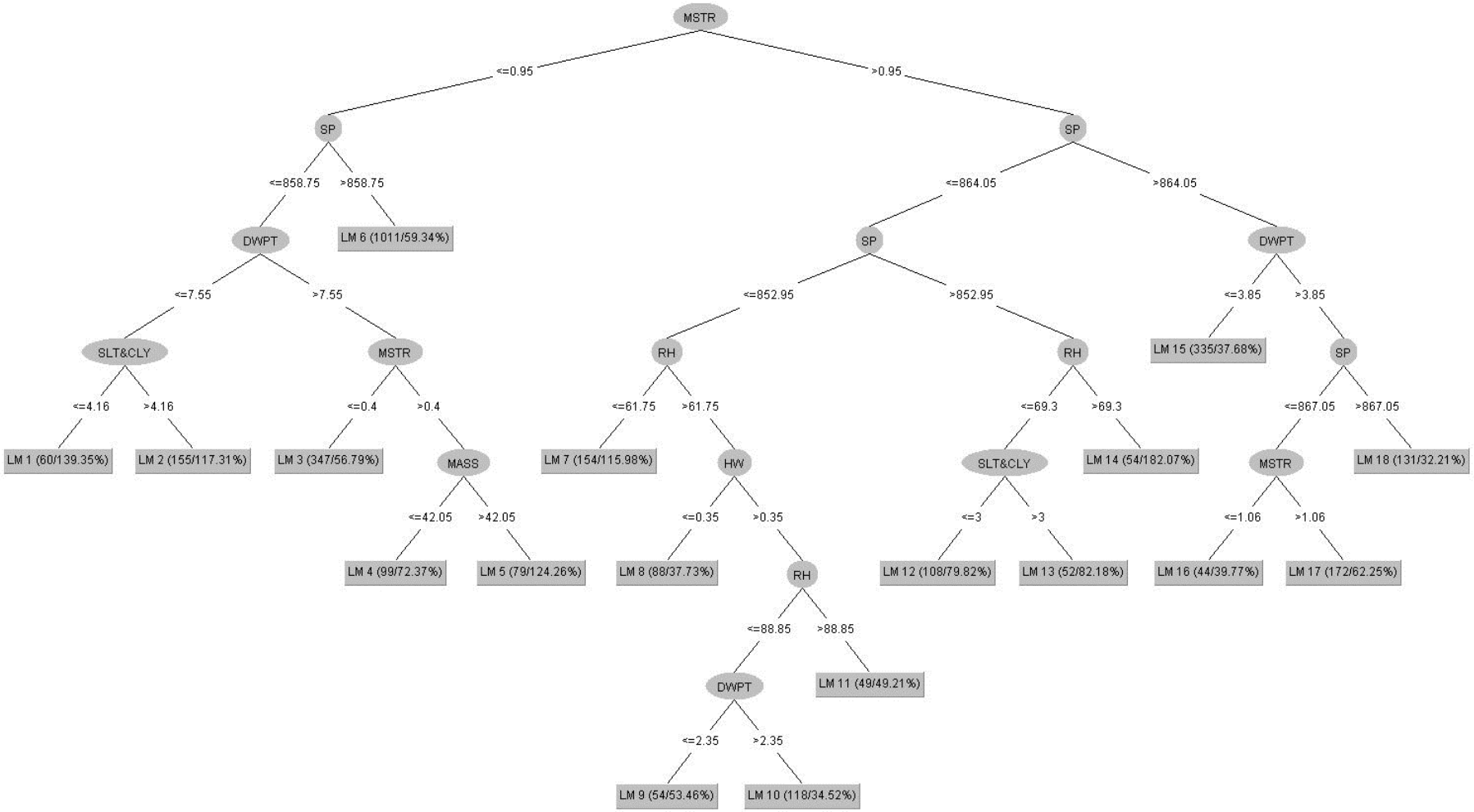
Şekil EK-1.52 Kalker işletmesi (B) taşıma faaliyeti 1/PM_1 karar ağacı



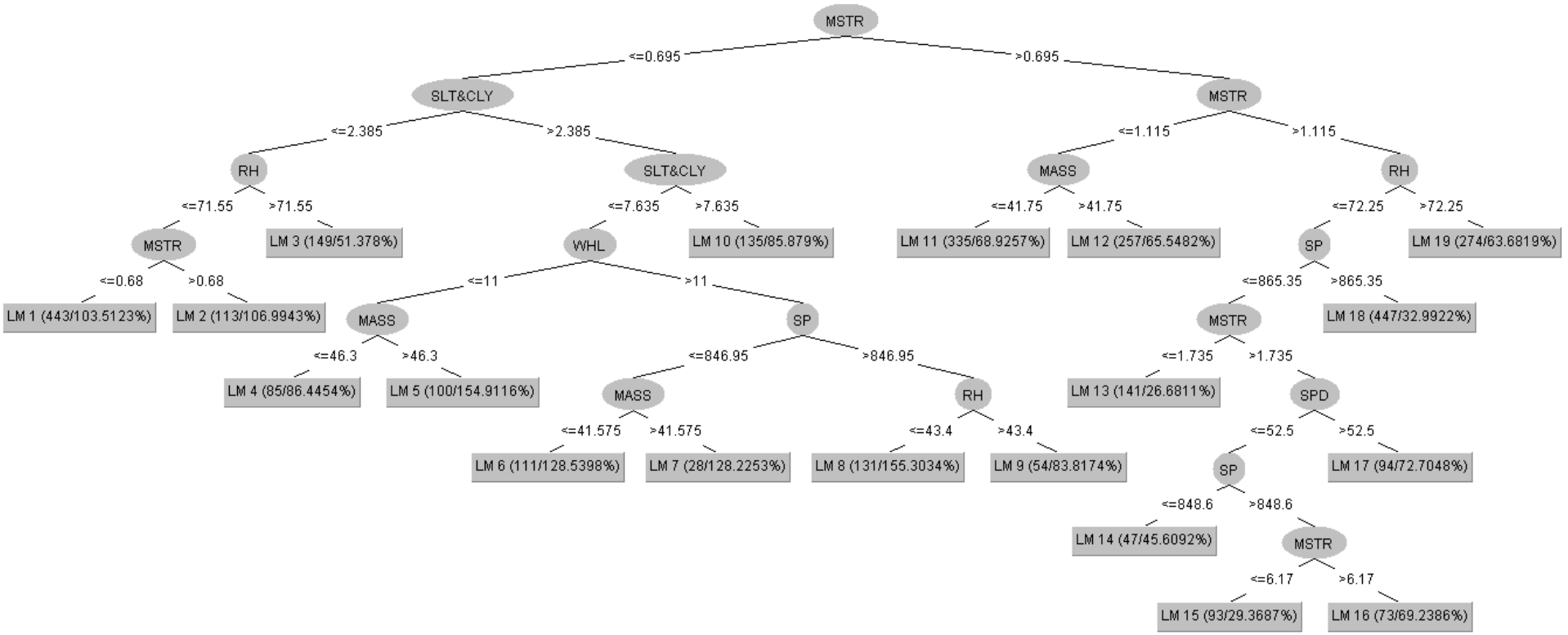
Şekil EK-1.53 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı



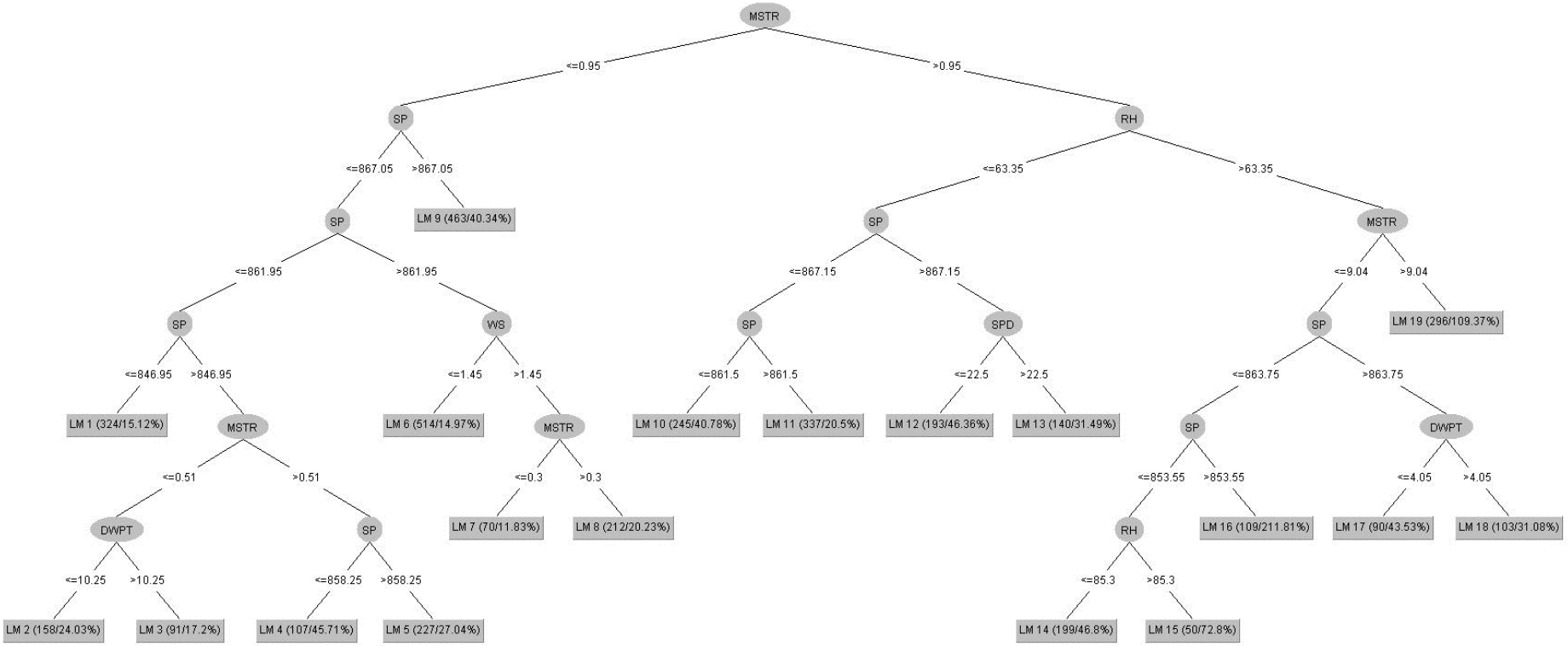
Şekil EK-1.54 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı



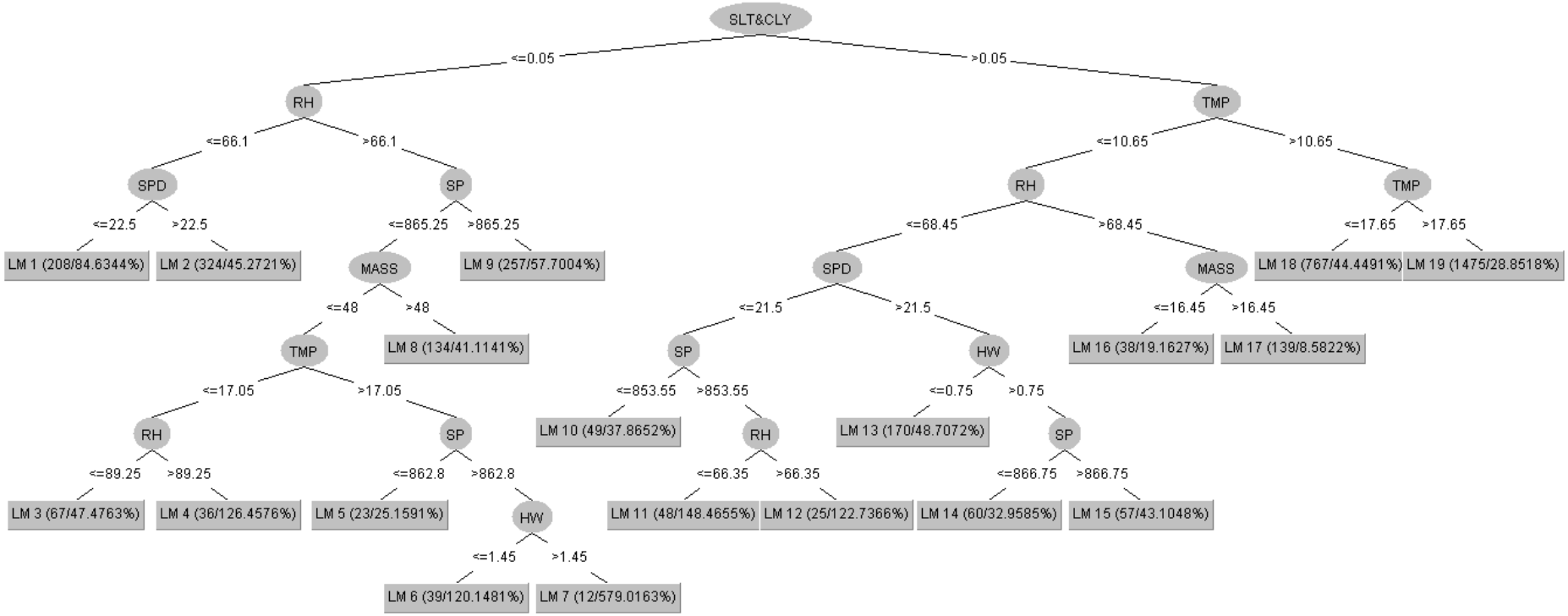
Şekil EK-1.55 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı



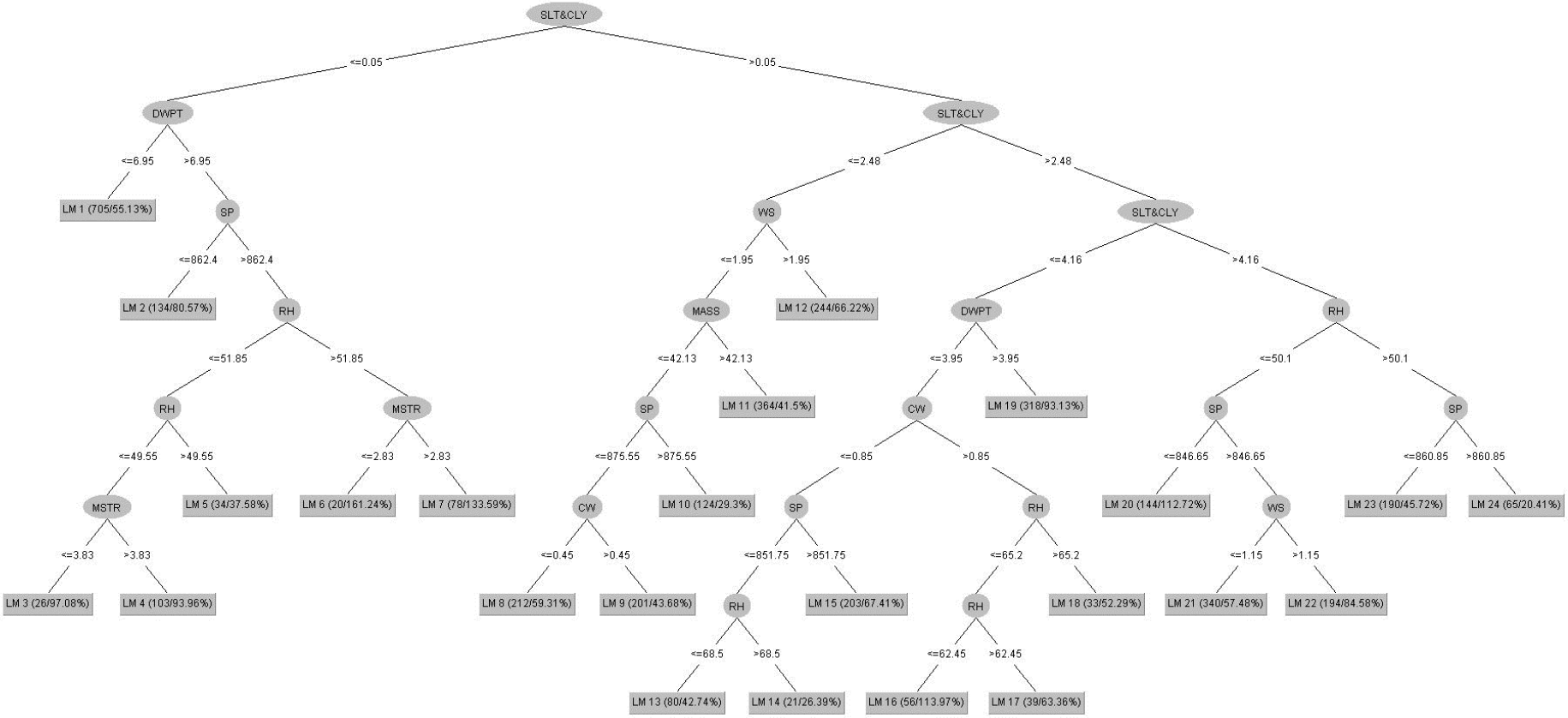
Şekil EK-1.56 Kalker işletmeleri taşıma faaliyeti log(PM_1) karar ağacı



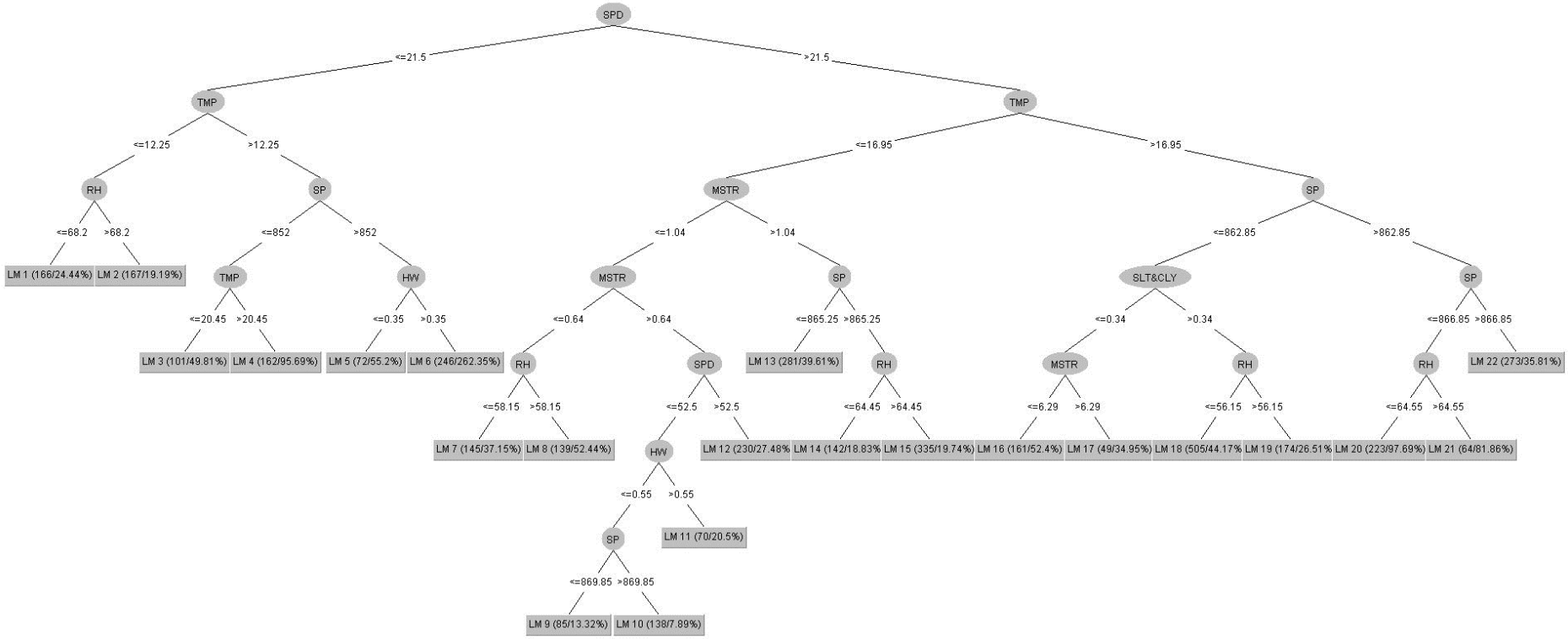
Şekil EK-1.57 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/TAPM karar ağacı



Şekil EK-1.58 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/PM_{10} karar ağacı



Şekil EK-1.59 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti 1/$PM_{2,5}$ karar ağacı



Şekil EK-1.60 Tüm işletmelerin taşıma faaliyeti $1/PM_1$ karar ağacı