



**T.C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLLERİNİN SERAMİK
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İbrahim EROĞAN
(20169210001)**

**Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hülya KURŞUN**

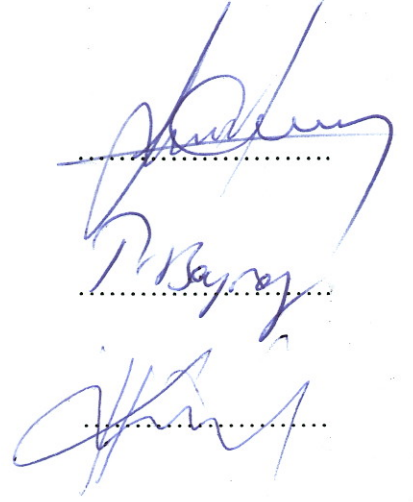
**SIVAS
NİSAN 2019**

İbrahim ERDOĞAN'ın hazırladığı ve “**TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLLERİNİN SERAMİK ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Doç. Dr. Hülya KURŞUN**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğretim Üyesi Tahsin BOYRAZ**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi **Dr. Öğretim Üyesi İsrail KÜÇÜK**
Bursa Teknik Üniversitesi



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

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

*Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından **M-698** Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.*

Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

©İbrahim EROĞAN, 2019

ETİK

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

- ✓ 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.

11.02.2019

İbrahim ERDOĞAN

ÖZET

TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLLERİNİN SERAMİK ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İbrahim ERDOĞAN

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr.Hülya KURŞUN

2019, 183+xxii sayfa

Uçucu kül, cüruf ve baca gazı gibi atık ürünler, büyük kapasiteli termik santrallerde kömürün yakılması sonucu üretilmektedir. Çevresel sorunlara ek olarak, atıklar birçok durumda depolanması gerektiğinden ekstra maliyete neden olmaktadır. Bununla birlikte, atık maddelerin bazıları değerlidir ve katma değerli ürünlerin üretiminde kullanılabilirlerdir. Uçucu küller endüstriyel atık olarak geri kazanılmaya elverişli bir malzeme olduğundan farklı sektörlerde değerlendirilme olanaklarına sahiptirler.

Bu çalışmada, farklı bölgelerde ki termik santrallerden (Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali, Afşin-Elbistan A Termik Santrali, Ankara Çayırhan Termik Santrali, Sivas Kangal Termik Santrali) temin edilen uçucu küllerin kimyasal, fiziksel, morfolojik gibi özellikleri de göz önünde bulundurularak seramik üretiminde (tuğla, karo, sağlık gereçleri, porselen vb) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Temin edilen bu uçucu küller, seramik ürününe farklı oranlarda ilave edilerek, üretilmiş numunelerde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir.

Çalışmamızda, işletmelerden alınan seramik ürünlerin çamur hammaddelerinin kimyasal analizleri (XRF), termik santrallerden temin edilen uçucu küllerin kimyasal analizleri (XRF), mineralojik analizleri (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri tespit edilmiştir. Uçucu kül ve çamur hammaddelerinin her birinin ayrı ayrı öğütme işlemlerinin ardından, belirlenen uçucu kül katkı oranları ile (%0, %15, %30) karıştırılıp preslendikten sonra şekillendirme işlemi yapılmıştır. Elde

edilen seramik ürünler, belirlenen sıcaklıklarda (tuğlalarda 800 °C , 900 °C , 1000 °C , diğer ürünlerde 1000 °C , 1050 °C , 1150 °C) sinterlenmiş ve sırlama işlemi yapılmıştır (karo, porselen, vitrifiye). Sinterlenen numunelere fiziksel testler (kuruma, pişme ve toplu küçülme, ağırlık kaybı, porozite ve yoğunluk testleri, su emme testleri), mekanik testler, ısı iletkenlik katsayısı belirleme testi, donma çözülme testi, renk analiz testleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji yayımlı X-ışını analizi (EDX), termogravimetrik ve diferansiyel termal analizleri (TG-DTA) yapılmıştır.

Dünyada uçucu kül, termik santraller tarafından önemli bir ekonomik ve çevresel sorun oluşturan atık olarak üretilmektedir. Çalışmamızda, uçucu kül kullanımının çevre ve sanayinin sürdürülebilirliği için uzun vadede önemli olduğu görülmüştür. Seramik sektöründe kullanılması ile de ülke ekonomisine yüksek katma değerler temin edeceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Uçucu kül, seramik ürünler, karakterizasyon.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF THERMAL POWER PLANT FLY ASHES IN CERAMIC PRODUCTION

İbrahim ERDOĞAN

Master of Science Thesis, Department Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hülya KURŞUN

2019, 183+xxii pages

Waste products such as fly ash, slag and flue gas are produced by burning coal in large capacity plants. In addition to environmental problems, wastes cause extra costs as they must be stored in many cases. However, some of the waste materials are valuable and can be used in the production of In value added products. As fly ash is a material that can be used as industrial waste, it has the possibility to be evaluated in different sectors.

In this study, considering the chemical, physical and morphological characteristics of fly ash, which are obtained from thermal power plants in different regions (Zonguldak Çatal Ağız Thermal Power Plant, Afşin Elbistan A Thermal Power Plant, Ankara Çayırhan Thermal Power Plant, Sivas Kangal Thermal Power Plant), in ceramic production (brick, tile, sanitary ware, porcelain, etc). These fly ash was added to the ceramic product in different proportions and the changes in the produced samples were examined. Chemical analyzes of the sludge raw materials (XRF), chemical analysis of fly ash (XRF), mineralogical analysis (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) analysis were obtained. After separate grinding operations of each fly ash and sludge raw materials, with the determined fly ash addition rates (0%, 15%, 30%) were mixed and pressed after the forming process was made. The ceramic products obtained were sintered at the determined temperatures (800°C , 900°C , 1000°C in bricks, 1000°C in other products, 1050°C , 1150°C) and glazing (tile, porcelain, sanitary ware). Physical tests for sintered samples (drying, cooking and bulk shrinkage, weight loss, porosity and density tests, water absorption tests), mechanical tests, thermal conductivity coefficient determination test, freeze dissolution test, color analysis tests,

scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive x-ray spectroscopy (EDX), thermogravimetric and differential thermal analyzes (TG-DTA) were performed.

In the world, fly ash is produced by thermal power plants as an important economic and environmental problem. In our study, the use of fly ash has been found to be important in the long term for the sustainability of the environment and industry. It is thought that it will provide high added value to the national economy in the use in the ceramic sector.

Key words: Fly ash, ceramic products, characterization.

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca yardımını hiçbir zaman benden eksik etmeyen, teknik deneyimi ve hayata dair tecrübesiyle, ilerlemem için her zaman sonsuz destek veren ve çaba gösteren sevgili hocam Doç. Dr. Hülya KURŞUN 'a, laboratuvar olanaklarından yararlanmamı sağlayan değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BOYRAZ ve Araş. Gör. Umut ÖNEN e, maddi ve manevi destekleriyle her zaman arkamda duran, kimliğimi, kişiliğimi ve olmak istediğim yeri belirlememde sonsuz çaba göstererek yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
TEŞEKKÜR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
SİMGELER DİZİNİ	xxii
KISALTMALAR DİZİNİ	xxiv
1. GİRİŞ	1
2. UÇUCU KÜL	4
2.1. Uçucu Külün Tanımı ve Tarihçesi.....	4
2.2. Uçucu Külün Özellikleri.....	5
2.2.1. Uçucu külün fiziksel özellikleri.....	6
2.2.2. Uçucu külün kimyasal özellikleri.....	8
2.2.3. Uçucu külün morfolojik ve minerolojik özellikleri.....	9
2.3. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması.....	14
2.3.1. U.K'lerin elde edildiği kömür cinsine göre sınıflandırılmaları.....	14
2.3.2. U.K'lerin TS EN 197-1 ve ASTM C618'e göre sınıflandırılmaları.....	14
2.3.3. Uçucu küllerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmaları.....	15
2.4. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları.....	15
2.4.1. Uçucu küllerin çimento ve beton üretiminde kullanımı.....	16
2.4.2. Uçucu küllerden gaz beton üretimi.....	17
2.4.3. Uçucu küllerin agrega olarak kullanımı.....	17
2.4.4. Uçucu küllerin tuğla yapımında kullanımı.....	18
2.4.5. Uçucu küllerin kerpiç yapımında kullanımı.....	18
2.4.6. Uçucu küllerin seramik ve cam üretiminde kullanımı.....	18
2.4.7. Uçucu küllerin diğer kullanım alanları.....	19
2.5. Türkiye ve Dünya'da ki Termik Santraller ve Uçucu Kül Üretimi.....	19
3. SERAMİK	22
3.1. Seramiğin Tanımı.....	22
3.2. Seramik Malzemelerin Özellikleri.....	22
3.2.1. Seramik malzemelerin fiziksel özellikler.....	22
3.2.2. Seramik malzemelerin kimyasal özellikler.....	23
3.2.3. Seramik malzemelerin elektriksel özellikleri.....	23
3.2.4. Seramik malzemenin manyetik özellikleri.....	23
3.2.5. Seramik malzemenin termal özellikleri.....	23
3.2.6. Seramik malzemenin mekanik özellikleri.....	26
3.3. Seramik Üretim Prosesi.....	24
3.3.1. Hammadde ve hazırlanması.....	25
3.3.2. Şekillendirme.....	27
3.3.2.1 Slip döküm.....	28
3.3.2.2 Kuru presleme.....	30
3.3.2.3 Ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirme.....	31
3.3.2.4 Enjeksiyon kalıplama ile şekillendirme.....	32

3.3.2.5 İzostatik presleme	33
3.3.2.6 Sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme	34
3.3.2.7 Şerit (tape) döküm.....	34
3.3.3. Seramiklerde kurutma işlemi	35
3.3.4. Seramiklerde sırlama işlemi.....	37
3.3.5. Seramiklerde pişirim işlemi	39
3.4. Seramik Ürünlerin Üretimi	42
3.4.1. Tuğla üretimi.....	42
3.4.2. Vitrifiye üretimi	45
3.4.3. Karo üretimi	47
3.4.4. Porselen üretimi	50
3.5. Seramik Sektörü	53
3.5.1. Türkiye seramik kaplama malzemeleri sektörü	54
3.5.2. Türkiye seramik sağlık gereçleri sektörü	54
3.5.3. Türkiye seramik sofr ve süs eşyası sektörü.....	55
3.5.4. Türkiye refrakter sektörü.....	56
3.5.5. Türkiye teknik seramik sektörü.....	56
3.5.6. Türkiye tuğla ve kiremit sektörü	57
3.6. Seramik Sektöründe Uçucu Külün Kullanımı.....	57
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	64
4.1. Kullanılan Malzemeler.....	64
4.1.1. Uçucu küller	64
4.1.1.1. Kimyasal analiz sonuçları	64
4.1.1.2. Minerolojik analiz sonuçları	65
4.1.1.3. Morfolojik analiz sonuçları.....	66
4.1.1.4. Özgül ağırlık ve partikül boyutu	72
4.1.1.5. Deneylerde kullanılan uçucu küllerin DTA-TG eğrileri.....	73
4.1.2. Tuğla, vitrifiye, karo ve porselen çamuru özellikleri.....	75
4.2. Numunelerin Hazırlanması	80
4.3. Numunelere Uygulanan Test ve Deneyler	85
4.3.1 Fiziksel test ve deneyler.....	85
4.3.1.1. Yoğunluk, porozite ve su emme testleri.....	85
4.3.1.2. Kuru pişme ve toplam küçülme testleri	87
4.3.1.3. Renk analizi.....	87
4.3.2. Mukavemet testi.....	88
4.3.3. Termal özellikler	89
4.3.3.1 Termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz(TG-DTA) ..	89
4.3.3.2 Isı iletkenlik katsayısı belirleme testi.....	90
4.3.4 Donma çözülme testi.....	90
4.3.5 X Işını difraksiyonu (XRD) analizi.....	90
4.3.6 SEM mikroyapı ve EDS Analizi	91
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	93
5.1. Su emme, porozite ve yoğunluk testleri sonuçları	93
5.2. Kuruma, pişme ve toplam küçülme testleri sonuçları.....	98
5.3. Renk analiz testleri sonuçları	114
5.4 Mukavemet testi sonuçları	117
5.5 Isı iletkenlik katsayısı belirleme testi sonuçları	132
5.6. Donma çözülme testi sonuçları	132
5.7. X Işınları difraksiyon analiz sonuçları	133
5.8. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji yayımlı X-ışını analiz	

(EDS) sonuçları	151
5.8.1. Karo numunelerine ait SEM ve EDS analiz sonuçları	151
5.8.2. Porselen numunelerine ait SEM ve EDS analiz sonuçları	157
5.8.3. Vitrikiye numunelerine ait SEM ve EDS analiz sonuçları	162
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	170
KAYNAKLAR	174
ÖZGEÇMİŞ.....	183

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Orhaneli termik santral uçucu külünün mineralojik bileşimine ait X-ışınları difraktogramı.....	12
Şekil 2.2	Orhaneli termik santral uçucu külünün morfolojik görüntüsü...	13
Şekil 3.1	Boşaltma döküm yönteminin şematik görünümü.....	30
Şekil 3.2	Kuru presleme yönteminin şematik görünümü.....	31
Şekil 3.3	Ekstürizyon sisteminin şematik olarak görünümü.....	32
Şekil 3.4	Enjeksiyon kalıpta şekillendirme.....	33
Şekil 3.5	İzostatik presleme.....	33
Şekil 3.6	Sıcak izostatik presleme	34
Şekil 3.7	Şerit döküm.....	35
Şekil 3.8	Bourry kuruma diyagramı.....	36
Şekil 3.9	Tuğla üretim prosesi	42
Şekil 3.10	Ekstrüzyonda tuğla üretimi ve kesilmesi.....	44
Şekil 3.11	Sağlık gereçleri üretim akış şeması.....	46
Şekil 3.12	Sırlı porselen karo üretimi akış şeması.....	48
Şekil 3.13	Presleme aşamasında granüllerin şekil değiştirmesinin şematik gösterimi.....	49
Şekil 3.14	Yer, duvar karosu ve sırlı granit üretimlerine ait genel akım şeması.....	50
Şekil 4.1	Çatalağzı termik santrali uçucu külü XRD sonucu.....	65
Şekil 4.2	Çayırhan termik santrali uçucu külü XRD sonucu.....	65
Şekil 4.3	Kangal termik santrali uçucu külü XRD sonucu.....	66
Şekil 4.4	Afşin termik santrali uçucu külü XRD sonucu.....	66
Şekil 4.5	Çatalağzı uçucu külünün yüzey yapısına ait fotoğraflar.....	67
Şekil 4.6	Çatalağzı uçucu külünün mikroyapısı.	68
Şekil 4.7	Çayırhan uçucu külünün mikroyapısı	68
Şekil 4.8	Çayırhan uçucu külünün kristal yapısı.....	69
Şekil 4.9	Kangal uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraflar.....	70
Şekil 4.10	Kangal uçucu külünün mikroyapısı.....	70
Şekil 4.11	Kangal uçucu külündeki kristaller.....	70
Şekil 4.12	Afşin-Elbistan uçucu külünün morfolojik yapısına ait mikrofotoğraflar.....	71
Şekil 4.13	Afşin-Elbistan uçucu külünün kristal yapısı.....	72
Şekil 4.14	Çatalağzı termik santrali uçucu külü DTA-TG eğrisi.....	73
Şekil 4.15	Çayırhan termik santrali uçucu külü DTA-TG eğrisi.....	74
Şekil 4.16	Kangal termik santrali uçucu külü DTA-TG eğrisi.....	74
Şekil 4.17	Afşin termik santrali uçucu külü DTA-TG eğrisi.....	74
Şekil 4.18	Tuğla masse XRD analizi sonuçları.....	76
Şekil 4.19	Vitrifiye masse XRD analizi sonuçları.....	76
Şekil 4.20	Karo masse XRD analizi sonuçları.....	76
Şekil 4.21	Porselen XRD analizi sonuçları.....	77
Şekil 4.22	Tuğla masse DTA-TG eğrisi.....	77
Şekil 4.23	Vitrifiye masse DTA-TG eğrisi.....	78
Şekil 4.24	Karo masse DTA-TG eğrisi.....	79
Şekil 4.25	Porselen masse DTA-TG eğrisi.....	80
Şekil 4.26	Deneysel çalışmalarda kullanılan etüv.....	81
Şekil 4.27	Deneysel çalışmalarda kullanılan hassas terazi	81

Şekil 4.28	Deneysel çalışmalarda kullanılan bilyalı değirmen.....	83
Şekil 4.29	Deneysel çalışmalarda kullanılan kalıp.....	83
Şekil 4.30	Deneysel çalışmalarda kullanılan fırın.....	84
Şekil 4.31	Sinterlenmiş numuneler.....	84
Şekil 4.32	Sırlanmış numuneler.....	85
Şekil 4.33	Archimed deney düzeneği.....	86
Şekil 4.34	Minolta CR-300 X-Rite renk analiz cihazı.....	88
Şekil 4.35	Üç nokta eğme test cihazı.....	88
Şekil 4.36	Diferansiyel taramalı kalorimetri cihazı.....	89
Şekil 4.37	Isıl iletkenlik katsayısı belirleme cihazı.....	90
Şekil 4.38	Rigaku D-max XRD cihazı.....	91
Şekil 4.39	Quorum Q150R ES Sputter Coater (Au-Pd) marka kaplama cihazı.....	92
Şekil 4.40	Taramalı elektron mikroskobu cihazı.....	92
Şekil 5.1	800 °C de pişirilen tuğla numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	99
Şekil 5.2	800 °C de pişirilen tuğla numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	99
Şekil 5.3	900 °C de pişirilen tuğla numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	100
Şekil 5.4	900 °C de pişirilen tuğla numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	100
Şekil 5.5	1000 °C de pişirilen tuğla numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	101
Şekil 5.6	1000 °C de pişirilen tuğla numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	101
Şekil 5.7	1050 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	103
Şekil 5.8	1050 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	103
Şekil 5.9	1100 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	104
Şekil 5.10	1100 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	104
Şekil 5.11	1150 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	105
Şekil 5.12	1150 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	105
Şekil 5.13	1050 °C de pişirilen karo numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	107
Şekil 5.14	1050 °C de pişirilen karo numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	107
Şekil 5.15	1100 °C de pişirilen karo numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	108
Şekil 5.16	1100 °C de pişirilen karo numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	108
Şekil 5.17	1100 °C de pişirilen karo numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	109
Şekil 5.18	1100 °C de pişirilen karo numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	109

Şekil 5.19	1050 °C de pişirilen Porselen numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	111
Şekil 5.20	1050 °C de pişirilen porselen numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	111
Şekil 5.21	1100 °C de pişirilen porselen numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	112
Şekil 5.22	1100 °C de pişirilen porselen numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	112
Şekil 5.23	1150 °C de pişirilen porselen numunelerinin, uçucu kül-boyca küçülme grafiği.....	113
Şekil 5.24	1150 °C de pişirilen porselen numunelerinin, uçucu kül-ağırlıkça küçülme grafiği.....	114
Şekil 5.25	Katkısız tuğla numunelerinin mukavemet-sıcaklık grafiği.....	119
Şekil 5.26	%15 katkılı tuğla numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	119
Şekil 5.27	%30 katkılı tuğla numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	119
Şekil 5.28	Katkısız vitrifiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	121
Şekil 5.29	%15 katkılı vitrifiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	121
Şekil 5.30	%30 katkılı vitrifiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	121
Şekil 5.31	Katkısız sırlı vitrifiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	123
Şekil 5.32	%15 katkı sırlı vitrifiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	123
Şekil 5.33	%30 Katkı sırlı vitrifiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	123
Şekil 5.34	Katkısız karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	125
Şekil 5.35	%15 katkı karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği...	125
Şekil 5.36	%30 katkılı karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	125
Şekil 5.37	Sırlı katkısız karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	127
Şekil 5.38	%15 katkı sırlı karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	127
Şekil 5.39	%30 katkı sırlı karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	127
Şekil 5.40	Katkısız porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	129
Şekil 5.41	%15 katkılı porslen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	129
Şekil 5.42	%30 katkı porslen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	129
Şekil 5.43	Sırlı katkısız porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	131
Şekil 5.44	%15 katkılı sırlı porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	131

Şekil 5.45	%30 katkılı sırlı porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği.....	131
Şekil 5.46	Donma çözülme testine tabi tutulan tuğla numuneleri.....	133
Şekil 5.47	Karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.....	134
Şekil 5.48	%30 AFŞ katkılı karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.....	134
Şekil 5.49	%30 ÇAT katkılı karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.....	135
Şekil 5.50	%30 ÇAY katkılı karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.....	136
Şekil 5.51	%30 KAN katkılı karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.....	136
Şekil 5.52	%30 AFŞ, ÇAT, ÇAY, KAN katkılı ve K0 (katkısız) 1050 ve 1150 °C de pişmiş karo numunelerinin XRD paternleri.....	137
Şekil 5.53	Porselen numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.....	138
Şekil 5.54	%30 AFŞ katkılı porselen numunelerine ait XRD paternleri.....	139
Şekil 5.55	%30 ÇAT katkılı porselen numunelerine ait XRD paternleri.....	139
Şekil 5.56	%30 ÇAY katkılı porselen numunelerine ait XRD paternleri.....	140
Şekil 5.57	%30 KAN katkılı porselen numunelerine ait XRD paternleri.....	141
Şekil 5.58	%30 AFŞ, ÇAT, ÇAY, KAN katkılı ve P0 (katkısız) 1050 ve 1150 °C de pişmiş porselen numunelerinin XRD paternleri.....	142
Şekil 5.59	Tuğla numunelerine ait numunelerin (T0: tuğla hammadde, T0-800:katkısız 800 °C de pişmiş tuğla numunesi, T0-1000: katkısız 1000 °C de pişmiş tuğla numunesi) XRD paternleri.....	143
Şekil 5.60	%30 AFŞ katkılı tuğla numunelerine ait numunelerin (T30AFŞ800: %30 AFŞ katkılı 800 °C de pişmiş numune, T30AFŞ1000: %30 AFŞ katkılı 1000 oC de pişmiş numune, T0-800: katkısız 800 °C de pişmiş tuğla numunesi, T0-1000: katkısız 1000 °C de pişmiş tuğla numunesi) XRD paternleri.....	144
Şekil 5.61	%30 ÇAT katkılı tuğla numunelerine ait numunelerin (T30ÇAT800: %30 ÇAT katkılı 800 °C de pişmiş numune, T30ÇAT1000: %30 ÇAT katkılı 1000 °C de pişmiş numune, T0-800: katkısız 800 °C de pişmiş tuğla numunesi, T0-1000: katkısız 1000 °C de pişmiş tuğla numunesi) XRD paternleri.....	144
Şekil 5.62	%30 ÇAY katkılı tuğla numunelerine ait numunelerin (T30ÇAY800: %30 ÇAY katkılı 800 °C de pişmiş numune, T30ÇAY1000: %30 ÇAY katkılı 1000 oC de pişmiş numune, T0-800: katkısız 800 °C de pişmiş tuğla numunesi, T0-1000: katkısız 1000 °C de pişmiş tuğla numunesi) XRD paternleri...	145
Şekil 5.63	%30 KAN katkılı karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.....	146
Şekil 5.64	%30 AFŞ, ÇAT, ÇAY, KAN katkılı ve T0 (katkısız) 800 ve 1000 °C de pişmiş tuğla numunelerinin XRD paternleri.....	146
Şekil 5.65	Vitrifiye numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.....	147
Şekil 5.66	%30 AFŞ katkılı vitrifiye numunelerine ait XRD paternleri.....	147
Şekil 5.67	%30 ÇAT katkılı vitrifiye numunelerine ait XRD paternleri.....	148
Şekil 5.68	%30 ÇAY katkılı vitrifiye numunelerine ait XRD paternleri.....	149

Şekil 5.69	%30 KAN katkılı vitrifiye numunelerinin XRD paternleri.....	149
Şekil 5.70	%30 AFŞ, ÇAT, ÇAY, KAN katkılı ve V0 (katkısız) 1050 ve 1150 °C de pişmiş vitrifiye numunelerinin XRD paternleri.....	150
Şekil 5.71	Katkısız Karo numunelerinin SEM görüntüleri.....	152
Şekil 5.72	Katkısız Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	152
Şekil 5.73	%30 Afşin uçucu kül katkılı Karo numunelerinin SEM görüntüleri.....	153
Şekil 5.74	%30 Afşin uçucu kül katkılı Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	153
Şekil 5.75	%30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Karo numunelerinin SEM görüntüleri.....	154
Şekil 5.76	%30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	154
Şekil 5.77	%30 Çayırhan uçucu kül katkılı Karo numunelerinin SEM görüntüleri.....	155
Şekil 5.78	%30 Çayırhan uçucu kül katkılı Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	155
Şekil 5.79	%30 Kangal uçucu kül katkılı Karo numunelerinin SEM görüntüleri.....	156
Şekil 5.80	%30 Kangal uçucu kül katkılı Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	156
Şekil 5.81	Katkısız Porselen numunelerinin SEM görüntüleri.....	157
Şekil 5.82	Katkısız Porselen numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	157
Şekil 5.83	%30 Afşin uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin SEM görüntüleri.....	158
Şekil 5.84	%30 Afşin uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	158
Şekil 5.85	%30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin SEM görüntüleri.....	159
Şekil 5.86	%30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Porselen numuneleri EDS analiz sonuçları.....	159
Şekil 5.87	%30 Çayırhan uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin SEM görüntüleri.....	160
Şekil 5.88	%30 Çayırhan uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin EDS analizi.....	160
Şekil 5.89	%30 Kangal uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin SEM görüntüleri.....	161
Şekil 5.90	%30 Kangal uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	162
Şekil 5.91	Katkısız Vitrifiye numunelerinin SEM görüntüleri.....	162
Şekil 5.92	Katkısız Vitrifiye numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	162
Şekil 5.93	%30 Afşin uçucu kül katkılı Vitrifiye numunelerinin SEM görüntüleri.....	163
Şekil 5.94	%30 Afşin uçucu kül katkılı Vitrifiye numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	163
Şekil 5.95	%30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Vitrifiye numunelerinin SEM görüntüleri.....	164
Şekil 5.96	%30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Vitrifiye numunelerinin EDS analizi.....	164

Şekil 5.97	%30 Çayırhan uçucu kül katkılı Vitrifiye numunelerinin SEM görüntüleri.....	165
Şekil 5.98	%30 Çayırhan uçucu kül katkılı Vitrifiye numunelerinin EDS analizi.....	165
Şekil 5.99	%30 kangal uçucu kül katkılı Vitrifiye numunelerinin SEM görüntüleri.....	166
Şekil 5.100	%30 kangal uçucu kül katkılı Vitrifiye numunelerinin EDS analiz sonuçları.....	167
Şekil 5.101	Karo numunelerine ait 10.000X büyütmedeki katkısız ve %30 uçucu kül katkılı numunelerinin 1050 ve 1150 oC ler de Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri.....	167
Şekil 5.102	Porselen numunelerine ait 10.000X büyütmedeki katkısız ve %30 uçucukül katkılı numunelerinin 1050 ve 1150 oC ler de Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri.....	168
Şekil 5.103	Vitrifiye numunelerine ait 10.000X büyütmedeki katkısız ve %30 uçucu kül katkılı numunelerinin 1050 ve 1150 oC ler de Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüeri	169

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Taban ve uçucu küllerinin fiziksel özellikleri	7
Çizelge 2.2	Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal bileşimleri ve standartları	9
Çizelge 2.3	Türkiye’deki bazı termik santral uçucu küllerinin mineralojik bileşimleri.....	11
Çizelge 2.4	Ülkemizde bulunan bazı termik santral küllerinin kimyasal analiz sonuçları	21
Çizelge 3.1	Seramik şekillendirme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları	27
Çizelge 4.1	Hammaddelerin kimyasal analiz sonuçları	64
Çizelge 4.2	Uçucu kül numunelerinin özgül ağırlık ve incelik sonuçları.....	72
Çizelge 4.3	Deneylerde kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri.....	75
Çizelge 4.4	Numunelerin oluşturulmuş reçeteleri	82
Çizelge 5.1	Tuğla numunelerine ait su emme, porozite ve yoğunluk testleri.....	93
Çizelge 5.2	Vitrifiye numunelerine ait su emme, porozite ve yoğunluk testleri	95
Çizelge 5.3	Karo numunelerine ait su emme, porozite ve yoğunluk testleri	96
Çizelge 5.4	Porselen numunelerine ait su emme, porozite ve yoğunluk testleri	97
Çizelge 5.5	Tuğla numunelerine ait toplam küçülme değerleri.....	98
Çizelge 5.6	Vitrifiye numunelerine ait toplam küçülme değerleri	102
Çizelge 5.7	Karo numunelerine ait toplam küçülme değerleri	106
Çizelge 5.8	Porselen numunelerine ait toplam küçülme değerleri	110
Çizelge 5.9	Tuğla numunelerine ait renk analizi sonuçları.....	114
Çizelge 5.10	Vitrifiye numunelerine ait renk analizi sonuçları	115
Çizelge 5.11	Karo numunelerine ait renk analizi sonuçları	116
Çizelge 5.12	Porselen numunelerine ait renk analizi sonuçları	117
Çizelge 5.13	Tuğla numunelerine ait pişme mukavemeti.....	118
Çizelge 5.14	Vitrifiye numunelerine ait pişme mukavemeti	120
Çizelge 5.15	Vitrifiye numunelerine ait pişme mukavemeti “sırlı”.....	122
Çizelge 5.16	Karo numunelerine ait pişme mukavemeti	124
Çizelge 5.17	Karo numunelerine ait pişme mukavemeti “sırlı”	126
Çizelge 5.18	Porselen numunelerine ait pişme mukavemeti	128
Çizelge 5.19	Porselen numunelerine ait pişme mukavemeti “sırlı”	130
Çizelge 5.20	Tuğla numunelerine ait ısı iletkenlik katsayıları	132

SİMGELER DİZİNİ

Al₂O₃	Alüminyum oksit
Au	Altın
Al	Alüminyum
As	Arsenik
CaO	Kalsiyum oksit
Ca	Kalsiyum
CaO₂	Kalsiyum dioksit
Cd	Kadmiyum
cm²/g	Santimetrekare/gram
cm	Santimetre
cm²	Santimetrekare
Fe₂O₃	Demir (III) oksit
Fe	Demir
FeS₂	Pirit
g/cm³	Gram/santimetreküp
Ga	Galyum
H₂O	Su
K₂O	Potasyum oksit
K	Potasyum
kcal/kg	Kilokalori/kilogram
kcal	Kilokalori
Kv	Kilovolt
MPa	Mega paskal
MgO	Magnezyum oksit
Mg	Magnezyum
Mo	Molibden
N/mm²	Newton/milimetrekare
Na	Sodyum
Na₂O	Sodyum oksit
Pd	Palladyum
Pb	Kurşun
SiO₂	Silisyum dioksit
SO₃	Kükürt trioksit
Si	Silisyum
S	Kükürt
Se	Selenyum
SiC	Silisyum karbür
SiN	Silisyum nitrür
Ti	Titanyum
TiO₂	Titanyum dioksit
Zn	Çinko
°C	Santigrat derece
°C/dak	Santigrat derece/dakika
µm	Mikrometre

KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	: American Society for Testing and Materials
AFŞ	: Afşin Termik Santrali
ÇAT	: Çatalağzı Termik Santrali
ÇAY	: Çayırhan Termik Santrali
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
EDS	: Energy Dispersive Spectroscopy
IEA	: Ulusal Enerji Ajansı
KAN	: Kangal Termik Santrali
K.K	: Kızdırma kaybı
LOI	: Loss on Ignition
P.A.I	: Puzolanik Aktivite İndeksi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskop
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
TG	: Termogravimetri Analizi
XRD	: X-ışınları Difraksiyon Analizi
XRF	: X-ışınları Fluorescence Analizi

1. GİRİŞ

Modern termik santrallerde en önemli atık malzemesi olan uçucu kül, genellikle ülke kaynaklarına göre linyit ve taşkömürünün yakılması sonucu elde edilmektedir. Bu nedenle orijinlerine göre; linyit uçucu külleri ve taşkömürü uçucu külleri olarak iki farklı gruba ayrılırlar. Kimyasal bileşen yüzdesine göre de F tipi ve C tipi uçucu küller olarak ta sınıflandırmak mümkündür (ASTM C618, 1998). Türkiye'de aktif olarak çalışan 38 adet termik santral mevcuttur ancak, bunlardan sadece Çatalağzı ve Sugözü Termik Santrallerinden F tipi uçucu kül elde edilmektedir, diğer tüm santrallere ait uçucu küller ise C tipi uçucu küldür (<http://www.enerjiatlası.com>). Bir uçucu külden genellikle SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O ve TiO_2 gibi oksitlerin tamamına rastlanmaktadır ve bu oksitlerin küldenki yüzdeleri külün tipine bağlı olarak değişmektedir. Kimyasal bileşen yüzdesine göre; ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınarak uçucu küllerin sınıflandırılması yapılabilmektedir (ASTM C618, 1998; TS EN 197-1 2002; Rılem, 1988; Yılmaz, 1992). Kimyasal olarak uçucu kül, amorf ve ferro-aluminasilikat minerallerinin karışımı olarak nitelendirilir. Bununla beraber uçucu kül bileşimi esasen, kömür birikimi, yanma koşulları ve kül toplama cihazlarının özellikleri ile ilgili faktörlere de bağlıdır. Uçucu külün yaklaşık %95-99 'u nu Si, Al, Ca ve Mg oksitleri oluşturmaktadır. Uçucu küldenki diğer minör bileşenler; Ti, Na, K, S dir ve oranları ise %0,5-3,5 aralığında değişmektedir (Navaz, 2013). Kimyasal ve faz bileşimleri genellikle kömür içerisindeki minerallere ve fırın içindeki yanma şartlarına bağlıdır. Fırın içerisinde yakılan kömür ne kadar ince olursa uçucu küller arasında da o kadar küresel parçacıklar oluşur. Antrasitik veya bitümlü kömürler cam, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve düşük CaO_2 külü meydana getirirken, alt bitümlü kömürler veya linyitler bol miktarda CaO külü oluşturur ve genellikle kristal fazda bulunurlar (Taylor, 1998). Uçucu küller sınıflandırılırken (kimyasal bileşen yüzdesi dikkate alınarak) ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınarak yapılır (Rılem, 1988). Termik santrallerde atık olarak meydana gelen, fakat değerlendirilemeyen uçucu küllerin termik santral dışında depolanması gerekmektedir. Gün geçtikçe artış gösteren termik santral atığı, beraberinde çözülmesi mecburi teknik ve ekonomik problemler meydana getirmektedir. Termik santrallerdeki uçucu küllerin değerlendirilmemesi nedeniyle ekonomik kayıplar ve ciddi çevre kirliliği problemleri meydana gelmektedir. Geçmişte termik santrallerde oluşan

uçucu küller atmosfere dağılmaktaydı. Günümüzde ise uçucu küller; havuzlama ve karasal dolgu sistemler kullanılarak toplanmaktadır. Uçucu kül kaynak bir materyaldir, iyi bir şekilde yönetilmez ise çevre ve sağlık sorunlarına neden olabilmektedir.

Seramik sektöründe kullanılan hammaddelerin tüketimi, seramik malzemelerin satışında ve maliyetinde önemli bir yere sahiptir. Seramik sektöründe kullanılan hammaddeler ürünün kalitesini ve ekonomisini önemli oranda etkilemektedir. Hammaddenin özelliklerindeki olumsuz bir durum nihai olarak üretilen ürünün özelliklerini de olumsuz yönde etkilemektedir (Abalı ve Şahin, 2006). Uçucu kül içerisinde var olan silis, alümina, demir vb. elementlerden dolayı endüstride birçok alanda uygulama bulmaktadır. Fakat ülkemizde uçucu kül kullanımı yeteri kadar yaygınlaşmamıştır. Bunun başlıca sebepleri; uçucu kül hakkında bilgilendirme eksiklikleri ve uçucu külün sektörler tarafından yeterince tanınmamasıdır. Üretici ve tüketiciler olarak konunun yeterince anlaşılabilmesi, termik santrallerde elde edilen baca külü ile taban külünün karıştırılması, depolama ve sınıflamada gereken özenin verilmemesi ve masraflı olması, bazı uçucu küllerde radyoaktivitenin tespit edilmesi, inşaat ve çimento sektöründe oluşturulan ileriye dönük mevcut düşünce yapısının değiştirilmemesi, külün santral koşullarında ve kömürün yapısından kaynaklanan homojenlik özelliğinin olmayışı olarak belirtilebilir (İlhan, 1995). Seramik sektöründe kullanılan hammaddelerin tüketimi, hammadde üretim maliyetlerini ve satışını da etkilemektedir, ayrıca kullanılan hammaddenin özellikleri ürün kalitesini de değiştirebilmektedir. Uçucu kül son zamanlarda fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı, cam seramiklerin üretiminde de kullanılmaktadır (Erol, vd., 2007).

Aynı zamanda uçucu küller kil ve feldspat ilave edilerek geleneksel ve sanatsal seramiklerin üretiminde yoğun bir şekilde tercih edilmektedir. Uçucu küller seramik sanayinde kullanıldığında, tane boyunun küçük olması, öğütme masraflarının olmaması, maliyetinin çok az olması ve içerdiği karbon miktarının pişirme işlemleri esnasında sağladığı enerji tasarrufu avantajlar olarak görülmektedir (Ergüt, 1994). Kimyasal ve mineralojik analizlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde özellikle seramik fabrikalarının gün geçtikçe artması ve ülkemizde sınırlı rezervleri olan K-feldspat'ın (ortoklas) yetersiz miktarda olması ile uçucu kül K-feldspat'a alternatif bir hammadde olarak kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır (Abalı ve Şahin, 2006). Endüstriyel atıklardan cam ve cam seramik üretim çalışması sonuçları ışığında, termik santral uçucu külünün cam-seramik ve seramik üretiminde hammadde kaynağı olarak kullanılabilmesi

tespit edilmiştir. Ancak, uçucu külden üretilen cam-seramik malzemeler, seramik malzemelere kıyasla daha üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir (Erol vd., 2007). Uçucu kül kimyasal olarak önemli miktarda demiroksit ve camsı faz içeriğine sahip olduğundan, uçucu küllerin düşük ve yüksek derecede gelişme gösteren demir içerikli sırlar için hem bir hammadde hem de demiroksite alternatif renklendirici olarak kullanılabilceği görülmüştür (Taçyıldız, 2015).

Bu çalışmada, farklı bölgelerde ki termik santrallerden (Zonguldak Çatal Ağız Termik Santrali, Afşin Elbistan A Termik Santrali, Ankara Çayırhan Termik Santrali, Sivas Kangal Termik Santrali) temin edilen uçucu küllerin kimyasal, fiziksel, morfolojik vb. özellikleri de göz önünde bulundurularak, belirlenen katkı oranlarında, belirlenen sıcaklıklarda, seramik üretiminde (tuğla, karo, sağlık gereçleri, porselen) kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. UÇUCU KÜL

2.1 Uçucu Külün Tanımı ve Tarihçesi

Uçucu kül TS 639 (1975) verilerinde, yüksek sıcaklıklarda öğütülmüş ve/veya toz halinde linyit veya taş kömürünün yanması sonucu baca gazları ile filtrelelere taşınan ince boyutlardaki silis ve alimüno-silisli toz partikül kalıntısı olarak tanımlanmaktadır (TSE, 1975).

Termik santrallerde kazan alev sıcaklığı yanma esnasında 1600 °C 'nin üzerine çıkmakta ve bu sıcaklık kömürdeki inorganik bileşenlerin erimesine neden olmaktadır. Birçok çalışmada, kömür içerisinde yaklaşık 50 mineralin olduğu belirtilmesine rağmen uçucu kül içerisinde mineral sayısının az miktarda ya da eser miktarda olduğu bilinir. Uçucu kül özellikleri, kullanılan kömür türlerine, öğütülme tekniğine, yakma ünitesine ve elektrostatik toz tutucu içindeki ayırma işlemlerine bağlı olarak değişmektedir. Gazlarla birlikte çok miktarlarda külün deşarjı sırasında termik santralde bacadan dışarıya çıkacak çok ince boyuttaki küller elektromekanik veya elektrostatik yardımıyla tutulmakta ve kül depolama silolarına alınmakta, silolardan da taşıyıcı konveyörler yardımıyla santrallerin uzağındaki depo alanına atık olarak stoklanmaktadır (Atakay, 2006).

Uçucu kül içerisinde bulunan oksit bileşenler, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ ve CaO olup uçucu külün tipine göre miktarları değişmektedir. Alkali oksitlerden olan SO₃ ve MgO de eser miktarlarda bulunan bileşenlerdir. Uçucu küldeki temel oksitlerin farklı oranlarda olması (%25-60 SiO₂, %10-30 Al₂O₃, %1-15 Fe₂O₃ ve %1-40 CaO) uçucu külün tipini karakterize etmektedir (Türker vd., 2003). Uçucu küllerin renkleri içerisindeki yanmamış karbon miktarına bağlı olarak farklı renklerde olabilmekte, açık krem renginden kahverengiye, gri tonlarından siyaha kadar farklı renk tonlarını içermektedir. Yanmamış karbon miktarına bağlı olarak uçucu küllerin renkleri koyulaşmaktadır (Satapathy, 2000; Matsunaga, vd. 2002; Ünal ve Uygunoğlu 2004).

1930'lu yıllarda elektrik enerjisi tüketiminin yaygınlaşması sonucunda uçucu kül kavramı da ortaya çıkmış, 1970'li yıllarda enerji maliyetinin hızlı artış göstermesi elektrik santrallerinde daha fazla kömür tüketilmeye başlanmasına neden olmuştur. Elektrik santrallerinde ki fazla miktarda kömür kullanımı, uçucu kül üretiminde ki artışı meydana

getireceğinden, uçucu küllerin kullanımının bütün dünyada önem kazanmasına bir başlangıç olmuştur (Özcan, 1997).

Her endüstriyel atıklarda olduğu gibi uçucu külden de yararlanma yöntemleri birçok sektörde araştırılmıştır. Çimento hammaddesi, çimento ve betonda katkı maddesi olarak silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton blok ve boruların yapımında kullanılmakla birlikte yine, dayanıklı hafif agrega elde edilmesinde, beton ve asfalt yollarda, yol temel tabakalarında (filler olarak), zemin stabilizasyonunda, kumtaşı ve kireç bloklarında, endüstriyel refrakter ve seramik malzemelerin üretiminde, sırlarda hammadde ve renklendirici olarak kullanımında, boyaların üretiminde, katı atıkların stabilizasyonunda ve tarımsal işlerde kullanımları söz konusu olmaktadır. Kimyasal olarak uçucu küller önemli miktarda camsı faz ve demir oksit içeriğine sahip olduğundan, düşük ve yüksek derecede gelişme gösteren demir içerikli sırlar için hem bir hammadde hem de demir oksite alternatif renklendirici olarak kullanılabilmesi görülmüştür (Taçyıldız, 2015).

Ülkemizde 1968' li yıllardan itibaren uçucu kül üretimi ve kullanımı başlamış, günümüzde de kullanım alanları yoğun bir şekilde artış göstermiştir. Örneğin; puzolanik katkı maddesi olarak çimento üretiminde, ikincil bir bağlayıcı madde olarak beton içinde çimentoyla birlikte, suni agrega üretiminde, yapı bloğu ve tuğla üretiminde, atıkların stabilizasyonunda, enjeksiyon uygulamalarında, temel ve temel altı tabakası olarak yol inşaatlarında, zeminlerin iyileştirilmesinde, zirai amaçlarla tarımda ve dolgu malzemesi olarak gibi amaca yönelik birçok kullanım yerlerini saymak mümkün olmaktadır (Özcan 1997).

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), uçucu küller ile ilgili olarak beş tane standart yayınlamış, Avrupa Birliği'ne uyum çerçevesinde TS 640'ı yürürlükten kaldırarak yerine TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar standardını uygulamaya koymuştur (TS EN 197-1). Ülkemizde yaklaşık olarak 18 milyon ton/yıl uçucu kül atık olarak üretilmektedir (<http://www.tuik.gov.tr>).

2.2 Uçucu Külün Özellikleri

Uçucu küller fiziksel, kimyasal, mineralojik ve puzolanik özellikler göstermesinin yanısıra bu özellikler bölgeden bölgeye, yöreden yöreye ve hatta aynı bölge veya yörede olsa bile çok sayıda değişkene bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Kömürün yakılması sonucu oluşan toz halindeki uçucu küller; kömürün türüne, yanma sistemine,

yanma sonucu açığa çıkan kül miktarına, yakma kazanlarının yükleme programına, kimyasal yapısına, filtre sistemine, kül temizleme işlemlerine, külün alındığı düzey ile kazan tipine bağlı olarak termik santrallerde farklı özellikler gösterirler (E.İ.E. Genel Direktörlüğü, 1979; Anderson ve Jackson, 1993; Öksüz, 2006).

Uçucu küller, genellikle silisli ve alüminli bir bileşimlere sahip olduğundan puzolanik özelliğinden dolayı çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılabilirler. Tane yapısı ince ve küresel şekilli olmasından dolayı betonda hidrasyon reaksiyon ısısını düşürerek işlenebilirlik özelliğini artırır. Linyitin yakılması sonucu elde edilen uçucu külde ise kireç (CaO) oranı genellikle yüksektir, bu tür uçucu küller aynı zamanda bağlayıcılık özelliğine de sahiptirler. Karbon miktarı, antrasit kömüründe veya iyi yakılmayan kömürlerden elde edilen uçucu küllerde yüksek olmaktadır. Karbon miktarının yüksek olması da çimento ve betonda su ihtiyacını artırmakta, puzolanik özelliği ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir (Türker vd., 2003).

Uçucu külle ilgili olarak TSE tarafından hazırlanmış TS 639 (1975) ‘‘Uçucu Kül’’ standardına göre; $SiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3$ bileşimi en fazla %70; SO_3 en fazla %5; MgO en fazla %5; incelik (blaine testine göre) en fazla $3000\text{ cm}^2/\text{gr}$; nem, en fazla %3, kızdırma kaybı ise maksimum %10; P.A.İ (Puzolanik Aktivite İndeksi) en az kontrolün %70’i olarak tanımlanmaktadır (Öz, 2007).

2.2.1 Uçucu külün fiziksel özellikleri

Uçucu küllerin fiziksel özellikleri, termik santralde yakılan kömürün ve yanma sisteminin özelliklerine bağlı olarak farklılık göstermekte, yanmamış karbon miktarının çok düşük olması yanmanın kaliteli olduğunu göstermektedir (Yıldırım, 2007). Yeni sistemlerle çalışan termik santrallerde yanmamış karbon oranı % 3’ün altındadır. Uçucu küllerde karbon miktarı yanma kaybından az olmalıdır ve yanma kaybı değeri ampirik olarak 0,9 ile çarpılarak yanmamış karbon miktarı yaklaşık bir değer olarak bulunabilmektedir. Karbon tanelerinin boyutu genellikle diğer tanelere oranla nispeten daha büyüktür (Yılmaz,1992).

Uçucu küllerin renkleri kömür türlerine göre açık kremden koyu kahverengi tonuna kadar değişim göstermektedir. Taşkömürünün yakılması sonucu elde edilen uçucu kül linyit in yakılması sonucu elde edilen uçucu külden daha açıktır. Aynı zamanda iyi yanma durumuna göre de renk farklılığı oluşmaktadır. İyi yanmamış külde oluşan koyu renk

yanmamış karbon taneciklerinden kaynaklanmakta, iyi yanmış bir uçucu kül de ise daha açık bir renk tonu gözlenmektedir (Erşan, 1996). Renkleme nemden, yanmamış kömür tanelerinden ve demirce zengin tanelerden kaynaklanmaktadır. Demir oksit içeriği yüksek olan uçucu küller siyaha yakın bir renk içermektedir (Joshi ve Nagaraj, 1987).

Uçucu külün tane boyutu kullanılan kömürün türüne ve öğütülme derecesine bağlı olup tane boyutları 1–200 μm arasında değişmektedir. Yuvarlak veya küresel şekilli çok küçük tane boyutuna sahip olan taneciklerin yaklaşık % 75'inin çapı 45 μm 'den, % 50'den çoğu ise 20 μm 'den daha küçüktür. Yoğunluğu, genellikle ortalama 2,2–2,7 g/cm^3 arasında değişmektedir. Yoğunluğun fazla olması uçucu külün inceliği (yüzey alanı) ile ilgilidir ve ince küller kaba küllere göre daha fazla yoğunluk içerirler (Sevim, 2003). Aynı zamanda % 60–90 camsı bileşen içeren çok ince taneciklerden meydana gelmektedirler (Yıldırım, 2007). Taşkömürünün yakılması sonucunda elde edilen uçucu küller linyit kömürünün küllerinden daha incedir. Tanelerin inceliğine etki eden diğer bir özellik ise küllerin bacada ileri tekniklerle tutulması işlemidir. Bacadan toz olarak uzaklaşan kısım ne kadar azalır ise tane inceliği o oranda artmaktadır. Bir karşılaştırma yapılacak olursa, siklonlarda tutulan uçucu küller elektro filtrelerde tutulan uçucu küllerden daha iri boyutlu tanelerden oluşmaktadır. Uçucu küller çimento malzemesine göre daha ince boyutta olduğundan özgül yüzeyleri daha büyüktür. Çimento malzemesinin inceliğine yakın olması durumu öğütme işlemine gerek duyulmadan uçucu külün çimento sektöründe kullanılabilirliğini göstermektedir (Erşan, 1996; Toros, 1987). Uçucu ve taban küllerine ait fiziksel özellikler Çizelge 2.1' de tanımlanmıştır (Mattigod, 1990).

Çizelge 2.1 Taban ve uçucu küllerinin fiziksel özellikleri (Mattigod, 1990)

Fiziksel Özellik	Uçucu Kül	Taban Külü
Özgül ağırlık (g/cm^3)	1,59–3,1	2,17–2,78
Tane boyutu (μm)	20–80	500–7000
Özgül yüzey alanı (cm^2)	200–1060	400
Uniformity katsayısı	2–9,8	8,2–8,8
Permeabilite katsayısı	5,10–9/1, 10–6	2,5–9,4

Uçucu küllerin kömür türlerine ve özellikle baca tozu tutum sistemlerinin özelliklerine göre özgül ağırlıklarının 1.59–4.0 g/cm^3 gibi daha geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Örneğin; uçucu küllerde bulunan bazı partiküllerin özgül ağırlıkları, manyetit-spinel 4.0 g/cm^3 , kuvars 2.65 g/cm^3 , mullit 3.03 g/cm^3 , karbon 1.2–2.0 g/cm^3 , alüminyum silikat ve camlar 2.5–2.7 g/cm^3 şeklindedir (Mattigot, 1990)

2.2.2 Uçucu külün kimyasal özellikleri

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, kömür içindeki mineral madde miktarı, jeolojik orijin ve kömür hazırlama işlemleri, yanmanın etkinliği ve sürekliliği, toz toplama gibi koşullara bağlı olmaktadır (Öksüz, 2006). Uçucu küller, içi boşluklu ve boşluksuz, camsı kürecikler süngerimsi mineral parçacıklar ve yanmamış taneciklerden oluşan bir yapıya sahiptirler. Kimyasal yapılarında Si, Al, Ca, Fe ve S ana elementler olarak bulunmakta ve yanma şekline bağlı olarak; SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂ ve SO₃ oksit bileşenleri oluşmaktadır. %85'in den fazlası SiO₂, Al₂O₃, CaO ve Fe₂O₃' den oluşmaktadır (Erdoğan, 2006).

Uçucu küllerin matrisinde, alümina silikatlar ve alümina silikatlarla birlikte bulunabilen Fe, Mg, Na, K, Ca, Ti ve nadir toprak elementleri bulunmaktadır. Bununla birlikte, uçucu olan veya uçucu oksitleri oluşturan As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se ve Zn gibi elementler matris girme eğilimi göstermeyeceğinden, uçucu küllerin yüzeylerinde tane boyutu ile ters orantılı olarak toplanmaktadır (Güler vd., 2005). Uçucu kül bacadan toplanırken, külün önemli bir bileşeni olan her ne kadar olması istenmese de bir miktar yanmamış karbon partikülleri de toplanabilmekte, bileşen olarak fosfor, titanyum, berilyum, molibden ve mangan da düşük oranlarda bulunabilmektedir (Erdoğan, 2006).

Termik santrallerin verimine bağlı olarak uçucu küllerin % C içeriği yaklaşık %3 civarında, maksimum %5 oranında MgO, %5'in altında alkali oksitler (Na₂O+K₂O), SO₃ %0,2-%2,5 arasında değişmekle birlikte %10'a kadar artmakta ve SO₃ değerini TS EN 450 (1998) en fazla %3 olarak sınırlamaktadır. Kızdırma kaybı (Loss on Ignition-LOI), kömürdeki yanmamış karbonla birlikte, karbonatlar veya hidratların bozunması ile oluşan serbest su veya CO₂ kaybını da içermektedir ve bu değer de yaklaşık olarak %1-10 arasında değişmektedir (Türker vd., 2003).

Uçucu küllerin yapısında, yaklaşık %60-90 oranında amorf ve geri kalanında ise mullit, magnetit, hematit, kuvars gibi kristaller yer almaktadır. ASTM C 618 standardına göre; F sınıfına ayrılanlar; bitümlü kömürden elde edilen ve toplam %70'den fazla SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ yüzdesi içeren uçucu küllerdir. Bu küllerde, CaO< %10 olması durumu düşük kireçli küller olarak ta adlandırılmasını sağlamakta ve aynı zamanda puzolanik özellik içermektedirler. C sınıfına ayrılanlar ise; linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃>%50'den fazla olan uçucu küllerdir. Bu küller, CaO> %10 olması nedeniyle yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar ve hem

puzolanik özelliğe hem de bağlayıcı özelliğe de sahiptirler. Çizelge 2.2’de TS 639 ve ASTM C 618 sınır değerlerine göre Türkiye’de elde edilen bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları verilmekte, ASTM C 618 (1991)’e göre Afşin-Elbistan uçucu külünün C sınıfı ve diğer uçucu küllerin F sınıfı olduğu görülmektedir. Ayrıca diğerlerinin de genel olarak TS 639’da belirtilen sınır değerlere uygunluğu bu çizelgede tanımlanmaktadır (Tokyay ve Erdoğan, 1993; ASTM C 618, 1991).

Uçucu küllerde karbon miktarını etkileyen birçok faktörlerin yanısıra (kömürün cinsi, parçacık boyutu, bileşim, mineral madde, kalorifik değer ve uçucu madde gibi) nemde etkili olmaktadır. Nem, termik santrallerin tasarım ve verimliliğine de (örneğin, fırında yanma, kazan sıcaklığı ve basıncı, oksijen beslemesi ve kömür/hava oranı, fırın ısıtma yüklemesi ve ısı akış oranları ve alev modelleri için mevcut kalma süresi gibi) önemli ölçüde etki etmektedir (Yan vd., 2009; Bahadori vd., 2010; Dindarloo ve Hower, 2015; Bartoňová, 2015; James vd., 2017). Daha fazla çimentolu malzeme içeren betonlarda otojen büzülmeyle ilgili hasar oluşumlarının da çimento/beton yapısında uçucu külün kullanılması önemli ölçüde oluşan hasar yapısını azaltmaktadır (Akkaya vd., 2007; Chan vd., 1998). F sınıfı ve C Sınıfı uçucu küllerin her ikisi de kurutma büzülmesini azaltmada önemli rol oynamaktadır (Maslehuddin vd., 1987; Zhao vd., 2015). Literatürde ki çalışmalara göre; betonda iç nemin buharlaşmasını önlemek için karışımı yoğunlaştıran uçucu külün varlığı ile büzülme azaltılmaktadır (Maslehuddin vd., 1987).

Çizelge 2.2 Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kimyasal bileşimleri ve standartları

Bileşim (%)	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Tunçbilek	Çayırhan	TS 639	ASTM C618	ASTM C618
						F	C
Fe ₂ O ₃	5,5	6,8	9,31	8,25	-	-	-
Al ₂ O ₃	12,8	24,1	21,89	15,04	-	-	-
SiO ₂	27,4	56,8	58,59	49,13	-	-	-
F+A+S	45,7	87,70	89,79	72,42	>70	>70	>50
SO ₃	6,2	2,9	0,41	3,84	<5	<5	<5
K ₂ O	-	-	1,81	1,76	-	-	-
Na ₂ O	(N+K) 0,3	(N+K) 3,0	0,24	2,2	-	<1,5	<1,5
MgO	2,5	2,4	1,41	4,76	<5	<5	<5
CaO	47,0	1,4	4,43	13,2	-	-	-
K.K	2,4	0,6	1,39	0,72	<10	<12	<6

2.2.3 Uçucu külün morfolojik ve mineralojik özellikleri

Kömürde bulunan mineraller ve proses koşulları (kömür hazırlama-yıkama, yanma vs.) uçucu küllerin mineralojik bileşimini doğrudan etkilemektedir. Kil, kuvars, pirit, alçıtaşı

ve karbonatlar (Ca, Mg, Fe) kömürde yoğun olarak bulunan minerallerdir. (Mehta, 1986), Tokyay ve Erdoğan (1993)'de yapmış oldukları çalışmalarında, uçucu küllerin puzolanik özelliklerinin kimyasal bileşimlerinden daha çok mineralojik yapıları ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Külün mineralojik yapısı camsı ve kristal yapıya bileşenlerden oluşmakta olup düşük kireç (CaO) içeren küller öncelikle camsı fazı oluşturmakta ve az miktarlarda kuvars, manyetit, mullit ve hematit içermektedir.

Uçucu küllerin, SiO₂, MgO ve Fe₂O₃ 'ün yer aldığı bileşiklerden oluştuğu görülmekte içerdiği karbon miktarı kömür türüne ve yakma işlemine göre farklılık göstermektedir. Buna rağmen temel bileşik uçucu küller için silis ve alüminadır (Satapathy, 2000; Matsunaga v.d., 2002.). Kullanılan kömür türüne bağlı olarak bazı kömürlerde önemli miktarda CaO bulunabilmektedir. Ülkemizde bu tür bir sınıflandırma mevcut değildir. Bazı ülkelerin standartlarında, %10'dan daha fazla miktarda CaO bulunduran küller 'yüksek kireçli uçucu kül', %10'dan daha az miktarda CaO bulunduran küller ise 'düşük kireçli uçucu kül' olarak tanımlanmaktadır (Kefelioğlu, 1998; Matsunaga, vd., 2002). Düşük CaO içeren uçucu küllerin ana aktif bileşeni, silis ve alüminadan oluşan amorf ya da camsı fazdır. Bu türdeki uçucu küller, nemli ortamda Ca(OH)₂ (sönmüş kireç) ile reaksiyona girdikleri için sadece puzolanik özellik gösterebilmektedir. Betonun sülfata karşı dayanıklılığını artıran ve aynı zamanda etkili bir katkı maddesi olan düşük CaO içeren küllerdir (Aruntaş, 2006; Güler vd., 2005; Atakay, 2006; Yıldırım, 2007). Düşük kireçli uçucu küldeki camsı faz, SiO₂ açısından zengin, oldukça polimerize silissi veya alüminyum da içeren alümino silikat bileşimindedir. Düşük kireçli külün reaktif bileşeni silissi veya alümino silikat camsı fazı olup H₂O ve Ca(OH)₂ ile reaksiyona girerek küle puzolanik özellik kazandırır (Aruntaş, 2006).

Yüksek CaO içeren uçucu küller kuvars, anhidrit, hematit, serbest kireç, gehlenit, merwinit, mellilit gibi mineraller içermekte ve camsı faz oluşturmaktadır. Bunların yanısıra; yüksek kireçli küller kalsit, portlandit, trisülfoalüminat ve mullit' te bulunabilmekte, ayrıca düşük CaO ve yüksek CaO içeren küllerde alkali feldispatlar da görülebilmektedir (Hubbard vd.,1985; Enders, 1996).

Kireç ve suyun bir arada bulunduğu durumda uçucu kül reaktiftir. Bu reaktivite genellikle uçucu külün camsı yapısından kaynaklandığı ve içerisindeki bu amorf yapının % 50-90 arasında olduğu belirtilmektedir (Xu, 1997). Çizelge 2.3'de, Türkiye'deki bazı termik santral uçucu küllerinin mineralojik bileşimleri görülmektedir (Aruntaş, 2006).

Çizelge 2.3 Türkiye'deki bazı termik santral uçucu küllerinin mineralojik bileşimleri (Aruntaş, 2006)

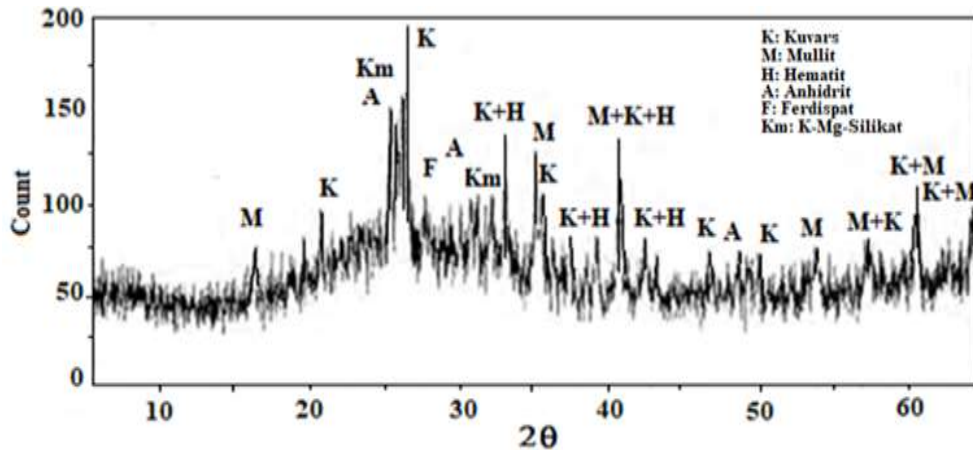
Mineral, %	Afşin-					
	Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma	Tunçbilek	Yatağan
Kuvartz	4,5	10,9	5,6	5,1	13,9	22,4
Hematit	4,0	0,1	6,0	2,0	3,0	7,0
Manyetit	0,8	0,2	2,5	0,6	4,1	2,9
Mullit	1,0	18,1	1,2	4,3	8,8	6,0
Anhidrit	12,2	-	9,3	7,4	-	-
Plajiyoklaz	~28	-	~15	~20	-	~25
Serbest CaO	18,6	0,7	5,5	9,8	0,9	1,0
Camsı ve Amorf faz	~30	~70	~50	~50	~70	~35

Genellikle uçucu kül içerisindeki silisyumun bir kısmının kuvars kristalleri halinde, bir kısmının ise alüminat ile birleşerek mullit ve geri kalanının ise camsı yapıda olduğu mineralojik analizler sonucunda belirtilmiştir. Demirin kısmen manyetit ve hematit bileşiminde geri kalanın ise camsı yapıda olduğu görülmüştür. Uçucu küllerin, %70-88' i SiO_2 ve Al_2O_3 formunda, % 66-88'in camsı yapıda, geri kalan kısmının ise Fe, Ca, Mg, Na, K ve T'den meydana geldiği bilinmektedir (EİE, 1979; Joshi ve Nagaraj, 1987). Uçucu külün, cam fazın durumu ve kristal yapıları puzolanik özellikleri de etkilediğinden özellikle camsı faz külün reaktivitesinde de büyük etki oluşturmaktadır. Uçucu küller içi boşlukta ve/veya boşluksuz, camsal kürecikler süngerimsi mineral parçacıklar ve yanmamış taneciklerden oluşurlar. Kömürde bulunan mineral madde (kuvars, feldispat, pirit, alçıtaşı, karbonatlar gibi) içerikleri, proses koşulları, yanma reaksiyonlarına katılmamış kil kalıntıları ve yanmamış karbon gibi durumlar düzensiz şekilli ve gözenekli küresel olmayan taneciklerin oluşmasına neden olmaktadır. Düşük CaO içeren uçucu küldeki camsı fazın yapısı, SiO_2 açısından zengin ve yüksek oranda polimerize silisli veya alüminyum da içeren alüminosilikat bileşiminde olduğundan su ve Ca(OH)_2 ile reaksiyona girdiğinden küle puzolanik özellik kazandırmaktadır. Küresel taneciklerin yüzeyi de düşük kireçli küller kadar düzgün dağılım göstermediği belirlenmiştir (Türker vd., 2004). Yüksek kireçli küllerde hem küresel hem de köşeli düzensiz şekilli taneciklerin mikroyapı içinde bir arada bulunması sonucunda homojen olmayan bir şekil dağılımı gözlenmektedir. Yüksek kireçli külde, aktif bileşen içinde silisyum da içeren kalsiyum alüminat camsı fazının yanı sıra aktif kristalize faz da oluşmaktadır, bu durum saf silika camı Ca ve Al iyonları ile modifiye olduğunu göstermektedir. Yüksek CaO' lü külün camsı ve kristalize fazları, külün puzolanik özelliğinin sağlamanın yanısıra

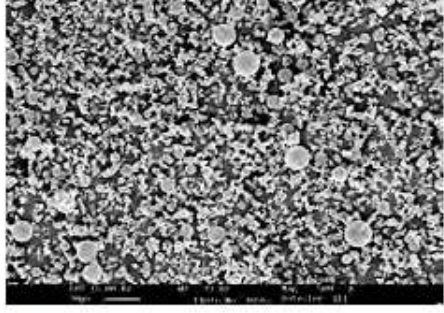
kısmen bağlayıcı özellik taşımasını da sağlamaktadır (Tikalsky ve Carraullo 1992; Türker vd. 2007).

Örneğin ülkemizde, Orhaneli Termik Santral uçucu külünün özelliklerine baktığımızda, kimyasal bileşenlerin birbirine çok yakın olup santralin stabil koşullarda üretim yaptığı düşünülmektedir. Kimyasal bileşim açısından TS EN 197-1'e göre V sınıfı (reaktif $\text{CaO} < \%10$ ve reaktif $\text{SiO}_2 > \%25$), ASTM C 618-F sınıfı ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_3 > \%70$ ve $\text{CaO} < \%10$), TS EN 450 ($\text{SO}_3 < \%3.0$ ve serbest $\text{CaO} < \%1.0$) ve TS 639 ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$) standartlarına uymaktadır.

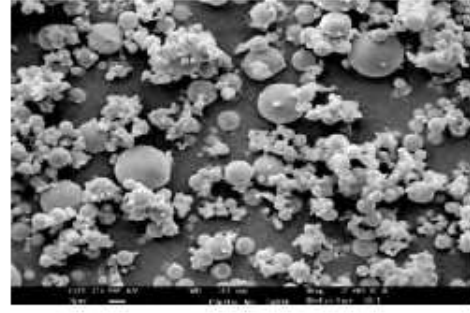
Orhaneli Termik Santrali uçucu külünün kimyasal bileşimi dört standartta da istenilen koşulları tam olarak içermektedir. Şekil 2.1'de Orhaneli Termik Santrali uçucu külünün mineralojik bileşimine ait X-ışınları difraktogramı, Şekil 2.2 (a,b,c,d)'de morfolojik incelemesi verilmektedir ve şekilden de görüldüğü gibi, büyüklüğü $0.5-15\mu$ arasında değişen düzenli dağılmış tam küresel tanecikler çoğunlukla gözlenmiştir. Buna göre, Orhaneli uçucu külünün temel fazının camsı faz olduğu anlaşılmış, bunun yanısıra kuvars, mullit, hematit, anhidrit, sanidin ve K-Mg silikat gibi kristalize fazlar bulunduğu da tespit edilmiştir. Orhaneli uçucu külünün X-Işınları difraktogramında ana faz camsı faz olduğunda, yüksek konumda olduğu özellikle $23-27^\circ$, 2θ 'da belirgin bir artış göstermiştir. Kimyasal analiz sonucu, uçucu külde $\%48.53$ SiO_2 , $\%24.61$ Al_2O_3 bulunduğu için ve hafifçe 27° 2θ 'ye doğru kayması daha fazla Al_2O_3 ve CaO ($\%9.48$) içermesi ile tanımlanmıştır (Türker vd. 2009).



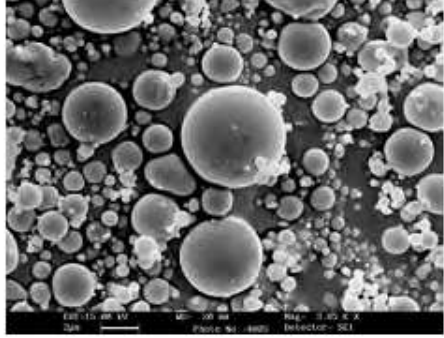
Şekil 2.1 Orhaneli termik santral uçucu külünün mineralojik bileşimine ait X-Işınları Difraktogramı



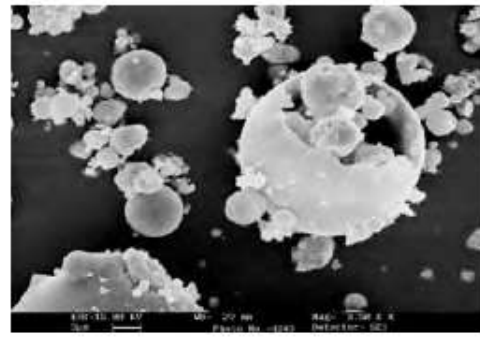
a) Taneciklerin genel olarak dağılımı (x500).



b) Tam küresel, yüzeyi pürüzsüz, katı camlı tanecikler (x2000,x3850), Plerosfer küresi (x3500).



c) Plerosfer küresi (x3500).



d) Plerosfer küresi (x3500).

Şekil 2.2 Orhaneli Termik Santral uçucu külünün morfolojik görüntüsü

Uçucu külün inceliği kömürün yakılmadan önce öğütülme derecesine ve mümkün olduğu kadar bacadan ince boyuttaki küllerin kaçmasına engel olunması ile sağlanır. Bacadan kaçan ince kül oranı ne kadar azalırsa incelik artar. Küller genellikle camlı 0.5 ile 200 μm boyut aralığında değişen küresel ve/veya küresele yakın parçacıklardır. Özgül yüzeyleri 1800 – 5000 cm^2/g arasında değişmekte olup ve ortalama özgül yüzeyleri 2800 – 3800 cm^2/g arasındadır (Görhan vd., 2009).

Uçucu külün yoğunluğu, incelik ve mineralojik yapı ile de doğrudan ilişkilidir. Uçucu kül taneleri küresel şekilli katı tanecikler olup ağırlığının yaklaşık % 5'i buda yaklaşık hacminin % 20'sini oluşturmakta nitrojen veya CO_2 ile dolu içi bos parçacıklardan oluşmaktadır (Görhan vd., 2009).

Uçucu külün puzolanik aktiviteye olumlu etki yapmasının en önemli nedenlerinden biri de granülometrik bileşiminin çoğunun 40 μm 'nin altında olması ve şeklinin de küresel olmasından kaynaklanmaktadır. Yüzeyi pürüzsüz ince küresel tanecikler büyük yüzey alanına sahip olduğu için kireç-silikat reaksiyonlarına daha hızlı girmektedir. Buna bağlı

olarak yüksek kireçli külün aktivitesinde kristalize aktif fazla ve az camsı faz rol oynamakta, düşük kireçli de ise taneciklerin şekli, büyüklük dağılımı ve camsı fazın fazlalığı önem taşımaktadır (Türker vd., 2004).

2.3 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

2.3.1 Uçucu küllerin elde edildiği kömür cinsine göre sınıflandırılmaları

Modern termik santrallerde en önemli atık malzemesi olan uçucu kül, genellikle ülke kaynaklarına göre linyit ve taşkömürünün yakılması sonucu elde edilmektedir. Bu nedenle orijinlerine göre; linyit uçucu külleri ve taşkömürü uçucu külleri olarak iki gruba ayrılırlar. Kullanım alanları da genellikle külün fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Linyit uçucu küllerinde, toprak alkali metalleri taşkömürü uçucu küllerine oranla daha fazla olduğundan çok fazla kullanım alanı bulunmaktadır. Taşkömürü uçucu küllerinde ise, ince boyutlarda (3-100 μm) tamamen kuru malzeme elde edildiğinden, özgül yüzeylerinin linyit uçucu küllerine göre daha büyük olması kullanım alanını arttırmaktadır. Taneciklerinde çoğunluğu camsı minerallerden meydana gelmektedir (EİE, 1979).

2.3.2 Uçucu küllerin TS EN 197-1 ve ASTM C618'e göre sınıflandırılmaları

Bir uçucu külde SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SO_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O ve TiO_2 gibi oksitlerin genellikle tamamına rastlanmaktadır ve bu oksitlerin külün tipine bağlı olarak küldeki yüzdeleri değişmektedir. Kimyasal bileşen yüzdesine göre; TS EN 197-1 ve ASTM C 618 standartları dikkate alınarak uçucu küllerin sınıflandırılması yapılabilmektedir (ASTM C618, 1998). Silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. V sınıfı, genellikle küresel taneciklerden meydana gelen puzolanik özelliklere sahip ince boyuttaki toz partikülleridir. Reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 den oluşan ve geri kalanı da demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Reaktif $\text{CaO} < \%10$ ve reaktif $\text{SiO}_2 > \%25$ olması bu küllerin belirleyici önemli özelliklerindedir. W sınıfına ayrılanlar ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince boyutlu toz partikülleridir. Esas olarak reaktif CaO , reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan ve geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Reaktif $\text{CaO} > \%10$ ve reaktif $\text{SiO}_2 > \%25$ olması bu küllerin belirleyici önemli özelliklerindedir (Erdoğan, 2003; Türker vd., 2004).

Uçucu küller ASTM C 618 standardına göre F ve C tipi sınıflara ayrılmaktadır (ASTM C 618, 2008). F sınıfına ayrılanlar; bitümlü kömürden üretilen ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ 'den fazla olan uçucu küllerdir. $\text{SO}_3 < \%5$ ve kızdırma kaybı $< \%6$ olmalıdır. Bu küllerde, CaO yüzdesi $\%10$ 'un altında olması nedeniyle düşük kireçli küller olarak da adlandırılırlar ve aynı zamanda puzolanik özelliğe de sahiptirler. C sınıfına ayrılanlar ise; linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ olan küllerdir. Bunlarda da SO_3 miktarı $\%5$ 'ten, kızdırma kaybı da $\%6$ 'dan azdır. Bu küllerde, $\text{CaO} > \%10$ olması nedeniyle yüksek kireçli uçucu kül olarak tanımlanırlar ve puzolanik özelliklerinin yanısıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler (Şengül vd., 2005).

2.3.3 Uçucu küllerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmaları

Uçucu küllerin aktivitesi CaO içeriğine göre de; çok düşük aktiviteli küller ($\text{CaO} < \%3,5$), düşük aktiviteli küller ($\%3,5 < \text{CaO} < \%7$), aktif küller ($\%7 < \text{CaO} < \%14$) ve çok aktif küller ($\text{CaO} > \%14$) olmak üzere içeriğiyle dört farklı şekilde sınıflandırılmaktadır (Görhan vd., 2009). Ayrıca ASTM-C 618, (1991)' de içerdikleri CaO miktarı bakımından ise düşük kireçli/kalsiyumlu uçucu küller ($\text{CaO} < \%10$) ve yüksek kireçli/kalsiyumlu uçucu küller ($\text{CaO} > \%10$) olarak da iki gruba ayrılmaktadır (ASTM C 618, 1991).

Yapılan başka bir sınıflandırma da ise; uçucu küller SO_3 miktarına göre üç gruba ayrılmaktadır: birinci gruptaki küllerde, genellikle taşkömüründen elde edilen, esas yapısı siliko aluminatlardan meydana gelen, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (S+A+F) toplamı $\%70$ 'in üzerinde olan siliko aluminalı uçucu küllerdir. İkinci gruptaki küllerde, çoğunlukla linyit kömüründen elde edilen, $\text{S+A+F} = \%50 - 70$ arasında ve kireç ile silika miktarı yüksek olan siliko kalsik uçucu küllerini oluşturmaktadır. Üçüncü gruptaki küller ise; $\text{S+A+F} > \%50$ olan ve diğer küllere göre daha fazla SO_3 ve CaO ihtiva eden ve linyit kömüründen elde edilen sülfokalsik uçucu küllerini oluşturmaktadır (Aruntas, 2006).

2.4 Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

Bütün endüstriyel atıklarda olduğu gibi uçucu külden de yararlanma olasılıkları birçok sektör tarafından araştırmaya alınmıştır. Çimento hammaddesi, çimento- beton katkı maddesi olarak silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton boru ve blok yapımında, uçucu külden dayanıklı hafif agrega elde edilmesinde, asfalt ve beton yollarda, filler olarak yol temel tabakalarında, zemin stabilizasyonunda, kireç ve kumtaşı bloklarında, endüstriyel ve refrakter ve seramik malzemelerin üretiminde, seramik sırlarında (hammadde ve renklendirici olarak), boya malzemesi üretiminde, katı atıkların stabilizasyonunda ve

tarımsal işlerde gibi birçok sektörde kullanımı söz konusu olmaktadır. Uçucu küllerin endüstriyel değerlendirilmesi ile bir taraftan malzeme ve enerji üretiminde ekonomiklik sağlanırken diğer taraftan ekolojik denge korunarak çevre kirliliğinin önlenmesinin de mümkün olacağı görülmektedir. Özellikle uçucu küller sektörü olarak daha çok inşaat alanında tercih edilmektedir. İnşaat sektöründe, çimento, agrega, beton, tuğla, kerpiç ve yalıtım malzemesi üretiminde, baraj-yol yapımında ve birçok geoteknik uygulamalarda uçucu küller kullanılmaktadır. Türkiye ve Dünya’da inşaat sektöründe uçucu küllerin kullanımı, çoğunlukla, iri-ince-hafif agrega üretiminde, blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç gibi yapı malzemeleri üretiminde, tuğla-ateş tuğlası üretiminde (katkı malzemesi olarak), kerpiç üretiminde (bağlayıcı malzeme olarak), çimento üretiminde (hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak), beton (katkı ve ikame malzemesi olarak) olarak kullanılmaktadır. Ayrıca baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar gibi birçok yapılarda uygulanabilirliği de ortaya konulmuştur (Aruntaş, 2006).

Termik santral atıklarının sektörlerde değerlendirilmesi, atık depolama sorununu önemli derecede ortadan kaldıracak aynı zamanda çevresel sorunları da azaltacaktır yâda bertaraf edecektir. Bir açıdan da atıkların bu şekilde değerlendirilmesi sürekli azalan ve çok sınırlı düzeyde olan hammaddelerden de tasarruf edilmesini sağlayacaktır. Sonuçta, nitelik ve nicelik anlamında daha iyi ürünler veya alternatif ürünler elde edilmesini sağlayacaktır (Güler vd., 2005).

2.4.1 Uçucu küllerin çimento ve beton üretiminde kullanımı

Çimento sektöründeki teknolojik gelişmelerin tamamı enerjinin etkin kullanımına yönelik olmuştur. En önemli gelişmeler öğütme sistemlerinde gerçekleşmiştir. Toplam elektrik enerjisinin %40’ın dan fazlası çimento üretiminde kullanılmaktadır. Bu nedendir ki, özellikle öğütme işlemlerinde harcanan bu enerjiyi sarfiyatından tasarruf yapmak için, yeni öğütücüler, seperatörler, değirmenler tasarlanmakta ve kullanılmaktadır. Diğer taraftan tüm dünyada daha fazla mineral katkı kullanılmasının artan bir eğilim olması uçucu küllerin çimentoda kullanılmasını üreticiler açısından cazip kılmıştır. Klinker üretimi ünitesinde, öğütme devrelerinde ve kurutma ünitesinde elde edilen tasarruflar, çevre dostu çabaların ve faaliyetlerin bir diğer göstergesi olması, ürün çeşitliliği sağlanması uçucu külün çimento sektöründe kullanımına önemli derecede katkı sağlamıştır (Özmal, 2005).

Uçucu küller, çimento yapımında kullanılan hammaddelerde kalker ve kilin içerisine ilave edilerek, çimentonun hidrasyonu sırasında Ca(OH)_2 ile kimyasal reaksiyona girmekte ve çimentoya bağlayıcı özellik kazandırmaktadır. Bu durum, betonun yüzey işlenebilirlik ve temizliği özelliğini iyileştirirken, aynı zamanda betonun büzülme ve su geçirgenliği oranının azalmasına, dayanımının da arttırmasına neden olmaktadır (Bacanak, 2001). Uçucu kül, daha çok çimentonun ana hammaddelerine karıştırılarak klinker üretiminde kullanılmaktadır. Böyle çimentolara uçucu küllü çimento da denilmektedir (Intron, 1992). Çimento üretim sektörünün ülkemizde 1980' li yıllardan itibaren uçucu küllerin hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak kullanmış olması çimentoların %90'ı aşan bir üretim payı katkısına neden olduğunu ortaya koymuştur (Öztekin, 1987; Erdoğan, 1993).

2.4.2 Uçucu küllerden gaz beton üretimi

Modern dünyanın duvar örgü malzemesi olarak binalara çok yönlü katkılar sağlayan gaz beton, hacim olarak %70-80 gözeneklerden oluşan, yoğunluğu düşük hafif bir yapı malzemesidir. Gaz beton, silisli bir malzemenin ince öğütüldükten sonra çimento veya kireç ile birleştirilmesi sonucu gözenekli bir malzeme ile hafifletilmesi ve sertleşmesi ile elde edilen içerisinde birbirinden bağımsız hava hücreleri bulunduran hafif bir betondur. Uçucu kül katkılı gaz beton, gözenekli olduğundan ağırlıkça hafif ve ısı iletkenliği düşük olacağından yapılarda kullanılması duvar ağırlıklarını azalttığından binaların yükünü de azalacaktır. Kireç ile uçucu kül ile arasındaki reaksiyondan dolayı uçucu kül kullanılarak elde edilen gaz betonun dayanımı kuvars kullanılarak elde edilen gaz betonun dayanımından daha fazla olduğu görülmüştür (Sevim, 2003).

2.4.3 Uçucu küllerin agrega olarak kullanımı

Uçucu küllerin agrega olarak betonda kullanımı (ince agrega), sinterleme sonrası yapay hafif agrega ve uçucu kül ile bir miktar Portland Çimento karıştırılarak elde edilen iri hafif agrega olmak üzere üç şekilde betonda yapılmaktadır. Laboratuvar şartlarında ki çalışmalarda, sinterlenmiş uçucu kül hafif agregası üretimi gerçekleştirilmiş ve bu malzemenin inşaat sektöründe başta agrega olmak üzere birçok alanda kullanılabileceği araştırmacılar tarafından önerilmiştir (Baykal vd., 1993). Diğer bir çalışmada, yüksek oranda uçucu kül ile bir miktar Portland Çimento karıştırılarak elde edilen iri hafif agregaların, hafif beton üretiminde kullanıldığı ve taşıyıcı betonlar elde edildiği görülmektedir (Chang ve Shieh, 1996; Gesoğlu vd., 2004).

2.4.4 Uçucu küllerin tuğla yapımında kullanımı

Kil ağırlıklı bir çeşit toprağın kalıplanıp yüksek ateşte pişirilmesiyle elde edilen tuğla, ucuz ve kullanışlı bir inşaat malzemesidir. Tuğla yapımında kil mevcut plastik özelliğini geliştirmeli, çatlama-dan-suyu çekilmeden hızlı kuruyabilme özelliği taşımalı ve istenilen doku ve genlikte yakılabilir özellik taşımalıdır. Illinois (ABD) kömürleri üzerine yapılan bir çalışmada uçucu külün avantajlı bir şekilde tuğla yapımında kullanılabileceğini, tuğlanın kalitesi üzerinde gözle görülür herhangi bir kötü etkileşimin olmadığı belirtilmiştir (Tütünlü ve Atalay, 2001). Aynı zamanda, uçucu küllerin bünyesindeki karbon, tuğlaların pişirilmesi sırasında enerji tasarrufu da sağlamaktadır (Yılmaz, 1992). Uçucu küllerin sertleştikleri zaman yüksek dayanım vermeleri, çok ince taneli olmaları ve kilin yapısındaki oksitleri içermeleri nedeniyle, inceliği ve puzolanik özelliği sebebi ile pişmiş malzemede dayanımın önemli miktarda artmasını sağlaması temel özelliği olarak tanımlanır. Bunun yanısıra tuğla üretiminde su içeriği yüksek killerin fazla suyu emmesi, plastik killerin çatlamasını, kabarmasını önler ve çiçeklenme olayını engellemesi de yardımcı ve düzeltme malzemesi olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. (Yılmaz, 1992; Ergüt, 1994; Erdinç, 1995).

2.4.5 Uçucu küllerin kerpiç yapımında kullanımı

Kerpiç, dayanımı düşük ve suya karşı da dayanıksız olan, yapımında daha çok, killi toprak ile lif olarak saman kullanılan geleneksel bir yapı malzemesidir. Kerpiç içerisine bağlayıcı olarak alçı katılmış ve elde edilen bu malzemeye alker olarak tanımlanmıştır. Alçı, kalkerin fiziksel ve mekanik özelliklerini, normal kerpice göre önemli ölçüde iyileştirmiştir. Uçucu külün kerpiç üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılması sonucu kerpiç özelliklerini olumlu yönde etkilediği yapılan çalışmalar neticesinde ortaya konulmuştur (Aruntaş, 2006).

2.4.6 Uçucu küllerin seramik ve cam üretiminde kullanımı

Günümüzde geleneksel ve sanatsal seramik üretiminde uçucu küller, kil ve feldispat ilavesi yapılarak kullanılmaktadır (Queralt vd., 1997). Seramik malzemelerin en büyük sorunları kırılgenlikleri ve çekme kuvvetleri karşısında dayanıksız olmalarıdır. Seramik malzemelerinin atomik yapısı yüksek dayanıklılık sağlamalıdır fakat bu, pratikte yerine getirilememektedir. Bu nedenledir ki içerisine ilave edilen katkı malzemeleri yardımıyla bu mukavemet arttırılmaktadır. Uçucu küllerin tane boyunun küçük olması, maliyetinin çok az olması, öğütme ünitesi masraflarının olmayışı ve pişirme işlemleri sırasında

içerdiği karbon miktarının da sağladığı enerji tasarrufu seramik sanayiinde büyük bir avantaj olarak tanımlanır. Son yıllarda, uçucu küller fiziksel ve kimyasal yapı özelliklerinden dolayı cam seramiklerin üretiminde de yoğun olarak çalışılmaktadır (Erol vd., 2007). Uçucu kül içerisinde, geniş bir dağılım gösteren yuvarlak parçacıklar çoğunlukla camsı özellikte olup uçucu küldeki cam içeriği genellikle% 70'den fazladır (Helmuth, 1987). Vitreous (camsı) fazı sinterlemede önemli bir rol oynamaktadır (Kingery vd., 1976; Ergüt, 1994).

2.4.7 Uçucu küllerin diğer kullanım alanları

Uçucu küller endüstrinin birçok alanında değerlendirilmekle birlikte yukarıda ki tanımlamalarımızın dışında; döküm kumu olarak kullanılması, içindeki bazı nadir metallerin elde edilmesi, taşkınların önlenmesinde, metal yüzeylerin püskürtme yoluyla temizlenmesinde, çatı malzemelerinde dolgu malzemesi olarak, kağıt, lastik, plastik, sabun ve suni gübre sanayinde, buz kontrolünde, kömür madenlerinde yangın ve çökme kontrolünde, emülsiyon üretiminde, asfalt yol yüzeylerinde kaymayı önleyici olarak, petrol ve kuyu sondajları gibi birçok alanda kullanımı söz konusu olmaktadır (Doğan, 2007).

2.5 Türkiye ve Dünya’da ki Termik Santraller ve Uçucu Kül Üretimi

Dünya’da elektrik üretiminde kömür önemli rol oynamaktadır. Fosil yakıtlar arasında kömür genellikle doğal gaz ve petrol fiyatlarına göre ısı eşdeğeri açısından en düşük fakat fiyat açısından en ekonomik olanıdır. Bu nedenledir ki; gelişmekte olan ülkeler maliyet avantajı nedeniyle enerji üretmek için kömür kullanmaktadırlar. Bol miktarda düşük maliyetli kömür pahalı olmayan elektrik enerjisinin elde edilmesini sağlamakta neticede toplam çevre kalitesini geliştirirken yaşam standartlarını da arttırmaktadır. Bütün bu üstün özellikleri nedeniyle kömür, dünyada insan için vazgeçilmez enerji kaynağı olmakta ve olmaya da devam edeceği, Ulusal Enerji Ajansının (IEA) göre de kömür tüketiminin yıldan yıla daha da artış gösterdiği yönünde olacağı ifade edilmektedir.

Termik santrallerde çok ince öğütülerek yakılan kömürden baca gazları ile taşınamayan iri taneli kazandibinde bulunan ‘taban külü’, ocaklarda yakılan kömürün suda soğutulularak uzaklaştırılması ile elde edilen ‘ham kül’ ve baca gazları ile taşınan, çok ince taneli ‘uçucu kül’ şeklinde üç farklı türde kül ortaya çıkmaktadır (Türker vd., 2009).

Termik santrallerde kömürlerin orijinal ısı değerleri 800-7000 kcal arasında kül oranları ise ağırlık olarak % 6-40 arasında değişim göstermektedir. Taş kömürlerinde ısı değer

5000~7000 kcal/kg arasında değişirken içerdikleri kl yüzdesi % 6-12 arasındadır. Linyit kömürlerin de ise ısı değerleri 1000~4000 kcal/kg, içerdikleri kl yüzdeleri ise % 20- 40 arasında değişmektedir (Aslan, 1996).

Ülkemizde termik santrallerin temel enerji kaynağını oluşturan düşük ısıl değere sahip linyitledir. Türkiye'de termik santrallerde kullanılan linyit kömürlerinin ısı değerleri 1000-3500 kcal/kg değerleri arasında, içerdikleri kül miktarları ağırlıklı olarak % 15- 35 arasında değişen linyit kömürlere aittir. Yakılan kömürden inorganik katı atıklar olan uçucu küller elde edilmektedir. Yaklaşık 1200 °C'de toz kömürün yakılması sonucunda baca gazı ile sürüklenen ve hızlı bir şekilde soğumaya maruz bırakılırken elektrofiltreler yardımıyla tutulan ve 100 µm'den daha küçük taneleri oluşturmaktadır. Uçucu külde genellikle SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, SO₃, MgO, Na₂O, K₂O ve TiO₂ gibi oksitlere rastlanmakta olup ancak bu oksitlerin küldeki yüzdeleri külün tipine göre değişmektedir.

Kömür yakan termik santraller global elektriğin yaklaşık %41'ini oluşturmakta, bazı ülkelerde bu oranın daha da fazla olduğu öngörülmektedir (<http://www.eia.gov>). Ayrıca, dünya birincil enerji arzının %30'unu kömür karşılamaktadır. Kömürün bu kadar önem arz etmesi ucuz olması, bol bulunabilmesi, kolay erişilebilir olması, yaygın dağılım göstermesi, depolama-nakliye ve kullanım işlemlerinin ucuz olması tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Dünya da yaklaşık 600 milyon ton/yıl uçucu kül üretilmektedir. Fakat diğer alternatif enerji üretim sistemleri ile bu üretim yıldıan yıla farklılık göstermektedir (Türker vd., 2009). Türkiye' de aktif olan 38 termik santralden elde edilen uçucu kül miktarı ise yaklaşık 16 milyon ton/yıl civarındadır (<http://www.enerjiatlası.com>).

Çizelge 2.4. Ülkemizde bulunan bazı termik santral küllerinin kimyasal analiz sonuçları (Türker vd., 2009).

Bileşimi (%)	Afşin 1.Ünite	Afşin 2.Ünite	Orhaneli	Çatalağzı	Seyitömer	Yatağan	Tunçbilek	Soma	Kangal	Yeniköy	Kemerköy	Çayırhan
SiO ₂	9,37	18.27	48.53	58.75	54.49	51.50	58.25	44,04	34.03	16.34	25.20	50.98
Al ₂ O ₃	4,63	9.16	24.61	25.24	20.58	23.08	16.66	22,07	14.93	10.65	12.58	13.11
Fe ₂ O ₃	2,58	3.26	7.59	5.76	9.27	6.07	12.91	4,37	4.41	5.06	5.98	9.74
S+A+F	16.58	30.68	80.73	89.75	84.34	80.65	87.82	70,48	53.37	32.05	43.76	73.83
CaO	54.38	53.44	9.48	1.46	4.26	10.53	1.95	20,95	31.91	39.40	38.49	11.82
MgO	1.54	1.74	2.28	2.22	4.48	2.42	5.08	1,66	1.73	1.49	1.27	3.91
SO ₃	24.24	11.40	2.48	0.08	0.52	1.32	0.76	2,55	6.95	23.94	13.88	3.94
K ₂ O	0.43	0.38	2.51	4.05	2.01	2.54	1.37	1,22	1.01	1.44	1.18	1.91
Na ₂ O	0.18	0.19	0.35	0.60	0.65	0.77	0.33	0,34	0.65	0.49	0.41	2.71
Cl	0.035	0.012	0.005	0.015	0.006	0.003	0.002	0,009	0.007	0.011	0.014	0.014
Serbest CaO	12.86	11.62	0.11	0.13	0.26	0.99	0.16	7,66	7.65	1.91	7.15	0.56
Reaktif SiO ₂	8.61	15.40	34.06	34.18	39.01	26.69	40.55	31,50	27.73	11.81	17.61	40.89
Reaktif CaO	36.166	37.32	7.58	0.65	2.49	9.02	1.03	17,71	23.01	24.96	28.32	8.78
KK	2.58	2.12	1.69	1.12	3.01	1.06	2.09	2,09	3.60	0.67	0.50	0.86

3 SERAMİK

3.1 Seramiğin Tanımı

Seramik kelimesinin anlamı, Yunanca’da eşya anlamına gelen “Keramos” kelimesinden gelmiştir (Geçkinli, 1991). Seramik, bir veya birden daha fazla metalin, metal olmayan element ile birleşip ve sinterlenmesiyle meydana gelen inorganik bir bileşiktir. Çoğunlukla kayaların dış etkiler altında parçalanması sonucu oluşan kil, kaolin ve benzeri olan maddelerin, yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile meydana gelmektedirler. Bu yönden halk arasında, pişmiş toprak esaslı malzeme olarak da bilinmektedir (Ağaçayak, 2009).

Seramik malzemeleri, “Geleneksel seramikler” ve “Yüksek Teknoloji Seramikleri” olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Geleneksel seramikler içerisine giren malzemeler; kilden mamul olan sıhhi gereçler, karo, porselenler ve fayans, kiremit ve tuğlalar ve elektrik izolatör malzemeler; refrakterler; çimento malzemeleri ve camlardır. Yüksek teknoloji seramikleri için “teknik seramikler”, “mühendislik seramikleri”, “modern seramikler”, “ince seramikler” gibi tanımlar da kullanılır. Yüksek teknoloji seramikleri de “yapısal seramikler” ve “fonksiyonel seramikler” olarak iki gruba ayrılmaktadır (Kurt, 2007).

3.2 Seramik Malzemelerin Özellikleri

3.2.1 Seramik malzemelerin fiziksel özellikleri

Endüstriyel seramiklerin büyük bir kısmı, karbon, oksijen ve azotun metaller veya yarı metaller ile oluşturduğu bileşiklerdir. Bu nedenle seramikler, metallerin birçoğundan daha az bir yoğunluğa sahiptirler. Netice olarak, hafif olan bir seramik parça, ağır olan bir metal parça kadar dayanıklılık gösterebilir. Bununla beraber, seramikler yüksek bir aşınma direncine sahiptirler. Elmas, bilinen en sert maddedir ve kübik kristal formda bor nitrid ise elmasdan sonra gelen en sert maddedir. Silisyum karbür ve alüminyum oksit de oldukça sert malzemelerdir. Bunlar, metallerin kesilmesinde, zımparalanmasında ve parlatılmasında sıklıkla kullanılmaktadır (Sümer, 1998).

3.2.2 Seramik malzemelerin kimyasal özellikleri

Endüstriyel seramiklerin en belli belirginleri oksitlerdir (oksijen bileşikleri). Bunların haricinde; silisürler (silisyum bileşikleri) , nitrürler (azot bileşikleri), karbürler (karbon ve ağır metal bileşikleri), borürler (bor bileşikleri) de yaygın bir şekilde kullanılırlar. Örnek olarak, alüminyum oksit bir seramiğin ana içeriği olabilmektedir. Alümina seramikler genellikle % 85-99 oranında alüminyum oksit içermektedirler. Seramikler, plastiklerden ve metallere daha fazla olarak korozyona direnç gösterirler. Genellikle gazlar, sıvılar, alkaliler ve asitlerle reaksiyona girmezler. Seramiklerin birçoğu çok yüksek ergime noktalarına sahiptirler ve bazı seramiklerde ergime noktalarına çok yakın sıcaklıklarda kullanılabilirler (Ermiş, 2005).

3.2.3 Seramik malzemenin elektriksel özellikleri

Seramikler genel olarak yalıtkan malzemelerdir. Elektrik iletmezler, fakat elektrik alanına tepki göstermektedirler. Kondansatör yapımında kullanılır. Kilden üretilmiş olan refrakter malzemeler yüksek sıcaklığa dayanıklıdır ve iyi bir yalıtım sağlamaktadırlar. Bu nedenle yüksek oranda alüminat, silis ve magnezyum oksit içeren killer kullanılır. Alüminat oranı arttıkça ateşe dayanıklılıkta artar. Ana bileşen, asidik ateş tuğlalarında silis, bazik ateş tuğlalarında ise magnezyum oksittir (Çimen, 2015).

3.2.4 Seramik malzemenin manyetik özellikleri

Demir oksit içeriğine sahip olan seramikler; demir, kobalt ve nikel gibi manyetik malzemeler ile benzer nitelikte manyetik özelliklere sahip olabilmektedirler. Bu tür demir oksit tabanlı olan seramikler ferritler olarak adlandırılır. Farklı manyetik özellikleri olan seramikler ise nikel oksitleri, baryum ve mangandır. Manyetik olan seramikler, elektronik devrelerde ve elektrik motorlarında kullanılmaktadır (Biçer, 2010).

3.2.5 Seramik malzemenin termal özellikleri

Seramiklerin çoğu yüksek ergime noktasına sahiptirler ve diğer malzemelere kıyasla mukavemetlerini yüksek sıcaklıklarda kaybetmemektedirler. Örnek olarak, silisyum karbür (SiC) ve silisyum nitrür (SiN) gibi seramiklerin sıcaklık değişimlerine karşı dirençleri birçok metalden daha da iyidir fakat yüksek ve ani olan sıcaklık değişimleri seramikleri zayıflatabilmektedir.

(<http://www.seramikanka.com.tr/blog/index.php/ÇATegory/sector>; Aydın, 2011)

3.2.6 Seramik malzemenin mekanik özellikleri

Bütün seramik malzemeler genellikle kırılımandır. Çekme dayanımları $0,7 - 7 \times 10^3$ MPa arasında değişmektedir. Bununla beraber bir malzeme türü olarak çok az seramik, 172 MPa'nın üstünde çekme dayanımına sahiptir. Seramik malzemelerin basma ve çekme dayanımları arasında büyük fark vardır ve örneğin Al_2O_3 seramiğinde (çekme dayanımı 207 MPa, basma dayanımı 2585 MPa) olduğu gibi 10 kat daha yüksektir. Ayrıca seramik malzemelerin birçoğu serttir ve iyonik ortaklaşım bağlarından dolayı darbe dayanımları düşüktür. Ayrıca, bu genelleme dışında kalan birçok seramik malzemelerde bulunmaktadır (Urtekin, 2008).

Seramik malzemelerin mekanik yıkımı genellikle yapısal kusurlardan dolayı olmaktadır. Seramik çok kristallilerde görülen ana kusur kaynakları arasında; yüzey işlemleri sırasında oluşan yüzey çatlakları, boşluklar (gözenekler), kalıntılar ve üretim esnasında meydana gelen iri taneler sayılabilmektedir (Urtekin, 2008).

Gevrek olan seramik malzemelerde bulunan gözenekler gerilmenin yoğun olduğu kısımlardır ve bir gözenekte olan gerilme kritik değere geldiğinde bir çatlak meydana gelir ve ilerler. Çünkü bu malzemelerde sünek metallerin biçim değiştirmesinde olduğu gibi büyük miktarda enerji soğuran süreçler bulunmamaktadır. Bundan dolayı çatlak ilerlemeye başladığında, kırılma oluncaya kadar devam eder. Yük uygulanan kesit alanını azaltarak malzemenin dayanabileceği gerilmeyi düşürdüklerinden dolayı gözenekler malzemelerin dayanımını olumsuz olarak etkiler. Bu nedenledir ki, seramik malzemelerde gözeneklerin büyüklüğü ve hacim oranı dayanımlarını etkileyen önemli sebeplerdir. Kusurlar seramik malzemenin dayanımında önemli bir rol oynamaktadır. Büyük gözeneklere sahip olmayan, tam yoğun seramik malzemelerde kusur büyüklüğü genellikle tane büyüklüğü ile ilişkilidir. İnce taneli yapılar tane sınırlarında daha küçük boyutta kusura sahip olduklarından dolayı iri taneli yapılara göre dayanımı daha da iyidir (Smith, 2001).

3.3 Seramik Üretim Prosesi

Seramik üretimi, masse hammaddelerinin stok sahalarında hazırlanması ile başlayıp ve fırın çıkışında sona ermektedir. Geleneksel olarak seramik üretimi aşağıdaki şekilde özetlenebilir, fakat hammadde, ürün, ebat ve çalışma şartlarına göre farklılık gösteren kısımları da mevcuttur (Kara, 2013b).

- Hammadde hazırlama

- Öğütme
- Granüleştirme (Spray Drying)
- Şekillendirme
- Sırlama
- Kurutma
- Pişirme (1100-1150°C)

3.3.1 Hammadde ve hazırlanması

Seramik üretiminde kullanılan hammaddelerin genel olarak hazırlanması; hammaddelerin rezervlerinden çıkarılması, istenilmeyen yabancı olan maddelerin kabaca temizlenmesi, boyut küçültmesi, taşınması, karıştırılması, ayırılması (zenginleştirme), homojenleştirilmesi, süreçlerini içermektedir (Döğeroğlu ve Kara, 1991).

Kırma ve öğütme işlemlerinin reolojiye, üretim davranışına, sinterleme davranışına, mikro yapının iyileşmesine önemli derecede etkisi vardır. Bundan dolayı sürecin en etkili aşamalarından sayılmaktadır. Öğütmede kullanılacak olan değirmenlerin; maliyeti, kapasitesi, öğütme döngüsünün hızı (kritik hız), tane boyutunun dağılımı ve malzemenin özellikleri bir bütün halinde göz önünde bulundurularak seçilir. İstatistiksel olarak, tanelerin kırılma olasılığı çarpışma frekansının daha büyük olması nedeniyle artar. Birim hacimdeki çarpışma sayısının hızlı bir şekilde artması, ortamın büyüklüğünün azalmasıyla ve öğütme ortamının artmasıyla ilişkilidir. Bu özellikler atritor ve titreşimli değirmenlerde en üst düzeydedir. Bilyalı değirmenlerde darbelerin frekansı, değirmenin limit hızı, bilyaların şekli ayrıca değirmenin belirli bir oranda doldurulması (değirmen sarj oranı) nedeniyle sınırlıdır (Vari 2000, Anonim 2002b).

Öğütmenin başarısını birçok faktör etkilemektedir. Malzeme değirmene belli ağırlıkta yüklenmeli, su oranı ile iyi bir şekilde hesaplanmalıdır. Yaş öğütmede değirmenin içinde, iç hacminin yaklaşık olarak 1/3 'ü kadar boşluk bırakılmalıdır. Değirmene yaklaşık olarak öğütülecek olan kuru madde ağırlığı kadar bilya konulmalıdır. Bilya büyüklüğünün seçimi oldukça önemlidir (Arcasoy, 1983).

Silindirik şekle sahip olan değirmen içerisinde bilya kullanılmasının küresel bilye kullanımı üzerine tane darbe frekansı açısından belirli faydalarının olduğu, silindirik olan bilyaların çarpışma esnasında daha fazla yakalayıp öğütmeyi arttırabildikleri belirtilmektedir. Darbeler öğütücü ortam yüzeyinde oluşan tane konsantrasyonu ile ve

tanelerin tek biçimli olmaları nedeniyle artar. Aglomerasyonun artması sonucunda darbe frekansı azalır. Ayrıca ıslak öğütme için, akışkansızlığın tane hareketini engelleyecek ve taneleri darbe bölgesinde tutabileceği kadar çok olması gerekir. Titreşimli ve atritör değirmenler, bilyalı olan değirmenlere göre daha ince taneli, daha dar tane büyüklüğü dağılımlı öğütmeyi daha kısa sürede sağlar. Bilyalı değirmenler ise daha büyük kapasiteli, daha geniş tane büyüklüğü dağılımlı ve aglomerelerin olmadığı öğütmeler için kullanılır (Vari 2000; Anonim 2002b). Öğütmeden gelen bünyeye ait çamur püskürtmeli kurutucu ile granül haline getirilip, kontrol edilebilen nem miktarına ve şekillendirme için ideal olan tane boyut dağılımına sahip olacak bir hale gelir. Püskürtmeli kurutucu bünye çamuru ile sıcak hava arasında ısı alışverişini hızlandıracak şekilde tasarlanmış olan kapalı bir koni olarak basit şekilde tanımlanabilir. Seramik sektöründe en çok kullanılan püskürtmeli kurutucu tipi karışık akışlı olanıdır. Bu özellikteki püskürtmeli kurutucularda ısıtılmış olan hava üst taraftan aşağıya doğru verilirken çamur alt kısımdan nozüller ile yukarıya doğru püskürtülür. Bu şekildeki tasarım ile çamurun püskürtmeli kurutucuda kalma süresi arttırılıp daha homojen olarak kuruması sağlanır (Reed 1995; Biffi 1999; Anonim 2002b).

Çamur, yüksek bir basınçla (25-30 bar) kurutma odasına püskürtülür. Burada 500-600 °C'deki hava ile temas eder. Türbülanslı hareket sebebiyle oluşan ısı değişim katsayısı, damlacıkların yüksek spesifik yüzey alanı, çamur ve hava arasındaki yüksek sıcaklık farkı suyun neredeyse anında buharlaşmasına sebep olur. Netice olarak, presleme için uygun nem miktarı ve tane boyut dağılımına sahip yuvarlak şekilli granüller kurutma odasının alt kısmında toplanır (Reed 1995; Biffi 1999; Anonim 2002b).

Püskürtmeli kurutucudan çıkan granüller silolarda dinlendirilmeye bırakılır. Yaşlandırma olarak adlandırılan bu işlem ile nem oranı ve sıcaklığı daha homojen bir hale gelir (Vari 2000; Anonim 2002b).

Çamur hazırlama işlemi: Kil, feldispat, kaolen, kuvars gibi seramik ana hammaddelerinin belirli bir reçeteye göre karıştırılıp, sulu olarak değirmende öğütülerek seramik çamuru elde edilmesidir (Kaya, 2010).

İyi bir döküm çamurunda aşağıdaki özellikler aranmaktadır:

- Alçı, kalıp içine kolay yayılabilmesi için düşük viskoziteye sahip olmalıdır.
- Katı maddeler çökmemelidirler.

- Dökümden sonra kolay bir şekilde çıkarılabilmelidir.
- Çok hızlı veya yavaş olmayan bir et kalınlığının oluşumu sağlanmalıdır.
- Kururken küçülme miktarı az olmalıdır.
- Döküm sonrasında mukavemeti yüksek olmalıdır.
- Optimum elektrolit miktarının biraz daha altında elektrolit kullanılmalıdır. Aksi halde kalıp yüzeyinde tuz oluşumları artar.
- Çamur içinde hava kabarcıkları olmamalıdır.
- Kalıbın yüzeyinde oluşan tabaka ile diğer çamur arasında keskin bir şekilde sınır olmalı ve geri kalan çamur rahat bir şekilde boşaltılmalıdır.
- Kalıptan çıkarılırken deformasyon oluşmamalı, kuru küçülme kalıptan çıkarılmaya elverişli fakat çatlak oluşumuna neden olmamalıdır (Acun, 2002).

3.3.2 Şekillendirme

Seramiklerin genel olarak üretim aşamalarını şu şekilde sıralamak mümkündür: Ham maddelerin kırma ve öğütme işlemi ile ince toz üretimi, tozların bazı ilave maddelerle (yağlayıcılar, bağlayıcılar, ıslatma özelliğini artırıcı maddeler, plastisiteyi kontrol eden maddeler, sinterlemeyi ve biçimlendirmeyi kontrol eden katkı maddeleri) karıştırılma işlemi, şekil verme işlemi, kurutma ve pişirme işlemidir. Kırma işlemi, bilyalı değirmenlerde yaş veya kuru ortamlarda yapılmaktadır. Yaş ortamın avantajı, ince tozların hava ortamından çıkmasını engellemesidir. Seramik şekillendirme yöntemlerinin sağladığı avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Seramik şekillendirme yöntemlerinin sağladığı avantaj ve dezavantajları

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları
Slip döküm	Karmaşık şekil, Büyük parçalar, Düşük maliyetli ekipmanlar	Düşük üretim hızı Boyut kontrol sınırlaması,
Ekstrüzyon	Hızlı üretim, İçi boş ve küçük çaplı parçalar	Sabit kesitte kalınlık sınırlıdır
Kuru presleme	Son toleranslar, Otomasyonla hızlı üretim	L/d yüksekse homojen olmayan yoğunluk, Yüksek mukavemetli kalıp gereksinimi
Yaş presleme	Yüksek üretim hızı, Karmaşık şekiller	Parça büyüklüğü sınırlı, Boyutsal kontrol, Yüksek ekipman maliyeti
Sıcak presleme	Mukavemetli ve yüksek yoğunluklu parçalar	Koruyucu atmosfer, Kalıp ömrü sınırlı
İzostatik presleme	Homojen yoğunluk dağılımı	Teçhizat maliyeti yüksek
Enjeksiyon kalıplama	Karmaşık şekiller Hızlı üretim	Teçhizat maliyeti yüksek

Viskozite, besleme stoğuna ait bir özellik olmakla beraber, gerilme-şekil değiştirme hızı arasındaki ilişkiyi belirlemektedir. Birçok besleme stoğu için, erime akış indeksi (EAI) basit bir viskozite ölçüsüdür. EAI, önceden belirlenmiş bir basınç altında, kılcal bir borudan 10 dakikada akan besleme stoğunun gram cinsinden miktarı olarak ifade edilir. Yüksek olan viskozite şekillendirmeyi güçleştirirken, düşük olan viskozite şekillendirme esnasında toz-bağlayıcı ayrışması sonucunda çatlak veya çarpılmalara neden olabilir. Bu sebeple, şekillendirme için hazırlanacak olan bir besleme stoğunun uygulanacak şekillendirme teknolojisi için uygun olup olmadığının reolojik testler ile belirlenmesi gerekir (Kalpakjan ve Schmid, 2003; Sarıtaş vd., 2007).

3.3.2.1 Slip döküm

Slip döküm, presleme ile elde edilmesi zor olan şekilde malzemelerin üretilmesinde kullanılan çok eski bir yöntem olmakla beraber, bugün ileri seramiklerin üretiminde de kullanılmaktadır (Arpaözü, 1999).

Hazırlanmış olan çamur, alçı kalıplara dökülür. Çamurda var olan su, gözenekli alçı kalıp tarafından emilir. Seramik tozların bir sıvı (genellikle su) ile meydana getirdikleri süspansiyonun kalıplara (genellikle alçı) dökümü şeklinde ifade edilmektedir. Bu yöntem basit ve pahalı olan aletler gerektirmediği için her boyut ve şekilde parça üretimi için kullanışlıdır. Fakat pişme sırasında çekme miktarı yüksek olduğundan, nihai olan ürünün boyut tahmininde güçlük oluşturur. Bununla beraber, birkaç kademe gerektiren yavaş bir prosestir. Bundan dolayı, yöntem prototip çalışmalarda (sağlık gereçleri ve sanat eserleri, bilyalar, seramik potalar v.s) ve kısa zamanlı üretim dönemlerinde kullanılır (Geçkinli, 1991; Arpaözü, 1999).

Üretilen malzemenin özelliklerine göre tozların hazırlanması önem arz etmektedir. İnce boyuttaki tozlarla (-45 mikrometre) çalışılmalıdır. Genellikle 1-10 mikrometre boyutundaki tozlar ideal olup, %5-10 kadarı 1 mikrometrenin altında, %5'i de 100 mikrometrenin üstünde de tozlar kullanılabilir. Tozların istenilen tane boyutuna indirilmesi esnasında demir bilyalı veya astarlı öğütücüler kullanılmış ise, malzeme manyetik ayırıcıdan geçirilip, gelebilecek demir oksit tozlarından ayrıştırılmalıdır. Önceden hazırlanan veya hazır halde bulunan seramik tozlarının, ortam sıvısı ve katkı maddeleri ile beraber karıştırılması ile slip hazırlanır. Slipse eklenen katkı maddeleri, deflokulantlar ve bağlayıcılardır. Deflokulant eklenmesi slipin kararlı olması ve yüksek slip yoğunluğu için gerekmektedir. Bağlayıcıların slipte iki önemli görevi vardır. Hem

dökümü yapılan parçanın ham dayanımını artırarak elle tutulabilmesini sağlamak, hem de slipte mevcut olan iri tanelerin çökmesini önlemektir (Arpaözü, 1999).

İyi bir slip için genel olarak bir reçete vermek mümkün olmaz. Hammaddelerin ve karıştırıcıların cinslerine uygun her işletme kendi olanaklarına göre optimum döküm koşullarını belirler. En önemli olan faktör hammaddelerin çok iyi şekilde disperse edilmiş olmasıdır. Bu da katı maddenin tane boyut dağılımı, katı madde-su oranı, ortamın pH'ı ile yakından ilişkilidir. Disperse edilmemiş olan bir slip aşağıda sıralanan özellikleri gösterir:

1. Slipte tiksotropik yapı çok çabuk bir şekilde oluşur ve kalıbın iç kısmını iyi bir şekilde doldurmaz.
2. Döküm sonrası malzemenin yüzeyi düzgün olur.
3. Su oranı yüksek olduğundan dolayı kuruma esnasında küçülme büyük olup bu da çatlamalara sebep olur.

Döküm slipi hazırlanırken suyun sıcaklığından karıştırma hızına kadar birçok değişkenin sabit tutulması, tekrarlanabilir sonuçların elde edilmesi için gerekli bir şarttır. Dökümün kalite kontrol testleri rutin olarak yapılırsa her seferinde aynı kalitedeki özellikte döküm yapılabilir. Aynı yoğunluk ve vizkoziteye sahip olan iki slip farklı döküm özelliklerine sahip olabilir. Bunun sebebi de slipin tiksotrop özelliğindedir (Arpaözü, 1999).

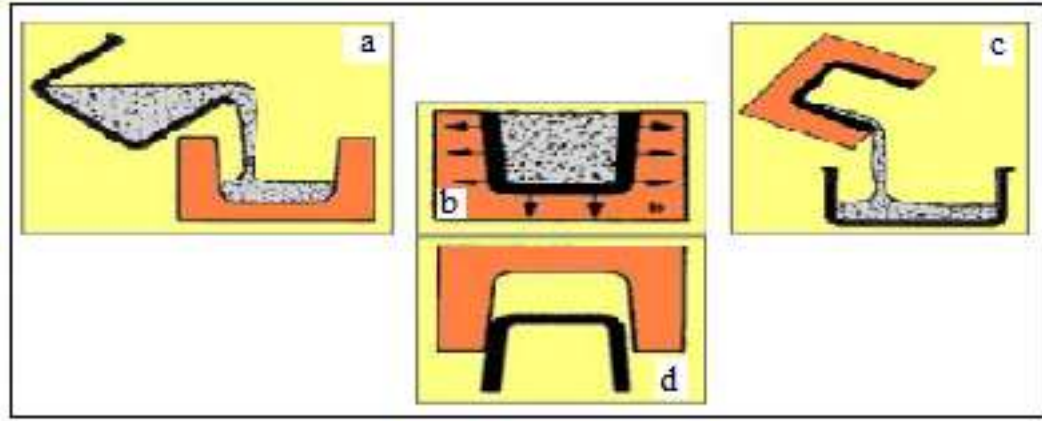
İyi bir döküm slipte; kalıp iyi doldurulabilir olmalı, slipdeki bazı taneler dibe çökmemeli, döküm hızı kontrolü güçleştirecek kadar hızlı olamamalı, malzemenin kuru küçülmesi alçı kalıptan çıkaracak bir seviyede olmalı fakat bu kalıp içinde çatlamalara neden olacak şekilde büyük olmamalı, döküm sonrası malzeme yeteri kadar ham dayanıma sahip olmalı, slipte hava kabarcıkları bulunmamalı, mümkün olduğunca az su içermelidir.

Kalıp hazırlama işleminde, slip dökümü için kalıbın belirli bir gözeneklilikte olması gerekir ki slipin içinde var olan suyu kapiler hareketle çekebilsin. Bununla beraber kalıp malzemesinin ucuz olması da gerekmektedir. Bu özelliklere sahip en iyi kalıp malzemesi alçıdır. Alçı kalıbın hazırlaması için, alçı tozunu suyla karıştırıp önceden hazırlanmış olan model kalıba dökülür. Daha sonra alçının sertleşebilmesi için bir süre beklenir. Eğer karışık şekilde bir parçanın dökümü için yapılacaksa, alçı kalıp birkaç parçalı yapılır.

Döküm işleminde, slip dökümü, kalıba doldurulmuş slipin istenilen et kalınlığına geldikten sonra geriye boşaltılması, katı malzeme elde edilinceye kadar slipin kalıba

ilavesi ve daha sonra istenilen parça katılaştığında bunun kalıptan çıkarılması şeklinde yapılır (Arpaözü, 1999). Döküm işlemi boşaltma (drain) Şekil 3.1’ de şematik olarak gösterilmiştir. Hazırlanmış olan slip kalıp içerisine akıtılarak dökülür. Slip içerisindeki su, gözenekli kalıp tarafından emilerek yapıdan uzaklaştırılır ve böylece kalıp kenarlarında şekil oluşmaya başlar. Kalıp duvarlarında istenen kalınlık oluşuncaya kadar, slip kalıp içerisinde tutulur. Kuru döküm, en yaygın olan döküm yöntemidir. Özellikle sanatsal seramiklerin, lavabo ve diğer sağlık gereçlerinin, potaların ve diğer ürünlerin şekillendirilmesinde endüstriyel olarak kullanılmaktadır.

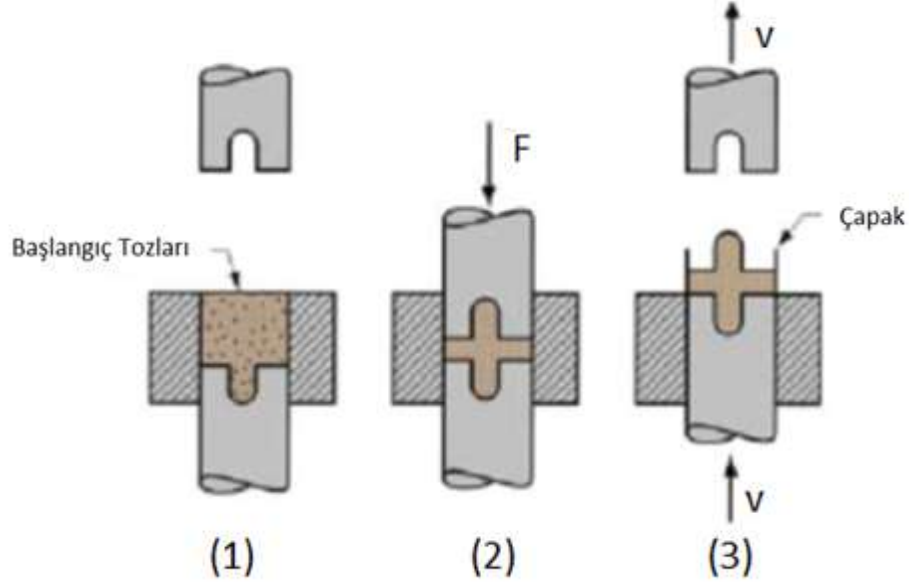
(<http://malzeme.aku.edu.tr/wpcontent/uploads/sites/88/2016/03/M%C3%9CL-II-SERAM%C4%B0K-DERS-NOTU.pdf>).



Şekil 3.1 Boşaltma döküm yönteminin şematik gösterilişi, a) kalıbın sliple doldurulması b) kalıbın sıvıyı emmesi, c) fazla slibin geri boşaltılması, d) kısmi kurutma sonrası parçanın kalıptan çıkarılması.

3.3.2.2 Kuru presleme

Kuru presleme, bağlayıcı ve yağlayıcıların (stearik asit, polyvinil alkol, nişasta) tozla birlikte karıştırılıp tek eksenli yük altında metal bir kalıba basılma yöntemidir. Uygulanan basınçlar 350-2000 bar arasındadır. Kalıbın sertleştirilmiş ve seramik tozların aşındırıcı özelliklerine karşı dirençli olması kalıp maliyetlerini artmasına neden olur. Kuru preslemede yoğunluğun homojen olmaması nedeniyle pişirme sırasında çarpılmalar görülür. Çarpılma genellikle yüksek L/D oranlarından meydana gelmektedir. Homojen yoğunluk dağılımı için titreşimli presler tavsiye edilir. İzostatik presler de yoğunluk farkını giderecek yöntemler arasında sayılmaktadır (Kalpakjan, 2003; Geçkinli, 1991). Şekil 3.2’ de kuru presleme şematik olarak görülmektedir (<http://malzeme.aku.edu.tr/wp->



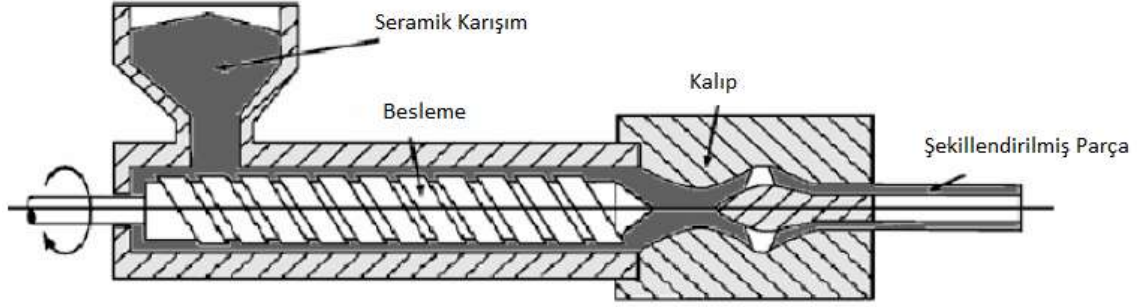
Şekil 3.2 Kuru presleme yönteminin şematik gösterilişi: 1) nemli tozun kalıp boşluğuna doldurulması 2) sıkıştırma 3) kalıp yarılarının açılması ve numuneyi çıkarma.

3.3.2.3 Ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirme

Ekstrüzyon, refrakter ve geleneksel seramik alanında uzun bir geçmişi olan eski bir seramik şekillendirme metodudur. Ekstrüzyon prosesi uzun boyutlu seramik ürünlerinin üretiminde gerekli ve ekonomik açıdan düşük maliyetli bir teknik olarak kendini kanıtlamıştır (Palacı, 2001; Soyhan, 2007). Ekstrüzyon tekniği ile fırın tüpleri, izolatörler, tuğlalar, katalitik altlıklar, termokupl koruyucu tüpler, kapasitör boruları, elektronik altlıklar üretilmektedir (Richerson, 1990).

Ekstrüzyon bir plastik şekil verme yöntemidir. Belirli bir plastikliğe sahip olan ekstrüzyona uygun özellikte bir karışım oluşturmak için seramik tozları % 25-30 oranında organik bağlayıcı ile karıştırılır ve rutubet kontrol edilip istenilen boyutlarda ekstrüzyona tabi tutulur. Çubuk, tüp, fayans, gibi sabit kesitteki ürünlerin yapımı için uygundur. Ekstrüzyon prosesi seramik toz ve katkılardan meydana gelen yüksek vizkoziteli plastik karışımın şekillendirilmiş bir kalıptan basınç ile itilme işlemlerinden ibarettir. Seçilen katkı maddelerinin doğası seramik tozuna ve sıvıya bağlıdır. Ekstrüzyon prosesinde

birçok değişken etkilidir, bu etkenlerden en önemli faktör ekstrüze edilmiş olan karışımın akış özelliğidir. Kısmi basınç altında itilecek şekilde yeterli bir plastiklikte akışkanlığına sahip olmalı ve bununla birlikte karışım kalıptan çıktıktan sonra işlem sırasında şekil değişikliğine uğramaması için yeterli sertliğe sahip olmalıdır (Şekil 3.3). Seramik toz ve sıvı uygulanan basınç altında birbirinden ayrılmamalıdır (Geçkinli, 1991; Palacı, 2001).



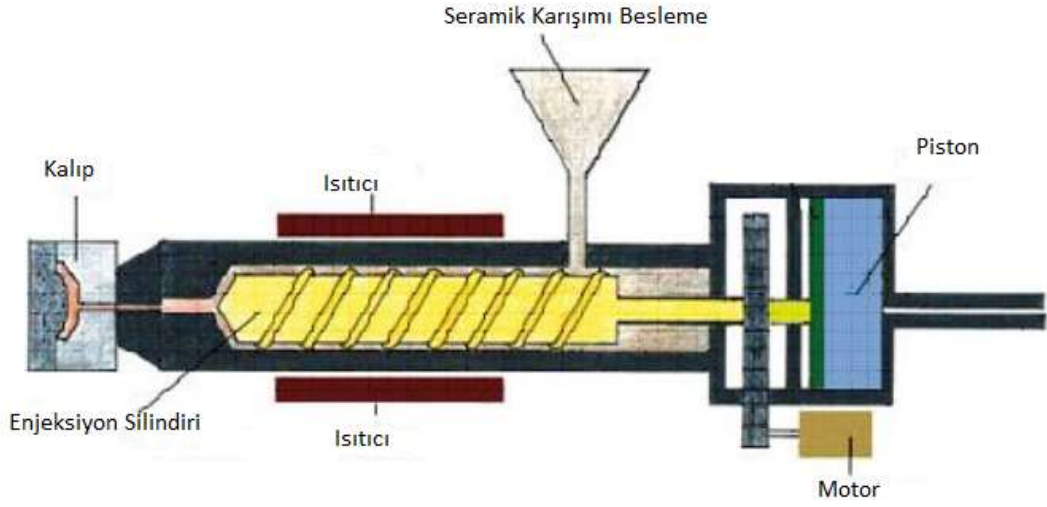
Şekil 3.3. Ekstrüzyon sisteminin şematik olarak görünümü (Yılmaz, 2006)

3.3.2.4 Enjeksiyon kalıplama ile şekillendirme

Seramik üretim yöntemleri içerisinde en yenilerinden biri de toz enjeksiyon kalıplama yöntemidir. Bu teknik, devamlı üretim halinde kullanılmaktadır. Üretimin hızı yüksek olup maliyeti ise düşüktür. Bu prosesinde, toz boyutu mikronun altındadır ve çeşitli termoplastik reçine ve plastisiteyi artırıcı katkı maddeleri eklenir. Bu yöntemin plastik sanayinde kullanım şekli, plastik malzemenin eritilerek daha önceden şekillendirilmiş kalıp içine enjekte edilerek kalıpta soğutulmasıdır. Bu proses diğer üretim yöntemlerine göre daha hassas ölçülü ve daha düzgün yüzeyli kompleks şekilli parça üretimine imkan sağlamaktadır.

Plastik enjeksiyon, kalıplama endüstride uzun yıllar boyunca kullanılmasına rağmen, 1949'larda yapılan bir yayınlı (Walder, 1949; Soyhan, 2007) başlayan ve son zamanlarda büyük ilgi gören yeni bir uygulaması gelişmiştir. Toz enjeksiyon kalıplama (TEK) diye tanımlanan uygulama, erimiş plastik malzeme içerisine maksimum miktarda katı toz parçacıkları katılarak seramik ve metal tozlarının şekillendirilme işlemidir. TEK yöntemi; düzgün yüzeyli, küçük, karmaşık şekilli olan boyutsal hassasiyet gerektiren, işlenmesi zor olan parçaların, uygun metal veya seramik tozlarından ekonomik ve hızlı bir şekilde üretildiği şekillendirme yöntemidir. Bu yöntemle, döküm refrakter malzemesi, kesici takım uç, dişçilik, kamera ve büro makinaları parçaları, mikroelektronik paketlemede, tel sarımında ve diğer montaj aletlerinde, oksijen sensörü, kol saati gövdesinde,

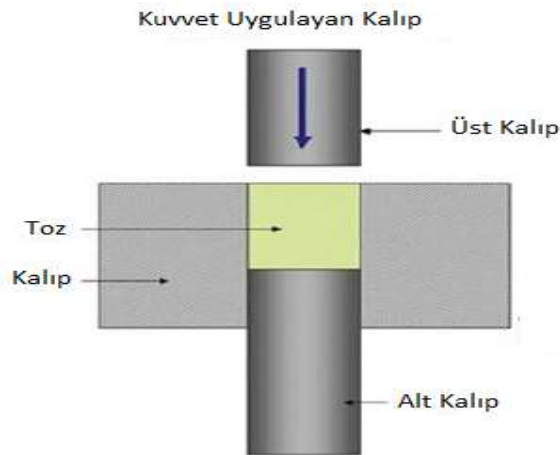
kuyumculukta, cerrahi aletlerde ve araç hava yastık parçaları üretimlerinde kullanılmaktadır (Palacı, 2001). Şekil 3.4 'de enjeksiyon şekillendirme sistemi şematik olarak görülmektedir (Çalışkan, 2016).



Şekil 3.4 Enjeksiyon kalıpta şekillendirme

3.3.2.5 İzostatik presleme

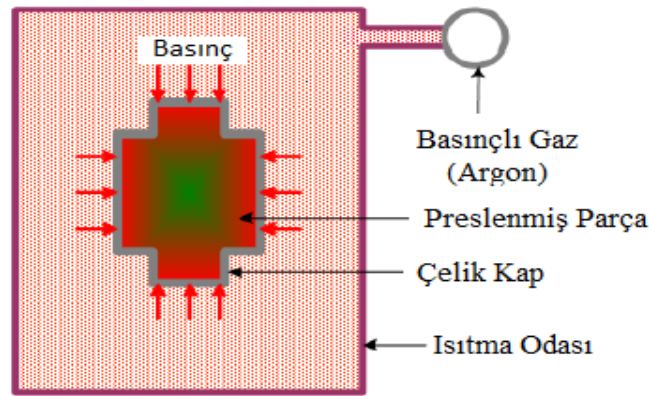
Bu yöntemde tozlar, kuru preslemede ki gibi hazırlanıp, sıvı geçirmeyen lastik bir kalıba konur. Sistemdeki hava boşaltılarak, kalıbı çevrelemiş olan sıvı sıkıştırılır. Bu şekilde ham (pişmemiş) yoğunluk %50 mertebesine gelir ve pişme ile bu değer teorik yoğunluğa ulaşabilir. Basit geometride olan parçalar daha sonra atölyede son şekillendirme işlemine tabi tutulur (Reed, 1995; Geçkinli, 1991). Şekil 3.5 'de izostatik Presleme sistemi şematik olarak görülmektedir (<https://malzemebilimi.net/soguk-izostatik-presleme-nedir-nasil-uygulanir.html>).



Şekil 3.5 İzostatik Presleme

3.3.2.6 Sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme

Sıcak presleme; ham olan parçanın yüksek basınç ve düşük gerinme hızında şekillendirilme ve sinterlenme işlemidir. Basınç ve ısı aynı anda uygulanır. Elde edilmiş olan parçanın yoğun ve dayanımının yüksek olması yöntemin sağladığı avantajlarındandır. Dezavantajı ise, koruyucu bir atmosfere ihtiyaç duyulması ve kalıp ömrünün kısa olmasıdır. Seramiklerin ergime sıcaklıkları yüksek olduğu için çok yüksek sıcaklıklarda sinterleme teknik ve ekonomik açıdan olumsuzluk oluşturur. Yüksek sinterleme sıcaklığı süper alaşımlar için de tane büyümesi ve faz kararlılığı yönünden pratik değildir. Yine süper iletken seramiklerin faz dönüşümü sebebiyle yüksek sıcaklıklarda sinterleme işlemi çok zordur. Bu sorunlar, sıcak preslemeyle çözüme ulaşabilmektedir (Geçkinli, 1991; Kalpakjan, 2003). Sıcak izostatik presleme (HIP), prensip yönünden soğuk izostatik preslemeye (CIP) benzemektedir. Tek farkı, eş eksenli uygulanan basınçla beraber basınç kabının ısıtılarak tozların daha az bir kuvvetle ve daha yüksek yoğunlukta şekillendirilmesidir (Yaralı, 2004; Kınikoğlu 1993). Sıcak izostatik presleme şematik olarak Şekil 3.6 'da verilmektedir (Kopeliovich, 2012a).

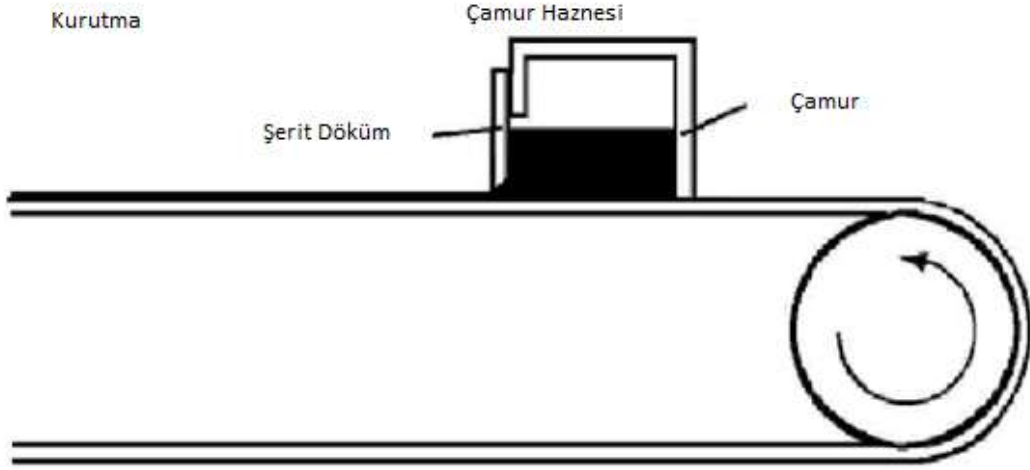


Şekil 3.6 Sıcak İzostatik Presleme

3.3.2.7 Şerit (tape) döküm

Günümüz modern teknolojisi, ince şerit veya plaka halindeki seramiklere ihtiyaç duymaktadır. Bu ürünlerde genellikle “şerit-döküm” yöntemi uygulanır. Şerit-döküm, elektronik seramik endüstrisinin en önemli proseslerindedir. Şerit-döküm yöntemi, inorganik seramik malzemenin sıvı içinde dağıldığı seramik çamurunun hazırlanması ile başlamaktadır. Buradaki sıvı faz, solvent içerisinde seyreltilmiş halde organik bağlayıcılar, dağıtıcı ile plastisiteyi modifiye eden katkı maddelerini içermektedir.

Hazırlanmış olan çamur, düz olan bir yüzeye yayılarak solventin bünyeden uçurularak uzaklaştırılması sağlanır. Böylelikle, kurutulmuş olan malzeme inorganik seramiği ve geçici plastik bağlayıcıyı içerir. Kurutulmuş şerit yüzeyden kâğıt veya deri sıyrıcılar ile el yardımıyla alınabilir (Şekil 3.7). Bu şekildeki yöntem, yüksek kaliteli seramik plakaların yapımı için kullanılır (Geçkinli, 1992).



Şekil 3.7 Şerit Döküm (Yılmaz, vd., 2006)

3.3.3 Seramiklerde kurutma işlemi

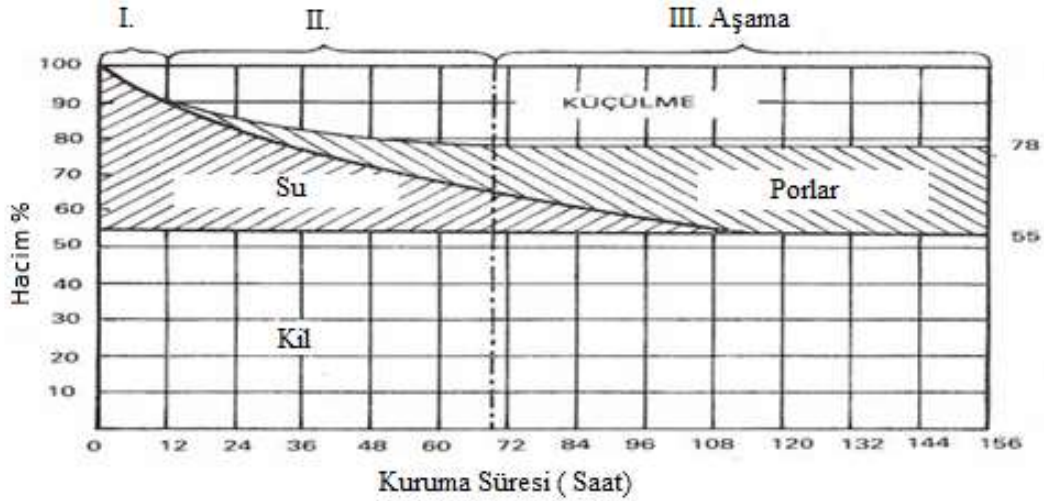
Seramikte, pişirme işleminden önce yapılacak olan en önemli işlem kurutma işlemidir. Kurutma işlemi fiziksel bir süreçtir ve rutubetli olan bir malzemeden şekillendirme suyunun uzaklaştırılarak kurutulması işlemidir. Kurutma işleminin yapılabilmesi için malzemenin içinde var olan suyun buhar şeklinde uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu buharlaştırmanın miktarı kurutma havasının hızına, kurutma havasının sıcaklığına, kurutma süresine, malzemenin kuruma yüzeyinin büyüklüğüne bağlıdır. Kurutma; açık havada yapılabildiği gibi bununla beraber, odalı, kanal veya tünel, bant, ısımalı valsli, döner silindirik, döner masalı, salıncaklı, püskürtmeli, kanallı, Jefremow yöntemi kurutucular aracılığı ile de yapılmaktadır (Arcasoy,1983). Seramik çamurunun içinde bulunan porlar (gözenekler) ile su yüzeye ulaşmaktadır.

Buradaki gözenekler kapiler görevi yaparlar. Bir seramik çamurunun içindeki yoğurulma suyu üç durumda bulunur;

1. *Por suyu*: Taneciklerin arasında bulunan suyu ifade etmektedir. Çamurda bulunan suyun büyük bir kısmını oluşturur.

2. *Yüzey suyu*: Kil taneciklerinin yüzey kısımlarını film şeklinde saran su olarak tanımlanır.
3. *Emme suyu*: Kil taneciklerinin yüzeyinden iç kısmına emilme yolu ile nüfuz etmiş olan sudur ve seramik çamurunun plastikliğinde etkili olur. Kurutma esnasında çamurdan en zor ayrılan su emme suyudur (Arcasoy, 1983).

Çamurda bulunan gözeneklerden su uzaklaştıkça küçülmede devam eder. Küçülmenin sebebi, kil taneciklerinin birbirlerine doğru yaklaşmalarındandır. Gözeneklerde bulunan suyun uzaklaşmasını, tanecik yüzey ve emme suyunun uzaklaşması takip eder. Kuruma esnasında oluşan aşamaları, kuruma süresi ile beraber inceleyen Bourry, kendi ismi ile ifade edilen bir diyagramda bu üç aşamayı Şekil 3.8’de şekilde belirlemiştir (Arcasoy, 1983).



Şekil 3.8. Bourry kuruma diyagramı

- I. I.aşama: Çamurdan uzaklaşan su buharı ile beraber hacimsel bir küçülme meydana gelir.
- II. II.aşama: Çamur küçülmesini sürdürürken bu esnada porlar oluşmaya başlar.
- III. III.aşama: Hacmin küçülmesi artık sona ermiş olur ve meydana gelen gözenekler buharlaşan su miktarı ile orantılıdır (Arcasoy, 1983).

Başlangıçta ki kurutma hızı, seramik parçanın ihtiva ettiği su miktarına bağlı değildir. Kuruma hızı, yüzeyden uzaklaşan su miktarı ile tanımlanır ve sıcaklığa, ortamdaki rutubet miktarına, kuruyan yüzeyde yer alan hava sirkülasyon hızına bağlıdır. Bundan dolayı, kuruma hızı; ortamın rutubetini, sıcaklığını, havanın sirkülasyon hızını kontrol ederek sağlanmaktadır. Seramik parçaların kuruması sırasında büzülmeyi kontrol etmek için;

şekillendirme sırasında, seramik çamurundaki rutubet miktarı ve toz boyutu kontrol edilmelidir. İri olan tozlar daha az su tutar (Geçkinli, 1992).

Kurutma esnasında partikül madde ve içerdiği özel bileşenlere, yanma bileşenlerine ve su buharına maruz kalılabilmektedir. Ayrıca kurutucuların bulunduğu kısım çok sıcak ve nemli olması sebebiyle sağlıklı bir çalışma ortamı olarak nitelendirilir. Maruz kalılabilecek zararlı etkilerden korunabilmek için alınabilecek önlemler şu şekilde sıralanabilir; minimum enerji tüketimiyle etkin bir kurutmanın sağlanması, temiz ve hızlı bir kurutma tekniklerinin kullanılması, püskürtmeli olan kurutucularda aşırı toz probleminin kuru ve ıslak toz tutucularla tutularak prosese geri verilmesi yöntemiyle önlenmesidir (Karasu ve Sertkaya, 2001).

Çamur hazırlama işleminden başlayarak, şekillendirmede bilerek veya bilmeden yapılan hatalara yanlış kurutma teknikleri eklenince, kurutma hatalarının ortaya çıkması kaçınılmaz bir durum alır. Şekillendirilmiş parçada eğer farklı et kalınlıkları varsa kuruma esnasında, ince kısımlar daha çabuk kuruyacaklarından geç kuruyan kısımlarla arasında bazı gerilimler meydana gelir. Bu da, ince ve kalın kısımların birleştikleri kısımlarda “kuruma çatlağı” denen çatlak türünü oluşturur.

Daha önce ince malzemelerde rastlanan bir kurutma hatası da deformasyon ve eğilmedir. Hareketsiz olan zemin ve raflarda kurutulan büyük parçalarda da görülmektedir. Bunun sebebi, parçanın yetersiz kuruması veya sadece yüzeyinin kurumasıdır. Bu hata yetersiz kurutma düzenlerinde meydana gelir. Malzemelerin kurutma içinde hızlı hareketi, kurutma havasının iyi ayarlanamayan sıcaklığı ve hızı da hataların önemli sebeplerindendir.

Kurutma esnasında yüzeye doğru hareket eden su beraberinde ince olan tanecikleri de taşıyabilir. Bu durumda yüzeyde ince tanelerden oluşan bir tabakalaşma hatası meydana gelir. Eğer çamurun yapısında çözünebilir tuzlar varsa, kuruma esnasında bunlar yüzeye kolay bir şekilde taşınabilir ve yüzeyde “renk lekeleri” meydana getirirler (Arcasoy, 1983).

3.3.4 Seramiklerde sırlama işlemi

Sır kavramı, hem toz halindeki sır hammaddesinin (çoğu zaman birden fazla) genellikle su ile karıştırılarak oluşturulan süspansiyonunu, hem de bitmiş olan mamül üzerinde oluşturulan cam tabakasını kapsamaktadır. Seramik ürünlerde sırlamanın amacı,

gözenekli olan veya mikro seviyede gözenekliliğe sahip olan pürüzlü olan yüzeylerin sır tabakasıyla kaplanması ile pişme sonrasında camsı bir yüzeyin elde edilmesidir. Böylece hijyenik, pürüzsüz ve rahat temizlenebilir bir yüzey elde edilir. Ana hedef estetik bakımından güzel bir görünümü oluşturmak ve dekorlama kolaylığı sağlamaktır (Sümer, 2005).

Sır hazırlama işlemi, reçetede yer alan bileşenlerin arzu edilen miktarlarda tartılmasıyla başlar. Tartılan hammaddeler su ve yardımcı katkılarla birlikte bilyeli öğütücülere yerleştirilir. Pişirme sıcaklığına bağlı olarak bileşim yalnızca hammaddelerden (ham sırlar) veya firit ve hammadde karışımından (firitli sırlar) veya tamamen firitten (firit sırları) oluşturulur. Bir sırnın erimedeki davranışları bileşimin ve pişme sıcaklığının yanında önemli oranda tane büyüklüğü dağılımına bağlıdır. Tane büyüklüğünün dağılımı hem yüzey oluşumunu hem de mikro yapıyı ve kabarcık dağılımını doğrudan etkilemektedir. Öğütme işlemi ile tane büyüklüğü genel olarak 50 μ m'nin altına düşürülür. Tane büyüklüğünün 10 μ m'nin altına düşürülmesi durumunda reolojik özellikler önemli oranda olumsuz bir şekilde etkilenir. Sırnın akışkanlığı kötüleşir, kuruma çatlakları meydana gelir ve bu durum pişme sırasında sır toplanmasına neden olur. Sonuçta iri taneli olan sırda, çok ince taneli olan sırda bir takım olumsuzluklara neden olmaktadır. Dikkat edilmesi gereken diğer bir hususta öğütme esnasında sıra kirlilik girmesidir. Firit ağırlıklı bir sırnın içine gaz çıkışı yapabilecek örneğin kalsit, dolomit gibi hammaddelerin çok az miktarlarda da olsa girmesi kabarcık ve pinhole oluşumuna neden olur. Verimli bir öğütmenin yapılabilmesi için bilyalı öğütücülerin uygun şekilde çalıştırılması gerekir. Bu öğütücüler silindirik şeklinde olup, iç tarafları sileks, alümina, porselen, steatit veya kauçuk kaplı dış kısımları ise metal bir mantodan oluşur. Değirmenin kapak kısmı üst tarafa gelecek şekilde durdurularak malzeme doldurulur ve kapatılır. Öğütme sona erdikten sonra kapak açılır ve yerine elekli bir kapak takılır, ağız aşağıya gelecek şekilde döndürülür. Başka bir bağlantıyla iç kısma hava verilerek boşaltma işlemi hızlandırılır. Devir sayısı (dev/dk), bilyenin büyüklüğü, büyüklük dağılımı ve miktarı ile süspansiyon miktarı öğütmeyi etkileyen başlıca parametrelerdir (Kartal, 1998).

Çalışma yapılırken öğütücü hacminin yaklaşık olarak % 55'i kadar bilya ile doldurulur. Bilyalar küçük orta ve iri olacak şekilde üç farklı boyutta seçilir. Genel olarak öğütücü içerisinde bulunan toplam bilyaların % 50'sini büyük boyutlu, % 30'u nu orta boyutlu ve

% 20'si ni küçük boyutlu bilyalardan oluşur. Bilyalar, albit, sileks veya porselen olabilir. Bilyalar arasındaki boşluklar dâhil değirmen hacminin % 25'i süspansiyon ile doldurulur. Çalışma sırasında değirmen hacminin % 30'u boş kalır. Süspansiyonun katkı madde miktarı yüksek fakat diğer yandan akışkanlığı iyi olmalıdır. Yüksek su miktarı öğütmenin verimsiz olmasını sağlar ve düşük su miktarı ise bilya ve değirmen astarının aşınmasını hızlandırır. Öğütmenin yeterli derecede olup olmadığına 63µm elek bakiyesi kontrolü yapılarak karar verilir. Hedeflenen elek bakiyesi % 0,4-0,3 değerlerindedir. Yeteri kadar öğütüldüğüne karar verilen sır, değirmenden bir elekten ve magnetten geçirilerek sır tanklarına aktarılır ve çökmeyi engellemek için sürekli karıştırılır (Kartal, 1998).

Sırlanacak olan mamulün durumuna ve sırlama tekniğine göre sıranın litre ağırlığı ve akışkanlığının ayarlanması yapılır. Hatasız şekilde bir sırlama yapabilmenin ön şartlarından biride iyi bir akışkanlıktır. Bu nedenle gerektiğinde elektrolit ilavesi yapılır. İlave edilen elektrolit miktarının, en iyi akışkanlığı sağlayan optimal miktarı geçmemesine önem gösterilir, aksi durumda akışkanlık kötüleşir. Litre ağırlığının artması ile akışkanlık azalır. Sır yüzeyini etkileyen diğer bir faktörde belirli bir yüzeye atılan sır miktarıdır. Tartım yapılarak her zaman aynı büyüklükteki yüzeye aynı miktarda sır atılmasının kontrolü sağlanır. Diğer taraftan sırlanacak olan yüzeyin temizlenmiş bilhassa tozdan arındırılmış olması ve bünyenin kurutmadan çıkarılıp hemen sırlamaya verilmesi gereken durumda sıcaklığın çok yüksek olmaması gerekir (Kartal, 1998).

3.3.5 Seramiklerde pişirim işlemi

Seramikte pişirme, şekillendirilmiş ve kurutulmuş olan yarı mamulün, bir sistem içinde ısıtılması ve meydana gelen seramiğin tekrar bir sistem içinde soğutulması işlemidir. Pişirme işlemi, seramik fırınlarında yapılmaktadır. Çok farklı fırın türleri bulunmasında rağmen pişirmedeki ortak olan yönler her fırın için geçerlidir. Her fırın için, fırının doldurulması, ön ısınma-sürekli ısınma-pişme ısınması ve soğutma-boşaltma işlemlerinden oluşmaktadır. Pişme sıcaklık aralığı 1200–1250 °C 'dir. Alevi direkt mamul üzerine göndermeyip brülörden gelen ısıyla mamulün pişmesi sağlanır. Böylece doğrudan alevin veya yanma gazlarının mamul üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkilerin önüne geçilmektedir. 55–200 °C (~1 saat)'de ön ısıtma işlemi ile fiziksel su uzaklaştırılarak, nem atılır. 200–400 °C (~1 saat)' de bileşimden gelmiş olan kimyasal su uzaklaştırılır. 400–650 °C (~2–2,5 saat)' de α kuars β kuarsa dönüşümü olur ve kaolinit de metakaolenite dönüşür. 650–1200 °C (~4–4,5 saat)' de sintereleşme meydana gelir. Faz

dönüşümlerinden meydana gelen hacimsel genişlemenin bünyeye zararı olmaması için 400 °C den 650 °C ye kadar olan ısıtma yavaşça yapılmalıdır.

Soğutma işlemi kaba olarak 3 kademede yapılmaktadır.

Ani olarak soğutma: (1200–650°C arası) (~ 2,5-3 saat)

Yavaşça soğutma: (650–400°C arası) (~ 2-2,5 saat)

Normal olarak soğutma: (400–100°C arası) (~ 2 saat)

Pişme işlemi tamamlanmış mamul 1200–650°C ' ye kadar mümkün olan en hızlı biçimde soğutulabilmektedir. 650–400 °C arasında kuvars kristali değişimi sebebiyle yavaş bir soğutma gereklidir (573°C). Normal soğutmada ise mamul fırından çıkabilecek olan sıcaklık değerine (150-100°C) düşürülmelidir. Pişme esnasında bazı geçici ve kalıcı değişikliklerin meydana geldiği görülür. Hacimsel büyüme, geçici olan değişikliklerin başında gelmektedir. Kalıcı değişiklikleri, dolayısıyla esas pişmiş olan seramik çamurunu oluşturan sebepler oldukça fazladır. Bunlardan en önemlileri, cam fazı oluşumu, kristal değişikliği ve yer değiştirme reaksiyonlarıdır. Bu olayların sonunda seramik çamurunun pekişmesi gerçekleşmiş olur (Sümer, 1990).

Teknolojide, sinterleme sırasında birtakım problemlerle karşılaşılabilir. Bunlar, çökme, aşırı yanma, ayrışma reaksiyonları, bağlayıcıların yanması ve polimorfik dönüşümlerin yer almasıdır (Geçkinli, 1991). Pişme esnasında meydana gelen hataların bir kısmını üretimin diğer kademelerinde aramak yerinde olur. Örneğin; çamur hazırlamada, şekillendirmede ve kurutmada yapılan ve henüz ortaya çıkmayan hatalar, pişirme esnasında ortaya çıkabilir. Bunun dışında, büyük ölçüde hatalı pişirme sebebi ile de farklı pişirme hataları meydana gelir (Arcasoy, 1983). Sinterleme esnasında çökme genellikle malzemenin yetersiz desteklenmesinden oluşur bu soruna çözüm olarak fırının içinde bir takım önlemler alınabilir ve malzemenin pişme sırasında fırındaki yeri değiştirilir (Öztürk, 2007).

Malzemelerin, istenilenden daha fazla pişmesi ve erimesi, fırın sıcaklığının gerekenden yüksek olması sonucunda meydana gelir. Yakıtın verdiği sıcaklığın, fırında iyi bir dağılım göstermeyerek bazı yerlerde fazla yakıtın kullanılması o bölgedeki ürünlerin erimesine sebep olur. Fırında bazı malzemelerin az pişmesi fırının az ısıtılmış olan bölgelerinde görülür. Bu ürünler dirençten ve sağlamlıktan yoksun olup, vurulduğu zaman çınlamanın yerine kof bir ses çıkartır. Fırın içinde ürünlerin yerleştirme şekilleri de pişirmenin az

veya çok olmasına neden olur. Genellikle ısı kayıplarının çok olduğu, kapı ve duvar yakınları ile sıcaklığın erişemediği fırının alt ve üst kısımlarında, iç bölgelerinde, sıcaklık kayıpları fazla olduğundan buralarda pişmesi gereken ürünler az pişer (Arcasoy, 1983).

Soğuk olan ürünlerin fırında, içinde yüksek oranda su buharı ihtiva eden gazlar ile veya düşük sıcaklık da rutubetli hava ile ısıtılması çatlamalara sebep olur. Ürünlerin üst yüzey kısımlarında yoğunlaşmış su buharı tabakası ürünlerin yüzeyinde bir yumuşamaya neden olur. Bu esnada ürünün ısıtılması sonucunda suyun aniden uçması sebebiyle çatlaklar meydana gelir. Bu tip çatlaklar yalnızca ürünlerin üst düzeylerinde meydana gelir, derinlere inen çatlakların sebebini ise ürünlerin iyi bir şekilde kurumadan fırına girmesinde aramak gerekir (Arcasoy, 1983).

Fırınlarda ısıtılmasında kullanılan kükürtlü yakıtlardan fırının içinde SO_2 ve SO_3 ihtiva eden yanma gazları meydana gelir. Bu gazlar ürün rutubetinden oluşan su buharı ile birleşerek sülfirik aside dönüşürler. Bu oluşan asit ise, çamurda bulunabilen kalkı, kalsiyum sülfata dönüştürür. Buda ürünün yüzeyinde beyaz lekeler olmasına neden olur. Bunların oluşumunu önleyebilmek için, çıkış gazlarını yoğunlaşma sıcaklığından aşağı düşürmemek ve ürünlerin fırına kuru olarak konulması sağlamak gerekir. Bununla beraber, fırına giren ürünleri, çıkma gazları ile değil, kuru sıcak hava ile de kurutmak gerekir (Arcasoy, 1983).

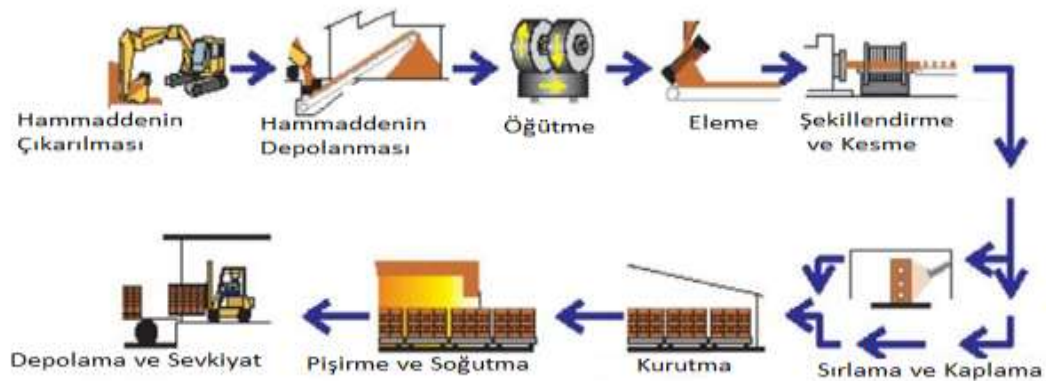
Başka bir pişirme hatası da, fırın sıcaklığının çok çabuk bir şekilde yükselmesi nedeniyle meydana gelen pişme çatlaklarıdır. Bu olay daha çok kimyasal suyun uçtuğu 400-600 °C arasında oluşur. Pişen malzemelerin çok çabuk bir şekilde soğuması da çatlaklara sebep olur. Bunlar soğuma çatlağı olarak da tanımlanır. Sinterleşmemiş olan malzemelerde soğuma hızı 10-25 °C /saat' in ve sinterleşmiş malzemelerde 7-15 °C /saat' in üzerinde ise soğuma çatlakları meydana gelir. Özellikle bol kuvarlı çamurlarda 870 ve 575°C ' lerde ve özellikle 230°C 'de hızlı soğutma sonucu soğuma çatlakları oluşur. Soğuma çatlağı diğer türlü çatlaklardan sert ve keskin kenarlı oluşu ile ayırt edilir (Arcasoy, 1983). Ayrışma reaksiyonları nitratların, hidratların ve tuzların kullanılması halinde oluşur. Karbonatların ayrışması 1000°C ve sülfatların ayrışması 1200°C gerçekleştiğinden bu sıcaklıkların altındaki sinterlemelerde sorun oluşmaz, polimorfik dönüşümler özellikle soğuma sırasında problem oluşturur. Zirkonya bu konuda verilebilecek tipik bir örnektir. Zirkonya da oluşan bu problemi ortadan kaldırabilmek için MgO, CaO, Y_2O_3 gibi maddelerle yapının stabilize edilebilmesi gerekmektedir (Geçkinli, 1991). Pişme

sonucunda görülen şişmeler farklı bir pişirme hatasıdır. Bunun sebebi, sıcaklığın ani yükselmesiyle malzemenin yüzeyinin sinterleşmesi ve arada kalan gaz tabakasının genişleyip, şişip dışarı doğru baskı yapmasıdır. Gazın oluşumunun çeşitli nedenleri vardır. Killerin içinde bulunan, doğadan gelen maddelerin yanmasıyla oluşan gaz basıncı su buharının da yardımcı aracılığı ile sinterleşen malzemelerde şişmeye sebep olur. Şişmenin kaynaklandığı diğer bir sebep ise, demir bileşikli (Fe_2O_3 , FeS_2) hammaddelerin CO li yanma gazlarının etkisi sonucu reaksiyon göstermesidir (Arcasoy, 1983).

3.4 Seramik Ürünlerin Üretimi

3.4.1 Tuğla üretimi

Tuğla, killi olan toprağın su ile beraber iyi bir şekilde karıştırılarak hamur haline getirilip şekillendirilip, yavaş bir şekilde kurutulduktan sonra fırınlarda veya özel ocaklarda yüksek sıcaklıklarda (900- 1300°C) pişirilmesi ile oluşturulan ve duvarlarda yaygın olarak kullanılan oldukça eski bir yapı malzemesidir (Güner ve Süme, 2000). Tuğla üretim işleminde, üretim prensipleri, her ne kadar aynı olsada üretim yapan fabrikalar sahip oldukları hammaddelerine ve üretim metotlarına uyabilmek için bu prensiplerden sapabilmektedirler. Esas olarak tuğla, öğütülmüş olan kilin su ile karıştırılarak istenilen şekillendirilmesi, ardından kurutulması pişirilmesiyle üretilir (Işık, 2004).Tuğla üretim prosesi, altı aşamadan meydana gelmektedir. Şekil 3.9'dan da görüldüğü gibi, hammaddenin alınması ve depolama işlemi, hammaddenin hazırlaması işlemi, şekillendirilme işlemi, kurutma işlemi, pişirme ve soğutma son olarak da hazırlanan ürünün depolanma işlemidir (Şahin, 2008). Tuğlaların üretiminde hammadde olarak kullanılacak killer, temin edildikten sonra depolarda tutulmaktadır. Daha sonra depolama alanlarındaki killer hammaddenin hazırlanması için tuğlaların şekillendirileceği alana nakledilirler.



Şekil 3.9 Tuğla üretim prosesi

Kil, dairesel bir tava içinde dönen her birinin ağırlığı 4 ile 8 ton olan öğütücü tekerlerden meydana gelen Kollergang değirmenlerde öğütülerek karıştırma işlemi gerçekleşir. Böylece hammaddenin iri olan toprakları ezilip ve taşlarda temizlenmiş olur. Bu işlemlerden sonra, birçok fabrikalar da killerin tane boyutlarını kontrol edebilmek için vibrasyonlu eleklerden geçirilmektedir (Şahin, 2008).

Homojen özellikteki bir kil hamuru elde edebilmek için, kilin su ile birlikte yeterli miktarda ezilerek karıştırılması gerekmektedir. Kile su ilave edilmesiyle plastiklik özelliği bir miktar artmaktadır. Su ilavesi öğütme işleminden önce yapılabileceği gibi öğütme işleminden sonra da yapılabilmektedir (Orhun, 1964; DPT, 2000).

Bir kili plastikleştirmek için gerekli olan su miktarı kilden kile farklılık gösterebilmektedir. Kil özelliğine bağlı olarak, kurutmada alınacak su miktarı kütlece % 10 - % 40 arasında olmalıdır. Yüksek plastikliğe sahip olan killer, düşük plastikliğe sahip olan iri taneli killere göre daha uzun zamanda kurumakta ve bu killerin kuruma küçülmesi de yüksek olmaktadır. Kuruma işlemi iyi ve dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir (Uz vd., 2008).

Malzemenin kalitesini etkileyen en önemli aşama dinlendirme işlemidir. Fakat günümüzde dinlendirme işlemi, yalnızca kaplama tuğlaları için yapılmaktadır. Rötore değeri de dikkate alınarak dinlendirilmiş olan çamur kalıplama işlemine tabi tutulurken, kilin özelliğine ve üretilecek norma uygun olan kalıp seçilmelidir (Özışık, 2000; Şişman, vd., 2006, Şahman, 2015). Kile katılan suyun, farklı yöntemlerle kil hamurundan çıkartılması, yani kurutulması gereklidir. Kurutma işlemi, kalıplanmış olan tuğlaların pişirme öncesi belirli bir mukavemet değerine ulaşmasını sağlar ve pişirme esnasında şekil değiştirmesini ve çatlamasını (rötore) önlemektedir (Şahman, 2015).

Kurutma işlemi, doğal ve suni kurutma olarak iki değişik şekilde yapılmaktadır. Doğal kurutma işlemi, aralarından hava akımı geçecek biçimde aralıklı dizilmiş sundurmalarda kurumaya bırakılarak gerçekleştirilmektedir. Suni kurutma işlemi ise, ısı enerjisi aracılığıyla ısıtılmış olan havayı hamur üzerine vererek sağlanır. Doğal kurutmanın, ekonomik olmasının yanı sıra, atmosfer şartlarına bağlı oluşu suni kurutmaya göre dezavantajlarından biridir. Kurutulacak olan hamur üzerine ısı enerjisi ve rölatif rutubet derecesi ayarlanmış havanın verilmesi, suni kurutma yönteminde rasyonel bir kurutma meydana getirmiş olur (Şişman vd., 2006). Ekstrüzyondan çıkartılarak istenilen

boyutlarda pişirme işleminden önce kesilme sistemi Şekil 3.10’da görülmektedir (Görhan,2011;http://wb2006en.genesto.com/i_The_B_40469.html).



Şekil 3.10 Ekstrüzyonda tuğla üretimi ve kesilmesi

Tuğla üretim işlemindeki, en son aşama pişirmedir. Pişirme esnasında kil kimyasal reaksiyonlara maruz kalmaktadır. 300°C civarında organik olan maddeler tamamen yanar, 550°C de molekül suyu bileşimi terk edip, karışım silis ve alümin haline ayrışmakta ve 550–900°C arasında silis ve alümin tekrardan birleşerek metakaolin silikatı ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) oluşmaktadır. Bu oluşan yeni malzeme artık şeklini değiştirmeyen sert, belirli bir mukavemete ve renge sahip olan tuğladır. Pişirme sıcaklığı arttığında tuğlanın mekanik dayanım özelliği artmakta, su emme özelliği azalmakta ve birim ağırlığı artmaktadır. Fakat pişirme sıcaklığı çok yüksek olduğunda, bu tuğlanın camlaşmasına ve harca yapışma etkisinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple pişirme sıcaklığının 900–980°C arasında olması istenmektedir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Sıcaklık maksimum seviyeye ulaşmış ve belirlenen süreyle uygulanmasının ardından, soğutma işlemi başlamaktadır. İyi bir soğutma periyodik fırınlar için 48 ile 72 saat arasında bir zamana ihtiyaç duyulur. Tünel fırınlarda ise soğutma periyodu genellikle 48 saati geçmektedir. Soğutma işlemi, pişirme işleminde önemli bir aşamayı oluşturmaktadır, özellikle soğuma oranı renk üzerine direkt etkisinin olması, aşırı hızlı bir şekilde soğutma işlemi üründe çatlamalara ve diğer özörlere neden olmaktadır. (Şahin, 2008).

Soğutma işleminden sonra tuğlaların fırından tahliye işlemi de boşaltma işlemini kapsamaktadır. Bu aşamada, tuğlalar ayıklanıp, sınıflandırılıp, paketlenip, depolanır ve sevkiyat için yükleme işlemi gerçekleştirilir (Işık, 2004).

3.4.2 Vitrifiye üretimi

Vitrifiye seramikler; inorganik-metal olmayan özellikteki hammaddelerin belirlenen oranlarda karıştırılıp akışkan bir çamur haline getirilmesiyle bu çamurun alçı ve/veya sentetik reçine kalıplarda şekillendirilip 1200–1250 °C civarında pişirilip su emme değerinin % 0,75 ‘in altında olan ürünlerdir.

Vitrifiye seramikler aşağıda sıralanan özellikleri sağlayan ürünlerdir.

Üretimdeki özellikler;

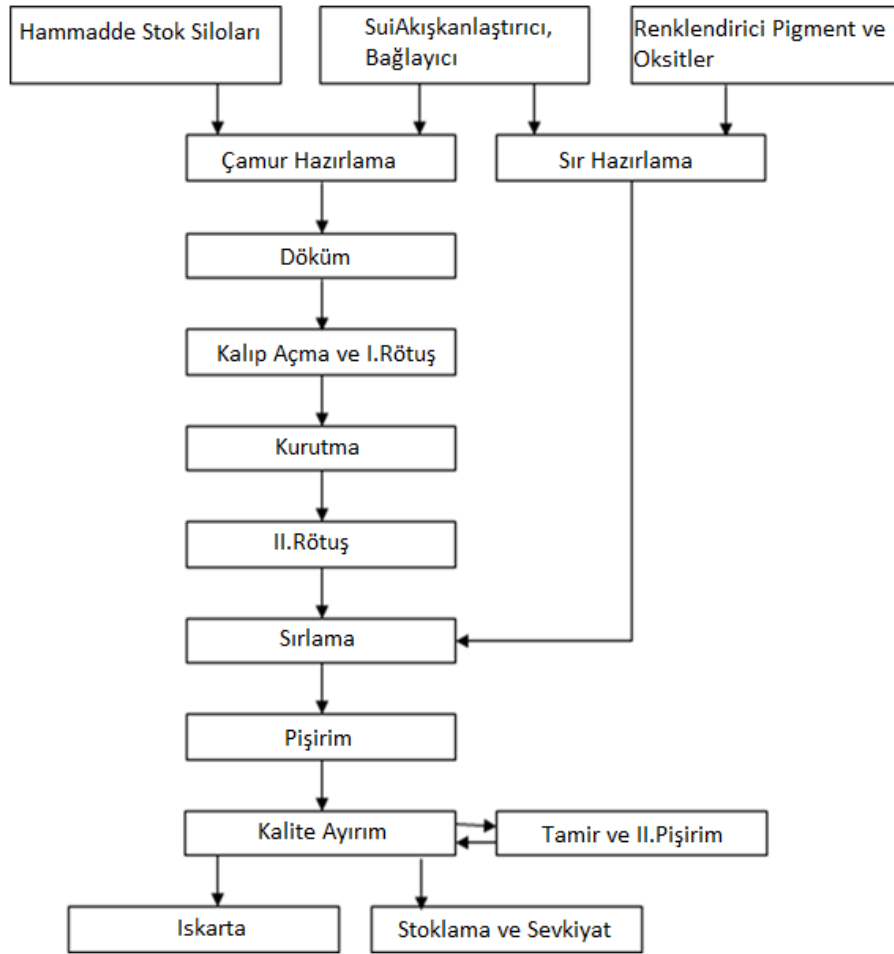
- Standartlara uygun bir şekilde olması,
- Fonksiyonel özellikte olması,
- Ergonomik şekilde olması,
- Estetik özellikte olması
- Çeşitli konut tiplerine uygun olması gibi kriterler göz önünde bulundurulur.

Ürünlerdeki teknik özellikler;

- Yüzeyin parlak ve gözeneksiz olması gereklidir,
- Aşınmaması gereklidir,
- Ateşe dayanıklı olmalıdır,
- Uzun ömürlü olması gereklidir,
- Su emmemesi nedeniyle, koku yapmaması gereklidir,
- Bakteri ve mikrop barındırmaması gerekir,
- Asit ve deterjandan etkilenmemesi gerekir
- Kir tutmaması ve kolay temizlenmesi gerekir (Özmen, 2007)

Seramik sağlık gereçleri, yeterince kapsamlı bir süreç olan döküm yöntemiyle üretilmektedir. Genel hatları ile üretim akışı Şekil 3.11’ de verilmiştir (Özdemir 2005; Singer 1963). Seramik sağlık gereçlerindeki üretim sürecinin ilk aşaması çamur ve döküm işleminin yapılacağı kalıbın hazırlanmasıdır. Çamurun hazırlanması işleminde kullanılacak olan hammaddeler ve yardımcı hammaddeler su ile karıştırılıp değirmende öğütülme işlemine tabi tutulur. Oluşturulan çamur, istenilen tane boyut ve dağılımına ulaştığında viskozite ve tiksotropi değerleri optimize edilip, farklı döküm yöntemleriyle

alçı veya basınçlı dökümde kullanılan sentetik kalıplarda şekillendirilmesi sağlanır. Üretilmesi düşünülen ürünlerin 2 boyuttaki hazırlanan tasarımlarından, 3 boyutlu modelleri yapılır. Modeller üzerinden de, bu modellerin üretilebileceği kalıplar üretilir. Dökümhaneye gönderilen kalıba döküm testi yapılarak deneme ürünü üretilir. Deneme ürünü pişirilip, boyutsal ve fonksiyonel şekilde değerlendirilir ve gerekli görülen durumlarda kalıp tamir edilir veya onaylanmış ürünün prototip kalıbı direkt olarak teksir kalıbının hazırlanması için, kalıp hazırlama departmanına gönderir ve iş kalıplarının hazırlanması sağlanır.



Şekil 3.11 Sağlık gereçleri üretim akış şeması

Klasik dökümde, iş kalıbı olarak alçı kalıplar kullanılırken basınçlı dökümde ise polimerik olan kalıplar kullanılmaktadır. Döküm çamurundan yarı mamulün oluşturulmasında, klasik dökümde alçıda bulunan porozitenin meydana getirdiği kapiler etkiden faydalanırken, basınçlı sistemde polimerik kalıplara dışarıdan basınç uygulanmasıyla yarı mamül elde edilmektedir. İstenilen özellikteki kalınlığa gelen döküm

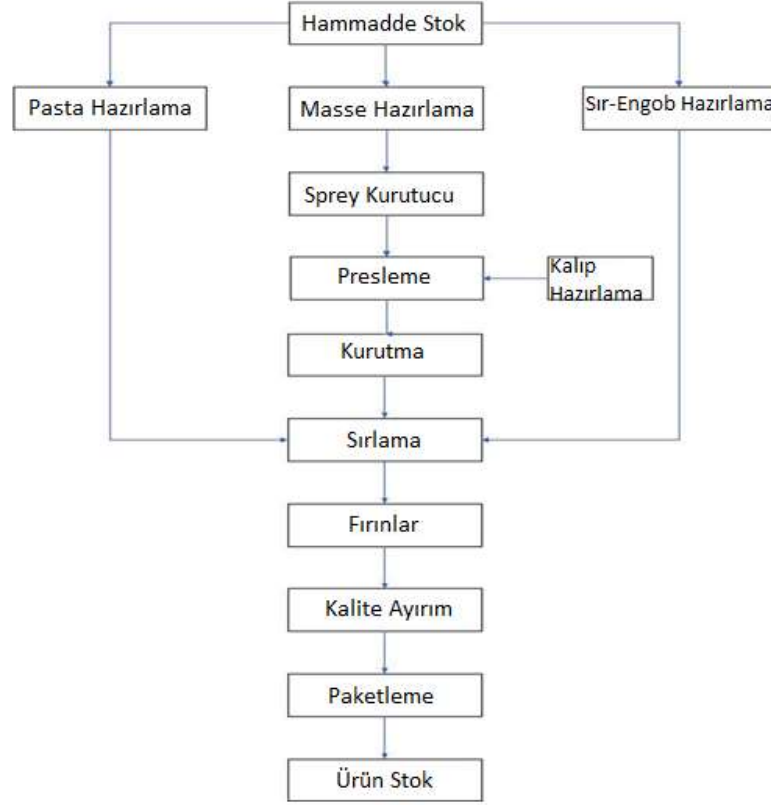
parçaları, kalıptan alınıp ve fazlalıklarının kesilmesinden sonra yüzeyine rötuşlama işlemleri yapılır. Şekillendirilmiş olan ürünlerde bulunan nem kontrollü kurutma yardımıyla giderilir. Kontrollü kurutma işlemi için kalıptan alınan yarı ürün 33-36 °C ve % 40-60 bağıl nemli ortamda ürünün karmaşıklık durumuna göre en az bir gün bekletilir. % 15-17 neme gelen yarı ürün 80–100°C sıcaklığa sahip özellikteki kurutma fırınlarında 10-13 saat kurutulur (Fortuna, 2000). Kurutulmuş olan ürünlerin robot, pistole veya elektrostatik sırlama teknikleriyle sırlanma işlemi yapılır. Sırlama tekniğinin seçimi, ürünün şekline ve karmaşıklığına bağlı olarak belirlenmektedir. Yarı ürünlerin sırlanmasından sonra işletme ortamında kurutulup, yaklaşık 1200–1250°C civarında pişirilmesi sağlanır. Pişirim sonrasında elde edilen ürünler kalite kontrol işleminden geçirilir. Uygun özelliğe sahip ürünler depoya konur. Hatalı olan ürünler ise sıcak veya soğuk tamir işlemlerine tabi tutulur. Sıcak tamir işlemi uygulanan ürünler tamir pişirime (ikinci pişirime) gönderilir. Tamir edilemeyen hatalı ürünler ise ıskarta olarak geri dönüşüme iletilir (Taykurt, 2012).

3.4.3 Karo üretimi

Yer karoları, teknik bakımından su emme miktarı % 3'ün altında olan, dona dayanıklı, iç ve dış mekânlarda yere döşenebilen ürünlerdir. Duvar karoları, su emme miktarı minimum % 10 olan tek ve çift hızlı pişirim teknolojileri ile üretilebilen poroz yapılardır. Sırlı granit özelliğindeki karolar ise, mekanik mukavemeti yüksek su emme miktarı % 0,5'in altında olan ürünlerdir (Kayacı, 2006).

Seramik karonun üretiminde kullanılan ve doğada bulunan hammaddeler nihai ürünün meydana gelmesinde gerekli olan estetik ve fiziksel özellikleri sağlayacak kimyasal ve boyutsal karakteristiklere her zaman sahip değillerdir. İstenilen özelliklerin sağlayabilmesi için hammaddeler ön hazırlama işleminden geçmelidir (Brusa, 1994; Henkes vd.,1995). Üretime uygun bölgeden bölgeye farklı olan mineral çeşitleri karıştırılır. Karışımın hazırlanması bir seri işlem içermektedir. Bu işlemler uygun tane boyut dağılımına sahip homojen bir kompozisyon meydana getirmek için uygulanır. Hammadde hazırlama aşamasında farklı öğütme teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler yalnızca kullanılan teçhizat olarak değil, oluşan ürünün karakteristikleri ve sarf ettikleri enerjiler açısından da değişiklik gösterirler. Seramik karo üretiminde genellikle sürekli ve süreksiz yaş öğütme sistemleri (bilyalı değirmenler) kullanılmaktadır (Lorici vd.,

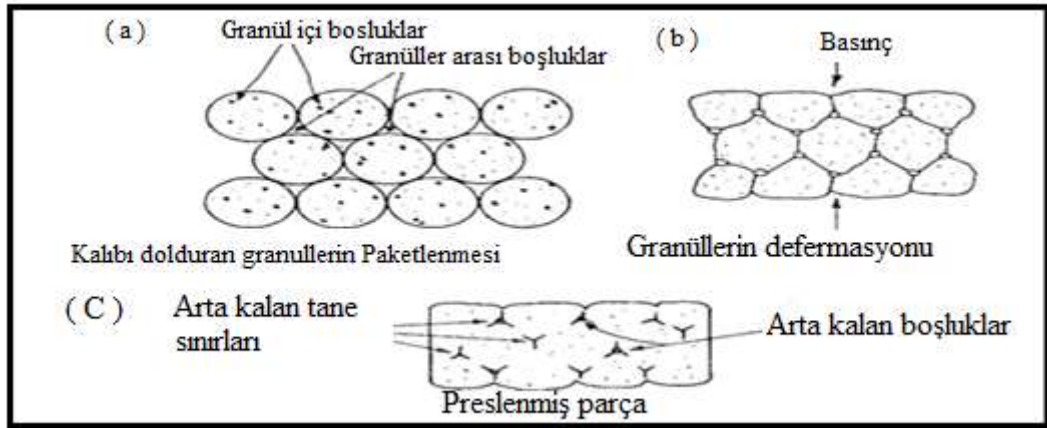
1995; Vari, 2004). Şekil 3.12’de sırlı porselen karo üretimi akış şeması görülmektedir (Sacmi, 2002; Küçüker 2009).



Şekil 3.12 Sırlı porselen karo üretimi akış şeması

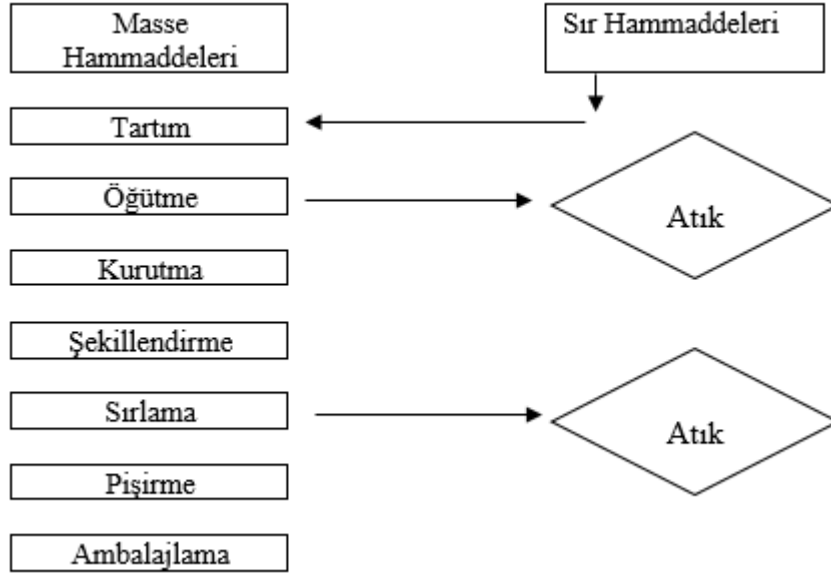
Şekillendirme işlemi seramik karo üretiminde kuru olarak hidrolik presler yardımıyla yapılmaktadır. Kullanılan şekillendirme yöntemi gereğince hazırlanmış çamurlar püskürtmeli kurutucular yardımıyla granül haline getirilir. Püskürtmeli kurutma işlemi sulu çamuru istenilen özelliklerde granül haline getirmek ve daha sonra da preslere besleyebilmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Homojen bir mikroyapıya ve pres sonrası işlemlerde kırılmaması için yeterli ham mukavemete sahip bir karo üretebilmek için oluşturulacak granüllerin şekli, yoğunluğu, nem oranı, boyut dağılımı ve granüllerin pres kalıplarını homojen bir biçimde doldurması gibi parametreler çok iyi kontrol altında tutulmalıdır. Seramik karoda homojen bir biçimde preslenmiş yoğunluk sağlayabilmek için pres kalıbına beslenecek granüllerin akışı çok homojen olmalıdır. Granüllerin kalıba akışı doğrudan granüllerin şekli, yoğunluğu, nem miktarı ve boyut dağılımına bağlıdır. Van der Waals kuvvetleri ve yüzey nemi ile oluşan yapışma kuvveti granüllerin birbirine tutunmasına sebep olmaktadır. İyi bir presleme yapabilmek için granül halindeki malzemenin pres kalıbında yüksek yoğunluğa sahip olması (dolum yoğunluğu)

gereklidir. Daha yüksek bir dolun yoğunluğu daha yoğuk bir kütle akış hızzını göstermektedir. Daha yoğuk bir dolun yoğunluğu (pres kalıbındaki granüllerin paketlenme yoğunluğu) daha iyi paketlenmeyi ve daha küçük gözenek boyutunu ifade etmektedir. Granüllerin pres kalıbına beslenmesini iyi bir şekilde kontrol altında tutmak her tarafında eşit yoğunluğa sahip homojen preslenmiş bir karo elde etmek için gereklidir (Reed, 2000). şekil 3.13’ den de grldğu gibi, presleme aşamasında granüller şekil değiştirerek deforme olurlar. Pres kalıbını dolduran granüller basınç etkisiyle sıkışırlar ve daha az boşluk içeren ham bünyeyi meydana getirirler (Somiya, 2003).



şekil 3.13 Presleme aşamasında granüllerin şekil değiştirmesinin şematik gösterimi; (a): kalıbı dolduran granüllerin paketlenmesi, (b): basınç altında granüllerin deformatsyonu, (c): preslenmiş parça.

Hazırlama ve şekillendirme işlemleri sonrasında meydana getirilen ham bünyeler kurutma işlemine tabi tutulurlar. Preslenen karoların rutubeti % 5-6 civarındadır. Bu rutubetteki karonun mukavemetinin düşük olması nedeniyle sırlamadan önce mukavemet arttırılmak için kurutulurlar. Karo retiminde genellikle dikey kurutucular kullanılır. Kurutma işlemi yavaş bir şekilde ve homojen olarak yapılmalıdır. Aksi takdirde yine karoda çatlaklar ve deformatsyon oluşabilir. Kurutma sonrasında karolar angop, sır ve dekoratif uygulamalar için sırlama bantlarına gönderilir. Sırlama işleminin ardından karolar yaygın biçimde kullanılan rulolu fırınlarda 1200-1240°C arasında 40-60 dk. sreler de pişirilirler. Pişirme işleminin ardından, seramik karolar kalite ayırma ve ambalajlama bölümüne gönderilir. Bu kısımda karolar, yüzey kusurlarına ve diğer boyut-deforme hatası gibi fiziksel kusurlarına göre birinci, ikinci ve ışkarta olmak üzere kalite sınıflarına ayrılırlar (Sacmi, 2002). Duvar, yer ve sırlı granit karo üretimlerine ait genel proses akış şeması şekil 3.14’te ana hatlarıyla verilmiştir (Kayacı, 2006).



Şekil 3.14 Yer, duvar karosu ve sırlı granit üretimlerine ait genel akım şeması.

3.4.4 Porselen üretimi

Porselen üretiminde kullanılacak olan hammaddelerin çok temiz ve pişme renkleri beyaz olmak zorundadır. Doğadan elde edilen hammaddeler genellikle istenen temizlik ve renk özelliklerini sağlamadığı için hammaddeler temizleme ve zenginleştirme işlemlerinden sonra kullanılmaktadır. Feldispat ve kuvars iyi bir süspansiyon hazırlama amaçlı olarak, belli bir tane boyutuna indirmek için ön ufalama ve ardından da bilyalı değirmenlerde öğütme işleminden geçirilir. Eğer kaolenler de suda açılma olmuyorsa aynı yöntemle sert maddeler ile beraber öğütülür. Öğütme süresi 10–20 saat arası değişmektedir. Kilin de ilave edilmesinden sonra tüm hammaddeler karıştırılarak homojenize olması sağlanır. Daha sonra elek ve mıknatıslardan geçirilen çamur, filter preslerde suyu alındıktan sonra vakum presten geçirilerek torna hamuru haline getirilir (Arcasoy, 1995).

Seramik üretiminde uygulanan her türlü şekillendirme yöntemleri porselen ürünlerin şekillendirilmesinde de kullanılabilir. Örneğin, sulu metot (döküm, yarı yaş metot torna, şablon torna, iç yontma, dış yontma, vakum pres), kuru metot (pres, isostatik pres) gibi yöntemler ile çok çeşitlilik gösteren porselen ürünler şekillendirilir. Kuru pres çamuru ile % 5-7 nemlilikte yapılan şekillendirme ile başta küçük elektrik yalıtım parçaları olmak üzere çeşitli plaka formları, oval ve yuvarlak tabaklar, çeşitli mutfak eşyaları üretilebilir (Aslan, 2006). İç ve dış sıvama yöntemi ile tornalarda şekillendirilen parçalar, üzerinde veya içinde şekillendirildikleri alçı kalıplar ile beraber kurutulurlar. Bu kurutma sıcaklığının alçı kalıplara zararı dokunmaması için 60 °C nin üzerine

çıkmasına önem gösterilir. Bu yöntemdeki şekillendirmeye uygulanabilecek en uygun kurutma tekniği salıncaklı kurutuculardır. Hızlı ve sağlıklı çalışması sebebi ile büyük işletmelerde kullanılırlar. Porselene uygulanan diğer kurutma şekilleri, kurutma bant ve kanalları, periyodik ve sürekli çalışan kurutma odaları olabilir. Kalın olarak üretilen izolatör gibi parçaların kurutmaları kuruma çatlaklarını önlemek için yavaş ve özenli şekilde yapılmalıdır (Aslan, 2006).

Kurutma ve rötuşlama işlemi yapılmış olan parçalar, çeşitli özellikteki fırınlarda bol havalı ve oksitleyici bir atmosferde yapılmak şartı ile, 800 – 950 °C arasında bisküvi pişirime tabi tutulurlar. Parçalar tünel veya kamara fırınlarda rafsız şekilde üst üste dizilerek pişirilebilirler. Bisküvi pişirim sıcaklığının yetersiz olması veya aşmış olması sonucu sırlamada bazı aksaklıklar meydana gelir. Çamurun yapısında var olan tüm kuvars oranı bisküvi pişirimi sonunda da çamurun içinde aynı oranda serbest formda bulunmaktadır. Buda bisküvinin yüksek sıcaklık genleşme katsayısı değerine sahip olduğunu gösterir. Soğuma esnasında kuvarsça zengin olan çamurların "soğuma çatlağı" göstermesi, kuvarsça zayıf olanlara oranla daha fazladır. Kuvarsça zengin olan bir elektroporselen çamurunda 900 °C' de ki sıcaklık genleşme katsayısı değeri, 1400 °C deki değerden yaklaşık olarak iki kat daha büyüktür. Kap-kacak porseleninde bu fark % 20, kaolence zengin ateşe dayanıklı porselen ve laboratuvar porseleninde ise % 10 civarındadır.

Kalın ve ağır olan izolatör ve laboratuvar gereçleri gibi parçalar iyi bir şekilde kurutulduktan sonra, genellikle daldırma ve çok büyük parçalarda ise püskürtme ile sırlandıktan sonra tek pişirim yöntemi ile pişirilirler (Aslan, 2006).

Porselen ürünlerde, özellikle de sofr ve süs porselenlerinde beyazlık çok önemli bir özelliktir. Bu sebeple sırrın da beyaz olması gerekmektedir. Örtücü beyaz sır ise porselenin çok önemli bir özelliği olan ışık geçirgenliğini azaltacağı için porselen sırlarının şeffaf olması gerekmektedir. Dolayısı ile porselendeki beyaz renk hamurun renginden elde edilir. Sır ise, bu beyazlığa şeffaf ve derin bir görüntü oluşturan camsı parlak tabaka olma görevini üstlenir. Fakat sağlık porselenlerinde ışık geçirgenliğinin gerekli bir özellik olmamasına karşın mekanik dayanım için hamur tabakasının kalın olması gerekmektedir. Bu sebeple beyaz hamurun yerine az beyaz hamur kullanılabilir. Bu rengi örtmek için ise, örtücü beyaz veya çeşitli renklerle sırlanarak hamurun renginin etkisinden kaçınılır.

İkinci ve sırlı pişirimi yüksek derecede yapılan porselenlerde ham sır kullanılmakta, ilk pişirimi yüksek yapılan, sır pişirimi düşük olan porselenlerde ise fritli sır kullanılmaktadır. Sırlama işlemi ise; daldırma, püskürtme ve elektro statik yöntemi şeklinde yapılır. Yüksek gerilim izolatörleri, sağlık gereçleri, elektro porselenler gibi kalın porselen ürünler hemen sırlanabilir ve tek seferde pişirilerek son ürün haline getirilebilirler (Güner, 1987). Porselenin, bisküvi veya ham şeklindeki sırlanması ile beraber porselen oluşumunun en önemli aşaması olan sır pişirimi başlamış olur (Arcasoy, 1995).

Oksitleyici-nötr atmosferde yapılan pişirimin sonucunda porselen kırığında sarımtırak renge ulaşılır. Pişme sıcaklığının düşmesi ile orantılı olarak sarı renk daha da belirginleşir. Öyle ki, 1200°C’de bu renk sarı-pembeye dönüşür. Bunun sebebi çamurda +3 değerli olarak bulunan demir metalidir (Fe⁺³). Porselende beyaz pişen çamur elde etmek için, Boudouard eşitliği sebebi ile, pişirim sıcaklığının 1300°C’nin üzerinde tutulması gerekmektedir. Fakat bu sıcaklıklarda çamurun gözenekleri kapandığı için, indirgeyici atmosferde, çamurun içinde tutsak kalan +3 değerli demir (Fe⁺³), +2 değerli demir metaline (Fe⁺²) indirgenir ve çamurdaki SiO₂ ile birleşir. Sonuçta oksijen çıkışı ile noktalanmış bu reaksiyon “fayalit” oluşumu olarak adlandırılır (Hasse, 1968). Fayalit oluşum reaksiyonu denklem (2.3)’ de ifade edilmektedir.



Serbest şekilde açığa çıkan oksijen ise, çamurda kabarcıklara sebep olur. Bu olayın önlenmesinde tek yol, indirgeyici pişirimin, porselen çamurunun gözeneklerinin kapanmasından önce, 1050–1100 °C’ den başlayarak yapılmasıdır. Böylelikle +3 değerli tüm bileşikler, +2 değerli şekilde indirgenir (denklem (2.4)).



Oluşan FeO ancak bu aşamada SiO₂ ile tehlikesizce birleşir ve ortaya çok açık mavimsi-yeşil bir rengin ortaya çıkmasına sebep olur. Bu renk, insan gözünün algılamaması sebebiyle porselen çamuru beyaz pişme rengine ulaşır (Hasse, 1968). Bu olaylar zinciri ile oluşan ve beyaz pişme rengi gösteren porselen yalnızca sert porselendir. Yumuşak porselende gerek görülmemesine karşılık, sert porselen pişiriminde, pişirim aşamalarında oksidasyon-redüksiyon zincirine uyulması gerekir.

Genellikle, sert porselenlerde uygulanan pişirim zinciri 4 aşamadan oluşmaktadır:

1. 20-1000°C ağırlıklı oksidasyonlu pişirim,
2. 1000-1100°C tam oksitleyici pişirim
3. 1100-1300°C tam indirgeyici pişirim
4. 1300-1450°C nötr pişirim

Ön ısıtma işleminde (1. aşama) porselen eşit bir şekilde ısıtılır, bu esnada bisküvi üzerinde biriken karbon, sıcaklığın 800°C'ye ulaşması ile kaybolur (Arcasoy, 1995). 1000-1100°C'lerde oksitleyici pişirimde çamur karbondan yeteri şekilde arındırılır. Üçüncü aşama ise, gerek çamurun, gerekse sırn gözeneklerinin henüz kapanmaya başlamadığı bir sıcaklıkta (1000-1100°C) başlar, 1300°C'ye kadar devam eder. Böylece, fırın atmosferinin indirgeyici etkisinin çamur üzerinde görülmesi sağlanır. Tünel fırınlarda normal koşullarda yanma gazlarının %3-5 CO içermesi gerekmektedir. Bu değer, kamara fırınlarda ortalama %5-10 civarındadır.

Pişirmenin son aşaması nötr olarak devam ettirilir. Amaç, fırın sıcaklığının maksimum verimliliğe ulaşmasını sağlamaktır. Son pişirim sıcaklığının 30-60 dakikalar arası sürdürülmesi gerekmektedir. Yumuşak porselenin pişiriminde fırın atmosferinin oksitleyici veya nötr ile oksitleyici arasında olması istenmektedir. Sıcaklık artışının da yavaş ve eşit olması gerekir. Erişilen son sıcaklığın en az 60 dakika sabit tutulması ile tam bir pişme sağlanabilir.

Porselen pişirimi işleminde, bazı özel yardımcı malzemelerde kullanılır. Fırın plakaları, tabak kasedi gibi çok bilinen yardımcı malzemelerin dışında, bomze, gerilim halkaları, pişme destekleri kullanılmaktadır (Mattyasovszky vd., 1957).

3.5 Seramik Sektörü

Seramik sektörü, banyolarda ve mutfaklarda kullanılan lavabolar, seramik yer ve duvar karoları, rezervuarlar, klozetler, refrakter harç ve tuğla malzemeleri, kiremit ve tuğla gibi inşaat sektörünün girdisi olan malzemeleri, günlük yaşantımızda kullanılan mutfak ve sofraya eşyaları, süs ve modern bilim ve tekniğin ürünlerini ve teknolojilerini üreten; seramik kaplama malzemeleri, seramik sağlık gereçleri, refrakterler, seramik sofraya ve süs eşyaları, teknik seramikler, kiremit ve tuğla alt sektörlerinden meydana gelmektedir (Bevilacqua, 2013a). Dünyanın önde gelen sağlık gereci üreten ülkelerinden biri de Türkiye' dir. Seramik sağlık gereçleri sektörü ülkemize döviz girdisi ve istihdam

oluşturan, ülke ekonomisinde etkili ve önemli bir yeri olan sanayi dalıdır. Büyük miktarda yerli girdiler kullanan sektör, yüksek ihracat rakamları ile ülkemizin rekabet gücüne fayda oluşturan en önemli sektörlerinden biridir. Avrupa’da seramik sağlık gereçleri ihracatında miktar bakımından Türkiye birinci ülkedir (Seramik Sektörü Raporu, 2017).

3.5.1 Türkiye seramik kaplama malzemeleri sektörü

Seramik sanayinde Türkiye’de ilk yatırımlar özel sektörler tarafından yapılmıştır. 1960’da Çanakkale Çan’da yer ve duvar karosu üretilen tesis üretime geçmiştir. 1968’den itibaren seramik ürünlerin ithalatı minimum düzeylere inmiş ve ihracat yapılmaya başlamıştır. Seramik karo sektörünün esas gelişimi 90’lı yıllarda olmuştur. 2000’li yılların başlarından itibaren kapasitede elde edilen bu artış ile Türk seramik sektörü dünyada önemli bir konum almıştır. Türkiye’de seramik kaplama malzemelerinin üretildiği iller Çanakkale, Eskişehir, Kütahya, İstanbul, İzmir, Bilecik, Aydın, Uşak ve Yozgat’tır. Seramik kaplama malzemeleri tesislerinin; %14,61’i Çanakkale bölgesinde, %49,82’i Eskişehir, Bilecik-Kütahya bölgesinde, %28,61’i Manisa, İzmir, Uşak, Aydın bölgesinde, %6,96’sı Yozgat ve Çankırı bölgesinde kurulmuşlardır. Kuruluş yönünden ağırlık, Bilecik-Eskişehir-Kütahya bölgesinde bulunmaktadır.

(http://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2018/10/10_SeramikCalismaGurubu.pdf).

2016 yılında seramik kaplama üretiminin, sanayi üretim endekslerinden hesaplanarak 325,3 milyon m² olduğu tahmin edilmektedir. 2015 yılı üretimi ise 336,6 milyon m² olmuştur. İç satışlarında geçen seneye göre %4 düştüğü tahmin edilmektedir. 2015 yılında 257 milyon m² olan satışlar 247,4 milyon m²’ye düşmüştür. Son iki yıldır ithalat miktar bakımından oldukça düşük seviyelere gerilemiştir (Seramik Sektörü Raporu, 2017).

3.5.2 Türkiye seramik sağlık gereçleri sektörü

Dünya ölçeğinde önemli bir yere ulaşan türk seramik sağlık gereçleri sektörü, rekabet gücü yüksek olan bir sektördür. Seramik sağlık gereçleri üretimi ilk defa 1958 yılında Eczacıbaşı’nın Kartal üretim tesislerini kurmasıyla başlamıştır. Türkiye Avrupa’da en büyük seramik sağlık gereçleri üretimine sahip olan ve en fazla ihracat yapan ülke konumunda yer almaktadır. 1960 yılında 800 bin olan yıllık üretim kapasitesi, 2012 yılı itibarıyla 21 milyon adede çıkmıştır. Sektörde 5.800 kişi istihdamı sağlanmaktadır. Karo sektöründeki ekonomik büyüklük, seramik sağlık gereçlerinden birkaç kat fazla olmasına karşın, istihdam bakımından seramik sağlık gereçleri ile karo sektörü birbirine yaklaşmaktadır. Türkiye Seramik Federasyonu’ndan elde edilen verilere göre, sektörde 5

tanisi yıllık bir milyonun üstünde kapasiteye sahip olmak üzere 39 tane irili ufaklı üretici mevcut bulunmaktadır. Merdiven altı olarak anılan küçük üreticilerin eklenmesi ile rakam daha da yükselmektedir. Sektörde en büyük üretici konumunda bulunan vitra 4 milyon parça/yıllık kapasitesi ile dünyada tek çatı altında üretim yapan en büyük fabrikadır. Seramik sağlık gereçleri üreticileri pay oranı %34,3 ile en yoğun olarak Bozüyük-Eskişehir-Kütahya Bölgesinde kümelenmişlerdir. Diğer üretim bölgeleri ise sırasıyla %15,3 ile Ordu-Çorum-Zonguldak'tan oluşan Orta Karadeniz Bölgesi, %14,1 ile Manisa-İzmir'den oluşan Ege Bölgesi, %13,0 ile büyük oranda Kayseri'den oluşan İç Anadolu Bölgesi, %12,0 ile İstanbul-Sakarya-İzmit'den oluşan Marmara Bölgesi ve %11,2 ile Çanakkale Bölgesi'dir. İstanbul, Tekirdağ ve Diyarbakır Seramik Sağlık Gereçleri üretilen diğer iller arasında yer almaktadır (<http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/10/10SeramikCalismaGurubu.pdf>). Türkiye dünya seramik sağlık gereçleri ihracatından aldığı %4 payla 5. sırada yer almaktadır (Seramik Sektörü Raporu, 2017). Ülkemiz seramik sağlık gereçlerinde Avrupa'daki en büyük üretici ve ihracatçı olan ülkedir. Dünya üretiminin yaklaşık %10'unu üretmektedir.

Türkiye seramik sağlık gereçlerinde ihracatta miktar olarak Avrupa birincisi konumundadır. Sektörde genel olarak Kuzey Amerika dışında batıda yavaşlama; yakın Asya ve Orta Doğu'da iyileşme olduğu gözlenmektedir. Sektörü temsil eden markaların genel olarak algısı ürün, insan ve servis kalitesi bakımından dünya sıralamasında İtalya ve İspanya ile birlikte ilk üç'te yer almaktadır.

2016 yılında seramik sağlık gereçleri ihracatı bir önceki yıla göre %4,5 oranında 211,0 milyon ABD doları, ithalatı ise bir önceki yıla göre %22 oranında azalma göstererek 7,0 milyon ABD doları seviyesinde gerçekleşmiştir (Seramik Sektörü Raporu, 2017).

3.5.3 Türkiye seramik sofrası ve süs eşyası sektörü

2003-2007 yılları arasında yıllık yaklaşık %15 oranında büyümesi kaydedilen sektörün 2007 yılı itibarıyla büyüklüğü yaklaşık olarak 370 milyon dolardır. Yerli üreticilerin iç piyasadaki pazar payları ise %55 seviyesindedir. 2005 yılı temel alınarak yıllık ortalama üretim endeksleri göz önüne bulundurulduğunda, sektör 2005-2008 arasında yükselen bir ivme ile büyüme kaydetmiş olup 2009 yılına varıldığında küresel daralmanın da nedeniyle üretimde düşüş olduğu görülmüştür. 2010 yılında ise, üretim endeksi değeri yükselerek %93,6'ya ulaşmıştır. Sektördeki üç büyük porselen firmasıyla beraber seramik süs eşyası üreten 15 civarında küçük ve orta büyüklükte firma da vardır. Dünya

seramik sofa ve süs eşyaları ihracatından %1 paya sahip olan Türkiye, ihracatı ağırlıklı olarak Avrupa Birliği ülkelerine gerçekleştirmektedir. 2009 yılında 77 milyon dolarlık ihracat yapmış olan sektör, 2010 yılında ihracat değerini yükselterek 91 milyon dolar seviyesine gelmiştir. 2009 yılında 123 milyon dolarlık ithalat yapmış olan sektör 2010 yılında ithalat payını 171 milyon dolara çıkarmıştır (http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/10/10_SeramikCalismaGurubu.pdf)

3.5.4 Türkiye refrakter sektörü

Demir çelik üretim teknolojisindeki görülen gelişme refrakter ürünleri tüketimine yön vermektedir. Türkiye’de 2007 yılında 256 milyon dolarlık üretim, 40 milyon dolarlık ürün ithalatı, 75 milyon dolarlık ihracat ve 74 milyon dolarlık hammaddenin ithalatı gerçekleştirilmiştir. 2003-2007 yılları arasında Türkiye pazarında yerel üretimin payı ortalama olarak %85 seviyesinde olmuştur. 2005 yılı temel alınarak yıllık ortalama üretim endeksleri göz önüne bulundurulduğunda, sektör 2005-2008 yılları arasında yükselen bir ivme ile büyüme sağlamış olup, 2009 yılına ulaşıldığında küresel daralmanın da etkisiyle üretimde düşüş olduğu gözlenmiştir. 2010 yılında sektör tekrardan toparlanarak üretim endeksi seviyesini %95’e yükseltmiştir (http://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2018/10/10_SeramikCalismaGurubu.pdf).

Türkiye’de, 20 civarında refrakter ürün imalatı yapan firma olup; bu firmalar toplam 4.500 kişilik istihdam oluşturmaktadır. Yıllık üretim kapasitesi 550 bin ton civarında ve kapasite kullanım oranları ise %43 düzeyindedir. Yerli üretimin, tüketimin yaklaşık olarak %75’ini karşılamasıyla birlikte, bir miktarı da ihraç edilme imkânı sağlanmıştır. 2016 yılında refrakter malzemeleri ihracatı bir önceki yıla kıyaslandığında %1,8 oranında artış sağlayarak 44,7 milyon ABD doları, ithalatı ise %38,8 oranında azalma göstererek 51,3 milyon ABD doları seviyesinde gerçekleştiği görülmüştür (http://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2018/10/10_SeramikCalismaGurubu.pdf; Seramik sektörü Raporu, 2017).

3.5.5 Türkiye teknik seramik sektörü

Şu anda, Türkiye’de üretilen teknik seramiklerin yaklaşık olarak %80’i porselen izolator ve %15’i elektro porselen ürünleridir. Üretimde 1999 ve 2005 yılları arasında büyük bir büyüme olmamıştır. 1999 yılında Türkiye pazarında yerli üretimin payı %17 seviyesindeyken, 2005 yılında ise %7 olduğu görülmüştür. Sektörde kapasite kullanım oranı %60 seviyesindedir. Porselen, elektro porselen malzemeler, izolatorlar ve ileri

seramik malzemelerin üretimini kapsayan teknik seramik sektöründe üretim yapan 7 adet firma vardır. Sektörün izolatör üretimi kapasitesi 19 bin 200 ton/yıl, elektro porselen ve teknik seramik kapasitesi ise 4 bin 400 ton/yıldır. Türkiye’de elektrik iletimi ve dağıtım amaçlı teknik seramik ürünlerinin üretimi gerçekleştirilmektedir. (http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/10/10_SeramikCalismaGurubu.pdf)

3.5.6 Türkiye tuğla ve kiremit sektörü

İnşaat sektörünü destekleyen ana alt sektörlerin önde gelenleri içerisinde tuğla ve kiremit sanayi bulunmaktadır. Kilin şekillendirilmesi, kurutulması ve pişirilmesi ile oluşturulan tuğla-kiremit ekonomik, çevreci, sağlığa aykırı madde içermeyen, tamamen doğal ve insan doğasına uyumlu, ısı depolama özelliği ile tercih edilme sebebi olan, A1 sınıfı yanmazlık özelliğine, ses ve ısı yalıtımına sahip olan, geçmişten günümüze kadar inşaatlarda yaygın şekilde kullanılan ve kullanılmaya devam edilecek olan kendini kanıtlamış yapı malzemeleridir. Tuğla-kiremit sektöründe firmalar, bütün yurda dağılmış olmakla birlikte, hammaddenin yoğun olduğu bölgelerde kümelenme eğilimi oluşturmuşlardır. Tuğla-kiremit sektöründe firmaların yoğunluğu açısından bir değerlendirme yapılması gerekirse, Akdeniz, Karadeniz, Marmara ve Ege bölgelerinde yoğun, İç Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde ise daha az olduğu görülmektedir. Kiremit-Tuğla tamamen yerli hammadde ve öz kaynaklar ile üretildiğinden dolayı, bu sektörde dışa bağımlılık durumu yoktur. Tamamen yerli bir üretim olması nedeniyle, ülke cari açığı açısından da önemli bir yere sahiptir. Hammaddenin kolay ve yaygın olarak bulunması ve yerli üretim olmasından dolayı ekonomiktir(http://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2018/10/10_SeramikCalismaGurubu.pdf).

3.6 Seramik sektöründe uçucu külün kullanımı

Uçucu küller, feldispat ve kil ilavesi yapılarak sanatsal ve geleneksel seramiklerin üretiminde kullanılmaktadır (Queralt vd., 1997). Uçucu küllerin seramik sanayisinde kullanılmasıyla sağladığı faydaları sıralamak gerekirse; öğütme masraflarının olmaması, tane boyutunun küçüklüğü, içerdiği karbon miktarının pişirme işlemleri esnasında sağladığı enerji tasarrufu ve maliyetinin çok az olmasıdır. Uçucu küllerden aynı zamanda cam seramiklerinin üretiminde de yararlanılmaktadır (Ergüt, 1994). Uçucu kül ilavesinin diğer bir kullanım alanı da tuğla üretimidir. Uçucu kül belirli miktarlarda çeşitli malzemelerle beraber tuğla üretiminde kullanılmıştır. Elle çalıştırılan tuğla makinasında

kireç, kum ve uçucu kül, birlikte tuğla üretimi yapılmıştır. Uçucu kül, kireç ve tuf ile birlikte kullanılmış ve başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Uçucu külün kireç ile beraber değişik oranlarda karıştırılarak tuğla yapımında kullanılabilceği önerilmiştir. Hindistan'daki inşaatlarda, uçucu kül katkılı tuğla kullanılması uygun görülmektedir. Türkiye'de tuğla üretiminde uçucu kül kullanımı, 1967 yılında başladığı halde daha sonraları kesintiye uğradığı görülmüştür. Ayrıca 1973 ve 1979 yıllarında ateş tuğlası üretiminde uçucu kül kullanıldığı görülmektedir (Aruntaş, 2006). Yine, Seyitömer termik santralinden temin edilen uçucu baca külü ile tuğla fabrikasında % 2.5, % 5, % 10, % 15 oranlarda baca küllünden tuğlalar hazırlanmış, mekanik ve fiziksel deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, katkısız tuğlaya göre uçucu kül ilavesi birim hacim ağırlık değerini çok az miktarda artırırken, kuruma, pişme ve toplam küçülme değerlerinde belirgin bir değişime neden olmamıştır. Üretilmiş olan tuğla örneklerinde su emme oranı değeri referans tuğlaya göre azalmış ve tuğla örneklerinin tamamında referans tuğla da elde edilen mukavemet değerine ulaşamadığı tespit edilmiştir (Bentli vd., 2005).

Uçucu kül ve zirkonya katkıları ile değişik kompozisyonlarda tuğla üretilip, kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelenmesi sonucunda artan katkı oranıyla su emmenin azaldığı ve sertliğinin de arttığı görülmüştür. Üç nokta eğilme dayanımı %10 katkı oranına kadar artış göstermiş fakat %10 oranın üstündeki karışımlarda bu değer azalmıştır (Satapathy, 2000).

Türkiye'de ki Soma-B Termik santrali küllerinin, donma-çözülme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek üzere, numune üretimi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Numuneler sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Donma-çözülme tekrarından önce numunelere nem odasında farklı periyotlarda (1,7,14,28 ve 56 gün, 21 °C de) kür işlemi uygulanmıştır. Numuneler donma kabininde (-16 °C'de) 24 saat ve arkasından %100 relatif nemli ortamda (21 °C'de) 24 saat bırakılmıştır. Donma-çözülme 0, 1, 5, 10 defa dönüşümlü olarak tekrarlanarak yapılmıştır. Donma-çözülme tekrarının artmasıyla dayanımın kür sırasındaki değişimi, basınç testleri ile tespit edilmiş ve dayanımdaki artışın donma çözülme tekrarının artmasına paralel olduğu görülmüştür. Soma-B termik santrali uçucu külü, içerisindeki serbest haldeki kirecin etkisi ile puzolanik davranış gösterip, kür esnasında hidratasyon etkisiyle sertleşmiş ve dayanımı artmıştır (Çokça, 1997). Afşin-Elbistan Termik Santrali'n den temin edilen uçucu küllerin tuğla blok elemanı üretiminde kullanım olanakları araştırılmıştır. Uçucu külü stabilize etmek için farklı oranlarda

alçıtaşı, kireç ve çimento tek başlarına veya beraber kullanılmıştır. Toplam katı ağırlığının %25'i kadar su ilave edilerek kalıp içerisinde 20 N/mm² 'lik basınçla sıkıştırılarak 45x10 cm' lik silindir numuneler üretilmiştir. Bu örnekler üzerinde basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ve suya karşı durabiliteleri incelenmiştir (Özkul ve Koral, 1995).

Soma-B ve Tunçbilek Termik santrallerinden temin edilen uçucu küller ile yapılan çalışmada, uçucu küllerin pozolanik özelliklerinden yola çıkarak uçucu kül kireç karışımından elde edilen preslenmiş duvar blok elemanlarının basınç dayanımı ve su emme özellikleri araştırılmıştır. Küllerin farklı oranlarda kireç ve toplam katı oranın %10'u kadar su ile karıştırılıp, preslenerek klasik tuğla boyutlarında tuğlalar üretilmiştir. Tuğlalara ilk 6 saat buhar kürü ve deney zamanına kadar da rutubetli kür yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre kullanılan uçucu küllerin duvar blok üretiminde kullanılabilmesi tespit edilmiştir (Tokay ve Çetin, 1991).

Termik santraller için büyük bir sorun oluşturan uçucu küllerin hafif ve ısı yalıtımı yüksek tuğla olarak değerlendirilebilirliğinin araştırılmasında; Seyitömer uçucu külü ile beraber belirli oranlarda kum ve sönmüş kireç karışımlarının yüksek basınçta buhar ile kürlenmesi yöntemiyle nitelikli tuğla üretilebilirliği tespit edilmiştir. Çalışmalar neticesinde, ümit verici sonuçlar elde edildiği iddia edilmiştir (Çiçek ve Tanrıverdi 2004). Demir vd., 2008' de, Seyitömer Termik Santrali'nden alınan uçucu külün ve tuğla kilinin karakterizasyon çalışması ve yapı tuğlası üretiminin kullanılabilirliğine yönelik, deneysel çalışmalar yapılmıştır. Uçucu külün fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri belirlenmiş ve ASTM C-618'e göre F tipi uçucu kül sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Yapılan ön deneylerden uçucu küle belirli oranlarda tuğla kili ilave edilerek yapı tuğlası üretiminde kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Zeybek, 2009 çalışmasında, geopolimerizasyon yöntemini araştırarak, F ve C sınıfı uçucu külün yüksek dayanımlı yapı tuğlasında değerlendirilmesini araştırmıştır. F sınıfı uçucu külden üretilen Si/Al molar oranının 2 olduğu geopolimer tuğlalar 60 °C sıcaklıkta etüvde 24 saat uygulanan ısı işlem sonrasında optimum basınç dayanımı değerini 45 MPa parametrelerinde çalışılmıştır. Suda çözme, kurutma ve öğütme işlemleri sonrasında C sınıfı uçucu küllerle üretilen geopolimer tuğlaların geleneksel tuğla malzeme standartlarına ulaştığı sonucuna varılmıştır.

Tuğla üretiminde, ana malzeme olarak Seyitömer Termik Santral uçucu külü ile bağlayıcı olarak kil ve katkı malzemesi olarak da borik asit kullanılmıştır. Değişik karışım oranlarında tuğla örnekleri hazırlanarak bunlar üzerinde bir seri deneyler gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak, %10 kil ve %2,5 borik asit katkı katılarak Seyitömer Termik Santral uçucu külü ile optimum şartlarda yapı tuğlası üretilebileceği belirlenmiştir (Aydın, 2007).

Uçucu küller; çok ince taneli yapıda olmaları, sertleştiklerinde yüksek dayanım sağlamaları ve kilin yapısında bulunan oksitleri içermeleri sebebiyle, tuğla üretiminde kullanılabilir. Uçucu küllerin bünyesinde bulunan karbon, tuğlaların pişirilmesi esnasında enerji tasarrufu da sağlamaktadır (Yılmaz, 1992).

Kil, uçucu küllerin plastiklik özelliğinin olmaması nedeniyle bağlayıcı olarak kullanılır. Tuğla üretiminde kullanılan uçucu küllerin tane boyutu tuğlaların özelliklerini etkilemektedir. Tane boyutu küçük küllerin kullanıldığı tuğlalar, tane boyutu büyük olanlara göre daha dayanıklı ve daha yoğundur, daha düşük pişme küçülmesi oranı ile su emme özelliğine sahiptir (Anderson ve Jackson 1983). Tuğla üretiminde kullanılan küller, Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , Na_2O , TiO_2 , CaO ve K_2O gibi minerallerden oluşmaktadır (Tanışan ve Mete 1986). İnce taneli olan uçucu küllerin tuğlalarda daha iyi özellikleri göstermesi maksimum noktada teması sağlayarak yoğunlaşmayı arttırmış olduğundan ileri gelmektedir (Aydın, 2007).

Yapılan araştırmalar neticesinde karbon miktarı yüksek olan küllerin yakma maliyetlerinin düştüğü gözlenmiştir. Fakat uçucu külde değişken olan karbon miktarı bazı kalite problemlerine sebep olmaktadır. Diğer yandan, yarı-kuru süreçlerde şekillendirme işleminde bazı zorluklar görülmüş, hapsolmuş havadan dolayı ince çatlaklara ve katmanlaşmalara rastlanmıştır. Uçucu küllü tuğlalarda yeterli fiziksel özelliklerin daha yüksek pişirim sıcaklıklarında elde edildiği gözlenmiştir (Anderson ve Jackson 1993; Zeybek, 2009). Yine, uçucu kül oranının artmasıyla uçucu küllü tuğlaların su emme miktarları artmaktadır (Küçüköner, 1989).

Tuğla üretiminde uçucu küller iki farklı amaç için kullanılmaktadır. Birincisi uçucu küllerin, kilin fazla suyunu emerek plastik küllerin çatlamasını, şişmesini ve çiçeklenmesini önlemek amacıyla yardımcı ve düzeltme malzemesi olarak, ikincisi ise külün puzolanik özelliği ve inceliği sebebiyle pişmiş malzemede mukavemetin

arttırılması ve plastik özelliği olmadığı için bağlayıcı görevi görmesi amacıyla ana malzemede kullanılmasıdır. Bununla beraber uçucu küllerin pişme sırasında enerji tasarrufu sağladığı bildirilmektedir (Bentli vd., 2005; Yılmaz, 1992). Geleneksel porselen karolarda uçucu kül ve yüksek fırın atıkları kullanılmış ve bünyelerde daha erken vitrifikasyon sağlanmıştır. Atıkların kullanımı ile bünyede anortit ve mullit kristalin fazları gelişerek bünyenin mukavemeti artmıştır (Dana vd., 2005). Chandra vd., 2005’de termik santrallerdeki kömürün yakılmasından oluşan uçucu kül bazlı seramik karolara talk eklenmesi ile oluşturulan kompozisyonun sinterlenme karakteristiğini inceleyip, uçucu kül fazla olan karışımlarda, iğne şekilli mullit ve rombohedral alüminyum fosfat fazların olması sinterlenen karo bünyelere mukavemet sağladığını belirlediler. Talk eklenmesiyle sillimanit konsantrasyonunda ki düşüş ve sodyum magnezyum fosfat kristallerinin konsantrasyonundaki artış, bünyenin mukavemetindeki artışa neden olmuştur. Talk miktarının artmasıyla, su emme değeri talk karışımında % 60 olduğu zaman minimuma düşer ki bu değerden sonra tekrar artmaya başlamıştır. Örneklerin görünür yoğunluğunun kompozisyonda artan talk miktarı ile arttığı ve buna uçucu kül ile karşılaştırıldığında talkın daha yüksek yoğunluğu ve daha fazla yoğunlaşmasının sebep olduğu tespit edilmiştir.

Abalı ve Şahin, 2006’ da ki çalışmalarında, Kütahya bölgesinde bulunan Tunçbilek Termik Santrali uçucu kül atıklarının karakterizasyonunu belirleyip ve bu küllere ağırlıkça %30 oranında Söğüt kilini eklenip yer karosu masseleri hazırlanmışlardır. Daha sonra bu karo masselerin fizikomekaniksel analizleri yapıp, uçucu külün seramik endüstrisinde yer karosu olarak kullanılabilirliği araştırılmışlardır. Çalışmanın sonucunda; düşük tane boyutuna sahip 1200 °C’de sinterlenen %30 söğüt kili katkılı malzeme 56.74 kg/cm² kuru mukavemet, %0.04 kuru küçülme, %8.71 pişme küçülmesi, %1.78 su emme ve 271.67 kg/cm²’lik eğilme mukavemeti ile TS/EN-100 standartlarına göre yer karosu kullanımına uygun olduğu görülmüştür. Bu malzemenin özellikle 1100°C sıcaklıktaki su emme değerinin yüksek çıkması 1200°C sıcaklıkta çalışılma zorunluluğunu getirmiştir. Uçucu kül tek başına kullanıldığında yeterli ergitici faz oluşmamakta ve mukavemet değerleri düşük kalmaktadır. Bununla birlikte kil ilavesi uçucu külün genleşme katsayısını sınır genleşme katsayısına yaklaştırarak kılcal çatlamların oluşumunu engellemiştir. Kimyasal ve mineralojik analiz sonuçları ile su emme, mukavemet ve pişme küçülmesi değerleri göz önüne alındığında, özellikle seramik fabrikalarının her geçen gün artması ve ülkemizde sınırlı olan K-feldspat

(ortoklas) rezervinin de ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmesi ile uçucu kül ortoklasa alternatif bir hammadde olarak kullanılabilmesi öngörülmüştür. Uçucu baca küllerinin (%5-15) porselen bünyeye ilavesi ve bu katkının bünyenin fiziko–kimyasal özellikleri üzerinde etkisini Kumar vd., tarafından (2004)’ de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, uçucu baca külü içeren bünyelerin bütün pişirim sıcaklığı aralığında (1150-1300 °C), daha yüksek yoğunluk (max 2,46 g/cm³) elde ettiğini ve geleneksel porselen kompozisyonundan daha erken olgunlaştığını göstermiştir. % 15 uçucu baca külü içeren bünyenin maksimum eğme mukavemetini (70,5 MPa) 1300 °C de elde ettiğini oysaki standart porselen bünyenin bu sıcaklıktaki eğme mukavemetinin 61,1 MPa olduğu bulunmuştur. Uçucu baca külü içeren bünyelerde daha yüksek mullitleşmeyi açığa çıkardığı XRD incelemeleri sonucunda görülmüş, SEM incelemelerinde (1300°C de) camsı ana yapı içine gömülü olan ikincil mullit ve kuvarsın varlığı tespit edilmiştir. Ana yapı içindeki ince boyutlu iğnemsiz mullit tanelerinin daha uniform dağılması ve birbirleriyle daha iyi kenetlenmeleri elde edilen yüksek mukavemeti gösterdi ortaya konmuştur.

Eşmeliler, 1998 de uçucu küllerin mutfak seramikleri üretiminde kullanılmasını araştırmış ve %56,75 SiO₂ içeren termik santral atık uçucu külün, rasyonel bileşimi % 20-30 kuvars, % 40-50 kaolen ve % 30-40 feldispat’tan meydana gelen yumuşak porselen çamurundaki kuvars yerine artan miktarlarda ilave edilmesiyle üretilen numunelere kurutma ve pişirme işlemlerini çalışmıştır. Kuru çekme ve pişme çekme deneylerinin sonucunda, uçucu külün puzolanik özellik göstermesi sebebiyle kuru çekmenin uçucu kül miktarı arttıkça azaldığı gözlenmiştir. Pişme deneyleri sonucunda ise, uçucu kül miktarı arttıkça pişme çekmesinin de arttığı görülmüştür. Üç noktalı eğme deneyine göre yapılan kuru mukavemet ölçüm sonuçlarına göre ise, uçucu kül miktarı arttıkça kuru kırılma mukavemeti standart numuneye nazaran azalmaktadır. Numunelerin ısıl davranışlarını belirlemek için yapılan DTA analizi sonucunda, kaolenin metakaolene dönüşümü 553 °C’de olmaktadır. Bünyeye ilave edilen uçucu kül miktarı metakaolen dönüşüm sıcaklığını 538 °C’ye düşürmektedir, kuvars dönüşümü de benzer şekilde 553°C’den daha düşük bir sıcaklığa ötelenmiştir. Bünyeye uçucu kül ilave edildikçe spinel oluşum sıcaklığının 980 °C’den 976 °C’ye düştüğü görülmüştür. Su emme deneyleri sonucunda, uçucu kül miktarı arttıkça % su emme ve % porozite miktarları azalırken, yığılma yoğunluğunun arttığı görülmüştür. İnce taneli uçucu kül iri boyutlu taneler etrafından camsı fazı oluşturarak, şeffaflığı arttırmakta dolayısıyla porozite ve su emme miktarı da

azalmaktadır. Yığmsal yoğunluk artması ile teorik yoğunluk azalmakta buna bağı olarak da kırılma mukavemeti azalmaktadır. Ayrıca üretilen numunelerin pişme rengine bakıldığında, uçucu kül miktarı arttıkça açık griye doğru gidildiği, uçucu külün % 10,56 Fe₂O₃ içermesi nedeniyle numunelerde kahverengi-kırmızı lekelerin oluştuğu görülmüştür.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, çeşitli termik santrallerden alınan atıl durumdaki uçucu küllerin seramik sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla tuğla, vitrifiye, karo ve porselen üretiminde değerlendirilmesi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu küller, Çatalağzı (Zonguldak), Çayırhan (Ankara), Kangal (Sivas), Afşin-Elbistan (Kahramanmaraş)'dan, tuğla, vitrifiye, karo ve porselen hammaddeleri endüstriyel üretim yapan çeşitli firmalardan temin edilmiştir.

4.1.1 Uçucu küller

Çatalağzı Termik Santrali uçucu külü "ÇAT", Çayırhan Termik Santrali uçucu külü "ÇAY", Kangal Termik Santrali uçucu külü "KAN", Afşin Termik Santrali uçucu külü "AFŞ" olarak kodlanmıştır. Bu santrallerden alınan uçucu küllerin; kimyasal, mineralojik ve morfolojik özellikleri bu bölümde açıklanmıştır.

4.1.1.1 Kimyasal analiz sonuçları

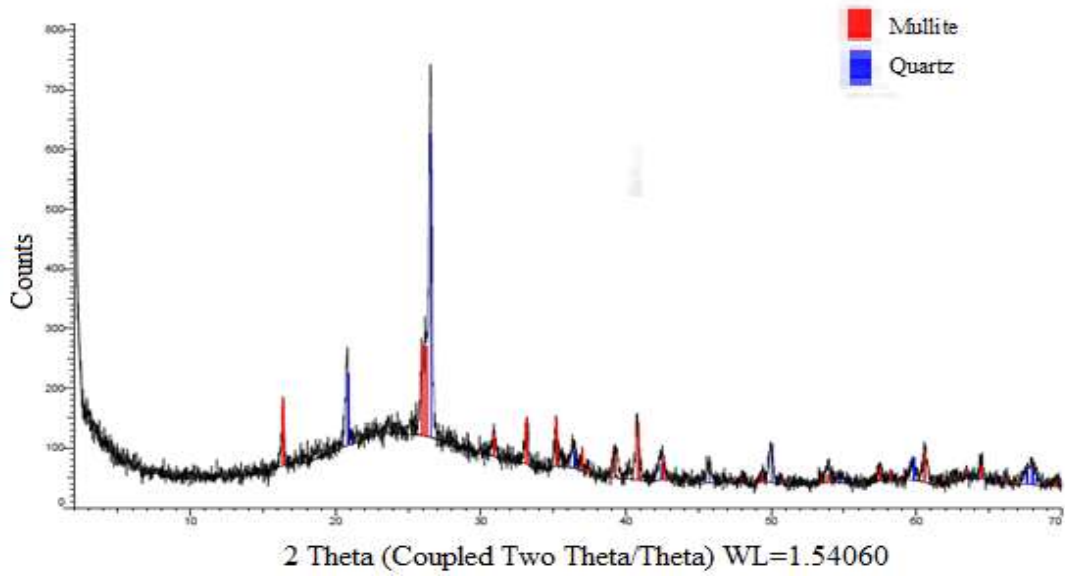
ÇAT, ÇAY, KAN ve AFŞ' den temin edilen uçucu küllerin kimyasal analizleri Çizelge 4.1' de görülmektedir.

Çizelge 4.1 Hammaddelerin kimyasal analiz sonuçları (Türker vd., 2009)

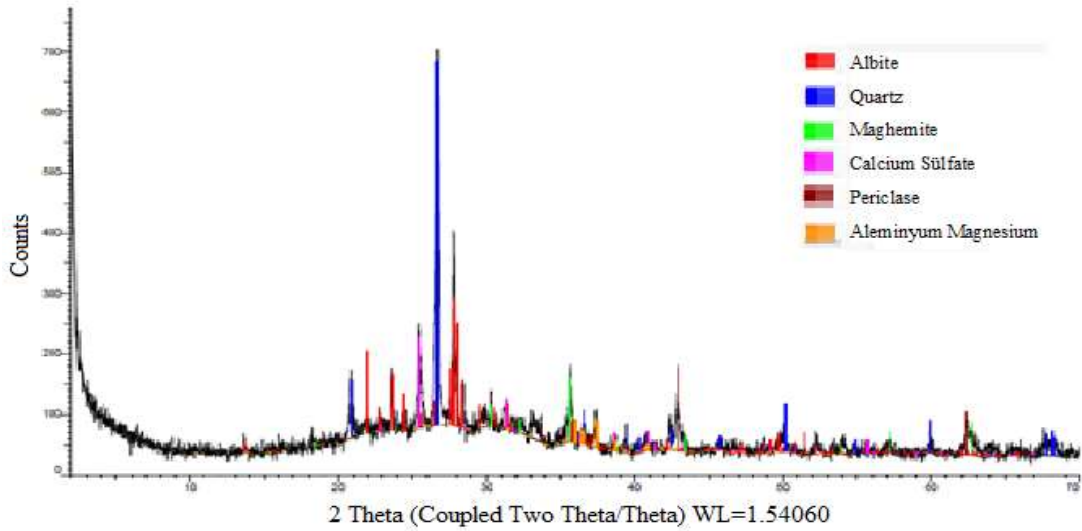
Oksitler	ÇAT	ÇAY	KAN	AFŞ
SiO ₂	58.75	50.98	34.03	9.37
Al ₂ O ₃	25.24	13.11	14.93	4.63
Fe ₂ O ₃	5.76	9.74	4.41	2.58
CaO	1.46	11.82	31.91	54.38
MgO	2.22	3.91	1.73	1.54
Na ₂ O	0.60	2.71	0.65	0.18
K ₂ O	4.05	1.91	1.01	0.43
SO ₃	0.08	3.94	6.95	24.24
KK	1.12	0.86	3.60	2.58

4.1.1.2 Mineralojik analiz sonuçları

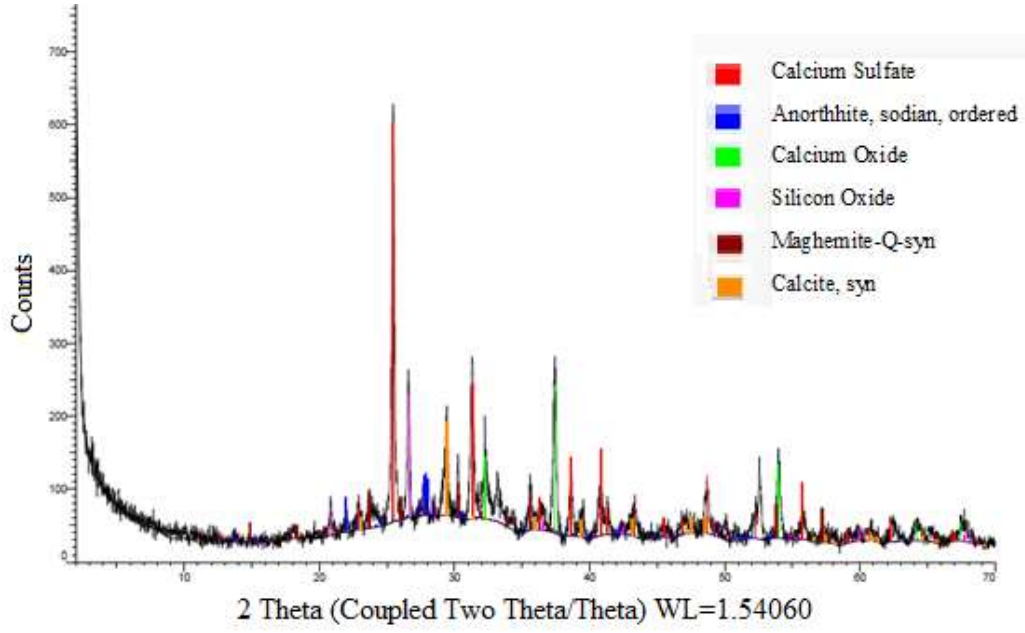
Uçucu kül numunelerinin mineralojik kompozisyonları X-ışını difraktometre (XRD) cihazı ile incelenmiştir. Numuneler XRD analizi yapılmadan önce $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde 24 saat bekletilerek nemi giderilmiş ve XRD çekimleri yapılmıştır. Uçucu kül numunelerinin XRD sonuçları Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



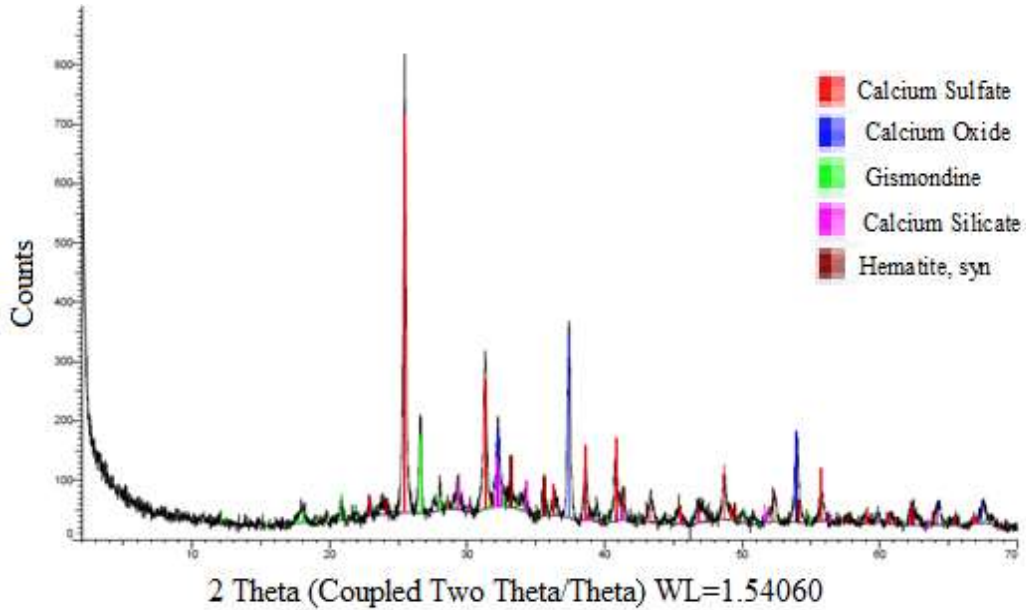
Şekil 4.1 Çatalağzı termik santrali uçucu külü XRD sonucu



Şekil 4.2 Çayırhan termik santrali uçucu külü XRD sonucu



Şekil 4.3 Kangal termik santrali uçucu külü XRD sonucu

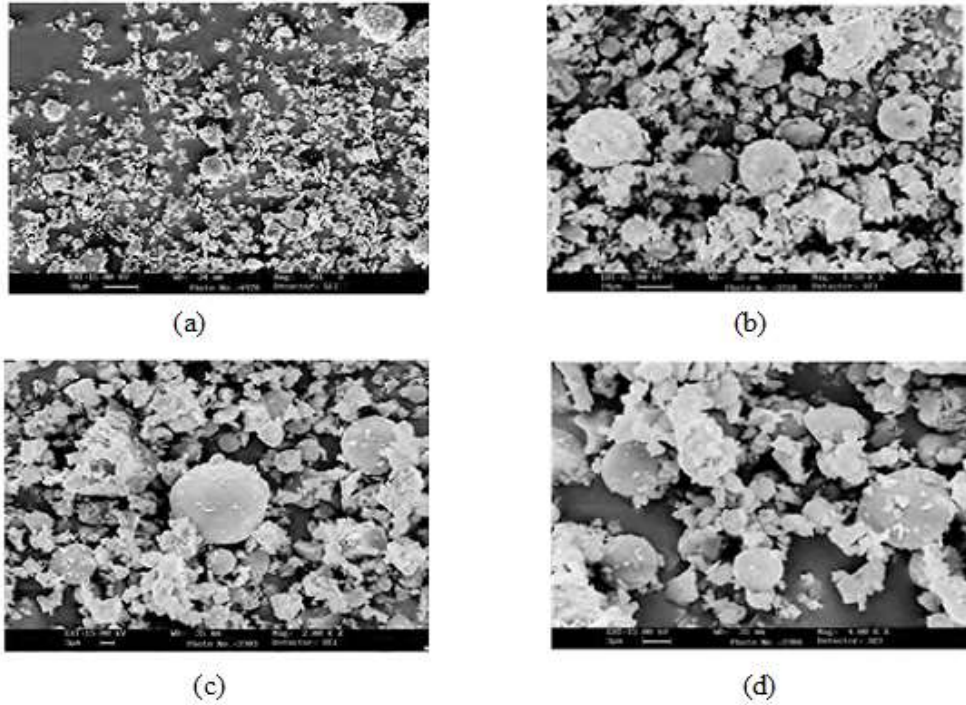


Şekil 4.4 Afşin termik santrali uçucu külü XRD sonucu

4.1.1.3 Morfolojik analiz sonuçları

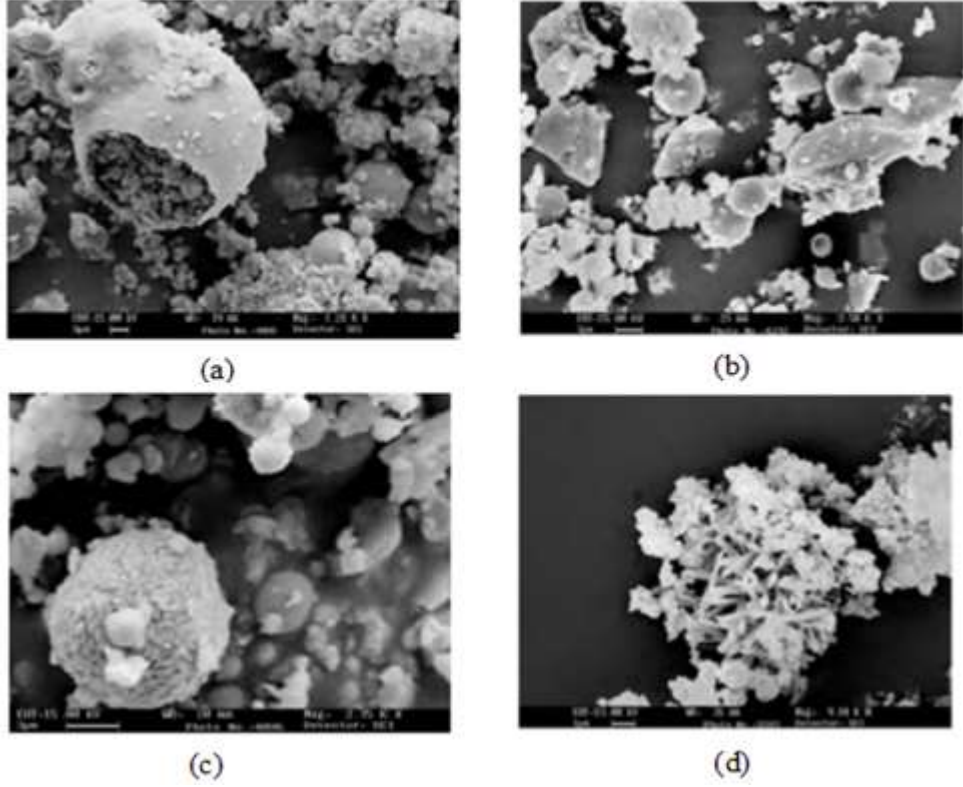
Çatalağzı uçucu külü, çoğunlukla tam küresel taneciklerden (1-20 μm) oluşmakla beraber yarı-köşeli olan tanecikler de içermektedir (Şekil 4.5). Ayrıca, içi mikroküreler ile dolu iri olan küresel taneciklerde (plerosferler) bulunmaktadır. Bunlar belirli bir kürenin (senosfer) oluşum esnasında kısmen kırılması bunların daha küçük olanlar ile

doldurulması veya ergimiş kildeki gaz çıkışındaki kısmi düzensizlik olması nedeniyle senosfere ilaveten farklı boyutlarda oluşan camsı kabarcıkların oluşumu ile meydana gelmektedirler. Taneciklere uygulanan mikro analiz neticesinde tam küresel yapıların alüminyum silikat bileşiminde olduğu; köşeli yapıların kuvars, biyotit bileşiminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Uçucu küle HF-asit uygulaması yapıldığında bazı küresel taneciklerde camsı fazın çözünmesi sağlanmış ve ince-prizmatik (psödohegzagonal) mullit kristallerinin ortaya çıktığı görülmüştür (Şekil 4.6). Senosferler ve mullit kristalleri, kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması esnasında kilin termal bozunmasının ürünleridir. Biyotit minerali, kuvars gibi yüksek termal stabilitesi sebebiyle yanma esnasında reaksiyona girmeyerek uçucu küle karışmıştır (Türker vd., 2009).

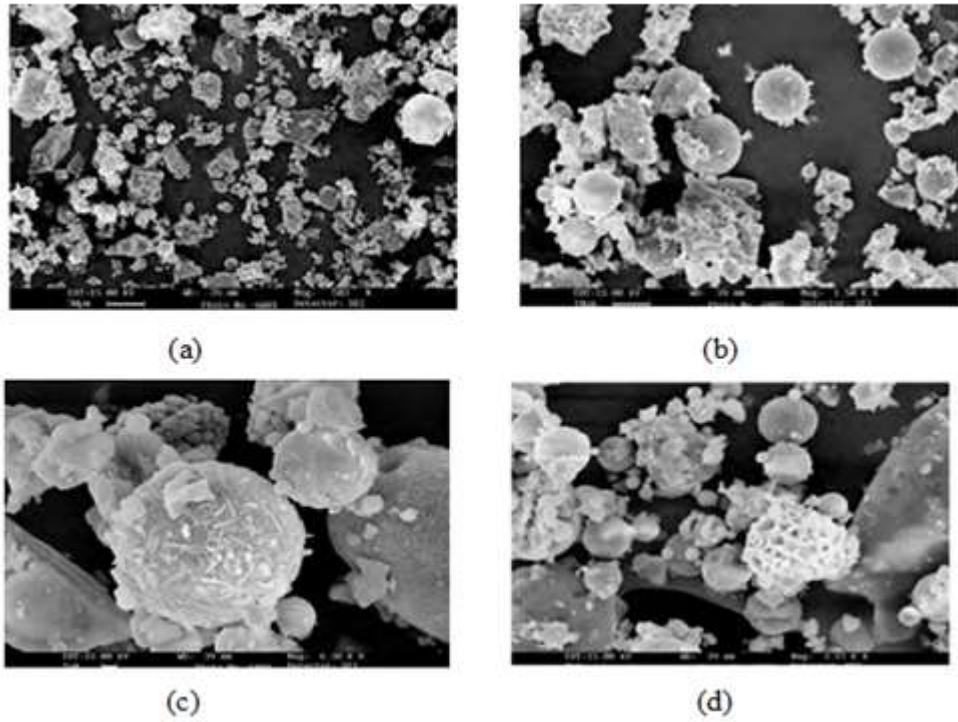


Şekil 4.5 Çatalağzı uçucu külünün yüzey yapısına ait fotoğraflar. (a) Taneciklerin genel olarak dağılımı (x500), (b) Senosferler ve köşeli yapılar (x1500), (c) ve (d) Tam küresel ve yüzeyinde kısmen birikintiler olan tanecikler

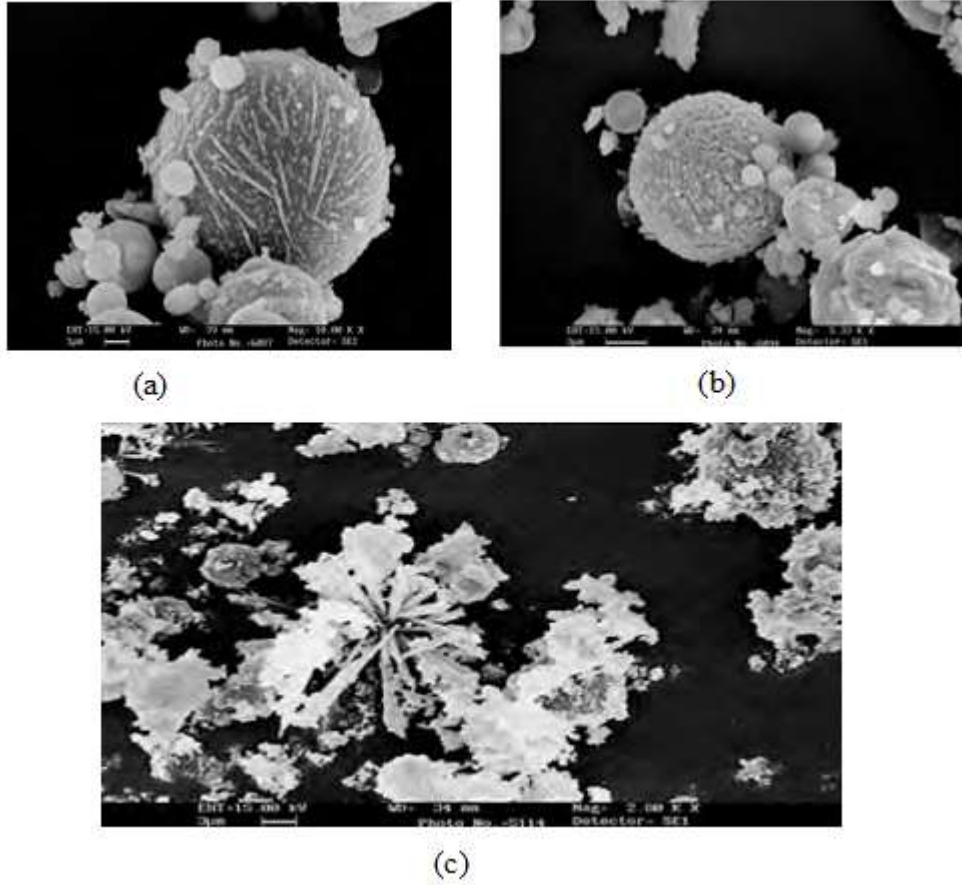
Çayırhan uçucu külünün büyüklüğü 1-20 μm arasında değişen küresel, yarı- köşeli ve köşeli tanecikler de içermektedir (Şekil 4.7). Özellikle büyüklüğü 3-6 μm arasında değişen tanecikler tam küresel yapıdadır. Uçucu kül numunesine yapılan mikro analiz neticesinde yüzeyi feldspat ve hematit kaplı tanecikler ve anhidrit kümeleri tespit edilmiştir (Şekil. 4.8). Tane yüzeyinde gözlenen feldspatlar, camsı fazdan sentezlenme sonucunda meydana gelmiştir. Bununla beraber camsı faza uygulanan asitte çözme (HF) işlemi sonucunda mullit kristallerine rastlanmıştır (Türker vd., 2009).



Şekil 4.6 Çatalağzı uçucu külünün mikroyapısı. (a) Plerosfer küresi (x1200), (b) Kütle halinde biyotit (x3500), (c) Ferrosfer küresi(hematit taneciği) (x2750), (d) Mullit kristalleri içeren tanecik (~x10000).

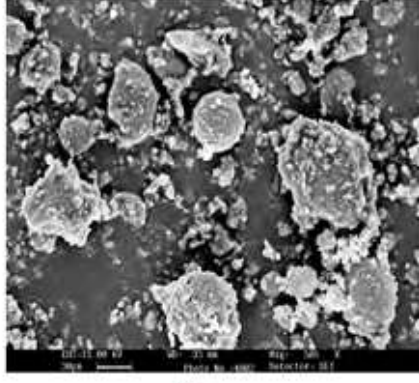


Şekil 4.7 Çayırhan uçucu külünün mikroyapısı, (a) Taneciklerin genel dağılımı (x500), (b) Küresel,yarı-köşeli ve köşeli tanecikler (x1500), (c) Alkal felspat kaplı küreler (x6300), (d) Anhidrit taneciği (x4100).

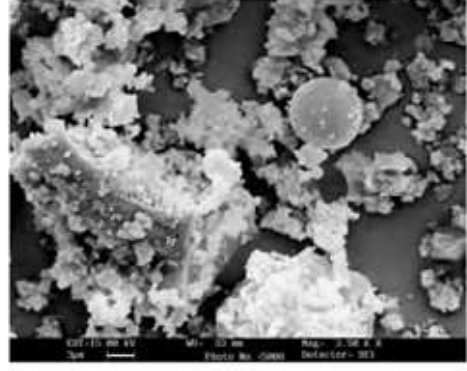


Şekil 4.8 Çayırhan uçucu külünün kristal yapısı, (a) Feldispat kaplı küresel tanecik (x10000), (b) Hematit kaplı küreler (x5300), (c) Mullit kristalleri (x2800).

Kangal uçucu külünün morfolojik incelemesinde 1-100 μm arasında değişen büyüklüklerde aglomere olmuş tanecikler içerdiği görülmüştür (Şekil 4.9). Bu küle genellikle köşeli yapıda olmakla beraber, bir kısmının yüzeyi kristal kaplı diğer kısmının ise yüzeyi pürüzsüz küresel yapıda olmak üzere farklı şekilli tanecikler vardır. Küle uygulanmış olan mikro analiz neticesinde yapı içinde kalsit, alkali feldispatlar, kuvars yanmamış karbon tanecikleri ve serbest kireç tespit edilmiştir (Şekil 4.10, Şekil 4.11). Alkali feldispatlar, kömürün yanması esnasında reaksiyona girmeden doğrudan uçucu küle taşınmaları nedeniyle külün içinde görülmüşlerdir. Kalsit minerali kömürde bulunan ince taneli olan kısımların direk baca gazına karışmaları veya serbest kirecin yanması esnasında açığa çıkan CO_2 ile birleşmesinden dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Özellikle iri boyutlu ($\sim 100 \mu\text{m}$) ve gözenekli olan yapılar yanmamış karbona (kömür) karşılık gelmektedir. Yanmamış karbon kalıntıları da kömürün düşük sıcaklıklarda yanması sırasında iri taneciklerin tamamen reaksiyona katılmamalarından dolayı oluşmaktadır (Türker vd., 2009).

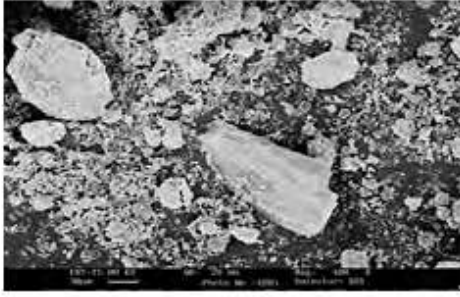


(a)

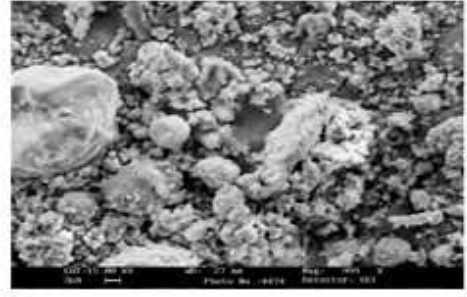


(b)

Şekil 4.9 Kangal uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraflar. (a) 1.Ünite uçucu külü (x500), (b) 1.ünitedeki küresel ve köşeli yapılar (x3500).

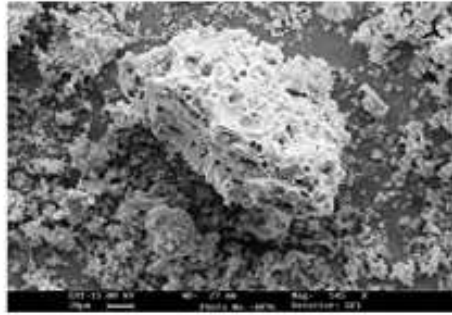


(a)

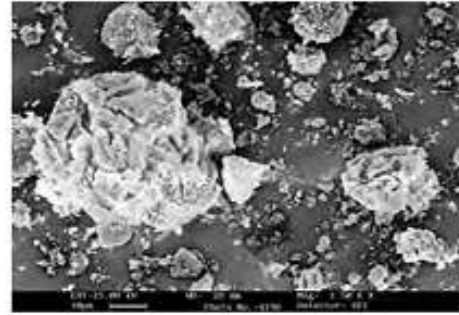


(b)

Şekil 4.10 Kangal uçucu külünün mikroyapısı. (a) Sanidin kristali(x400) (b) Kuvars ve kalsit tanecikleri(x~1000).



(a)



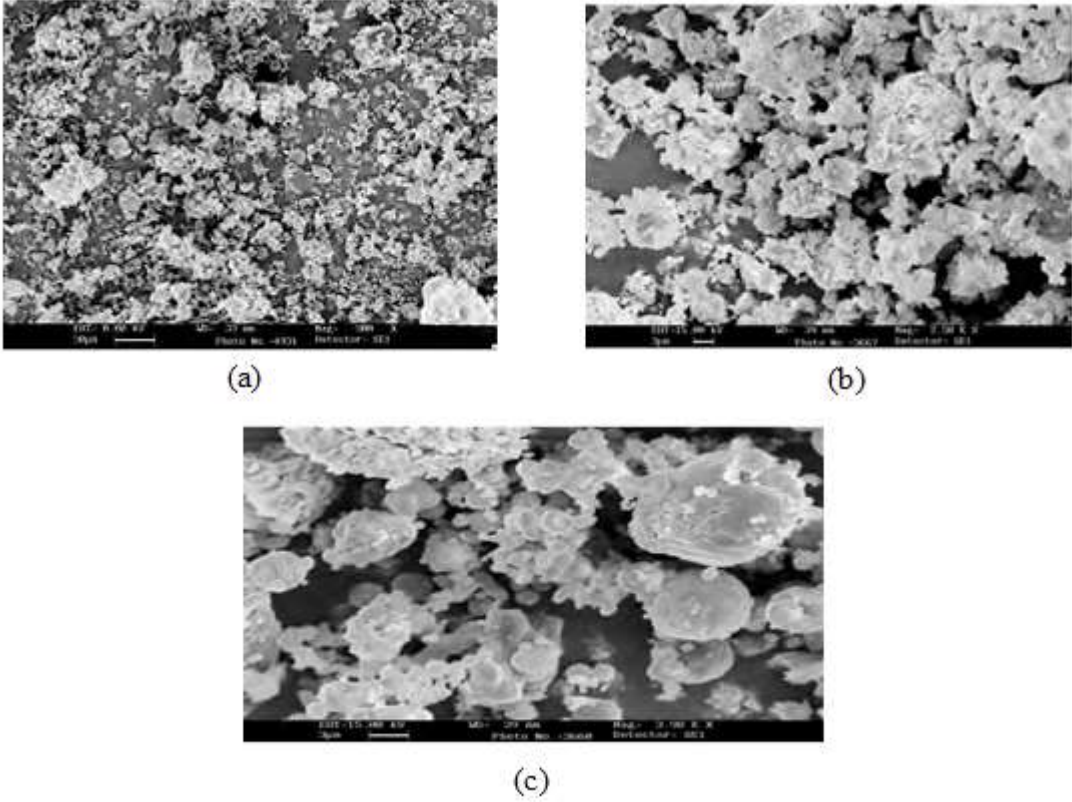
(b)

Şekil 4.11 Kangal uçucu külündeki kristaller (a) Yanmamış karbon taneciği (x545) (b) Serbest kireç kümeleri(x1500)

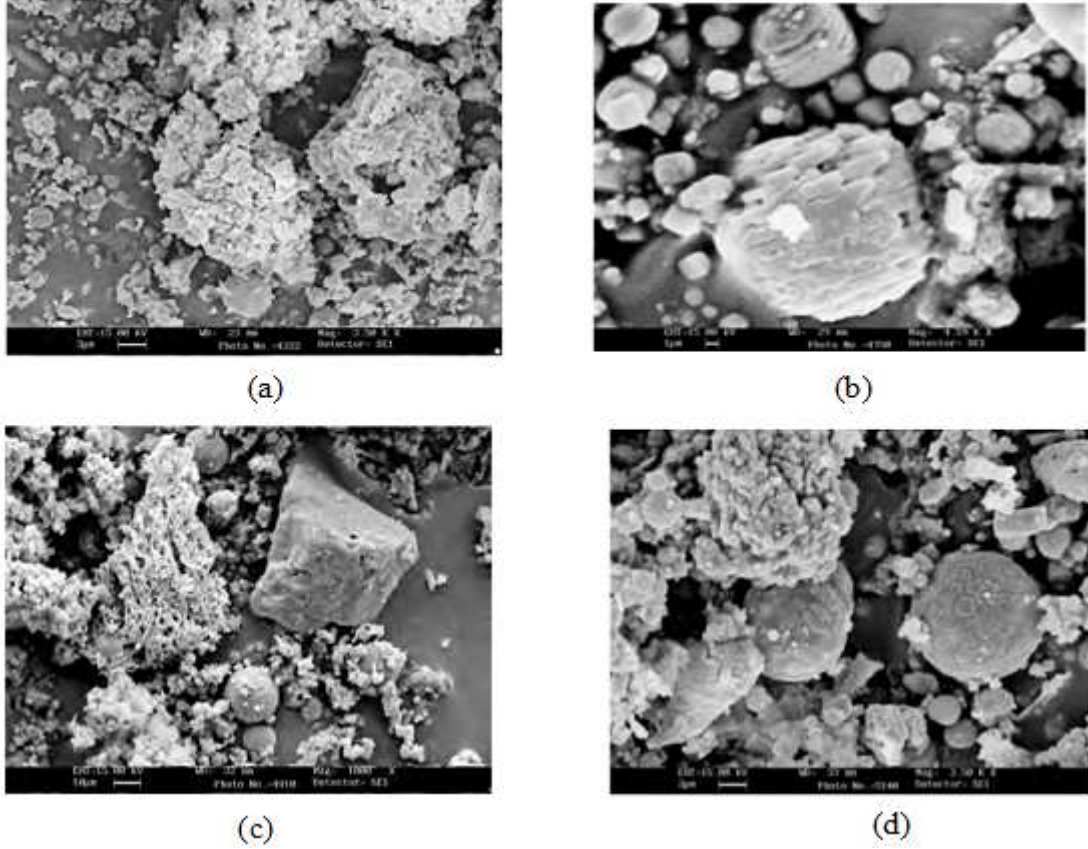
Afşin-Elbistan uçucu külünün mikroyapı incelemesi neticesinde, 3-30 μm arasında değişen büyüklüklerde düzensiz şekilli ve özellikle köşeli tanecikler içerdiği görülmüştür (Şekil 4.12). Köşeli taneciklerin kuvars, serbest kireç, anhidrit bileşiminde olduğu tespit

edilmiş olup özellikle, yarı-küresel taneciklere de rastlanmış, bazılarının yüzeyinin değişik şekillerde (prizmatik, psödokübik, ortorombik gibi) anhidrit kristalleri ile kaplandığı görülmüştür (Şekil.4.13). Anhidrit kristalleri, piritin oksidasyonu ile oluşan SO₂ gazının CaO ile külün yüzeyinde heterojen çekirdek oluşturarak yoğuşması ile meydana gelmektedirler.

Şekilsiz yapıda görülen poröz kil kalıntıları, kömürün yanması esnasında illitin kısmi ergimesi sonucunda oluşmaktadır. Kuvars, yanma esnasında ortamdan uzaklaşarak kısmen deforme olmuş şekilde küle karışarak mikroyapı içinde görülmüştür. Ayrıca, tanecik yüzeyinde gehlenit oluşumlarına da rastlanmaktadır (Türker vd., 2009).



Şekil 4.12 Afşin-Elbistan uçucu külünün morfolojik yapısına ait mikrofotograflar (a) Taneciklerin genel dağılımı (x500), (b) T.S 1. üitedeki köşeli, şekilsiz ve kümeler halindeki tanecikler (x 2500), (c) Yarı-küresel şekilli tanecikler (x4000).



Şekil 4.13 Afşin-Elbistan uçucu külünün kristal yapısı (a) Serbest kireç ve kil kalıntısı (x3500) (b) Anhidrit kaplı küreler (x5500), (c) Kuvars ve kil kalıntısı (x1000), (d) Gehlenit kaplı küreler (x3500).

4.1.1.4 Özgül ağırlık ve partikül boyutu

Numunelerin özgül ağırlıklarını belirlemek için Dijital Piknometre kullanılmış, incelikler ise 90 μm ve 45 μm elek bakiyeleri cinsinden analize tabi tutulmuştur. Numunelerin mekanik testleri puzolanik aktivite olarak TS EN 450 standardında belirlenen yöntem ile yapılmıştır. Çizelge 4. 2' de uçucu kül numunelerinin özgül ağırlık ve incelik sonuçları verilmiştir.

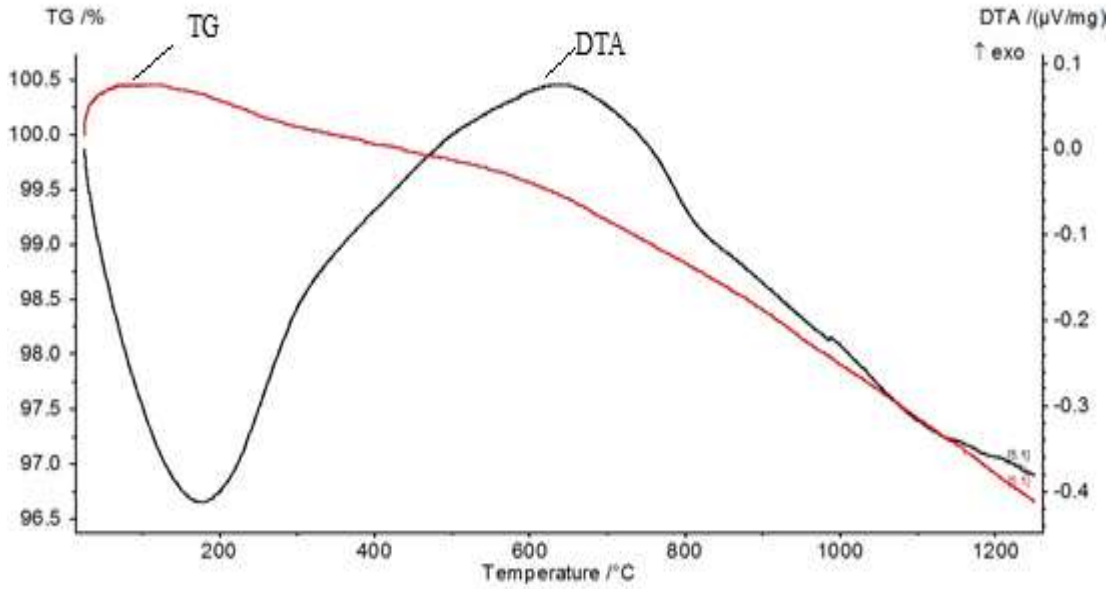
Çizelge 4.2 Uçucu kül numunelerinin özgül ağırlık ve incelik sonuçları

Numune	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	90 μm Elek Bakiyesi (%)	45 μm Elek Bakiyesi (%)
Çayırhan	2.36	6.7	24.5
Afşin Elbistan	2.93	12.3	32.0
Kangal	2.50	46.4	74.4
Çatalağzı	2.00	21.4	38.7

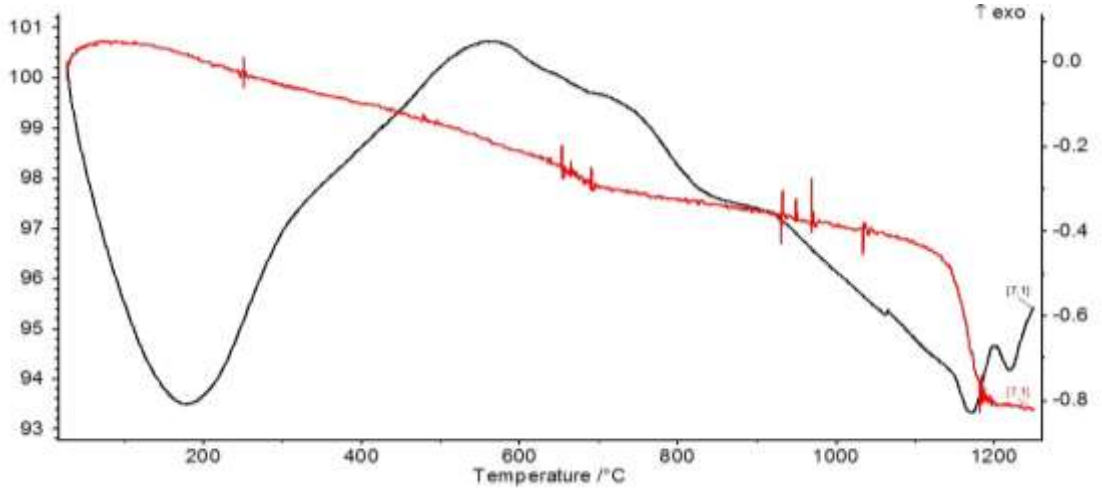
TS EN 450 standardında uçucu küllerin özgül ağırlıkları belirli bir sınır değeri bulunmazken incelikler için 45 µm' luk eleğin üstünde kalan miktarın en çok % 40 olması koşulu vardır. Bu durumda yapılan analizlerden elde edilen sonuçların gösterildiği Çizelge 4.2' de Çatalağzı, Kangal termik santrallerinin uçucu küllerinin bu sınırlamaya uymadığı görülmektedir.

4.1.1.5 Deneylerde kullanılan uçucu küllerin DTA-TG eğrileri

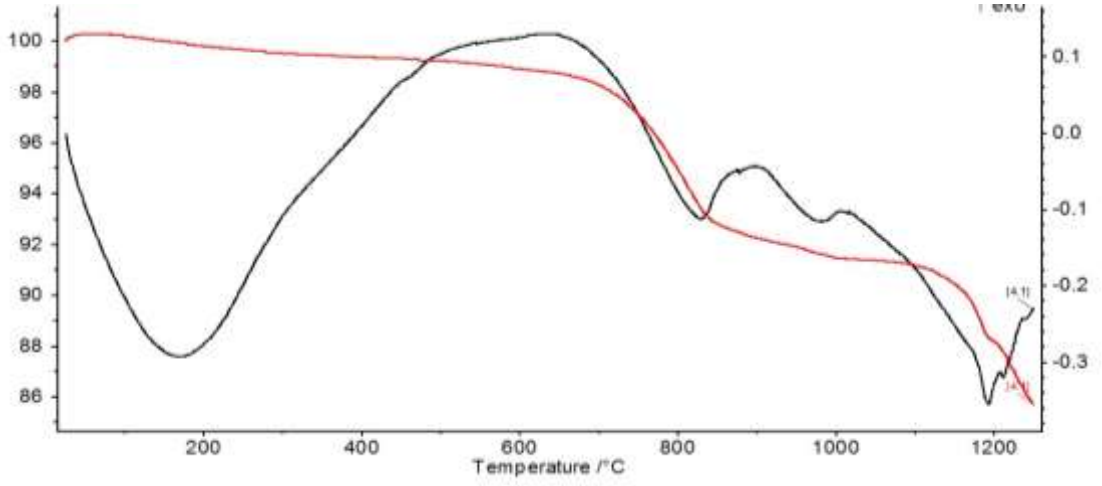
Diferansiyel termal analizi yapılan uçucu kül numunelerinin sabit bir hızla ısıtılması sonucu oluşan ekzotermik ve endotermik reaksiyonların sıcaklıkları Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17' de DTA (siyah renk) eğrilerinde verilmiştir. Uçucu kül numunelerinin belirli bir ısı rejimi ile ısıtılarak bünyelerinde oluşan reaksiyon sonucunda kaybolan fiziksel ve kimyasal su miktarının veya gaz çıkışı sebebiyle oluşan kayıpların gravimetrik olarak saptanması ile ağırlık değişimlerinin gösterildiği TG (kırmızı renk) değerleri de her bir uçucu kül numunesi için Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17' de gösterilmiştir.



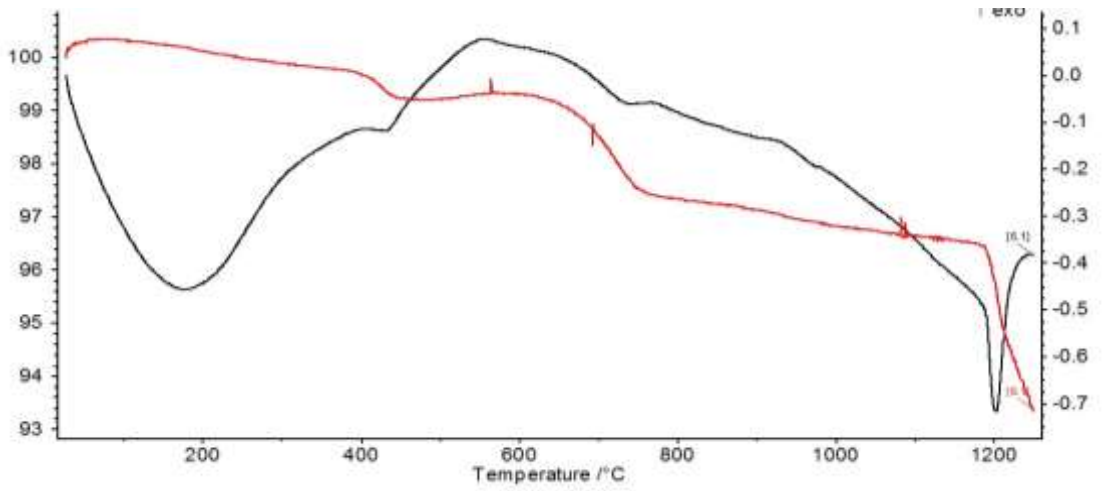
Şekil 4.14 Çatalağzı termik santrali uçucu külü DTA-TG eğrisi



Şekil 4.15 Çayırhan termik sanrali uçucu külü DTA-TG eğrisi



Şekil 4.16 Kangal termik sanrali uçucu külü DTA-TG eğrisi



Şekil 4.17 Afşin termik sanrali uçucu külü DTA-TG eğrisi

4.1.2 Tuğla, vitrifiye, karo ve porselen çamuru özellikleri

Deneylerde kullanılan hammaddelerin XRF (CÜTAM, ThermoXRF) analizleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Deneylerde kullanılan hammaddelerin kimyasal analizleri

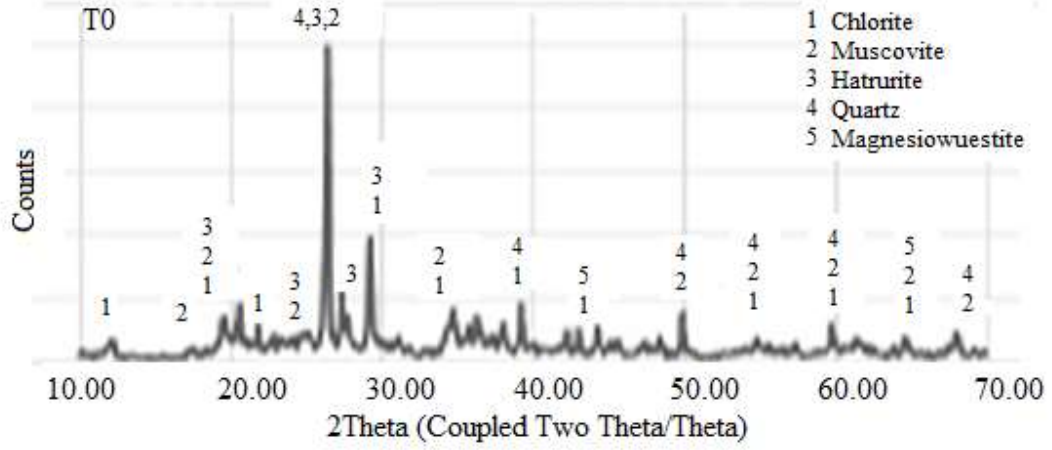
Oksitler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	K.K
Tuğla Masse	61.123	13.940	7.807	0.937	6.240	1.378	1,178	7.397
Vitrifiye Masse	73.837	17.705	0.544	0.314	0.378	0.468	1.165	5.59
Karo Masse	77.382	14.199	0.976	0.262	0.369	0.857	1.806	4.149
Porselen Masse	70.965	20.169	0.328	0.360	0.470	0.000	0.877	6.831

Şekil 4.18’, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’ de sırasıyla tuğla, vitrifiye, karo ve porselen çamurunun XRD analizi sonucu verilmektedir. Numunelerin XRD analizi; Rigaku D-max marka cihazla gerçekleştirilmiştir. Analiz sırasında Cu-K α radyasyonu kullanılan tüpün voltajı 35 kV ve akımı 15 mA olarak ayarlanmıştır. Numuneler 2°C/dakika tarama hızında ve 0,025 tarama kademesinde 20-70° (2 θ) arasında taramaya tabi tutulmuştur.

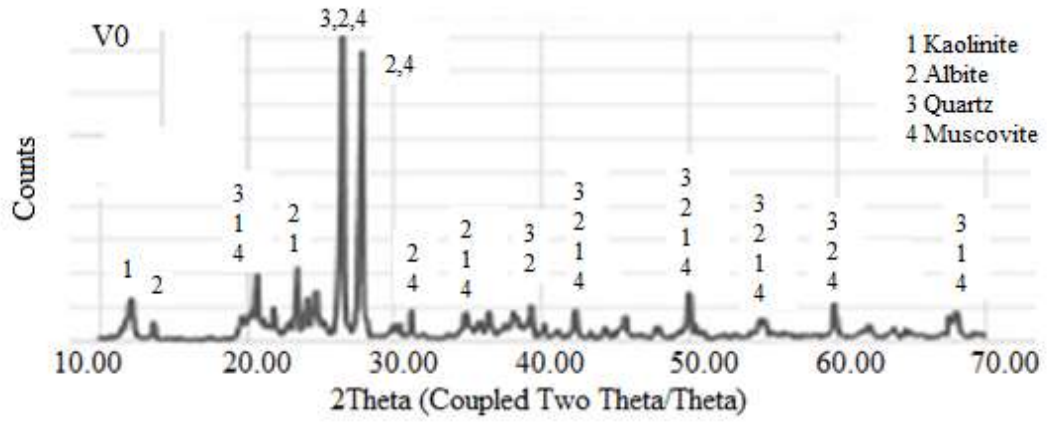
Tuğla masseleri için XRD analiz sonuçları (Şekil 4.18) mikroyapıda silicon oxide, muscovite, iron silicate, calcium aluminum silicate fazlarının olduğu tespit edilmiştir. Vitrifiye masseleri için XRD analiz sonuçları (Şekil 4.19) mikroyapıda; quartz, low, Dauphinee-twinneed, kaolinite, anorthite, albite fazlarının olduğu tespit edilmiştir.

Karo masseleri için XRD analiz sonuçları (Şekil 4.20) mikroyapıda; silicon oxide, potassium aluminum silicate, calcium aluminum iron oxide, fazlarının olduğu tespit edilmiştir.

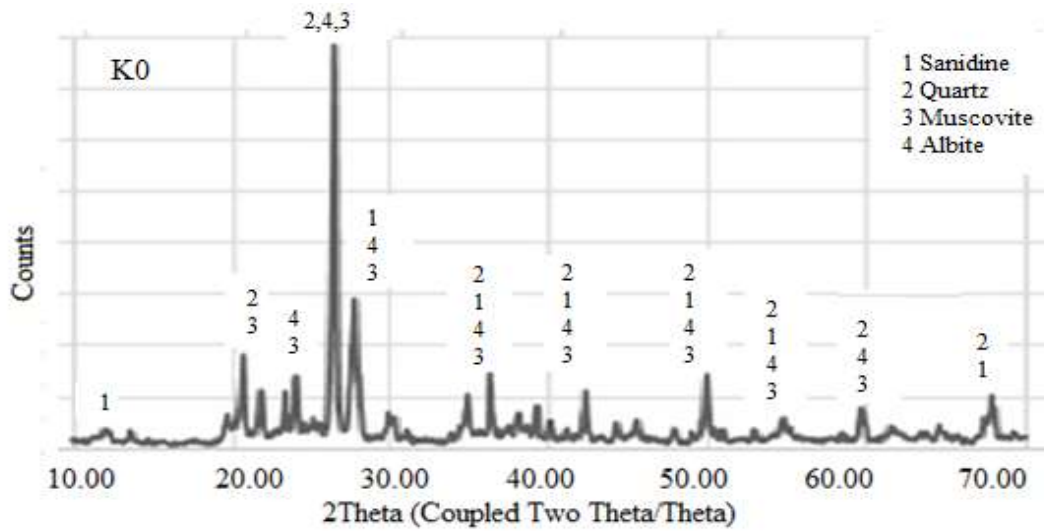
Porselen masseleri için XRD analiz sonuçları (Şekil 4.21) mikroyapıda; silicon oxide, muskovit, calcium aluminum silicate, iron silicate, fazlarının olduğu tespit edilmiştir.



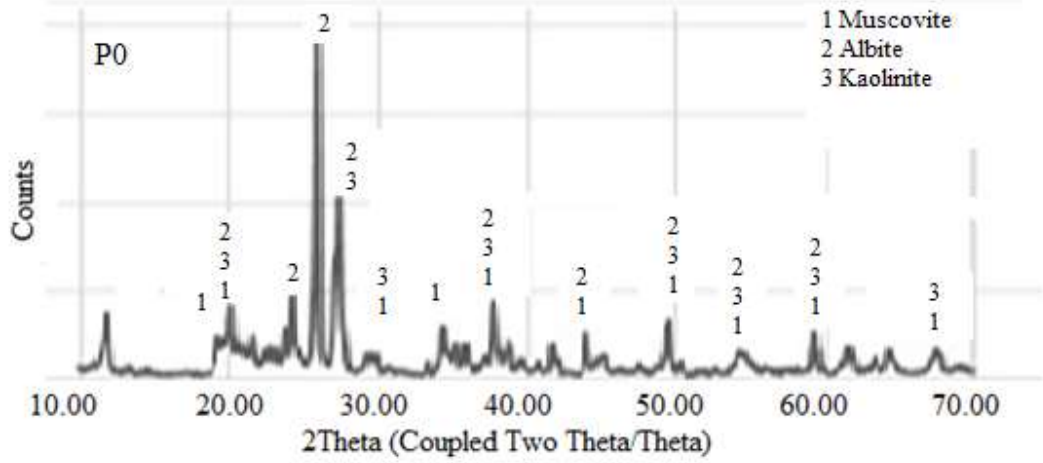
Şekil 4.18 Tuğla masse XRD analizi sonuçları



Şekil 4.19 Vitrikiye masse XRD analizi sonuçları

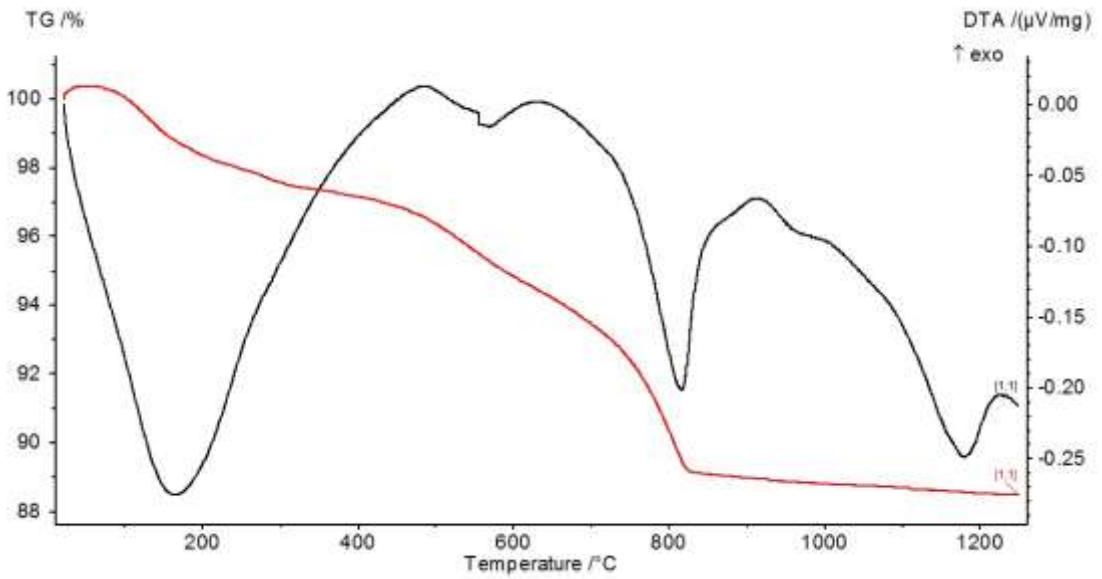


Şekil 4.20 Karo masse XRD analizi sonuçları



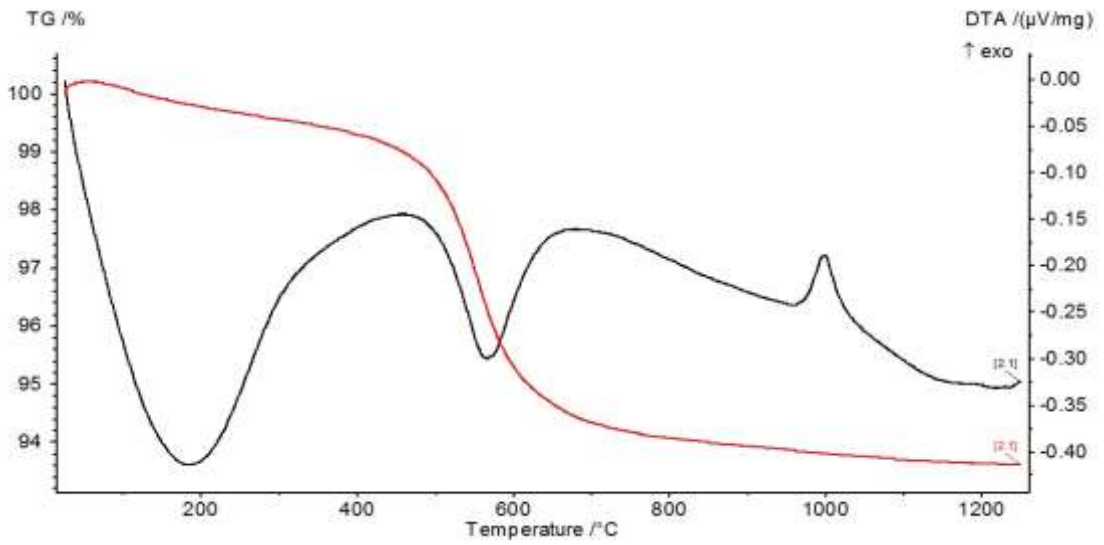
Şekil 4.21 Porselen masse XRD analizi sonuçları

Deneylerde kullanılan tuğla, vitrifiye, karo ve porselen DTA ve TG eğrisi sonuçları Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25' de gösterilmektedir. Diferansiyel termal analizi yapılan numunelerin sabit bir hızla ısıtılması sonucu oluşan egzotermik ve endotermik reaksiyonların sıcaklıkları şekillerdeki DTA eğrilerinde (siyah renkteki eğri) verilmiştir. Seramik numunelerinin belirli bir ısı rejimi ile ısıtılarak bünyelerinde oluşan reaksiyon sonucunda kaybolan fiziksel ve kimyasal su miktarının veya gaz çıkışı sebebiyle oluşan kayıpların gravimetrik olarak saptanması ile ağırlık değişimlerinin gösterildiği TG (kırmızı renkteki eğri) değerleri de her seramik numunesi için şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 4.22 Tuğla masse DTA-TG eğrisi

Şekil 4.22’de gösterilen tuğla numunesine ait DTA/TG grafiğine baktığımızda 25-200 °C sıcaklık aralığında serbest suyun uzaklaştığı görülmektedir. Bu sıcaklık aralığında ölçülen kayıp ağırlıkça %1 kadardır. 200-400 °C aralığında yine bünyeden higroskopik su uzaklaşmakta olup kayıp ağırlıkça %1 olarak ölçülmüştür. 400-600 °C aralığındaki TG eğrisinde görülen kayıp numunedeki kil ve kaolinlerin sırasıyla kristal suyunu kaybetmesinden kaynaklanmakta olup ağırlık kaybı bu aralıkta %3 ölçülmüştür. TG eğrisinde 600°C’den sonra farklı bir kademe şeklinde gözlenen ve 800°C’ye kadar devam eden yaklaşık %6 ağırlık kaybı ise karbonatların bozulmasından kaynaklanmaktadır. 800-850 °C’de DTA eğrisinde de endotermik bir reaksiyon görülmekte olup bu bozulmayı desteklemektedir. Toplamda numunede %11 ağırlık kaybı olmuştur. 900-950 °C ler de DTA eğrisinde görülen ekzotermik pikin nedeni bir fazın oluşumundan kaynaklanmaktadır. Pişirim sonrası XRD verilerinden yola çıkılarak bu fazın Anortit fazı olduğu söylenebilir.

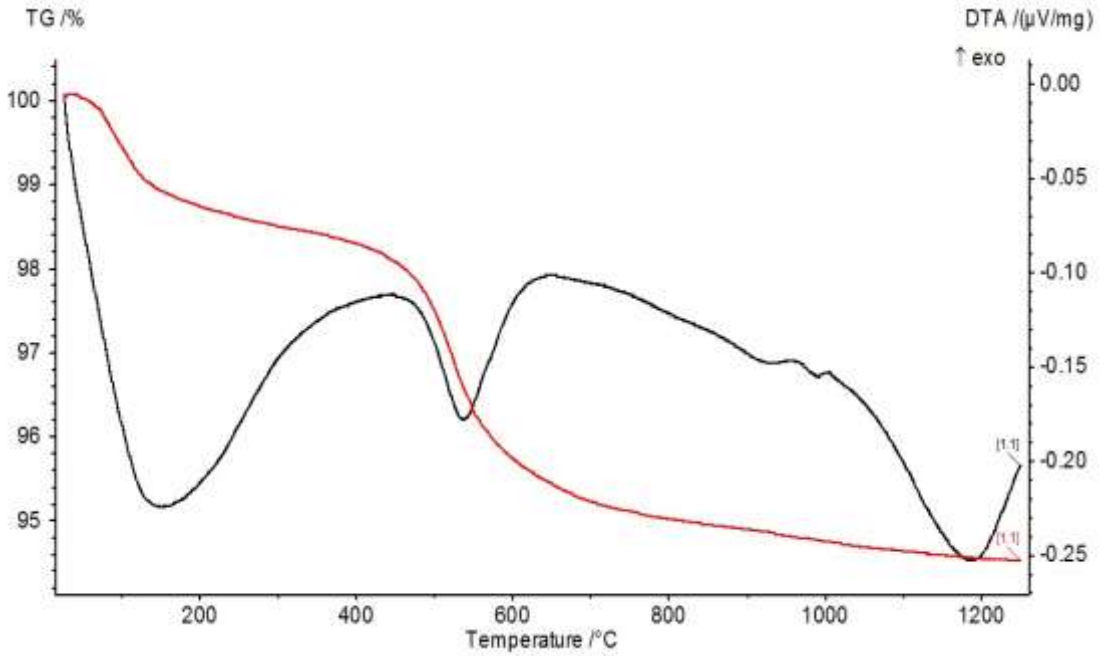


Şekil 4.23 Vitrikiye masse DTA-TG eğrisi

Şekil 4.23’de Vitrikiye numunesine ait DTA/TG grafiği verilmiştir. 25-200 °C sıcaklık aralığında serbest suyun uzaklaştığı görülmektedir. Bu sıcaklık aralığında ölçülen kayıp ağırlıkça %0,2 kadardır. 200-400 °C aralığında yine bünyeden higroskopik su uzaklaşmakta olup kayıp ağırlıkça %0,2 olarak ölçülmüştür. 400-600 °C aralığındaki TG eğrisinde görülen kayıp numunedeki kil ve kaolinlerin sırasıyla kristal suyunu kaybetmesinden kaynaklanmakta olup ağırlık kaybı bu aralıkta %4,6 ölçülmüştür. 500-

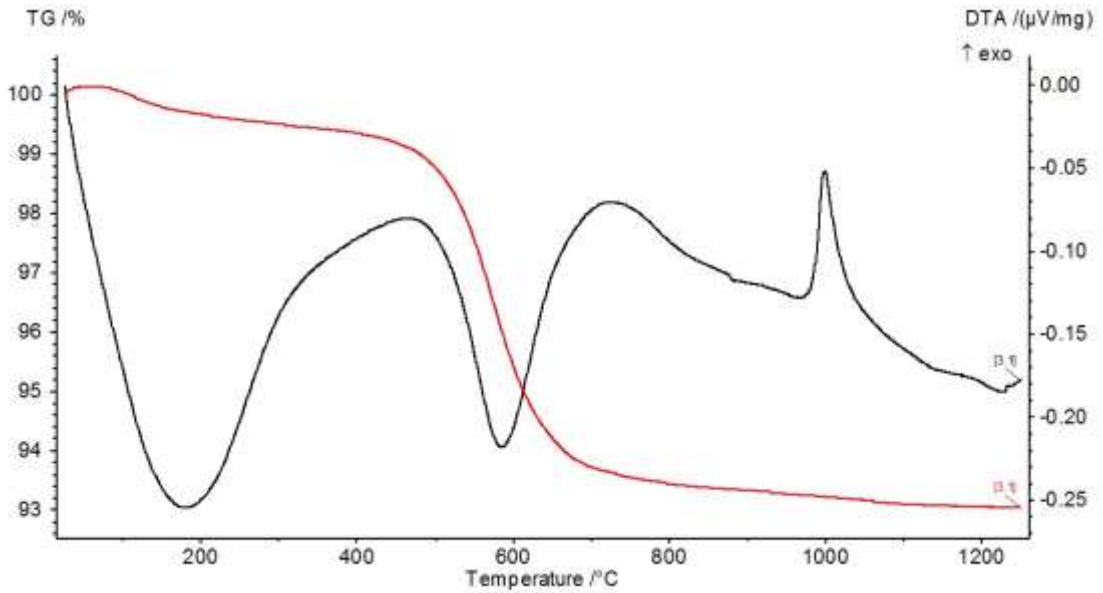
600 °C aralığında DTA eğrisinde görülen endotermik pikin nedeni kaolinitin yapısındaki suyun yapıdan uzaklaşarak meta kaolinit formuna dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Toplamda numunede %6 ağırlık kaybı olmuştur 980 °C de görülen ikinci pik ise mullit kristalizasyonu ile oluşan yapıya aittir. 1000 °C den sonra sistemde ağırlık kaybı ve DTA piki görülmemektedir.

Şekil 4.24'te karo reçetesine ait tozun DTA/TG grafiği verilmiştir. 25-200 °C sıcaklık aralığında serbest suyun uzaklaştığı görülmektedir. Bu sıcaklık aralığında ölçülen kayıp ağırlıkça %1 kadardır. 200-400 °C aralığında yine bünyeden hidroskopik su uzaklaşmakta olup kayıp ağırlıkça %0,5 olarak ölçülmüştür. 400-600 °C aralığındaki TG eğrisinde görülen kayıp numunedeki kil ve kaolenlerin sırasıyla kristal suyunu kaybetmesinden kaynaklanmakta olup ağırlık kaybı bu aralıkta %3 ölçülmüştür. 550-600 °C civarında DTA eğrisinde görülen endotermik pikin nedeni kaolinitin yapısındaki suyun yapıdan uzaklaşarak meta kaolinit formuna dönüşmesinden kaynaklanmaktadır [99, 100]. Toplamda numunede %5 ağırlık kaybı olmuştur 1000 °C de görülen ikinci pik ise mullit kristalizasyonu ile oluşan yapıya aittir.



Şekil 4.24 Karo masse DTA-TG eğrisi

Şekil 4.25'te Porselen numunesine ait DTA/TG grafiği verilmiştir. 25-200 °C sıcaklık aralığında serbest suyun uzaklaştığı görülmektedir. Bu sıcaklık aralığında ölçülen kayıp ağırlıkça %0,2 kadardır. 200-400 °C aralığında yine bünyeden higroskopik su uzaklaşmakta olup kayıp ağırlıkça %0,3 olarak ölçülmüştür. 400-600 °C aralığındaki TG eğrisinde görülen kayıp numunedeki kil ve kaolinlerin sırasıyla kristal suyunu kaybetmesinden kaynaklanmakta olup ağırlık kaybı bu aralıkta %5,5 ölçülmüştür. 550-600 °C aralığında DTA eğrisinde görülen endotermik pikin nedeni kaolinitin yapısındaki suyun yapıdan uzaklaşarak meta kaolinit formuna dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Toplamda numunede %7 ağırlık kaybı olmuştur 1000 °C de görülen ikinci pik ise müllit kristalizasyonu ile oluşan yapıya aittir. 1000 °C den sonra sistemde ağırlık kaybı ve DTA piki görülmemektedir.



Şekil 4.25 Porselen masse DTA-TG eğrisi

4.2. Numunelerin Hazırlanması

Temin edilen hammaddelerin ve uçucu küllerin bünyelerindeki nemi gidermek amacıyla, her biri ayrı ayrı Şekil 4.26 daki etüv de (C.Ü. Metalurji ve Malzeme Müh. Seramik Lab. Binder) 100 °C de 24 saat süre ile bekletilmiştir. Hazırlanan numunelerde kodlama işleminde ürünlerin ilk harfi (T,V,K,P), uçucu kül katkı oranları (00,15,30), pişme sıcaklıkları (800-1150) kullanılarak kodlama işlemi yapılmıştır. Öneğin; “T00ÇAT800” tuğla numunesi sıfır Çatalağzı termik santrali uçucu külü katkılı 800 °C de pişirilmiş

numune şeklindedir (Çizelge 4.4). Numune tozlarının tartım işleminde Şekil 4.27 deki hassas terazi kullanılarak tartım işlemi gerçekleştirilip ayrı ayrı kaplara konulmuştur.



Şekil 4.26 Deneysel çalışmalarda kullanılan etüv



Şekil 4.27 Deneysel çalışmalarda kullanılan hassas terazi

Tüm karışımlar yaş olarak karıştırılmış ve bilya: toz: su 3:1:1 olarak belirlenmiştir. Şekil 5.15 deki değirmen hacminin 1/3 ünü dolduracak hacimde, 75 rpm kritik hızda 24 saat karıştırılmış, Şekil 4.29' da ki kalıp kullanılarak yarı yaş hale getirilmiştir. Tuğla ve vitrifiye yarı yaş olarak, karo ve porselen örnekleri kuru toz olarak 100 MPa basınçla şekillendirilmiştir. Numunelerin şekillendirilmesinde 2x2x10 cm boyutlarında kalıp kullanılmış, numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir.

Çizelge 4.4 Numunelerin oluşturulmuş reçeteleri

Tuğla	Vitrifiye	Karo	Porselen	Ham madde (%)	Ç A T	Ç A Y	K A N	A F Ş
T00ÇAT800	V00ÇAT1050	K00ÇAT1050	P00ÇAT1050	100	-	-	-	-
T15ÇAT800	V15ÇAT1050	K15ÇAT1050	P15ÇAT1050	85	15	-	-	-
T30ÇAT800	V30ÇAT1050	K30ÇAT1050	P30ÇAT800	70	30	-	-	-
T00ÇAY800	V00ÇAY1050	K00ÇAY1050	P00ÇAY800	100	-	-	-	-
T15ÇAY800	V15ÇAY1050	K15ÇAY1050	P15ÇAY800	85	-	15	-	-
T30ÇAY800	V30ÇAY1050	K30ÇAY1050	P30ÇAY800	70	-	30	-	-
T00KAN 800	V00KAN 1050	K00KAN 1050	P00KAN 800	100	-	-	-	-
T15KAN 800	V15KAN 1050	K15KAN 1050	P15KAN 800	85	-	-	15	-
T30KAN 800	V30KAN 1050	K30KAN 1050	P30KAN 800	70	-	-	30	-
T00AFŞ800	V00AFŞ1050	K00AFŞ1050	P00AFŞ800	100	-	-	-	-
T15AFŞ800	V15AFŞ1050	K15AFŞ1050	P15AFŞ800	85	-	-	-	15
T30AFŞ800	V30AFŞ1050	K30AFŞ1050	P30AFŞ800	70	-	-	-	30
T00ÇAT900	V00ÇAT1100	K00ÇAT1100	P00ÇAT1100	100	-	-	-	-
T15ÇAT900	V15ÇAT1100	K15ÇAT1100	P15ÇAT1100	85	15	-	-	-
T30ÇAT900	V30ÇAT1100	K30ÇAT1100	P30ÇAT1100	70	30	-	-	-
T00ÇAY900	V00ÇAY1100	K00ÇAY1100	P00ÇAY1100	100	-	-	-	-
T15ÇAY900	V15ÇAY1100	K15ÇAY1100	P15ÇAY1100	85	-	15	-	-
T30ÇAY900	V30ÇAY1100	K30ÇAY1100	P30ÇAY1100	70	-	30	-	-
T00KAN 900	V00KAN 1100	K00KAN 1100	P00KAN 1100	100	-	-	-	-
T15KAN 900	V15KAN 1100	K15KAN 1100	P15KAN 1100	85	-	-	15	-
T30KAN900	V30KAN1100	K30KAN1100	P30KAN1100	70	-	-	30	-
T00AFŞ900	V00AFŞ1100	K00AFŞ1100	P00AFŞ1100	100	-	-	-	-
T15AFŞ900	V15AFŞ1100	K15AFŞ1100	P15AFŞ1100	85	-	-	-	15
T30AFŞ900	V30AFŞ1100	K30AFŞ1100	P30AFŞ1100	70	-	-	-	30
T00ÇAT1000	V00ÇAT1150	K00ÇAT1150	P00ÇAT1150	100	-	-	-	-
T15ÇAT1000	V15ÇAT1150	K15ÇAT1150	P15ÇAT1150	85	15	-	-	-
T30ÇAT1000	V30ÇAT1150	K30ÇAT1150	P30ÇAT1150	70	30	-	-	-
T00ÇAY1000	V00ÇAY1150	K00ÇAY1150	P00ÇAY1150	100	-	-	-	-
T15ÇAY1000	V15ÇAY1150	K15ÇAY1150	P15ÇAY1150	85	-	15	-	-
T30ÇAY1000	V30ÇAY1150	K30ÇAY1150	P30ÇAY1150	70	-	30	-	-
T00KAN 1000	V00KAN 1150	K00KAN 1150	P00KAN 1150	100	-	-	-	-
T15KAN 1000	V15KAN 1150	K15KAN 1150	P15KAN 1150	85	-	-	15	-
T30KAN1000	V30KAN1150	K30KAN1150	P30KAN1150	70	-	-	30	-
T00AFŞ1000	V00AFŞ1150	K00AFŞ1150	P00AFŞ1150	100	-	-	-	-
T15AFŞ1000	V15AFŞ1150	K15AFŞ1150	P15AFŞ1150	85	-	-	-	15
T30AFŞ1000	V30AFŞ1150	K30AFŞ1150	P30AFŞ1150	70	-	-	-	30

Etüv de kurutulduktan sonra belirlenen kodlarla preslenen numunelerin ölçüm ve tartım işlemleri yapılarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.28 Deneysel çalışmalarda kullanılan bilyalı değirmen



Şekil 4.29 Deneysel çalışmalarda kullanılan kalıp

Hazırlanan numuneler Şekil 4.30 da gösterilen seramik fırın (C.Ü. Müh. Fak Metalurji ve Malz. Müh. Seramik Lab.'da Refsan Rs150) kullanılarak 800-1150 °C de pişirilmiştir. Pişirme işlemi normal atmosfer şartlarında 2 °C/dak. ısıtma hızında max sıcaklığa çıkıp 1 saat bekletilme ve fırın içerisinde normal soğutma yöntemiyle yapılmıştır. Belirlenen sıcaklıklarda sinterlenmiş numuneler Şekil 4.31 de, 1050 °C şeffaf sırla sırlanan numuneler Şekil 4.32'de gösterilmektedir.



Şekil 4.30 Deneysel çalışmalarda kullanılan fırın

TUĞLA	PORSELEN	VİTRİFİYE	KARO
 T30AFŞ900	 P30AFŞ1100	 V30 AFŞ1100	 K30AFŞ1100
 T15ÇAT900	 P15ÇAT1100	 V15ÇAT1100	 K15ÇAT1100
 T30ÇAY900	 P30ÇAY1100	 V30ÇAY1100	 K30ÇAY1100
 T30KAN900	 P30KAN1100	 V30KAN 1100	 K30KAN1100
 Temsili Tuğla 1000	 Temsili Porselen 1150	 Temsili Vitrikiye 1150	 Temsili Karo 115

Şekil 4.31 Sinterlenmiş numuneler



Şekil 4.32 Sırlanmış numuneler

4.3 Numunelere Uygulanan Test ve Deneyler

Sinterlenen numunelere belirlenmiş olan; fiziksel testler (kuruma, pişme ve toplu küçülme, ağırlık kaybı, porozite ve yoğunluk testleri, su emme testleri, mekanik testler (mukavemet testleri), ısı iletkenlik katsayısı belirleme testi, donma çözülme testi, renk analiz testleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Enerji yayımlı X-Işını Analizi (EDX) analizi, termogravimetrik ve diferansiyel termal analizleri (TG-DTA) yapılmıştır. Sinterlenen numuneler için ölçümler ve hesaplamalar 3 tekrarlı olarak yapılmış ve bunların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

4.3.1 Fiziksel test ve deneyler

4.3.1.1 Yoğunluk, porozite ve su emme testleri

Sinterleme işlemi tamamlandıktan sonra 110 °C de etüvde 24 saat kuruma işlemine tabi tutulan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilip, tartımları alınmıştır. Bir kap içerisine konan numunelerin hepsi su içinde kalacak şekilde, su ilave edilmiştir. 24 saat suda bekletilen numunelerin yüzeylerine kabaca kurulama yapıldıktan sonra yeniden tartım alınarak doygun ağırlıklarının ölçümü yapılmıştır. eşitlik 4.1’de belirtilen denklem ile su emme miktarı hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Su Emme miktarı } = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100 \quad [4.1]$$

W_1 : Kuru ağırlık (g)

W_2 : Su emdirilmiş ağırlık, (g)

Sinterlenmiş olan numunelerin Şekil 4.33 deki Archimed prensibine göre porozite ve yoğunluk hesaplamaları eşitlik 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.33 Archimed deney düzeneği

$$\text{Görünür Porozite} = [(W_3 - W_1) / (W_3 - W_2)] \times 100 \quad [4.2]$$

W_1 : Numunenin kuru ağırlığı (gr)

W_2 : 24 saat suya doymun haldeki suyun içindeki numunenin asılı ağırlığı (gr)

W_3 : Suya doymun hale getirilmiş numunenin havadaki ağırlığı (gr)

Malzemenin bulk yoğunluğu eşitlik 4.3. teki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{Bulk Yoğunluk} = [(W_1) / (W_3 - W_2)] \times 100 \quad [4.3]$$

W_1 : Numunenin kuru ağırlığı (gr)

W_2 : 24 saat suya doymun hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr)

W_3 : 24 saat suya doymun hale getirilmiş numunenin havadaki ağırlığı (gr)

4.3.1.2 Kuru, pişme ve toplam küçülme testleri:

Malzemelerin kuru, pişme ve toplam küçülme değerleri eşitlik 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ,4.9 ve 4.10 'da belirtilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru Küçülme (\% Ağ.)} = [(W_0 - W_k) / (W_0)] \times 100 \quad [4.4]$$

$$\text{Pişmiş Küçülme (\%Ağ.)} = [(W_k - W_p) / (W_k)] \times 100 \quad [4.5]$$

$$\text{Toplu küçülme (\%Ağ.)} = [(W_0 - W_p) / (W_0)] \times 100 \quad [4.6]$$

W_0 = Presleme işlemi sonrasındaki numune ağırlığı (gr)

W_k = Sinterleme işlemi sonrasındaki numune ağırlığı (gr)

W_p = Sinterleme işlemi sonrasındaki numune ağırlığı (gr)

$$\text{Kuru Küçülme (\% Boy)} = [(L_0 - L_k) / (L_0)] \times 100 \quad [4.7]$$

$$\text{Pişmiş Küçülme (\%Ağ.)} = [(L_0 - L_p) / (L_0)] \times 100 \quad [4.8]$$

$$\text{Toplu Küçülme (\%Ağ.)} = [(L_0 - L_p) / (L_0)] \times 100 \quad [4.9]$$

$$\text{Toplu Pişme Küçülmesi (\%)} = [(L_0 - L_p) / (L_0)] \times 100 \quad [4.10]$$

L_0 = Presleme işlemi sonrasındaki numune uzunluğu (cm)

L_k =Kurutma işlemi sonrasındaki numune uzunluğu (cm)

L_p = Sinterleme işlemi sonrasındaki numune uzunluğu(cm)

4.3.1.3 Renk analizi:

Numunelerin renk analizi, L (beyazlık değerini), +a (kırmızılık) +b (sarılık) ve -b (mavilik) değerlerinin ölçülmesi ile yapıldı. Sinterlenen numunelerin renk ölçümü Şekil 4.34' de gösterilen Minolta CR-300 X-Rite cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 4.34 Minolta CR-300 X-Rite renk analiz cihazı

4.3.2 Mukavemet testi

Numunelerin mukavemet testleri Cumhuriyet Üniversitesi, Müh. Fak. Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Seramik Laboratuvarında bulunan mekanik test cihazında yapılmıştır. 1 N yük hassasiyetli ve 5 KW gücündeki bu cihazla her bir numune için 3 'er adet ölçüm yapılmış ve ortalama mukavemet değerleri belirlenmiştir.



Şekil 4.35 Üç nokta eğme test cihazı

Pişmiş olan numunelerin mukavemeti TS EN ISO 10545-4 standardına uygun olarak üç noktalı eğme testi ile bulunmuştur. Makineye yerleştirilen numunelere artan yüklerle kırılıncaya kadar basınç uygulanmış ve eşitlik 4.11 deki denklem kullanılarak pişmiş mukavemeti belirlenmiştir.

$$\sigma = [(3xPxL)/(2xbxh^2)] \quad (N/mm^2) \quad [4.11]$$

P: Kırılma yükü (N)

L: Destekler arası uzaklık (mm)

b: Numunenin kırılan yüzeyinin eni (mm)

h: Numunenin kırılan yüzeyindeki yükseklik (mm)

4.3.3 Termal özellikler

4.3.3.1 Termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz (TG-DTA)

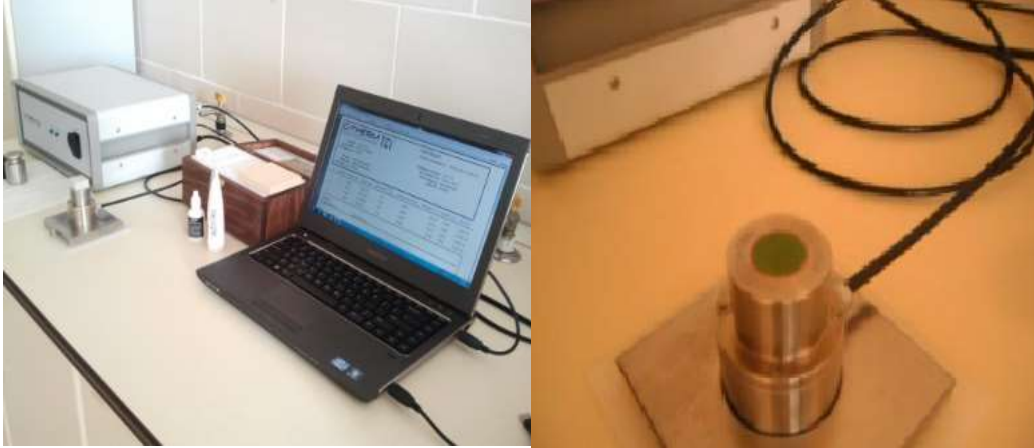
Numunelerin termogravimetrik ve diferansiyel termal analizleri Afyon Kocatepe Üniv. Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi' n de (TUAM) bulunan Şekil 4.36 görüldüğü gibi NETZSCH marka diferansiyel taramalı kalorimetri cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 4.36 Diferansiyel taramalı kalorimetri cihazı (NETZSCH).

4.3.3.2 Isı iletkenlik katsayısı belirleme testi

Üretilmiş olan tuğla numunelerinin ısı iletkenlik katsayılarının tespiti için Şekil 4.37 de gösterilen C-THERM / TCi Thermal Conductivity cihazı kullanılmıştır. Cihaz 3cm çapa sahip hassas sensörü ile sensör üzerine koyulan malzemenin termal iletkenlik sabiti (k) W/mK cinsinden belirlenmektedir.



Şekil 4.37 Isıl iletkenlik katsayısı belirleme cihazı (C-THERM / TCi Thermal Conductivity)

4.3.4 Donma çözülme testi

Bu test için belirlenen numuneler suya doymuş hale getirilip dondurucuya yerleştirilmiştir. Dondurucu sıcaklığı kontrol edilip -20 C° 'ye düşünce ortalama 2 saat -20 C° 'de bekletilmiştir. Numuneler dondurucudan alınıp $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki su içerisine (tamamı suyun altında kalacak şekilde) yerleştirilip en az 2 saat oda sıcaklığında suda bekletilip buzun çözülme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numuneler tekrardan dondurucuya yerleştirilip -20°C ye soğutulmuştur. Bu yöntemle donma ve çözülme işlemi 25 defa tekrarlanıp her defasında tuğla numunelerinde meydana gelmiş olan gözle görülür değişimler kaydedilmiştir.

4.3.5 X Işını difraksiyonu (XRD) analizi

X ışını difraksiyon analizinde belirlenen numunelerin (Tuğla numunesi için $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de pişirilen, diğer numuneler için ise $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de pişirilen % 30 uçucu kül katkılı numuneler) XRD analizleri Şekil 4.38 de gösterilen Rigaku D-max model cihaz ile yapılmıştır. Cu-K α radyasyonu kullanılan tüpün voltajı, analiz yapılırken 35 kV ve akımı 15 mA olarak belirlenmiştir. Numuneler $2^{\circ}\text{C}/\text{dak.}$ tarama hızında ve 0,025

tarama kademesinde $20-70^\circ$ (2θ) arasında taramaya tabi tutulmuştur. Değişik açı ve şiddetlerde meydana gelen piklere karşılık gelen düzlemler ve düzlemler arası uzaklık değeri söz konusu olan kristallere ait standart (J.C.P.D.S Joint Community for Powder Diffraction Standart) değerleri ile karşılaştırılması yapılarak mikro yapıdaki oluşan kristal fazların belirlenmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.38 Rigaku D-max XRD cihazı

4.3.6 SEM mikroyapı ve EDS analizi

Numunelerin mikroyapı görüntülerinin alınabilmesi için numuneler, numune hazırlama işlemlerinden geçirilmiştir. Uygun boyutlarda numuneler hazırlanmış zımparalama işlemine tabi tutulmuş, daha sonra numunelerin yüzey iletkenliklerini sağlamak için Şekil 4.39 da gösterilen Quorum Q150R ES Sputter Coater (Au-Pd) marka kaplama cihazı ile numune yüzeylerinin altın ile kaplanması sağlanmıştır. Numunelerin SEM ile mikroyapı incelemesi ve EDS analizi Şekil 4.40 daki Mira3XMU FE-SEM (Tescan®, Çek Cumhuriyeti) marka cihaz ile yapılmıştır.



Şekil 4.39 Quorum Q150R ES Sputter Coater (Au-Pd) marka kaplama cihazı



Şekil 4.40 Taramalı elektron mikroskobu cihazı (Mira3XMU FE-SEM (Tescan®, Çek Cumhuriyeti))

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Su Emme, Porozite ve Yoğunluk Testleri Sonuçları

Belirlenen Uçucu kül katkı oranlarında ve pişme sıcaklıklarında hazırlanan numunelerin; ağırlıkça su emme, porozite, görünür yoğunluk ve bulk yoğunluk değerleri çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Tuğla numunelerine ait su emme, porozite ve yoğunluk testleri

Numune	Su Emme (%)	Porozite (%)	Görünür Yoğ. (gr/cm ³)	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)
T00ÇAT800	16.520	30.310	2.633	1.835
T15ÇAT800	15.277	25.721	2.304	1.703
T30ÇAT800	19.209	29.224	2.150	1.521
T00ÇAY800	16.520	30.310	2.633	1.835
T15ÇAY800	19.353	32.606	2.500	1.685
T30ÇAY800	22.620	35.879	2.474	1.586
T00KAN800	16.520	30.310	2.633	1.835
T15KAN800	29.882	43.349	2.561	1.451
T30KAN800	37.264	48.864	2.564	1.311
T00AFŞ800	16.520	30.310	2.633	1.835
T15AFŞ800	32.645	45.670	2.575	1.399
T30AFŞ800	39.349	50.404	2.583	1.281
T00ÇAT900	16.536	30.219	2.619	1.827
T15ÇAT900	18.768	30.981	2.392	1.651
T30ÇAT900	18.747	28.723	2.150	1.532
T00ÇAY900	16.536	30.219	2.619	1.827
T15ÇAY900	19.347	32.759	2.518	1.693
T30ÇAY900	21.394	34.723	2.486	1.623
T00KAN900	16.536	30.219	2.619	1.827
T15KAN900	27.938	41.758	2.566	1.495
T30KAN900	32.403	48.132	2.561	1.486
T00AFŞ900	16.536	30.219	2.619	1.827
T15AFŞ900	28.985	42.650	2.566	1.471
T30AFŞ900	32.91	45.65	2.55	1.39
T00ÇAT1000	15.93	28.95	2.56	1.82
T15ÇAT1000	18.48	30.35	2.36	1.64
T30ÇAT1000	18.94	28.62	2.12	1.51
T00ÇAY1000	15.93	28.95	2.56	1.82
T15ÇAY1000	18.83	31.82	2.48	1.69
T30ÇAY1000	21.64	34.37	2.42	1.59
T00KAN1000	15.93	28.95	2.56	1.82
T15KAN1000	27.08	40.60	2.52	1.50
T30KAN1000	32.23	44.83	2.51	1.39
T00AFŞ1000	15.93	28.95	2.56	1.82
T15AFŞ1000	28.86	42.23	2.55	1.46
T30AFŞ1000	31.90	44.89	2.54	1.41

Genellikle % katkı miktarı ve sıcaklık arttıkça, su emme ve porozite düşmekte, görünür yoğunluk ise artmaktadır. Uçucu kül ilavesi ile elde edilen tuğla örneklerinin hemen hemen hepsinde ağırlıkça su emme değerlerinin uçucu kül miktarı arttıkça arttığı görülmüştür. 800°C de pişirilen tuğla örneklerinde en fazla ağırlıkça su emme oranı (%30) Afşin Termik Santrali uçucu kül katkılı numunede, en az ağırlıkça su emme oranı (%15) Çatalağzı Termik Santrali uçucu kül katkılı numunede olduğu görülmüştür. 900°C' de pişirilen tuğla örneklerinde en fazla ağırlıkça su emme oranı (%30) Afşin Termik Santrali uçucu kül katkılı numune, en az ağırlıkça olan ise su emme oranı uçucu kül katkısız olan numune ve bunun ardından gelen en düşük su emme oranına sahip olan %30 Çatalağzı Termik Santrali uçucu kül katkılı numunedir. 1000 °C' de pişirilen tuğla örneklerinde en fazla ağırlıkça su emme oranı %30 Kangal Termik Santrali uçucu kül katkılı numune, en az ağırlıkça su emme oranı uçucu kül katkısız olan numune ve bunun ardından gelen en düşük su emme oranına %15 katkılı Çatalağzı Termik Santrali uçucu kül numunesidir. Tuğla numunelerinin porozite değerleri incelendiğinde en düşük porozite 800 ° C de pişirilen % 15 Çatalağzı uçucu kül katkılı numune en yüksek porozite değerini ise 800 ° C de pişirilen %30 Afşin uçucu kül katkılı numunenin verdiği gözlenmiştir.

Görünür yoğunluk ise 800 ve 1000 °C' de pişirilen numunelerin uçucu kül ilavesi arttıkça görünür yoğunluğunun düştüğü görülmüştür.900 °C' de pişirilen numunelerde ise %30 kangal uçucu kül katkılı numunenin görünür yoğunluğu en yüksek çıkmıştır. 800-900-100 °C' de pişirilen tüm numunelerin uçucu kül oranı arttıkça katkısız numuneye göre bulk yoğunluğunun düştüğü görülmüştür.

Uçucu kül ilave edilerek elde edilen vitrifiye numunelerinin ağırlıkça su emme değerleri incelendiğinde, çoğunda uçucu kül katkılı numunelerin ağırlıkça su emme değeri, katkısız numunelerinkinden daha fazla çıkmıştır.

1100 °C ve 1150°C de pişirilen %15 ve %30 Çatalağzı Termik Santral uçucu kül katkılı örneklerin ağırlıkça su emme değerleri birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Örneklerdeki en düşük su emme değeri 1150 ° C de pişirilen % 15 Çatalağzı uçucu kül katkılı numune, en yüksek su emme değerini ise 1100 °C de pişirilen % 30 Kangal uçucu kül katkılı numunede olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.2 Vitrikiye numunelerine ait su emme, porozite ve yoğunluk testleri

Numune	Ağırlıkça Su Emme (%)	Porozite (%)	Görünür Yoğ. (gr/cm ³)	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)
V00ÇAT1050	14.674	26.480	2.454	1.805
V15ÇAT1050	24.427	34.936	2.342	1.520
V30ÇAT1050	17.481	27.798	2.203	1.589
V00ÇAY1050	14.674	26.480	2.454	1.805
V15ÇAY1050	19.816	32.126	2.393	1.623
V30ÇAY1050	23.975	36.700	2.424	1.533
V00KAN1050	14.674	26.480	2.454	1.805
V15KAN1050	32.063	43.930	2.444	1.370
V30KAN1050	35.017	45.348	2.370	1.295
V00AFŞ1050	14.674	26.480	2.454	1.805
V15AFŞ1050	27.596	40.551	2.472	1.469
V30AFŞ1050	30.380	42.667	2.450	1.404
V00ÇAT1100	11.555	22.171	2.465	1.919
V15ÇAT1100	13.311	23.610	2.323	1.772
V30ÇAT1100	13.535	23.718	2.297	1.752
V00ÇAY1100	11.555	22.171	2.465	1.919
V15ÇAY1100	17.883	29.973	2.394	1.676
V30ÇAY1100	23.501	36.183	2.420	1.543
V00KAN1100	11.555	22.171	1.919	2.465
V15KAN1100	28.240	40.332	1.428	2.394
V30KAN1100	35.316	45.384	1.285	2.353
V00AFŞ1100	11.555	22.171	2.465	1.919
V15AFŞ1100	27.292	40.175	2.461	1.472
V30AFŞ1100	30.609	42.982	2.463	1.404
V00ÇAT1150	6.197	13.147	2.443	2.122
V15ÇAT1150	5.151	10.800	2.352	2.098
V30ÇAT1150	5.771	11.505	2.253	1.994
V00ÇAY1150	6.197	13.147	2.443	2.122
V15ÇAY1150	9.143	17.844	2.375	1.951
V30ÇAY1150	14.717	25.468	2.323	1.731
V00KAN1150	6.197	13.147	2.443	2.122
V15KAN1150	25.173	37.202	2.355	1.479
V30KAN1150	31.014	41.290	2.268	1.331
V00AFŞ1150	6.197	13.147	2.443	2.122
V15AFŞ1150	24.482	36.897	2.389	1.507
V30AFŞ1150	25.352	37.419	2.359	1.476

Görünür yoğunluk incelendiğinde uçucu kül ilavesi arttıkça görünür yoğunluğunun düştüğü görülmüştür. 1000-1100-1150 °C de pişirilen tüm numunelerin uçucu kül oranı arttıkça katkısız numuneye göre bulk yoğunluğunun düştüğü görülmüştür.

Çizelge 5.3 Karo numunelerine ait su Emme, porozite ve yoğunluk testleri

Numune	Ağırlıkça Su Emme (%)	Porozite (%)	Görünür Yoğ. (gr/cm ³)	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)
K00ÇAT1050	13.986	26.331	2.571	1.894
K15ÇAT1050	15.785	27.998	2.464	1.774
K30ÇAT1050	17.673	29.722	2.395	1.683
K00ÇAY1050	13.986	26.331	2.571	1.894
K15ÇAY1050	19.322	33.255	2.579	1.721
K30ÇAY1050	20.930	34.310	2.497	1.638
K00KAN1050	13.986	26.331	2.571	1.894
K15KAN1050	24.398	38.571	2.575	1.582
K30KAN1050	27.326	41.260	2.571	1.510
K00AFŞ1050	13.986	26.331	2.571	1.894
K15AFŞ1050	22.018	36.292	2.590	1.650
K30AFŞ1050	24.658	39.180	2.613	1.589
K00ÇAT1100	3.530	7.885	2.434	2.242
K15ÇAT1100	3.350	7.331	2.364	2.191
K30ÇAT1100	4.955	10.310	2.322	2.083
K00ÇAY1100	3.530	7.885	2.434	2.242
K15ÇAY1100	8.189	16.696	2.448	2.039
K30ÇAY1100	13.640	25.061	2.454	1.839
K00KAN1100	3.530	7.885	2.434	2.242
K15KAN1100	16.241	28.593	2.471	1.764
K30KAN1100	19.811	32.971	2.483	1.664
K00AFŞ1100	3.530	7.885	2.434	2.242
K15AFŞ1100	15.524	27.857	2.487	1.794
K30AFŞ1100	21.203	34.960	2.536	1.649
K00ÇAT1150	0.299	0.664	2.252	2.238
K15ÇAT1150	0.440	0.929	2.130	2.111
K30ÇAT1150	0.402	0.854	2.147	2.129
K00ÇAY1150	0.299	0.664	2.252	2.238
K15ÇAY1150	0.263	0.515	1.968	1.958
K30ÇAY1150	0.252	1.894	1.541	1.512
K00KAN1150	0.299	0.664	2.252	2.238
K15KAN1150	0.523	1.105	2.136	2.113
K30KAN1150	0.339	0.677	2.020	2.006
K00AFŞ1150	0.299	0.664	2.252	2.238
K15AFŞ1150	0.615	1.289	2.125	2.098
K30AFŞ1150	0.248	0.523	2.124	2.113

Uçucu kül ilave edilerek elde edilen karo numunelerinin ağırlıkça su emme değerleri incelendiğinde, uçucu kül ilavesi arttıkça ağırlıkça su emme değeri de artmıştır. 1150 °C de Pişirilen % 15 ve % 30 Çayırhan uçucu kül ilaveli numunelerin görünür yoğunluk değerleri diğerlerine göre düşük çıkmıştır. 1000-1100-1150 °C’ de pişirilen tüm numunelerin uçucu kül oranı arttıkça katkısız numuneye göre bulk yoğunluğunun düştüğü görülmüştür.

Çizelge 5.4 Porselen numunelerine ait Su Emme, porozite ve yoğunluk testleri

Numune	Ağırlıkça Su Emme (%)	Porozite (%)	Görünür Yoğ. (gr/cm ³)	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)
P00ÇAT1050	14.284	27.260	2.626	1.910
P15ÇAT1050	15.681	28.441	2.535	1.814
P30ÇAT1050	15.876	30.226	2.748	1.909
P00ÇAY1050	14.284	27.260	2.626	1.910
P15ÇAY1050	15.670	28.867	2.594	1.845
P30ÇAY1050	17.440	31.128	2.592	1.785
P00KAN1050	14.284	27.260	2.626	1.910
P15KAN1050	19.649	33.739	2.593	1.718
P30KAN1050	24.728	39.009	2.589	1.579
P00AFŞ1050	14.284	27.260	2.626	1.910
P15AFŞ1050	18.897	33.068	2.615	1.750
P30AFŞ1050	22.905	37.502	2.624	1.640
P00ÇAT1100	8.811	18.398	2.559	2.088
P15ÇAT1100	7.515	15.665	2.472	2.085
P30ÇAT1100	8.150	16.515	2.427	2.026
P00ÇAY1100	8.811	18.398	2.559	2.088
P15ÇAY1100	11.966	22.891	2.512	1.936
P30ÇAY1100	14.810	27.010	2.500	1.825
P00KAN1100	8.811	18.398	2.559	2.088
P15KAN1100	18.353	31.888	2.552	1.738
P30KAN1100	22.129	36.097	2.553	1.632
P00AFŞ1100	8.811	18.398	2.559	2.088
P15AFŞ1100	16.196	29.276	2.556	1.808
P30AFŞ1100	19.638	33.470	2.573	1.712
P00ÇAT1150	3.213	7.274	2.451	2.273
P15ÇAT1150	1.829	4.197	2.396	2.295
P30ÇAT1150	1.034	2.366	2.345	2.289
P00ÇAY1150	3.213	7.274	2.451	2.273
P15ÇAY1150	1.660	3.683	2.304	2.219
P30ÇAY1150	2.391	4.948	2.190	2.082
P00KAN1150	3.213	7.274	2.451	2.273
P15KAN1150	10.443	19.515	2.325	1.871
P30KAN1150	15.037	25.902	2.326	1.724
P00AFŞ1150	3.213	7.274	2.451	2.273
P15AFŞ1150	11.658	21.594	2.363	1.853
P30AFŞ1150	16.466	28.238	2.393	1.717

Uçucu kül ilave edilerek elde edilen porselen numunelerinin ağırlıkça su emme değerleri incelendiğinde, 1050 C ve 1100⁰ C de uçucu kül ilavesi arttıkça ağırlıkça su emme değeri de artmıştır. 1150⁰ C de ise değişiklik göstermiştir.

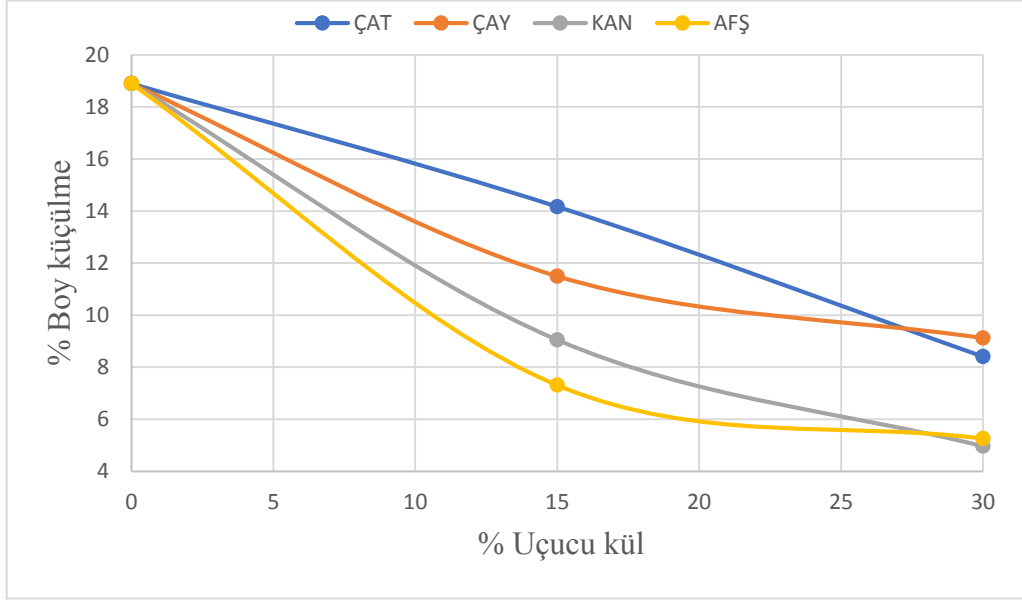
5.2 Toplam Küçülme Testleri Sonuçları

Yapılan ürünlerin belirlenen sıcaklıklarda ve kompozisyonlardaki boyca ve ağırlıkça küçülme testlerinin sonuçları aşağıda verilmektedir. Sıcaklık değişimlerine ve farklı oranlarda eklenen uçucu kül miktarlarına göre boyca küçülme ve ağırlıkça küçülme değerleri tuğla numuneleri için Çizelge 5.5’ te gösterilmiştir. Ayrıca, Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’ da boyca ve ağırlıkça küçülmeleri ile meydana gelen değişimlerin grafiği gösterilmiştir.

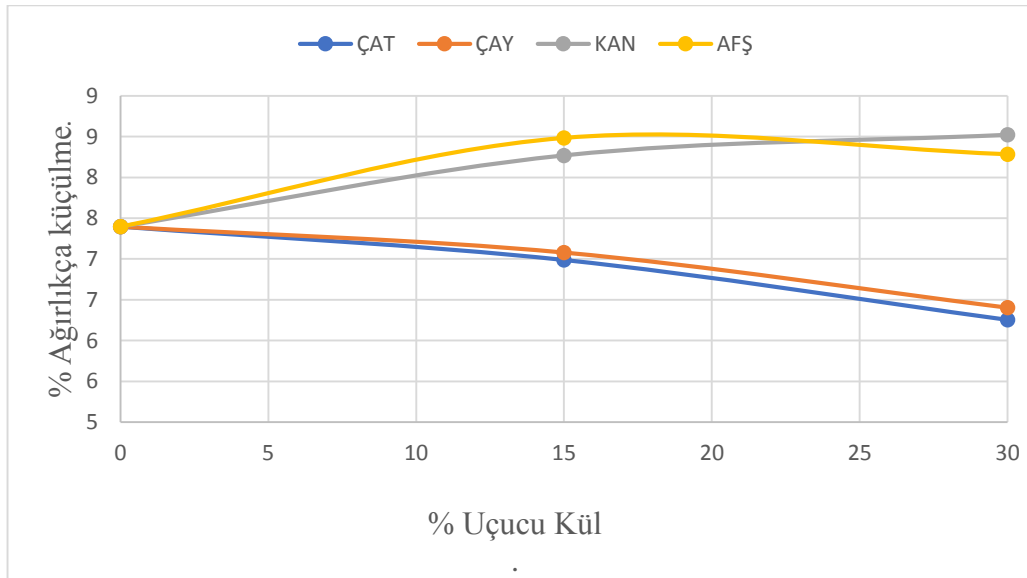
Çizelge 5.5 Tuğla numunelerine ait toplam küçülme değerleri

Numune	% Boy Küçülme	% Ağ. Küçülme
T00ÇAT800	18.90	7.39
T15ÇAT800	14.17	6.98
T30ÇAT800	8.40	6.25
T00ÇAY800	18.90	7.39
T15ÇAY800	11.50	7.08
T30ÇAY800	9.12	6.40
T00KAN800	18.9	7.39
T15KAN800	9.05	8.27
T30KAN800	4.96	8.52
T00AFŞ800	18.90	7.39
T15AFŞ800	7.31	8.48
T30AFŞ800	5.25	8.28
T00ÇAT900	18.80	10.09
T15ÇAT900	15.29	9.23
T30ÇAT900	8.535	8.05
T00ÇAY900	18.80	10.09
T15ÇAY900	11.90	9.43
T30ÇAY900	10.11	8.14
T00KAN900	18.88	10.09
T15KAN900	10.37	10.60
T30KAN900	7.92	10.48
T00AFŞ900	18.88	10.09
T15AFŞ900	10.16	10.20
T30AFŞ900	7.47	9.54
T00ÇAT1000	19.43	13.12
T15ÇAT1000	10.26	10.70
T30ÇAT1000	8.46	8.209
T00ÇAY1000	19.43	13.12
T15ÇAY1000	11.27	9.26
T30ÇAY1000	9.97	8.19
T00KAN1000	19.43	13.12
T15KAN1000	10.26	10.70
T30KAN1000	7.83	10.65
T00AFŞ1000	19.43	13.12
T15AFŞ1000	9.88	10.35
T30AFŞ1000	7.20	9.705

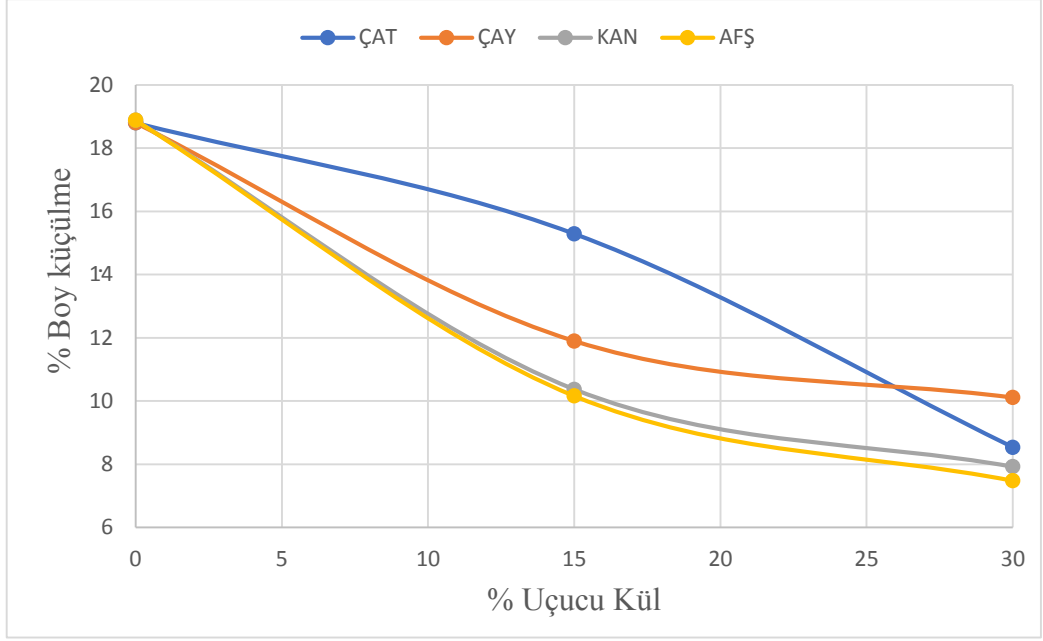
Elde edilen sonuçlarda, uçucu kül katkıli tüm tuğla numunelerinde uçucu kül miktarı arttıkça boyca küçülme azalmıştır. % 30 Afşin Termik Santrali uçucu külü katkıli numunenin boyca küçülme değeri en düşük çıkmıştır. En fazla ağırlıkça küçülme 1000⁰ C de pişirilen uçucu kül katkısız numunede görülmüş, en az ağırlıkça küçülme de 800⁰ C de pişirilen %30 çatalağzı uçucu kül katkıli numunede görülmüştür.



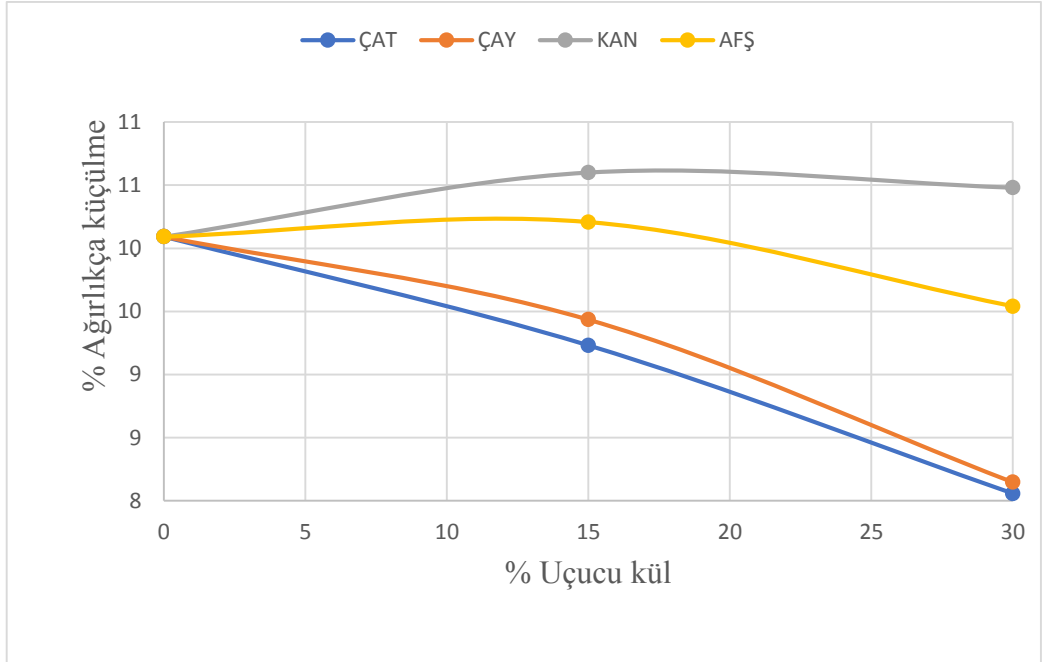
Şekil 5.1 800 °C de pişirilen tuğla numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



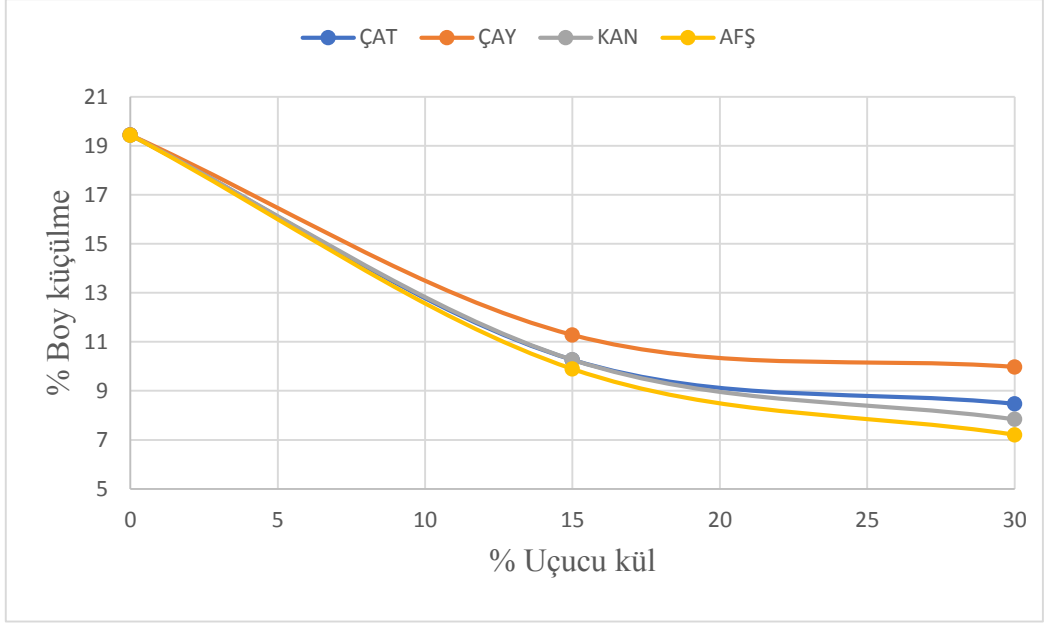
Şekil 5.2 800 °C de pişirilen tuğla numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği



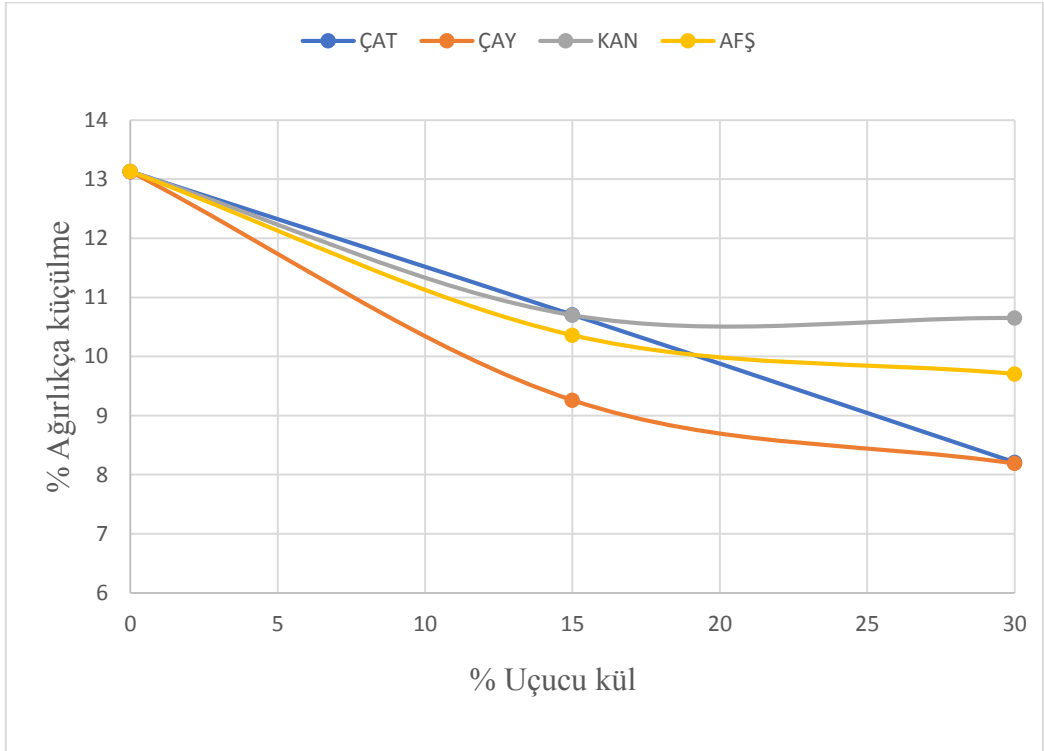
Şekil 5.3 900 °C de pişirilen tuğla numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



Şekil 5.4 900 °C de pişirilen tuğla numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği



Şekil 5.5 1000 °C de pişirilen tuğla numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



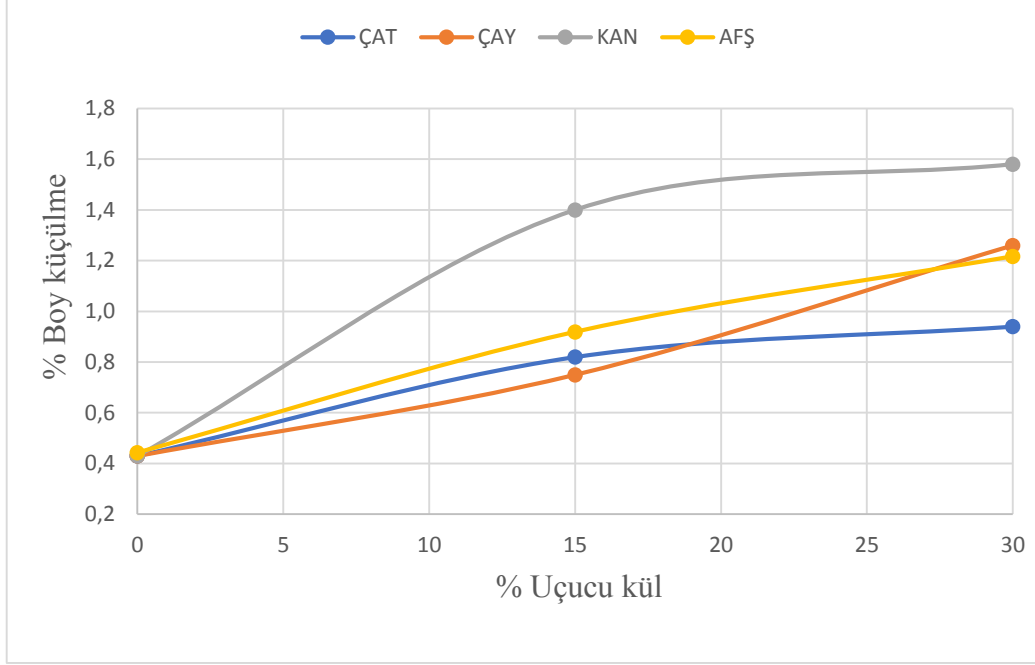
Şekil 5.6 1000 °C de pişirilen tuğla numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği

Çizelge 5.6 Vitrikiye numunelerine ait toplam küçülme değerleri

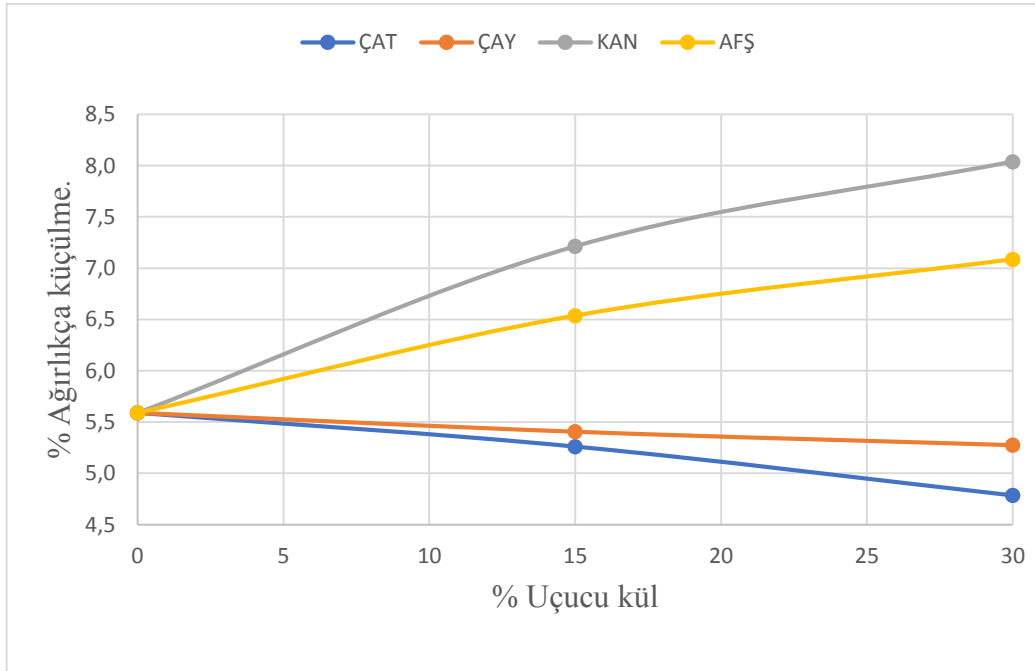
Numune	% Boy Küçülme	% Ağ. Küçülme
V00ÇAT1050	0.43	5.59
V15ÇAT1050	0.82	5.26
V30ÇAT1050	0.94	4.78
V00ÇAY1050	0.43	5.59
V15ÇAY1050	0.75	5.40
V30ÇAY1050	1.26	5.27
V00KAN1050	0.43	5.59
V15KAN1050	1.40	7.21
V30KAN1050	1.58	8.03
V00AFŞ1050	0.44	5.59
V15AFŞ1050	0.91	6.53
V30AFŞ1050	1.21	7.08
V00ÇAT1100	2.31	5.69
V15ÇAT1100	2.96	5.45
V30ÇAT1100	3.07	4.96
V00ÇAY1100	2.31	5.69
V15ÇAY1100	2.39	5.72
V30ÇAY1100	1.57	5.70
V00KAN1100	2.31	5.69
V15KAN1100	1.58	7.81
V30KAN1100	1.63	9.20
V00AFŞ1100	2.36	5.69
V15AFŞ1100	1.04	7.37
V30AFŞ1100	1.23	8.26
V00ÇAT1150	5.62	5.69
V15ÇAT1150	7.04	5.27
V30ÇAT1150	7.75	4.80
V00ÇAY1150	5.65	5.64
V15ÇAY1150	6.21	5.65
V30ÇAY1150	4.78	5.63
V00KAN1150	5.65	5.64
V15KAN1150	3.09	8.16
V30KAN1150	2.938	10.13
V00AFŞ1150	5.615	5.64
V15AFŞ1150	1.632	7.92
V30AFŞ1150	3.015	9.59

Farklı oranlarda ve sıcaklıkta uçucu kül eklenerek sinterleme sonucu elde edilen vitrikiye numunelerin boyca küçülme değerleri incelendiğinde 1150°C’ de pişirilen uçucu kül katkısız numunelerde belirgin oranlarda artış görülmüştür. En fazla ağırlıkça küçülme 1150 °C de pişirilen uçucu %30 Kangal uçucu kül katkılı numunede görülmüş, en az ağırlıkça küçülmede 1050 °C’de pişirilen %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı numunede görülmüştür. Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’ de

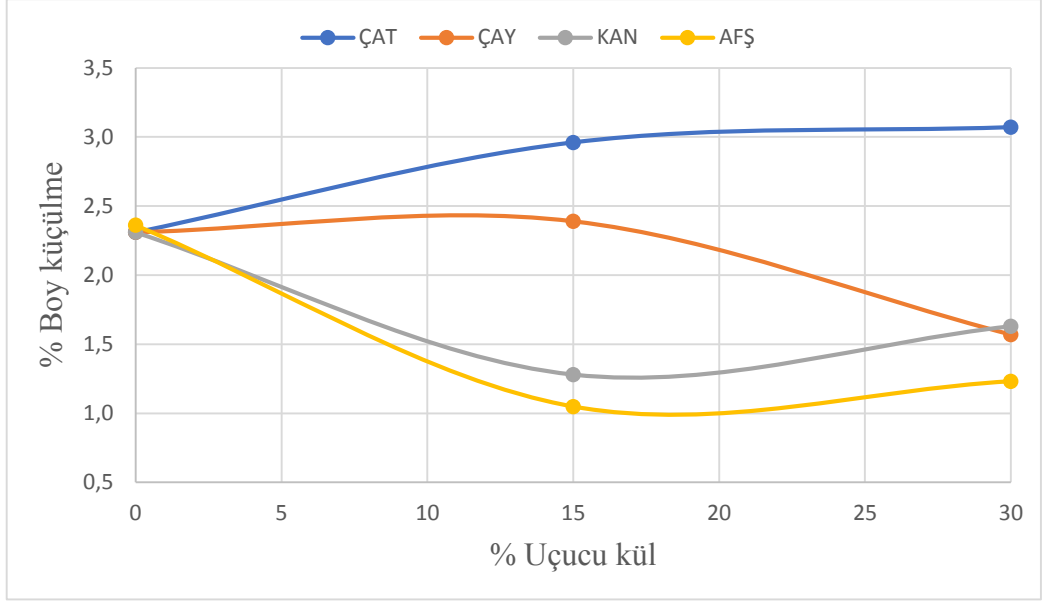
vitrikiye numunelerinin boyca ve ağırlıkça küçülmeleri ile meydana gelen değişimlerin grafiği gösterilmiştir



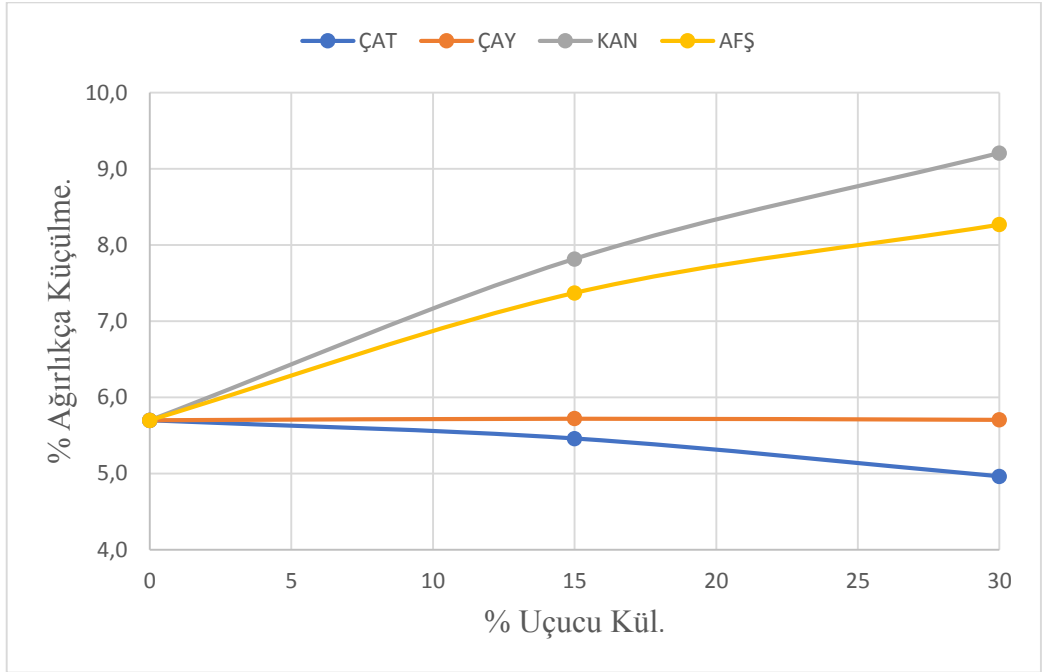
Şekil 5.7 1050 °C de pişirilen vitrikiye numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



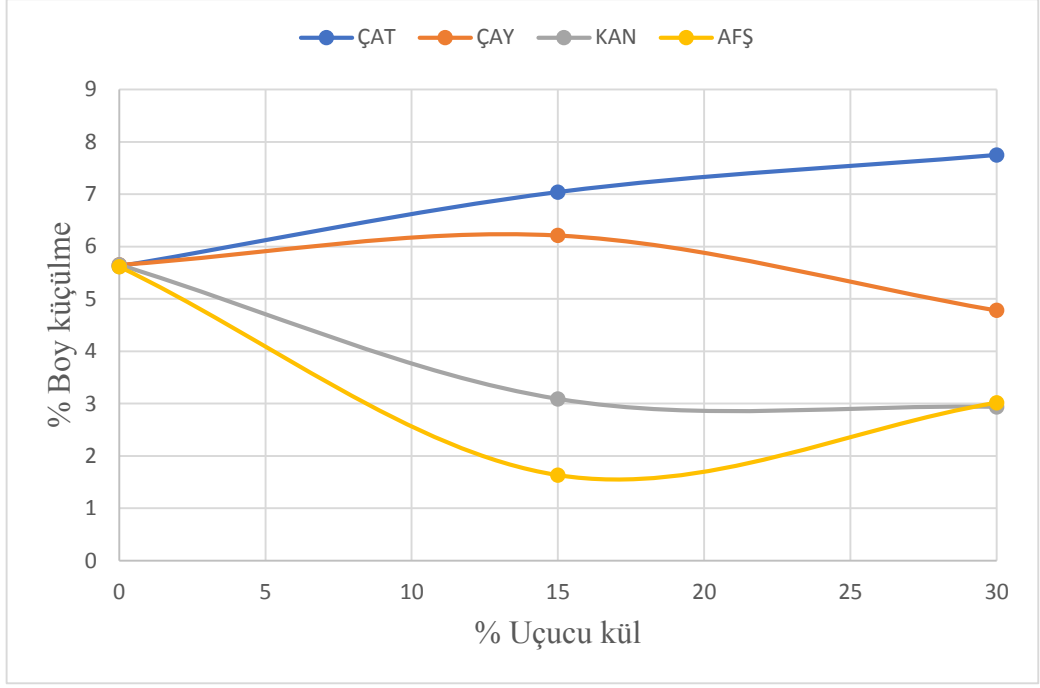
Şekil 5.8 1050 °C de pişirilen vitrikiye numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği



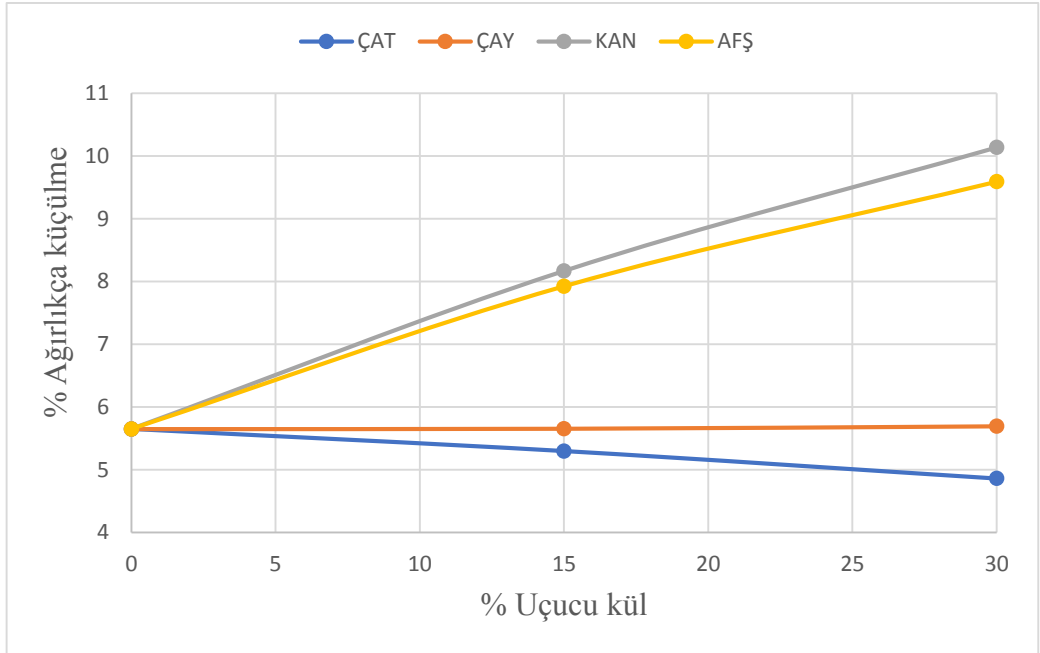
Şekil 5.9 1100 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



Şekil 5.10 1100 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği



Şekil 5.11 1150 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



Şekil 5.12 1150 °C de pişirilen vitrifiye numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği

Çizelge 5.7 Karo numunelerine ait toplam küçülme değerleri

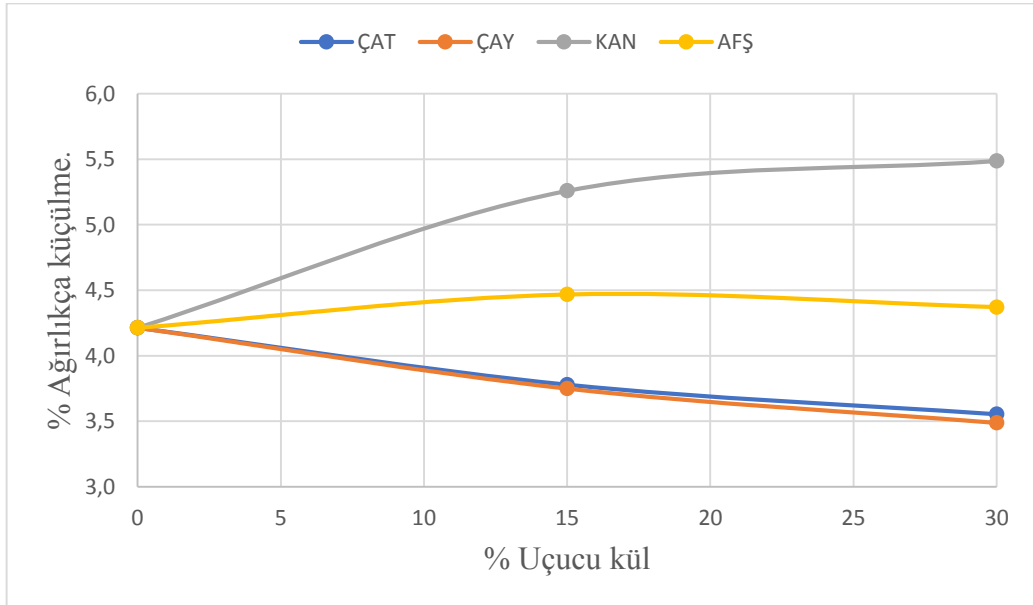
Numune	% Boy Küçülme	% Ağ.Küçülme
K00ÇAT1050	3.54	4.21
K15ÇAT1050	3.95	3.78
K30ÇAT1050	3.87	3.55
K00ÇAY1050	3.54	4.21
K15ÇAY1050	2.41	3.75
K30ÇAY1050	1.32	3.48
K00KAN1050	3.54	4.21
K15KAN1050	1.09	5.25
K30KAN1050	0.58	5.48
K00AFŞ1050	3.54	4.21
K15AFŞ1050	1.13	4.46
K30AFŞ1050	0.33	4.37
K00ÇAT1100	9.72	4.19
K15ÇAT1100	10.24	3.77
K30ÇAT1100	10.18	3.48
K00ÇAY1100	9.72	4.19
K15ÇAY1100	6.83	3.93
K30ÇAY1100	4.47	3.75
K00KAN1100	9.72	4.19
K15KAN1100	4.24	5.59
K30KAN1100	2.72	6.96
K00AFŞ1100	9.72	4.19
K15AFŞ1100	3.12	5.09
K30AFŞ1100	1.58	5.47
K00ÇAT1150	8.79	4.14
K15ÇAT1150	10.3	3.75
K30ÇAT1150	10.0	3.50
K00ÇAY1150	8.78	4.14
K15ÇAY1150	8.05	3.98
K30ÇAY1150	4.93	4.14
K00KAN1150	8.78	4.14
K15KAN1150	8.88	6.22
K30KAN1150	6.77	7.84
K00AFŞ1150	8.78	4.14
K15AFŞ1150	8.01	6.02
K30AFŞ1150	5.66	6.65

Karo numunelerin boyca küçülme değerleri incelendiğinde 1150 ° C de pişirilen numunelerde boyca küçülme değerinin arttığı görülmüştür. En fazla ağırlıkça küçülme 1150 ° C de pişirilen uçucu %30 Kangal uçucu kül katkılı numunede görülmüş, en az ağırlıkça küçülmede 1100 ° C de pişirilen %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı numunede görülmüştür. Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve 5.18' de karo

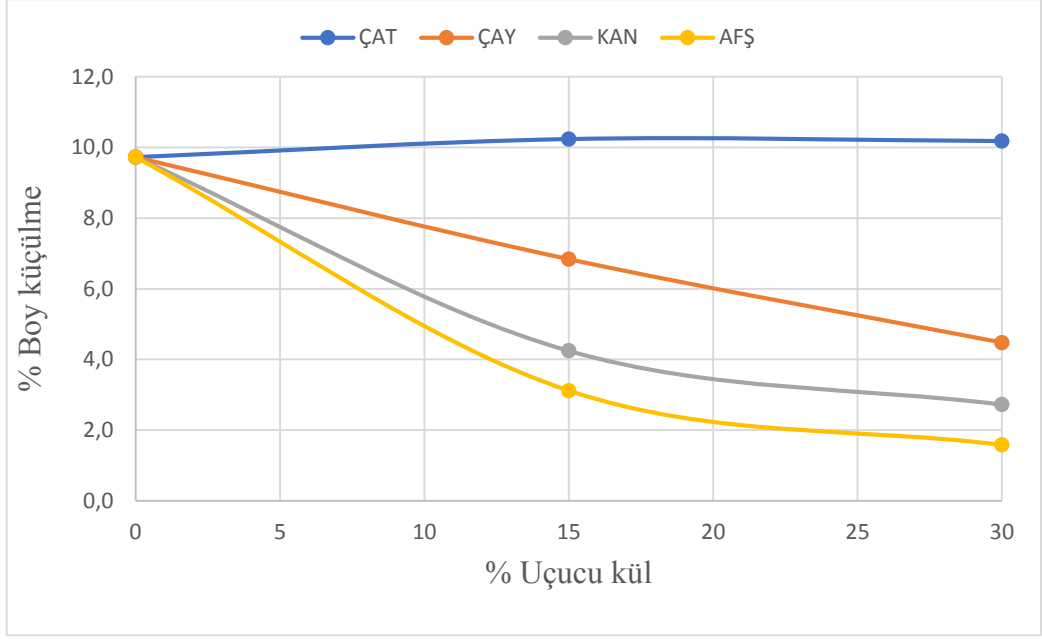
numunelerinin boyca ve ağırlıkça küçülmeleri ile meydana gelen değişimlerin grafiği gösterilmiştir.



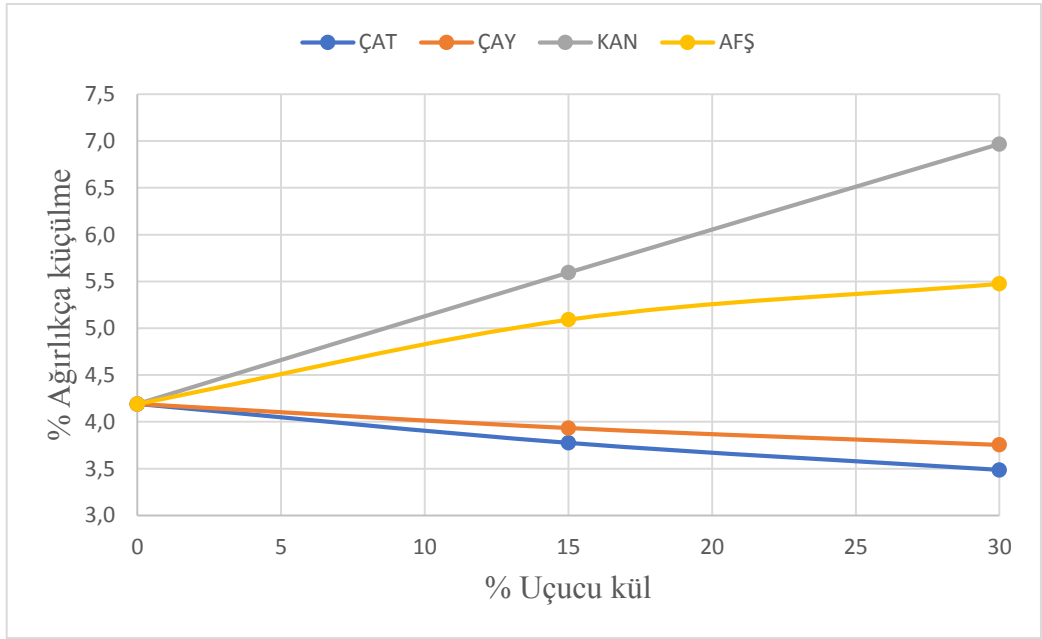
Şekil 5.13 1050 °C de pişirilen karo numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



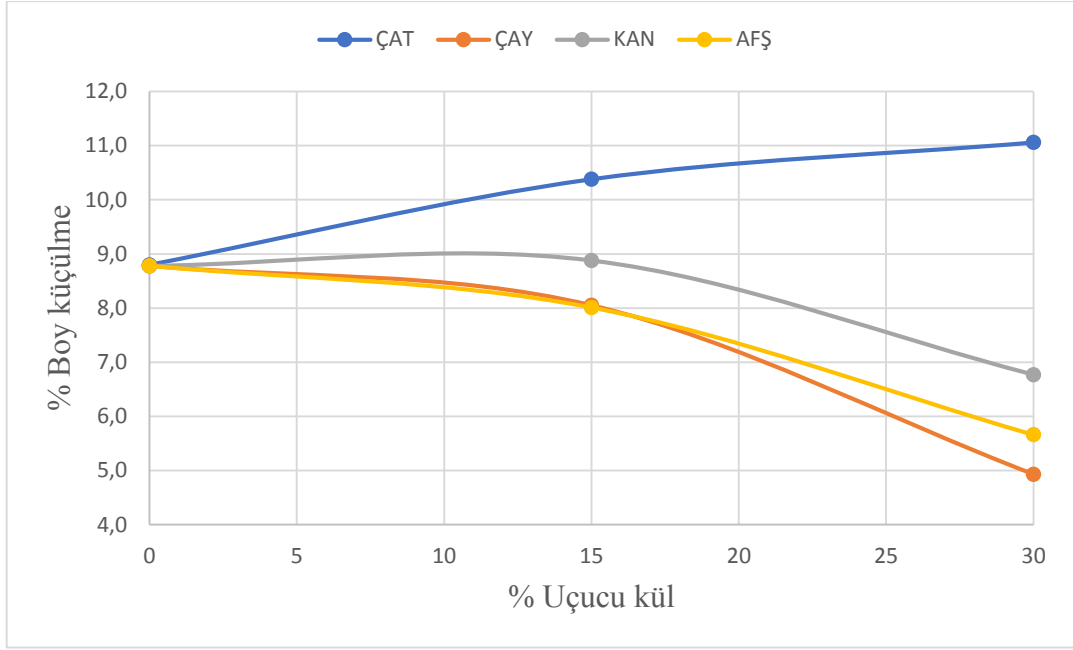
Şekil 5.14 1050 °C de pişirilen karo numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği



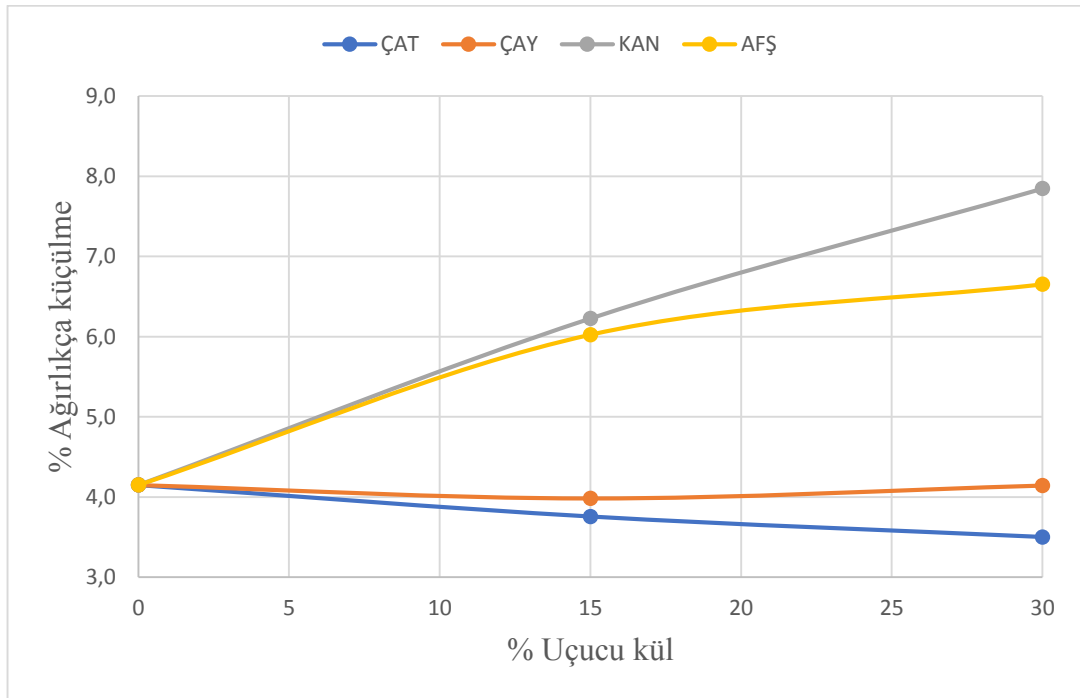
Şekil 5.15 1100⁰ C de pişirilen karo numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



Şekil 5.16 1100⁰ C de pişirilen karo numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği



Şekil 5.17 1100⁰ C de pişirilen karo numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



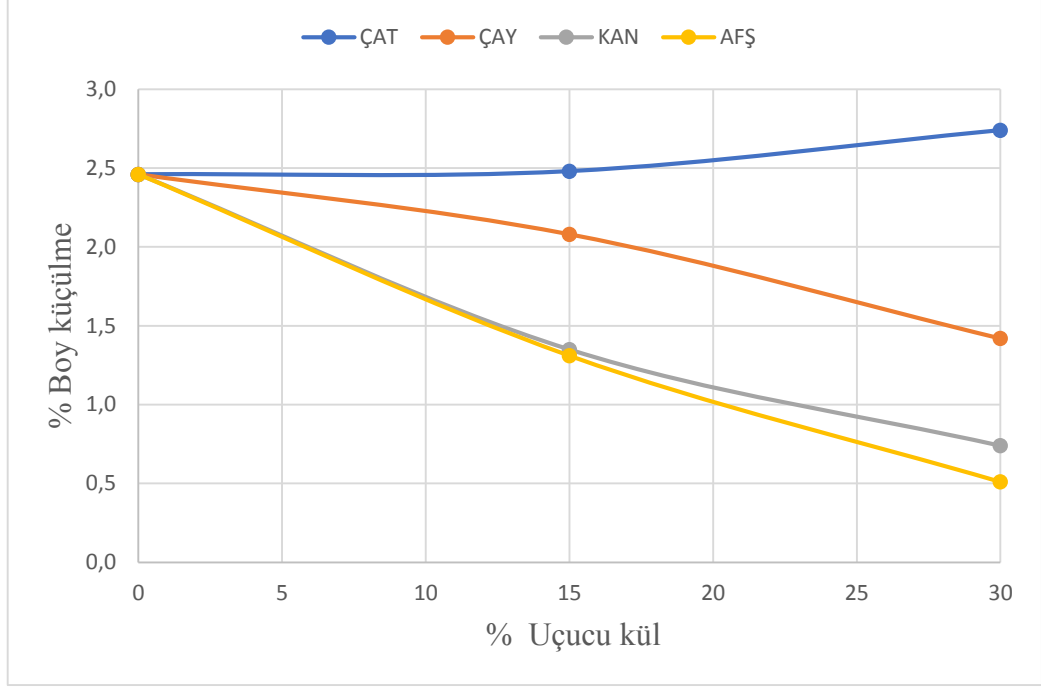
Şekil 5.18 1100⁰ C de pişirilen karo numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği

Çizelge 5.8 Porselen numunelerine ait toplam küçülme değerleri

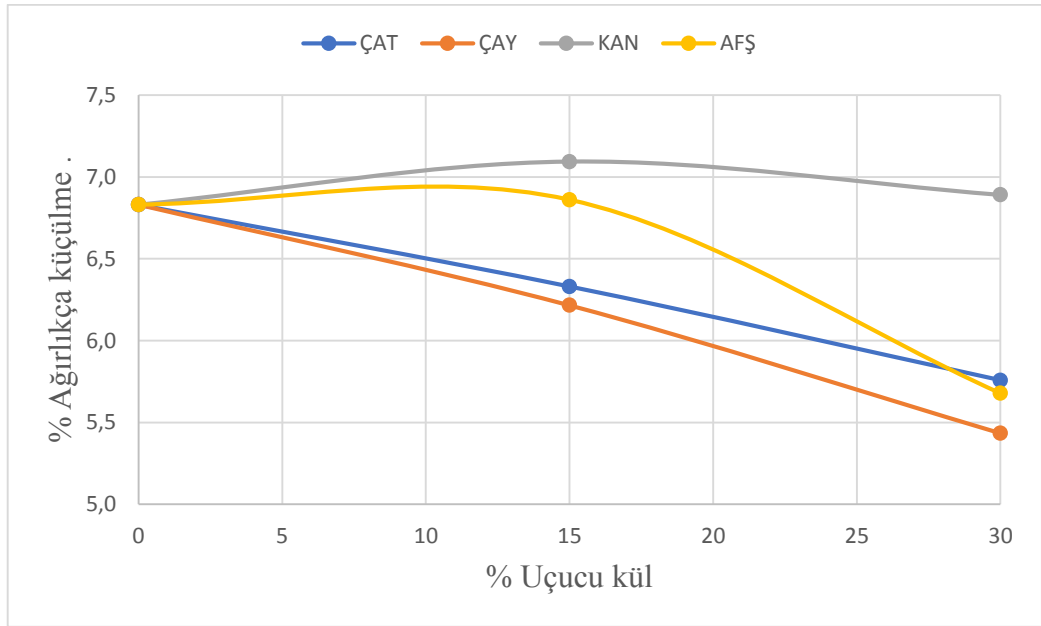
Numune	% Boy Küçülme	% Ağ. Küçülme
P00ÇAT1050	2.46	6.83
P15ÇAT1050	2.48	6.33
P30ÇAT1050	2.74	5.75
P00ÇAY1050	2.46	6.83
P15ÇAY1050	2.08	6.21
P30ÇAY1050	1.42	5.43
P00KAN1050	2.46	6.83
P15KAN1050	1.35	7.09
P30KAN1050	0.74	6.89
P00AFŞ1050	2.46	6.83
P15AFŞ1050	1.31	6.86
P30AFŞ1050	0.51	5.67
P00ÇAT1100	6.29	6.92
P15ÇAT1100	6.17	6.38
P30ÇAT1100	6.56	6.42
P00ÇAY1100	6.29	6.92
P15ÇAY1100	4.32	6.59
P30ÇAY1100	2.55	6.02
P00KAN1100	6.29	6.92
P15KAN1100	1.99	8.18
P30KAN1100	1.23	8.23
P00AFŞ1100	6.29	6.92
P15AFŞ1100	2.04	7.91
P30AFŞ1100	1.33	7.33
P00ÇAT1150	8.98	6.95
P15ÇAT1150	9.25	6.32
P30ÇAT1150	9.79	5.76
P00ÇAY1150	8.98	6.95
P15ÇAY1150	7.39	6.71
P30ÇAY1150	5.65	6.30
P00KAN1150	8.98	6.95
P15KAN1150	4.28	8.30
P30KAN1150	2.65	9.47
P00AFŞ1150	8.98	6.95
P15AFŞ1150	3.29	8.35
P30AFŞ1150	2.381	9.28

Porselen numunelerin boyca küçülme değerleri incelendiğinde 1150 ° C de pişirilen numunelerde boyca küçülme değeri artış göstermiştir. En fazla ağırlıkça küçülme 1150 C de pişirilen uçucu %30 Kangal uçucu kül katkılı numunede görülmüş, en az ağırlıkça küçülmede 1050 ° C de pişirilen %30 Çayırhan uçucu kül katkılı numunede görülmüştür. Şekil 5.19, Şekil 5.20, şekil 5.21, Şekil 5.22, şekil 5.23 ve Şekil 5.24' de porselen

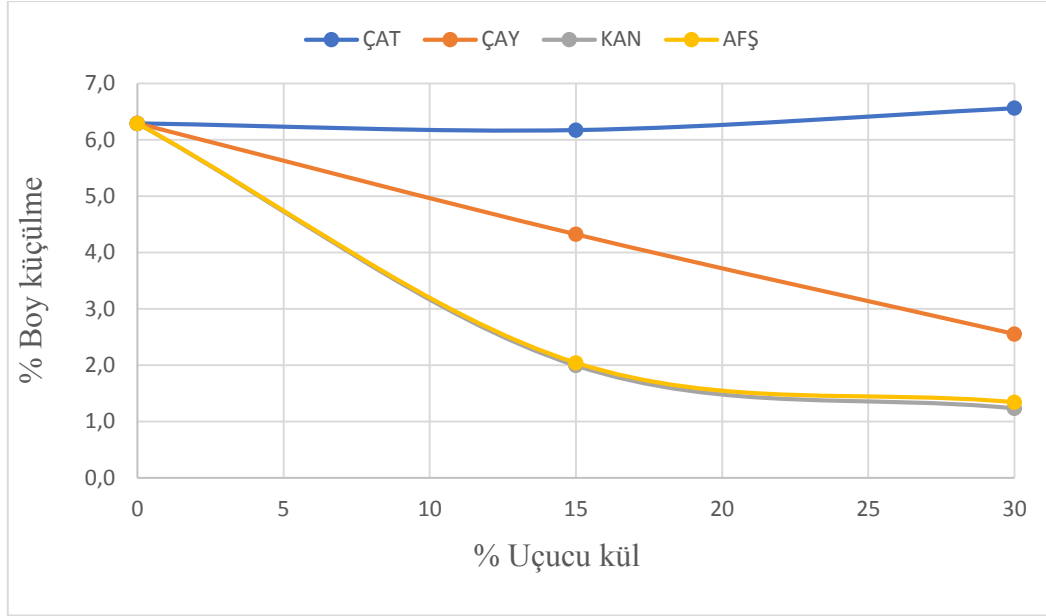
numunelerinin boyca ve ağırlıkça küçülmeleri ile meydana gelen değişimlerin grafiği gösterilmiştir.



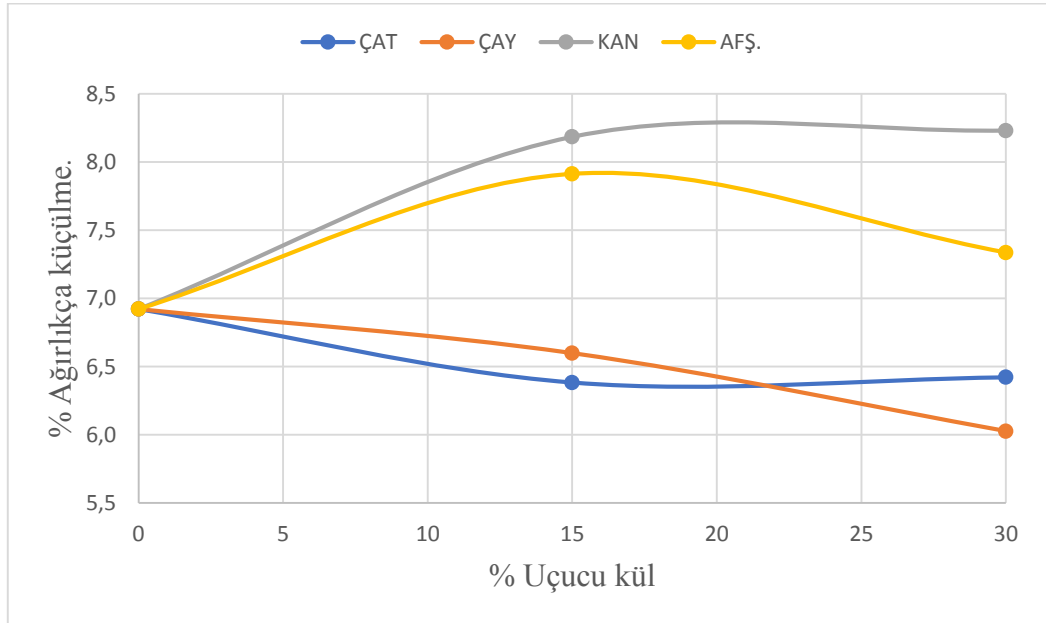
Şekil 5.19 1050⁰ C de pişirilen Porselen numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği.



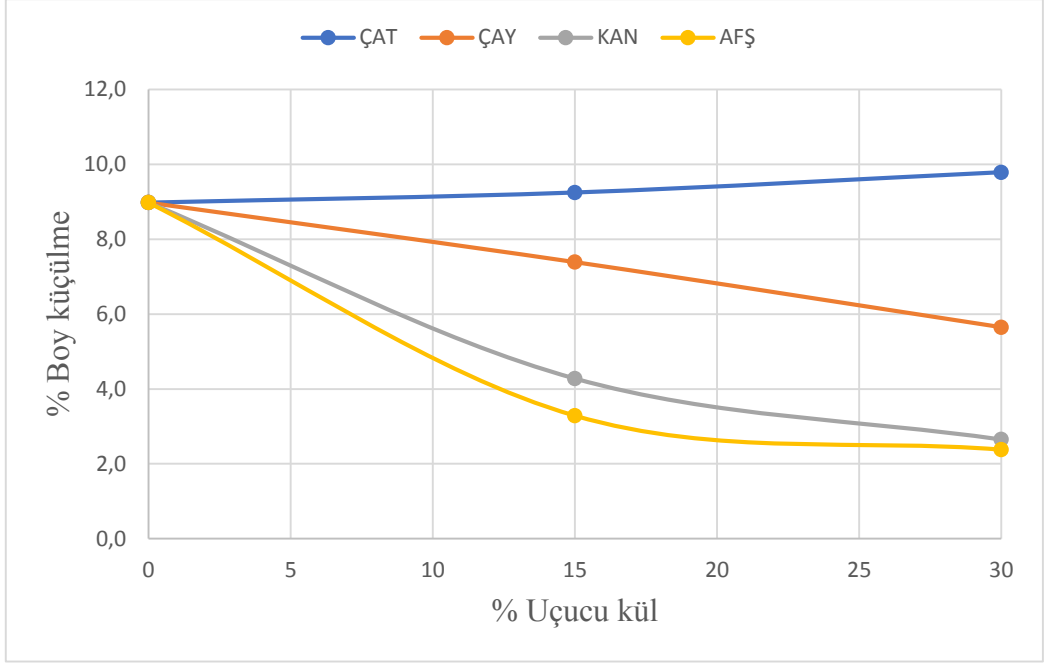
Şekil 5.20 1050⁰ C de pişirilen porselen numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği



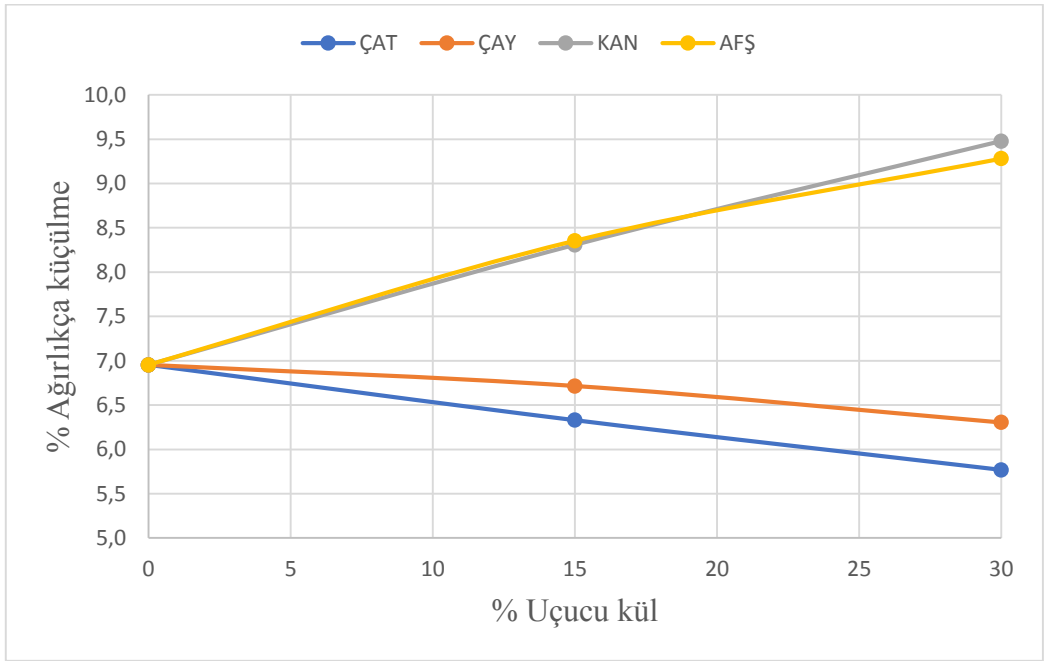
Şekil 5.21 1100⁰ C de pişirilen porselen numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



Şekil 5.22 1100⁰ C de pişirilen porselen numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği



Şekil 5.23 1150⁰ C de pişirilen porselen numunelerinin uçucu kül- boyca küçülme grafiği



Şekil 5.24 1150⁰ C de pişirilen porselen numunelerinin uçucu kül- ağırlıkça küçülme grafiği

5.3 Renk Analiz testleri Sonuçları

Renk ölçüm sonuçlarının incelenmesinde elde edilen L-beyazlık değerini, a-kırmızılık, b-sarılık değerini göstermektedir. Katkısız tuğla numunelerinde sıcaklık artması ile birlikte genellikle beyazlık değeri düşmüş, kırmızılık ve sarılık değeri artmıştır. Uçucu kül katkılı numunelerde beyazlık değeri en yüksek çıkan 800 °C de pişirilen %15 Çayırhan uçucu kül katkılı numunesi, kırmızılık değeri en yüksek çıkan uçucu kül katkısız 900 °C de pişirilen numunedir, buna en yakın uçucu katkılı numune ise 1000 °C de pişirilen %15 Çayırhan uçucu kül katkılı numunedir. Sarılık değeri en yüksek çıkan ise 800 °C de pişirilen %15 Afşin uçucu kül katkılı numunedir.

Çizelge 5.9 Tuğla numunelerine ait renk analizi sonuçları

Numune	L	a	b
T00ÇAT800	57.86	13.11	18.66
T15ÇAT800	57.62	12.27	16.33
T30ÇAT800	57.68	13.75	21.03
T00ÇAY800	57.86	13.11	18.66
T15ÇAY800	59.63	13.86	20.29
T30ÇAY800	59.33	13.77	20.83
T00KAN800	57.86	13.11	18.66
T15KAN800	54.36	14.82	20.71
T30KAN800	57.12	13.77	21.01
T00AFŞ800	57.86	13.11	18.66
T15AFŞ800	52.88	15.9	23.04
T30AFŞ800	53.98	12.73	18.05
T00ÇAT900	53.16	18.71	22.89
T15ÇAT900	53.58	16.82	20.57
T30ÇAT900	59.47	16.64	22.37
T00ÇAY900	53.16	18.71	22.89
T15ÇAY900	56.99	17.12	23.64
T30ÇAY900	47.08	17.27	21.14
T00KAN900	53.16	18.71	22.89
T15KAN900	48.73	15.98	17.97
T30KAN900	42.93	16.35	19.31
T00AFŞ900	53.16	18.71	22.89
T15AFŞ900	49.71	16.91	19.31
T30AFŞ900	44.05	14.58	16.27
T00ÇAT1000	51.7	18.05	20.01
T15ÇAT1000	56.77	17.84	22.41
T30ÇAT1000	56.43	14.88	16.55
T00ÇAY1000	51.7	18.05	20.01
T15ÇAY1000	50.42	17.03	19.22
T30ÇAY1000	49.24	17.4	19.8
T00KAN1000	51.7	18.05	20.01
T15KAN1000	57.33	15.23	16.25
T30KAN1000	56	16.68	21.04
T00AFŞ1000	51.7	18.05	20.01
T15AFŞ1000	53.67	17.11	20.74
T30AFŞ1000	54.6	16.28	21.23

Çizelge 5.10 Vitrikiye numunelerine ait renk analizi sonuçları

Numune	L	a	b
V00ÇAT1050	88.15	4.52	8.47
V15ÇAT1050	83.21	6.07	11.28
V30ÇAT1050	78.49	6.93	13.27
V00ÇAY1050	88.15	4.52	8.47
V15ÇAY1050	83.06	4.79	9.20
V30ÇAY1050	80.22	5.29	9.25
V00KAN1050	88.15	4.52	8.47
V15KAN1050	85.28	4.36	8.50
V30KAN1050	80.91	4.88	9.06
V00AFŞ1050	88.15	4.52	8.47
V15AFŞ1050	83.33	5.19	9.46
V30AFŞ1050	81.29	5.36	9.17
V00ÇAT1100	87.31	3.73	10.19
V15ÇAT1100	80.60	6.34	13.03
V30ÇAT1100	76.13	6.74	13.67
V00ÇAY1100	87.31	3.73	10.19
V15ÇAY1100	84.24	3.20	7.34
V30ÇAY1100	79.12	5.09	10.06
V00KAN1100	87.31	3.73	10.19
V15KAN1100	86.58	2.83	6.25
V30KAN1100	86.05	2.03	7.09
V00AFŞ1100	87.31	3.73	10.19
V15AFŞ1100	83.28	3.75	9.51
V30AFŞ1100	81.99	3.75	9.95
V00ÇAT1150	82.07	3.92	14.21
V15ÇAT1150	72.20	7.79	16.15
V30ÇAT1150	71.07	7.81	16.02
V00ÇAY1150	82.07	3.92	14.21
V15ÇAY1150	75.04	4.36	10.40
V30ÇAY1150	68.98	6.16	13.10
V00KAN1150	82.07	3.92	14.21
V15KAN1150	84.27	3.62	10.79
V30KAN1150	81.13	2.65	9.04
V00AFŞ1150	82.07	3.92	14.21
V15AFŞ1150	83.77	3.14	10.70
V30AFŞ1150	74.80	4.15	13.55

Katkısız vitrikiye numunelerinde sıcaklık artması ile beyazlık değerinde düşme görülmüştür. Renk farklılığı incelendiğinde uçucu kül katkısız numuneye uygun özellikteki numunenin 1100 °C de pişirilen % 15 Kangal uçucu kül katkılı numune olduğu görülmüştür.

Katkısız karo numunelerinde sıcaklık artması ile beyazlık değerinde düşme görülmüştür. Genel olarak renk bakımından incelendiğinde beyazlık bakımından uçucu kül katkısız numuneye uygun özellikteki numunenin 1050 °C de pişirilen % 15 Kangal uçucu kül katkılı numune olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.11 Karo numunelerine ait renk analizi sonuçları

Numune	L	a	b
K00ÇAT1050	81.59	6.99	20
K15ÇAT1050	76.05	9.20	21.70
K30ÇAT1050	72.36	10.75	22.76
K00ÇAY1050	81.59	6.99	20
K15ÇAY1050	76.52	7.74	17.42
K30ÇAY1050	73.92	7.77	15.96
K00KAN1050	81.59	6.99	20
K15KAN1050	80.60	6.41	14.81
K30KAN1050	79.35	6.11	13.69
K00AFŞ1050	81.59	6.99	20
K15AFŞ1050	78.84	5.44	12.70
K30AFŞ1050	78.15	5.72	13.36
K00ÇAT1100	69.44	8.93	24.16
K15ÇAT1100	58.36	12.04	22.35
K30ÇAT1100	56.58	13.47	21.91
K00ÇAY1100	69.44	8.93	24.16
K15ÇAY1100	61.80	9.34	18.15
K30ÇAY1100	60.16	9.04	16.79
K00KAN1100	69.44	8.93	24.16
K15KAN1100	74.98	6.84	18.07
K30KAN1100	72.75	6.06	17.59
K00AFŞ1100	69.44	8.93	24.16
K15AFŞ1100	72.66	6.73	18.04
K30AFŞ1100	72.76	5.15	15.55
K00ÇAT1150	60.12	7.71	21.86
K15ÇAT1150	49.70	7.01	14.14
K30ÇAT1150	46.61	6.64	12.59
K00ÇAY1150	60.12	7.71	21.86
K15ÇAY1150	45.30	3.97	9.79
K30ÇAY1150	38.70	3.19	6.70
K00KAN1150	60.12	7.71	21.86
K15KAN1150	49.10	3.86	12.77
K30KAN1150	53.65	1.76	14.88
K00AFŞ1150	60.12	7.71	21.86
K15AFŞ1150	51.76	3.20	13.72
K30AFŞ1150	55.48	2.10	14.09

Katkısız porselen numunelerinde sıcaklık artması ile beyazlık değerinde düşme görülmüştür. P00ÇAT1050 numunesinde L=90,58 iken bu değer 1150 °C de pişirilen %30 Çayırhan uçucu kül katkılı numune beyazlık değerinin en düşük (L=43,30) olduğu görülmüştür. Benzer şekilde P00ÇAY1150 kodlu numunede L=83,25 iken P30ÇAY1150 kodlu numunede L=43,30 inmiştir. L değerindeki en fazla azalma ÇAY katkılı numunelerde olmuştur. L değerindeki en az düşme ise KAN numunelerinde görülmüştür. P00KAN1150 numunesinde L=83,25 iken P30KAN1150 numunesinde L=69,02 olmuştur.

Çizelge 5.12 Porselen numunelerine ait renk analizi sonuçları

Numune	L	a	b
P00ÇAT1050	90.58	2.64	5.91
P15ÇAT1050	84.32	4.71	10.01
P30ÇAT1500	79.13	6.99	14.45
P00ÇAY1050	90.58	2.64	5.91
P15ÇAY1050	79.67	5.51	8.86
P30ÇAY1050	74.93	6.48	10.43
P00KAN1050	90.58	2.64	5.91
P15KAN1050	84.28	4.56	7.76
P30KAN1050	80.96	5.19	10.06
P00AFŞ1050	90.58	2.64	5.91
P15AFŞ1050	84.97	3.67	7.08
P30AFŞ1050	79.47	4.53	8.38
P00ÇAT1100	88.63	2.34	7.89
P15ÇAT1100	74.74	7.87	14.90
P30ÇAT1100	68.73	10.23	18.62
P00ÇAY1100	88.63	2.34	7.89
P15ÇAY1100	75.89	5.48	9.69
P30ÇAY1100	69.20	6.77	11.09
P00KAN1100	88.63	2.34	7.89
P15KAN1100	84.15	3.32	9.25
P30KAN1100	81.52	3.25	12.83
P00AFŞ1100	88.63	2.34	7.89
P15AFŞ1100	83.43	2.98	8.97
P30AFŞ1100	79.75	3.13	10.98
P00ÇAT1150	83.25	1.87	10.54
P15ÇAT1150	63.56	3.94	11
P30ÇAT1150	55.19	4.69	11.76
P00ÇAY1150	83.25	1.87	10.54
P15ÇAY1150	57.13	3.63	10.57
P30ÇAY1150	43.30	4.49	9.96
P00KAN1150	83.25	1.87	10.54
P15KAN1150	70.09	6.41	17.95
P30KAN1150	69.02	5.83	22.66
P00AFŞ1150	83.25	1.87	10.54
P15AFŞ1150	74.64	4.83	14.90
P30AFŞ1150	66.27	6.98	24.63

5.4 Mukavemet Testi Sonuçları

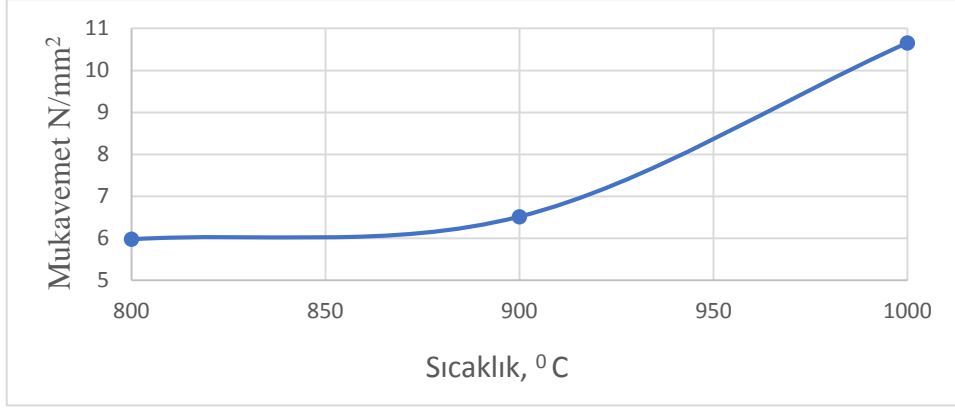
Tuğla kiline uçucu kül eklenmesi ile oluşturulan numunelerin basınç mukavemet değerleri Çizelge 5.13’ de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, sıcaklık arttıkça numunelerin basınç mukavemet değerleri artmıştır.

Tuğla kiline uçucu kül eklenmesi ile oluşturulan numunelerin basınç mukavemet değerleri Çizelge 5.13’ de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde genel olarak sıcaklık arttıkça, numunelerin basınç mukavemet değerleri artmıştır. En yüksek basınç değerini 1000 ° C de pişirilen uçucu kül katkısız numune gösterirken, uçucu kül katkılı numunelerden ise 1000 ° C de pişirilen % 15 çay uçucu kül katkılı numune göstermiştir.

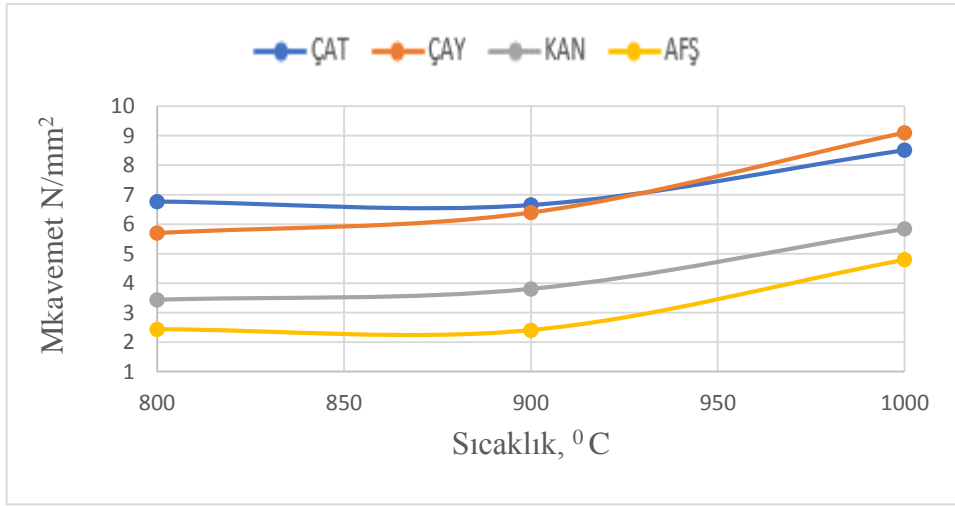
En düşük mukavemet değerini ise 800 °C de pişirilen % 30 Afşin uçucu kül katkılı numune vermiştir. Şekil 5.25 ile 5.27 arasında tuğla numunelerinin sıcaklık- mukavemet grafiği gösterilmiştir.

Çizelge 5.13 Tuğla numunelerine ait pişme mukavemeti (N/mm²)

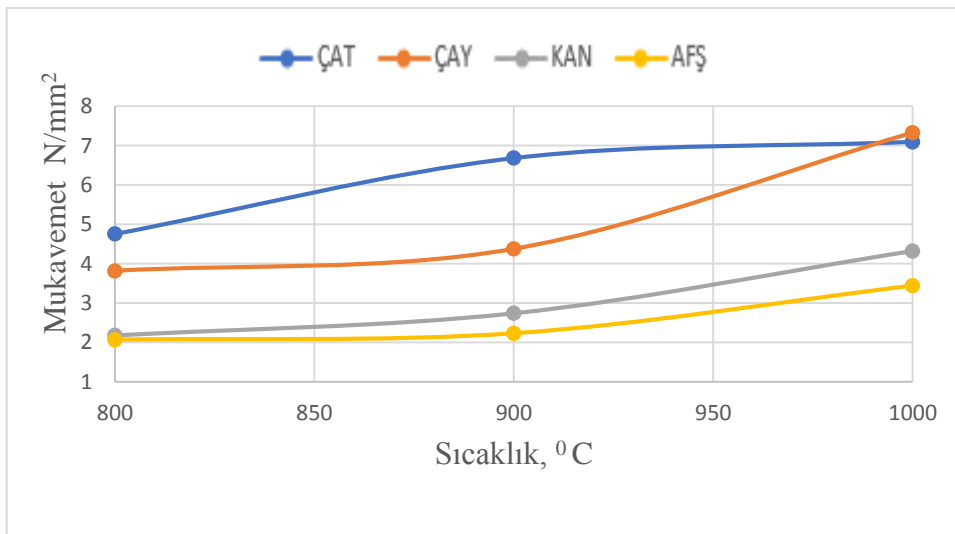
Numune	Pişme mukavemeti, (MPa)
T00ÇAT800	5.975
T15ÇAT800	6.771
T30ÇAT800	4.758
T00ÇAY800	5.975
T15ÇAY800	5.699
T30ÇAY800	3.818
T00KAN800	5.975
T15KAN800	3.437
T30KAN800	2.177
T00AFŞ800	5.975
T15AFŞ800	2.436
T30AFŞ800	2.069
T00ÇAT900	6.514
T15ÇAT900	6.653
T30ÇAT900	6.684
T00ÇAY900	6.514
T15ÇAY900	6.396
T30ÇAY900	4.377
T00KAN900	6.514
T15KAN900	3.807
T30KAN909	2.741
T00AFŞ900	6.514
T15AFŞ900	2.408
T30AFŞ900	2.233
T00ÇAT1000	10.655
T15ÇAT1000	8.514
T30ÇAT1000	7.096
T00ÇAY1000	10.655
T15ÇAY1000	9.105
T30ÇAY1000	7.331
T00KAN1000	10.655
T15KAN1000	5.842
T30KAN1000	4.323
T00AFŞ1000	10.655
T15AFŞ1000	4.798
T30AFŞ1000	3.443



Şekil 5.25 Katkısız tuğla numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği



Şekil 5.26 %15 katkılı tuğla numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

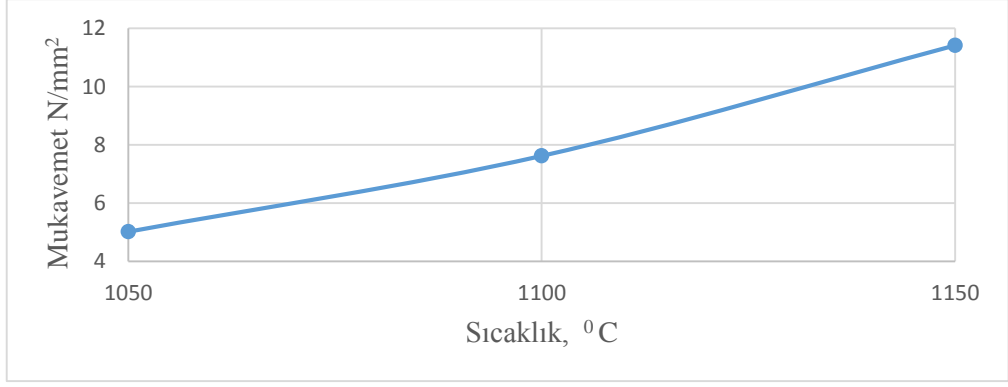


Şekil 5.27 %30 katkılı tuğla numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

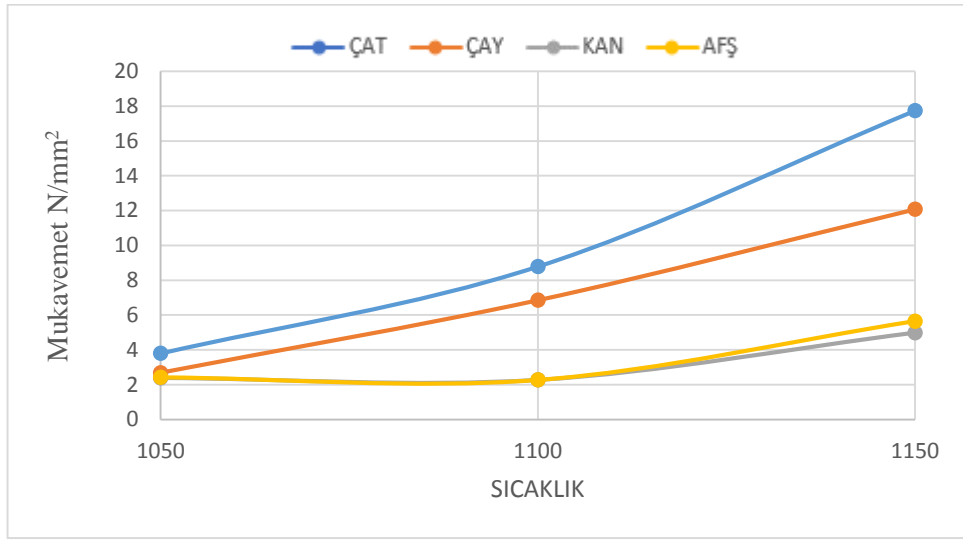
Çizelge 5.14 Vitrikiye numunelerine ait pişme mukavemeti ((N/mm²))

Numune	Pişme mukavemeti (MPa)
V00ÇAT1050	5.026
V15ÇAT1050	3.797
V30ÇAT1050	3.123
V00ÇAY1050	5.026
V15ÇAY1050	2.680
V30ÇAY1050	2.357
V00KAN1050	5.026
V15KAN1050	2.384
V30KAN1050	1.780
V00AFŞ1050	5.026
V15AFŞ1050	2.424
V30AFŞ1050	2.177
V00ÇAT1100	7.627
V15ÇAT1100	8.782
V30ÇAT1100	8.554
V00ÇAY1100	7.627
V15ÇAY1100	6.845
V30ÇAY1100	3.507
V00KAN1100	7.627
V15KAN1100	2.274
V30KAN1100	2.199
V00AFŞ1100	7.627
V15AFŞ1100	2.275
V30AFŞ1100	2.427
V00ÇAT1150	11.418
V15ÇAT1150	17.733
V30ÇAT1150	16.467
V00ÇAY1150	11.418
V15ÇAY1150	12.070
V30ÇAY1150	14.979
V00KAN1150	11.418
V15KAN1150	4.985
V30KAN1150	3.475
V00AFŞ1150	11.418
V15AFŞ1150	5.646
V30AFŞ1150	5.394

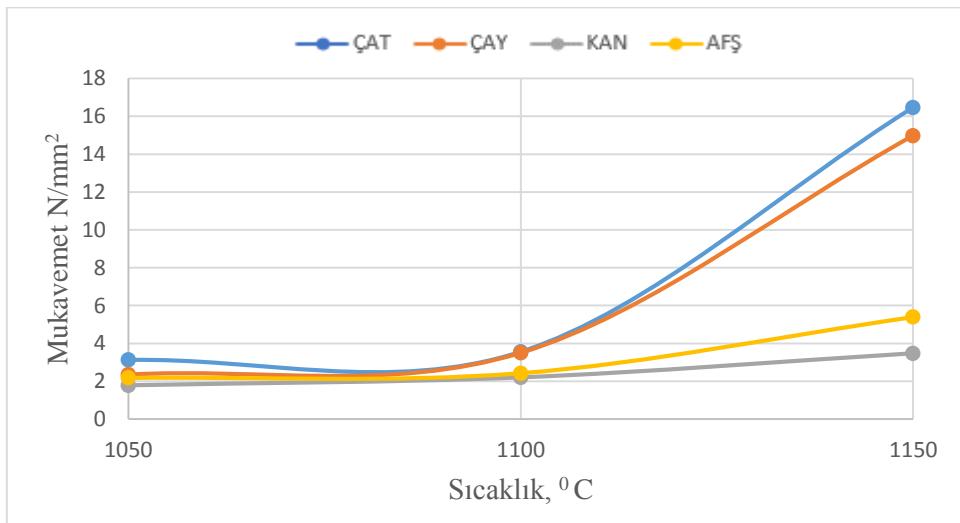
5.14' de elde edilen vitrikiye numunelerinin pişme mukavemet sonuçları incelendiğinde genel olarak sıcaklığın artmasıyla numunelerin basınç mukavemet değerlerinde de artış görülmüştür. En yüksek basınç değerini 1150 °C de pişirilen % 15 Çatalağzı uçucu kül katkılı numune gösterirken, en düşük mukavemet değerini ise 800 °C de pişirilen % 30 Kangal uçucu kül katkılı numune vermiştir. Şekil 5.28 ile 5.30 arasında vitrikiye numunelerinin sıcaklık- mukavemet grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.28 Katkısız vitrikiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği



Şekil 5.29 %15 katkılı vitrikiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

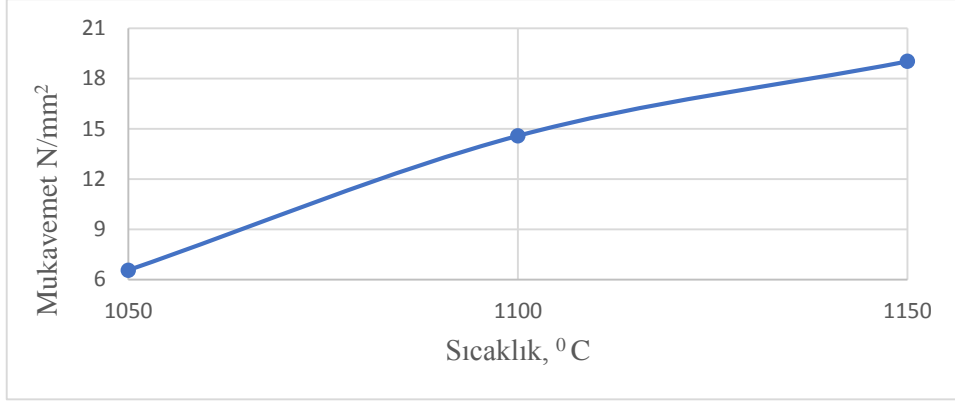


Şekil 5.30 %30 katkılı vitrikiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

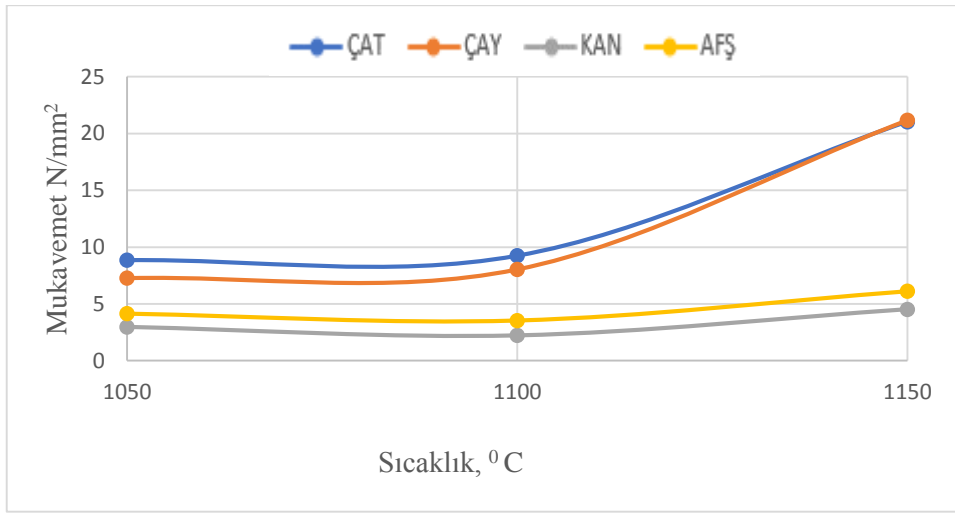
Çizelge 5.15 Vitrifiye numunelerine ait pişme mukavemeti “sırlı” ((N/mm²))

Numune	Pişme mukavemeti, (MPa)
V00ÇAT1050	6.565
V15ÇAT1050	8.854
V30ÇAT1050	8.633
V00ÇAY1050	6.565
V15ÇAY1050	7.279
V30ÇAY1050	4.142
V00KAN1050	6.565
V15KAN1050	2.980
V30KAN1050	2.111
V00AFŞ1050	6.565
V15AFŞ1050	4.142
V30AFŞ1050	3.073
V00ÇAT1100	14.592
V15ÇAT1100	9.248
V30ÇAT1100	10.906
V00ÇAY1100	14.592
V15ÇAY1100	8.045
V30ÇAY1100	4.892
V00KAN1100	14.592
V15KAN1100	2.237
V30KAN1100	1.976
V00AFŞ1100	14.592
V15AFŞ1100	3.536
V30AFŞ1100	2.709
V00ÇAT1150	19.040
V15ÇAT1150	21.403
V30ÇAT1150	18.758
V00ÇAY1150	19.040
V15ÇAY1150	21.171
V30ÇAY1150	10.401
V00KAN1150	19.040
V15KAN1150	4.529
V30KAN1150	5.757
V00AFŞ1150	19.040
V15AFŞ1150	6.120
V30AFŞ1150	7.316

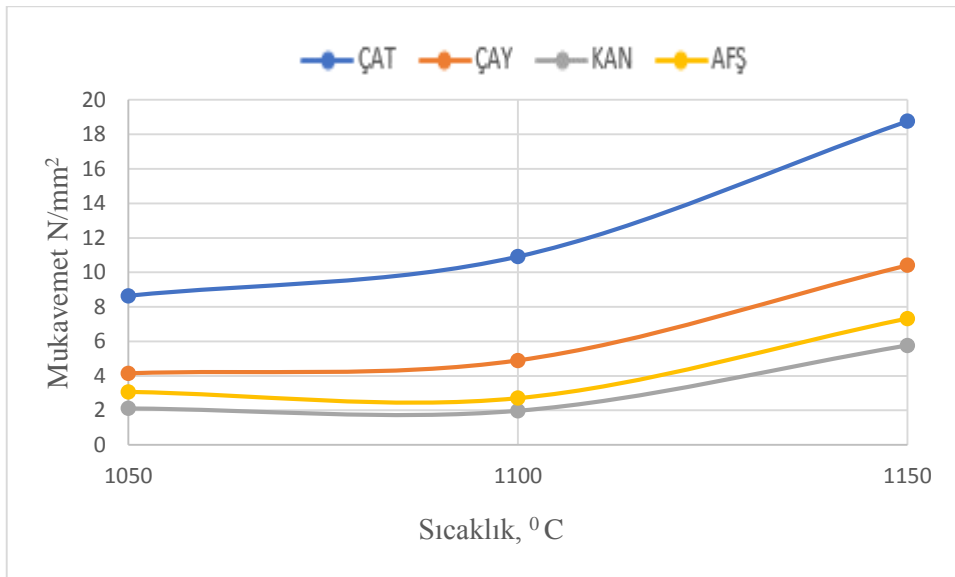
Vitrifiye numunelerinin sırlanması ile elde edilen mukavemet değerlerinde en yüksek değeri 1150 °C de pişirilen % 15 Çatalağzı uçucu kül katkılı numune göstermiştir. En düşük değeri ise 1100 °C de pişirilen % 30 Kangal uçucu kül katkılı numune göstermiştir. Şekil 5.31 ile 5.33 arasında sırlanmış vitrifiye numunelerinin sıcaklık- mukavemet grafiği gösterilmiştir. Sırlanmış ve sırlanmamış numunelerin mukavemet değerleri incelendiğinde sırlı numunelerin mukavemeti daha yüksektir.



Şekil 5.31 Katkısız sırlı vitrikiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği



Şekil 5.32 %15 katkı sırlı vitrikiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

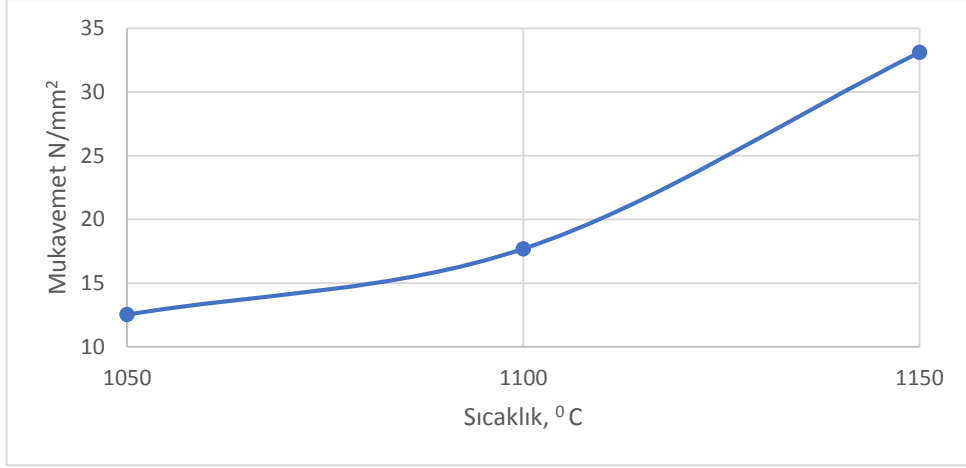


Şekil 5.33 %30 Katkı sırlı vitrikiye numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

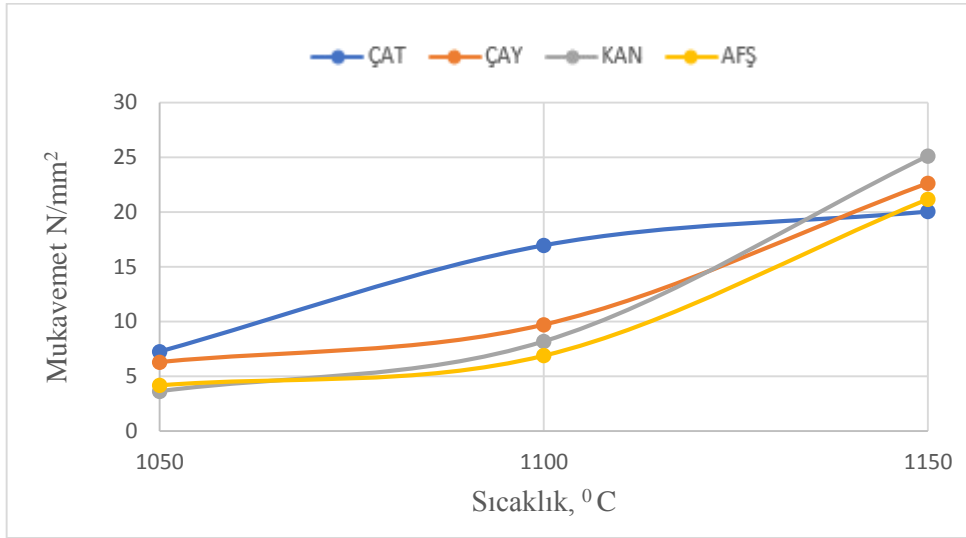
Çizelge 5.16 Karo numunelerine ait pişme mukavemeti ((N/mm²))

Numune	Pişme mukavemeti, (MPa)
K00ÇAT1050	12.535
K15ÇAT1050	7.252
K30ÇAT1050	5.514
K00ÇAY1050	12.535
K15ÇAY1050	6.293
K30ÇAY1050	4.128
K00KAN1050	12.535
K15KAN1050	3.625
K30KAN1050	3.019
K00AFŞ1050	12.535
K15AFŞ1050	4.183
K30AFŞ1050	3.684
K00ÇAT1100	17.705
K15ÇAT1100	16.962
K30ÇAT1100	16.251
K00ÇAY1100	17.705
K15ÇAY1100	9.715
K30ÇAY1100	7.948
K00KAN1100	17.705
K15KAN1100	8.185
K30KAN1100	7.854
K00AFŞ1100	17.705
K15AFŞ1100	6.890
K30AFŞ1100	6.579
K00ÇAT1150	33.122
K15ÇAT1150	20.047
K30ÇAT1150	20.562
K00ÇAY1150	33.122
K15ÇAY1150	22.632
K30ÇAY1150	9.126
K00KAN1150	33.122
K15KAN1150	25.120
K30KAN1150	25.184
K00AFŞ1150	33.122
K15AFŞ1150	21.176
K30AFŞ1150	24.110

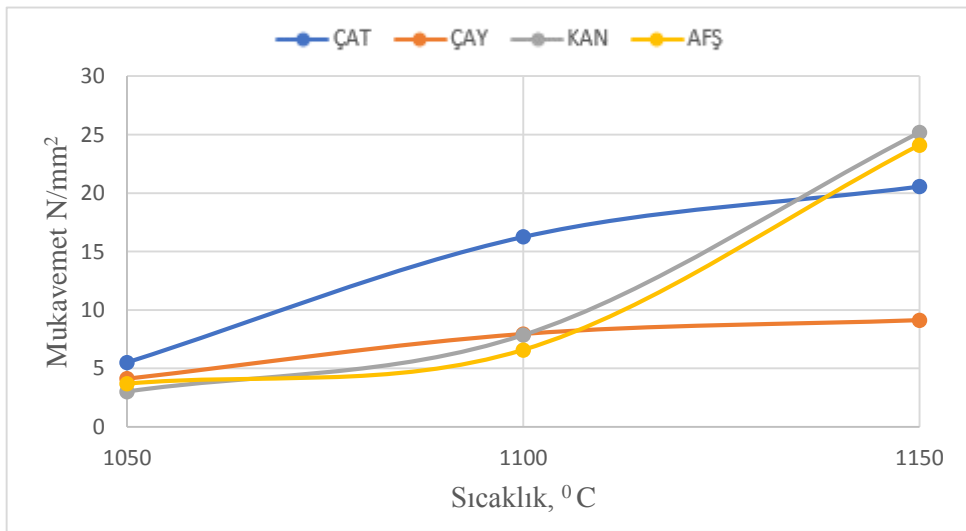
5.16’ de elde edilen karo numunelerinin pişme mukavemet sonuçları incelendiğinde genel olarak sıcaklığın artmasıyla numunelerin basınç mukavemet değerlerinde de artış görülmüştür. En yüksek basınç değerini 1150 °C de pişirilen uçucu kül katkısız numune, buna en yakın uçucu kül katkılı numune ise 1150°C de pişirilen % 30 Kangal uçucu kül katkılı numunedir. En düşük mukavemet değerini ise 1050 °C de pişirilen % 30 Kangal uçucu kül katkılı numune vermiştir. Şekil 5.34 ile 5.36 arasında karo numunelerinin sıcaklık- mukavemet grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.34 Katkısız karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği



Şekil 5.35 %15 katkı karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

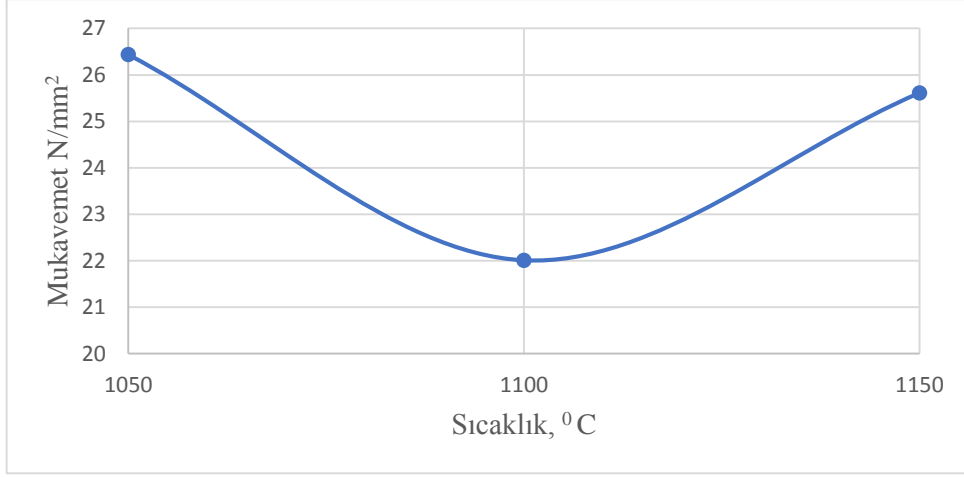


Şekil 5.36 %30 katkı karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

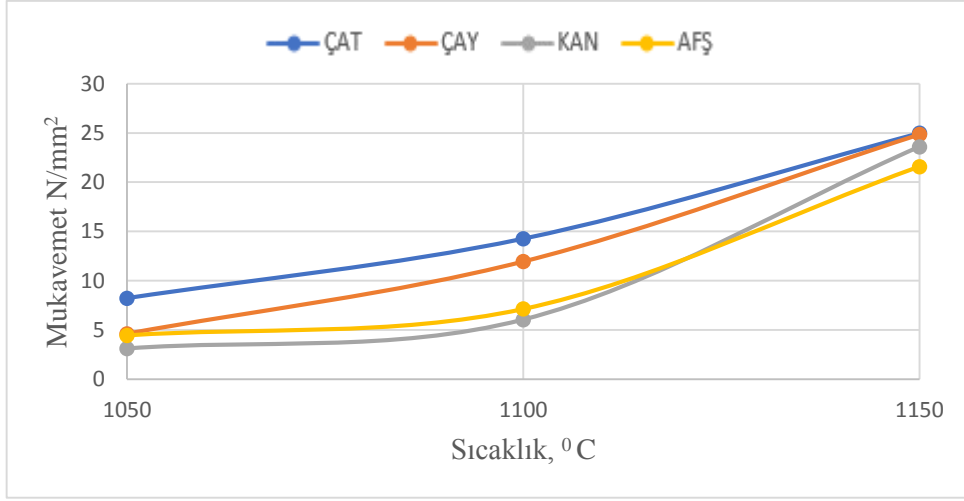
Çizelge 5.17 Karo Numunelerine ait pişme mukavemeti “sırlı” ((N/mm²))

Numune	Pisme mukavemeti, (MPa)
K00ÇAT1050	26.438
K15ÇAT1050	8.226
K30ÇAT1050	6.890
K00ÇAY1050	26.438
K15ÇAY1050	4.628
K30ÇAY1050	5.517
K00KAN1050	26.438
K15KAN1050	3.119
K30KAN1050	2.537
K00AFŞ1050	26.438
K15AFŞ1050	4.453
K30AFŞ1050	4.334
K00ÇAT1100	22.008
K15ÇAT1100	14.264
K30ÇAT1100	18.800
K00ÇAY1100	22.008
K15ÇAY1100	11.947
K30ÇAY1100	8.378
K00KAN1100	22.008
K15KAN1100	6.052
K30KAN1100	7.537
K00AFŞ1100	22.008
K15AFŞ1100	7.131
K30AFŞ1100	5.169
K00ÇAT1150	25.613
K15ÇAT1150	24.981
K30ÇAT1150	23.668
K00ÇAY1150	25.613
K15ÇAY1150	24.843
K30ÇAY1150	14.508
K00KAN1150	25.613
K15KAN1150	23.601
K30KAN1150	19.565
K00AFŞ1150	25.613
K15AFŞ1150	21.589
K30AFŞ1150	21.791

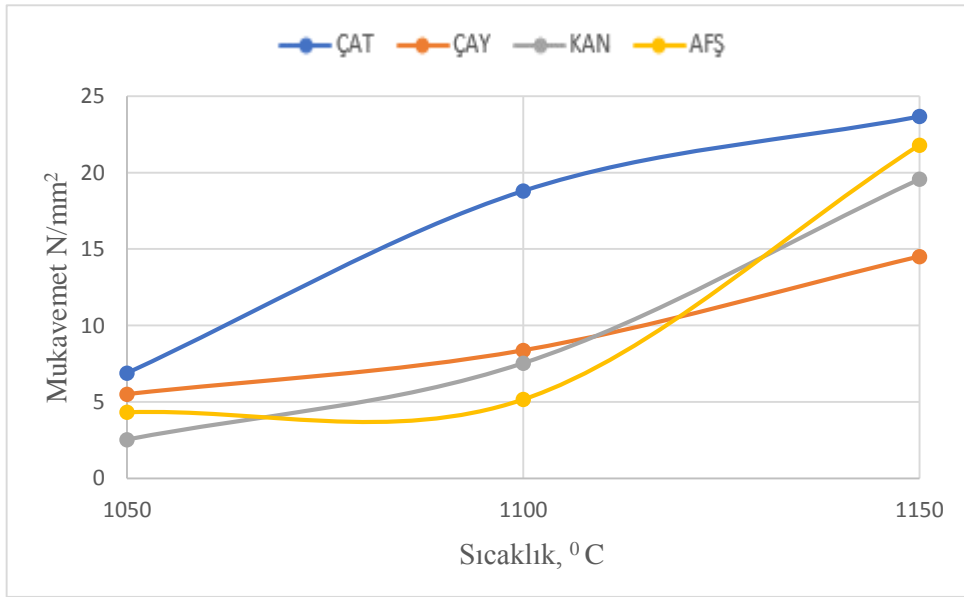
Karo numunelerinin sırlanması ile elde edilen mukavemet değerlerinde en yüksek değeri 1050 °C de pişirilen katkısız karo numunesi göstermiş, uçucu kül katkılı numunelerde ise buna en yakın % 15 Çatalağzı uçucu kül katkılı numune göstermiştir. En düşük değeri ise 1050 °C de pişirilen % 30 Kangal uçucu kül katkılı numune göstermiştir. Şekil 5.37 ile 5.39 arasında sırlanmış karo numunelerinin sıcaklık- mukavemet grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.37 Sırlı katkısız karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği



Şekil 5.38 %15 katkı sırlı karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

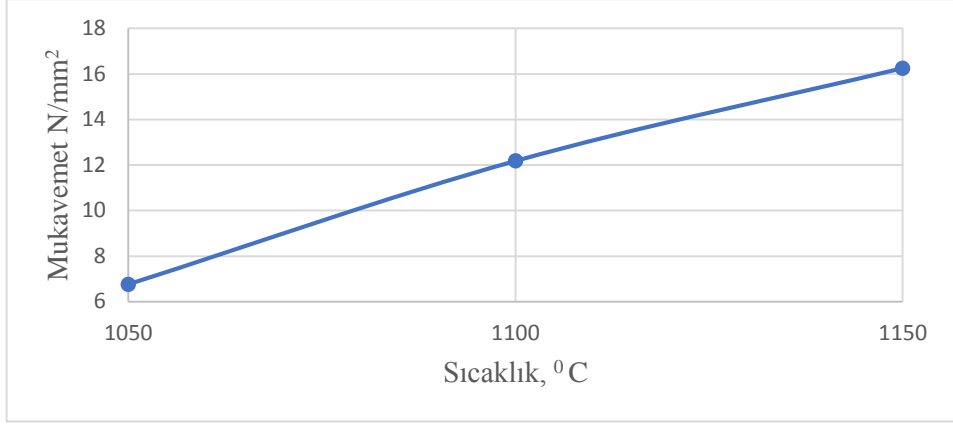


Şekil 5.39 %30 katkı sırlı karo numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

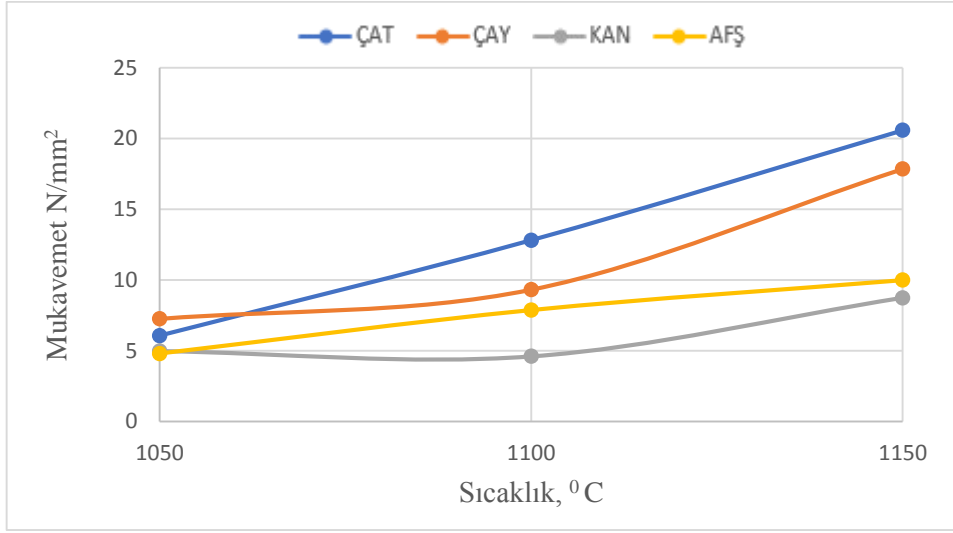
Çizelge 5.18 Porselen numunelerine ait pişme mukavemeti ((N/mm²))

Numune	Pişme mukavemeti, (MPa)
P00ÇAT1050	6.764
P15ÇAT1050	6.064
P30ÇAT1050	6.447
P00ÇAY1050	6.764
P15ÇAY1050	7.249
P30ÇAY1050	5.188
P00KAN1050	6.764
P15KAN1050	4.975
P30KAN1050	4.691
P00AFŞ1050	6.764
P15AFŞ1050	4.796
P30AFŞ1050	4.853
P00ÇAT1100	12.181
P15ÇAT1100	12.812
P30ÇAT1100	13.510
P00ÇAY1100	12.181
P15ÇAY1100	9.312
P30ÇAY1100	5.371
P00KAN1100	12.181
P15KAN1100	4.600
P30KAN1100	4.207
P00AFŞ1100	12.181
P15AFŞ1100	7.868
P30AFŞ1100	5.274
P00ÇAT1150	16.255
P15ÇAT1150	20.585
P30ÇAT1150	20.149
P00ÇAY1150	16.255
P15ÇAY1150	17.847
P30ÇAY1150	15.280
P00KAN1150	16.255
P15KAN1150	8.731
P30KAN1150	7.252
P00AFŞ1150	16.255
P15AFŞ1150	9.984
P30AFŞ1150	7.822

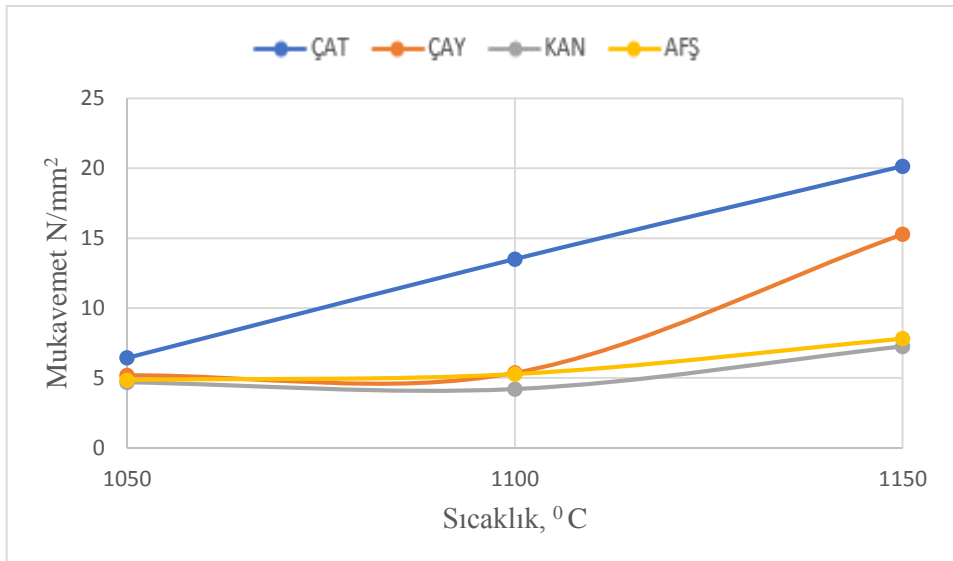
5.18’ de elde edilen porselen numunelerinin pişme mukavemet sonuçları incelendiğinde genel olarak sıcaklığın artmasıyla numunelerin basınç mukavemet değerlerinde de artış görülmüştür. En yüksek basınç değerini 1150 °C de pişirilen % 15 Çatalağzı uçucu kül katkılı numune, en düşük mukavemet değerini ise 1100 °C de pişirilen % 30 Kangal uçucu kül katkılı numune vermiştir. Şekil 5.40 ile 5.42 arasında porselen numunelerinin sıcaklık- mukavemet grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.40 Katkısız porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği



Şekil 5.41 %15 katkılı porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

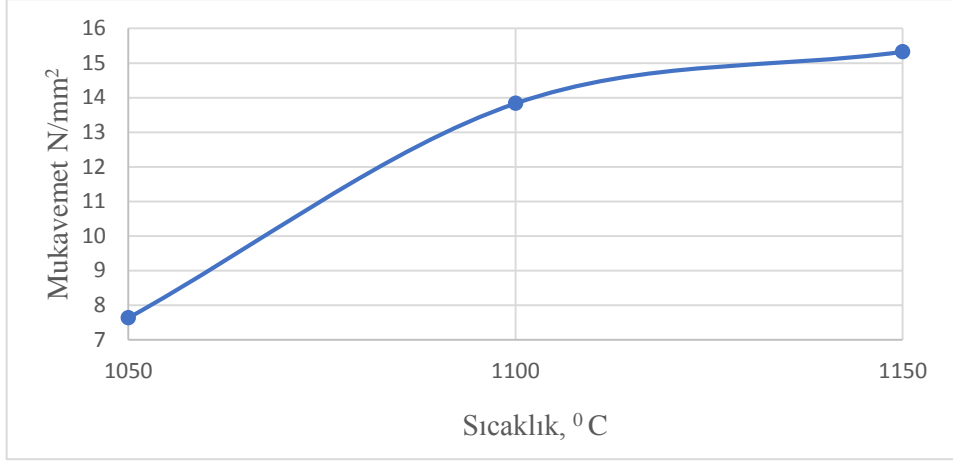


Şekil 5.42 %30 katkı porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

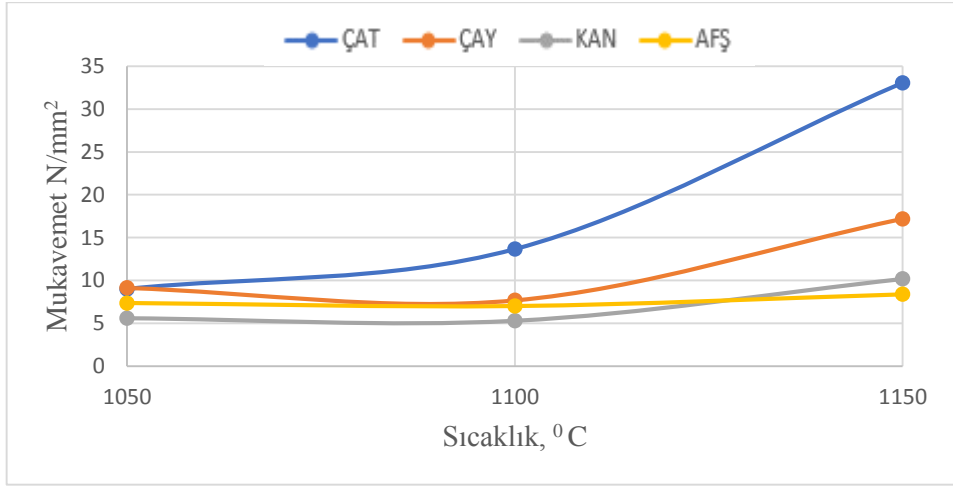
Çizelge 5.19 Porselen numunelerine ait pişme mukavemeti “sırlı” ((N/mm²))

Numune	Pisme mukavemeti, (MPa)
P00ÇAT1050	7.633
P15ÇAT1050	9.001
P30ÇAT1500	9.966
P00ÇAY1050	7.633
P15ÇAY1050	9.131
P30ÇAY1050	4.836
P00KAN1050	7.633
P15KAN1050	5.584
P30KAN1050	3.076
P00AFŞ1050	7.633
P15AFŞ1050	7.368
P30AFŞ1050	4.299
P00ÇAT1100	13.834
P15ÇAT1100	13.647
P30ÇAT1100	13.527
P00ÇAY1100	13.834
P15ÇAY1100	7.681
P30ÇAY1100	5.510
P00KAN1100	13.834
P15KAN1100	5.290
P30KAN1100	5.955
P00AFŞ1100	13.834
P15AFŞ1100	7.010
P30AFŞ1100	4.171
P00ÇAT1150	15.326
P15ÇAT1150	33.051
P30ÇAT1150	27.747
P00ÇAY1150	15.326
P15ÇAY1150	17.181
P30ÇAY1150	18.812
P00KAN1150	15.326
P15KAN1150	10.175
P30KAN1150	6.976
P00AFŞ1150	15.326
P15AFŞ1150	8.385
P30AFŞ1150	7.751

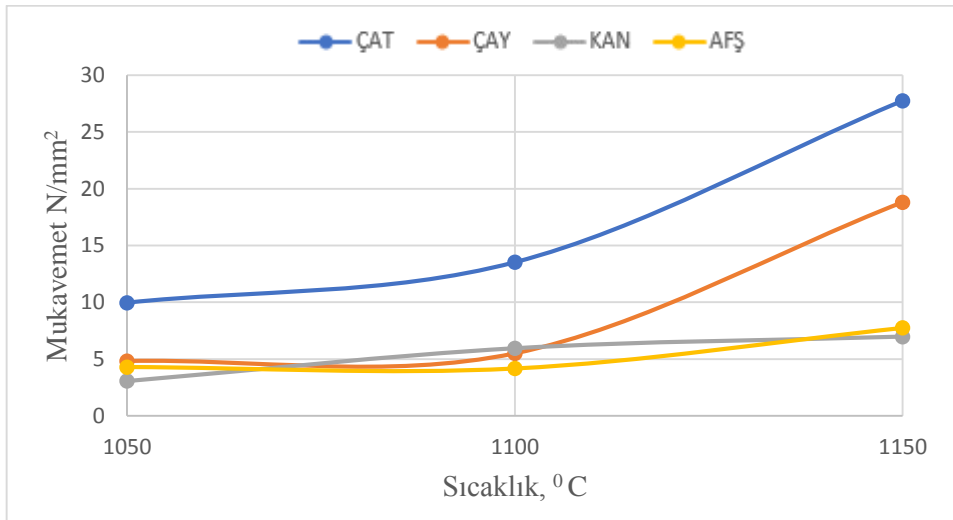
Porselen numunelerinin sırlanması ile elde edilen mukavemet değerlerinde en yüksek değeri 1150 °C de pişirilen % 15 Çatalağzı uçucu kül katkılı numune göstermiş, en düşük değeri ise 1050 °C de pişirilen % 30 Kangal uçucu kül katkılı numune göstermiştir. Şekil 5.43 ile 5.45 arasında sırlanmış porselen numunelerinin sıcaklık- mukavemet grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.43 Sırlı katkısız porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği



Şekil 5. 44 %15 katkılı sırlı porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği



Şekil 5.45 %30 katkılı sırlı porselen numunelerinin mukavemet – sıcaklık grafiği

5.5 Isı İletkenlik katsayısı belirleme testi sonuçları

EN 832 nolu standartta bölge ve iklim koşullarına göre duvarların 0.4-0.7 W/mK ya da daha düşük ısı transfer katsayısına sahip olan malzemelerden yapılmasının gerektiği belirtilmektedir. (Sütçü ve Akkurt, 2009).

Numunelerin ısı iletkenlik katsayısı incelendiğinde uçucu kül katkısız numunenin sıcaklığının arttıkça ısı iletkenlik katsayısının düştüğü görülmüştür. En yüksek ısı iletkenlik değeri 800 °C de pişirilen katkısız tuğladır, uçucu kül katkılı olanlardan ise en yüksek ısı iletkenliğe sahip olan numuneler ise 1000 °C de pişirilen % 30 Çayırhan uçucu kül katkılı numunelerdir. En düşük olanı ise 800 °C de pişirilen % 30 Çatalağzı uçucu kül karışımlı numunelerdir.

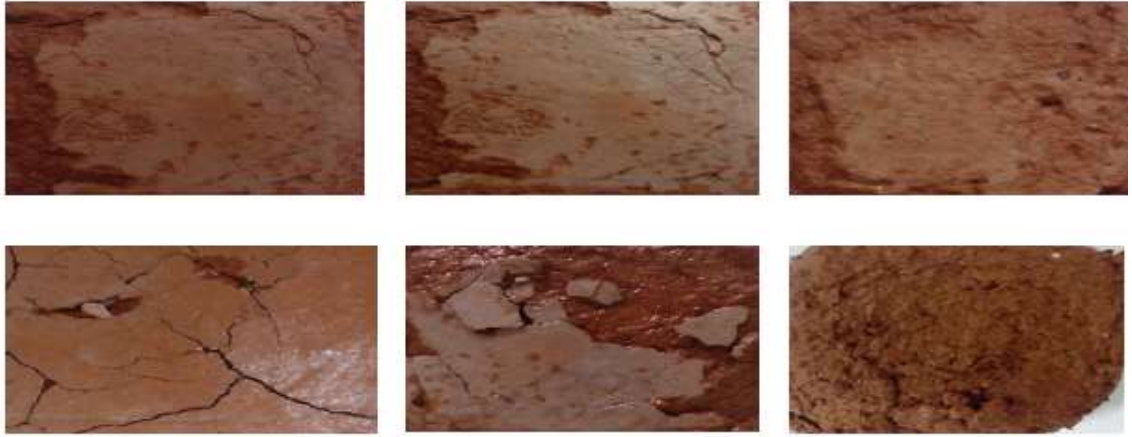
Çizelge 5.20 Tuğla Numunelerine ait ısı iletkenlik katsayıları (W/mK)

Numune	Isıl iletkenlik katsayısı W/mK
T00ÇAT800	0.643
T30ÇAT800	0.156
T00ÇAY800	0.643
T30ÇAY800	0.453
T00KAN800	0.643
T30KAN800	0.295
T00AFŞ800	0.643
T30AFŞ800	0.323
T00ÇAT1000	0.533
T30ÇAT1000	0.530
T00ÇAY1000	0.533
T30ÇAY1000	0.483
T00KAN1000	0.533
T30KAN1000	0.353
T00AFŞ1000	0.533
T30AFŞ1000	0.316

5.6 Donma Çözülme Testi Sonuçları

Tuğla numunelerinin farklı ortamlarda dayanımlarının incelenmesi bakımından yapılan dona dayanım testi ile (800 - 900 - 1000) °C pişirilen farklı termik santrallerden alınan uçucu küllerin, farklı oranlarda kullanılarak elde edilen tuğla numunelerinin donma ve çözünme testi sonucunda temsili numunelerin hepsi, diğer numunelerden, T30ÇAT800, T15ÇAT900, T30ÇAT900, T15ÇAT1000, T30ÇAT1000, T15ÇAY900, T30ÇAY900, T15ÇAY1000 numuneleri sağlam kalmıştır.

Diğer numunelerde ise özellikle 9.10. ve 11. döngü sonunda kırılma ve parçalanma olmuştur. Elde edilen karo numunelerine de aynı şekilde uygulanan donma ve çözünme testleri sonucunda, temsili numunelerin ve 1150 °C sinterlenen numunelerin hepsi, sağlam kalmıştır. Sağlam kalan numuneler (K15ÇAT1100, K30ÇAT1100, K30ÇAY1100, K15KAN1100, K30KAN1100, K30AFŞ1100, K30ÇAT1050, K30ÇAY1050, K30KAN1050, K30AFŞ1050). Diğer numuneler ise özellikle 9.10 ve 13. döngü sonunda kırılma ve parçalanma olmuştur.

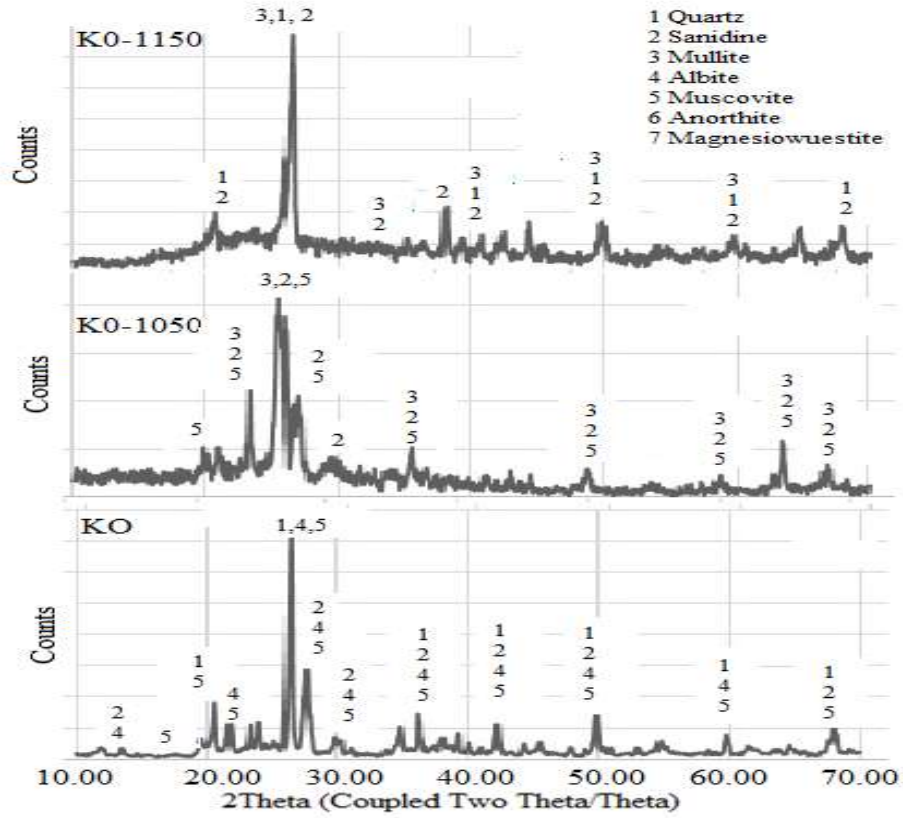


Şekil 5.46 Donma çözülme testine tabi tutulan tuğla numuneleri

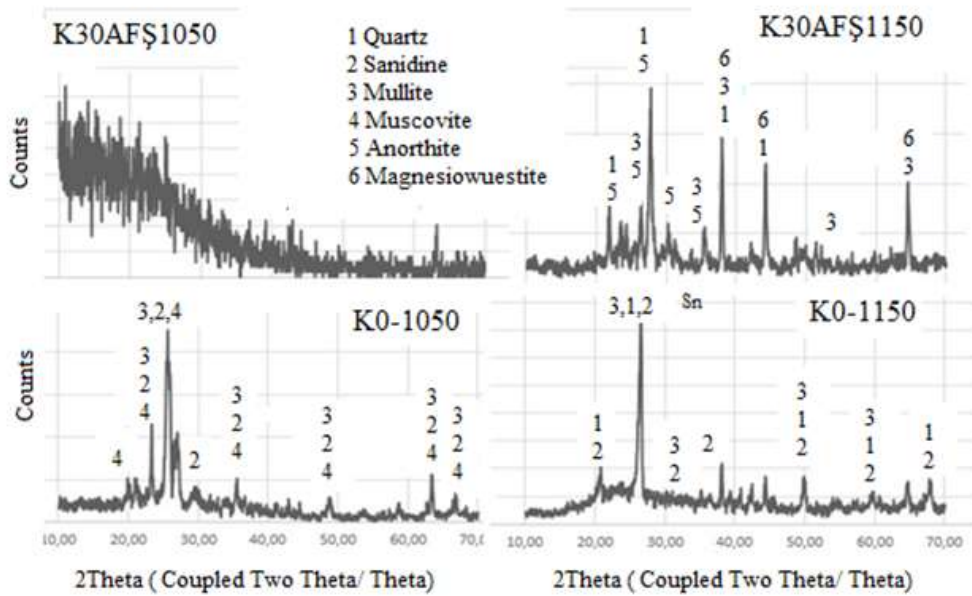
5.7 X Işınları Difraksiyon (XRD) Analiz Sonuçları

Numunelerin 800, 900, 1000, 1050, 1100, 1150 °C’ de sinterlenmiş örneklerine ait x-ışınları difraksiyon analizi sonuçları Şekil 5.47 ile Şekil 5.70 arasında gösterilmiştir.

Şekil 5.47’de K0, K0-1050 ve K0-1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. K0 hammaddesi (96-900-9667) Kuvars, (96-900-9663) Sanidin, (96-101-1050) Muskovit ve (96-900-1632) Albit içermektedir. K0-1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-9663) Sanidin, (96-101-1050) ve Muskovit pikleri görülmüştür. K0-1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-9663) Sanidin, pikleri tespit edilmiştir. K0-1050 de mullit fazı kristallenmeye başlamış, K0-1150 numunesinde albit piklerinin tamamı mullite dönüşerek kristallenme devam etmiştir. Şekil 5.48’de K30AFŞ1050 ve K30AFŞ1150 numunelerinin XRD grafikleri verilmiştir. K30AFŞ1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-6068) Magnezovüsit pikleri görülmüştür.



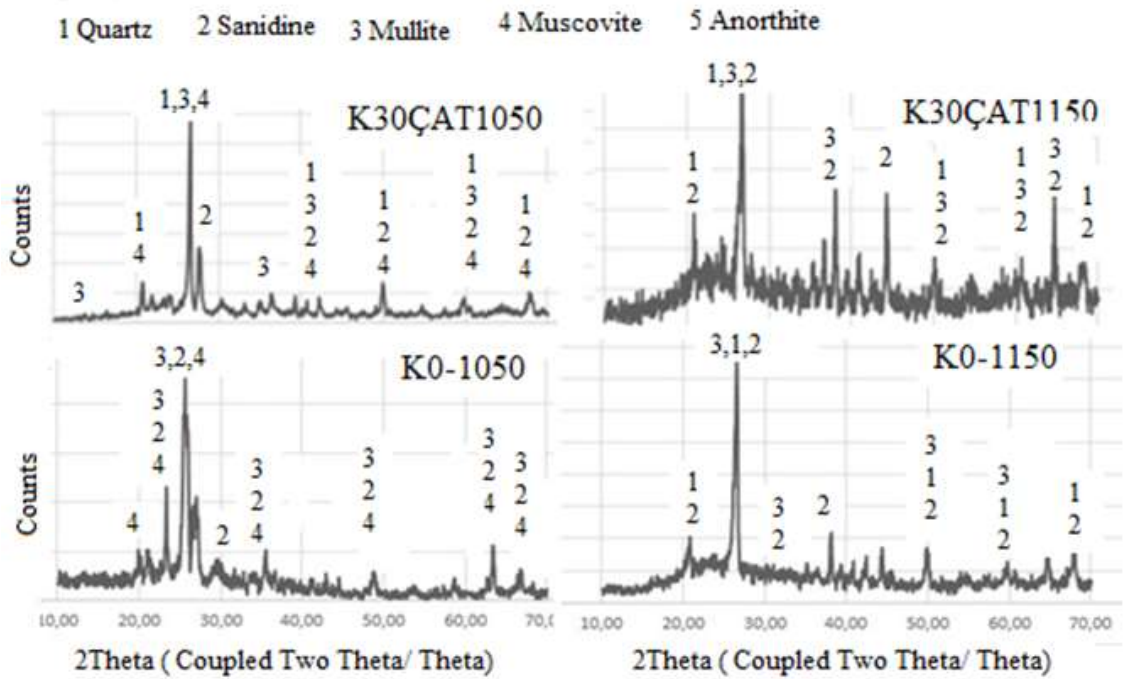
Şekil 5.47 Karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.



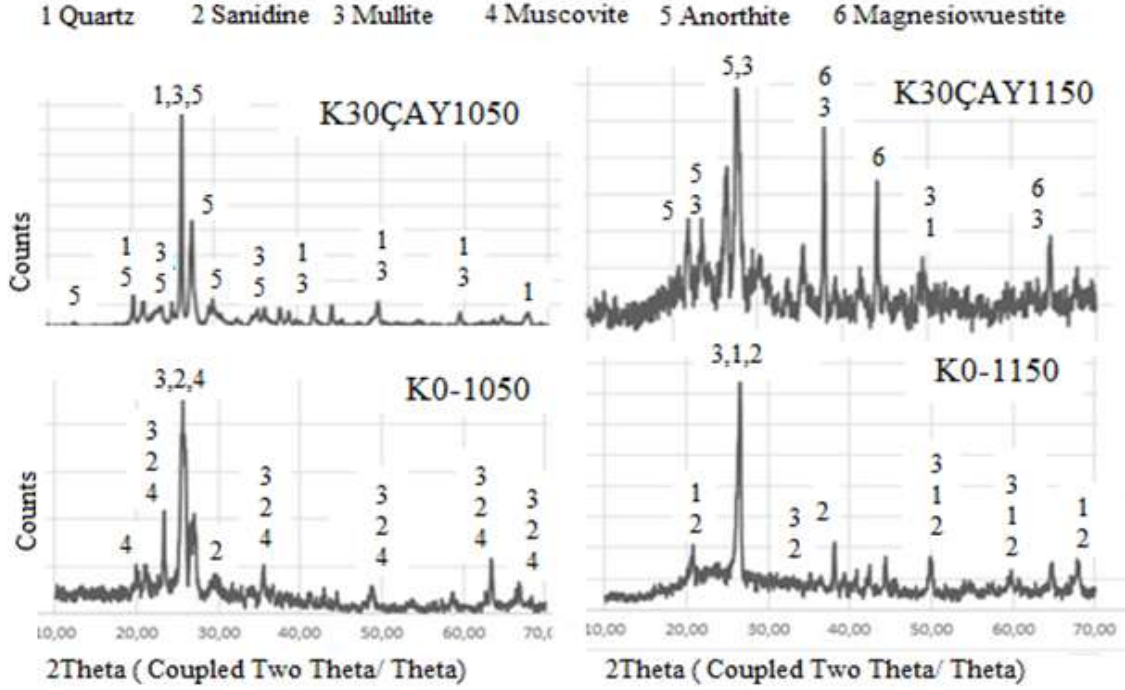
Şekil 5.48 %30 AFŞ katkılı karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.

Şekil 5.49'da K30ÇAT1050 ve K30ÇAT1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. K30ÇAT1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-9663) Sanidin, (96-101-1050) ve Muskovit pikleri görülmüştür. K30ÇAT1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars ve (96-900-9663) Sanidin pikleri görülmüştür. Hem karo bünyesinde bulunan albitin dönüşmesi hem de Çatalağzı kül içeriğinde bulunan mullit, numunelerde mullit piklerini açığa çıkarmıştır.

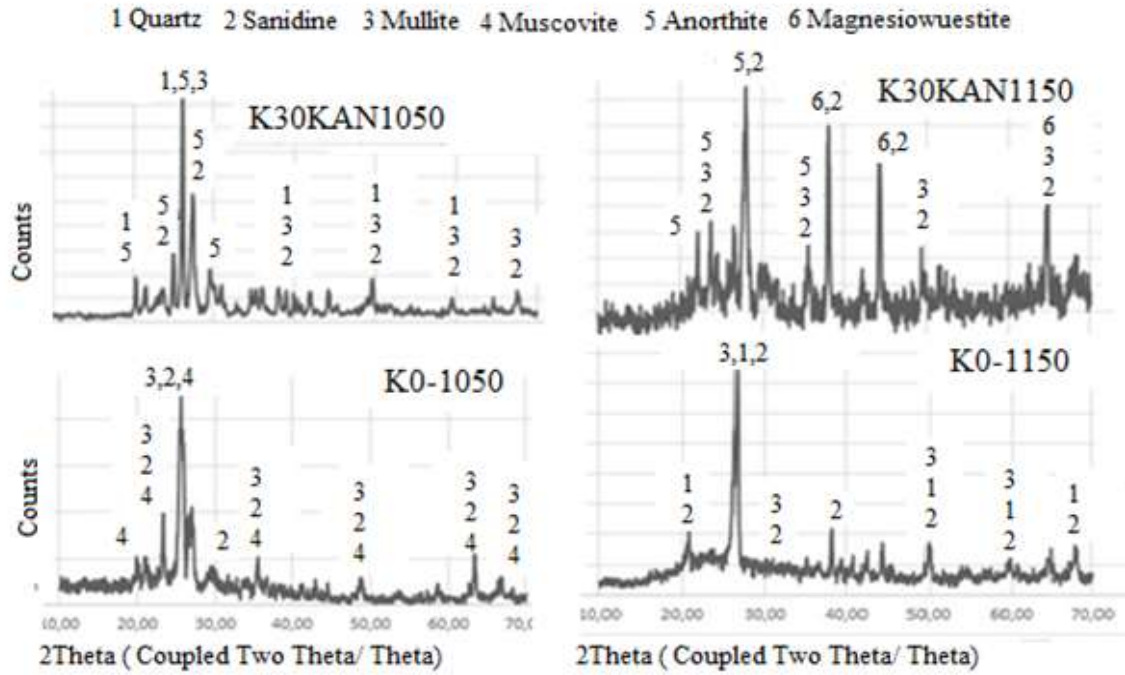
Şekil 5.50'de K30ÇAY1050 ve K30ÇAY1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. K30ÇAY1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-6068) Magnezovüsit pikleri görülmüştür. K30ÇAY1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-6068) Magnezovüsit pikleri görülmüştür. Her iki numunede de aynı pikler tespit edilmiştir. 1050 de mullit, magnezovüsit ve anortit oluşumları başlamış olup 1150 de görünür pikler ve pik şiddetleri artmıştır.



Şekil 5.49 %30 ÇAT katkılı karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri



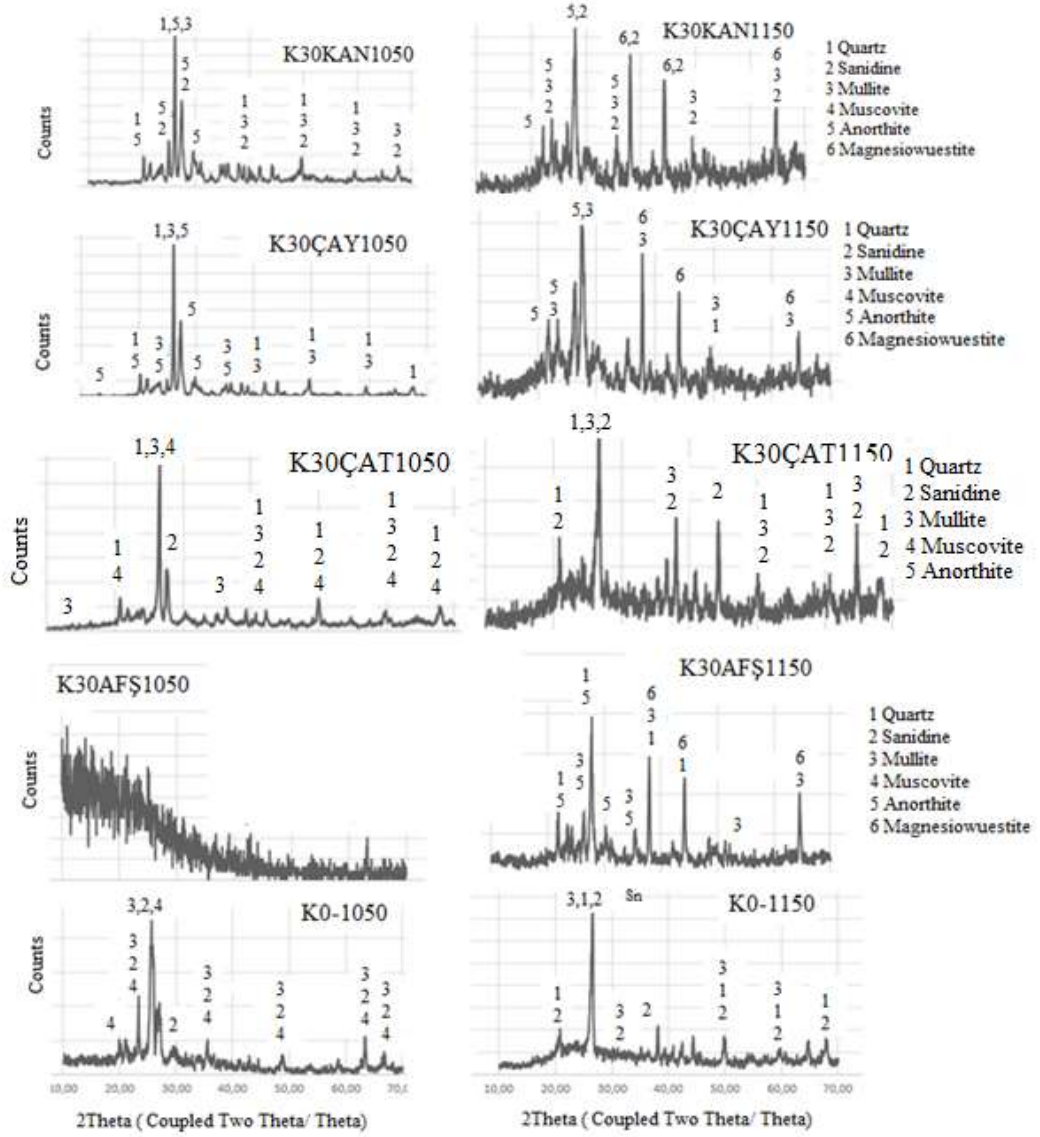
Şekil 5.50 %30 ÇAY katkılı karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.



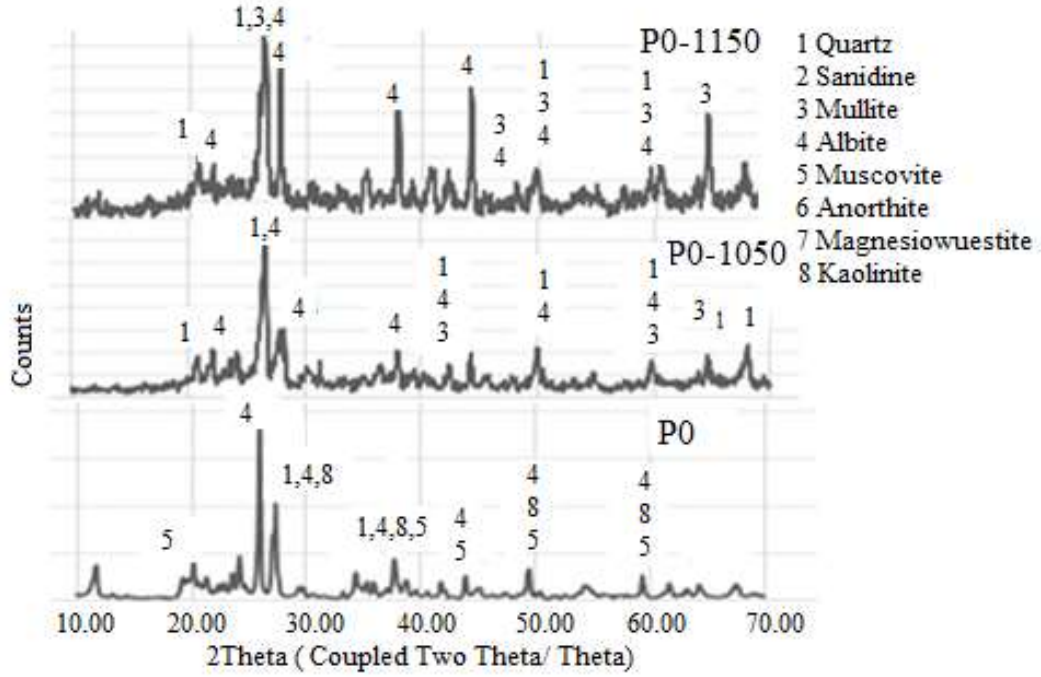
Şekil 5.51 %30 KAN katkılı karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.

Şekil 5.51’de K30KAN1050 ve K30KAN1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. K30KAN1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-9663) Sanidin pikleri görülmüştür. K30KAN1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-9663) Sanidin pikleri görülmüştür. Her iki numunede de aynı pikler tespit

edilmiştir. 1050 de mullit ve anortit oluşumları başlamış olup 1150 de görünür pikler ve pik şiddetleri artmıştır. Şekil 5.52’de %30 kül katkılı 1050 ve 1150 de pişirilmiş XRD grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



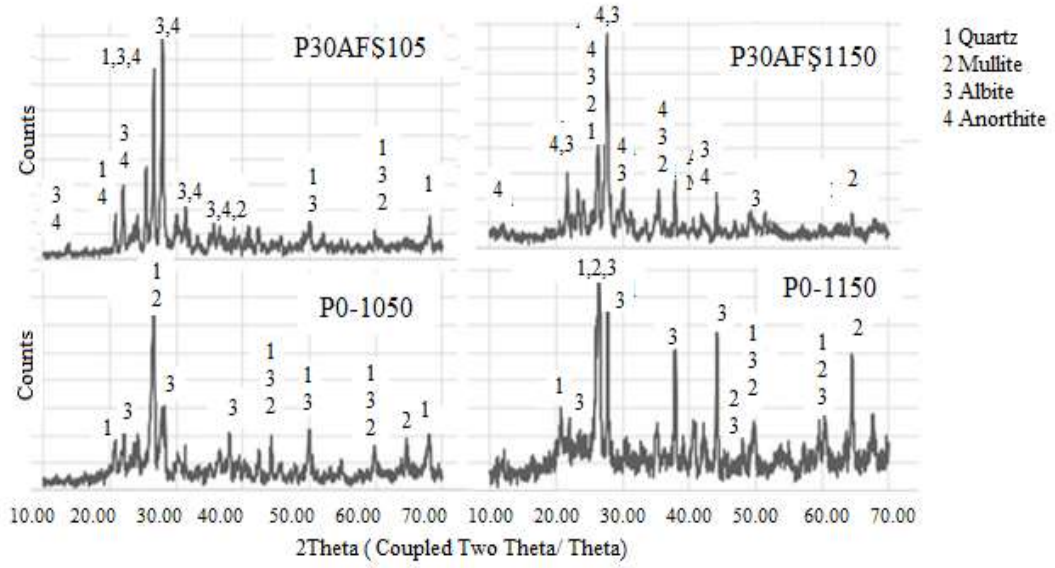
Şekil 5.52 %30 AFŞ, ÇAT, ÇAY, KAN katkılı ve K0 (katkısız) 1050 ve 1150 °C de pişmiş karo numunelerinin XRD paternleri.



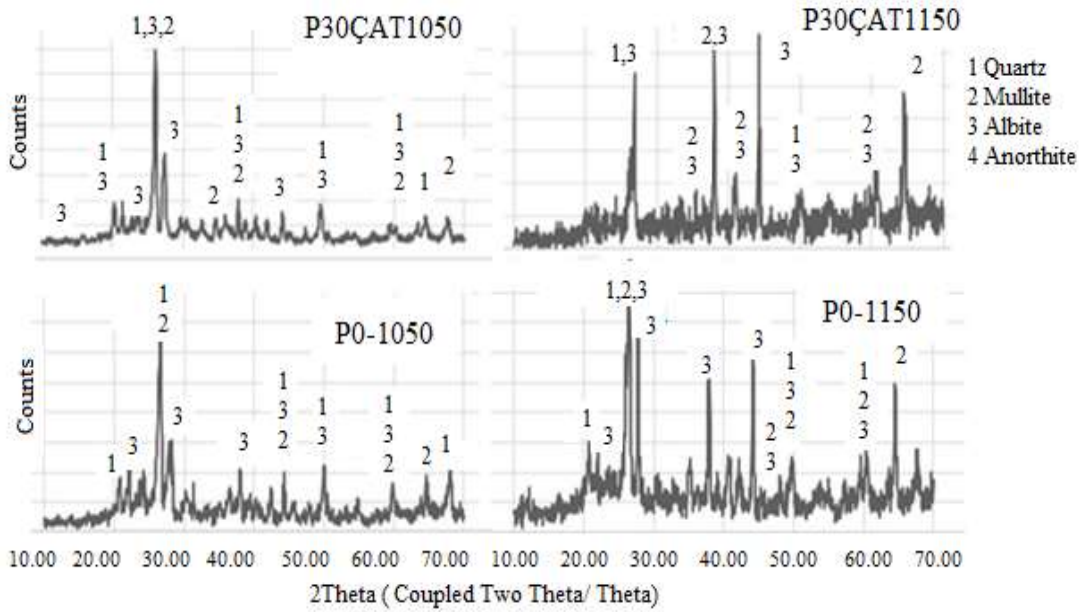
Şekil 5.53 Porselen numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.

Şekil 5.53'te P0, P0-1050 ve P0-1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. P0 hammaddesi (96-900-9667) Kuvars, (96-900-1632) Albit, (96-101-1046) Kaolinit ve (96-101-1050) Muskovit içermektedir. P0-1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-1632) Albit ve (96-900-9667) Kuvars pikleri görülmüştür. P0-1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-1632) Albit ve (96-900-9667) Kuvars pikleri görülmüştür. P0-1050 de mullit fazı kristallenmeye başlamış, P0-1150 numunesinde görünür pikler ve pik şiddeti artarak faz dönüşümü devam etmiştir.

Şekil 5.54'te P30AFŞ1050 ve P30AFŞ1150 numunelerinin XRD grafikleri verilmiştir. P30AFŞ1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. P30AFŞ1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. Porselen bünyesindeki anortit fazı oluşumu Afşin bölgesi kül içeriğindeki yüksek CaO ihtivasından kaynaklanmaktadır. Mullit fazı porselen bünyede kaolinit ve feldspatların varlığı sonucunda kristallenmektedir.



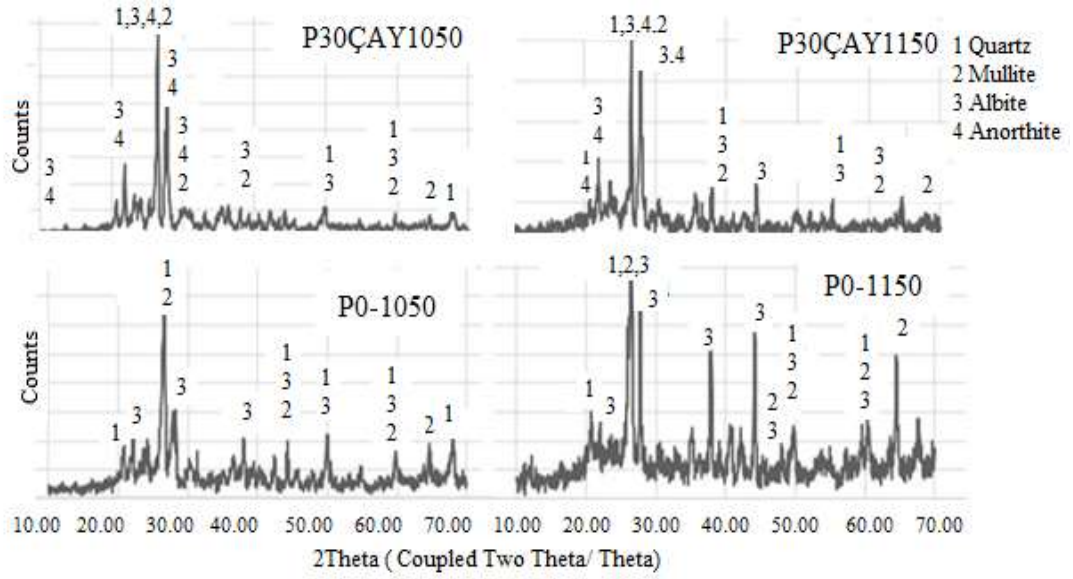
Şekil 5.54 %30 AFŞ katkılı porselen numunelerine ait XRD paternleri.



Şekil 5.55 %30 ÇAT katkılı porselen numunelerine ait XRD paternleri.

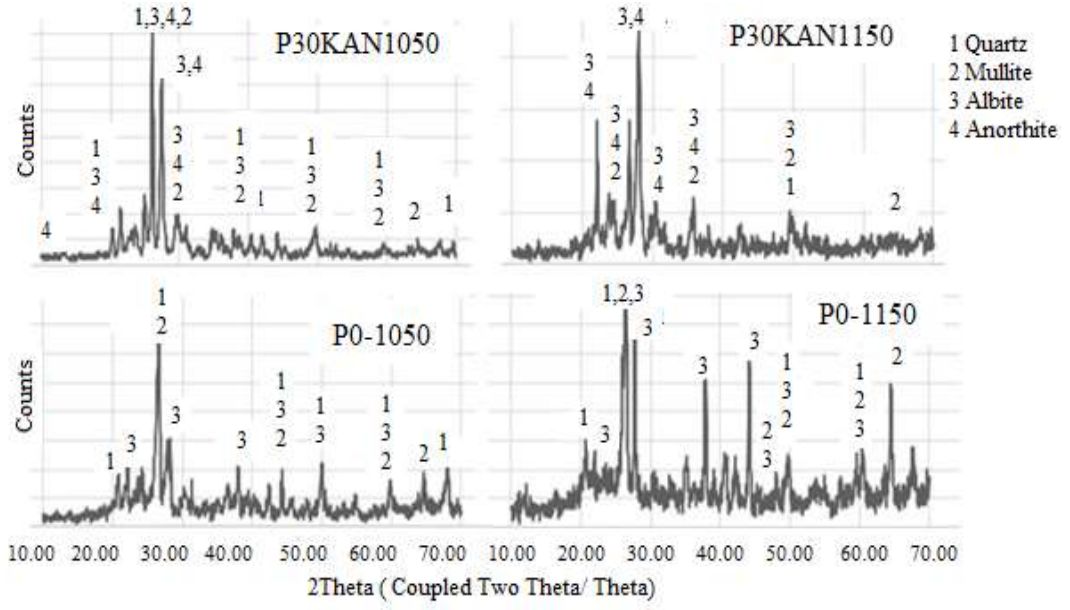
Şekil 5.55'te P30ÇAT1050 ve P30ÇAT1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. P30ÇAT1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. P30ÇAT1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. Hem porselen bünyesinde bulunan albitin dönüşmesi hem de Çatalağzı kül içeriğinde bulunan mullit, numunelerde mullit piklerini açığa çıkarmıştır. 1150 C de mullit faz dönüşümünün arttığı görünür pik sayısı ve pik şiddeti artışından gözlemlenebilmektedir.

Şekil 5.56'da P30ÇAY1050 ve P30ÇAY1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. P30ÇAY1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. P30ÇAY1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. Her iki numunede de aynı pikler tespit edilmiştir. 1050 de mullit ve anortit oluşumları başlamış olup 1150 de görünür pikler ve pik şiddetleri artmıştır.



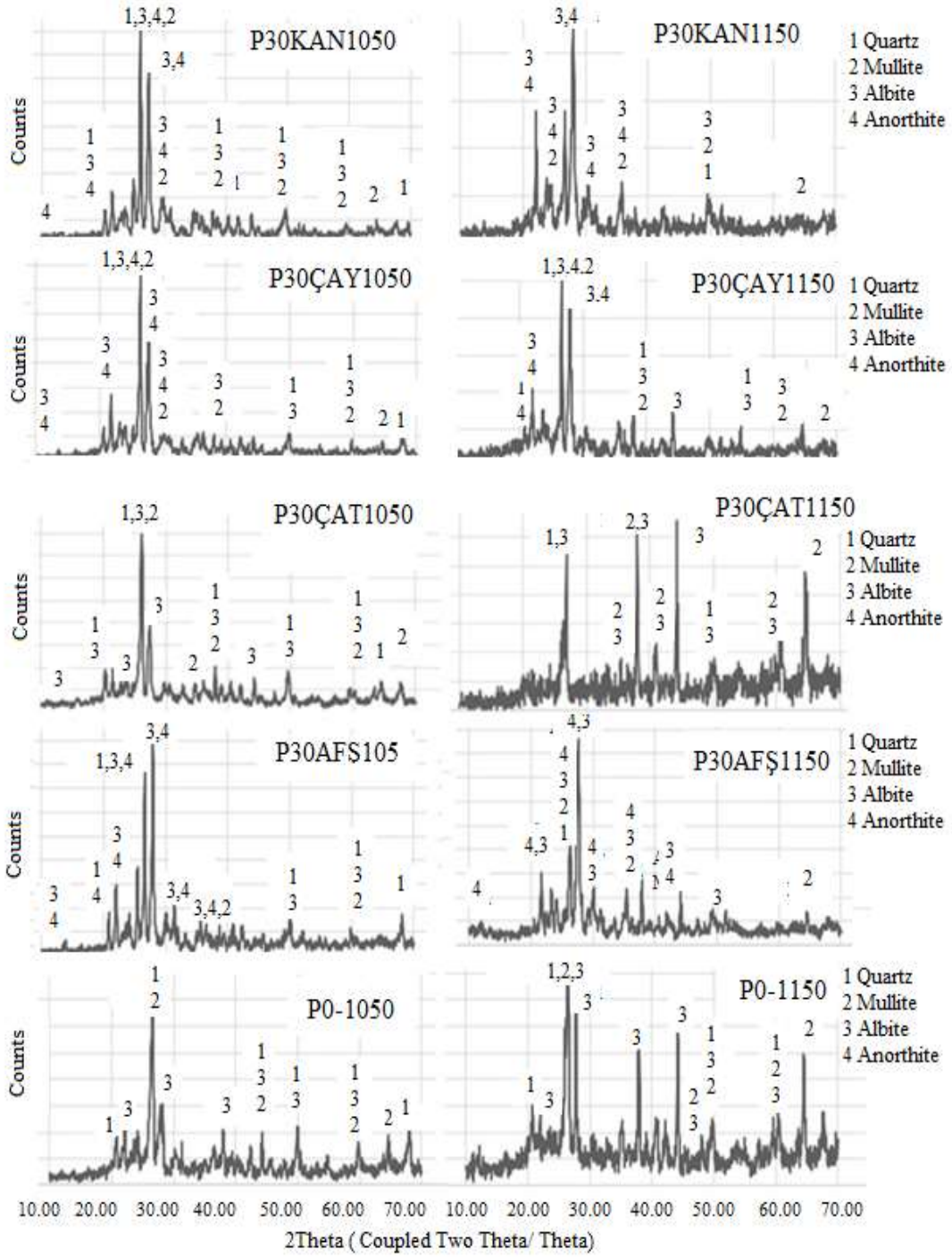
Şekil 5.56 %30 ÇAY katkılı porselen numunelerine ait XRD paternleri.

Şekil 5.57'de P30KAN1050 ve P30KAN1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. P30KAN1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. P30KAN1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. Her iki numunede de aynı pikler tespit edilmiştir. Kangal bölgesi kül içeriğinde de bir miktar anortit bulunmakta olup, 1050 de mullit ve anortit oluşumları başlamış, 1150 de görünür pikler ve pik şiddetleri artmıştır. Albit pik şiddetinin 1150 C de azalması, hem mullit dönüşümü hem de camsı faz oluşumu ile açıklanabilir.



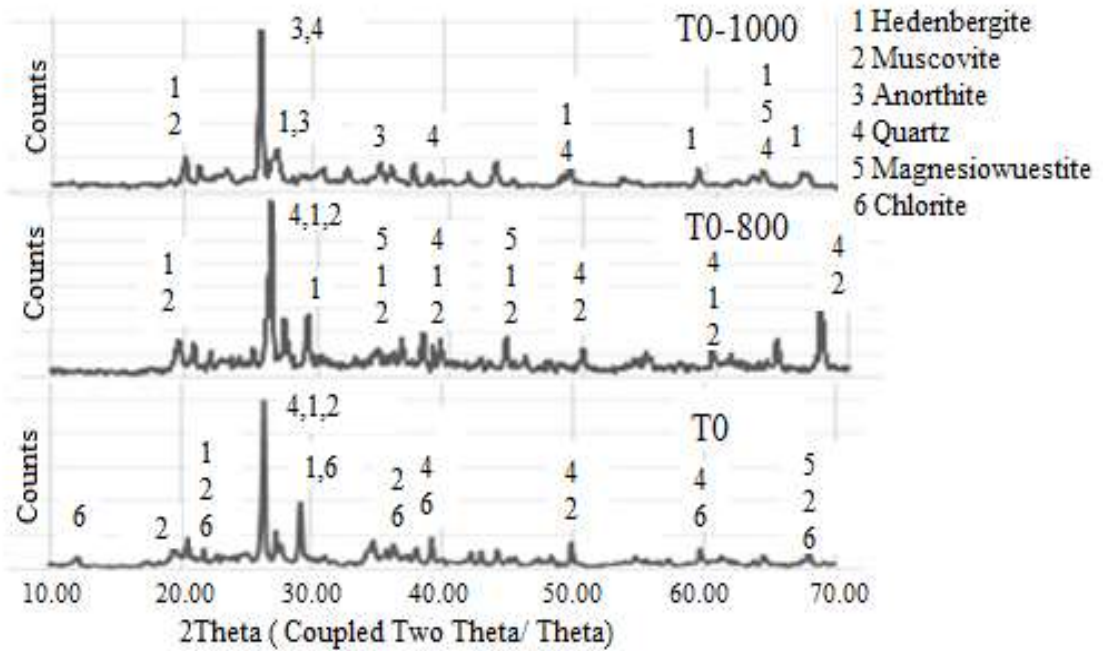
Şekil 5.57 %30 KAN katkılı porselen numunelerine ait XRD paternleri.

Şekil 5.58’de %30 kül katkılı 1050 ve 1150 de pişirilmiş XRD grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



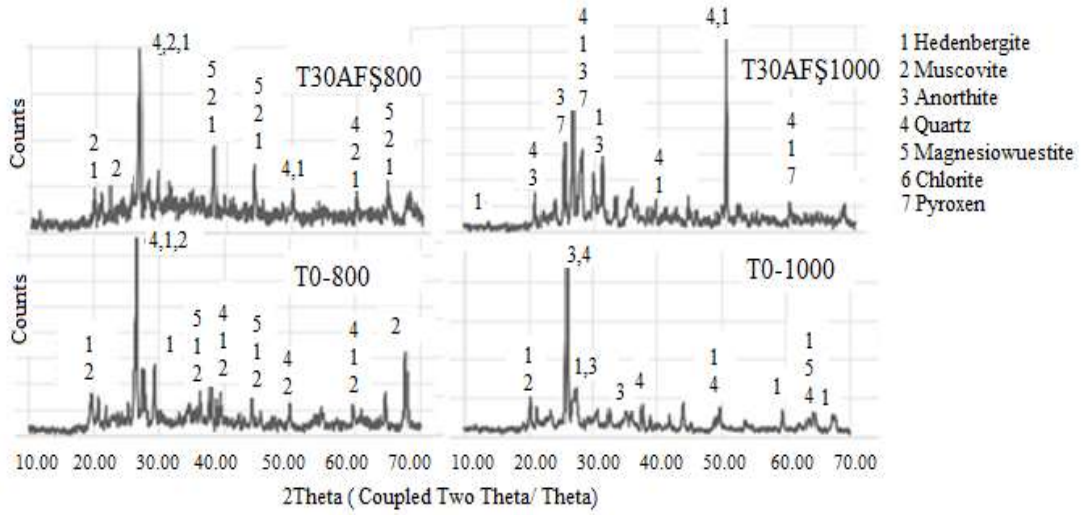
Şekil 5.58 %30 AFŞ, ÇAT, ÇAY, KAN katkılı ve P0 (katkısız) 1050 ve 1150 °C de pişmiş porselen numunelerinin XRD paternleri.

Şekil 5.59’da T0, T0-800 ve T0-1000 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. T0 hammaddesi (96-900-9667) Kuvars, (96-101-1050) Muskovit, (96-900-8367) Hatrurit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-900-0159) Klorit içermektedir. T0-800 numunesinde (96-900-9667) Kuvars, (96-101-1050) Muskovit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür. T0-1000 numunesinde (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür. Pişirim sıcaklığının 1000 C ye çıkmasıyla birlikte yapıda anortit fazı oluşumu gözlenmiştir.

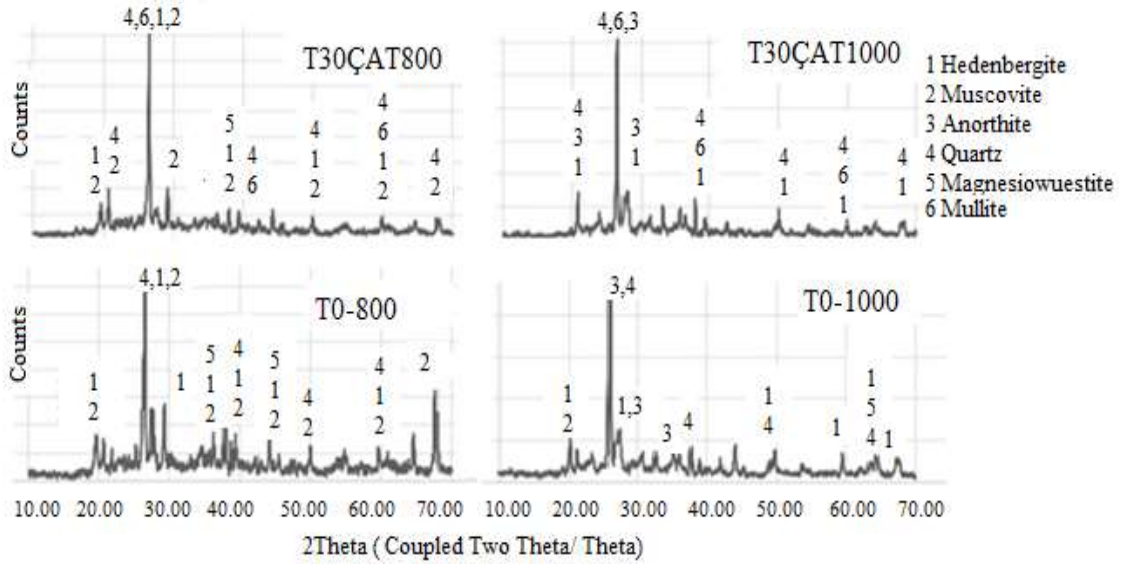


Şekil 5.59 Tuğla numunelerine ait numunelerin (T0: tuğla hammadde, T0-800: katkısız 800 °C de pişmiş tuğla numunesi, T0-1000: Katkısız 1000 ° C de pişmiş tuğla numunesi) XRD paternleri.

Şekil 5.60’ta T30AFŞ800 ve T30AFŞ1000 numunelerinin XRD grafikleri verilmiştir. T30AFŞ800 numunesinde (96-900-9667) Kuvars, (96-101-1050) Muskovit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür. T30AFŞ1000 numunesinde (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit, (96-900-3427) Piroksen ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür.



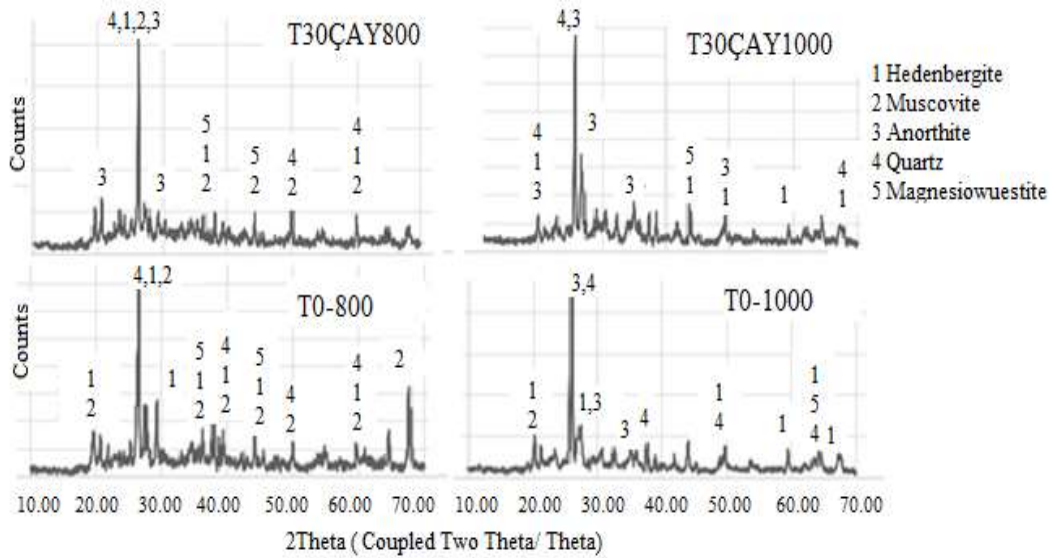
Şekil 5.60 %30 AFŞ katkılı tuğla numunelerine ait numunelerin (T30AFŞ800: %30 AFŞ katkılı 800 °C de pişmiş numune, T30AFŞ1000: %30 AFŞ katkılı 1000 °C de pişmiş numune, T0-800: katkısız 800 °C de pişmiş tuğla numunesi, T0-1000: Katkısız 1000 °C de pişmiş tuğla numunesi) XRD paternleri.



Şekil 5.61 %30 ÇAT katkılı tuğla numunelerine ait numunelerin (T30ÇAT800: %30 ÇAT katkılı 800 °C de pişmiş numune, T30ÇAT1000: %30 ÇAT katkılı 1000 °C de pişmiş numune, T0-800: katkısız 800 °C de pişmiş tuğla numunesi, T0-1000: Katkısız 1000 °C de pişmiş tuğla numunesi) XRD paternleri.

Şekil 5.61’te T30ÇAT800 ve T30ÇAT1000 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. T30ÇAT800 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-101-1050) Muskovit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür. T30ÇAT1000 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür.

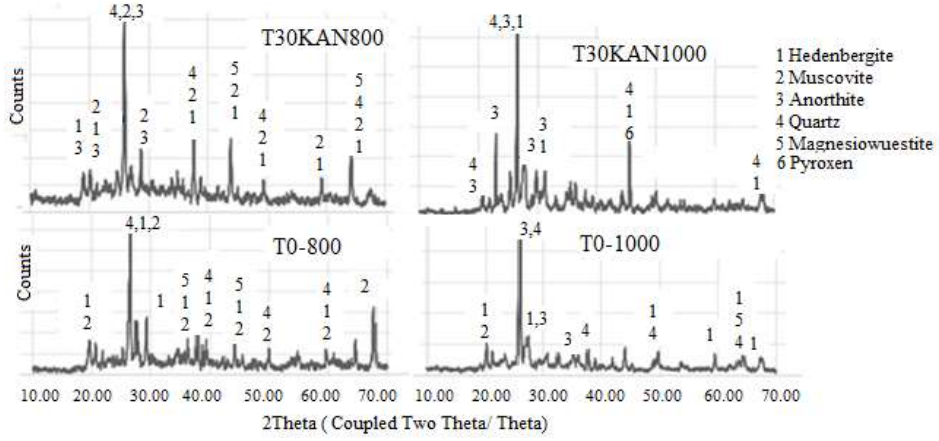
Şekil 5.62’de T30ÇAY800 ve T30ÇAY1000 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. T30ÇAY800 numunesinde (96-900-9667) Kuvars, (96-101-1050) Muskovit, (96-900-0362) Anortit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür. T30ÇAY1000 numunesinde (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür.



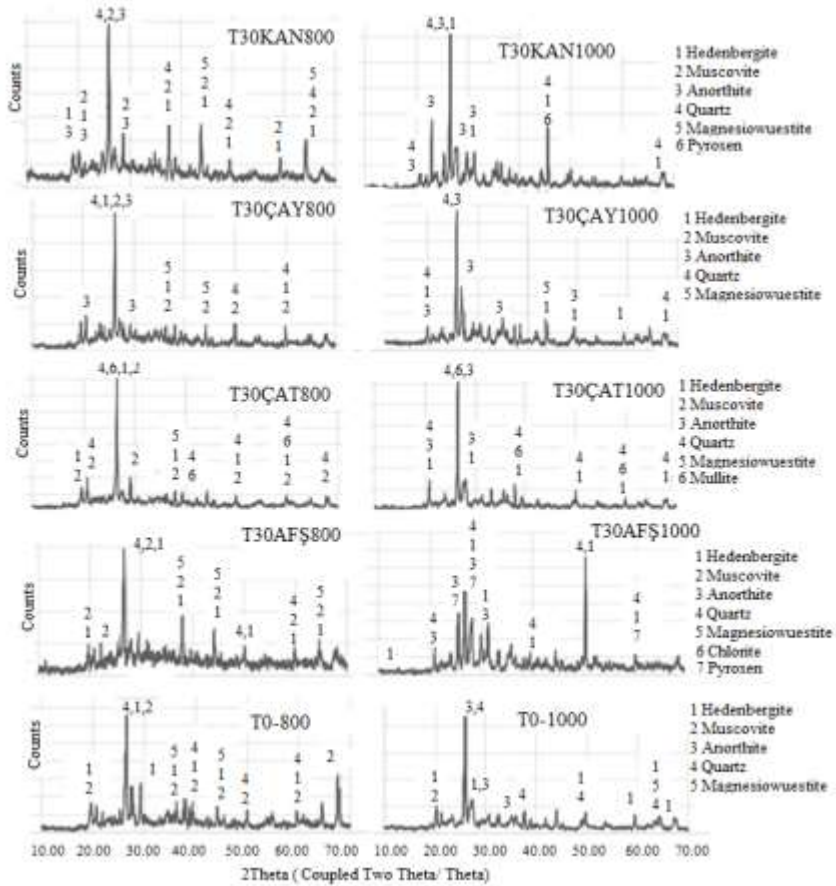
Şekil 5.62 %30 ÇAY katkılı tuğla numunelerine ait numunelerin (T30ÇAY800: %30 ÇAY katkılı 800 °C de pişmiş numune, T30ÇAY1000: %30 ÇAY katkılı 1000 °C de pişmiş numune, T0-800: katkısız 800 °C de pişmiş tuğla numunesi, T0-1000: Katkısız 1000 °C de pişmiş tuğla numunesi) XRD paternleri.

Şekil 5.63’te T30KAN800 ve T30KAN1000 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. T30KAN800 numunesinde (96-900-9667) Kuvars, (96-101-1050) Muskovit, (96-900-0362) Anortit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür. T30KAN1000 numunesinde (96-900-9667) Kuvars, (96-900-3427)

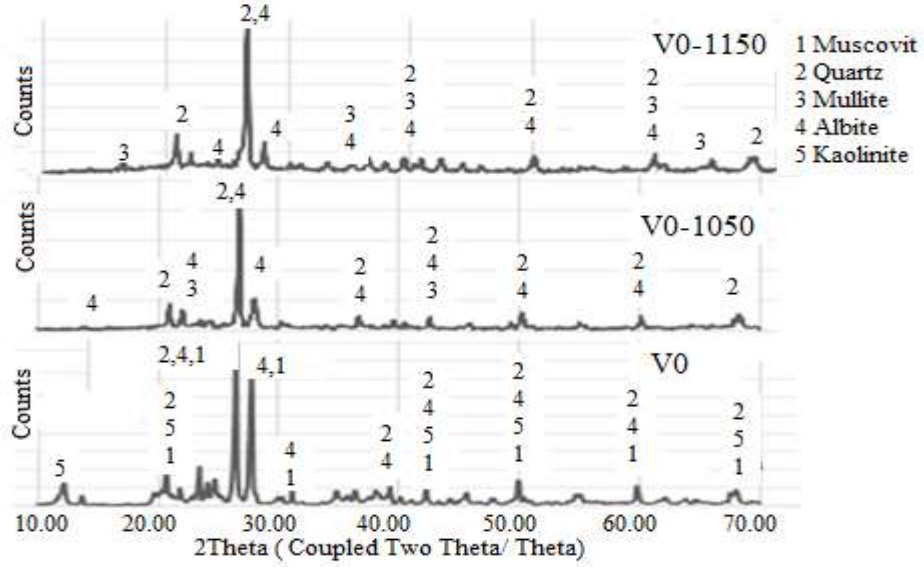
Piroksen, (96-900-0362) Anortit, (96-900-6064) Magnezovüsit ve (96-901-0856) Hedenbergit pikleri görülmüştür. Şekil 5.64'te %30 kül katkıli 800 ve 1000 de pişirilmiş XRD grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.63 %30 KAN katkıli karo numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.

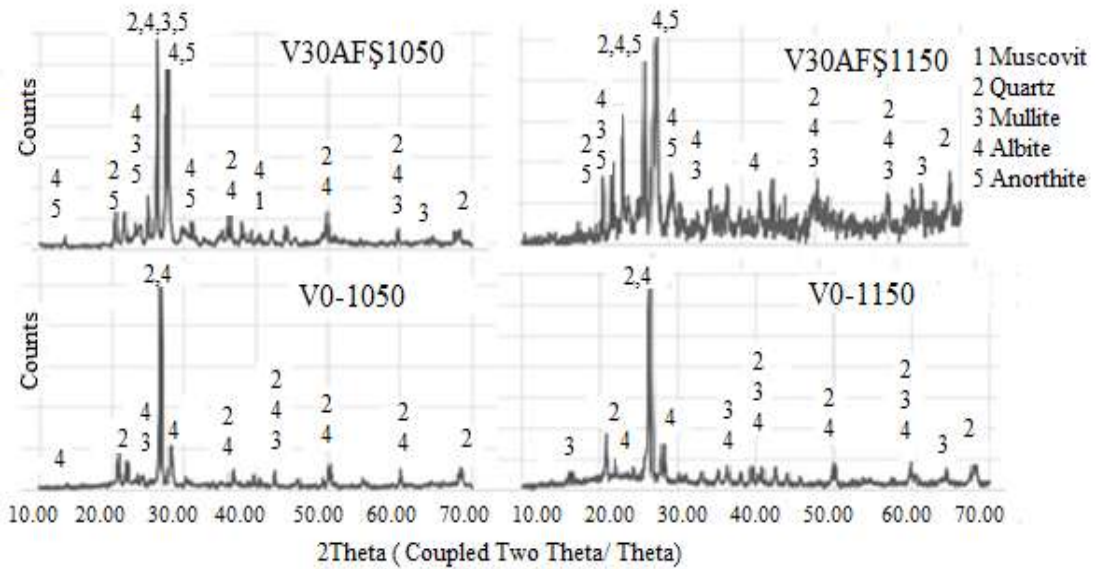


Şekil 5.64 %30 AFŞ, ÇAT, ÇAY, KAN katkıli ve T0 (katkısız) 800 ve 1000 °C de pişmiş tuğla numunelerinin XRD paternleri.



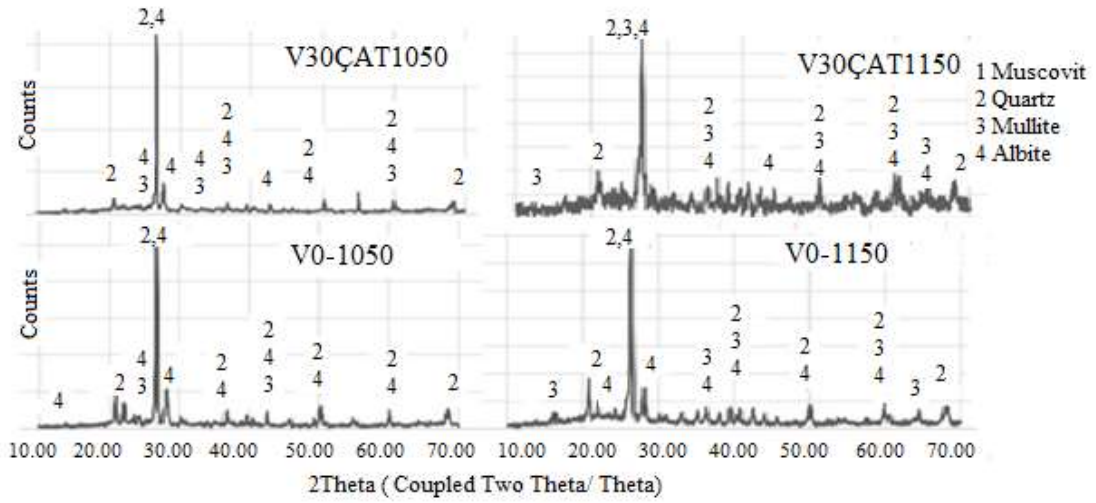
Şekil 5.65 Vitrikiye numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.

Şekil 5.65'te V0, V0-1050 ve V0-1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. V0 hammaddesi (96-900-9667) Kuvars, (96-101-1046) Kaolinit, (96-101-1050) Muskovit ve (96-900-1632) Albit içermektedir. V0-1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-1632) Albit ve (96-900-9667) Kuvars pikleri görülmüştür. V0-1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-1632) Albit ve (96-900-9667) Kuvars pikleri görülmüştür. V0-1050 de mullit fazı kristallenmeye başlamış, V0-1150 numunesinde albit piklerinin şiddetleri düşerek büyük bir bölümü mullite dönüşerek kristallenme devam etmiştir.



Şekil 5.66 %30 AFŞ katkılı vitrikiye numunelerine ait XRD paternleri.

Şekil 5.66’da V30AFŞ1050 ve V30AFŞ1150 numunelerinin XRD grafikleri verilmiştir. V30AFŞ1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. V30AFŞ1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. Vitrikiye bünyesindeki anortit fazı oluşumu Afşin bölgesi kül içeriğindeki yüksek CaO ihtivasından kaynaklanmaktadır. Mullit fazı porselen bünyede kaolinit ve feldspatların varlığı sonucunda kristallenmektedir.

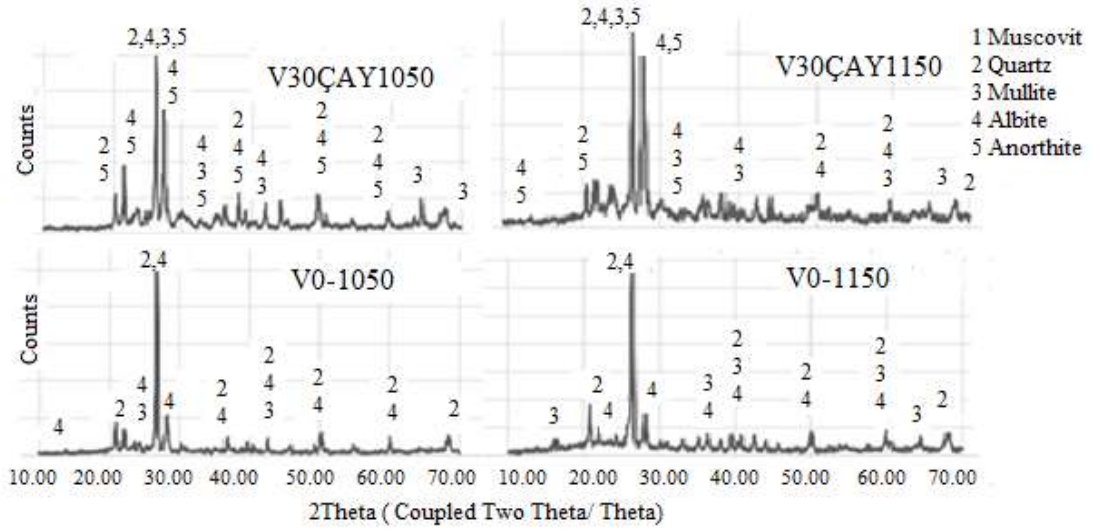


Şekil 5.67 %30 ÇAT katkılı vitrikiye numunelerine ait numunelerin XRD paternleri.

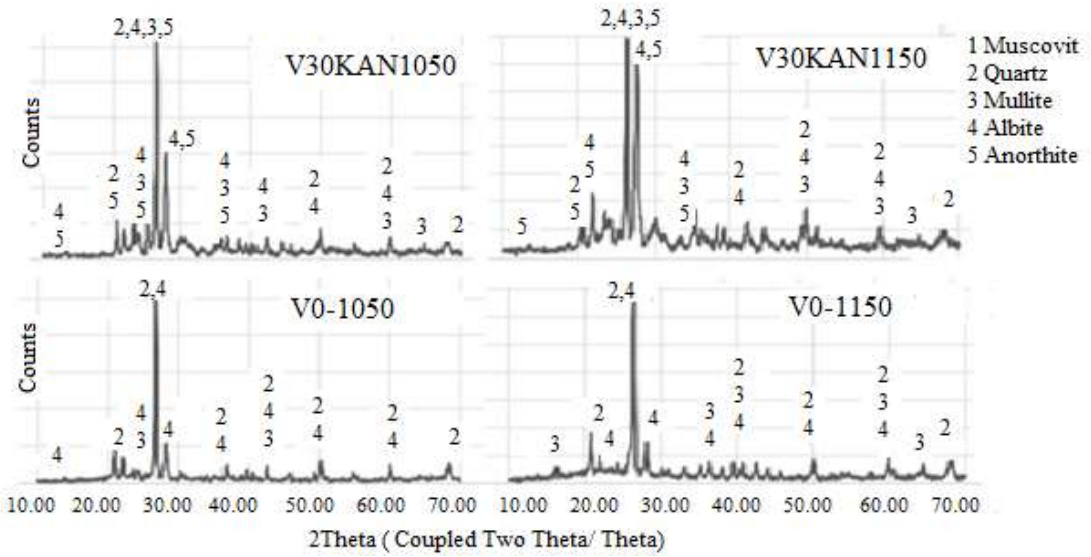
Şekil 5.67’de V30ÇAT1050 ve V30 AT1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. V30ÇAT1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. V30ÇAT1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. Hem vitrikiye bünyesinde bulunan albitin dönüşmesi hem de Çatalağzı kül içeriğinde bulunan mullit, numunelerde mullit piklerini açığa çıkarmıştır. 1150 C de mullit faz dönüşümünün arttığı görünür pik sayısı ve pik şiddeti artışından gözlemlenebilmektedir.

Şekil 5.68’de V30ÇAY1050 ve V30ÇAY1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. V30ÇAY1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. V30ÇAY1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. Her iki numunede de aynı pikler tespit

edilmiştir. 1050 de mullit ve anortit oluşumları başlamış olup 1150 de görünür pikler ve pik şiddetleri artmıştır.



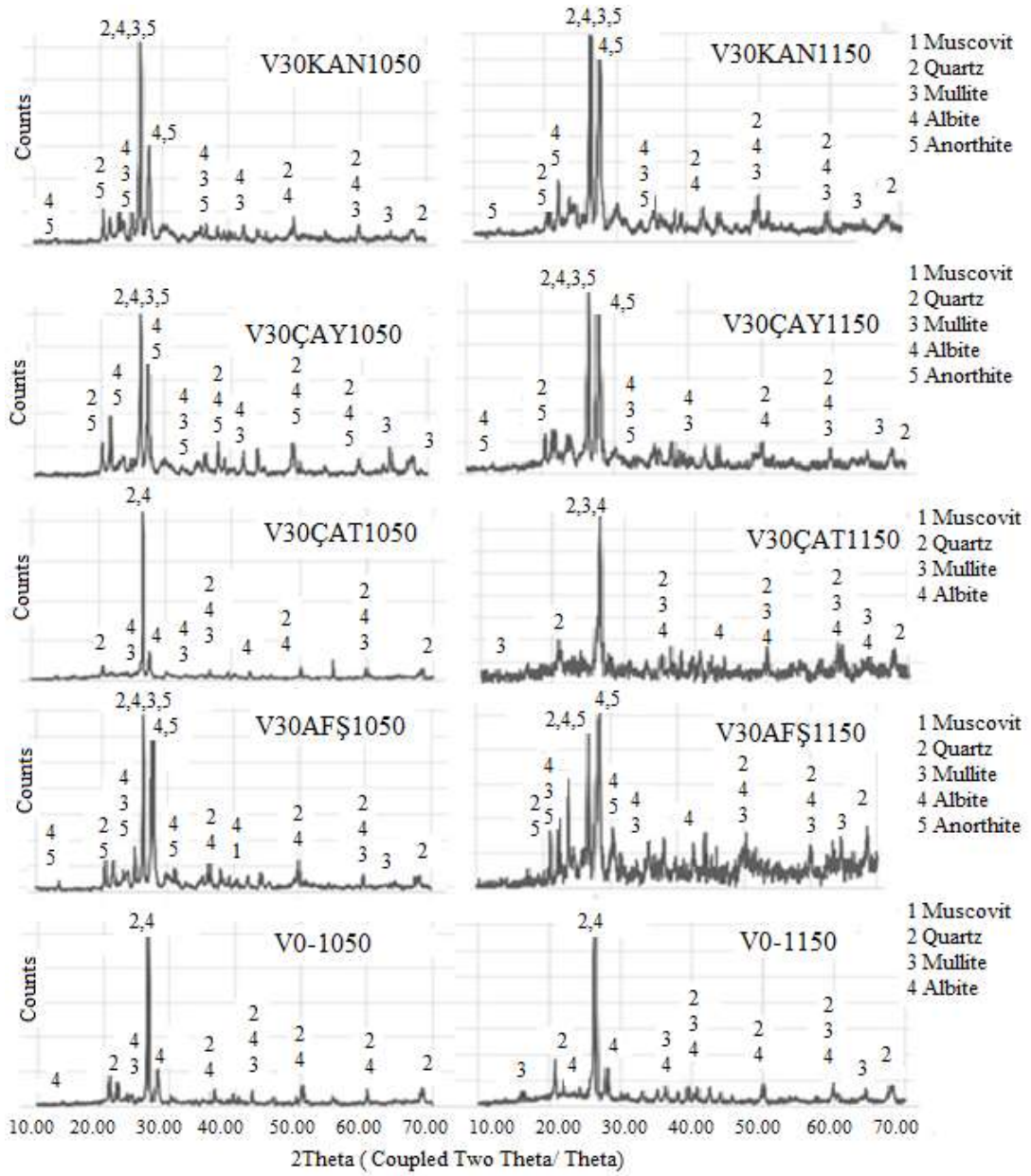
Şekil 5.68 %30 ÇAY katkılı vitrifiye numunelerine ait XRD paternleri.



Şekil 5.69 %30 KAN katkılı vitrifiye numunelerinin XRD paternleri.

Şekil 5.69’da V30KAN1050 ve V30KAN1150 numunelerine ait XRD grafikleri verilmiştir. V30KAN1050 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve (96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. V30KAN1150 numunesinde (96-900-5502) Mullit, (96-900-9667) Kuvars, (96-900-0362) Anortit ve

(96-900-1632) Albit pikleri görülmüştür. Her iki numunede de aynı pikler tespit edilmiştir. Kangal bölgesi kül içeriğinde de bir miktar anortit bulunmakta olup, 1050 de mullit ve anortit oluşumları başlamış, 1150 de görünür pikler ve pik şiddetleri artmıştır. Albit pik şiddetinin 1150 C de azalması, hem mullit dönüşümü hem de camı faz oluşumu ile açıklanabilir. Şekil 5.70'de %30 kül katkılı 1050 ve 1150 de pişirilmiş XRD grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.70 %30 AFŞ, ÇAT, ÇAY, KAN katkılı ve V0 (katkısız) 1050 ve 1150 °C de pişmiş vitrifiye numunelerinin XRD paternleri.

5.8 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve EDS Analiz Sonuçları

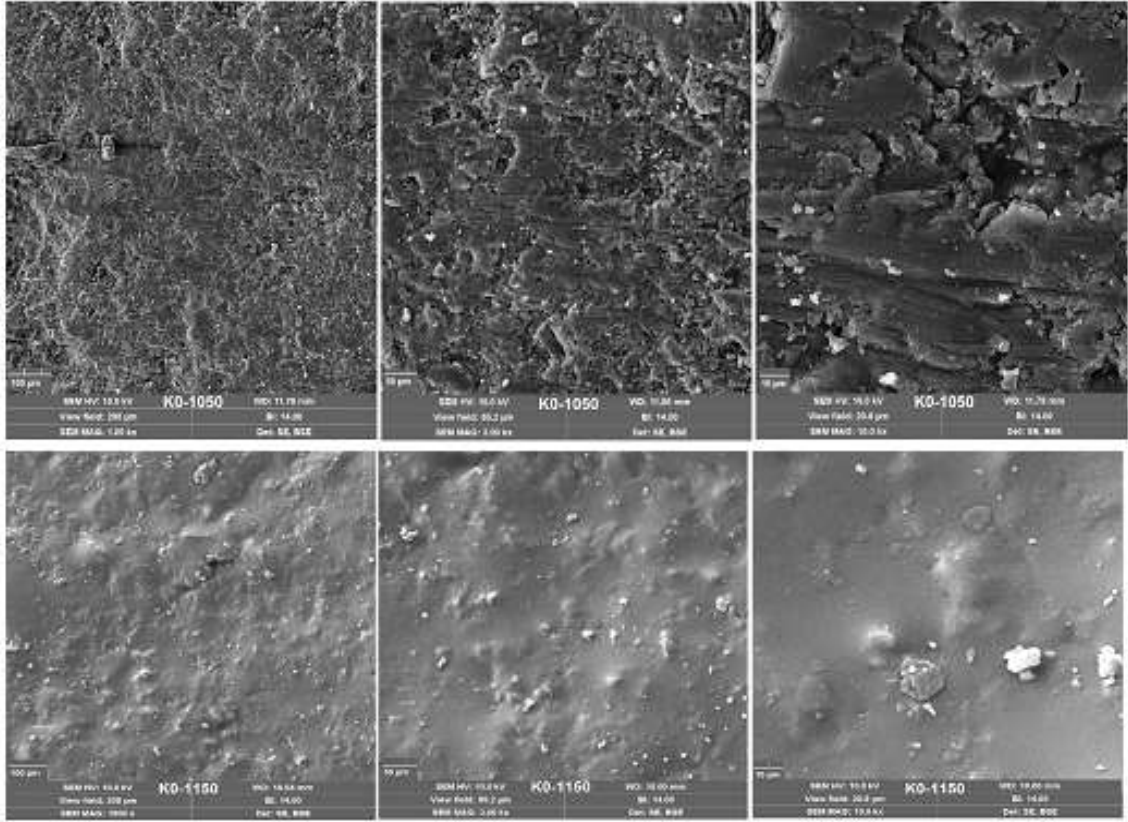
Taramalı elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerde 1050 °C ve 1150 °C de sinterlenen numunelerin farklı büyütme oranlarında mikro yapıları alınıp EDS analizleri yapılmıştır. Elde edilen seramik numunelerdeki incelenen SEM mikroyapısı ve EDS analizlerinde genellikle ergimemiş olan feldispattan dolayı, Al₂O₃, SiO₂ ve K₂O nin varlığı tespit edilmiştir. Burada feldispatların ergimemesi pişirim süresinin ve derecesinin yeterli olmadığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

İncelenen SEM görüntülerinin sıcaklığın artması ile oluşan sıvı faz nedeni ile mikroyapıdaki poroziteler azalmıştır, düşük sıcaklıklarda ise porozitenin varlığı görülmektedir. Ayrıca özellikle yüksek sıcaklıklarda oluşan mullit fazının mukavemeti artırdığı görülmüştür. SEM mikro yapılarında görülen az miktarda ve küçük boyuta sahip olan kuvars taneleride mukavemete olumlu yönde etki sağlayan etkidir.

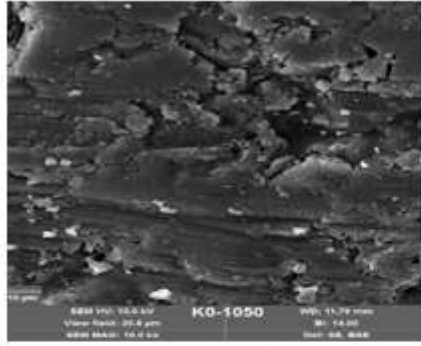
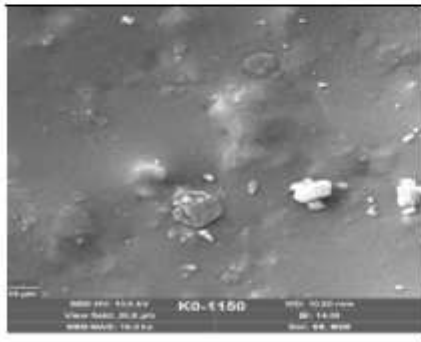
5.8.1 Karo numunelerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) analiz sonuçları

Şekil 5.71-5.80 de 1050 °C ve 1150 °C de sinterlenen % 0, 15 ve 30 farklı termik santrallerden temin edilen uçucu külü içeren karo numunelerine ait taramalı elektron mikroskobu sonuçları verilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerde 1050 °C ve 1150 °C de sinterlenen numunelerin farklı büyütme oranlarında mikro yapıları alınıp EDS analizleri yapılmıştır.

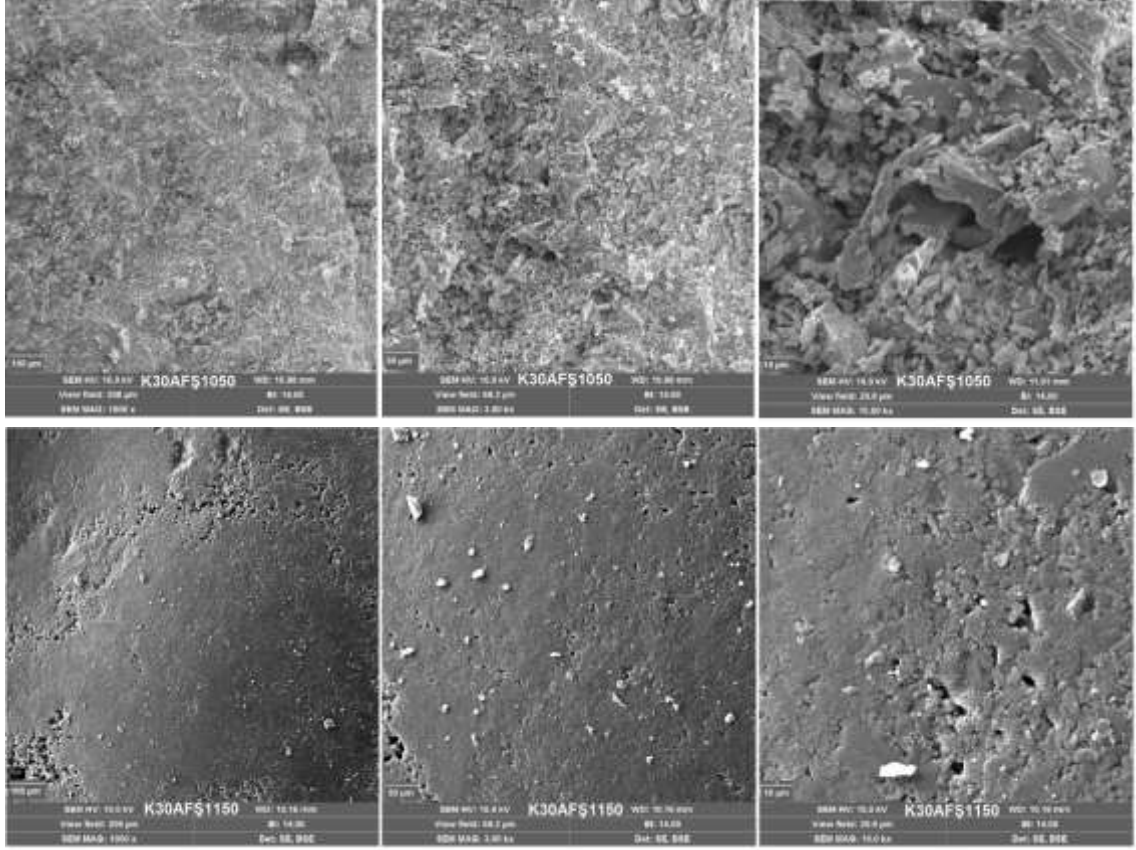
Elde edilen seramik numunelerdeki incelenen SEM mikroyapısı ve EDS analizlerinde genellikle ergimemiş olan feldispattan dolayı, Al₂O₃, SiO₂ ve K₂O nin varlığı tespit edilmiştir. Burada feldispatların ergimemesi pişirim süresinin ve derecesinin yeterli olmadığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. İncelenen SEM görüntülerinin sıcaklığın artması ile oluşan sıvı faz nedeni ile mikroyapıdaki poroziteler azalmıştır, düşük sıcaklıklarda ise porozitenin varlığı görülmektedir. Ayrıca özellikle yüksek sıcaklıklarda oluşan mullit fazının mukavemeti artırdığı görülmüştür. SEM mikro yapılarında görülen az miktarda ve küçük boyuta sahip olan kuvars taneleride mukavemete olumlu yönde etki sağlayan etkidir.



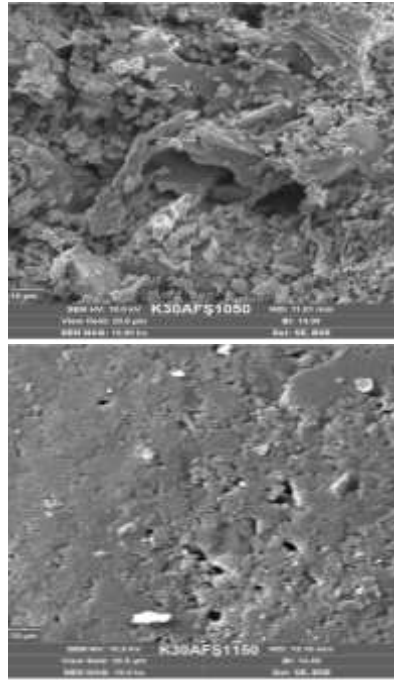
Şekil 5.71 Katkısız Karo numunelerinin SEM görüntüleri.

	K0-1050	
	O	55,6
	Na	2,35
	Mg	0,80
	Al	12,17
	Si	24,08
	K	2,15
	Ca	0,26
	Ti	0,56
	Fe	1,98
		100,00
	K0-1150	
	O	54,26
	Na	2,82
	Mg	0,38
	Al	10,62
	Si	26,80
	K	1,60
	Ca	0,00
	Ti	0,00
	Fe	3,52
		100,00

Şekil 5.72 Katkısız Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları

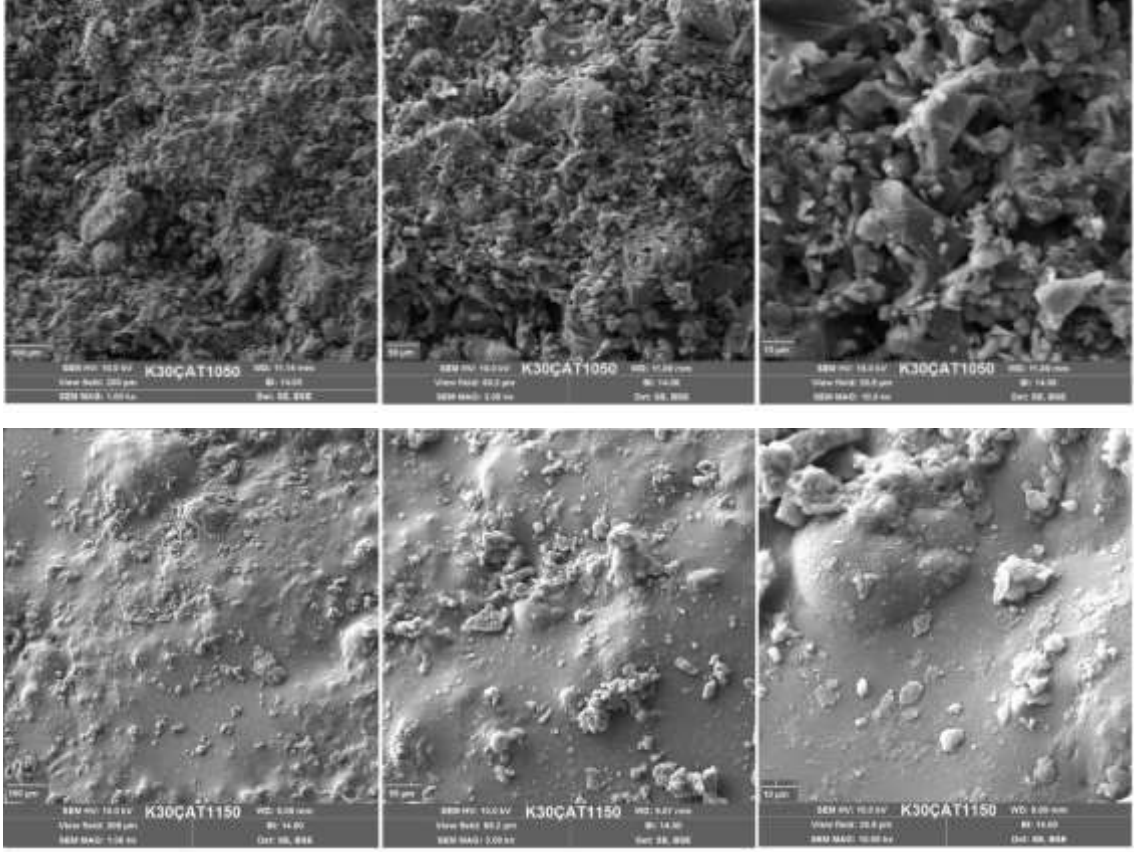


Şekil 5.73 %30 Afşin uçucu kül katkılı Karo numunelerinin SEM görüntüleri.

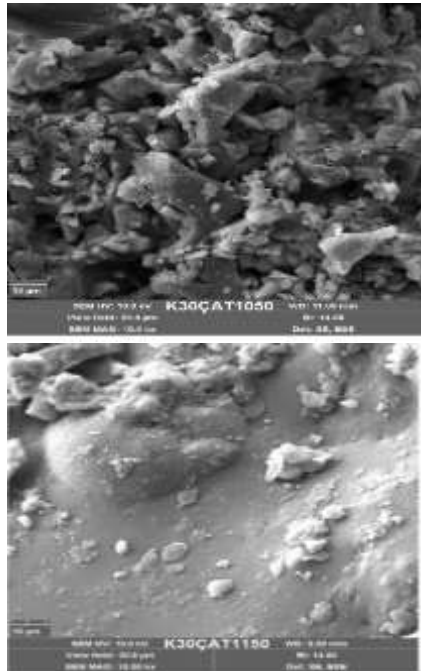


K30AFŞ1050			
O	60.96		
Na	2.73	Na ₂ O	9.28
Mg	0.51	MgO	1.07
Al	7.60	Al ₂ O ₃	18.11
Si	21.38	SiO ₂	57.68
K	1.24	K ₂ O	3.77
Ca	2.26	CaO	3.99
Ti	0.44	TiO ₂	0.93
Fe	2.87	Fe ₂ O ₃	5.18
			100.00
K30AFŞ1150			
O	57.20		
Na	1.48	Na ₂ O	4.82
Mg	0.49	MgO	0.98
Al	11.00	Al ₂ O ₃	25.11
Si	20.86	SiO ₂	53.92
K	0.00	K ₂ O	0.00
Ca	8.97	CaO	15.16
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	0.00	Fe ₂ O ₃	0.00
			100.00

Şekil 5.74 %30 Afşin uçucu kül katkılı Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları

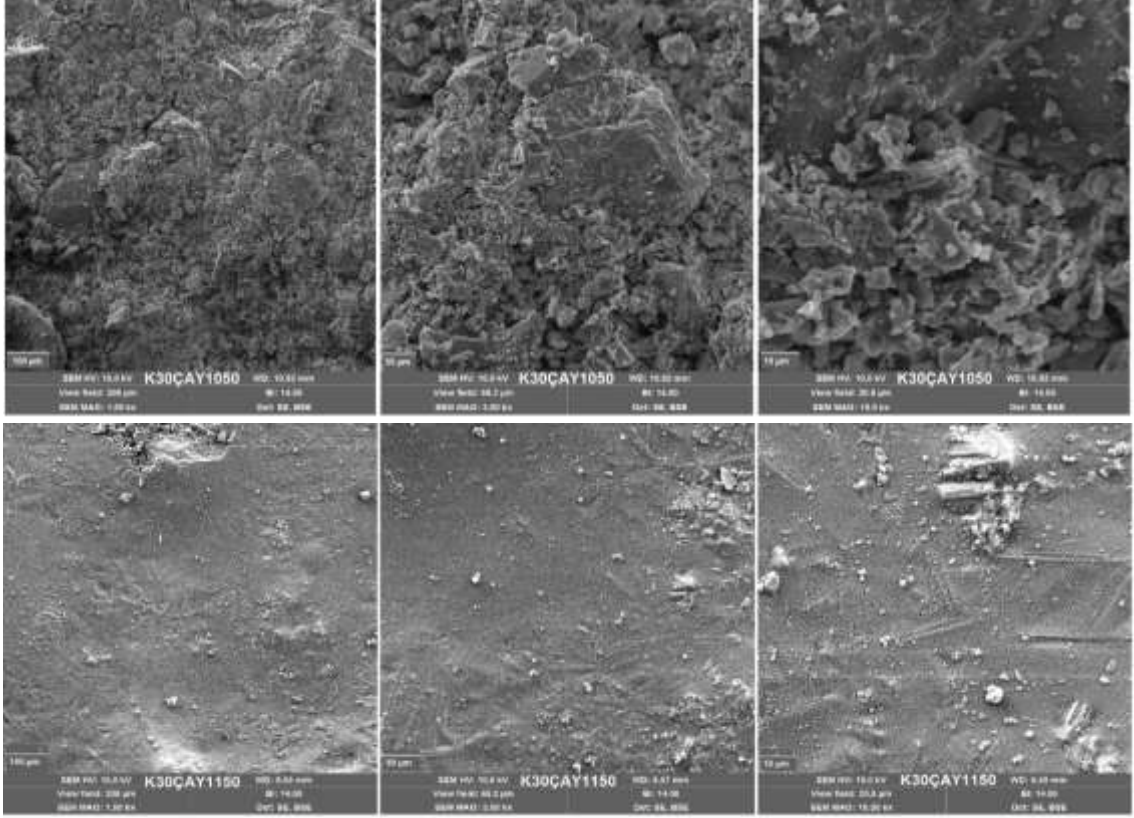


Şekil 5.75 %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Karo numunelerinin SEM görüntüleri.

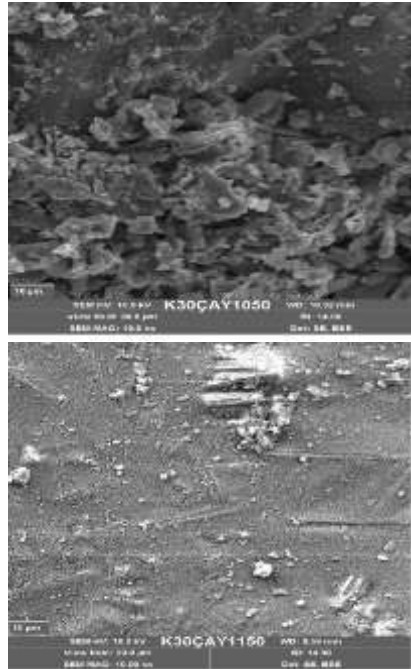


K30ÇAT1050			
O	58.90		
Na	2.01	Na ₂ O	6.44
Mg	0.53	MgO	1.05
Al	8.96	Al ₂ O ₃	20.13
Si	23.89	SiO ₂	60.78
K	1.65	K ₂ O	4.73
Ca	0.35	CaO	0.58
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	3.70	Fe ₂ O ₃	6.29
			100.00
K30ÇAT1150			
O	56.53		
Na	2.14	Na ₂ O	6.77
Mg	1.53	MgO	2.98
Al	9.57	Al ₂ O ₃	21.21
Si	20.06	SiO ₂	50.34
K	1.41	K ₂ O	3.98
Ca	1.28	CaO	2.10
Ti	0.33	TiO ₂	0.65
Fe	7.14	Fe ₂ O ₃	11.97
			100.00

Şekil 5.76 %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları

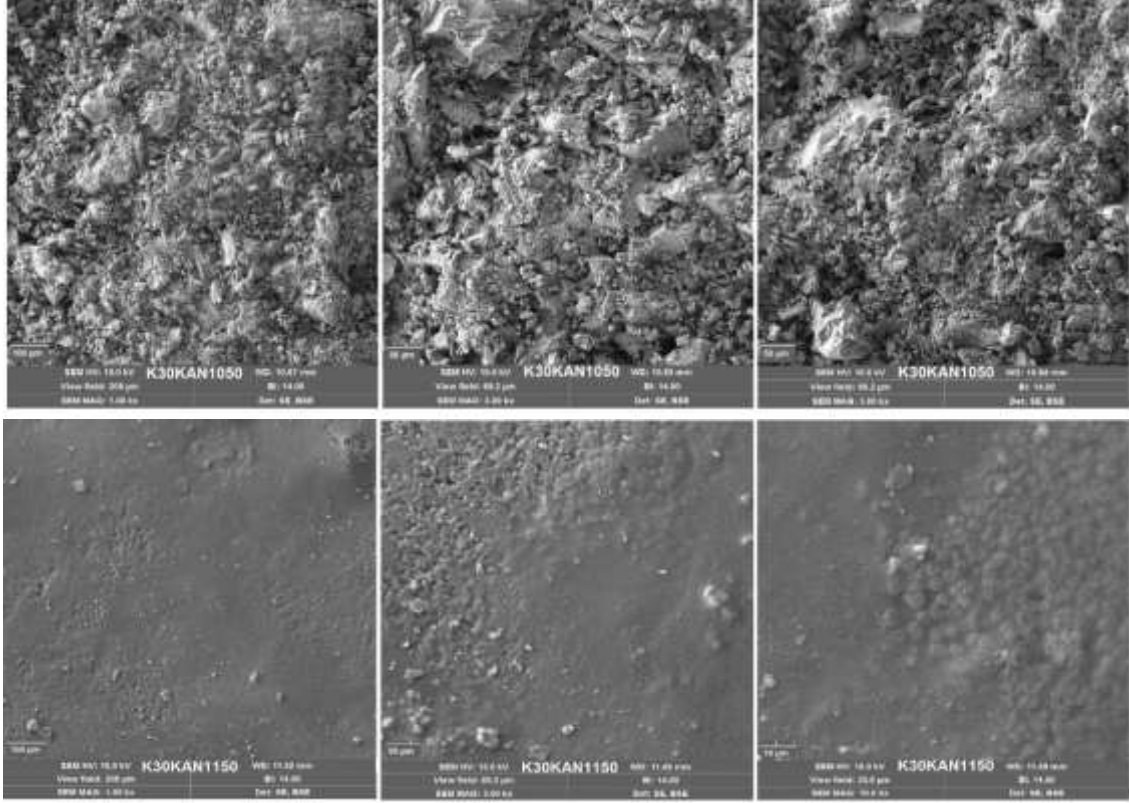


Şekil 5.77 %30 Çayırhan uçucu kül katkılı Karo numunelerinin SEM görüntüleri.

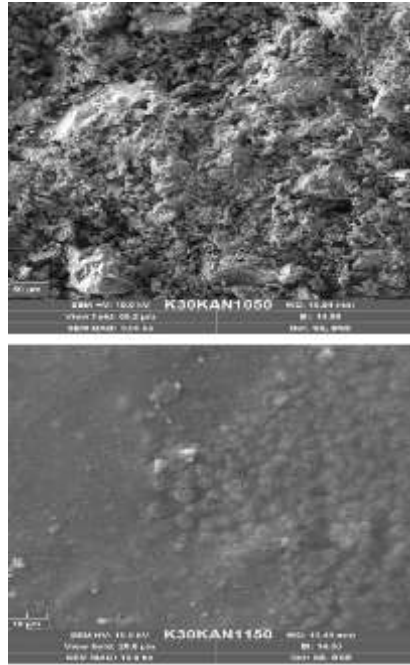


K30ÇAY1050			
O	47.94		
Na	1.68	Na ₂ O	4.37
Mg	1.36	MgO	2.18
Al	10.35	Al ₂ O ₃	18.89
Si	28.14	SiO ₂	58.15
K	2.10	K ₂ O	4.89
Ca	3.86	CaO	5.22
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	4.57	Fe ₂ O ₃	6.31
			100.00
K30ÇAY1150			
O	56.59		
Na	2.48	Na ₂ O	8.36
Mg	2.34	MgO	4.85
Al	5.03	Al ₂ O ₃	11.88
Si	15.26	SiO ₂	40.80
K	1.17	K ₂ O	3.52
Ca	0.81	CaO	1.42
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	16.33	Fe ₂ O ₃	29.18
			100.00

Şekil 5.78 %30 Çayırhan uçucu kül katkılı Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları



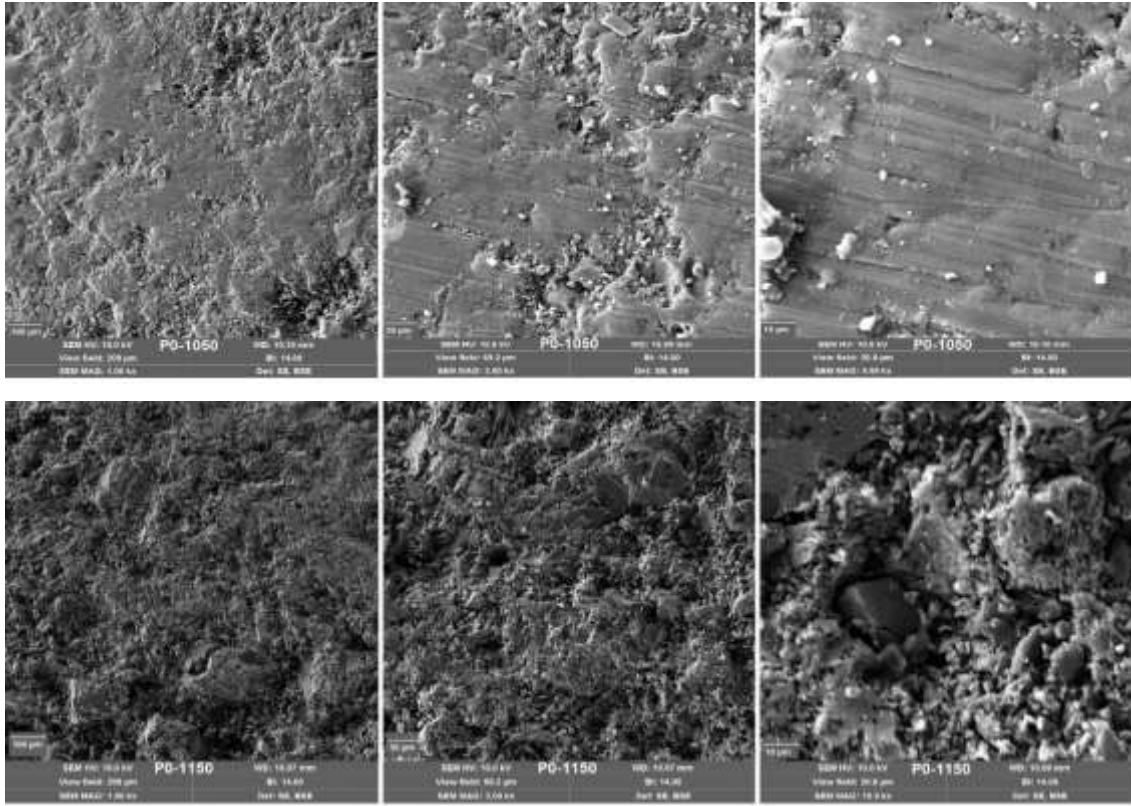
Şekil 5.79 %30 Kangal uçucu kül katkılı Karo numunelerinin SEM görüntüleri



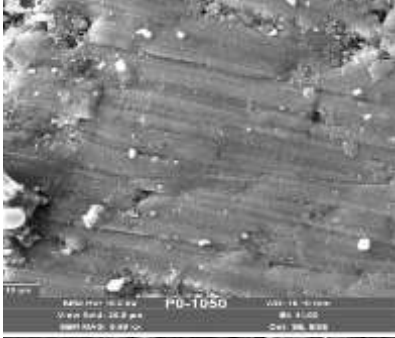
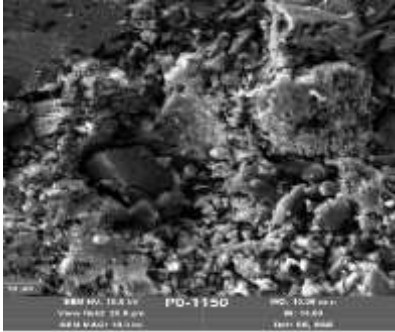
K30KAN1050			
O	63.98		
Na	3.45	Na ₂ O	13.04
Mg	0.51	MgO	1.19
Al	7.42	Al ₂ O ₃	19.66
Si	15.37	SiO ₂	46.12
K	1.02	K ₂ O	3.45
Ca	0.00	CaO	0.00
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	8.25	Fe ₂ O ₃	16.54
			100.00
K30KAN1150			
O	54.54		
Na	4.13	Na ₂ O	12.30
Mg	0.90	MgO	1.65
Al	6.80	Al ₂ O ₃	14.19
Si	21.86	SiO ₂	51.64
K	1.68	K ₂ O	4.47
Ca	5.18	CaO	8.00
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	4.91	Fe ₂ O ₃	7.75
			100.00

Şekil 5.80 %30 Kangal uçucu kül katkılı Karo numunelerinin EDS analiz sonuçları

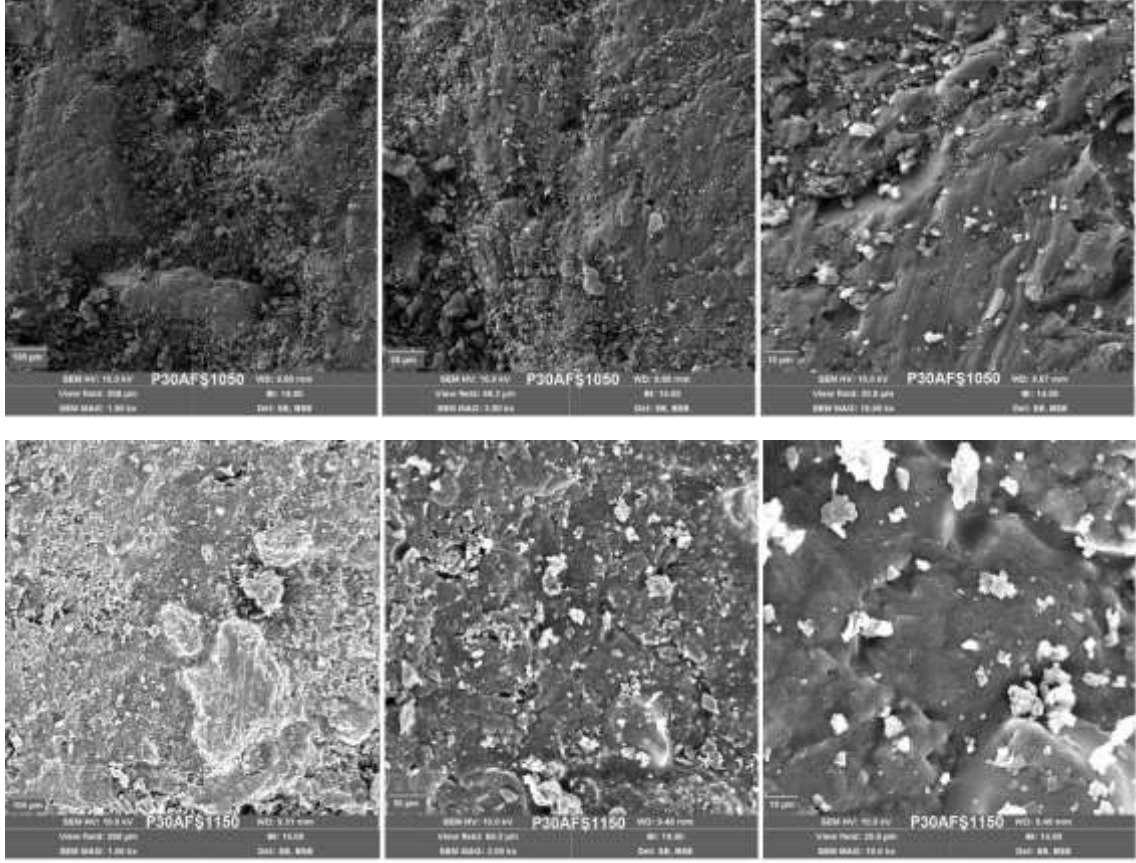
5.8.2 Porselen numunelerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) analiz sonuçları



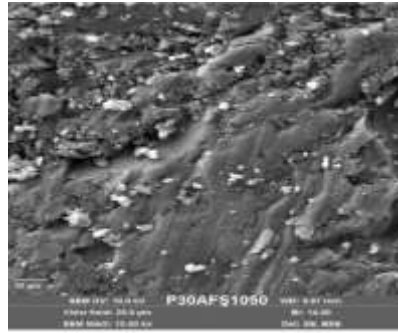
Şekil 5.81 Katkısız Porselen numunelerinin SEM görüntüleri.

	P00TEM1050	
	O	58.97
	Na	2.82
	Mg	0.11
	Al	11.60
	Si	22.96
	K	0.93
	Ca	0.72
	Ti	0.00
	Fe	1.89
		100.00
	P00TEM1150	
	O	64.79
	Na	3.44
	Mg	0.00
	Al	10.42
	Si	19.60
	K	0.84
	Ca	0.91
	Ti	0.00
	Fe	0.00
		100.00

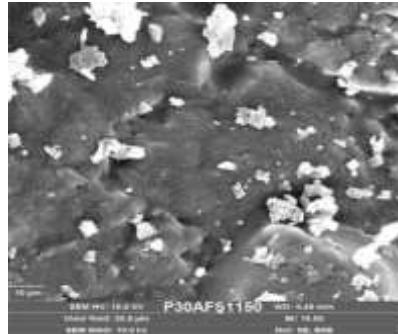
Şekil 5.82 Katkısız Porselen numunelerinin EDS analiz sonuçları



Şekil 5.83 %30 Afşin uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin SEM görüntüleri

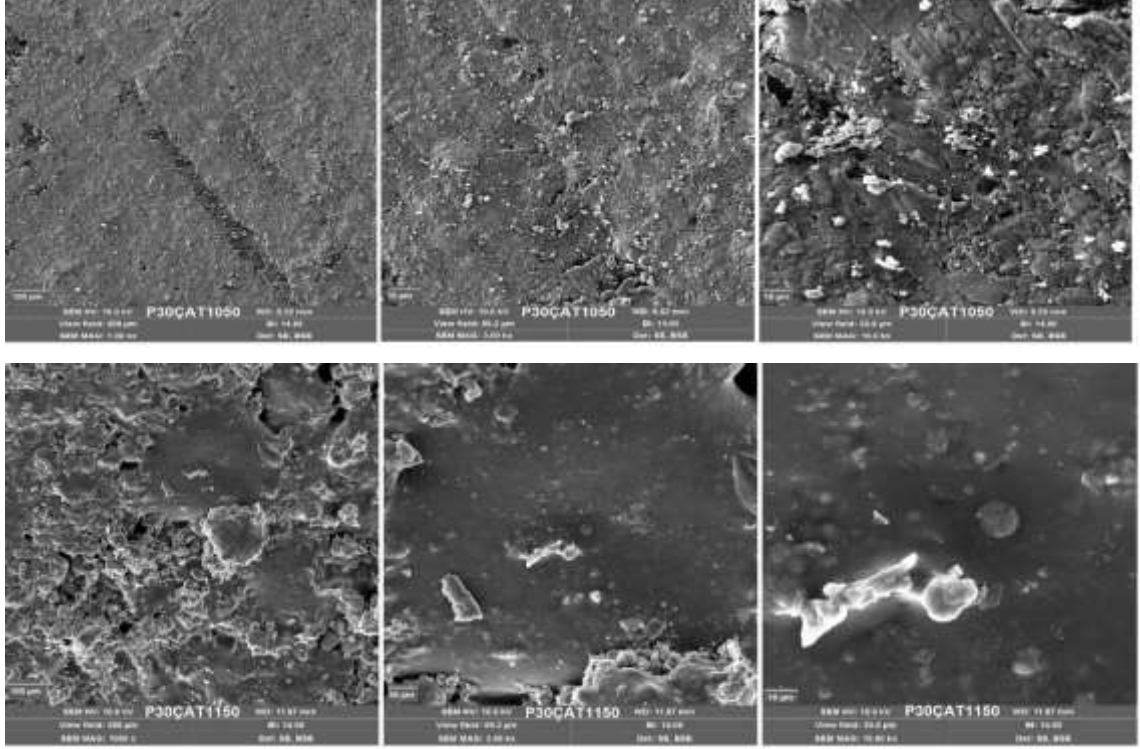


P30AFŞ1050			
O	59.04		
Na	1.99	Na ₂ O	6.37
Mg	0.32	MgO	0.63
Al	5.53	Al ₂ O ₃	12.41
Si	28.07	SiO ₂	71.30
K	0.67	K ₂ O	1.92
Ca	2.01	CaO	3.34
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	2.38	Fe ₂ O ₃	4.04
			100.00

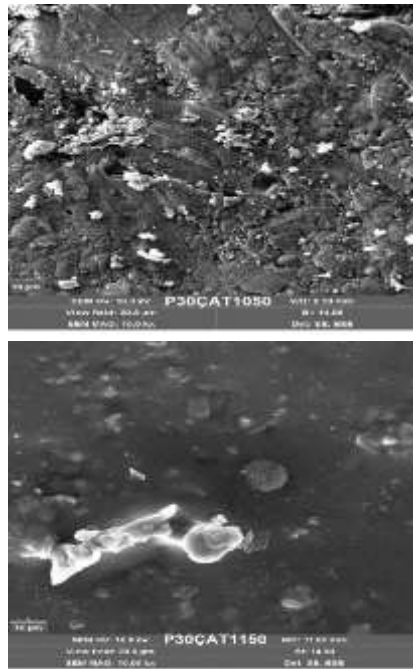


P30AFŞ1150			
O	49.09		
Na	2.07	Na ₂ O	5.60
Mg	0.31	MgO	0.52
Al	13.65	Al ₂ O ₃	25.87
Si	24.76	SiO ₂	53.12
K	0.53	K ₂ O	1.28
Ca	7.46	CaO	10.47
Ti	0.45	TiO ₂	0.75
Fe	1.67	Fe ₂ O ₃	2.39
			100.00

Şekil 5.84 %30 Afşin uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin EDS analiz sonuçları

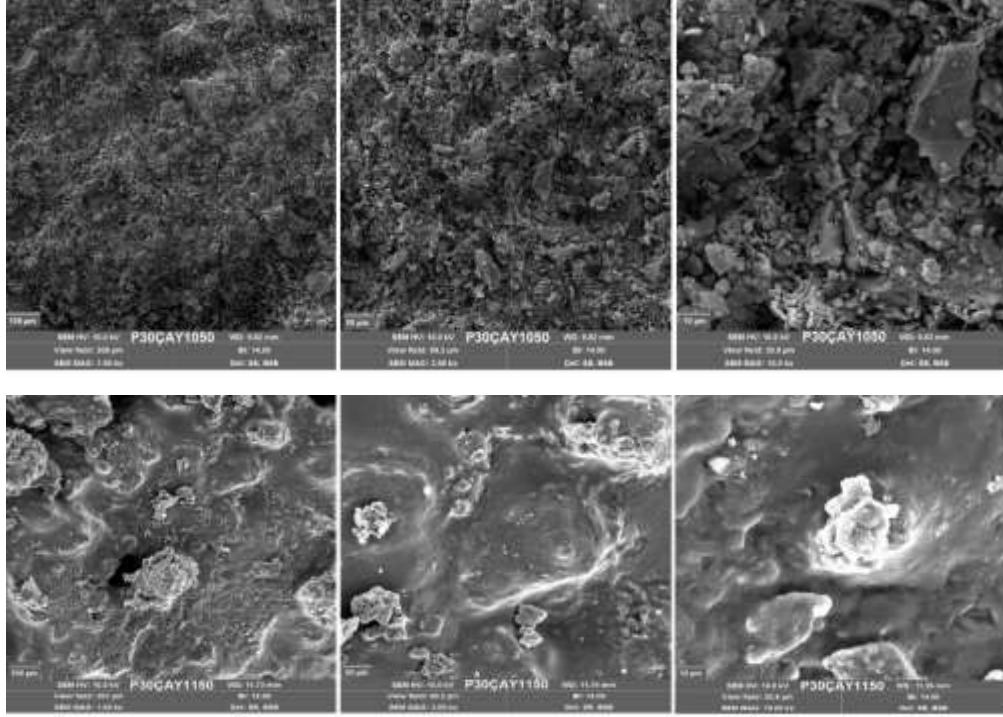


Şekil 5.85 %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin SEM görüntüleri.

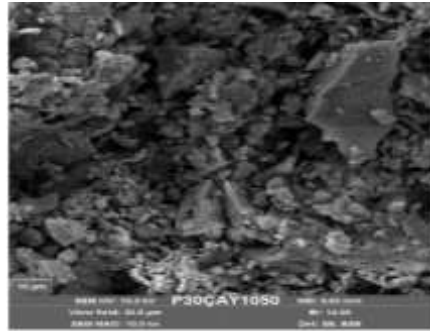


P30ÇAT1050			
O	55.62		
Na	1.20	Na ₂ O	3.71
Mg	0.32	MgO	0.61
Al	12.84	Al ₂ O ₃	27.84
Si	21.97	SiO ₂	53.93
K	0.65	K ₂ O	1.80
Ca	0.75	CaO	1.20
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	6.65	Fe ₂ O ₃	10.91
			100.00
P30ÇAT1150			
O	46.61		
Na	2.79	Na ₂ O	6.71
Mg	0.51	MgO	0.75
Al	12.97	Al ₂ O ₃	21.86
Si	33.50	SiO ₂	63.93
K	2.48	K ₂ O	5.33
Ca	1.13	CaO	1.41
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	0.00	Fe ₂ O ₃	0.00
			100.00

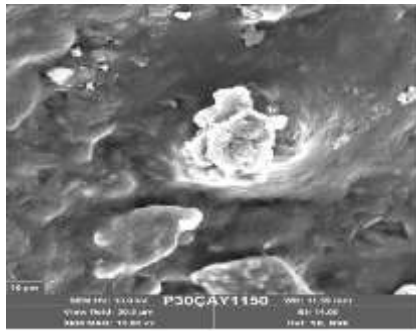
Şekil 5.86 %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Porselen numuneleri EDS analiz sonuçları



Şekil 5.87 %30 Çayırhan uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin SEM görüntüleri.

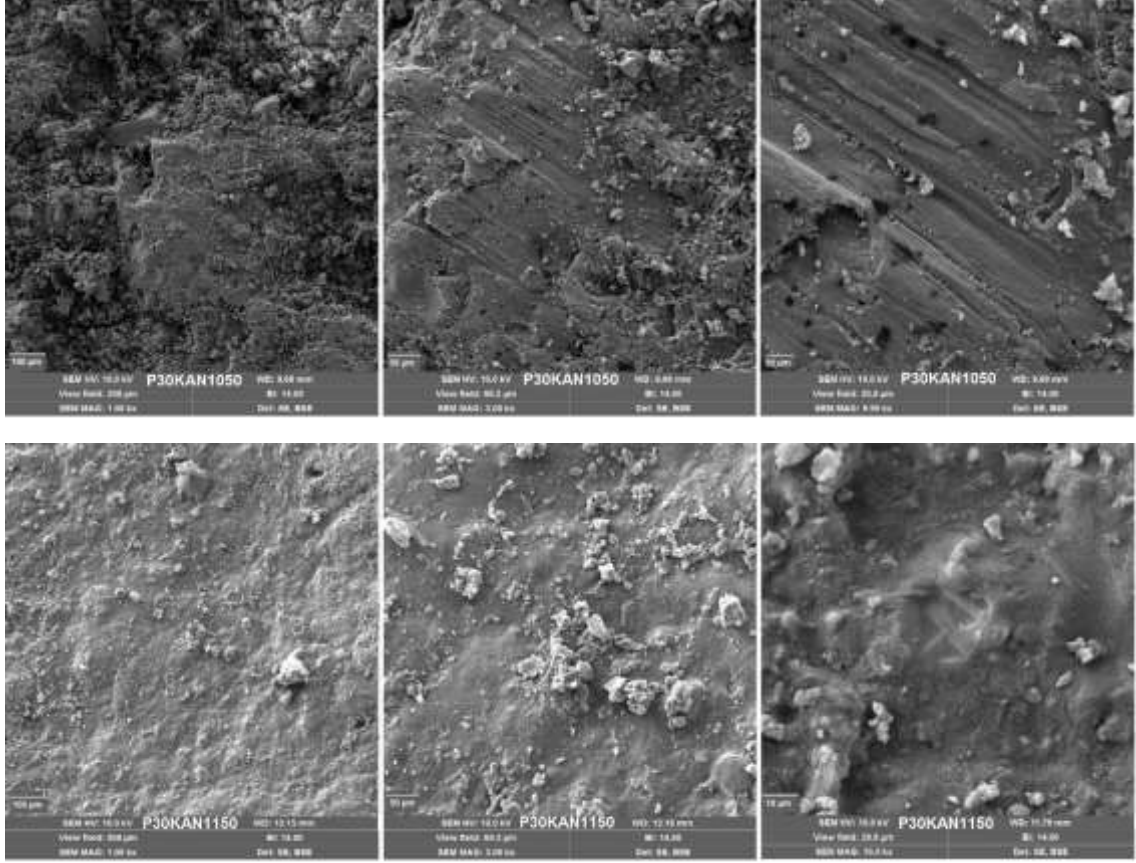


P30ÇAY1050		
O	59.53	
Na	1.55	Na ₂ O 4.98
Mg	0.26	MgO 0.51
Al	13.45	Al ₂ O ₃ 30.31
Si	23.51	SiO ₂ 59.98
K	1.14	K ₂ O 3.28
Ca	0.56	CaO 0.93
Ti	0.00	TiO ₂ 0.00
Fe	0.00	Fe ₂ O ₃ 0.00
		100.00

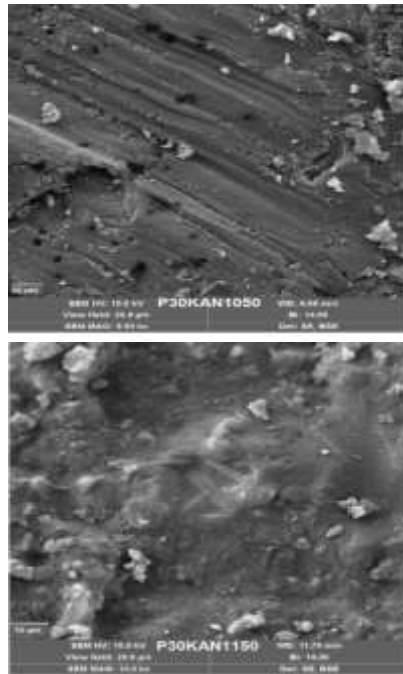


P30ÇAY1150		
O	43.98	
Na	2.37	Na ₂ O 5.75
Mg	0.23	MgO 0.34
Al	16.46	Al ₂ O ₃ 27.98
Si	27.41	SiO ₂ 52.76
K	1.00	K ₂ O 2.17
Ca	7.64	CaO 9.62
Ti	0.92	TiO ₂ 1.38
Fe	0.00	Fe ₂ O ₃ 0.00
		100.00

Şekil 5.88 %30 Çayırhan uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin EDS analizi.



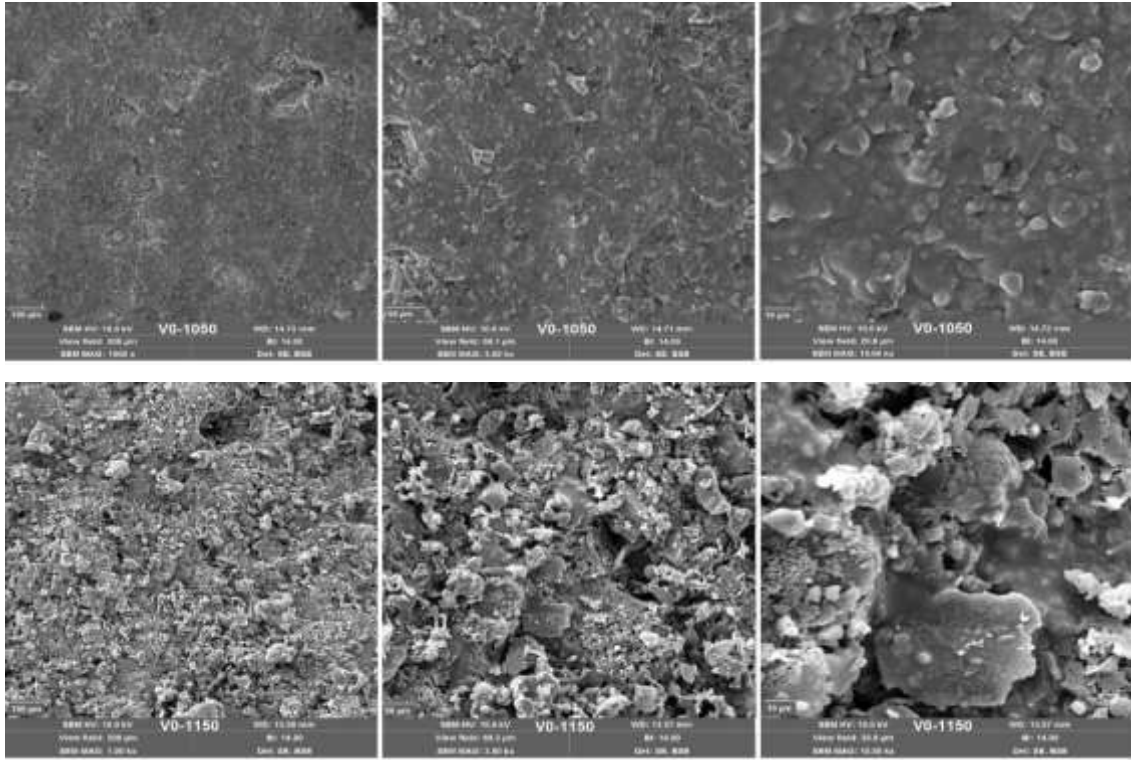
Şekil 5.89 %30 Kangal uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin SEM görüntüleri.



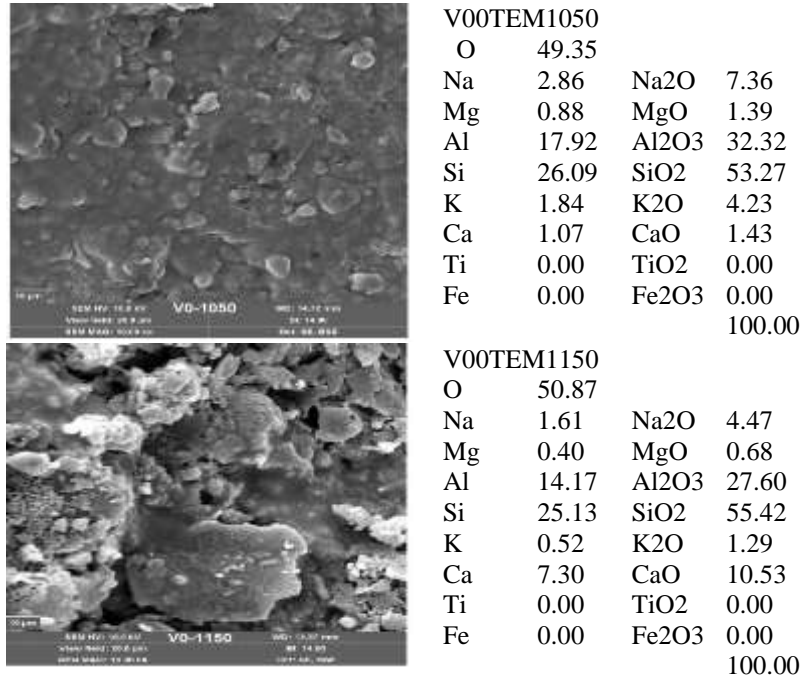
P30KAN1050			
O	56.18		
Na	2.11	Na ₂ O	6.48
Mg	1.36	MgO	2.57
Al	13.00	Al ₂ O ₃	28.00
Si	20.73	SiO ₂	50.55
K	1.50	K ₂ O	4.12
Ca	2.12	CaO	3.38
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	3.00	Fe ₂ O ₃	4.89
			100.00
P30KAN1150			
O	57.59		
Na	2.49	Na ₂ O	7.94
Mg	0.87	MgO	1.71
Al	13.75	Al ₂ O ₃	30.71
Si	19.98	SiO ₂	50.53
K	0.27	K ₂ O	0.77
Ca	5.05	CaO	8.35
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	0.00	Fe ₂ O ₃	0.00
			100.00

Şekil 5.90 %30 Kangal uçucu kül katkılı Porselen numunelerinin EDS analiz sonuçları

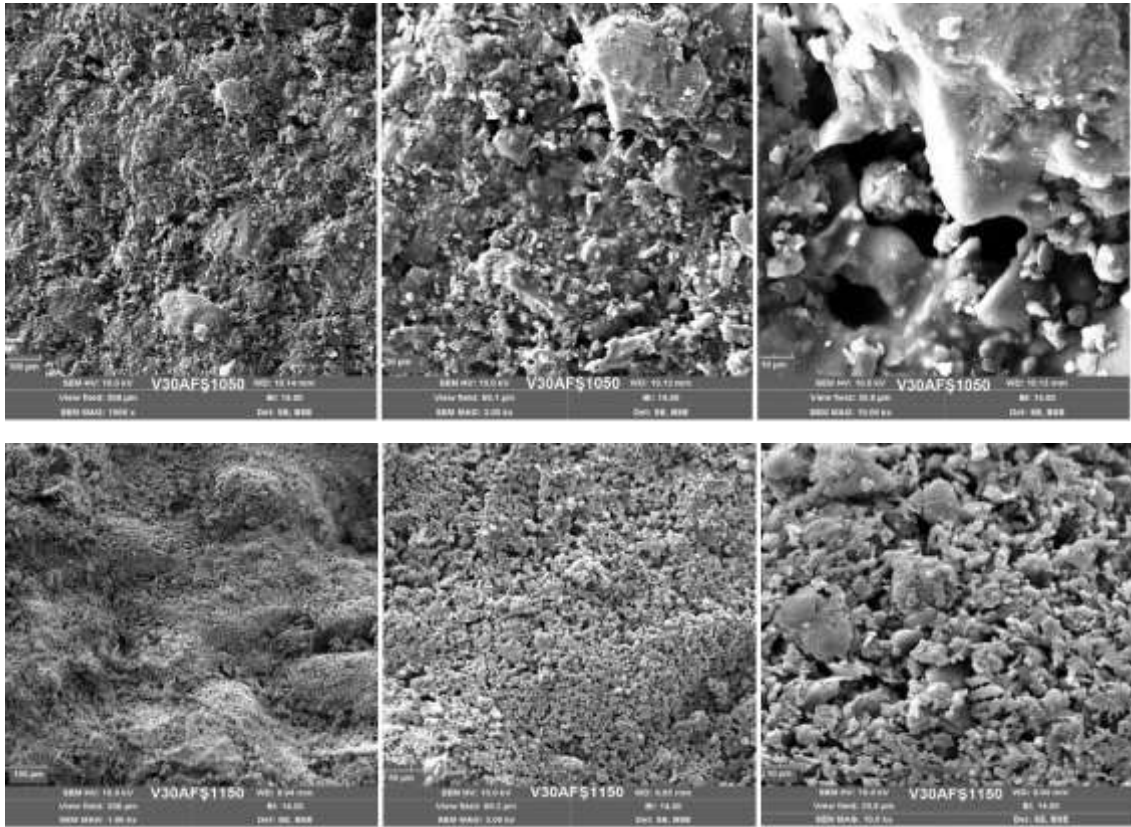
5.8.3 Vitrikiye numunelerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS analiz sonuçları



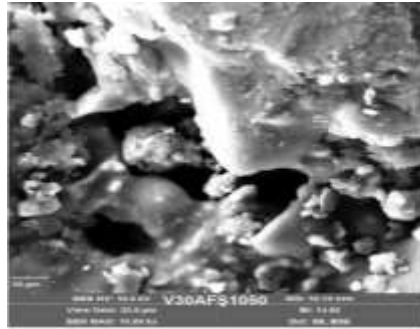
Şekil 5.91 Katkısız Vitrikiye numunelerinin SEM görüntüleri.



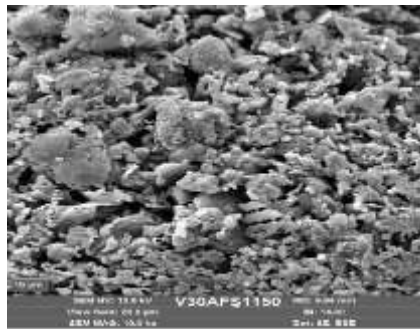
Şekil 5.92 Katkısız Vitrikiye numunelerinin EDS analiz sonuçları



Şekil 5.93 %30 Afşin uçucu kül katkılı Vitriifiye numunelerinin SEM görüntüleri.

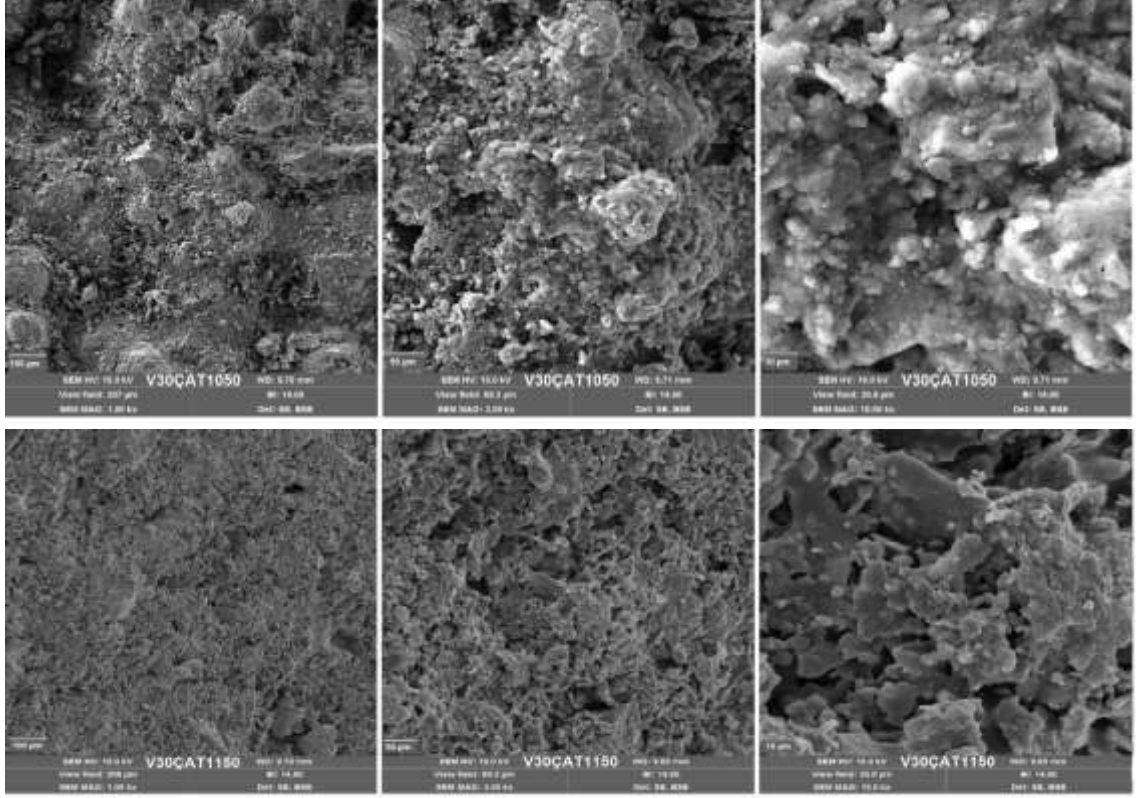


V30AFŞ1050			
O	43.32		
Na	1.78	Na ₂ O	5.74
Mg	0.00	MgO	0.00
Al	12.10	Al ₂ O ₃	27.36
Si	20.50	SiO ₂	52.48
K	0.99	K ₂ O	2.85
Ca	1.49	CaO	2.49
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	5.30	Fe ₂ O ₃	9.07
			100.00

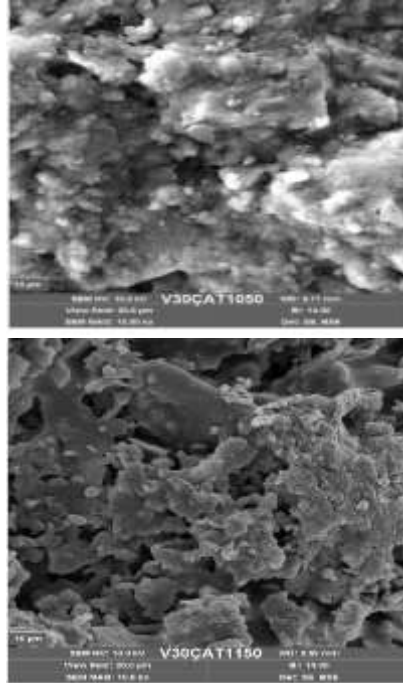


V30AFŞ1150			
O	58.65		
Na	1.46	Na ₂ O	5.41
Mg	0.28	MgO	0.64
Al	7.83	Al ₂ O ₃	20.32
Si	12.38	SiO ₂	36.38
K	0.00	K ₂ O	0.00
Ca	19.39	CaO	37.26
Ti	0.00	TiO ₂	0.00
Fe	0.00	Fe ₂ O ₃	0.00
			100.00

Şekil 5.94 %30 Afşin uçucu kül katkılı Vitriifiye numunelerinin EDS analiz sonuçlar

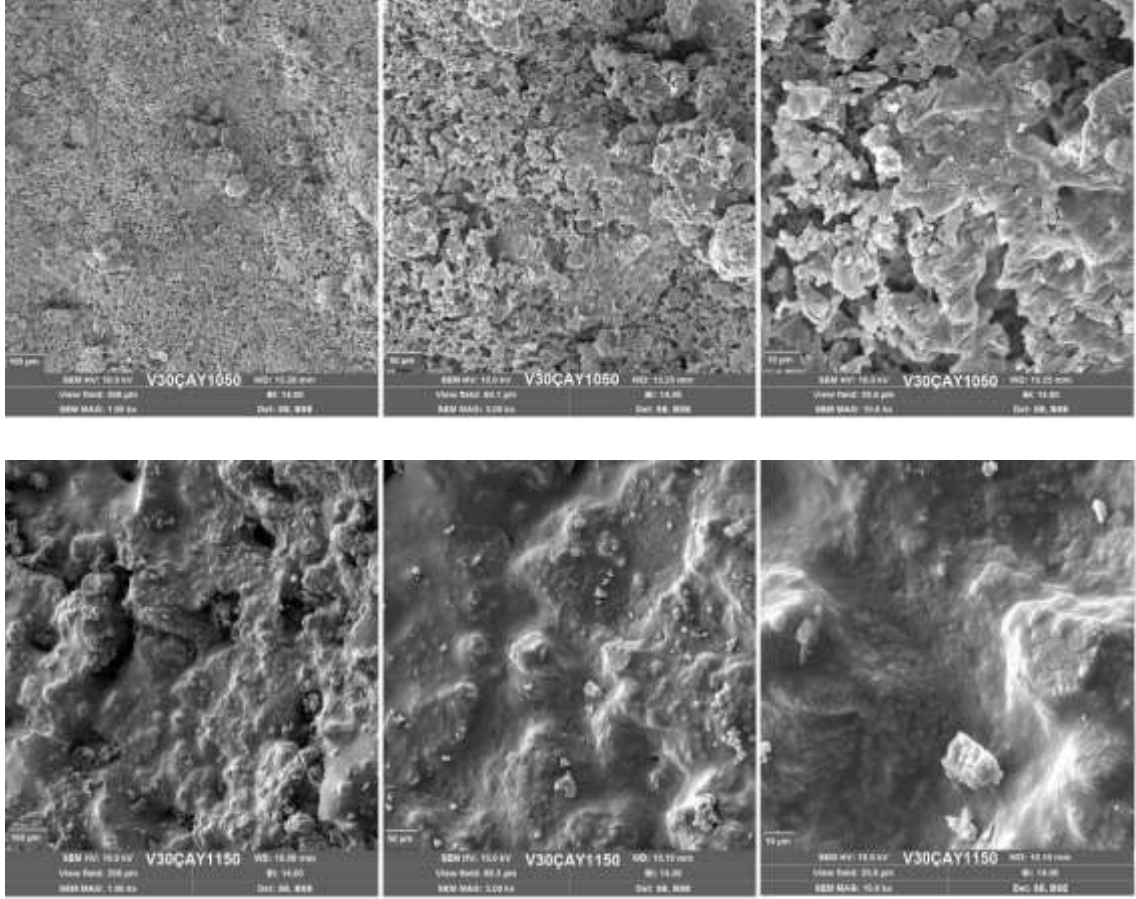


Şekil 5.95 %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Vitrikiye numunelerinin SEM görüntüleri

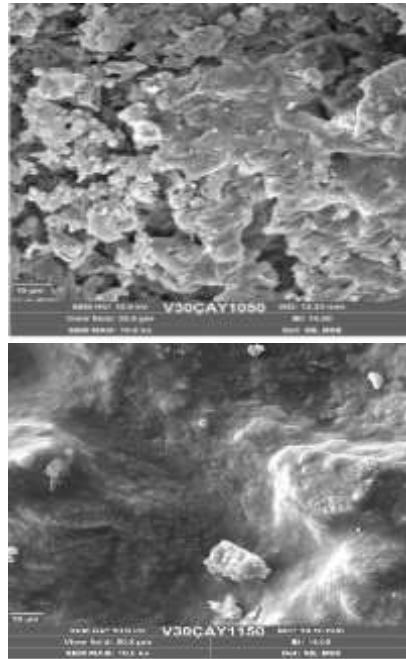


V30ÇAT1150			
O	46.50		
Na	1.89	Na2O	4.88
Mg	0.90	MgO	1.43
Al	13.25	Al2O3	23.97
Si	24.79	SiO2	50.78
K	1.91	K2O	4.41
Ca	6.75	CaO	9.04
Ti	0.00	TiO2	0.00
Fe	4.01	Fe2O3	5.49
			100.00
V30ÇAT1050			
O	49.39		
Na	1.56	Na2O	4.52
Mg	0.85	MgO	1.52
Al	11.05	Al2O3	22.46
Si	17.56	SiO2	40.41
K	1.02	K2O	2.64
Ca	13.57	CaO	20.42
Ti	1.32	TiO2	2.37
Fe	3.68	Fe2O3	5.66
			100.00

Şekil 5.96 %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı Vitrikiye numunelerinin EDS analizi

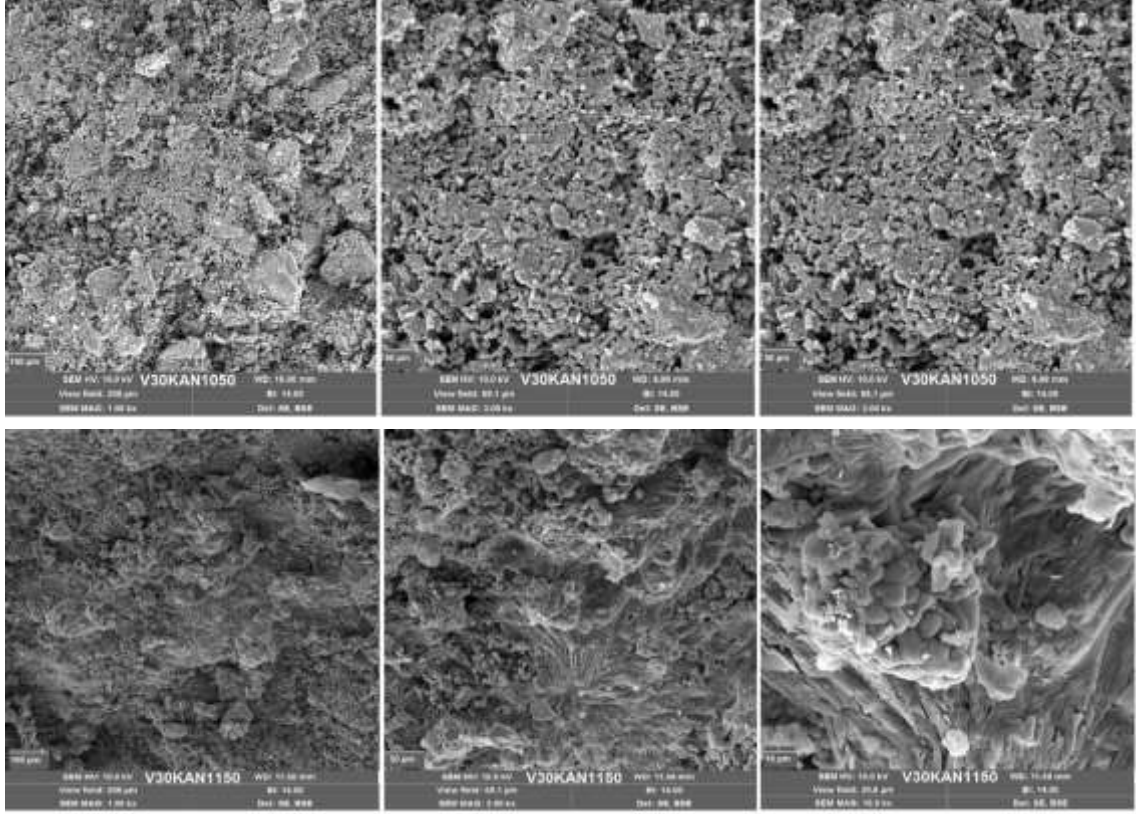


Şekil 5.97 %30 Çayırhan uçucu kül katkıli Vitrifiye numunelerinin SEM görüntüleri.

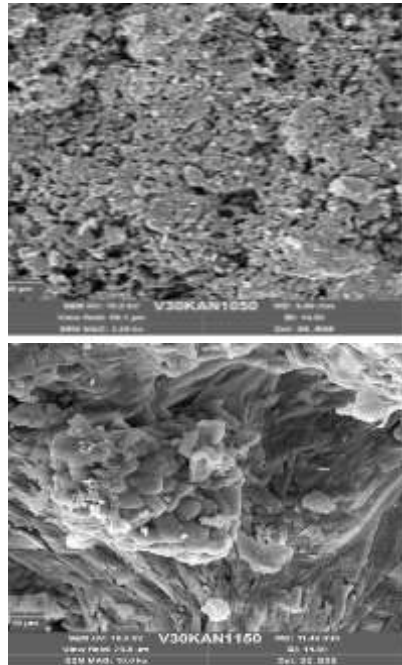


V30ÇAY1050			
O	55.70		
Na	1.38	Na2O	4.48
Mg	1.44	MgO	2.88
Al	10.84	Al2O3	24.68
Si	17.31	SiO2	44.62
K	0.42	K2O	1.22
Ca	11.81	CaO	19.91
Ti	1.10	TiO2	2.21
Fe	0.00	Fe2O3	0.00
		100.00	
V30ÇAY1150			
O	41.79		
Na	1.40	Na2O	3.43
Mg	0.40	MgO	0.60
Al	11.85	Al2O3	20.37
Si	27.04	SiO2	52.62
K	0.44	K2O	0.96
Ca	11.86	CaO	15.10
Ti	0.50	TiO2	0.76
Fe	4.73	Fe2O3	6.15
		100.00	

Şekil 5.98 %30 Çayırhan uçucu kül katkıli Vitrifiye numunelerinin EDS analizi

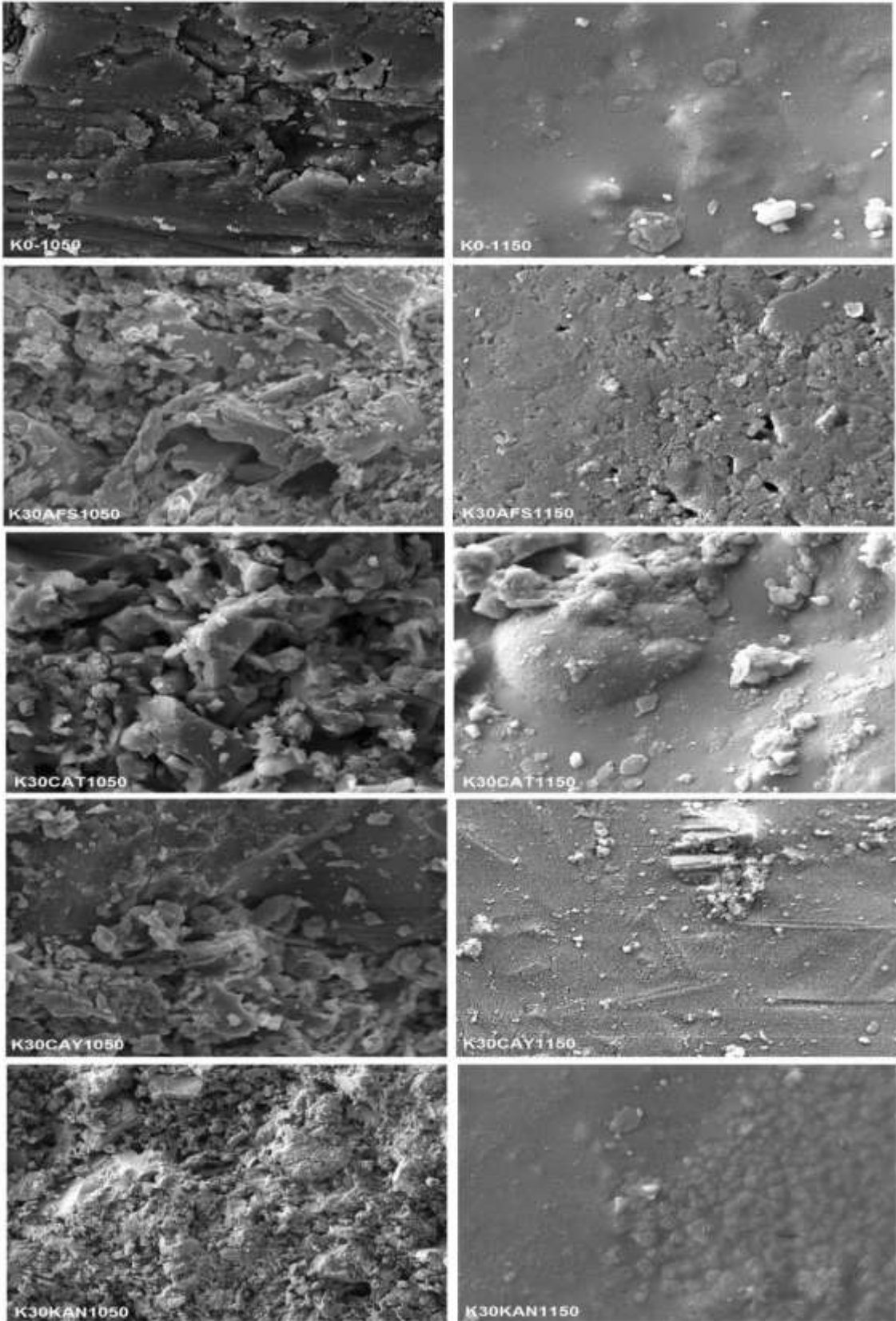


Şekil 5.99 %30 kangal uçucu kül katkıli Vitrikiye numunelerinin SEM görüntüleri.

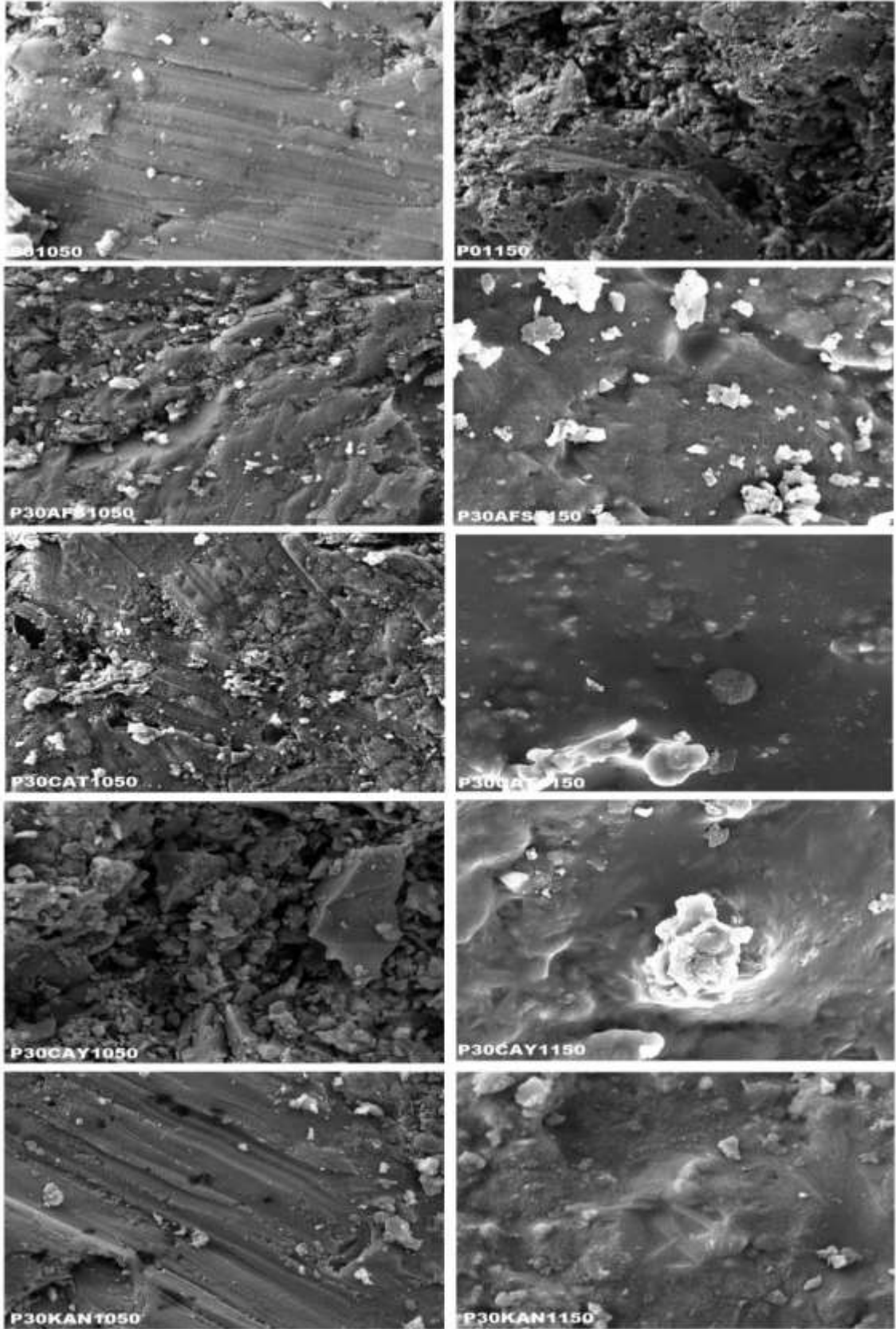


V30KAN1050			
O	55.70		
Na	1.38	Na2O	4.48
Mg	1.44	MgO	2.88
Al	10.84	Al2O3	24.68
Si	17.31	SiO2	44.62
K	0.42	K2O	1.22
Ca	11.81	CaO	19.91
Ti	1.10	TiO2	2.21
Fe	0.00	Fe2O3	0.00
			100.00
V30KAN1150			
O	53.44		
Na	0.80	Na2O	2.57
Mg	0.42	MgO	0.83
Al	7.93	Al2O3	17.84
Si	17.82	SiO2	45.39
K	0.53	K2O	1.52
Ca	18.74	CaO	31.22
Ti	0.32	TiO2	0.64
Fe	0.00	Fe2O3	0.00
			100.00

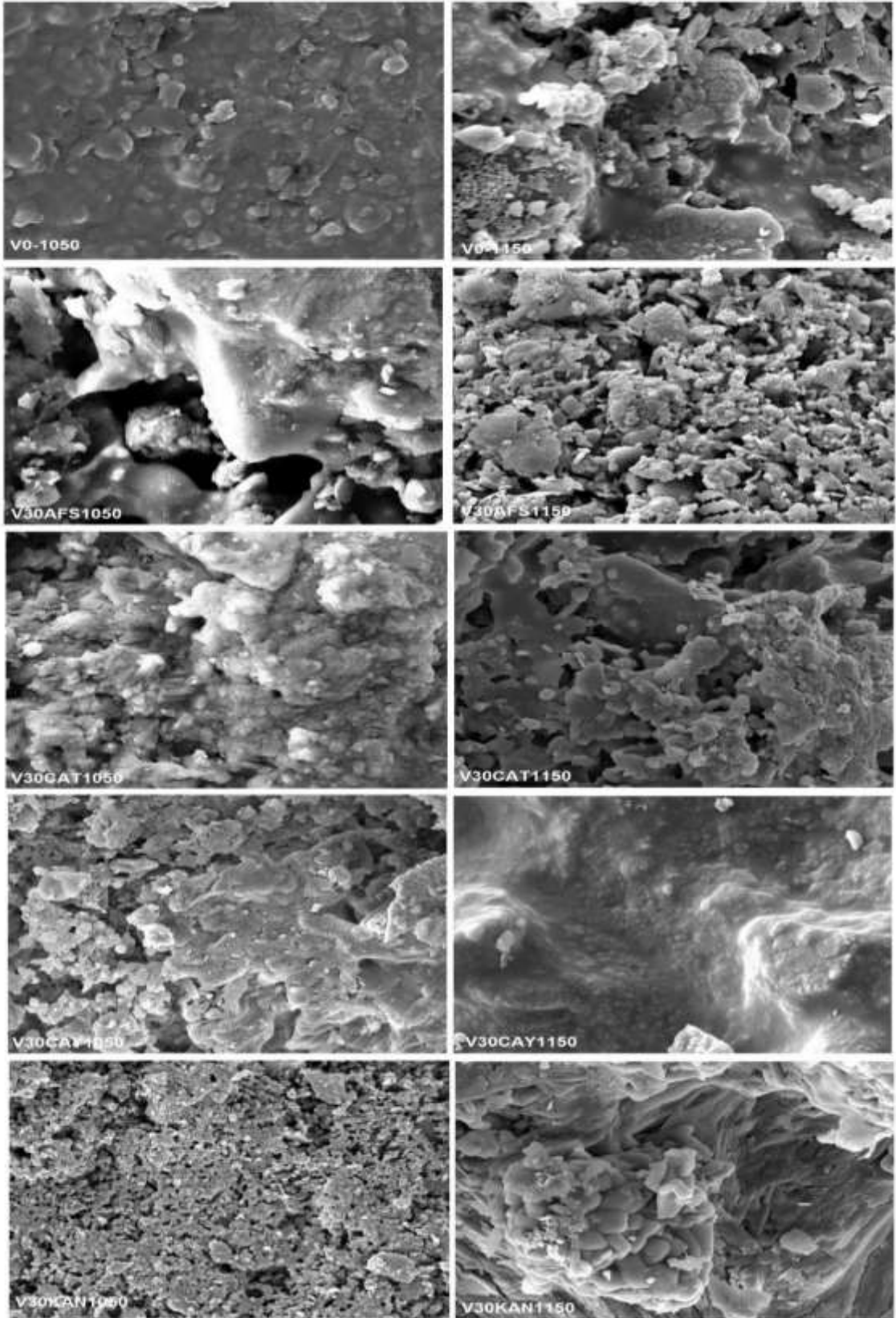
Şekil 5.100 %30 kangal uçucu kül katkıli Vitrikiye numunelerinin EDS analiz sonuçları



Şekil 5.101 Karo numunelerine ait 10.000X büyütmedeki katkısız ve %30 uçucu kül katkılı numunelerinin 1050 ve 1150 °C ler de Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri.



Şekil 5.102 Porselen numunelerine ait 10.000X büyütmedeki katkısız ve %30 uçucu kül katkılı numunelerinin 1050 ve 1150 °C ler de Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri.



Şekil 5.103 Vitrifiye numunelerine ait 10.000X büyütmedeki katkısız ve %30 uçucu kül katkılı numunelerinin 1050 ve 1150 °C ler de Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Uçucu külün tuğla yapımında kullanılabilirliğinin incelenmesinde elde edilen sonuçlar;

- Yapılan numunelerin kurutulması sonucunda bünye suyunun uzaklaşması ile oluşan boşluklar su emme özelliğini arttırmaktadır. Tuğla ve kiremit için su emme değeri % 18 dir.
- 800 -900 - 1000 °C de pişirilen uçucu kül katkısız referans tuğlaların su emme değerleri (%16.520 , %16.536 , %15.93) tuğla ve kiremit için istenen su emme değerinin altındadır. Bunun haricinde uçucu katkılı numunelerden %18 in altında su emme değerine sahip olanlar ise T15ÇAT800 numunesidir. Bu değer 15.277 olup referans tuğlalarınkinden daha düşüktür.
- Uçucu kül ilavesinin tüm sıcaklık değerlerinde bulk yoğunluk ve görünür yoğunluk değerlerini düşürdüğü görülmüştür. Görünür yoğunluk değerlerinin uçucu kül miktarının artması ile azaldığı görülmüştür.
- 800 °C de pişirilen numunelerde porozite değeri referans tuğladan düşük çıkan % 15 ve %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı numunelerdir. Ayrıca T30ÇAT900 ve T30ÇAT1000 kodlu numunelerin porozite değerleri referans tuğlanınkinden düşük çıkmıştır. 800 °C de pişirilen numunelerde en yüksek porozite değeri %30 Afşin uçucu külü katkılı numune, 900 °C de pişirilen numunelerde ise en yüksek poroziteye sahip olan %30 Kangal uçucu kül katkılı numune, 1000 °C de pişirilen numunelerde ise % 30 Afşin uçucu kül katkılı numunedir. Genel olarak numunelerdeki en yüksek porozite 800 °C de pişirilen %30 Afşin uçucu kül katkılı numune görülmüştür.
- Seramik malzemeler için istenen küçülme değeri % 10 dur. Tüm tuğla numunelerinin sıcaklığın artması ile birlikte % ağırlıkça küçülme değerlerinin arttığı görülmüştür. Uçucu kül ilavesinin artması ile boyca küçülme değerleri azalmıştır. Referans tuğlaya göre en düşük boyca küçülme % 30 Afşin uçucu kül katkılı numunelerdir. En az ağırlıkça küçülme 800 °C de pişirilen %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı numunedir. 800 °C ve 1000 °C de pişirilen uçucu kül katkılı numunelerin tümünün boyca ve ağırlıkça küçülmeleri referans tuğladan daha düşük çıkmıştır. Tüm numunelerin boyca ve ağırlıkça küçülme değerleri referans tuğlaya oranla düşük çıkmıştır.

- 800 °C de Çatalağzı, Kangal ve Afşin, uçucu kül katkılı numunelerin beyazlık değeri referans tuğlaya göre düşük çıkmıştır. 800 °C de pişirilen Çayırhan uçucu kül katkılı numunenin beyazlık değeri referans tuğlanınkinden fazla çıkmıştır. 900 ve 1000 °C de uçucu kül miktarının artmasıyla kırmızılık değeri düşmüştür.
- Tuğla numunelerinin basınç dayanımları incelendiğinde sıcaklık artması ile mukavemet değerlerinin arttığı görülmüştür. Tüm sıcaklık değerlerinde uçucu kül miktarının artması ile birlikte basınç değerlerinde düşme izlenmiştir. Afşin uçucu kül katkılı numunelerin basınç değeri en düşük çıkmıştır. Basınç değeri referans tuğlaya göre yüksek çıkan numuneler T15ÇAT800, T15ÇAT900, T30ÇAT900 numuneleridir.
- Tuğla numunelerinin farklı ortamlarda dayanımlarının incelenmesi bakımından yapılan don donma dayanım testi ile (800-900-1000 °C) pişirilen farklı termik santrallerden alınan uçucu küllerin, farklı oranlarda kullanılarak elde edilen tuğla numunelerinin donma ve çözünme testi sonucunda temsili numunelerin hepsi sağlam kalmıştır. Katkılı numunelerden ise Çatalağzı ve Çayırhan uçucu kül katkılı numuneler sağlam kalmıştır
- Numunelerin ısı iletkenlik katsayısı incelendiğinde referans tuğlaların sıcaklıkları arttıkça ısı iletkenlik katsayısının düştüğü görülmüştür. Uçucu kül katkılı numunelerde ise pişme sıcaklığının artması ile birlikte ısı iletim katsayısında artış gözlenmiştir. 800 °C de pişirilen referans tuğlaların ısı iletim katsayısı 0.643 w/mK dır. Aynı sıcaklıkta pişirilen %30 Çatalağzı uçucu kül katkılı numunenin ısı iletim katsayısı ise 0.156 w/mK dır. Bu numunenin ısı iletim katsayısı referans tuğlaya göre oldukça düşük çıkmıştır. Uçucu kül ilavesi referans tuğlaya göre % 76 oranında düşürmüştür. Isı iletim katsayısının düşük olması ise numunenin yalıtım özelliğinin iyi olması ve artması anlamına gelmektedir.

2.Uçucu külün Karo yapımında kullanılabilirliğinin incelenmesinde elde edilen sonuçlar;

- Karo numunelerinin uçucu kül ilavesi arttıkça ağırlıkça su emme değeri artmıştır.
- Pişme sıcaklıklarının artması ile birlikte boyca küçülme değerleri de artmıştır. Uçucu kül miktarının artması ile birlikte boyca küçülmenin azaldığı görülmüştür. Çatalağzı ve Çayırhan uçucu külü katkılı numunelerin uçucu kül ilavesinin

artması ile % ağırlıkça küçülme azalmıştır. En fazla boyca küçülme 1150 °C de görülmüştür.

- Numunelerin pişme sıcaklıkları arttıkça porozite oranları düşmüştür. En yüksek porozite 1050 °C sıcaklığında pişirilen numunelerde görülmüştür.
- Sıcaklık arttıkça görünür yoğunluk değeri düşmüştür. Farklı sıcaklıklarda pişirilen tüm numunelerin uçucu kül miktarı arttıkça referans numuneye göre bulk yoğunluğunun düştüğü görülmüştür.
- Tüm sıcaklıklarda pişirilen Çatalağzı katkılı numunelerin boyca küçülmeleri referans tuğlaya göre artmış, diğer numunelerde ise azalmıştır. Çatalağzı ve Çayırhan uçucu külü katkılı numunelerin ağırlıkça küçülmeleri referans tuğlaya göre daha azdır.
- Karo numunelerinin pişme sıcaklıkları arttıkça beyazlık derecesi azalmıştır.
- Karo numunelerinin mukavemeti incelendiğinde sıcaklık değeri arttıkça mukavemet değerinde artış gözlenmiştir. Uçucu kül miktarının artması ile dayanım azalmıştır. Sırlı olan numunelerde ise referans tuğlaya en yakın dayanımı %15 Çatalağzı Uçucu kül katkılı numune göstermiştir.

3.Uçucu kül ün vitrifiye yapımında kullanılabilirliğinin incelenmesinde elde edilen sonuçlar;

- Yapılan fiziksel özellik ölçümlerinde uçucu kül katkılı numunelerin referans numuneye göre ağırlıkça su emme ve porozite değerleri çoğunlukla yüksek çıkmıştır. Sıcaklık değeri artması ile birlikte su emme ve porozite değeri azalmıştır.
- Görünür yoğunluk ve bulk yoğunluk değerleri ise referans numunelerine göre düşük çıkmıştır.
- 1050 °C deki tüm numunelerin boyca küçülmeleri referans numuneye göre yüksektir. 1100 ve 1150 °C Kangal ve Afşin uçucu külü katkılı numunelerin boyca küçülmeleri düşmüştür. 800 °C deki tüm numunelerin uçucu kül miktarı arttıkça boyca küçülmeleri de artmıştır. Ağırlıkça küçülme değerleri Kangal ve Afşin uçucu kül katkılı numunede daha fazla olmuştur. % 15 Çatalağzı uçucu külü

katkılı numunelerin ağırlıkça küçülme oranları tüm sıcaklık değerlerinde referans numune ye göre düşük çıkmıştır.

- Vitrifiye numunelerinde sıcaklık artması ile birlikte beyazlık değerinin düştüğü görülmüştür. Genel olarak sıcaklık artması ile birlikte sarılık değerinin arttığı görülmüştür. Uçucu kül miktarının artması ile birlikte tüm numunelerin beyazlık değeri düşmüştür.
- Pişme mukavemeti incelendiğinde 1050 °C deki tüm numunelerin uçucu kül oranı arttıkça dayanımları azalmıştır. 1100 ve 1150 °C de pişirilen % 15 Çatalağzı ve Çayırhan uçucu kül katkılı numunelerin dayanımı referans numuneden daha fazla çıkmıştır. Sırlı numunelerin mukavemeti incelendiğinde en yüksek mukavemeti 1150 °C de pişirilen % 15 Çatalağzı uçucu kül katkılı numune vermiştir.

4.Uçucu külün Porselen yapımında kullanılabilirliğinin incelenmesinde elde edilen sonuçlar;

- Porselen numunelerin uçucu kül miktarı arttıkça ağırlıkça su emme değerleri artmıştır.
- Genel olarak pişme sıcaklıkları arttıkça porozite oranları düşmüştür. En yüksek porozite 1050 °C de pişirilen numunelerde görülmüştür.
- Sıcaklık arttıkça görünür yoğunluk değeri düşmüş, bulk yoğunluk değeri artmıştır.
- Pişme sıcaklıklarının artması ile birlikte boyca küçülme değeri artmıştır. 1050 °C de uçucu kül miktarı arttıkça boyca küçülme azalmıştır. En az ağırlıkça küçülme 1050 °C de pişirilen %30 Çayırhan uçucu kül katkılı numunede görülmüştür. En fazla ağırlıkça küçülme 1150 °C de pişirilen % 30 Kangal uçucu kül katkılı numunede görülmüştür.
- Porselen numunelerin pişme sıcaklıkları arttıkça beyazlık değeri azalmış, sarılık değeri de artmıştır.
- Mukavemeti incelendiğinde uçucu kül katkılı numunelerin pişme sıcaklıkları arttıkça mukavemeti de artmıştır. Uçucu kül miktarı arttıkça dayanım azalmıştır. Sırlı olan numunelerde ise 1100 ve 1150 °C de pişirilen Çatalağzı uçucu kül katkılı numunelerin dayanımı referans tuğlaninkinden fazla olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Abalı, S., Şahin, B.** (2006). Termik Santral Atıklarının Yer Karosu İmalatında Kullanım Olanaklarının Araştırılması *TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası Dergisi*,144 21-25
- Acun, S.** (2002). Döküm Çamurunun Sıcaklığının Döküme Olan Etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü Lisans Tezi*, 21-29
- Akkaya, Y., Ouyang, C., Shah, S.P.** (2007). Effect of supplementary cementitious materials on shrinkage and crack development in concrete. *Cem. Concr. Compos.* 29, 117e123.
- Anderson, M., Jackson, G.** (1993). Benefication of Power Station Coal and Its Use in Heavy Clay Ceramics, *Trans. J. Brit. Ceram. Soc.*, Vol.82, No.2, pp. 50- 55
- Anonim** (2002b). “Applied ceramic technology”, Volume II, Sacmimola s.c.a r.l., Italy.
- Aruntaş, H.Y.** (2006). “Uçucu Küllerin inşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli”, *G.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 21, No 1, 193–203.
- Arcasoy, A.** (1995). Seramik Teknolojisi, *Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Ana sanat Dalı Yayınları*, İstanbul
- Arcasoy, A.** (1983). “Seramik Teknolojisi”, *Marmara Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, Ates Arcasoy, a.g.k., s.82.
- Arpaözü, A.** (1999). “Zirkonun Slip Döküm Yöntemi İle Şekillendirilmesi”, *A.K.Ü. Y.Lisans Tezi*, Haziran
- Aslan, T.C.** (2006). Silis Dumanının Porselen Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya
- Aslan, H.** (1996). Kömüre Dayalı Termik Elektrik Santrallerinde Verim ve Kapasite Kullanım Oranı Düşüklüğünün Nedenleri ve Bunların Yükseltmeleri İçin Alınması Gerekli Tedbirler, *TMMOB 1. Enerji Sempozyumunda sunuldu*, Ankara, 1-2.
- ASTM C 618.** (1991). Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete, ASTM.
- ASTM C 618.** (1998). “Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, *Annual Book of ASTM Standart*, No. 4.
- ASTM C 618.**(2008). Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete.
- Atakay, O.** (2006). Uçucu küllerin katkılı çimento üretiminde kullanılması-tane inceliği ve katkı miktarının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi*.
- Aydın, O.** (2007). Termik Santral Atığı Küllerin Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.
- Aydın, E.D.** (2011). Kaplama Malzemesi Olarak Seramik Üretiminin Bölgesel Dağılımına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Bacanak, N.** (2001). “Termik Santral Uçucu Külünden Üretilen Cam Seramiğin Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 17-29
- Baykal, G., Özturan, T., Savaş, M. ve Ramadan, K.** (1993) “Uçucu Külün İnşaat Mühendisliğinde Bazı Kullanım Olanakları”, *End. Atıkların İnşaat Sektöründe Kul. Semp.*, 89-102, Ankara.

- Bartoňová, L.** (2015). Unburned carbon from coal combustion ash: An overview. *Fuel Process. Technol.* 134, 136–158.
- Bevilacqua, P.**, (2013a), “Ceramic Industry World Market, Raw Materials Requirement”, *University of Trieste*, Italy, s.1, 3, 26, 28.
- Bentli, İ., Uyanık, A.O., DEMİR, U., ŞAHBAZ, O.** (2005). Seyitömer Termik Santrali Uçucu Küllerinin Tuğla Katkı Hammaddesi Olarak Kullanımı. *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, İzmir
- Biffi, G.** (1999), “Porcelain stoneware- production manual and methods of use”, Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A., Faenza.
- Brusa, A.** (1994) “Continuous grinding – a process applicable to tile productio,” *Tile & Brick Int.*, 10, 252–257.
- Chandra, N., Agnihotri, N., Bhasin, S., Khan, A. F.** (2005) “Effect of Addition of Talc on The Sintering Characteristics of Fly Ash Based Ceramic Tiles “, *Journal of European Ceramic Society*, pp: 81 – 88.
- Chang, T.P., Shieh, M.M.** (1996) “Fracture Properties of Lightweight Concrete”, *Cement and Concrete Research*, Cilt 26, No 2, 181-188.
- Chan, Y., Liu, C., Lu, Y.** (1998). Effect of slag and fly ash on the autogenous shrinkage of high performance concrete. In: *International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete*. JCI, Hiroshima, Japan, pp. 221e228.
- Çalışkan, F.** (2016). “Seramiklerin Şekillendirilmesi” ders notu Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği.
- Çimen, K.** (2015) Artık Seramik Tozu Kullanımının Çimento Harcı Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.
- Çiçek, T., Tanrıverdi, M.** (2004). Kömüre dayalı termik santral uçucu küllerinden otoklav yöntemi ile hafif tuğla üretimi. 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 76-82, İzmir
- Çokca, E.** (1996). “Frost Susceptibility Properties of Soma-B Fly Ash”, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 123, No. 1, pp. 1-10.
- Dana, K.** (2005). Deyb, J., Das, S.K., Synergistic effect of fly ash and blast furnace slag on the mechanical strength of traditional porcelain tiles, *Ceram. Int.*, 31, 147–152.
- Demir, İ., Başpınar, M. S. ve Kahraman, E.** (2008). Seyit Ömer uçucu külünün yapı tuğlası üretiminde kullanılabilirliğinin ön araştırılması. *VII. Uluslararası Katılımlı Seramik Kongresi*, 327 – 331.
- Dindarloo, S.R., Hower, J.C.** (2015). Prediction of the unburned carbon content of fly ash in coal-fired power plants. *Coal Combust. Gasification Prod.* 7, 19–29.
- Doğan, Ö.** (2007) “Afşin/Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinden Çöktürülmüş Kalsiyum Karbonat (CaClO3) Kazanım Koşullarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Döğeroğlu, T., Serap K.** (1991). “Seramik Tesislerinde Hammadde Hazırlama Süreçleri, Madde- Enerji Tasarrufu ve Çevre Kalitesi İlişkileri”, *V. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Eskişehir, 16-20 Eylül.
- EİE**, (1979). Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanım Özellikleri, *E.İ.E Genel Yayın Direktörlüğü*, Ankara.
- Ekmekyapar, T. Ve Örüng, I.** (1993). İnşaat Malzeme Bilgisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları* No: 145, 22-36, Erzurum.
- Enders, M.** (1996). The CaO Distribution to Mineral Phases in a High Calcium Fly Ash from Eastern Germany, *Cement and Concrete Research*, C.26, No.2, s.243-250.
- Erdoğan, E.** (2006). Çimentoya bor katkısı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ilavesiyle özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul.

- Erol, M.M., Küçükbayrak, S., Ersoy-Meriçboyu, A.** (2007). Endüstriyel atıklardan cam, cam-seramik ve üretimi, *itü dergisi/d mühendislik*, cilt:6 Sayı:5-6, 106-119
- Ergüt, Ş.**, (1994). Seyit Ömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Sinterleşme Karakterizasyonu, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Y. Lisans Tezi, 67 s., İstanbul.
- Erdoğan, T.Y.** (1993). Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde kullanımı Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu*, s. 1-8, Ankara.
- Erdoğan, T. Y.** (2003). “Beton”, *Metu Press*, 1. Baskı.
- Erdinç, M.** (1995). Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimsizliği, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 100 s., İstanbul.
- Ermış A.** (2005). Türk Seramik Sektörünün Rekabet Gücü, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Zonguldak, s.19-23.
- Erşan, H.** (1996). Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Y. Lisans Tezi, 75 s., İstanbul
- Eşmeliler, S.** (1996). Uçucu Küllerin Mutfak Seramikleri Üretiminde Kullanılması, *Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Y.Lisans Tezi, 70 s., Eskişehir.
- Fortuna, D.** (2000). “Sanitaryware”, *Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.P.A.*
- Geçkinli, E.** (1991) “İleri Teknoloji Malzemeleri”, *İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fak. Metalurji Müh. Bölümü*, İstanbul.
- Geçkinli, E.** (1992). İleri teknoloji malzemeleri, *İTÜ Matbaası*, Gümüşsuyu, İSTANBUL
- Gesoğlu, M., Özturan, T. ve Güneyisi, E.** (2004). “Shrinkage Cracking of Lightweight Concrete Made with Cold-Bonded Fly Ash Aggregates”, *Cement and Concrete Research*, Cilt 34, No 7, 1121-1130.
- Görhan G., Kahraman E., Baspınar S., Demir İ.** (2009). “Uçucu kül bölüm 11: kimyasal, mineralojik ve morfolojik özellikler” *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 5, No: 2, 33-42.
- Görhan G.** (2011). Çeltik Klavuzunun Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi Gazi Üniversitesi Ankara.
- Güner, Y.** (1987). Seramik, *Arı Kitabevi*, s. 191-203.
- Güner, M. S., Süme, V.** (2000). “Yapı Malzemesi ve Beton”, *Aktif Yayınevi*, ISBN: 975-6755-21-0.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H.** (2005). Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, İzmir.
- Heavy Clay Ceramics**, *British Ceramic Society Transactions and Journal*, 50-55,1983.
- Henkes, V. E., Onoda, G. Y; Carty, W. M.** (1995). “Science of Whitewares,”
- Helmuth, R.A.** (1987). “Fly Ash in Cement and Concrete,” *Portland Cement Association*, Skokie, Illinois.
- Hubbard, F.H., vd.** (1985). Pulverized Fly Ash for Concrete: Compositional Characterization of UK PFA, *Cement and Concrete Research*, C.15, s.185-198 No.1.
- Isık, İ.**, (2004). Tuğla ve Kiremit Üretim Teknolojisi, *Dumlupınar Üniversitesi Lisans Ders Notları*, Kütahya, 1-5 s. (Yayınlanmamış)
- Intron**, (1992). Fly Ash as Addition to Concrete Inst. for Mat. And Env. Research, A.A Balkema, 99 s., Rotterdam.
- İlhan, T.**, (1995). Sülfü Kalsik ve Siliko Kalsik Uçucu Küller İyileştirme ve Rolkritlerde Kullanımı, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Y. Lisans Tezi, İstanbul.

- James C. Howera, John G. Groppoa, Uschi M. Grahama, Colin R. Wardb, Irena J. Kostovac, Mercedes M. Maroto-Valerd,g, Shifeng Daie,f,** (2017) .“Coal-derived unburned carbons in fly ash “ : A review; *International Journal of Coal Geology*, 179 11–27.
- Joshi, R.C. and Nagaraj, T.S.** (1987). Fly Ash Utilization for Soil Stabilization, *Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks*, Eds. Balusubramaniam et al., 77-93 Balkema Rotterdam.
- Kara, F.,** (2013b), “Wall Tile Development by Geopolymerisation as an Energy Efficient Ceramic Manufacturing”, *Anadolu University*, Eskişehir, s.3
- Karasu, B., Sertkaya, A.,** (2001). “Seramik Sektöründe Karşılaşılan Belli Başlı Sağlık Problemleri, Nedenleri ve Alınması Gereken Tedbirler (1)”, *Seramik Sanat, Bilim ve Teknoloji*, Sayı:13, İstanbul, 2001, s.24.
- Kalpakistan, S., Schmid, S.R.** (2003). “Manufacturing processes for engineering materials” (4th. ed.), *Prentice Hall*, New Jersey, 660-668
- Kartal, A.** (1998). Sır ve Sırlama Tekniği, *Çizgi Matbaacılık Ltd. Sti.*, Usak, 1998
- Kaya, V.S.** (2010) Saniter Seramik Sektöründe kullanılan Refrakter Malzemelerin Geliştirilmesi Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir
- Kayacı, B.** (2006). Proses Ham Atığının Seramik Karo Bünyelerde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Kefelioğlu, S.** (1998). Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanma İmkânları, Teknoloji, Ankara.
- Kınikoğlu, S.** (1993). İleri teknoloji seramik malzemeler. *Yıldız Teknik Üniversitesi*. İstanbul.
- Kingery, W.D., Bowen, H.K., and Uhlmann, D.R.** (1976), “Introduction to Ceramics”, 2nd Edition, *John Wiley & Sons*, New York.
- Kopeliovich, D.** (2012a) Solid state fabrication of Metal Matrix Composites, http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=solid_state_fabrication_of_metal_matrix_composites, (2012a), (Erişim tarihi: 11 Şubat 2014).
- Kumar, D., Dana, K., Das, S.** (2004). “Effect of Substitution of Fly Ash for Quartz in Triaxial Kaolin – Quartz – Feldspar System”, *Journal of European Ceramic Society* 24, pp: 3169 – 3175.
- Kurt, A.O.** (2017) www.sakarya.edu.tr/~aokurt (1 Haziran 2007)
- Küçükler, A.S.** (2009). Porselen Karo Üretiminde Öğütme Verimliliği ve Üretim Süreçlerine Etkileri, Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir
- Küçüköner B.,** Properties of Compacted and Steam Cured Fly Ash-Lime Masonry Units, A. Master’s Thesis in *CE, METU*, (1989).
- Lorici, L. ve Contoli, L.** (1995). “Raw materials preparation: new developments in wet grinding,” *Cer. Acta*, 7, 5–14.
- Mattyasovszky, L., Solnay, Z.** (1957). “Mechanical Strength of porcelain”, *J. Am. Ceram. Soc.*, 40, 299-306 (1957)
- Matsunaga, T., Kim, J.K., Hardcastle, S., Rohatgi, P.K.,** (2002). “Crystallinity and Selected Properties of Fly Ash Particles”, *Materials science & Engineering*, 333-343.
- Mattigod, S. V., Rai, D., Eary, L. E., Ainsworth,** (1990). Geochemical Factors Controlling the Mobilization of Inorganic Constituents from Fossil Fuel Combustion Residues, *J. Environment Quality*, c.19, 188 – 201
- Maslehuddin, M., Saricimen, H., Al-Mani, A.,** (1987). Effect of fly ash addition on the corrosion resisting characteristics of concrete. *ACI Mater. J.* 84, 42e50.

- Mehta, P.K.**, (1986). Concrete-Structure, Properties, and Materials, *Prentice-Hall*, New Jersey.
- Nawaz, I.** (2013). "Disposal and Utilization of Fly Ash to Protect the Environment" *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* Vol. 2, Issue 10.
- Orhun, O.** (1964). "İnşaat Tuğlası ve Kiremit İmaline Elverişli Toprakların Tanınması", *Maden ve Teknik Arama Dergisi*, 63: 54-58.
- Öz, V.** (2007). "Hafif Agregalı Blok Üretiminde Yatağan Uçucu Külünün Etkisinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- Özdemir, B.**, (2005). "Döküm Çamuru Optimizasyonu", Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Özcan, M.** (1997). "Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Küllerinin Beton Özelliklerinin ve Etkinlik Katsayılarının Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Özkul, H., Koral, S.** (1995). "Afşin_Elbistan Uçucu Küllerinin Tuğla Blok Elemanı Üretiminde Kullanılma Olanaklarının Araştırılması", *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, sy. 151-160.
- Özmen, K.**, (2007). Pomzanın Vitrikiye Seramik Üretiminde Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.
- Öztekin, E., Cimilli, T.** (1987). "History and Use of Blended Cements in Turkey", *Cement, Concrete and Aggregates*, Cilt 9, No 1, 44-48.
- Öksüz, K.** (2006). Afşin Elbistan termik santrali uçucu külünün zemin stabilizasyonunda kullanımı, Yüksek Lisans Tezi *Çukurova Üniversitesi*, Adana
- Özmal, F.** (2005). 'Bor Endüstri Atıkları, Uçucu Kül, Taban Külü ve Alünit Mineralinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi' *Dumlupınar Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi
- Öztürk, M.** (2007), SiC İlaveli Alümina Seramik Kompozitler, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Palacı, Y.** (2001). Alüminanın özelliklerine şekillendirme yönteminin, katkıların ve sinterleme sıcaklığının etkisi, Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilim. Ens.*
- Queralt, I., Querol, X., Lopez-Soler, A. ve Plana, F.** (1997). Use of coal fly ash for ceramics: a case study for a large Spanish power station, *Fuel*, 76,787-791.
- Reed, J. S.** (1995), "Principles of Ceramics Processing", *John Wiley & Sons, Inc.*, New York.
- Reed, J.S.** (2000). "From batch to pressed tile: mechanics and system microstructural changes," *Qualicer 2000*, Castellon, Spain, Vol. I, con-23-42.
- Richerson, D.W.** (1990). Modern ceramic engineering, *Marcel Dekker Inc.*, New York.
- Rilem**, (1988). Committee 73-SCB: Final Report on Siliceous by-products for Use in Concrete, *Materials and Structures*, C.21, No.121, s.69-80,
- Sacmi**, (2002). "Applied Ceramic Technology", Volume 1-2, *Editrice La Mondragora S.R.L.*, Imola, Italy.
- Satopathy, L.N.**, (2000). "A Study On The Mechanical Abrasion and Microstructural Properties of Zirconia-Flyash Materials", *Ceramics International*, 26, pp 39-45.
- Sarıtaş, S.** (2007). Türker, M., Durlu, N., "Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri 1. Baskı", *Uyum Ajans*, Ankara, 180-190, 235-270.
- Sevim, U.K.** (2003). Afşin – Elbistan Uçucu Külünün Beton Ve Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin Çimento Hamuru Ve Harçlarının Üzerinde Yapılacak

- Deneylerle Araştırılması, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Smith, W.F.** (2001). "Principles of the Materials Science and Engineering 3rd ed.", Kınikoğlu N., *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 547-590.
- Singer, F., Singer, S.** (1963). "Industrial Ceramics", *Chapman and Hall Ltd.*, New York.
- Somiya, S.** (2003). "Handbook of Advanced Ceramic," Volume 1, *Elsevier Inc.*,
- Sümer, G.** (1990). Endüstriyel Seramikler, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, S. 10-35.
- Sümer, G.** (1998). Seramik Sanayinde Üretim Teknolojisi, No: XV, Sayı No:3, s.37, 1998
- Sümer, G.** (2005). "Seramik Hammaddeleri", *Eskişehir Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Bölümü*.
- Soyhan, H.**, (2007). Seramikleri Sinterleme Prosesi Süresince Değişikliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sengül, Ö., Tasdemir, M.A., Sönmez, R.**, (2005). Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Klor Geçirimsizliği, *İ.M.O. Bülten*, Sayı:77.
- Şahin, Ş.A.** (2008). Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.
- Şahman, A.** (2015). Konya Bölgesinde Üretilen Yığma ve Karkas Duvar Tuğlalarının İlgili Standartlara Uygunluğunun Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Şişman, C. B., Kocaman, İ., Gezer, E.** (2006). "Tekirdağ yöresinde üretilen ve tarımsal Yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir Araştırma", *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3 (1): 32-40.
- Taçyıldız, E.**, (2015). Uçucu Küllerin Sırlarda Hammadde ve Renklendirici Olarak Kullanımı, *Mesleki Bilimler Dergisi* 4(1):21-26
- Taykurt, Daday, M.**, (2012) Seramik Sağlık Gereçlerinde Damar Hatalarının Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir
- Taylor, H F W.** Cement Chemistry (2nd Edition) [M]. London: *Thomas Telford Ltd*, 272
- Tanışan, H.H., Mete, Z.** (1986). Seramik Teknolojisi ve Uygulaması C.1., Söğüt
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı** (2017). Seramik Sektörü Raporu, Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi.
- T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı**, (2001). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu*, Yapı Malzemeleri-I, DPT: 2615 – ÖİK: 626.
- Tikalsky, P.J. and Carraullo, R.L.** (1992). "Influence of fly ash on sulphate resistance of concrete", *ACI Materials Journal*, 89, 1, 69-75.
- TSE**, (1975). Uçucu Küller Standartı TSE 639.
- TS 639**, (1975). Uçucu Küller- Çimentoda Kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1** (2002). Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*.
- Toros, H.** (1987). Afşin Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi olarak Kullanılması, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 117 s., İstanbul.

- Tokyay, M. ve Çetin, B.** (1991). Preslenmiş, buhar kürü uygulanmış uçucu kül-kireç tuğlalarının dayanım ve su emme özellikleri. *Teknik Dergi, TMMOB. İnşaat Mühendisleri Odası, 1*, 385-394.
- Tokyay, M., Erdoğan, K.** (1993). “Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu”, *TÇMB*, Ankara
- Tokyay, M.** (1993) “Betonda Uçucu Kül Kullanımı (Türkiye Deneyimi)”, *Endüstriyel Atıkların inşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu*, Ankara, Kasım.
- Tütünlü, F., Atalay, Ü., W.** (2001). “Utilization of Fly Ash in Manufacturing of Building Bricks”, *International Ash Utilization Symposium*, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A.** (2003) “Türkiyede Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, *TÇMB*, Ankara.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A.** (2004). “Türkiyede Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, *TÇMB*, Ankara.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. ve Yeğınobalı, A.**, (2007). “Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, *TÇMB*, AR-GE, Y03.03, Syf. 102.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A.** (2009) “Türkiyede Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, *TÇMB*, Ankara.
- Urtekin, L.**, (2008). “Toz Enjeksiyon Kalıplanmış Steatit Seramiklerin Özelliklerine Kalıplama ve Sinterleme Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi” Doktora Tezi, *Gazi Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Uz, V., Özdağ, H., Hocaoğlu, E.** (2008). “CSH Katkısının Porselen Süspansiyon/Ürün Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması”, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16: 105-112.
- Ünal O, Uygunoğlu T** (2004). Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi. *Türkiye 14. Kömür kongresi bildiriler kitabı*, Cilt 1: 310-321, Zonguldak.
- Vari, A.** (2000), “Raw material preparation and forming of ceramic tiles”, *S.A.L.A.*, Modena, Italy.
- Vari, A.**, (2004). “Raw Materials Preparation and Forming of Ceramic Tiles,” *Sala*, Modena, Italy.
- Xu, A.** (1997). “Fly Ash in Concrete”, Part-3, Was te *Materials Used in Concrete Manufacturing*, Editor: Satish Chandra, Sweden.
- Walder, K.S.** (1949). Injection molding of ceramics materials, *Amer. Ceram. Soc. Bull.*, 28 (11), 459-461.
- Yan, W., Li, J.**, (2009). Modeling of the unburned carbon in fly ash. *Energy Power Eng* 2009, 90–93; Bahadori, A., Vuthaluru, H.B., 2010. Estimation of potential savings from reducing unburned combustible losses in coal-fired systems. *Appl. Energy* 87, 3792–3799;
- Yaralı, Y., Yılmaz, Ş.** (2004). Seramik Kompozit Malzemeler. *Metal Makine*.
- Yılmaz, Ş.** (1992). “Seyitömer Termik Santrali Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yılmaz, Ş.** (2006-2007). “Seramik II Ders Notları”, *Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, Sakarya,
- Yılmaz v.d** (2015). “Seramik Malzemeler 2015-2016 Güz Yarıyılı Ders Notları” *SAÜ. Müh. Fak. Metalurji ve Malz. Müh. Böl.* Sakarya.
- Yıldırım A, N.** (2007). Pomza ve Uçucu Kül Kullanılarak İmal Edilen Hafif Betonların Agresif Su Ortamlarında Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi *Selçuk Üniversitesi, Konya*

- Zeybek, O.** (2009). Uçucu kül esaslı geopolimer tuğla üretimi, *Anadolu Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir
- Zhao, H., Sun, W., Wu, X., Gao, B.** (2015). The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures. *J. Clean. Prod.* 95, 66e74.
- Url-1** <<http://www.enerjiatlası.com>>, alındığı tarih: 29.06.2014.
- Url-2** <<http://www.tüik.gov.tr>>, alındığı tarih: 01.04.2015.
- Url-3**<<http://www.seramikanka.com.tr/blog/index.php/ÇATegory/sector>>, alındığı tarih: 17.01.2010.
- Url-4**<<http://malzeme.aku.edu.tr/wpcontent/uploads/sites/88/2016/03/M%C3%9CL-IISERAM%C4%B0K-DERS NOTU.pdf>> alındığı tarih: 19.06.2014
- Url-5** <http://wb2006en.genesto.com/i_The_B_40469.html,> Alındığı Tarih 12.03.2008.
- Url6**<http://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2018/10/10_SeramikCalismaGurubu.pdf>, alındığı tarih: 07.01.2019
- Url-7**<<https://malzemebilimi.net/soguk-izostatik-presleme-nedir-nasiluygulanir.html>> alındığı tarih: 07.01.2019
- Url-8**<www.aytabicer.com/TR/DersNotlari/Hammadde/SeramikHammaddeler> alındığı tarih: 18.01.2010



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	İbrahim ERDOĞAN
Doğum Yeri ve Tarihi	Divriği, 1984
Medeni Hali	Bekâr
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	İbrahim_erdogn@hotmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Ümraniye Teknik Lisesi, 2002
Ön Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi, 2004
Ön Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2012
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2016
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2019

İş Tecrübesi

Kaan Müh.Hizm. San. ve Tic.Ltd. Şti	Makine Teknikeri, 2008
Ariel Marble Avrupa Birliği	
Leonardo Da Vinci Yurtdışı Stajı	Stajyer Maden Teknikeri, 2011
Cumhuriyet Üniversitesi	Laboratuvar Teknikeri, 2013
Erdemir San ve Tic. A.Ş.	Stajyer Maden Mühendisi, 2014
Devlet Su İşleri	Maden Mühendisi, 2016
Çimsa Çimento San. Tic. A.Ş (OSY Loj. Mad.İnş. AŞ)	Maden Mühendisi, 2019

Yayınlar, Kongreler ve Bildiriler

1. Kursun, H., **Erdoğan, İ.** “Influence of Frother Types and Concentrations on Entrainment in Conventional anRd Column Flotation” *Madencilik Dergisi*, 56/2, 45-54, Haziran-2017

2. Kursun, H., **Erdoğan, İ.** Influence of Superficial Air Rate on Entrainment in Column Flotation, *Mühendislik ve Yerbilimleri Dergisi*,1:2, 8-16, 2017.
3. Ulusoy, U., Kurşun, H., **Erdoğan İ.**, “Statistical significance testing of the particle circularity values from various products of sphalerite column flotation beneficiation with ultrasonic pre-treatment” *International Science and Technology Conference*, Berlin, 2017.
4. Ulusoy, U., Kurşun, H., **Erdoğan İ.**, “Statistical significance testing of the particle circularity values from various products of sphalerite column flotation beneficiation with ultrasonic pretreatment. *The Online Journal of Science and Technology*, Vol:8, Issue:42018, 2018.