T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN İŞYERLERİNDE KULLANILAN BAZI İŞ ARAÇLARINDAN KAYNAKLANAN EL-KOL TİTREŞİM MARUZİYETİNİN ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zafer ÖZGEN
(201392111040)

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bülent ERDEM

SİVAS
EYLÜL 2015

Zafer ÖZGEN'in hazırladığı ve "**Maden İşyerlerinde Kullanılan Bazı İş Araçlarından Kaynaklanan El-Kol Titreşim Maruziyetinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Bülent ERDEM** Cumhuriyet Üniversitesi	……
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU** Cumhuriyet Üniversitesi	……
	Doç. Dr. İhsan ÖZKAN Selçuk Üniversitesi	……

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

Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ
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'nda (Yönerge) belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-592 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

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

© Zafer ÖZGEN, 2015

ETİK

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

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

09.09.2015

Zafer ÖZGEN

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

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

Tezin saha çalışması bölümünü oluşturan el-kol titreşimi ölçümlerinde yöntem ve veri alımı süreçlerinde destek olan Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Meslek Yüksek Okulu Öğretim Görevlisi Sayın Zekeriya DURAN ve Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Sayın Tuğba DOĞAN'a müteşekkirim.

Jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Atilla CEYLANOĞLU ve Sayın Doç. Dr. İhsan ÖZKAN'a yaptıkları olumlu eleştiriler ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

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

ÖZET

MADEN İŞYERLERİNDE KULLANILAN BAZI İŞ ARAÇLARINDAN KAYNAKLANAN EL-KOL TİTREŞİM MARUZİYETİNİN ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Zafer ÖZGEN

Yüksek Lisans Tezi
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Bülent ERDEM
2015, 134+xvi sayfa

Sanayinin hemen her dalında çalışan işçiler el-kol titreşimine maruz kalmaktadır. Maden iş kolu iş kazaları ve meslek hastalığı olguları bakımından en tehlikeli iş kolu olarak görülmektedir. Bu çalışmada, maden işyerlerinde çalışan işçilerin el-kol titreşim maruziyetlerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırma, sanayiden sayılan işyerlerinden alınan ölçümlerle de desteklenmiştir. Ölçümler Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yayımlanan ilgili Yönetmelikte belirtilen standartlara uygun ekipman ve süreçler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her alet/araç için en büyük titreşim ivmesi (AEQ), eşdeğer titreşim ivmesi (A(8)), saatlik maruziyet puanı (HEP), toplam maruziyet puanı (TEP), her eksen için baskın titreşim ivmesi frekansı, maruziyet eylem değerine erişim süresi (EAV_{TT}) ile maruziyet sınır değerine erişim süresi (ELV_{TT}) hesaplanmıştır. Daha sonra alet/araçlar; benzer işlev gören aletler bazında, elle tutularak veya elle güdülerek işlev gören aletler bazında, aracın ya da nesnenin tutulması ile işlev gören aletler bazında ve elektrik ya da basınçlı akışkan tahrikli aletler bazında olmak üzere dört başlıkta gruplandırılarak, analiz edilmiştir. Kompaktörler, matkaplardan martopikörlere kadar araçların bulunduğu delici sınıfı ile yüksek devirle dönen avuç taşlama/kesme makineleri ile spiral kesme makinelerinin tüm gruplarda, maruziyet sınır değerine erişim süresini dakikalar ile sınırlayacak kadar yüksek titreşime neden olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Eşdeğer titreşim ivmesi (A(8)), En büyük titreşim ivmesi (AEQ), El-kol titreşimi sendromu (EKTS), TS EN ISO 5349-1, TS EN ISO 5349-2

ABSTRACT

MEASUREMENT and EVALUATION of HAND-ARM VIBRATION EXPOSURE SOURCED FROM SOME POWER TOOLS in MINING WORKPLACES

Zafer ÖZGEN

Master of Science Thesis, Department of Mining Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Bülent ERDEM
2015, 134 pages

Workers are exposed to hand-arm vibration in almost all branches of industry. Mining is seen as the most dangerous occupation in terms of work accidents and occupational disease cases. This study aimed at measuring and then evaluating the hand-arm vibration exposure of mine workers. The research is supported by measurements taken from industrial establishments. The measurements were carried out using equipment and processes suitable to the relevant standards, which are specified in the Regulations of the Labor and Social Security Ministry of Turkey. For each tool/instrument the following vibration-related parameters were calculated: acceleration equivalent level (AEQ), equivalent vibration acceleration (A(8)), hourly exposure points (HEP), total exposure points (TEP), the dominant vibration acceleration frequency for each axis, time to reach the exposure action value (EAV_{TT}) and time to reach the exposure limit value (ELV_{TT}). Later, instruments/tools were grouped and then analyzed under the following four headings; instruments which perform similar functions, hand-held or hand-driven instruments/tools, performing a specific task by holding the tool/instrument or by holding and feeding a working object to the tool, and finally electricity or pressurized fluid driven tools. In all groups, compactors, drill tools of all types, high-speed grinders and cutters were found to cause extremely high levels of hand-arm vibration exposure, which would confine the time to reach to the exposure limit value within a few minutes.

Key Words: Equivalent vibration acceleration (A(8)), Acceleration equivalent level (AEQ), Hand-arm vibration syndrome (HAVS), TS EN ISO 5349-1, TS EN ISO 5349-2

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... Vİİ
ABSTRACT ..... Vİİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ X
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... Xİİİ
SİMGELER DİZİNİ ..... XİV
KISALTMALAR DİZİNİ XV

1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 4
2.1 Titreşim 4
2.2 İlgili standartlar 9
2.3 El-Kol Titreşiminin Sağlık Üzerindeki Etkileri 11
2.3.1 Genel 11
2.3.2 El-Kol Titreşiminin Çalışanın Bedensel Performansına Etkileri 12
2.3.3 El-Kol Titreşiminin Çalışanın Dolaşım Sistemine Etkileri 16
2.3.4 El-Kol Titreşiminin Çalışanın Nörosensor Sistemine Etkileri 22
2.3.5 El-Kol Titreşiminin Çalışanın Kas-İskelet Sistemine Etkileri 24
2.4 Öncel Çalışmalar 26
3. EL-KOL TİTREŞİM MARUZİYETİ 31
3.1 El-Kol Titreşimi 31
3.2 El-Kol Titreşimine Günlük Maruziyetin Hesaplanması 34
3.2.1 Günlük maruziyet grafiği 34
3.2.2 Günlük maruziyet nomogramı 34
3.2.3 Maruziyet puantaj sistemi 34
3.2.4 Trafik lambası sistemi 35
3.2.5 Parametrik fonksiyonlar 38
3.3 El-Kol Titreşimine Günlük Maruziyetin Hesaplanması 40
3.3.1 Yalnızca bir makinenin kullanıldığı yerler 40
3.3.2 Birden fazla makinenin kullanıldığı yerler 40
3.3.3 Maruziyet puantaj sistemi kullanılması 41
3.4 El-Kol Titreşimi Ölçüm Düzeneği 43
3.5 El-Kol Titreşimi Etkilerinden Korunma 44
4. SAHA ÇALIŞMASI 46
4.1 Genel 46
4.2 Çalışma Uzayı 46
4.3 Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler 52
4.4 El-Kol Titreşim Maruziyeti Değerlendirmeleri 63
4.4.1 Benzer işlev gören aletler bazında gruplandırma 63
4.4.2 Elle tutularak veya elle güdülerek işlev gören aletler bazında gruplandırma 64
4.4.3 Aracın ya da nesnenin tutulması ile işlev gören aletler bazında gruplandırma 66
4.4.4 Elektrik ya da basınçlı akışkan tahrikli aletler bazında gruplandırma 68
4.4.5 El-kol titreşim parametreleri bakımından değerlendirme 70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 76
5.1 SONUÇLAR 76
5.2 ÖNERİLER 78

KAYNAKÇA 79

EKLER 82

EK-1 EL-KOL TİTREŞİMİ ANALİZ VERİSİ 82

ÖZGEÇMİŞ 134

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Bir titreşim dalgası üzerinde tepe, KOK ve tepe-tepenin gösterimi (Brüel&Kjaer, 2002).....4
Şekil 2.2 El-kol titreşimi maruziyeti.....5
Şekil 2.3 Beyaz parmak sendromu ve karpal tünel sendromu (WEB7, 2015).....6
Şekil 2.4 Titreşim ve üst ekstremite ilişkisi – kırmızı renk titreşim etkisi altındaki bölgeyi göstermektedir (Burström vd., 2009).....17
Şekil 2.5 Beyaz parmak sendromu (Burström vd., 2009).....18
Şekil 2.6 Beyaz parmak sendromunda damarların soğuğa tepkisi (Burström vd., 2009)...19
Şekil 2.7 Dolaşım ilintili belirtilerin aşamalandırılması (Burström vd., 2009).....21
Şekil 2.8 Eklem patolojisi (Burström vd., 2009).....26
Şekil 3.1 El-kol titreşimi (EU, 2006).....31
Şekil 3.2 El-kol titreşimi ölçüm eksenleri (EU, 2006).....32
Şekil 3.3 Yaygın olarak kullanılan el aletlerinin titreşim büyüklükleri.....33
Şekil 3.4 Günlük maruziyet grafiği (EU, 2006).....36
Şekil 3.5 El-kol titreşimi maruziyet nomogramı (EU, 2006).....37
Şekil 3.6 Maruziyet puan tablosu (yuvarlanmış değerler) (EU, 2006).....38
Şekil 3.7 Titreşim analizör cihazı.....43
Şekil 3.8 El-kol titreşim maruziyeti ölçümü.....44
Şekil 4.1 İşçi el-kol maruziyeti değerlendirme çizelgesi.....47
Şekil 4.2 Alet gruplarının el-kol titreşim vektörü (AEQ) bazında sıralanması.....63
Şekil 4.3 Alet gruplarının eşdeğer titreşim ivmesi (A(8)) bazında sıralanması.....64
Şekil 4.4 Elle tutularak kullanılan alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.....65
Şekil 4.5 Elle güdülerek kullanılan alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.....65
Şekil 4.6 Doğrudan titreşim ileten alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.....67
Şekil 4.7 Dolaylı titreşim ileten alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.....67
Şekil 4.8 Elektrik tahrikli alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.....69
Şekil 4.9 Diğer tahrikli alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.....69
Şekil E-1.1 Parke kalıp makinesi – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....83
Şekil E-1.2 Parke kalıp makinesi – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....83
Şekil E-1.3 Parke kalıp makinesi – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....84
Şekil E-1.4 Parke kalıp makinesi – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....84
Şekil E-1.5 Havalı bijon tabancası – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....85
Şekil E-1.6 Havalı bijon tabancası – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....85
Şekil E-1.7 Asfalt kesme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....86
Şekil E-1.8 Asfalt kesme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....86
Şekil E-1.9 Kompaktör – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....87
Şekil E-1.10 Kompaktör – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....87
Şekil E-1.11 Elektrikli martopikör ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....88
Şekil E-1.12 Elektrikli martopikör ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....88
Şekil E-1.13 Havalı martopikör – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....89
Şekil E-1.14 Havalı martopikör – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....89
Şekil E-1.15 Havalı zımba tabancası ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....90
Şekil E-1.16 Havalı zımba tabancası ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....90
Şekil E-1.17 Havalı bijon tabancası – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....91
Şekil E-1.18 Havalı bijon tabancası – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....91
Şekil E-1.19 Sütunlu matkap ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....92
Şekil E-1.20 Sütunlu matkap ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....92
Şekil E-1.21 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....93
Şekil E-1.22 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....93
Şekil E-1.23 PVC birleştirme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....94
Şekil E-1.24 PVC birleştirme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....94
Şekil E-1.25 PVC çapak temizleme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....95
Şekil E-1.26 PVC çapak temizleme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....95

Şekil E-1.27 Giyotin – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği. 96
Şekil E-1.28 Giyotin – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 96
Şekil E-1.29 Giyotin – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği. 97
Şekil E-1.30 Giyotin – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 97
Şekil E-1.31 Açılı kesim makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği. 98
Şekil E-1.32 Açılı kesim makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 98
Şekil E-1.33 Çim biçme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....99
Şekil E-1.34 Çim biçme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....99
Şekil E-1.35 Havalı bijon tabancası – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....100
Şekil E-1.36 Havalı bijon tabancası – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....100
Şekil E-1.37 Havalı bijon tabancası – 4 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....101
Şekil E-1.38 Havalı bijon tabancası – 4 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....101
Şekil E-1.39 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....102
Şekil E-1.40 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği....102
Şekil E-1.41 Havalı avuç taşlama makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....103
Şekil E-1.42 Havalı avuç taşlama makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....103
Şekil E-1.43 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....104
Şekil E-1.44 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği....104
Şekil E-1.45 Kaynak makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği. 105
Şekil E-1.46 Kaynak makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 105
Şekil E-1.47 Havalı bijon tabancası – 5 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....106
Şekil E-1.48 Havalı bijon tabancası – 5 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....106
Şekil E-1.49 Basınçlı su tabancası ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....107
Şekil E-1.50 Basınçlı su tabancası ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....107
Şekil E-1.51 Büyük çekiç ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği. 108
Şekil E-1.52 Büyük çekiç ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 108
Şekil E-1.53 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 4 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....109
Şekil E-1.54 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 4 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği....109
Şekil E-1.55 Elektrikli matkap – küçük – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....110
Şekil E-1.56 Elektrikli matkap – küçük – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....110
Şekil E-1.57 Elektrikli matkap – küçük – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....111
Şekil E-1.58 Elektrikli matkap – küçük – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....111
Şekil E-1.59 Elektrikli matkap – büyük – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....112
Şekil E-1.60 Elektrikli matkap – büyük – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 112
Şekil E-1.61 Elektrikli matkap – büyük – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....113
Şekil E-1.62 Elektrikli matkap – büyük – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 113
Şekil E-1.63 Elektrikli somun sıkma makinesi – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....114
Şekil E-1.64 Elektrikli somun sıkma makinesi – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği....114
Şekil E-1.65 Elektrikli spiral kesme makinesi – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....115
Şekil E-1.66 Elektrikli spiral kesme makinesi – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....115
Şekil E-1.67 Elektrikli spiral taşlama makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....116
Şekil E-1.68 Elektrikli spiral taşlama makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....116
Şekil E-1.69 Kompaktör – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği. 117
Şekil E-1.70 Kompaktör – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 117
Şekil E-1.71 Havalı martopikör – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....118
Şekil E-1.72 Havalı martopikör – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....118
Şekil E-1.73 Havalı bijon tabancası – 6 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....119
Şekil E-1.74 Havalı bijon tabancası – 6 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....119
Şekil E-1.75 Elektrikli avuç kesme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....120
Şekil E-1.76 Elektrikli avuç kesme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....120
Şekil E-1.77 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 5 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....121
Şekil E-1.78 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 5 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği....121
Şekil E-1.79 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 6 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....122
Şekil E-1.80 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 6 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği....122
Şekil E-1.81 Havalı bijon tabancası – 7 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....123
Şekil E-1.82 Havalı bijon tabancası – 7 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....123
Şekil E-1.83 Tranjer testere ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği. 124
Şekil E-1.84 Tranjer testere ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 124

Şekil E-1.85 Elektrikli matkap – küçük – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....125
Şekil E-1.86 Elektrikli matkap – küçük – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....125
Şekil E-1.87 Elektrikli somun sıkma makinesi – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....126
Şekil E-1.88 Elektrikli somun sıkma makinesi – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği....126
Şekil E-1.89 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 7 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....127
Şekil E-1.90 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 7 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği....127
Şekil E-1.91 Elektrikli iri taşlama makinesi – 8 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği. 128
Şekil E-1.92 Elektrikli iri taşlama makinesi – 8 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 128
Şekil E-1.93 Elektrikli spiral kesme makinesi – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....129
Şekil E-1.94 Elektrikli spiral kesme makinesi – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....129
Şekil E-1.95 Elektrikli spiral kesme makinesi – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....130
Şekil E-1.96 Elektrikli spiral kesme makinesi – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....130
Şekil E-1.97 Bant soyma makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....131
Şekil E-1.98 Bant soyma makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.....131
Şekil E-1.99 Şarjlı matkap ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği. 132
Şekil E-1.100 Şarjlı matkap ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 132
Şekil E-1.101 Elektrikli matkap – büyük – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.....133
Şekil E-1.102 Elektrikli matkap – büyük – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği. 133

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Türkiye'de 2003-2005 yılları arası mesleki kas-iskelet hastalıkları (Bilir, 2007) 6
Çizelge 2.2 Maruziyet eylem ve sınır değerleri (Güven, 2011; ÇSGB, 2013).....8
Çizelge 2.3 AB Konseyi'nin fiziksel ajanlar üzerine komisyon direktifi önerisi: EK IIa. El-kol titreşimi (ACGIH, 2006) 10
Çizelge 2.4 Maruz kalan çalışanların %10'unda parmak beyazlaması yapabilecek frekans ağırlıklı titreşim ivme büyüklükleri (m/s²)* (ILO, 1998).....10
Çizelge 2.5 Titreşim yapan el aletlerinin ivmeleri ve önerilen kullanım süreleri (WEB10, 2015) 12
Çizelge 2.6 Titreşime bağlı beyaz parmak sendromunda Taylor-Pelmear sınıflaması (Gemne vd., 1987).....12
Çizelge 2.7 HAVS oluşumunu etkileyen faktörler (Ruffle, 1987; Güven'den, 2002) 12
Çizelge 2.8 Stockholm atölye ölçeğine göre ellerdeki etkilenimin aşamalandırılması (Burström vd., 2009).....21
Çizelge 2.9 Nörosensör durumların aşamasının belirlenmesi (Burström vd., 2009).....24
Çizelge 3.1 Trafik lambası sistemi için örnek renk kodlama şeması (EU, 2006) 35
Çizelge 4.1 Çalışmada ölçüm alınan alet/araçlar.....48
Çizelge 4.2 Çalışmada ölçülen parametreler 56
Çizelge 4.3 Hesaplanan parametreler 59
Çizelge 4.4 Benzer işlev grupları bazında ortalama el-kol titreşimi ivmeleri.....63
Çizelge 4.5 Alet/araç kullanma yöntemi bazında ortalama el-kol titreşimi ivmeleri.....64
Çizelge 4.6 Doğrudan veya dolaylı ortalama el-kol titreşimi ivmeleri 66
Çizelge 4.7 Alet/aracın tahriki bakımından ortalama el-kol titreşimi ivmeleri.....68
Çizelge 4.8 En yüksek titreşim ivmesi (Max(RMS)) bakımından sıralama 71
Çizelge 4.9 Baskın titreşim ivmesi (Max(RMS)/Min(RMS)) bakımından sıralama.....72
Çizelge 4.10 Saatlik (HEP) ve toplam (TEP) maruziyet puanı bakımından sıralama 74
Çizelge 4.11 En yüksek titreşim ivmesine ait frekans bakımından sıralama 75

SİMGELER DİZİNİ

a_{hv} **:** Titreşim ivmesi vektörü, m/s²

$A(8)_i$ **:** i kaynağından gelen kısmi titreşim maruziyeti, m/s²

EAV **:** Maruziyet eylem değeri (Yönetmelik uyarınca 2,5 m/s²)

ELV **:** Maruziyet sınır değeri (Yönetmelik uyarınca 5,0 m/s²)

RMS_i **:** X, Y ve Z eksenlerinden kaydedilen ağırlıklandırılmış el-kol titreşimi ivmesi değeri (m/s²)

T **:** Ölçüm süresi, saniye

T_E **:** Maruziyet süresi (çalışanın titreşim etkisine maruz kaldığı süre, saniye)

T_0 **:** Referans süresi (genellikle 28800 saniye ya da 8 saat alınmaktadır)

KISALTMALAR DİZİNİ
(METİN İÇERİSİNDE VERİLEN TIBBİ TERİMLERİN AÇIKLAMASI)

Metin içindeki ifade	Türkçe tıbbi terim	İngilizce tıbbi terim
Belirti	Semptom	Symptom
Damar kaslarının kasılması	Vazospasm	Vasospasm
Damarların büzülmesi	Vazokonstriksiyon	Vasoconstriction
Dayanma günü	Endürans	Endurance
Dokulardan haber ileten sinir	Afferent	Afferent
Duyar	-	Sensor
El becerisi	Deksterite	Dexterity
El becerisine dayalı	Manipülatif	Manipulative
Fonksiyon bozukluğu, kaybı	Disfonksiyon	Dysfunction
Halsizlik, dimağ felci	-	Dysesthesia
Hastalığı ortaya çıkışı	Latans	Latency
Hastalığın belirmesi	Manifestasyon	Manifestation
Hastalık süresi ve seyri	Prognoz	Prognosis
İğnelenme	-	Pricking
İğnelenme, karıncalanma	-	Tingling
İtki, dürtü	İmpuls	Impulse
Kas ile yapılan, kasa bağlı	Müsküler	Muscular
Kesintili, aralıklı	Epizodik	-
Kiriş	Tendon	Tendon
Maruziyet	Ekspozür	Exposure
Nöropati, nevropatı	Nöropati	Neuropathy
Olay	Epizot	Episode
Parmak uç kemiği	Distal falanks	Distal phalanx
Tahammülsüzlük, dayanım yetersizliği	İntolerans	Intolerance
Teşhis, tanı	Diagnoz	Diagnosis
Uğultu	-	Buzzing
Uyartı	-	Stimulation
Uyuşma sonucu duyu bozukluğu	Parestezi	Paresthesia
Yaygınlık	Prevalans	Prevalence

AB	Avrupa Birliği
ACGIH	The American Conference of Government Industrial Hygienists
BSI	British Standards Institute
EMG	Electromyo-graphic
HAVS	Hand-Arm Vibration Syndrome
HSE	Health and Safety Executive
HSL	United Kingdom Health and Safety Laboratory
ILO	International Labour Organization
ISO	International Organization for Standardization
NIOSH	The National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational Safety and Health Agency
SSK	Sosyal Sigortalar Kurumu
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
USBM	United States Bureau of Mines
VWF	Vibrating white fingers
WHO	World Health Organization

1. GİRİŞ

İş ve sağlık arasındaki ilişki çok eski tarihlerden beri bilinmektedir. İş sağlığı çalışmaları, çalışma hayatı ile ilgili sağlık sorunlarına ilk işaret eden Georgius Agricola'dan, 17'inci yüzyılda işyeri hekimliği yapmış "Çalışanların Hastalıkları" kitabı ve iş sağlığına pek çok önemli katkısı nedeniyle iş sağlığının kurucusu olarak tanınan Bernardino Ramazzini'den bugüne kadar sürmektedir.

İş sağlığının amacı, işyerinde bulunan sağlık risklerini etkili bir şekilde kontrol altına alarak çalışanlara sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı hazırlamak ve böylece çalışanların sağlığını korumak ve geliştirmektir. Yüzyıllar boyu yapılan tartışmalar, elde edilen veriler, "çalışanların sağlığına önem ve öncelik verme" ile "insan haklarına ve bunun temeli olan sağlıklı yaşam hakkına saygı gösterme"nin birbirinden ayrı olmadığını ortaya koymaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre iş sağlığının amacı; tüm mesleklerde çalışanların bedensel, ruhsal, sosyal durumlarını en üst düzeye ulaştırmak, bu düzeyde sürdürmek, çalışanların çalışma koşulları nedeniyle sağlıklarının bozulmasını önlemek, istihdam sırasında oluşacak tehlikelerden korumak, çalışanları fizyolojik ve psikolojik durumlarına en uygun mesleksel ortama yerleştirmek ve bu durumu sürdürmek, özetle işin insana, her insanın da kendi işine uyumunu sağlamaktır. İş sağlığı, tanımından da anlaşılacağı üzere çok disiplinli bir yaklaşım olarak yürütülmektedir. İşyerinde sağlık ve güvenlik hizmetlerinin arzu edilen seviyeye ulaşmasında, işyeri hekimi, iş güvenliği uzmanı (mühendis), işyeri hemşiresi, iş psikoloğu, ergonomist ve iş hijyenistinden oluşan bir "iş sağlığı ve güvenliği ekibi"ne ihtiyaç bulunmaktadır.

Çalışanın sağlığı sadece işyeri ile sınırlı olmayıp iş ortamından çalışanın evine kadar uzanan geniş bir etkilenim söz konusudur. Çalışanın sağlıklı bir birey olması, ailesi ve dolayısıyla toplumun sağlık düzeyini olumlu etkileyecektir.

Tüm dünya üzerinde sağlık hakkı, insanların en temel haklarından birisi olarak kabul edilip, doğrudan Anayasalarında yer alan ve hükme bağlanan bir haktır. İş sağlığı ise, gerek ülkenin üreten insan kaynağını çok yakından ilgilendirmesi, gerekse bozulması halinde hem kendisi, hem ailesini hem de ülke ekonomisini çok ağır maddi ve manevi kayıplara uğratması açısından önem kazanmaktadır. İşyerinde verimliliğin arttırılabilmesi için öncelikle iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması gerekmektedir.

En temel yaşama hakkına rağmen ILO kaynaklarına göre dünyada her yıl 1,2 milyon kadın ve erkek iş kazaları ve meslek hastalıkları dolayısıyla hayatını kaybetmektedir. Yine aynı kaynaklara göre; her yıl 250 milyon kişi iş kazaları, 160 milyon kişi ise meslek hastalıkları sonucu ortaya çıkan zararlara maruz kalmaktadır (WEB1, 2015).

OSHA yayınlarında; Avrupa ülkelerinde iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu yılda 5500 kişinin hayatını kaybettiği, 75000 kişinin sürekli çalışamaz duruma düştüğü, 149 milyon iş günü ve 20 milyar Euro maddi kaybın meydana geldiği rapor edilmektedir (WEB2, 2015).

SSK istatistiklerine göre 2000 yılında Türkiye'de 74847 iş kazası, 803 meslek hastalığı vakası meydana gelmiş, bunların 1173'ü ölümle sonuçlanırken, 1818 kişi sürekli iş göremez hale gelmiştir. 2000 yılında iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu kaybedilen iş günü sayısı ise 1697695'dir. Bunların 46075 günü hastanede geçmiştir. 2000 yılında 4045 hak sahibine gelir bağlanmış olup halen kurumdan 122882 kişi iş kazaları ve meslek hastalıkları sebebiyle gelir almaktadır. Bu rakamların yanı sıra SSK istatistiklerine yansımayan iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu kayıplar da ayrıca dikkate alındığında, iş sağlığı ve güvenliğinin sosyal ve ekonomik açıdan önemi görülmektedir (WEB3, 2013).

İmalat sanayiinde (metal işleyen darbeli aletler, matkaplar veya dönerek çalışan diğer alet ve anahtarlar), taş ocağı, madencilik, yol ve yapı işlerinde (kaya deliciler, kaya parçalayıcılar, yol kırıcılar, beton kırıcılar), tarım ve ormancılık alanında (zincir ve fırça testere, ağaç kabuğu makineleri), sürekli motosiklet kullanıcılarında (trafik polisi) ve halkın ev kullanımında (delici çekiç, el matkapları) elle iletilen titreşime mesleki veya özel maruziyet görülebilmektedir (Griffin, 1997, WEB8, 2015; Mirbod vd., 1997; Cherniak, 1994; Güven'den, 2002).

İlk olarak 1840'larda tünel yapımında Fransa'da elle çalışan havalı matkaplar kullanılmıştır. 1862 yılında Raynaud Fenomeni (Raynaud Hastalığı) tanımlanmıştır. Profesör Loriga 1911 yılında ilk kez İtalya'da madenlerde darbeli çekiç ile çalışan işçilerde parmaklarda solukluk, siyanoz ve üşüme atakları ile seyreden bir sendrom tanımlamıştır (WEB4, 2015). 1918 yılında Alice Hamilton kalker ocaklarında matkap kullanarak çalışan madencilerde "ölü parmak (dead finger)" sendromunu belirledi. Bu hastalık 1970'lerde "beyaz parmak sendromu" olarak adlandırılmaya başlanmıştır (WEB5, 2015). 1950'lerde taşınabilir cihazların yapılması ve birçok iş alanında titreşimli cihazların yaygın olarak kullanılmaya başlamasının ardından, 1960'lardan sonra "Mesleki Titreşim Sendromu" olan pek çok vaka görülmektedir (Yamada ve Sakakibara, 1998).

Madencilik ve inşaat sektörlerinde 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren basınçlı hava ile çalışan el aletleri üretilmeye başlanmıştır. Bu durum özellikle İkinci Dünya Savaşı ile birlikte artış göstermiştir. Günümüzde delici, kırıcı, kesici ve cilalayıcı özellikteki bu titreşimli cihazlar yoğun olarak birçok iş alanında kullanılmaktadır. Böylece, elle yapılan bu işlerde verimin 6-12 kat artması sağlanmaktadır (Yamada ve Sakakibara, 1998). 1907'lerden beri Güney Afrika'da altın madenlerinde kullanılan delicilerde (rock drill) 24-31 m/s^2 olan vibrasyon değerleri standartların 5ile 6 kat üzerinde değerlerdedir. Her teknolojik fırsat gibi bu cihazların bilinçsiz kullanımı da sağlık problemlerini beraberinde getirmiştir. Bu problemler başlıca beş ana başlık altında incelenebilir.

1. Teknolojik faktörlerden kaynaklanan problemler: Titreşim, gürültü ve ağırlık taşıma nedeni ile oluşan riskler sonucu, el-kol titreşim sendromu, işitme kaybı ve kas iskelet sistemi hastalıkları ortaya çıkmaktadır.
2. Çalışma koşullarından kaynaklanan problemler: Çalışma süresi (günlük, haftalık ve yıllık), dinlenme aralıkları, çalışma ortamının sıcaklığı, çalışma pozisyonu, işçinin giyim özellikleri, kişisel koruyucu malzeme kullanma (koruyucu eldiven, kulak tıkacı ve uygun ayakkabı gibi) durumu gibi pek çok faktör sağlık etkilenimini değiştirmektedir.
3. Yetersiz sağlık bakımından kaynaklanan problemler: Erken tanı, uygun tedavi ve işle ilgili düzenlemelerin zamanında yapılabilmesi, etkilenim düzeyini azalttığı gibi geri dönülmez noktaya varmasını da önlemektedir.
4. Hava koşullarına özel problemler: Soğuk ve yağışlı hava koşullarında sürekli titreşime maruziyet, periferik damarlarda büzülme ve otonom sinir sisteminin soğuğa yanıtının artmasına yol açmaktadır. Soğuğa karşı önlem alınması titreşimin etkilerini azaltmaktadır.
5. Eğitim eksikliğinin getirdiği problemler: Titreşimli cihaz kullanan kişilerin, titreşim, soğuk ve sağlık etkileri konularında teknik ve hijyenik eğitim almaları, maruziyet sonucu sağlık etkilenimini azaltmada büyük önem taşımaktadır (Yamada ve Sakakibara, 1998).

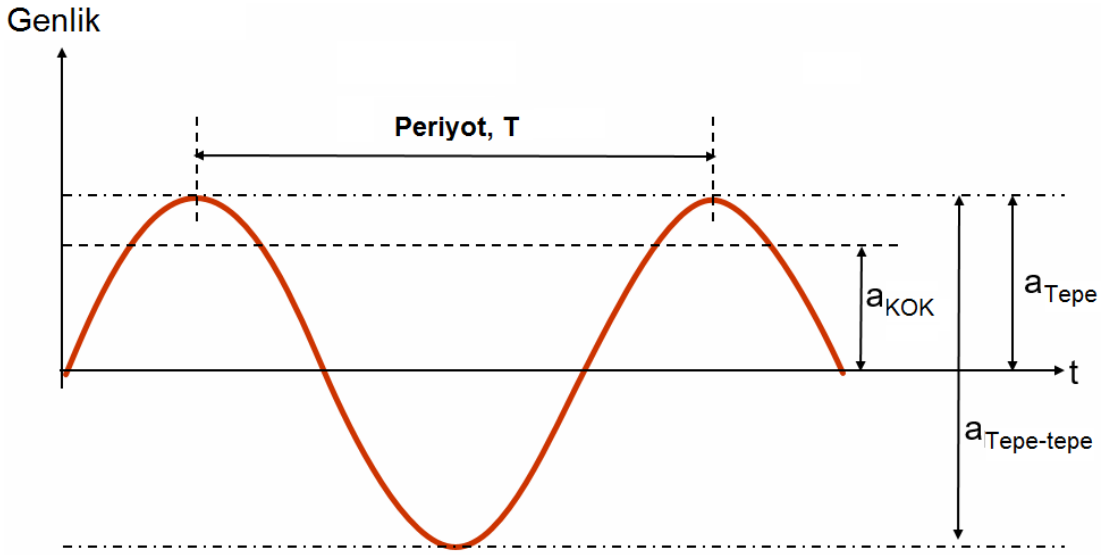
Avrupa işgücünün %1,7 - %3,6'sının elle iletilen titreşimin zararlı etkilerine maruz olduğu tahmin edilmektedir. NIOSH yayınlarına göre Amerika'da 1.2 milyon işçi titreşime maruz kalmaktadır (NIOSH,1989, Miller vd., 1994). İngiltere'de yapılan bir çalışma bir milyonun üzerinde işçinin 2,8 m/s^2 ile ulusal düzeyin çok üzerinde titreşime maruz kaldığını göstermektedir. Hollanda'da yapılan bir başka çalışma ise işgücünün %4 - %7'sinin bütün vücut titreşimine maruz kalmakta olduğunu göstermektedir. Dublin Vakfı tarafından yürütülmekte olan bir çalışma raporu da Avrupa'da titreşime maruziyetin çok yaygın olduğunu doğrulamaktadır. Avrupa Komisyonunun sonuçlarını duyurduğu 1995 tarihli Eurostat çalışmasına göre, Avrupa'da en sık görülen meslek hastalıkları arasında titreşimden kaynaklanan hastalıklar ilk on hastalık arasında yer almaktadır (Koukoulaki, 2001; Güven'den, 2002). Titreşime maruz kalan işçilerde HAVS görülme yaygınlığı %10 - %70 olarak rapor edilmektedir (Miller vd., 1994). 1990'lı yıllarda HSE tarafından yapılan çalışmada 5 milyon civarında İngiliz işçinin el kol titreşimine maruz kaldığı rapor edilmiştir (HSE, 2010).

Bu çalışmada maden işyerleri ile sanayiden sayılan işyerlerinde çalışan işçilerin el-kol titreşim maruziyetleri ölçülmüş ve farklı ölçütler ile değerlendirilmiştir. İkinci bölümde titreşim kinematiğine giriş yapılmış, el-kol titreşimi tanıtılmış, ilgili ulusal ve uluslararası standartlar hakkında bilgi verilmiştir. Takiben el-kol titreşiminin sağlık üzerindeki etkileri; çalışanın bedensel performansı, dolaşım, nörosensör ve kas-iskelet sistemleri üzerindeki riskleri bakımından verilmiştir. Üçüncü bölüm el-kol titreşiminin ölçümü ve maruziyet değerlendirme göstergelerinin hesaplanma yöntemlerini tanıtmaya ayrılmıştır. Yapılan saha ve ofis çalışmaları ile sonuçların sunumu dördüncü bölümde, sonuçlar ve öneriler beşinci bölümde yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Titreşim

Titreşim, tıpkı ses dalgaları gibi tekrarlayan ve saniyede belirli bir sayısı olan dalga olarak tanımlanmaktadır. Ses ile başlıca farkı, sesin hava yolu ile titreşimin ise madde üzerinden iletilmesidir. Titreşim, büyüklüğü ve frekansı ile ifade edilmekte olup ses gibi frekansının birimi Hertz'dir (Hz). Titreşimin büyüklüğü; yer değiştirmesi (m), hızı (m/s), ivmesi ise (m/s²) ile gösterilmekle birlikte genellikle ivme değeri esas alınmaktadır (Çay, 2006). Tipik bir titreşim dalgası ve özellikleri Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Bir titreşim dalgası üzerinde tepe, KOK ve tepe-tepenin gösterimi (Brüel&Kjaer, 2002).

Titreşim insan vücuduna çeşitli yollardan girmektedir. Ayakta duran bir insanın ayaklarından, oturuyorsa kalçasından, sırtını dayamışsa sırtından, tutulan ve elle kullanılan aletlerden elle vücuda geçebilmektedir. Titreşim ulaşım araçlarında, titreşim bulunan yapılarda, büyük ve titreşimli makinelerin yakınında oluşmaktadır. İş ortamında kullanılan bazı aletler, makineler veya hareketli parçaların titreşimleri işçinin el ve kollarına geçmektedir. Madenlerde, inşaatlarda, basınçlı havalı portatif aletlerle çalışanlarda ve motorlu testere kullananlarda bu konu önem kazanmaktadır (Şekil 2.2). Bunlarda titreşim el, bilek, kol ve omuzları etkilerken; genel olarak bu araçların titreşim frekansı 8 Hz – 1000 Hz arasındadır. Titreşimin etkileri yerel etkiler ve tüm vücut etkileri olarak ikiye ayrılabilir. Yerel etkiler; basınçlı havalı (pnömatik) çekiç veya matkap kullanan kişilerde (asfalt ve beton deliciler, madenlerde martopikör ve martoperforatör kullanarak çalışan işçiler) görülmektedir. Bütün vücut etkileri ise daha çok iş makineleri kullanan kişilerde, dolaşım ilintili bozukluklara bağlı olarak görülmektedir. Titreşim sendromu ile ilgili tanı ve değerlendirme

yöntemleri özneldir. Bu tür ciddi sorunlara yol açması nedeni ile gerekli önlemleri almak son derece önem kazanmaktadır (Kürkçü vd., 2009).



Şekil 2.2 El-kol titreşimi maruziyeti.

2000'li yıllarda Avrupa'nın toplam çalışan nüfusunun %30'undan fazlasına karşılık gelecek şekilde kırk milyonun üzerinde çalışan, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarından etkilenmiştir (Şahin ve Işık, 2007).

İnsan, titreşimin düşük frekanslarında sarsıntı hissetmekte, yüksek frekanslarında ise karıncalanma hatta yanma hissi duymaktadır (İşsever, 1999; Rehn, 2004). El-kol titreşim maruziyeti üretim, taş işlemeciliği, maden, inşaat, tarım ve ormancılık alanlarında elle kullanılan, enerji ile çalışan aletlerden kaynaklanabilmektedir. Operatörü el-kol titreşimine maruz bırakan ve enerji ile çalışan aletler birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Hollanda'da 150.000, İngiltere'de 500.000, ABD'nde 1.500.000'dan fazla çalışanın el-kol titreşimi maruziyetinin olduğu bildirilmiştir. Avrupa ülkelerinde ve ABD'nde çalışanların %1,7 ile %3,6'sının zararlı etkileri olabilecek titreşime maruz kaldıkları tahmin edilmektedir. El-kol titreşimine çok fazla maruz kalınması HAVS ve karpal tünel sendromuna yol açabilmektedir (Şekil 2.3). Karpal tünel sendromu elin bazı kısımlarında ağrı, karıncalanma, uyuşma ve zayıflık görülebilen ve diğer unsurların yanı sıra titreşime maruz kalmaktan kaynaklanabilen bir sinir hastalığıdır. HAVS terimi, el-kol titreşim maruziyeti ile ilgili işaret ve belirtileri ifade etmek için kullanılmakta olup şu durumları içermektedir (ILO, 1998; Zeyrek, 2009; Sağlam, 2011, WEB7, 2015).

- damar hastalıkları
- kemik ve eklem hastalıkları
- kas hastalıkları
- diğer hastalıklar (tüm vücut, merkezi sinir sistemi)

Motosiklet sürmek gibi faaliyetler yüksek genlikte titreşim maruziyetine neden olmasına rağmen sadece uzun süreli maruziyetlerin sağlık üzerinde zararlı etkiye sahip olduğu belirtilmektedir.



Şekil 2.3 Beyaz parmak sendromu ve karpal tünel sendromu (WEB7, 2015).

Ülkemizde çalışma hayatı ile ilgili yasal düzenlemelerde meslek hastalıkları beş grup halinde ele alınmaktadır. Sosyal Sigortalar Sağlık İşlemleri Tüzüğü uyarınca bu beş grup şu şekildedir; A grubu: Kimyasal nedenlere bağlı meslek hastalıkları; B grubu: mesleki deri hastalıkları; C grubu: tuzlara bağlı meslek hastalıkları; D grubu: Biyolojik faktörlere bağlı meslek hastalıkları; E grubu: Fiziksel etkenlere bağlı meslek hastalıkları. E grubu kendi içinde E.1'den E.7'ye kadar farklı hastalıklara ayrılmaktadır. E-4, E-5 ve E-6 (6.a – 6.f) maddelerinde bulunan sekiz hastalık, mesleki etkilenme ile ortaya çıkan kas-iskelet sistemi hastalıklarıdır. Titreşim sonucu ortaya çıkan (E-5) hastalıklar olarak da titreşimli cihaz kullananlarda görülen el-parmak ve dirsek rahatsızlıkları ile titreşimli zeminde çalışanlardaki bel ve sırt sorunları tanımlanmıştır (Bilir, 2007). Meslek hastalıkları listesinde kas ve iskelet sistemi hastalıklarına oldukça geniş şekilde yer verilmiş olmakla birlikte, çeşitli yıllardaki meslek hastalıkları incelendiğinde bu grupta yer alan hastalıklara sık olarak rastlanmadığı ve Ülkemizde meslek hastalıkları tanılarının genel olarak son derece az olduğu dikkat çekmektedir. Bununla birlikte saptanan meslek hastalıkları arasında kurşun zehirlenmesi, pnömokonyoz, mesleki işitme kaybı gibi hastalıklara hemen her yıl oldukça fazla sayıda rastlanmaktadır. Buna karşılık mesleki kas ve iskelet sistemi hastalığı tanısı ender olarak görülmektedir. SGK istatistiklerindeki bilgilere göre 2003, 2004 ve 2005 yıllarında tanısı konmuş olan mesleki kas-iskelet sistemi hastalıkları sayıları Çizelge 2.1'de görülmektedir (Bilir, 2007).

Çizelge 2.1 Türkiye'de 2003-2005 yılları arası mesleki kas-iskelet hastalıkları (Bilir, 2007)

Yıl	Meslek hastalığı toplamı	Mesleki kas-iskelet hastalığı	Sayı
2003	440	E4 Hava basıncındaki ani değişimlere bağlı polinöropati	1
2004	384	E6/f Adale krampları	1
2005	519	E4 Hava basıncındaki ani değişimlere bağlı polinöropati	2
		E5 Titreşim sonucu meydana gelen kas-iskelet hastalığı	2
		E6/c Maden ocağı ve benzeri yerlerde olan menüsküs zararları	1

SGK tarafından yayımlanan 2012 yılı iş kazası ve meslek hastalığı istatistiklerine göre, 5510 Sayılı Kanunun 4-1/a maddesi kapsamındaki aktif sigortalılar arasında 69090 erkek (%93), 5781 kadın (%7) olmak üzere toplam 74871 işçinin kaza geçirdiği, 735 erkek (%99), 9 kadın (%1) olmak üzere de toplam 744 işçinin hayatını kaybettiği görülmektedir. Diğer yandan, madencilik ile ilgili faaliyet kolları olan 05-Kömür ve linyit çıkartılması, 07-Metal cevheri madenciliği, 08-Diğer madencilik ve taş ocakçılığı ile 09-Madenciliği destekleyici hizmet kategorileri göz önüne alındığında 9956 erkek ve 7 kadın işçi iş kazası geçirmiş, tümü erkek olmak üzere 44 işçi hayatını yitirmiştir. Ayrıca, 2012 yılında iş kazaları sonucu 1968 erkek (%97), 68 kadın (%3) olmak üzere toplamda 2036 işçi sürekli iş göremez hale gelmiştir. Meslek hastalığı bakımından durum daha vahimdir. Ergör (2007) 2006 yılı SSK istatistikleri temel alındığında, Ülkemizde meslek hastalığı sıklık hızı yüz binde 5 dolayında gerçekleşirken küresel düzeyde aynı hızın, aynı yıl içinde %5 olarak belirlendiğini, bu veriler göz önüne alınarak tüm işkolları değerlendirildiğinde, 1000 kat eksik tanı ve/veya bildirimde bulunduğumuzu ifade etmiştir. Diğer taraftan Güven (2011), ülkeler arasında değişmekle birlikte, yılda her bin işçiden 4-12'sinin meslek hastalığına yakalanma ihtimali olduğunun bilindiğini ifade etmektedir. Bu varsayıma göre; ülkemizde 2009 yılı verilerine göre 9.030.202 zorunlu sigortalı çalışan üzerinden beklenen meslek hastalığı vaka sayısı 36.000 – 108.000 arasında iken, 2009 yılı SGK istatistiklerine göre meslek hastalıkları vaka sayısı 429 olarak girilmiştir. 2012 yılı incelendiğinde, 172 erkek (%99) ve 1 kadın (%1) olmak üzere toplamda 173 kişi sürekli iş göremez hale gelmiş olup 1 erkek işçi meslek hastalığı nedeniyle hayatını yitirmiştir. 2012 yılında, tümü erkek olan 238 adedi 'maden çıkarımı ve inşaatla ilgili işlerde çalışan sanatkârlar' kapsamında olmak üzere 395 meslek hastalığı tespit edilmiştir. Meslek hastalıkları, türüne göre dağılımı bakımından değerlendirildiğinde ise 246 erkek işçi silikoz ve silikotüberküloz, 26 işçi (25 erkek, 1 kadın) kurşun ve kurşun tozları, 14 işçi (13 erkek, 1 kadın) nikel ve bileşikleri, 13 işçi (10 erkek, 3 kadın) kas krampları ve 10 erkek işçi mesleki-bronşiyal astım kaynaklı meslek hastalığına yakalanmıştır. 2012 yılında titreşim sonucu kemik-eklem zararları ve anjiyo-nörotik bozuklukları kaynaklı meslek hastalığı olgusu ancak 3 erkek işçide izlenmiştir (WEB3, 2013). Güven (2011), ülke istatistiklerimizin bu denli yetersiz olmasının ardında tıbbi, yasal ve sosyal taraflara ilişkin birçok nedenin sıralanabileceğini ifade etmektedir.

Meslek hastalıkları, işyeri ortamında bulunan faktörlerin etkisi ile meydana gelen hastalıkların ortak adıdır. WHO ve ILO gibi uluslararası kaynaklarda meslek hastalıkları; zararlı bir etkenle, bundan etkilenen insan vücudu arasında, çalışılan işe özgü bir neden-sonuç, etki-tepki ilişkisinin ortaya konabildiği hastalıklar grubu olarak tanımlanmaktadır. Diğer yandan 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nun 14üncü maddesinde "Meslek hastalığı, sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal özürlülük halleridir" şeklinde tanımlanmaktadır (Güven, 2011).

AB 2006/42/EC makine direktifi; makineler, muadil ekipmanlar, güvenlik bileşenleri, kaldırma araçları, zincirler, halatlar ve birleştirme elemanları, çıkarılabilir mekanik transmisyon cihazları ve

kısmen tamamlanmış makineler hakkında düzenlemeler içermektedir. Bunun dışında makinenin üreticisi tarafından üretilmiş olan yedek parçalar, fuar alanları ve eğlence parklarında kullanılan özel donanımlar, radyoaktif donanımlarla birlikte kullanılmak üzere tasarlanmış ve hata durumunda radyoaktif sızıntı oluşabilecek donanımlar, silahlar, ulaşımla ilgili olanlar (başka direktifler kapsamında düzenlemelere sahip olan ulaşım araçları), askeri amaçlarla ilgili üretilmiş donanımlar, elektrikli ve elektronik cihazlar (ev, ofis kullanımına sunulmuş, video ve ses aygıtları, elektrik motorları) kapsam dışı bırakılmıştır. Verilen kapsam içerisinde geçen makineler hakkında düzenlemeler, özel direktifler, piyasa gözetimi, özel ölçümler, serbest dolaşım, uyumluluk ve uyumlaştırılmış standartlar, güvenlik prosedürü, makinelerin kurulumu ve kullanımı ve CE işaretlemesi hakkında bilgiler içermektedir. Makine direktifi içerisinde verilen iki gereklilik titreşimle ilgilidir. Tüm makine tiplerinde kullanıcıya aktarılan titreşimin azaltılması, taşınabilir ve mobil makinelerde emisyon değerlerine uygun cihaz üretiminde üreticinin görevleri anlatılmaktadır.

2002/44/EC titreşim direktifi; çalışanların mekanik titreşimden korunması ile ilgili minimum gereklilikleri içermektedir. Direktif, çalışanların, çalışmaları sırasında maruz kaldıkları veya kalabilecekleri mekanik titreşimle ilgili düzenlemelere uygulanmaktadır. Çalışanların maruz kaldıkları titreşim el-kol titreşimi ve tüm vücut titreşimi olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir. Her iki titreşim için de maruziyet eylem ve maruziyet sınır değerleri Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2 Maruziyet eylem ve sınır değerleri (Güven, 2011; ÇSGB, 2013)

Titreşim türü	Eylem değeri	Sınır değer	
El-kol titreşimi	2,5 m/s²	5,0 m/s²	A(8)
Tüm vücut titreşimi	0,5 m/s²	1,15 m/s²	A(8)
	9,0 $m/s^{1,75}$	21,0 $m/s^{1,75}$	Doz

Titreşim riskinin tahmin edilmesi ve değerlendirilmesi, eylem değeri ve sınır değer ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilmektedir. Buna göre;

1. Eylem değerinin altında hassas bünyeler hariç risk yoktur. Çalışana aktarılan titreşime katlanılabilir.
2. Eylem değeri ile sınır değer arasındaki bölgede risk bulunmaktadır. Katlanılıp, katlanılamayacağına maruz kalınan süreye göre karar verilmelidir. Eylem değeri ile sınır değer arasındaki bölgede riskin kaynağında yok edilmesi için çalışmalar yapmak, sağlık taraması yapmak gerekmektedir. Eylem değeri altındaki etkilenmeler zaman zaman sınır değeri aşacak düzeye geliyorsa, bu durumda maruziyet değerini hesaplamada 8 saatlik yerine 40 saatlik maruziyet değeri kullanılmalıdır. Titreşim ölçümlerinde maruziyetin etkin şekilde değerlendirilebilmesi için çalışanın maruziyeti ile ilgili bir soru formu oluşturulmalı ve ölçüm sırasında çalışan tarafından yanıtlanması sağlanmalıdır. Eğer çalışma koşulları verilen emisyon değerlerinin ölçümünün yapıldığı koşullarla belirlendiyse, cihaz iyi bir durumdaysa, bakımı yeni yapıldıysa ve kullanılan aksesuarlar benzer ise üreticinin sağladığı emisyon değerleri kullanılır.

3. Sınır değerin üzerinde maruz kalınan titreşime katlanılamaz, maruziyet önlenmelidir. Sınır değerin üzerinde, titreşim değerinin sınır değerin altına indirilmesi için acil bir şekilde önlem alınmalıdır. Değer, sınır değerin altına indirilemiyorsa çalışma saatlerini düzenleyerek çalışanın 8 saatlik maruziyet değeri azaltılmalıdır.

AB Konseyi 89/391/EEC Direktifinin 10. ve 12. maddelerine göre mekanik titreşime maruz kalan çalışanlara işveren tarafından titreşimden korunma ve sağlığa etkileri konusunda eğitim verilmelidir. Eğitim, ücreti işveren tarafından sağlanmalı, teorik ve pratik çalışmaları içermeli ve çalışma saatleri içerisinde gerçekleştirilmelidir. Eğitim sonunda kursiyerler istenilen seviyeye ulaştırılmalıdır. Ayrıca Direktif, çalışanların titreşime maruziyetlerini azaltmak amacı ile aşağıda sunulan hususları belirlemiştir.

- Risk kaynağında kontrol edilmeli, yok edilmeli veya en aza indirilmelidir.
- En düşük titreşim oluşturacak ergonomik tasarımlar yapılmalıdır.
- Titreşimin neden olacağı yaralanmaları azaltmaya yönelik cihaz tasarımları yapılmalıdır.
- Çalışma ortamı ve kullanılan cihazlar uygun bir bakım programı ile izlenmelidir.
- Titreşime maruziyetin yoğunluğu ve süresi sınırlanmalıdır.
- Yeterli dinlenme aralıkları ile uygun çalışma takvimi hazırlanmalıdır.
- Çalışanların soğuk ve nemden korunması amacı ile özel giyecekler geliştirilmelidir.
- Çalışanların titreşim maruziyeti açısından yılda bir kez sağlık kontrolleri yapılmalıdır.
- İşveren, titreşim açısından işyerinde risk analizini yapmak ve çalışanlarını titreşim maruziyetinden korumak amacıyla gerekli önlemleri almak zorundadır (WEB9, 2015).

İşverenler, 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği uyarınca çalışanların maruz kaldığı mekanik titreşim düzeyini, işyerinde gerçekleştirilen risk değerlendirmesinde ele almak, gerektiğinde de ölçümler yaptırarak mekanik titreşime maruziyeti belirlemek durumundadır. Bu ölçümler, İş Hijyeni Ölçüm, Test ve Analiz Laboratuvarları Yeterlilik Yönetmeliğine göre yapılır.

2.2 İlgili standartlar

Birçok ülke, el-kol titreşim maruziyeti için standartlar veya kılavuzlar oluşturmuştur. Bunların temeli esas olarak ölçümlerde frekans ağırlıklandırmasını öneren ISO 5349 standardına dayanmaktadır (WEB6, 2015). Titreşimin frekans ağırlıklı ivme değeri a_{hw}, uygun ağırlıklandırma filtresi kullanılarak veya dik koordinat sistemi boyunca 1/1 oktav veya ⅓ oktav bantlar ile ölçülerek elde edilebilmektedir (Ikeda, 1998). Bu standart Türkiye'de TS EN ISO 5349-1 Mekanik titreşim - Kişilerin maruz kaldığı elle iletilen titreşimin ölçümü ve değerlendirmesi ve TS EN ISO 5349-2 Mekanik titreşim - Kişilerin maruz kaldığı elden vücuda iletilen titreşimin ölçümü ve değerlendirmesi başlıkları altında kullanılmaktadır.

Titreşimin neden olduğu kötü sağlık etkileri riskini en aza indirmek amacıyla, çeşitli komite ve organizasyonlar tarafından titreşim maruziyeti için eşik, eylem ve sınır değerler sunulmuştur.

ACGIH, ISO 5349'da verilen frekans ağırlıklandırma prosedürüne göre ölçülen el-kol titreşimi için Çizelge 2.3'de verilen TLV değerlerini yayınlamıştır (ACGIH, 2006).

ACGIH'a göre sunulan TLV değerleri, "aşağı yukarı tüm çalışanların tekrarlı olarak maruz kalabileceği, VWF için Stockholm Çalıştayı Sınıflandırmasına göre Seviye 1'in ötesinde bir duruma sebep olmayacak" titreşim maruziyet değerleridir. Daha sonra Avrupa Birliği Komisyonu tarafından çalışanları fiziksel ajanlar nedeniyle oluşabilecek risklere karşı korumayı sağlamak için bir direktif yayınlanmıştır. Bu direktifte verilen değerler Çizelge 2.3'de gösterilmektedir (ILO, 1998).

Çizelge 2.3 AB Konseyi'nin fiziksel ajanlar üzerine komisyon direktifi önerisi: EK IIa. El-kol titreşimi (ACGIH, 2006)

Seviyeler (m/s²)	A(8)*	Tanımlar
Eşik	1,0	Çalışanların sağlık ve güvenliği üzerine kötü bir etki oluşturmayacak sürekli ve/veya tekrarlı maruziyetin altındaki maruziyet değeri
Eylem	2,5	Sorumluluğu üstlenilen eklerin uygun kısımlarında belirtilen bir veya daha fazla önlemin** alındığı değeri aşan değer
Maruziyet sınır değeri	5,0	Korunmasız bir kişinin kabul edilemez risklere maruz kaldığı değeri aşan değer. Bu değerin aşılması yasaktır ve direktifin*** uygulanmasıyla önlenmelidir.

* A(8) = Frekans ağırlıklı ivmenin 8 saatlik enerji eşdeğeri.
** Bilgilendirme, eğitim, teknik önlemler, sağlık denetimleri.
*** Sağlık ve güvenliğin korunması için uygun önlemler.

Direktifte titreşimin verdiği zararı değerlendirmek için kullanılan nicelik, frekans ağırlıklı ivmenin sekiz saatlik eşdeğer enerjisi cinsinden ifade edilmektedir. Direktifte yer alan titreşim maruziyeti ölçüm ve değerlendirme yöntemi, 2001 yılında yürürlükten kaldırılarak BS EN ISO 5349-1:2001 numaralı İngiliz Standardı olan BS 6842'den (BSI, 1987) türetilmiştir. BS standardı maruziyet sınır değerleri ile ilgili bir tavsiye vermemekle birlikte, ek kısmında el-kol titreşimi için doz-etki ilişkisi konusunda bilgi vermektedir. Çizelge 2.4'de, BS standardında bildirilen titreşim maruziyeti olan çalışanların %10'unda beyaz parmak hastalığı durumuna neden olabilecek tahmini frekans ağırlıklı ivme büyüklükleri verilmektedir (ILO, 1998). Çizelgeden de görüldüğü gibi yüksek ivmelerde kısa süreli maruziyet durumunda da belirtiler görülebilmektedir.

Çizelge 2.4 Maruz kalan çalışanların %10'unda parmak beyazlaması yapabilecek frekans ağırlıklı titreşim ivme büyüklükleri (m/s²)* (ILO, 1998)

Günlük maruziyet	Maruziyet süresi (yıl)					
(saat)	0,5	1	2	4	8	16
0,25	256,0	128,0	64,0	32,0	16,0	8,0
0,5	179,2	89,6	44,8	22,4	11,2	5,6
1	128,0	64,0	32,0	16,0	8,0	4,0
2	89,6	44,8	22,4	11,2	5,6	2,8
4	64,0	32,0	16,0	8,0	4,0	2,0
8	44,8	22,4	11,2	5,6	2,8	1,4

* Kısa süreli maruziyetlerde genlikler büyük olduğundan dolaşım ilintili rahatsızlıklar, gelişen ilk belirti olmayabilmektedir

2001'in sonunda ISO, öncekine göre büyük değişiklikler yapılan ISO 5349'un yeni bir sürümünü yayınlamıştır. ISO 5349'un birinci bölümü ve ekinde, el-kol titreşim değerlendirmesinin temelleri, doz-etki ilişkisinin bilimsel yönleri ele alınmakta, ikinci bölüm ise detaylı olarak el-kol titreşim ölçümlerinin nasıl yapılacağı anlatılmaktadır (South, 2004).

ISO 5349'un son halindeki en büyük değişiklik, el-kol titreşim maruziyeti değerlendirmesinde kullanılan ve vektör toplamı olarak da bilinen değerin, üç eksende ölçülen titreşim büyüklüklerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak hesaplanmasıdır. Bu birleştirilmiş değer, daha önce kullanılan ve her bir eksende yapılan ölçümlerden elde edilen en büyük titreşim değerinden daha büyük olmaktadır. Örneğin, en büyük değeri alma yaklaşımı ile 2,8 m/s² olarak ölçülen bir titreşim değeri, her üç eksende yapılan ölçümlerle yaklaşık 4 m/s² değerine karşı gelmektedir (South, 2004).

2.3 El-Kol Titreşiminin Sağlık Üzerindeki Etkileri

2.3.1 Genel

Elle iletilen titreşime aşırı maruziyet, damar duvarının harap olması sonucunda esnekliğini yitirmesi, damarlarda daralma, kan akımında azalma, soğuğa dayanıksızlık yanı sıra sinirler, kaslar, kemik ve eklemlerde (maruziyetin yakınlarında yer alan eklemlerde) bozukluklara yol açabilmektedir. Elle iletilen titreşime maruziyette görülen el ve kolda karıncalanma, uyuşukluk, beyazlaşma, ağrı, kolda ve omuzda kramplar, bilekte kuvvet kaybı gibi bulgular "El-Kol Titreşimi Sendromu" başlığı altında toplanmaktadır (Ruffle vd., 1987; McKenna vd., 1994; Güven'den, 2002). Avrupa'da en sık görülen meslek hastalıkları arasında titreşim kaynaklı olanlar, ilk on hastalık arasında yer almaktadır (Koukoulaki, 2001; Güven'den, 2002). Titreşime maruz kalan işçilerde HAV sendromu görülme sıklığı %10 - %70 olarak bildirilmektedir (Miller vd., 1994).

Tüm vücudun veya el-kolun titreşime maruziyeti sonucunda oluşan etki, titreşimin büyüklüğüne, frekansına, yönüne ve süresine, uygulandığı bölge ve bölgenin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Çalışma çevresinin soğuk olması titreşimle ilgili el kol dolaşımı bozukluklarının ortaya çıkmasında çok etkili olmaktadır (Aiba vd., 1999).

Titreşim yapan farklı cihazların ivmeleri ve kullanım sırasında sağlık etkileniminin ortaya çıkmaması için önerilen kullanım sınır süreleri Çizelge 2.5'de verilmiştir (WEB10, 2015). Kaya deliciler ile titreşime maruziyet daha çok el-kolda dolaşım kusuruna yol açarken, yüzey taşlayıcı ve zincir testere kullanımında kas, eklem ve sinirsel duyu kusuru ortaya çıkmaktadır (Futatsuka vd., 1985).

Titreşime maruz kalan işçilerde en sık görülen belirtiler şunlardır:

- Soğuğa maruz kalındığında bir ya da fazla parmakta beyazlaşma atakları,
- Parmaklarda duyarlılık kaybı, uyuşukluk ve karıncalanma,
- Dokunma hassasiyetinin kaybı,

- Periyodik beyaz parmak atakları arasında ağrı ve soğuk duyarlılığı,
- Germe kuvveti kaybı,
- Parmaklar veya eklemlerde kemik kistleri.

Bu belirtilerin tanımlanması için kullanılan en eski sınıflamalardan biri Taylor - Pelmear sınıflamasıdır (Çizelge 2.6) (Gemne vd., 1987). Diğer yandan HAVS oluşumunu etkileyen faktörler Çizelge 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.5 Titreşim yapan el aletlerinin ivmeleri ve önerilen kullanım süreleri (WEB10, 2015)

Araç tipi	Titreşim ivmesi (m/s^2)	Kullanımda önerilen zaman sınırı
Kum karıştırıcı	25-40	2-6 dakika
Kaya çekici	15-35	3-16 dakika
Yüzey taşlama çekici	10-40	2-40 dakika
Dairesel zımpara	10-15	16-40 dakika
Dairesel kesici	4-10	40 dakika-4 saat
Ezici-kırıcı	2-35	3 dakika-16 saat

Çizelge 2.6 Titreşime bağlı beyaz parmak sendromunda Taylor-Pelmear sınıflaması (Gemne vd., 1987)

Derece	İşaret ve belirtiler	Aktivitelerde kesinti
O		
OT*	Aralıklı karıncalanma	
ON*	Aralıklı uyuşma	
OTN*	Karıncalanma ve uyuşma	
1	Karıncalanma-uyuşma ve/veya bir ya da daha fazla parmak ucunda beyazlaşma	
2	Uyuşma ile bir veya daha fazla parmakta genellikle kış aylarında olan beyazlaşma	Ev ve sosyal aktivitelerde minimal azalma ve "işte" değişiklik yok
3	Her mevsim sıklıkla yoğun beyazlaşma	İş, ev ve sosyal hayatta kesinti, hobilerde gerileme
4	Her mevsim çoğu parmakta yoğun beyazlaşma ve parmaklarda ülserler	Titreşim maruziyetinden korunma için iş değişimi

OT: Occupational tingling: Mesleki karıncalanma.
ON: Occupational numbness: Mesleki uyuşma.
OTN: Occupational tingling and numbness: Mesleki karıncalanma ve uyuşma.

Çizelge 2.7 HAVS oluşumunu etkileyen faktörler (Ruffle, 1987; Güven'den, 2002)

Fiziksel faktörler	Biyodinamik faktörler	Bireysel faktörler
Titreşimin ivmesi	Titreşimli aletleri kavrama, tutma gücü	Operatörün aleti kontrolü
Titreşimin sıklığı	Yüzey alanı, yerleşimi ve titreşim kaynağına temas eden el yüzeyi	Makinenin iş hızı
Günlük maruziyet süresi	Cihazın yapıldığı materyalin sertliği	Beceri ve üretim
Yıllık maruziyet süresi	El-kol pozisyonu	Titreşime bireysel yanıt
Aletin bakım durumu	Sert materyale karşı yumuşak materyalle tutuş	Sigara ve ilaç içimi, diğer fiziksel, kimyasal maddelere maruziyet
Eldiven, bot dinlenme süreleri	El parmaklarında yaralanma, özellikle donma öyküsü	El parmaklarında önceki yaralanma/hastalık durumu

2.3.2 El-Kol Titreşiminin Çalışanın Bedensel Performansına Etkileri

El-kol titreşiminin performans üzerindeki motor ve dokunsal etkileri, belli bir süre bir el aleti kullanıp, daha sonra da kesinlik ya da hassas el becerisi gerektiren işler yapılarak

gösterilebilmektedir. Bu işlem için iki noktalı eşik deneyinden faydalanılabilmektedir. İki noktalı eşik algılayıcı, cilde aynı anda dokunan iki ayrı nesne olduğunu hissetmek için nesneler arasında bırakılan mesafedir. Elektrikli bir el aletini kullanmadan önce çalışandan iki noktalı eşiğini kontrol etmesi istenmektedir. Tıbbi bir muayenede böylesine eşik belirlemeler için genellikle ince, yuvarlak, küt uçlu plastik teller kullanılsa da tükenmez kalem ya da kurşun kalem ucu veya kibritlerin uç kısımları da kullanılabilmektedir. Öncelikle, iki nesne aynı parmağın üzerinde neredeyse birbirine temas edecek durumda olacak şekilde yakın yerlere aynı anda dokundurularak başlanmaktadır. Denekler, olasılıkla, bu durumda yalnızca bir temas noktası hissettiklerini söylemektedirler. Test, denek iki ayrı temas noktasını, dolayısıyla iki ayrı nesneyi hissedene kadar objeler yavaşça birbirinden uzaklaştırılarak sürdürülmektedir. Bu durumda her iki obje arasındaki mesafe ölçülmekte ve burası, bu kişi için iki noktalı eşik olarak kaydedilmektedir. Daha sonra denek yaklaşık beş dakika boyunca bir havalı/elektrikli el aletiyle çalışmaya bırakılmakta ve takibinde iki noktalı eşiği tekrar ölçülmektedir. Böyle bir aletle çalışmayı bıraktıktan dakikalar sonra iki noktalı eşik muhtemelen değişmektedir. Bu deney, el aletiyle çalışma süresi 10 dakikaya çıkartıldığında muhtemelen yine değişmektedir (Burström vd., 2009).

Çoğu meslekte işçiler, beceri gerektiren el hareketleri yapmaktadır. Sözgelimi, bir öğütücü (grinder) operatörü metal bir nesnenin şekil ve dokusunu ayarlamak için çok net el hareketleri yapmak zorundadır. Becerinin çok da önemli olmadığı bir meslekte bile, el ve kollarını tekrarlı bir şekilde kullanmak durumunda olan birçok işçi vardır. Bu görevlere el-kol titreşiminin müdahale edebileceği iki temel yol söz konusudur. Öncelikle fiili titreşim, kullanılan alet ya da araç üzerinde kontrol sağlamayı güçleştirebilmektedir. Buna motor kontrol problemi adı verilmektedir. İkincisi de, el-kol titreşimine hem uzun hem de kısa süre maruziyet, performansı olumsuz etkileyecek bir his/duyarlılık kaybına yol açabilmektedir. Buna dokunsal (tactile) problem adı verilmektedir. Bu iki problem tamamen bağlantılı olmadığından bunları ayrı ayrı ele almak daha faydalı olabilmektedir.

Motor becerileri ile çalışma yapmak genellikle çok kolay görülmektedir. Bilindik bir yolda ve güzel bir günde bisiklet kullanmak çok az çaba gerektirdiğinden kişi, dikkatini aynı zamanda başka şeylere de yönlendirebilmektedir. Ancak bisiklet sürmek, yol zeminine sadece iki noktadan dokunan ince bir metal iskelet üzerinde dengede durmayı, hareket için enerji sağlamayı ve hareket yönünü belirlemeyi de gerektirmektedir. Sürüş ile ilgili koşulların sürekli değerlendirilmesini gerektiren bu işlem karmaşası, özellikle bisiklet ilk sürülmeye başlandığında belirginleşmekte ancak pratikle birlikte kaybolmaktadır. Söz konusu karmaşa, bisiklet ıslak ya da buzlu bir yüzeyde kullanıldığında ya da büyükçe bir nesnenin bisiklette taşınmak zorunda olduğunda tekrar ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar bütün motor becerileri bisiklet sürmek kadar karmaşık ve dinamik olmasa da az beceri gerektiren basit bir iş bile belirli düzeyde çaba ve koordinasyon gerektirmektedir. Benzer şekilde, elle yapılan işler; parmak eklemleri, bilek, dirsek ve omuz arasında karmaşık bir koordinasyon ile gerçekleştirilmekte olup elin, doğru zamanda doğru gücü uygulaması gerekmektedir. Bazen bir nesneyi iyice kavramak için sıkıca tutmak, bazen de tutulan nesneyi kırmayacak şekilde uygun gevşeklikte kavramak gerekmektedir. Bu işler

yapılırken, beynin, vücudun diğer bölümleriyle bu hareketleri koordine edebilmesi için el ve kolun farklı bölümlerinin yeri hakkında bilgi gönderilmektedir. El ve kol hareketlerinin kontrolü vücudumuzdaki iki sistem tarafından yapılmakta ve bu sistemler söz konusu motor aktivitenin gerçekleşmesiyle ilgili karmaşık geri bildirimler de sunmaktadır (Burström vd., 2009).

İç algısal (proprioceptive) sistem vücut eklemlerinde yerleşik olan ve beyne eklem açılarıyla ilgili net bilgi taşıyan bir reseptörler topluluğu olarak tanımlanmaktadır. Beyin bu bilgiyi kullanarak el ya da kolun uzaydaki konumunu hesaplayabilmektedir. Elle yapılan işlerin tamamlanması için, parmak, bilek, dirsek ve omuz eklemleri, iç algı bakımından oldukça önemli olmaktadır.

Kinestetik sistem kasların açılıp, kasılması ile ilgili uzuvların hareket bilgisini beyne taşımaktadır. Bu bilgi beynin hareketi koordine edebilmesi ve nesnelerin taşınması ya da tutulması için ne kadar gücün kullanılacağının belirlemesi için gerekli olmaktadır.

El-kol titreşimi, reseptörlerden gelen sinyalleri azaltmakta ve böylece el ve kolların pozisyonunun hesaplanması güçleşmektedir. Elektrikli bir matkabın ucu, araç kapalı konumdayken bir tahta parçası üzerinde önceden işaretlenmiş bir noktaya değdirilmek istendiğinde ilk denemede aletin ağırlığı nedeniyle güçlük yaşanabilmektedir. İkinci ve üçüncü denemelerde ise matkabın ucu söz konusu işaretlenmiş noktaya daha kolayca ve güvenle değdirebilmektedir. Ancak aynı iş aleti çalışırken bu işlem denendiğinde bunun çok daha güç olduğu ve matkabın güç yoğunluğuna bağlı olarak, ucunun söz konusu noktaya odaklanamayabileceği görülmektedir. Bu nedenle el-kol titreşiminin çoğu işi zorlaştırdığı ve işçilerin söz konusu işe daha fazla zihinsel çaba harcamaları gerektiği ortaya çıkmaktadır. Çalışırken, yapılan işe yoğunlaşılmadığı durumda iş yerinde kaza ve yaralanma olasılığı artabilmekte ve işçilerin yaşadığı rahatsızlık seviyesi de artmaktadır. El-kol titreşimiyle ilgili olan zihinsel ve fiziksel yorgunluk, işçilerin verimli olarak çalışabileceği süreyi de kısıtlamaktadır.

Çoğu çevresel problemde olduğu gibi el-kol titreşiminden kaynaklanan performans kaybını engellemenin en iyi yolu olarak maruziyetten kaçınmak ya da bu süreyi en aza indirmek gösterilmektedir. Ancak çoğu durumda, söz konusu iş bir insanın üretebileceğinden daha fazla güç gerektirebildiğinden el-kol titreşimine neden olan birçok alet ya da araç kullanılmakta ve böylece tüm maruziyeti engellemek mümkün olmamaktadır. Ayrıca bu gibi işler sıklıkla, otomatikleştirilmesi mümkün olmayan insani beceriler de gerektirmektedir. Bu yüzden, el-kol titreşimine yönelik çözümler, titreşimi yalıtma ya da azaltmaya yönelik olmaktadır.

a) Makine yönünden: Kullanılacak alet ya da araçta bazı değişiklikler yapılabilmektedir. Yüksek titreşimli aletler yerine düşük titreşimli aletler kullanmak ya da mevcut alete daha iyi bir tutuş sağlayacak parçaların eklenmesi gibi bir değişiklik yapılabilmektedir.
b) Kullanıcı yönünden: Bu müdahaleler arasında titreşim sönümleyen eldiven kullanma ve daha iyi çalışma pozisyonu almak bulunmaktadır. El ve aletle görsel kontağın olması, el-kol titreşimi ilintili motor kontrol problemini azaltmaktadır.

Eğitim, çoğu motor beceriyi geliştirebilmektedir. Ancak herhangi bir işteki performans, operatöre verilen eğitimin kalitesiyle de kısmen ilgili olduğu olduğundan bir işe el-kol titreşiminin girmesi, neredeyse her zaman daha düşük bir performansla sonuçlanmaktadır. Genelde, beceri gerektiren bir motor işi tam yapabilme (kesinlik), o işe ayrılan zamanın artırılmasıyla gelişmektedir. El-kol titreşimi, yapılması gereken bir işe etki ettiğinde işçi, daha fazla zaman harcamak durumunda kalabilmektedir.

Motor kontrol problemleri genel motor performansını bozabilecek akut etkilerle ilgiliyken, dokunsal problemler genellikle uzun süreli maruziyetin sonucu olduğundan hassas motor aktivitesinde en sorunlu durumu temsil etmektedirler. Dokunsal problemlerin karakteristiği, maruziyetten hemen sonra çok belirgin olmalarıdır. Sözgelimi elektrikle çalışan bir makine kullanımından sonra işçi, vida gibi ufak cisimleri kaldırıp, kullanmada sorun yaşayabilmektedir. Böylesine bir maruziyet olmasa işçi, cebindeki vidalara dokunarak, boyutlarını ayırt etmede zorlanmamakta ancak elektrikle çalışan bir el aletini belli bir süre kullandıktan sonra bu basit işlemi gerçekleştirmek neredeyse imkânsız hale gelmektedir (Burström vd., 2009).

Derinin hemen altındaki reseptörler deri üzerinde oluşan basınca tepki vermekte ve el ile parmaklara uygulanan kuvvetteki küçük değişimleri beyne iletmektedirler. Beyin dokuları (texture) bu bilgiyi kullanarak nesnelerin elle tutulabilmesi için uygun parmak basıncını ayarlamakta ve söz konusu nesnelerin büyüklük, ağırlık ve biçimlerini değerlendirmektedirler. Kısa süreli de olsa el-kol titreşimi maruziyeti reseptörlere zarar vermekte ve motor aktivitesi daha da güçleşmektedir. Parmaklardaki duyarlılık kaybı söz konusu nesnelerin doku, ağırlık ve biçim gibi özelliklerinin anlaşılmasını güçleştirmektedir. Maruziyet süresi ne kadar uzun olursa, his kaybı da o kadar ağırlaşmakta ve parmakların normal duyarlılık kazanması da o kadar fazla zaman almaktadır. Uç durumlarda kalıcı hasar oluşabilmekte ve his duyusu geri dönmeyebilmektedir.

Böyle bir problemi yok etmenin en etkili yolu olarak titreşim maruziyetinin ortadan kaldırılması, bu mümkün olmadığında ise titreşime maruziyetin en aza indirilmesi gerekmektedir. Dokunsal problemle ilgili en önemli husus iyileşme sürelerinin belirlenmesi olup parmaklardaki his kaybı, ciddi ve kalıcı bir hasar oluştuğunun ilk belirtilerinden olabilmekte ve işçiye iyileşmesi için zaman tanımak önemli bir önlem olmaktadır.

Elektrikli el aletlerini kullanmadan önce motor hareketlerin tamamlanması, performans üzerindeki etkileri asgariye indirebilmektedir. Sözgelimi ufak tefek aletler kolaylıkla görülüp, alınabilmeleri için önceden göz önüne yerleştirilebilmektedir. Bazı durumlarda da azalan dokunsal hissi telafi etmenin bir diğer yolu görsel bilgileri arttırmaktır. Çalışırken ellere doğrudan bakarak, dokunsal sistemde kaybedilen bilginin görsel sistemle telafi edilmesi söz konusu olabilmektedir.

2.3.3 El-Kol Titreşiminin Çalışanın Dolaşım Sistemine Etkileri

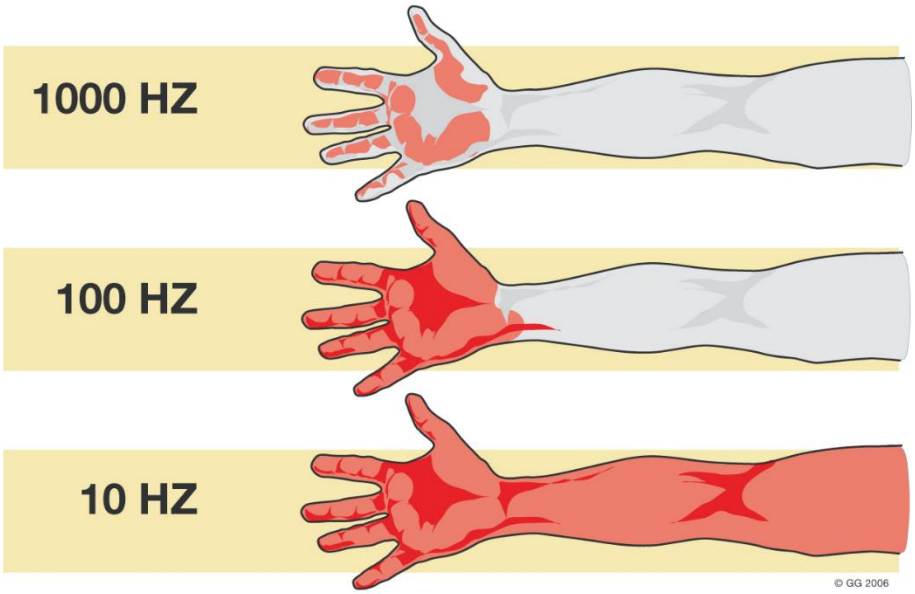
Titreşimli makinelerle çalışıldığında titreşimin de içinde olduğu bir dizi sağlık tehlikesiyle karşı karşıya kalınmakta ve böyle işler sonucu işçiler, HAVS yanı sıra bir dizi başka hastalığa da yakalanabilmektedir. Elin yoğun olarak kullanıldığı işlerde en sıklıkla görülen bozukluklar, işe bağlı sinir-kas-iskelet sistemi hastalıklarıdır. İşin ergonomik yükü ile omuz ve el-bilek tendoniti, epikondilit, thorasik çıkış sendromu ve karpal tünel sendromu gibi üst ekstremite hastalıkları arasında kesinleşmiş bir ilişkinin mevcut olduğu belirtilmektedir. Uzun süreli iş yükü (güç tekrarı, duruş), monoton çalışma düzeni, soğuk, titreşim ve lokal mekanik stresler gibi çoğu spesifik ergonomik maruziyet parametreleri belli risk faktörleri olarak tanımlanmaktadır: Uygun olmayan şartlar altında yapılan iş, işin gereksinimleri, destek ile işyeri ve işçi arasındaki etkileşim, süregiden baskıya ve sonunda da strese bağlı bozukluklara yol açabilmektedir. Elektrikle çalışan makinelerin yüksek enerji tüketimi beraberinde gürültü ve toza maruziyet getirmektedir. Gürültü, gürültü kaynaklı işitme kaybına yol açabilmekte, diğer yandan tozun içeriği ya da toz zerreleri akciğer fonksiyonu bakımından tehlikeli olabilmektedir. Makine yağları ile soğutma sıvılarından açığa çıkan buhar; göz, burun, boğaz, akciğer ve derideki mukoz membranlarda irritasyona neden olabilmekte ve bu da, alerjik reaksiyonlara yol açabilmektedir (Burström vd., 2009).

Titreşimli el araçlarının kullanıldığı işe uzun süreli ve fazlaca maruziyet bazı süregiden sağlık problemleri ile ilişkilendirilmiştir. Bildirilen temel sağlık problemleri arasında periferik mikrodolaşım bozukluğu, soğuğun tetiklediği Raynaud fenomeni ya da “titreşim kaynaklı beyaz parmak” ile çeşitli bölgelerde ya sinir sıkışması şeklinde ya da genele yayılmış bir nöropati şeklinde gelişen periferik sinir rahatsızlığı bulunmaktadır. Nöropatinin ortaya çıkması algıyı azaltabilmekte (hissizlik, dokunma yetisinde bozukluk ya da ateş), kişiyi huzursuz ve endişeli duruma sevk edebilmekte ya da ağrıda artış ile sonuçlanabilmektedir. Kas-iskelet sistemi aynı zamanda titreşimden de etkilenebilmekte ve bu da, eklem ya da kemikler üzerindeki olumsuz etkiden dolayı duyusal-motor fonksiyonunda bozulma ile sonuçlanabilmektedir. Bu problemlerin hepsi HAVS olarak özetlenebilmektedir. 1986 yılına kadar nörolojik ve dolaşım ilintili bileşenlerin bağımsız ya da birlikte gelişip gelişmediğine bakılmaksızın HAVS tek bir ölçek ile sınıflandırılırken günümüzde, bileşenlerin her biri ayrı ayrı ele alınmakta ve değerlendirilmektedir.

Frekans ve yoğunluk (intensity) gibi fiziksel titreşime maruziyet karakteristikleri vücudun hangi bölümünün etkileneceği ve söz konusu etkilerin işçiye ne kadar zarar vereceği ile ilişkilidir. Titreşimden doğabilecek olumsuz etkiler, basit mekanik etkiler ya da genel fizyolojik tepkilerle hafifletilebilmektedir. Yüksek frekanslı titreşim maruziyeti mekanik olarak temas alanına yakın yerleri etkilemektedir. Diğer yandan düşük frekanslı titreşim, temas alanından daha geniş bir bölgede, vücudun diğer kısımlarını da olumsuz etkilemektedir. Şekil 2.4’de kırmızı renk; 1000 Hz, 100 Hz ve 10 Hz titreşim frekansına bağlı olarak titreşim kaynaklı mekanik etki alanlarını göstermektedir. Genel fizyolojik tepkilerden doğan etki, vücudun hem yakın hem de uzak bölümlerini etkileyebilmektedir. Merkezi fizyolojik mekanizmaya nispeten lokal etkinin tesiri

bilinmemektedir. Titreşimin fiziksel karakteristiğine ek olarak, sürekli ya da periyodik çalışma gibi işyeri koşulları ile dinlenme molası verilmesi titreşimin etkisini belirlemektedir.

İşteki bireysel karakteristikler, aletleri kullanma, vücut yapısı, duruş, beceri, koruyucu ekipman kullanılması ve kontrol de titreşimin işçi üzerindeki etkisini kontrol etmektedir.



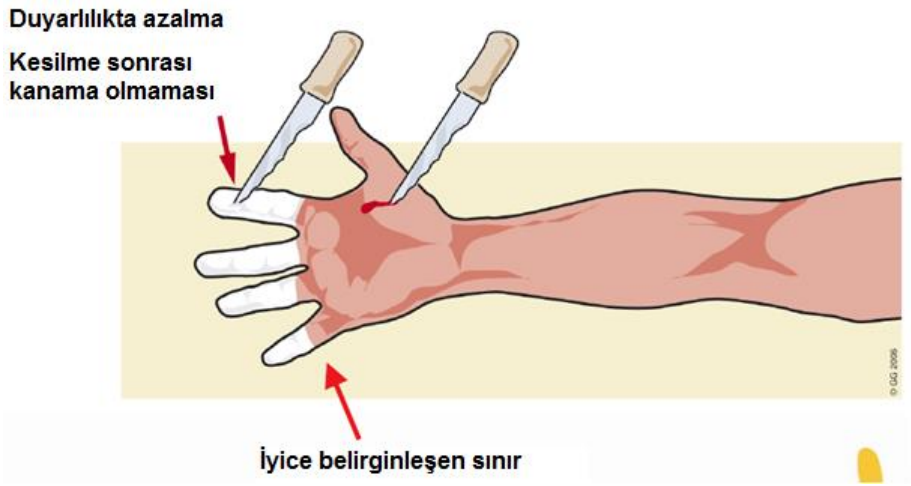
Şekil 2.4 Titreşim ve üst ekstremite ilişkisi – kırmızı renk titreşim etkisi altındaki bölgeyi göstermektedir (Burström vd., 2009).

Titreşimli makinelere maruziyet; duyarlılık, motor kontrol ve kan dolaşımında bozukluklara yol açmaktadır. Vücut maruziyete aktif bir şekilde tepki vermektedir. Zararlı etkiler; işçinin bedensel özellikleri, iş ve titreşim arasındaki ilişkiye dayalı olmaktadır. Etkilerin bazıları geçici olup iyileşme hızlı olurken diğerleri kalıcı olabilmektedir. Akut tepkiler şunlardır: geçici vibrotaktil (titreşimsel dokunsal) eşik ve termal algı kayması, iki noktalı eşik ayırt etmede sorun, vasküler ton değişimi, sinirsel iletkenlik bozukluğu, maruziyet sonrası yaşanan parestezi olarak yaşanan artmış axon uyarılması, uzuv (limb) pozisyonunun sabit olmayan performanstan dolayı etkilenmesi sonucu tonik titreşim refleksi ve g-loop müdahalesi gibi değişmiş sensorimotor refleksleri.

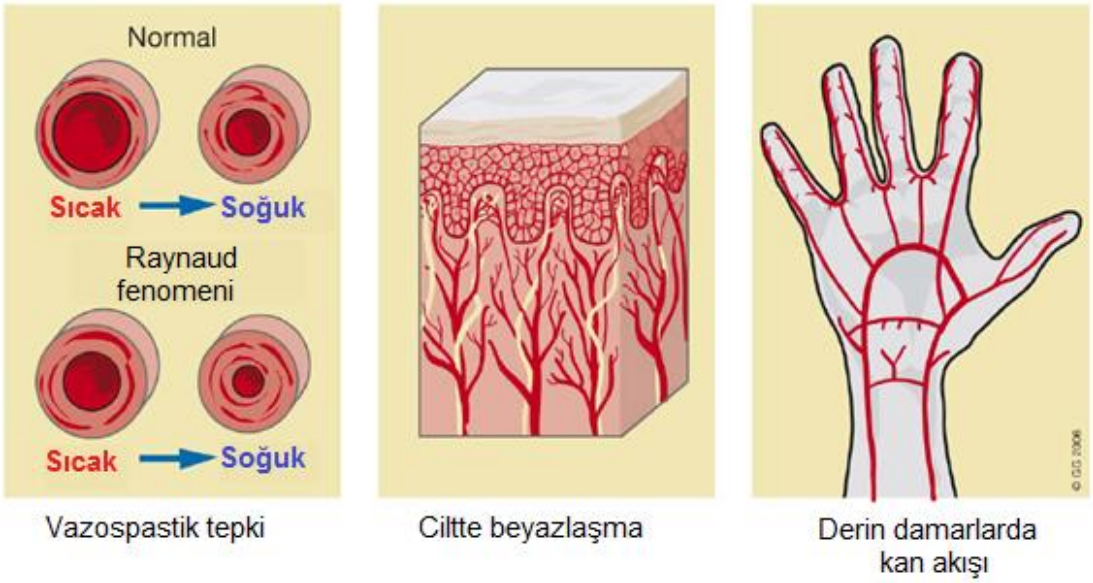
Titreşim parmağa giden kan akışını önemli ölçüde azaltmakta, maruziyet öncesine ve titreşim olmayan bir parmağa kıyasla dolaşım ilintili direnci de arttırmaktadır. Titreşime maruziyet sonrası geçici damar genişlemesi gerçekleşmektedir. Oysa 15-30 dakikalık bir maruziyetten sonra titreşime maruz kalsın veya kalmasın tüm parmaklarda kan akışı azalmaktadır. Dijital dolaşımsal tepkinin boyutu titreşime maruziyetin büyüklüğü ile frekansına bağlıdır. 125 Hz'lik titreşim maruziyeti en büyük etkiye sahiptir. Tek bir parmağın maruziyeti durumunda alt ekstremitede akut vasküler damar daralması bildirilmiştir.

El-kol titreşimiyle bağlantılı temel dolaşım bozukluğuna genelde titreşimin neden olduğu “beyaz parmaklar” adı verilmektedir (Şekil 2.5). Elle çalıştırılan titreşimli makineleri kullanan işçilerde soğuk, rüzgârlı ve nemli şartlar ile titreşim maruziyeti ya da duygusal strese tepki olarak parmakta renk açılması şeklinde gerçekleşen aralıklı ataklar görülebilmektedir. Etkilenen kısımlarda önemli ölçüde solgunluk/renk açılması ve buna hissizliğin eşlik etmesi, beyaz parmak sendromunun karakteristiği olarak tanımlanmıştır. Buna ek olarak periferik kan akışındaki azalma, eğer kesi olursa, kanamayı engellemektedir. Beyaz parmak olayı genelde uçtaki parmak kemiklerinin (distal falanks) beyazlaşmasıyla başlamakta ve diğer parmak kemiklerine uzanmaktadır. Noktalı beyazlıklar oluşabildiği gibi beyazlığın yerini kızarıklığın aldığı bir dizi renk değişiklikleri de olabilmektedir. Duyarlılık azalması beyazlanmaya, ağrı hissi de kızarmaya eşlik edebilmektedir. Dolaşım fonksiyonu bozulan kişiler beyaz parmak sendromu olmasalar da soğuğa karşı aşırı duyarlılık gösterebilmektedir. Soğuğa karşı tahammülsüzlük nörosensor ya da dolaşım ilintili fonksiyon bozukluğundan kaynaklanmaktadır. Damar kaslarının kasılması ile sonuçlanan periferik dolaşım sisteminin artan duyarlılığı, genelde titreşimin neden olduğu beyaz parmaklar ya da ikincil Raynaud fenomeni (bu, etiyolojisi bilinmeyen esas Raynaud fenomeninden farklıdır) olarak bilinmektedir.

Titreşimin neden olduğu ve sebebinin tam olarak anlaşılamadığı ifade edilen beyaz parmak hastalığı, dijital kan damarlarının tamamen kapanmasıyla karakterize olan bir rahatsızlık olarak tanımlanmaktadır. Damar kasları soğuğa karşı giderek artan şekilde kasılmakta ve güçlü büzülme tepkisi, kan akışını bloke etmektedir (Şekil 2.6). Büzülmeler arterioller ile sınırlı kaldığında kan, kılcal damarlarda tutulu kalmakta, oksijenini kaybedip rengi koyulaşmakta ve mavimsi bir deri rengi oluşmaktadır. Ancak venöz kılcal damarların da kasılıp, büzülmesi durumunda deriye hiç kan ulaşmamakta ve rengi beyazlaşmaya başlamaktadır. Deri rengi damarların açık olup olmadığını gösterebilmektedir. Damar kaslarındaki kasılma normalde periferik arterleri etkilemekte ve daha derine inmemektedir.



Şekil 2.5 Beyaz parmak sendromu (Burström vd., 2009).



Şekil 2.6 Beyaz parmak sendromunda damarların soğuğa tepkisi (Burström vd., 2009).

Vaskülatör, nörosensor ya da kas-iskelet sistemi hasar almış işçilerde el-kol titreşimi maruziyetinin olumsuz etkilerinden şüphelenilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Maruziyetin başlangıcı ve belirtilerin başlamasının; maruziyetin karakteristiği, işçilerin hassasiyeti ve hastalığın kendini gösterme tipine bağlı olarak ortaya çıkış zamanının kısa, bir yıl ya da on yıl gibi daha uzun olabileceği ifade edilmektedir.

- Halen dolaşım, sinir ve kas-iskelet sistemlerini etkileyen hastalıklar dışında, hastalığa açık olmaya yol açan spesifik parametreler hakkında hiçbir bilgi bulunmamaktadır.
- Dolaşımla ilgili hastalıkların ortaya çıkması için ileri yaş, daha fazla hastalık riskine yol açar gibi gözükmektedir.
- Sigara kullanımı beyaz parmak hastalığı belirtilerinin ortaya çıkışını etkilemektedir. Sigara kullanımı beyaz parmak belirtilerinin yaygın ataklarına eşlik etmekte olup kötü bir seyir tablosu ile bağlantılıdır.
- Ilıman bir iklimde yaşamak beyaz parmak belirtilerinin ortaya çıkışını azaltmaktadır.

Beyaz parmak olaylarını genelde soğuğa maruziyet tetiklemektedir. İnsanlar soğuk nesneleri tuttukları ya da yüksek nem, su, eriyen kar ya da buza maruz kaldıklarında soğuma etkisi daha da artmaktadır. Stresli durumlar ya da nikotin, maruziyet atak riskini arttırmaktadır. Titreşim maruziyeti de belirtileri ortaya çıkarmaktadır. Bazen elektrikli diş fırçasından ya da tıraş makinesinden bile kaynaklanan maruziyet damar kaslarında kasılmaya yol açabilmektedir. Titreşim ve eldeki damarlar üzerindeki basınç da kasılma riskini arttırmaktadır.

Akşamları ve gece geç saatlerde azalan endokrin aktivitesi ile sabahtan gün ortasına kadar artan endokrin aktivitesi/günlük ritim (Circadian ritmi) beyaz parmak ataklarının en kolayca tetiklendiği zaman ile bağlantılı olmaktadır. Ataklar genelde sabahları endokrin aktivitesinin artıp,

metabolizmanın yavaş olduğu zaman ortaya çıkmakta ve ikindiye doğru daha azalmaktadır. Stres sistemi geliştiğinde atakların ortaya çıkması daha kolay olmaktadır. Belli sıkıntıların yaşanması ya da duygusal stres, endokrin sistemiyle sinerjistik olarak bağlantılı olduğundan beyaz parmak hastalığının ortaya çıkma ihtimalini arttırmaktadır. Beslenmeyle ilgili metabolik aktivite de damar kası kasılmasının tetiklenmesinde rol alabilmektedir. Düşük metabolik aktivite ve daha az gıda alımı, atakların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Nikotin ya da diğer damar büzen ajanlar beyaz parmak olaylarının ortaya çıkışını tetiklemektedir. Ancak alkol, beyaz parmak sendromunun ortaya çıkışını engelleyebilmektedir. Düşük sistemik kan basıncı ya da damarlara kompresyondan dolayı oluşan düşük lokal kan basıncı, beyaz parmak riskini arttırmaktadır. İlaç kullanımı (aktif bileşenlerine bağlı olarak) damar kası kasılması riskini arttırabildiği gibi azaltabilmektedir.

Titreşim kaynaklı olumsuz etkiler (HAVS) el becerisini azaltabilmekte ve elle yapılan işler daha zor hale gelebilmektedir. Bu etkiler işçinin soğuğa ve nemli ortamlara dayanma, strese ve titreşim maruziyetine tahammül yeteneğini kaybetmesine neden olmakta ve işçi, ağrıdan dolayı gündelik hayatta kısıtlamalarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu engel, hayat kalitesinde düşme ve iş kaybıyla sonuçlanabilmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, düşük düzeyli bir titreşimin bile işçinin dolaşım ve sinirsel fonksiyonlarını olumsuz etkileyeceğini, dolayısıyla beyaz parmak sendromunun işçilerin hayatını eskiden sanılandan daha olumsuz etkilediğini gösterdiği ifade edilmektedir (Burström vd., 2009).

Raynaud fenomeni teşhisinde, titreşimden başka nedenlerin de dikkate alınması önerilmektedir. Titreşimin neden olduğu beyaz parmaklar teşhisi, elle geçen titreşime önemli ölçüde maruziyet olduğunun belirlenmesini gerektirmekte olup ortalama frekans, yoğunluk seviyesi, tekrar adedi ve sürenin, titreşim maruziyetinin önemli yönleri olduğu ve elle iletilen titreşim miktarının; tutma ve itme güçleri ile iş organizasyonu gibi ergonomik faktörlerden etkilendiği ve iş tekniği ile maruziyet miktarını etkilediği ifade edilmektedir. Ayrıca, titreşim yanında kurşun, vinil klorid ve arsenik maruziyeti gibi beyaz parmak sendromunun ortaya çıkmasına neden olan diğer mesleki maruziyetler de bulunmaktadır.

Raynaud fenomenini teşhis etmenin kabul edilen mevcut en iyi yolu olarak konsültasyon verilmektedir. Parmakta soğukla bağlantılı beyazlaşma net olarak görüldüğünde, soğuğa maruziyet son iki yılda meydana geldiğinde, damar kaslarında kasılma ile ilgili olayların ortaya çıkışından önce elde titreşim maruziyeti olduğunda ve Raynaud fenomeninin hiçbir olası sebebi görülemediğinde tanılama, net olarak yapılabilmektedir.

Beyaz parmak belirtileri çeşitli sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılmıştır. Taylor-Pelmear ölçeği; beyaz parmak belirtileri, belirtilerin yazın ve kışın ortaya çıkışı ve bunu takip eden sosyal ve işle ilgili sorunlarla ilgili bilgiye dayalıydı. Sonraki Stockholm atölye ölçeğine (Stockholm workshop scale) göre sınıflandırma ise belirtiler ve beyaz parmak sendromunun el üzerindeki

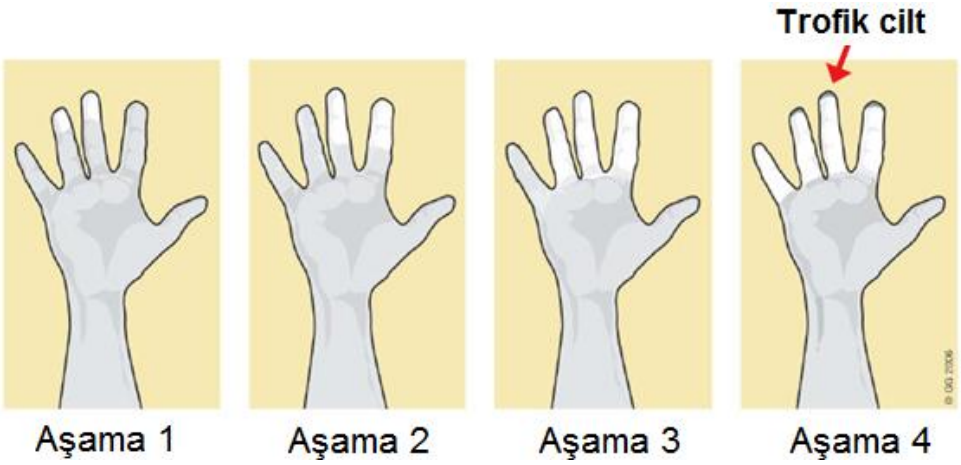
dağılım bilgisine dayalı olup durumun aşamasını belirleme, her bir el için ayrı ayrı yapılmaktadır (Çizelge 2.8). Hastanın değerlendirilmesinde, hastalığın derecesi aşamalara ve her bir eldeki etkilenmiş parmaklara göre belirlenmektedir **(**Burström vd., 2009).

Çizelge 2.8 Stockholm atölye ölçeğine göre ellerdeki etkilenimin aşamalandırılması (Burström vd., 2009)

Aşama	Derece	Tanım
0	-	Atak yok
1	Hafif	Bir ya da daha çok parmağın sadece ucunu etkileyen ara sıra ataklar
2	Orta	Bir ya da daha fazla parmağın uç (distal), orta (medial) ve bazen de proksimal kemiklerini etkileyen ara sıra ataklar
3	Ağır	Çoğu parmağın bütün kemiklerini etkileyen sık ataklar
4	Çok ağır	3. aşamadaki belirtiler ve ek olarak parmak uçlarında trofik (trophic) deri değişiklikleri

Şekil 2.7, el-kol titreşimi sendromunda soğuğun neden olduğu Raynaud fenomeninin sınıflandırılması için Stockholm atölye çalışmasına göre etkilenen kemik (falanks) sayısına bağlı çeşitli aşamaları göstermektedir.

Temel Raynaud fenomeni beyaz parmak hastalığının en yaygın sebebi olsa da, etiyolojisi bilinmemektedir. Sıcak Avrupa ülkelerinde normal bir toplulukta %5 erkek ve %30 kadın yaygınlığı beklenebilmektedir. Raynaud fenomeninin diğer etiyolojileri (ikincil) konektif doku hastalıkları, vasküler kompresyon ya da travma gibi dolaşım hastalıkları, ilaç kullanımı ve mesleki maruziyetler gibi diğer hastalıklardır.



Şekil 2.7 Dolaşım ilintili belirtilerin aşamalandırılması (Burström vd., 2009).

Teşhis süreci dolaşım ilintili belirtilerin ikincil Raynaud fenomeniyle tutarlılığına ve titreşim maruziyetlerinin karakteristiklerinin el-kol titreşimiyle tutarlı olup olmadığına odaklanmaktadır. Teşhis; olası tedavi, idame ve gelecekte nasıl bir işte çalışılacağına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Muhtemel diğer sebeplerin belirlenmesi için diğer maruziyetler de göz önünde bulundurulmalıdır. Hastalığın şiddeti belirtiye göre belirlenmektedir.

Beyaz parmak hastalığı temel tedavisinin öncelikle maruziyetin azaltılması yoluyla olduğu ifade edilmektedir. Tedavi, belirtileri azaltacak kişisel önleme eylemleriyle ilgili bilgiyle desteklenebilmektedir (sigara kullanımı, stres, ısınma, beslenme, gürültü ve iş tekniği). Sadece ağır vakalarda ilaç tedavisi/tıbbi tedavi düşünülmesi ve bu durumlarda mutlaka maruziyet azaltımı önerilmektedir.

Klinik ve epidemiyolojik çalışmalar beyaz parmak sendromunun geri döndürülebileceğini göstermektedir. Titreşime maruziyet kesildikten sonra her hasta iyileşme gösterebilmektedir. Hastalığı orta derecede bulunan, kısa süreli maruziyeti olan ve genç hastaların iyileşme şansının daha yüksek olduğu ancak süregiden sigara kullanımının hastalıkta istenmeyen seyre yol açacağı bildirilmiştir.

2.3.4 El-Kol Titreşiminin Çalışanın Nörosensor Sistemine Etkileri

Titreşimle çalışan makinelere uzun süreli maruziyet, ya çeşitli bölgelerde sinir sıkışması ya da genele yayılmış bir nöropati olarak görülen periferik sinir afeksiyonu gibi inatçı hastalıklarla ilişkilendirilmiştir. Zararlı etki maruziyetle ilintili olabilmekte ancak sinirdeki fizyolojik akıştan dolayı da bağlantılı olmayabilmektedir. Çalışanın duruşu da sıkışmayla sonuçlanan ek stres ya da sinirler üzerinde basınca yol açabilmektedir (örneğin thorasik çıkışta kas ve kemikler arasında).

İvmenin artmasıyla duyarlılık azalacağından titreşim algı eşiklerinde geçici bir eşik kayması meydana gelmekte ve artarak, 125 Hz'de en büyük düzeye gelmektedir. Geçici eşik kaymasının büyüklüğü aynı zamanda ilk titreşim algı eşiği değerinden de etkilenmektedir. Diğer yandan termal algıdaki geçici eşik kayması üzerinde çok fazla durulan bir konu olmamıştır.

Araştırmacılar, titreşimin, el-kol sistemindeki kaslarda EMG aktivitesini arttırdığını göstermiştir. Titreşim maruziyeti kasların dayanma gücü süresini azaltmaktadır. Akut rahatsızlıklar geçici olup çoğu titreşime maruz kalmış işçide gözlenmektedir. Bu çalışmaların hiçbirinde temel etkilerin hiçbirisi ilk saatten sonra sürmemiştir. Bu akut etkilerin çoğu bilinçli olarak algılanmamakta ve bugüne kadar düşme, nesneleri düşürme, kontrollerin düzensiz kullanımı ve travmatik yaralanmalar gibi kazalarda pek de potansiyel risk faktörü olarak görülmemektedir (Burström vd., 2009).

Titreşimli makinelerde çalışan işçilerde ve diğer işçilerde el fonksiyonunda genelde hissizlik, parestezi ve elle yapılan işlerde zorlanma olarak bildirilen rahatsızlıklar gözlenmiştir. Negatif belirtiler arasında duyarsızlık, his kaybı ya da yokluğu, iç algı azalması ve motor becerilerde zorlanma, pozitif belirtiler arasında ise halsizlik ve iğnelenme hissi bulunmaktadır. Önceden var ya da yok diye sınıflandırılan belirtiler daha sonra aşamalar halinde Stockholm atölye ölçeğine dayandırılmıştır. "gece ellerdeki hissizlik yoğundu" ya da "ellerini ovuşturmak ve sallamak zorunda kalıyorlardı" gibi çeşitli tanımlar kullanılmaktaydı. Son zamanlarda araştırmacılar soğuk ortama

maruz kalındığında ağrı ve rahatsızlık olarak kendini gösteren soğuğa tahammülsüzlüğün ortaya çıkışını fark etmişlerdir.

Vücudun her tarafındaki periferik sinirler gidecekleri yere ulaşmak için omurgadan çıkmakta ve küçük delikler, uzun tüneller ve dar alanlardan geçmektedirler. Bu sinirlerin muhtemel sıkışması karpal tünel sendromu, thorasik çıkış sendromu ya da diğer sıkışma sendromları gibi durumlarla sonuçlanabilmektedir.

Etkinin genelde titreşimden çok yapılan işten kaynaklandığı düşünüldüğünden, titreşim nedeniyle ortaya çıkan ayrı nörolojik etkiler belirsizdir. Üst ekstremite ile ilgili bozukluklarla ilintili epidemiyolojik incelemeler sonucunda işin monotonluğu, istenmeyen psikososyal iş değişkenleri, soğuk, titreşim ve lokal mekanik stresler gibi işle ilgili bir dizi ergonomik risk faktörü (uzun süreli iş yükü; güç, tekrarlama, duruş) bildirilmiştir.

Nörolojik hastalıklar kısa maruziyet sürelerinde de ortaya çıkabilmektedir. En kötü durumda, çok ağır bir etki, inatçı belirtilerle sonuçlanan sinir hasarı oluşturabilmektedir. Genelde, belirtiler birkaç yıl içinde gelişebilmekle birlikte bazı durumlarda titreşimli makinelerle çalışmaktan kaynaklanan nöropati hızlı gelişmekte ve genç çalışanları bile olumsuz etkileyebilmektedir. Değişkenlik, kişisel hassasiyet, diğer sinir hastalıkları, alkol kullanımı ve diğer nörotoksin ajanlara (kurşun, cıva, arsenik vb.) maruziyet, iş tekniği ya da istenmeyen çalışma modelleriyle bağlantılı olabilmektedir. Sinirlerdeki serbest mobilite kişilerin vücut yapı ve duruşuna göre değişiklik gösterebilmektedir.

Nörolojik hastalıklar işçi tarafından belirti olarak algılanan hisler oluşturmadan meydana gelebilmektedir. Yüksek el becerisi gereken durumlarda, parmak dokunsal algısında bir kötüleşme/zayıflama fark edilebilmektedir.

Pozitif duyusal fenomenlerin önemli bir kategorisi olarak, reseptörlerin doğal bir şekilde uyarılmasına kişinin yetersiz tepki vermesi tanımlanmıştır. Ağrı olarak hissedilen soğuğa karşı tahammülsüzlük ve soğuk çevreye maruz kalmadan dolayı beyazlaşma olmaksızın stresli bir üşüme hissi böyle bir bulgu olarak verilmektedir. Ortam sıcaklığı azaldığında belirtiler şiddetlenebilmektedir.

İnsan eli duyusal fonksiyonların hem duyusal motor kontrole hem de duyu ayırdına olanak sağladığı büyük bir duyu organıdır. Bu sistemin rahatsızlanması, işlerin elle yapılmasına engel olabileceği gibi zorluk oluşturabilmektedir. Zararlı titreşime maruz kalmış işçilerin el fonksiyonunda bozulma görülebilmekte, bu işçiler hissizlik, iğnelenme, ağrı, duyusal bozulma ve zayıflıktan da şikâyetçi olabilmektedir. Soğuğa tahammülsüzlük, ağrı ya da fonksiyon kaybından dolayı genelde soğukla ve nemle başa çıkamama şeklinde sonuçlanmaktadır.

Titreşimli makinelerle çalışmadan kaynaklanan nörosensör hastalıkların teşhisinde titreşimden başka sebeplerin de bu belirti ve işaretlere neden olabileceğinin bilinmesi gerektiğine işaret edilmektedir. HAVS teşhisi (dokunma ve ısı duyusuna kör parmaklar) koyabilmek için hastanın el

yoluyla aktarılan titreşime önemli ölçüde maruz kaldığının belirlenmesi gerekmektedir. Titreşimin önemli yönleri olarak ortalama frekansı, yoğunluk düzeyi ve süresi verilmektedir. Elle iletilen titreşim miktarı, kavrama (grip) ve itme güçleri gibi ergonomik faktörlerden etkilenmektedir. Düşük sıcaklık sonucu etkileyebilmekte, işin organizasyonu ve iş tekniği maruziyet miktarına tesir edebilmektedir. Titreşime ek olarak, nöropatinin oluşmasına yol açacak özel organik çözücüler ve ağır metaller gibi mesleki başka maruziyetlerin de söz konusu olduğu ifade edilmektedir.

El-kol titreşimi sendromunun nörolojik kısmı Stockholm atölye ölçeğine göre aşamalandırılmıştır. Nörosensör durum aşaması belirlenmesinin Çizelge 2.9 uyarınca her bir el için ayrı ayrı yapılması gerekmektedir.

Çizelge 2.9 Nörosensör durumların aşamasının belirlenmesi (Burström vd., 2009)

Aşama	Belirti ve işaretleri
0SN	Titreşim maruziyeti var ancak hiç belirti yok
1SN	Aralıklı halsizlik, karıncalanma olabilir ya da olmayabilir
2SN	Aralıklı ya da sürekli hissizlik, duyusal algıda azalma
3SN	Aralıklı ya da sürekli hissizlik, dokunsal ayrım ve/veya el becerisinde azalma

SN: Sensory Neural: Sinir ve duyu iletimine ait

Elini yoğun olarak kullanan ve titreşime maruz kalan hastalarda dikkatli klinik değerlendirme, nörofizyolojik test ve nicel duyu testi önerilmektedir. Belirti ve işaretler arasındaki farklılık, bireyde, belirtilerin farkında olmaksızın duyusal bozulma içerebilmekte olup bu durumun ısıl ve dokunsal duyarlılıkla ilgili olduğu belirtilmektedir.

Titreşimin neden olduğu nörosensör hastalıklarda temel tedavi olarak titreşim maruziyetinin azaltılması ve belirtileri hafifletecek kişisel önleme eylemleriyle (örneğin sigara kullanımı, stres, ısınma, beslenme, gürültü ve iş tekniği) desteklenmesi, sadece ağır vakalarda cerrahi tedavi ya da ağrı azaltıcı ilaçların düşünülmesi ve tıbbi tedavi yanında titreşim maruziyetinin azaltılması önerilmektedir.

2.3.5 El-Kol Titreşiminin Çalışanın Kas-İskelet Sistemine Etkileri

Elle yapılan işlerde kas gücü harekete dönüşmektedir. Ancak kaslar ile gerekli güç üretilemediğinde elektrikli/havalı bir el aleti kullanımı zorunlu olmaktadır. Güç ünitesi ile donatılan hemen tüm el aletleri belirli düzeylerde titreşim oluşturmaktadır.

Titreşim el-kol kaslarında EMG aktivitesini geçici olarak artırmakta ancak maruziyet, kasların dayanma gücünü azaltmaktadır. Motor birim senkronizasyonunda EMG'nin gösterdiği tonik-titreşim refleksi üzerindeki geçici titreşim etkisi 150 Hz altında en güçlü olmaktadır.

Akut pertürbasyon (tedirgi, sarsım) ve el-kol sistemi ile makinenin bir araya gelmesi, iletilen fiili titreşim miktarını belirlemektedir. Akut rahatsızlıklar geçici olup en çok maruz kalan işçileri

etkilemekte ve maruziyete ara verildikten sonra büyük etkiler çok nadiren bir saatten fazla sürmektedir.

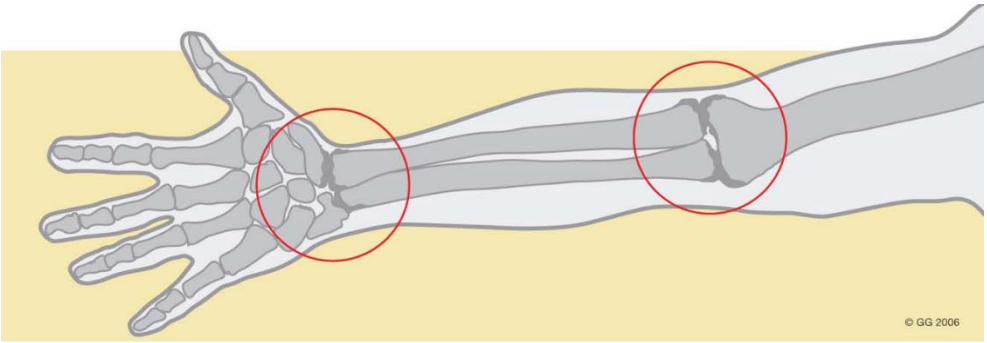
Titreşime maruz kalmayan kontrol grubuyla kıyaslandığında titreşime maruz kalan işçilerde yüksek oranda kas-iskelet sistemi hastalığı riski bulunmaktadır. Bu hastalıklar arasında kas-uzuv ağrısı, kas-kiriş sendromları ve kas kapasitesinde azalma bulunmakta olup osteoartrit ve tutukluk da rapor edilmiştir. Nörosensör ve kas sisteminde bozukluk, nöromusküler kontrol kaybından dolayı el becerisinde azalma şeklinde de yaşanabilmektedir. Bu etkiler kas, kemik ve titreşim kaynağına yakın eklemlere yerleşmiş patoanatomik etkilerdir. Kas-iskelet sistemi bozukluklarının zamanla oluşması için uzun süre devam eden yüksek yoğunluklu maruziyet ve yüksek etkili titreşimin olması gerekmektedir (Burström vd., 2009).

Kas-iskelet sistemi bozuklukları ile ilgili temel belirti ve işaretler aşağıda listelenmiştir:

- güç ve kas fonksiyonunda azalma
- el becerisinde azalma
- muhtemel kas ağrısı ya da tendonit
- artrit, eklem ya da kiriş dejenerasyonu belirtileri, Dupuytren kontraksiyonu

Elle iletilen titreşim etkisi altındaki kaslar ile yapılan işler öncelikle tutma gücünde artış ile sonuçlanabilse de süregiden maruziyetten sonra bu, gücün azalmasına da dönüşebilmektedir. Son zamanlara kadar, kaslarda kalıcı güç azalması nöro-musküler etkileşimin bozulması olarak değerlendirilmiş olmakla birlikte hayvanlar üzerinde yapılan son deneysel çalışmaların titreşim maruziyetiyle ilgili kas morfolojisinde bir değişiklik olduğunu gösterdiği belirtilmektedir. Bu tür bulgular insan deneklerde de doğrulanmıştır. Kas yükü devam ettiğinde, statik olduğunda ya da yük fazlayken kaslara birleşen kirişlerde de tendonit riski bulunmaktadır. Aynı durumun eklem hasarlarında da geçerli olduğu ve titreşimli makinelerle çalışmanın, işçiyi eklem patolojisiyle (özellikle el, dirsek ve bilek osteoartriti) karşı karşıya getirdiği ve titreşimli makinelerle çalışmanın, osteoporoz ve el kemiklerindeki kistler arasında bir bağlantı olduğunu gösterdiği ifade edilmektedir (Şekil 2.8).

Ağır titreşim içeren uzun süreli işler, kas-iskelet sistemi hastalıklarına temel oluşturmaktadır. Diğer ergonomik risk faktörlerine kıyasla elle geçen titreşimin göreli önemi genelde belirsiz olduğundan, risk değerlendirilirken, ergonomik faktörler ile titreşim maruziyetinin göz önünde bulundurulması önerilmektedir. Titreşimli makinelerle çalışıldığında oluşan kas-iskelet sistemi problemlerine yakalanma sıklığı henüz belirlenmemiştir. Titreşimin osteoartritin temel nedeni olduğu düşünülen durumlarda, düşük frekanslı, yüksek büyüklüklü ağır maruziyet ya da uzun zaman boyunca perküssif (vurmalı) karakterde maruziyet olduğu düşünülmektedir.



Şekil 2.8 Eklem patolojisi (Burström vd., 2009).

Titreşimli makinelerle çalışmadan kaynaklanan bozukluk; kas zayıflığı, el koordinasyonu kaybı, el becerisinde bozulma, sakarlık, el krampları ve eklemlerde fokal ağrı ile fonksiyon kaybı olarak gözlemlenebilmektedir. Söz konusu engel, elle çalışmada ve güç uygulamada güçlük olarak belirmekte ve ağrı ya da fonksiyon kaybından dolayı bireyin hareketlerini sınırlamaktadır.

Klinik teşhis; mesleki ve tıbbi öykünün değerlendirilmesi, fiziksel muayene, laboratuvar testleri, olası tedavi ve idameyi içermektedir. İdamenin önemli bir yönünün de belirtileri neyin azalttığı ve neyin arttırdığı hakkında muhtemel bir prognozla ilgili bilgi sağlamak olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca, koruyucu (önleyici) önlemlerin, ergonomik yük faktörleri ve titreşim maruziyetini kapsayacak şekilde toplam bir ergonomik kurgudan oluşması önerilmektedir.

Mesleki öykünün hem titreşim hem de ergonomik yük faktörleri bakımından eşit ölçüde değerlendirilmesi, titreşimli makinelerle çalışan ve bundan dolayı kas-iskelet sistemi problemleri yaşayan bir işçi hakkında detaylı belirti tanımı, belirtilerin nicel ve nitel özellikleri, lokalizasyon (yeri), başlangıcı, ilerleyişi, hafifleten ve ilerleten eylemler, gidişat ve belirtilerin süresini kapsayan bir tıbbi öykünün derlenmesi gerektiğine vurgu yapılmaktadır.

Tıbbi öykü, fiziksel muayene ve mesleki öyküden derlenen bilgi, teşhisin temelini oluşturmakla birlikte el-kol titreşimiyle ilgili son tanıda, kas-iskelet sistemi bileşeni ile ilgili bir aşamalandırma bulunmadığı belirtilmektedir (Burström vd., 2009).

2.4 Öncel Çalışmalar

Haines vd., (1988) çalışmalarında, titreşime maruz kalmayan işçilere kıyasla vardiya süresince titreşime maruz kalan maden işçilerinde dokunsal duyarlılık derecesi (esteziyometrik) eşik değişimlerinin olup olmadığını araştırmayı amaçlamışlardır. Denek olarak seçilen 99 madenci ve 40 döküm işçisinden dört denek çalışmaya katılmayı reddetmiş, dokuz işçi de test izleğini anlamadıkları için gruptan çıkarılmışlardır. Vardiya öncesi ve sonrasında her iki elde de başparmaklar hariç olmak üzere iki nokta ayrımı ve derinlik duyusu esteziyometrisi yapılmıştır. Vardiya boyunca titreşimli bir aletin kullanılmasına ek olarak, dijital ateş, kol hasarına dair işaretler, parmak ucu kallusu ve tek el kullanma eğiliminin olduğu görülmüştür. Analizde, vardiya

öncesi ve sonrası okumalar (analiz) bu değişkenlere göre ve özellikle de vardiyada martoperforatör ile çalışma sonucu titreşime maruziyet durumuna göre incelenmiştir. Martoperforatör maruziyeti hariç, esteziyometrik sonuçlar bakımından, hem ortalamaların düzeltilmemiş kıyaslanması ve hem de geriye doğru eleme (backward elimination) tipi regresyon analizinde bu değişkenler ve vardiya boyunca oluşan değişim arasında hiçbir bağlantı gözlenmemiştir. Ancak, vardiya süresince martoperforatör ile sağ elde iki nokta ayrımı ve derinlik algısı esteziyometrik sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir bağlantı bulunmuş, özellikle de iki nokta ayrımına dair bir öğrenme olduğu gözlenmiştir. Böyle bir öğrenmenin sol elde değil sağ elde gerçekleşmesi, baskın tek elliliği (tek eli kullanma eğilimi) ve deneklerde sağ elde daha fazla titreşim maruziyetinin olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, titreşime maruz kalan işçilere esteziyometrik test yapılmadan önce maruziyet olmayan bir aralığın/molanın olması gerektiğini savunulmaktadır.

Yeraltı madenlerinde çalışanlarda vardiya öncesi ve sonrası HAVS maruziyetini değerlendirmek için USBM ve Kanada-Ontario Madencilik Sağlık ve Güvenlik Bakanlığı, bir yeraltı altın madeni yönetiminin işbirliği ile çalışmalar gerçekleştirmiştir (Hudock, 1990). HAVS maruziyetinin akut etkisi; titreşim ölçer sistemi kullanılarak çeşitli seviye ve frekansta titreşim verilerek duyarlılık testi, tutuş güç dinamometresi kullanarak el gücü ölçme testi, Purdue pegboard testi kullanılarak el ve kolların hem kaba (gross) hareketleri hem de parmak ucu becerisini ölçmeye yönelik testler olmak üzere 3 ayrı ölçüm aracı kullanılarak, değerlendirilmiştir. Eşleştirilmiş t-testlerinde vardiyalardaki titreşim ölçer puanlarında vardiya önce ya da sonrasına göre önemli hiçbir fark bulunamamıştır. Vardiya sonrası testte sağ elde sürekli titreme, toplanma ve toplam titreme puanları önemli ölçüde daha yüksek çıkmıştır. Bu üç ölçüm aracının hiçbirinin el kol titreşimi maruziyeti akut etkilerini belirlemek için yeterince duyarlı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Narini vd. (1993) yaptıkları çalışma ile Kanada kuzey Ontario'da bulunan bir yeraltı altın ocağında çalışan işçileri el-kol titreşimi maruziyetinin etkilerini sınamak için değerlendirmeye almışlardır. Çalışma uzayına yaş ortalamaları 35 olan ve titreşimli aletler kullanan 19 yeraltı maden işçisi ile yaş ortalaması 31 olan ve titreşime maruz kalmayan 15 adet kontrol grubu işçisi alınmıştır. İşçilerin ortalama titreşim maruziyet öyküsü 14 yıldı. Çalışmada statik iki noktayı ayırt etme, iki nokta ayrımını değiştirme, titreşim eşiği ve kütenöz (deriyle ilgili) basınç eşiği parametreleri değerlendirilmiştir. Karpal ve kübital tüneller üzerinde tinel, basınç, falen (Phalen) işaretleri dâhil olmak üzere provokatif testler yapılmıştır. 12 maden işçisinde ve bir kontrol grubu deneğinde hissizlik, ağrı ve zayıflık rapor edilmiş, 16 maden işçisi ile üç kontrol deneğinde HAVS gözlenmiştir. Maden işçileri, kontrol grubundakilere kıyasla, karpal ve kübital tünellerde daha yüksek pozitif provokatif test oluşumu ve daha yüksek kütenöz basınç eşiğine sahip bulunmuştur. Ayrıca yeraltı maden işçilerinde, kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde yüksek titreşim eşikleri tespit edilmiş ve çalışma ömrü boyunca titreşime maruziyet süresi ile titreşim eşiği arasında da bir ilgileşim görülmüştür.

Dasgupta ve Harrison (1996) Hindistan'da bulunan iki madende çalışan 66 martopikör işçisi ile 35 ateşçiyi HAVS bakımından klinik olarak incelemişlerdir. Söz konusu bu inceleme; ankete dayalı bilgi, parmakların kemik çevre ölçümüyle ilgili klinik muayene (FCT) ve motor sinir iletimini (MCV) içeren klinik muayeneden oluşmaktaydı. Sıcak bir ortamda, birçok belirtinin bir arada bulunması, herhangi bir periferik dolaşım bozukluğundansa periferik nöropati ve kas-iskelet sistemi anormallikleri olduğunu göstermiştir. Klinik muayene; ellerde yumuşak doku hasarı (26 vaka), ulnar sinir bozukluğu (23 vaka), medyan sinir bozukluğu (16 vaka) ve Dupuytren kontraktürü (4 vaka) olduğunu göstermiştir. Bu değerlendirmeye gönüllü olarak katılan 66 delme işçisinden 59 adedinin ortalama motor sinir iletim hızı, 35 ateşçiden anlamlı ölçüde farklı çıkmamıştır. Yaş ve çalışma ömrü boyunca titreşime maruziyet süresi regresyon analizine tabi tutulduğunda ilgileşim katsayısı sonuçları MCV bakımından önemli ölçüde değişiklik göstermiştir. Ancak 30 delici işçinin 30 ateşçi ile MCV ve FCT bakımından kıyaslamasında titreşime maruz kalmış grupta sağ medyan sinirinin ortalama MCV'sinin önemli ölçüde azaldığı görülmüş ($p<0.01$) ve ortalama FCT için ise sağ işaret parmağı, sol başparmak ve sol yüzük parmağının proksimal kemiklerinin titreşime maruz kalmış grupta daha ince olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Güven (2002) titreşimin el ve kollardaki dolaşıma olumsuz etkilerini göstermek amacıyla Ankara'da kamu kurum ve kuruluşlarında çalışan ve titreşimli cihaz kullanan 30 kişi ile kullanmayan 17 kişi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu amaç doğrultusunda, katılımcılarla yüz yüze görüşmeler yapılmış, tanımlayıcı ve el-kol dolaşımına ait belirti bilgileri toplanmış, genel sağlık kontrolü, laboratuvar muayeneleri ve el-kol dolaşımı ile ilgili ölçümler yapılmıştır. Sonuçların tekrarlayan ölçümlerde varyans analizi yöntemi ile yapılan istatistiksel analizinde, sıcaktan soğuğa doğru gidildikçe P-P, area ve maximum slope değerlerinde, titreşimli cihaz kullanan gruptaki azalmanın titreşimli cihaz kullanmayanlara göre daha fazla olduğu ancak farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda, titreşimli cihaz kullananların; titreşimin sağlık etkileri, HAVS'ın belirtileri ve korunma yöntemleri konusunda eğitilmeleri, titreşimli cihaz kullanım sürelerinin düzenlenmesi ve genel iş sağlığı ve güvenliği önlemleri kapsamında koruyucu önlemlerin alınmasının sağlanması ve daha büyük gruplarda yeni epidemiyolojik araştırmaların yapılması önerilmiştir.

Oddo vd. (2004) madencilik sanayiinde yaygın olarak kullanılan martopikör ve martoperforatör gibi kayaç matkaplarının neden olduğu el-kol titreşimini azaltacak süspansiyonlu kol tasarımı modelini geliştirmişlerdir. Tipik madencilik şartlarında çalıştırıldığında, 6,3 Hz – 1250 Hz frekans aralığında değerlendirilen frekans ağırlıklı el-kol titreşimi maruziyet seviyeleri 25 m/s^2 olarak bulunmuştur. Çalışmada çoğu basınçlı havalı matkapta 35 Hz ve 45 Hz arasında oluşan titreşim ve şokları azaltmak için tasarlanmış süspansiyonlu bir kolun geliştirilmesiyle ilgili ilk aşamanın sonuçları verilmiştir. Bu amaç için el-kol sistemi, ISO 10068 standardında model-2 olarak adlandırılan dört serbestlik dereceli yuvarlanmış bir parametre modeli ile gösterilmiştir. Araştırmanın parçası olarak, birinde helikoidal yaylar, diğerinde viskoelastik çerçeveler bulunan iki tür süspansiyonlu kolu gösteren bir model geliştirilmiştir. Elektrodinamik titreticideki

süspansiyonlu kollar çalıştırıldığında ortaya çıkan titreşim iletimi ölçümleriyle ilgili tahminlerle kıyaslama yapılarak bu kombine el-kol süspansiyonlu kol modelleri daha sonra doğrulanmıştır. Ölçümlerde, kolları tutan ve 0 N – 80 N arası itme gücü ile 20 N – 50 N arası tutma gücü uygulayan insan denekler kullanılmıştır. 50 N'a ayarlanan tutma ve itme güçleri için, özellikle 35 Hz üzerindeki frekanslarda model tahminleri ile yapılan ölçümler arasında uyum bulunmuştur. Her iki süspansiyonlu kol üzerinde de elin titreşim iletkenliği açısından önemli bir etkisi vardı. Süspansiyon katılığı boş kollarda 25 Hz'lik bir tınlaşım üretecek şekilde ayarlandığında, kolu tutarken 35 Hz'de elde edilen titreşim azalması %30'du ancak boş kolda aynı frekansta ufak bir artış söz konusuydu. Frekans 45 Hz'e çıkarıldığında, kol-el kombinasyonunda daha da önemli bir azalma (%50) görüldü. Serbest süspansiyonlu kolun tınlaşım frekansı daha yüksek bir frekansa çıkarıldığında, el-kol sisteminin kol (handle) tınlaşım frekansında ek hafifleme sağladığı görülmüştür. Ancak daha düşük doğal frekanslı süspansiyonlu kollarda gözlenen davranışla kıyaslandığında daha düşük fonksiyonlarda herhangi önemli bir değişikliğe yol açmamıştır.

Futatsuka vd. (2005) Vietnam'da taş ocağı çalışanlarında HAVS gelişimini araştırmışlardır. Titreşimli aletlerin tropik bölgelerde çalışan işçiler üzerindeki etkisini araştıran çok az çalışma mevcut olduğunu vurgulayan yazarlar, martopikör gibi kaya matkaplarını kullanmayla ilgili iş koşulları ve sağlık sorunlarını, 73 delici işçi dâhil olmak üzere Vietnam'daki 102 taş ocağı çalışanı üzerinde incelemişler ve titreşim maruziyeti riski, titreşimin neden olduğu VWF ortaya çıkışı ve HAVS karakteristiklerini netleştirmeyi amaçlamışlardır. Çin ya da Rusya'da imal edilen kaya matkaplarının toplam ağırlıklı ortalama karekök ivmesinin 45 m/s² - 55 m/s² olduğunu ifade etmişlerdir. Gözlemlerine göre günlük titreşim maruziyeti (160 – 210) dakikaydı. ISO-5349'e göre bu miktarın işçilerde yüksek HAVS riskine neden olacağı tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda VWF ile ilgili net bir kanıt bulunamamıştır. Hiçbir işçide VWF bulunmamasıyla ilgili çeşitli sebepler olabilir: 1) çalışma ortamının sıcak olması, 2) daha genç ve tecrübesiz işçiler, 3) iş operasyonlarında mevsimsel değişiklikler, 4) sağlıklı işçi etkisi. Diğer yandan ise delici operatörlerinin %(5-10)'unun, sensori-nöral tipin baskın olduğu orta şiddetli HAVS'tan mustarip olabileceği ve tropik bölgelerde çalışan taş ocağı işçilerinde HAVS'ın bazı karakteristik özelliklerinin bulunabileceği sonucuna varmışlardır.

Nyantumbu vd. (2007) Güney Afrika'daki maden işçilerinde HAVS'ın yaygınlığı ve ağırlığı ile bu duruma neden olan aletleri belirlemek amacıyla Güney Afrika Cumhuriyeti'ndeki bir altın madeninde kesitsel bir çalışma yapmışlardır. HAVS'ın elle tutulan/güdülen titreşimli aletlerin kullanılmasıyla bağlantılı olduğu, bu durumdan etkilenen işçilerde iğnelenme, hissizlik, tutuş gücü kaybı ve ağrı görülebileceği, el becerisi kaybının günlük aktivitelerin gerçekleştirilmesini zorlaştıracağı ve mesleki kaza riskini potansiyel olarak artırabileceğini ifade etmişlerdir. Martopikör ve martoperforatörlerde 31 m/s² gibi yüksek titreşim ivmesi seviyelerinin ölçülmüş olduğunu da eklemişlerdir. Katılımcılar yıllık izinden dönen maden işçileri arasından rastgele seçilmiş ve toplamda, işlerinden dolayı titreşime maruz kalan 156 kişi ile titreşime hiç maruz kalmayan 140 kişi seçilmiştir. Katılmayı kabul eden madenciler, HSL protokolüne uygun olarak

klinik anlamda HAVS değerlendirmesine alınmıştır. Titreşime maruz kalmış altın madencilerinde HAVS yaygınlığı %15 olarak bulunmuş ve hastalığın belirti vermediği 5,6 yıllık da gizli bir dönem belirlenmiştir. Titreşime maruz kalmamış kıyas grubunun %5'inde HAVS'tan ayırt edilemeyen işaret ve belirtiler görülmüş ve bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0.05$). HAVS vakalarının tümü delicilere maruziyet öyküsü içermiştir. Çalışmada HAVS yaygınlığı beklenenden daha düşük bulunmuştur. Bu durum denek topluluğunun çalışma şartlarına dayanıklı olması ve sıcak ortam koşullarından dolayı dolaşım ilintili belirtilerin yetersiz tanımlanması ile açıklanmıştır.

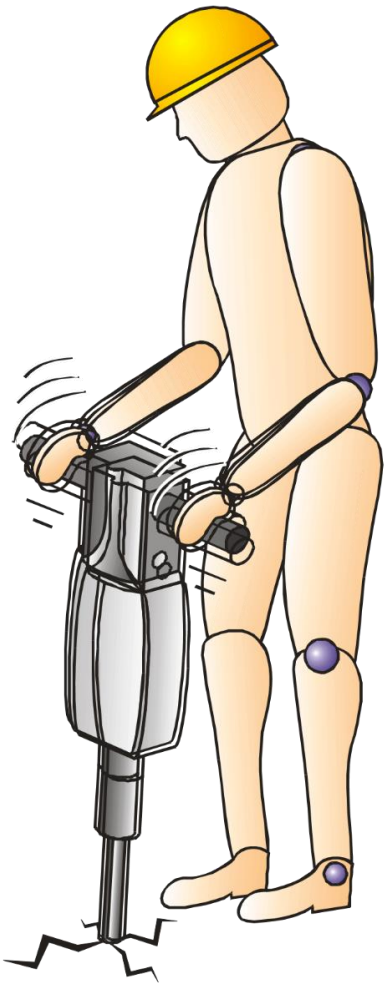
Nor vd. (2014) Malezya'da 5 farklı tip çim biçme makinesi üzerinde titreşim ve gürültüyü incelemek üzere yaptıkları çalışmada bu makineleri kullanan işçilerin sağ ve sol el farklılıkları da gözlemlenmiştir. A(8) titreşim maruziyet değeri ölçülen çalışmada sağ el için 2,1 ile 20,7 m/s², sol el için de, 2,7 ile 29,1 m/s² titreşim değerleri ölçülmüştür.

3. EL-KOL TİTREŞİM MARUZİYETİ

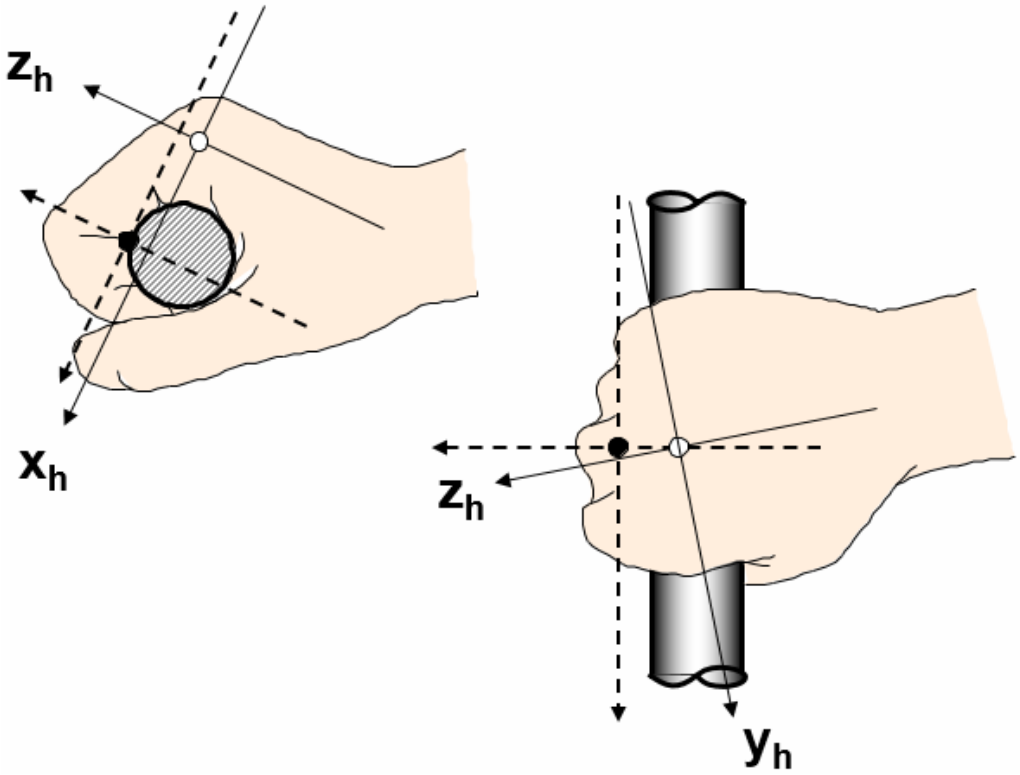
3.1 El-Kol Titreşimi

Bir gövde dış ve iç kuvvetler nedeniyle salınım zaman titreşimler ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.1). El-kol titreşimi durumunda bir makinenin tutamağı ya da iş parçasının yüzeyi hızla titreşir ve bu hareket el ile kola iletilmektedir.

Titreşim, büyüklüğü ve frekansı ile tanımlanmaktadır. Titreşim büyüklüğü titreşim yer değiştirmesi (m), titreşim hızı (m/s) ya da titreşim ivmesi (m/s²) cinsinden ifade edilmektedir. Çoğu titreşim çevirgeci (transducer) ivme ile ilintili bir çıktı ürettiğinden ivme, titreşimi tanımlamak için geleneksel olarak kullanılır hale gelmiştir. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi bir yüzey üzerindeki titreşime ait tam bir görüntü elde etmek için titreşim, üç eksende ölçülmektedir.



Şekil 3.1 El-kol titreşimi (EU, 2006).



Şekil 3.2 El-kol titreşimi ölçüm eksenleri (EU, 2006).

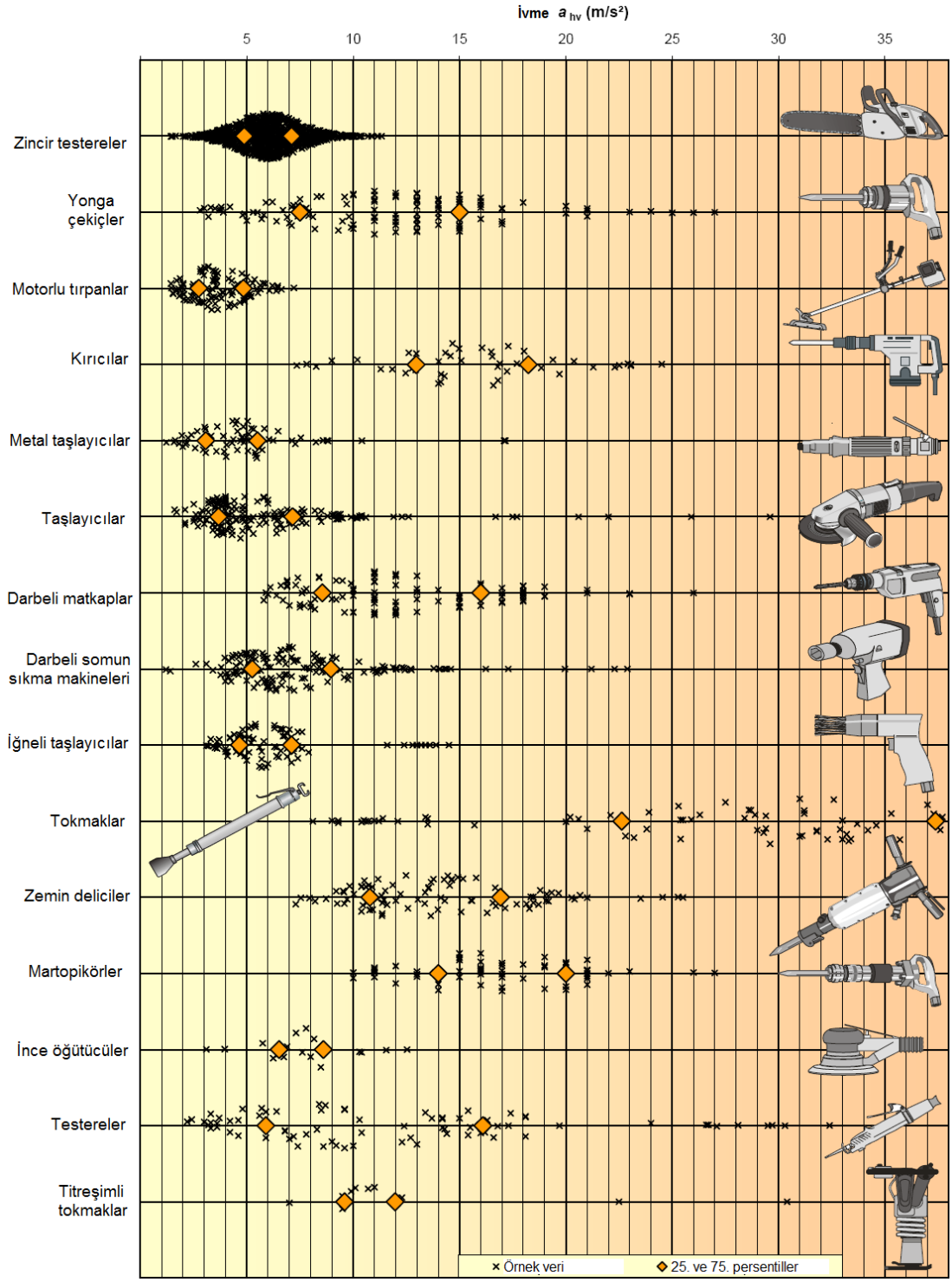
Frekans ileri-geri titreşen bir gövdenin saniyedeki hareket sayısıdır. Saniyedeki çevrim değeri cinsinden, Hertz (Hz) birimi ile ifade edilmektedir. Dönen araçlar için baskın frekans genellikle aracın dönüş hızı ile belirlenmektedir (genellikle dakikadaki dönüş adedi ya da RPM ile gösterilir. RPM/60 = Hz değerini verir).

El-kol titreşimi için önemli olduğu düşünülen frekanslar 8 Hz ile 1000 Hz arasında değişmektedir. Ancak eldeki hasar riski tüm frekanslarda eşit olmadığından farklı frekanslarda zarar görme olasılığını temsil etmek için bir frekans ağırlıklandırması kullanılmaktadır. Sonuç olarak frekans yükseldikçe ağırlıklandırılmış frekans düşmektedir. El-kol titreşiminde tüm eksenler için bir frekans ağırlıklandırma eğrisi kullanılmaktadır.

Her titreşim ekseninden frekans ağırlıklı bir RMS ortalama ivme ölçülmektedir. Bu a_{hw} olarak ifade edilmektedir. Maruziyete değer biçmek için kullanılan değer, X, Y ve Z eksenlerindeki a_{hw} değerlerini birleştiren titreşim toplam değeridir:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \qquad [3.1]$$

Elle-tutularak kullanılan genel motorlu aletlere ait örnek titreşim değerleri Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 Yaygın olarak kullanılan el aletlerinin titreşim büyüklükleri. Örnek veri, 1997-2005 yılları arasında HSL ve INRS tarafından işyerlerinde kaydedilen titreşim ölçümlerine dayalı titreşim toplam verisidir. Bu veri temsil amaçlı olup her koşulda kullanılan makinelerin temsil etmeyebilir. 25th ve 75th persentil noktaları verinin %25 ve %75'lik bölümünün eşit ya da düşük olduğu titreşim büyüklüğünü göstermektedir (EU, 2006).

El-kol titreşim ölçüm ekipmanı EN ISO 8041:2005 standardında belirtilen koşulları sağlamalıdır. İvmeölçerlerin (titreşim çevirgeci) dikkatle seçilmesi önemlidir. Elle-tutulan ya da elle-güdülen makinelerdeki titreşim çok yüksek olabildiği için uygun olmayan çevirgeçleri kolaylıkla aşırı yükleyebilir. Çevirgeçlerin makine tutamaklarına sabitlenmesi için sert, hafif ve küçük tutturma sistemlerine ihtiyaç vardır. Çevirgeç seçimi ve tutturma yöntemleri ile ilgili daha geniş bilgi EN ISO 5349-2:2001 standardında verilmiştir.

3.2 El-Kol Titreşimine Günlük Maruziyetin Hesaplanması

3.2.1 Günlük maruziyet grafiği

Şekil 3.4'deki grafik, hesap makinesine gereksinim duymadan günlük ya da kısmi titreşim maruziyetine bakmanın basit bir yolunu vermektedir. Bu işlem için titreşim büyüklüğü değeri ile maruziyet süresi çizgilerinin birleştiği noktadaki ya da üzerindeki A(8) eğrisine bakmak yeterli olmaktadır.

Şekil 3.4'deki yeşil alan, olasılıkla, maruziyet eylem değeri altındaki maruziyetleri göstermektedir. Bu maruziyetler "güvenli" varsayılmamalıdır. Maruziyet eylem değeri altındaki maruziyetler için el-kol titreşim hasarı riski olabilir. Böylece, bazı çalışanlar için özellikle uzun maruziyet yılları sonucunda yeşil bölge içinde kalan bazı maruziyet değerleri titreşim hastalığına neden olabilmektedir.

3.2.2 Günlük maruziyet nomogramı

Şekil 3.5'deki nomogram eşitlikleri kullanmadan günlük titreşim maruziyetini elde etmenin basit bir alternatifini sunmaktadır. Her araç ya da süreç için:

a) Titreşim büyüklüğünü gösteren sol taraftaki ölçekten maruziyet süresini gösteren sağ taraftaki ölçeğe bir doğru çiziniz;
b) Çizginin merkez ölçeği kestiği noktada kısmi maruziyetleri okuyunuz;
c) Her kısmi maruziyet değerinin karesini alınız;
d) Kareleri alınan bu değerleri toplayınız;
e) Toplam günlük titreşim maruziyet değerini (A(8)) bulmak için sonucun karekökünü alınız.

3.2.3 Maruziyet puantaj sistemi

El-kol titreşimi maruziyeti yönetimi, bir maruziyet "puantaj" sistemi kullanılarak basitleştirilebilir. Herhangi bir araç ya da süreç için bir saat içinde biriken ($P_{E,1h}$ puan/saat) maruziyet puanları aşağıdaki eşitlik ile m/s² cinsinden a_{hv} titreşim büyüklüğünden elde edilebilmektedir:

$$P_{E,1h} = 2a_{hv}^2 \qquad [3.2]$$

Maruziyet puanları basitçe toplanır ve böylece günlük tabanda herhangi bir çalışanın maruziyet puanlarının en büyük sayısı ayarlanabilmektedir.

Maruziyet eylem ve sınır değerlerine karşılık gelen maruziyet puanları aşağıda verilmiştir:

- maruziyet eylem değeri (2,5 m/s²) = 100 puan;
- maruziyet sınır değeri (5 m/s²) = 400 puan.

Genel olarak maruziyet puanı P_E, aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmaktadır:

$$P_E = \left(\frac{a_{hv}}{2{,}5\ m/s^2}\right)^2 \cdot \frac{T}{8\ saat} \cdot 100 \qquad [3.3]$$

Alternatif olarak maruziyet puanlarına bakmanın kolay bir yöntemi Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Günlük maruziyet, A(8), maruziyet puanlar kullanılarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir:

$$A(8) = 2{,}5\ m/s^2 \cdot \sqrt{\frac{P_E}{100}} \qquad [3.4]$$

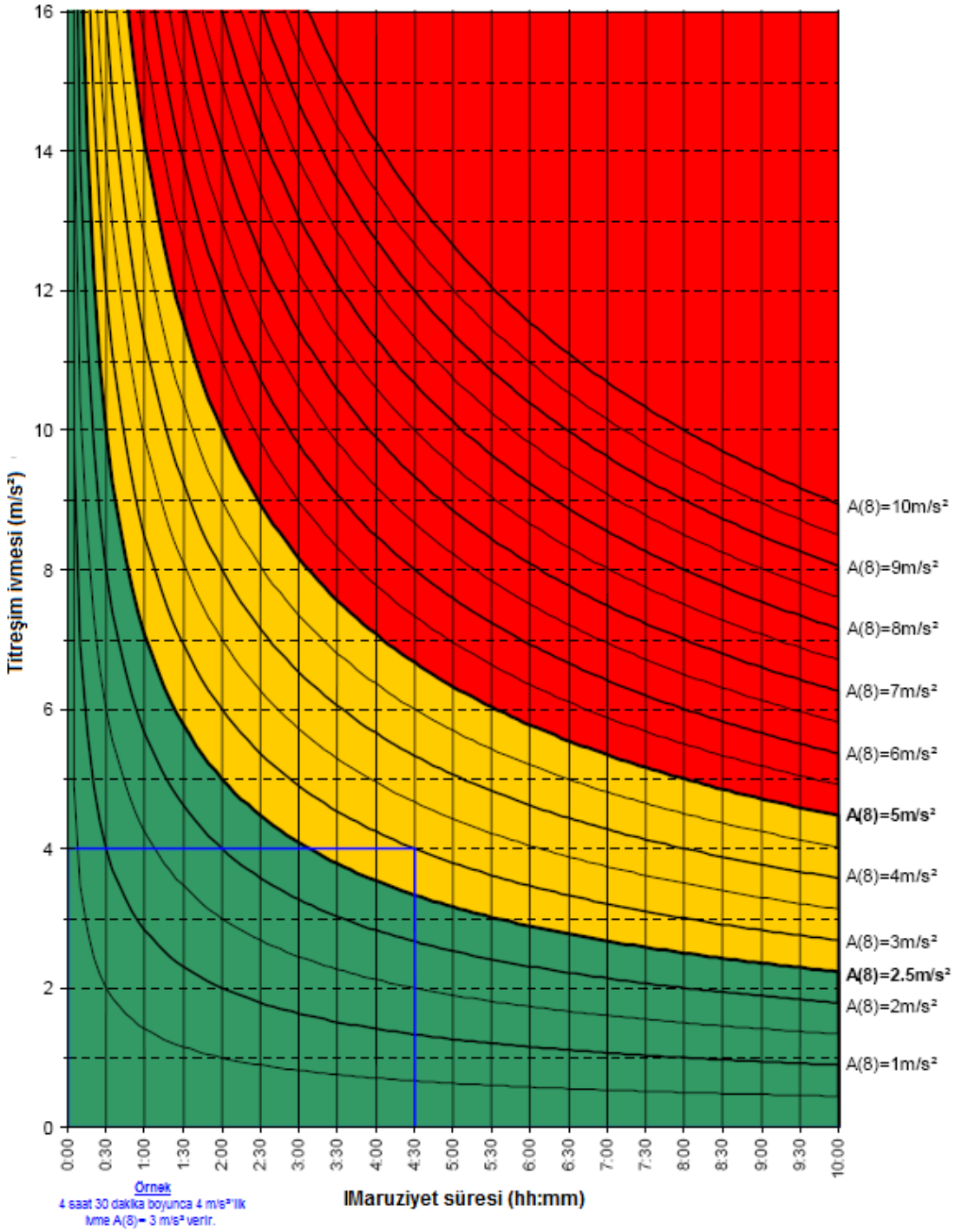
3.2.4 Trafik lambası sistemi

Makine imalatçıları ve tedarikçileri ile birlikte çalışan bazı işverenler, her aracın kullanımı sırasında beklenen titreşim büyüklüğü esasına dayalı bir el-kol titreşimi renk kodu ile açıkça işaretlendiği bir yeşil-sarı-kırmızı trafik lambası sistemi geliştirmişlerdir. Bu kodlama şemasına ait bir örnek Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

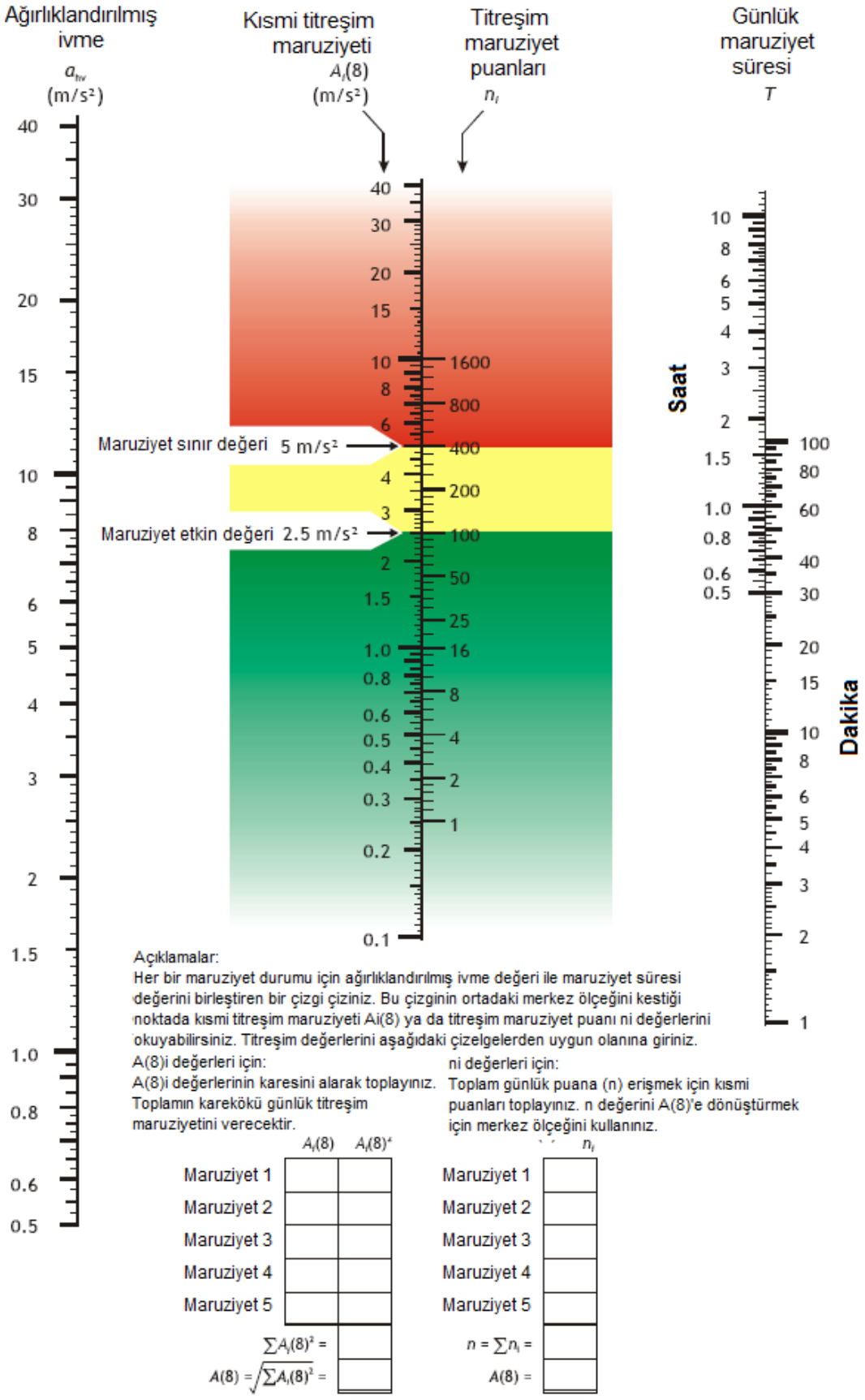
Çalışanlara renk kodlama şeması ile ilgili eğitim verilmektedir. Böylece işçiler bir bakışta titreşimli araçları seçebilmekte ve ne kadarlık bir süre boyunca kullanabileceklerini bilmektedirler. Trafik lambası sisteminin başarısı her makinenin renk derecesini belirlemede kullanılan verinin kalitesine bağlı olup şema, ölçümlere veya imalatçıların titreşim emisyonu bildirimlerine dayalı olabilmektedir. Titreşim emisyonu değerlerinin kullanıldığı durumda değerler, standart emisyon test sonuçlarındaki belirsizlikleri karşılamak üzere 1 – 2 arasında bir katsayı ile çarpılmaktadır. 'Yeşil' renkli bir araç, maruziyetin olasılıkla eylem ya da sınır değerin altında olacağına işaret etmekte olup 'emniyetli' varsayılmamalıdır. Maruziyet eylem değerinin altındaki maruziyetlerde el-kol titreşim hastalığı riski olabilmektedir. Çalışanların sistemi doğru anlayıp, çalıştırmaları için eğitildiklerinden emin olmak için diğer yönetsel kontroller de kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1 Trafik lambası sistemi için örnek renk kodlama şeması (EU, 2006)

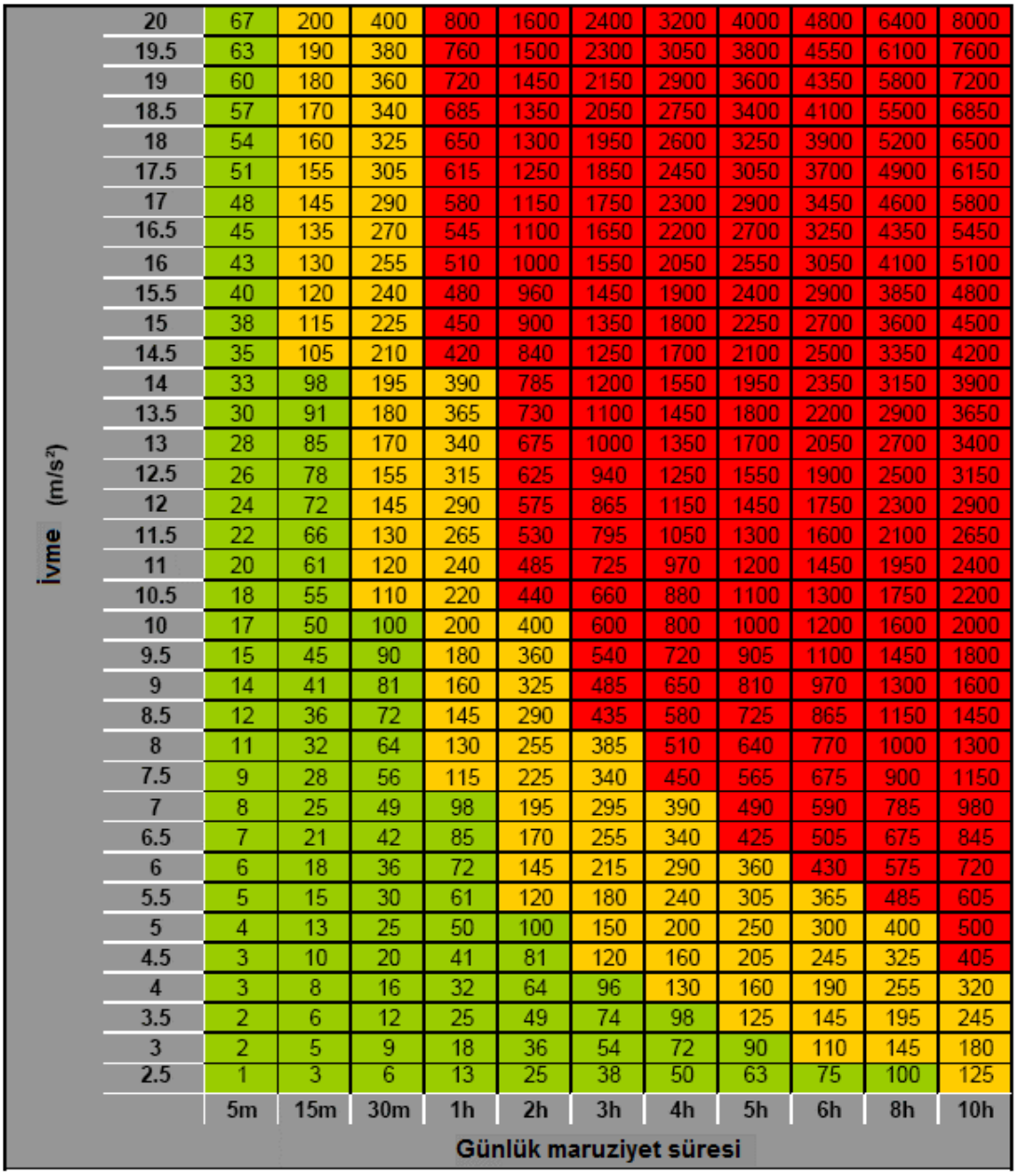
Renk kodu	Maruziyet eylem değerine erişme süresi (2,5 m/s²)	Maruziyet sınır değerine erişme süresi (5 m/s²)
Kırmızı	30 dakikadan az	2 saatten az
Sarı	30 dakika - 2 saat	2 - 8 saat
Yeşil	2 saatten fazla	8 saatten fazla



Şekil 3.4 Günlük maruziyet grafiği (EU, 2006).



Şekil 3.5 El-kol titreşimi maruziyet nomogramı (EU, 2006).



İvme (m/s²)	5m	15m	30m	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h
20	67	200	400	800	1600	2400	3200	4000	4800	6400	8000
19.5	63	190	380	760	1500	2300	3050	3800	4550	6100	7600
19	60	180	360	720	1450	2150	2900	3600	4350	5800	7200
18.5	57	170	340	685	1350	2050	2750	3400	4100	5500	6850
18	54	160	325	650	1300	1950	2600	3250	3900	5200	6500
17.5	51	155	305	615	1250	1850	2450	3050	3700	4900	6150
17	48	145	290	580	1150	1750	2300	2900	3450	4600	5800
16.5	45	135	270	545	1100	1650	2200	2700	3250	4350	5450
16	43	130	255	510	1000	1550	2050	2550	3050	4100	5100
15.5	40	120	240	480	960	1450	1900	2400	2900	3850	4800
15	38	115	225	450	900	1350	1800	2250	2700	3600	4500
14.5	35	105	210	420	840	1250	1700	2100	2500	3350	4200
14	33	98	195	390	785	1200	1550	1950	2350	3150	3900
13.5	30	91	180	365	730	1100	1450	1800	2200	2900	3650
13	28	85	170	340	675	1000	1350	1700	2050	2700	3400
12.5	26	78	155	315	625	940	1250	1550	1900	2500	3150
12	24	72	145	290	575	865	1150	1450	1750	2300	2900
11.5	22	66	130	265	530	795	1050	1300	1600	2100	2650
11	20	61	120	240	485	725	970	1200	1450	1950	2400
10.5	18	55	110	220	440	660	880	1100	1300	1750	2200
10	17	50	100	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000
9.5	15	45	90	180	360	540	720	905	1100	1450	1800
9	14	41	81	160	325	485	650	810	970	1300	1600
8.5	12	36	72	145	290	435	580	725	865	1150	1450
8	11	32	64	130	255	385	510	640	770	1000	1300
7.5	9	28	56	115	225	340	450	565	675	900	1150
7	8	25	49	98	195	295	390	490	590	785	980
6.5	7	21	42	85	170	255	340	425	505	675	845
6	6	18	36	72	145	215	290	360	430	575	720
5.5	5	15	30	61	120	180	240	305	365	485	605
5	4	13	25	50	100	150	200	250	300	400	500
4.5	3	10	20	41	81	120	160	205	245	325	405
4	3	8	16	32	64	96	130	160	190	255	320
3.5	2	6	12	25	49	74	98	125	145	195	245
3	2	5	9	18	36	54	72	90	110	145	180
2.5	1	3	6	13	25	38	50	63	75	100	125

Günlük maruziyet süresi

Şekil 3.6 Maruziyet puan tablosu (yuvarlanmış değerler) (EU, 2006).

3.2.5 Parametrik fonksiyonlar

El-kol titreşim maruziyetinin değerlendirilmesinde, kaydedilen ölçümlere dayalı belirli sayıda fonksiyon da kullanılmaktadır (SVANTEK, 2013). Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

Max(RMS) fonksiyonu ile çalışanın eli aracılığı ile vücuda iletilen en yüksek el-kol titreşimi ivmesi tespit edilmektedir. Bu parametre aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanmaktadır:

$$Max(RMS) = max\{RMS_x, RMS_y, RMS_z\} \quad [3.5]$$

El-kol titreşim ivmesi vektörü (Acceleration equivalent level, AEQ) fonksiyonu el-kol titreşim dozu hesaplamalarında kullanılmakta olup aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanmaktadır:

$$AEQ = \sqrt{RMS_x^2 + RMS_y^2 + RMS_z^2} \quad [3.6]$$

Günlük maruziyet fonksiyonu A(8), belirli bir maruziyet süresi boyunca oluşan titreşim dozunun belirli bir süreye (8 h = 28800 s) atfen ölçüsü olarak tanımlanmakta olup aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$A(8) = AEQ\sqrt{\frac{T_E}{T_0}} \quad [3.7]$$

Maruziyet eylem değerine erişim süresi fonksiyonu (EAV_{TT}), 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 2,5 m/s²'lik maruziyet eylem değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi (ss:dd:nn) olup aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$EAV_{TT} = T_0\left(\frac{EAV}{AEQ}\right)^2 \quad [3.8]$$

Maruziyet eylem değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (EAV_{TL}), 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 2,5 m/s²'lik maruziyet eylem değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre (ss:dd:nn) olup aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$EAV_{TL} = EAV_{TT} - T \quad [3.9]$$

Maruziyet sınır değerine erişim süresi fonksiyonu (ELV_{TT}), 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 5,0 m/s²'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi (ss:dd:nn) olup aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$\mathrm{ELV_{TT}} = \mathrm{T_0}\left(\frac{\mathrm{ELV}}{\mathrm{AEQ}}\right)^2 \quad [3.10]$$

Maruziyet sınır değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (ELV_{TL}), 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 2,5 m/s²'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre (ss:dd:nn) olup aşağıdaki denklem aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$ELV_{TL} = ELV_{TT} - T \quad [3.11]$$

3.3 El-Kol Titreşimine Günlük Maruziyetin Hesaplanması

3.3.1 Yalnızca bir makinenin kullanıldığı yerler

Bir alet kullanan ya da bir süreçte görev alan bir işçinin günlük titreşim maruziyeti, A(8), maruziyet büyüklüğü ve süresi ile aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanabilmektedir (EU, 2006). Titreşim büyüklüğü gibi günlük titreşim maruziyetinin de birimi m/s²'dir.

$$A(8) = a_{hv} \cdot \sqrt{\frac{T_E}{T_0}} \quad [3.12]$$

Örnek: Bir orman işçisi günde toplam 4½ saat motorlu tırpan (brush cutter) kullanmaktadır. Motorlu tırpanın kullanım sırasında ürettiği titreşim, 4 m/s²'dir. Günlük maruziyet, A(8),

$$A(8) = 4 \cdot \sqrt{\frac{4{,}5}{8}} = 3\ m/s^2$$

olur. Günlük 3 m/s² maruziyet, eylem değerinin üzerinde ancak sınır değerinin altında olmaktadır.

3.3.2 Birden fazla makinenin kullanıldığı yerler

Bir kişi birden fazla titreşim kaynağına maruz kalıyorsa o zaman her kaynağa maruz kalınan süre ve titreşim büyüklükleri kullanılarak kısmi titreşim maruziyetleri hesaplanmaktadır (EU, 2006).

Tüm günlük titreşim maruziyeti kısmi titreşim maruziyetleri kullanılarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\mathrm{A}(8) = \sqrt{\mathrm{A}(8)_1^2 + \mathrm{A}(8)_2^2 + \mathrm{A}(8)_3^2 + \cdots} \quad [3.13]$$

Örnek: Bir döküm işçisi (fettler) bir çalışma gününde üç araç kullanmaktadır.

1. Açılı taşlama makinesi (angle grinder): 2½ saat boyunca 4 m/s²
2. Açılı kesme makinesi (angle cutter): 1 saat boyunca 3 m/s²
3. Havalı çekiç (chipping hammer): 15 dak boyunca 20 m/s²

Bu üç göreve ait kısmi titreşim maruziyetleri:

1. Açılı taşlama makinesi:

$$A(8)_{taşlama} = 4 \cdot \sqrt{\frac{2{,}5}{8}} = 2{,}2\ m/s^2$$

2. Açılı kesme makinesi:

$$A(8)_{kesme} = 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{8}} = 1{,}1\ m/s^2$$

3. Havalı çekiç:

$$A(8)_{çekiç} = 20 \cdot \sqrt{\frac{0{,}25}{8}} = 3{,}5\ m/s^2$$

$$A(8) = \sqrt{A(8)^2_{taşlama} + A(8)^2_{kesme} + A(8)^2_{çekiç}}$$

$$A(8) = \sqrt{2{,}2^2 + 1{,}1^2 + 3{,}5^2} = 4{,}3\ \text{m/s}^2$$

olmaktadır. Günlük 4,3 m/s² maruziyet, eylem değerinin üzerinde ancak sınır değerinin altında kalmaktadır.

3.3.3 Maruziyet puantaj sistemi kullanılması

Bu örnek, 3.3.2'de verilen örneğin aynısı olup maruziyet puantaj sistemi kullanılarak çözülmüştür (EU, 2006). Titreşim ivmesi değerleri m/s² cinsinden mevcut ise:

Adım 1: Titreşim ivmesi ve maruziyet süresine dayalı olarak Şekil 3.6'yı kullanarak her bir görev ya da araç için puan değerlerini hesaplayınız.
Adım 2: Makine başına hesaplanan puanları toplayarak toplam günlük puanı bulunuz.
Adım 3: Üç eksen arasındaki en büyük değer toplam günlük maruziyet puanıdır.

Örnek: Bir döküm işçisi (fettler) bir çalışma gününde üç araç kullanmaktadır.

1. Açılı taşlama makinesi (angle grinder): 2½ saat boyunca 4 m/s²
2. Açılı kesme makinesi (angle cutter): 1 saat boyunca 3 m/s²
3. Havalı çekiç (chipping hammer): 15 dak boyunca 20 m/s²

Adım 1: Şekil 3.6'dan maruziyet puanları:

1. Açılı taşlama makinesi (2½ saat kullanım): 3* saat boyunca 4 m/s² = 96 puan

2. Açılı kesme makinesi (1 saat kullanım): 1 saat boyunca 3 m/s² = 18 puan
3. Havalı çekiç (15 dak kullanım): 15 dak boyunca 20 m/s² = 200 puan

* Şekil 3.6'da 2½ saat gösterilmediği için bundan daha büyük en yakın değer olan 3 saat alınmıştır.

Adım 2: Her makine için günlük maruziyet puanları: 96 + 18 + 200 = 314 puan

Adım 3: Günlük maruziyet puanı 314'tür. Bu değer eylem değeri olan 100 puandan fazla ancak sınır değer olan 400 puandan azdır.

Saatlik puan verisi bulunduğunda:

Adım 1: İmalatçı verisi, ölçüm ya da diğer kaynaklardan her makine ya da işlem için saatlik puan değerlerini belirleyiniz.

Adım 2: Her makine ya da işlem için saatlik puan değerlerini araçların kullanım saatleri ile çarparak günlük titreşim puanlarına erişiniz.

Adım 3: Her bir makine ya da işlem için puan değerlerinin toplamı günlük titreşim maruziyetini verir.

Örnek: Bir döküm işçisi (fettler) bir çalışma gününde üç araç kullanmaktadır.

1. Açılı taşlama makinesi (angle grinder): 2½ saat boyunca 4 m/s²
2. Açılı kesme makinesi (angle cutter): 1 saat boyunca 3 m/s²
3. Havalı çekiç (chipping hammer): 15 dak boyunca 20 m/s²

Adım 1: Makinelerin saatlik puan değerleri

Açılı taşlama makinesi	Açılı kesme makinesi	Havalı çekiç
32 puan	18 puan	800 puan

Adım 2: Maruziyet puanları:

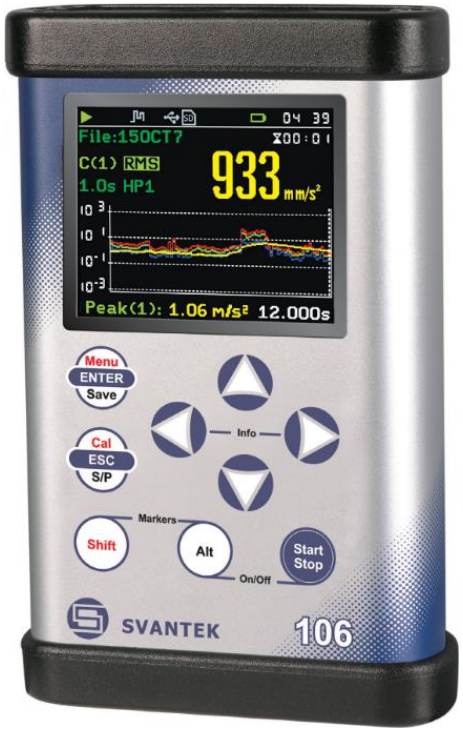
Açılı taşlama makinesi	Açılı kesme makinesi	Havalı çekiç
(2½ saat kullanım)	(1 saat kullanım)	(15 dak kullanım)
32x2½ = 80 puan	18x1 = 18 puan	800x0,25 = 200 puan

Adım 3: Her makinenin günlük titreşim maruziyet puanları: 80 + 18 + 200 = 298 puan

Adım 4: Günlük maruziyet puanı 298'dir. Bu değer eylem değeri olan 100 puandan fazla ancak sınır değer olan 400 puandan azdır.

3.4 El-Kol Titreşimi Ölçüm Düzeneği

İvmeölçerlerden alınan verilerin işlenmesi ve kaydedilmesi için altı kanallı bir analizör (Şekil 3.7) kullanılmıştır. Cihaz ISO 8041:2005, ISO 2631-1, ISO 2631-2, ISO 2631-5 ve ISO 5349 standartlarında öngörülen gereklilikleri karşılamaktadır. Tüm vücut titreşimi için W_d, W_k, W_m, W_b (ISO 2631 gereği) ve el-kol titreşimi için W_h (ISO 5349) filtrelerini kanallar bazında ayarlamak mümkündür. 0,01 m/s² RMS ile 50 m/s² PEAK arasındaki titreşim ivme değerleri kaydedilebilmektedir. Analizör fabrika kalibrasyonlu olup Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü envanterine Haziran 2014 tarihinde girmiştir. Fabrika kalibrasyonu ile iki yıl boyunca ölçümler alınabilmektedir.



Şekil 3.7 Titreşim analizör cihazı.

İşçinin el-kol titreşim maruziyetinin ölçülmesi için MEMS (mikro elektro-mekanik sistemler) çevirgeç teknolojisi kullanan üç eksenli bir ivmeölçerden faydalanılmıştır. İvmeölçer, ISO 8041:2005 standardı uyarınca ölçüm yapabilmektedir. W_h filtresi ile titreşim ivmesi ölçüm aralığı 0,024 m/s² RMS ile 180 m/s² PEAK arasında, frekans tepkisi ise 1 Hz ile 2763 Hz arasındadır. Farklı el büyüklüklerine uyum sağlayabilmek için üç farklı boyuttaki şeride monte edilmekte ve şerit, çalışanın baskın eline sarılmaktadır. Böylece elle-tutulan ya da elle-güdülen araçtan kaynaklanan ve el aracılığıyla vücuda iletilen titreşim, kaydedilebilmektedir (Şekil 3.8). El-kol ivmeölçeri fabrika kalibrasyonlu olup Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü envanterine Şubat 2015 tarihinde girmiştir. Fabrika kalibrasyonu ile iki yıl boyunca ölçümler alınabilmektedir.



Şekil 3.8 El-kol titreşim maruziyeti ölçümü.

3.5 El-Kol Titreşimi Etkilerinden Korunma

Titreşimin olumsuz sağlık etkilerinden korunabilmek için alınacak önlemler arasında aşağıdakiler sayılabilmektedir.

- Titreşime maruziyet risklerini azaltmak amacıyla bütün çalışanların ve özellikle titreşim maruziyeti olan kişileri titreşimin sağlık etkileri ve ortaya çıkan semptomları hakkında eğitmek,
- İşe giriş ve periyodik muayenelerin düzenli olarak yapılmasını sağlamak,
- Titreşime maruziyeti azaltmak için nedene yönelik ve uygun iş değişikliklerini (kullanılan aletin yeniden tasarımı veya farklı bir aletle değiştirmek) gerçekleştirmek,
- Titreşimli cihaz kullanımını minimuma indirmek,
- Etkili, koruyucu eldiven giymek ve eli sıcak tutmak,
- Cihaz tutamağını lastik veya benzeri titreşim azaltıcı ve soğuğu az ileten bir malzeme ile kaplamak. Bu amaçla eldiven kullanılmaktadır. Giyilen eldivenin tipi (pamuk, deri) elleri aşınmadan ve aşırı sıcaklık değişikliklerinden korumakta ve aletin titreşimini bariz bir şekilde azaltmaktadır. Bazı eldivenler yüksek frekanslı titreşimin iletimini azaltabilse de düşük ve orta frekanslı titreşimin azalması için aşırı yumuşak materyal gerekmektedir. Bu durum sıklıkla kullanımda kabul görmemektedir (Malerbi, 1989, Ruffle, 1987, Güven'den, 2002).
- Dinlenme molaları alarak sürekli maruziyetten sakınmak (her bir saat içinde 10 dakika mola vermek). Japonya Çalışma Bakanlığı her 10-30 dakikalık çalışmadan sonra 5-10 dakika istirahat önermektedir (Yonekawa vd., 1998, Güven'den, 2002),

- Uygulamada mümkün olduğu ölçüde aleti dinlenmeye almak,
- Cihazların düzenli bakım, temizlik ve kontrollerini yapmak,
- Arızalı cihazları kullanmaktan sakınmak,
- Kesici cihazların iyi kontrol edilmiş olmasını sağlamak,
- Sigara içmekten sakınmak,
- Sabit bir pozisyonda çalışmamak,
- El-kol ve omuzlar için germe ve kas egzersizleri yapmak,
- HAVS'ın ilk bulguları ile ilgili bilgilendirmek,
- Titreşime maruziyetin daha az olduğu iş değişiklikleri yapmak.

Titreşimli cihaz kullanımında etkilenmenin en aza indirilmesi amacıyla dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sunulmuştur;

- Kullanılan cihazın titreşim ivmesi azaltılmalıdır,
- Titreşimli cihazın tutamağı plastikle kaplanarak sıcaklık kaybı önlenmelidir,
- Çalışma koşullarının iyileştirilmesi için;
  - dışarıda soğuk ortamlarda çalışma mümkün olduğunca azaltılmalıdır (10 °C'nin altında açık havada çalışılmamalıdır).
  - çalışma ortamının sıcak olması sağlanmalıdır.
  - ellerin sıcak tutulmasını sağlamak üzere koruyucu, yumuşak ve sıcak tutan eldivenler giyilmelidir.
  - çalışırken sabit pozisyonda durmamalı, duruşlarda değişiklikler yapılmalıdır.
- Çalışma saatleri ile ilgili olarak,
  - aralıksız çalışma 5-10 dakikadan uzun olmamalıdır,
  - bir saatlik çalışmada 10 dakikalık dinlenme arası verilmelidir,
  - bir günde iki saat titreşimli cihaz kullanma durumunda HAVS'dan korunma mümkün olabilecektir. Ancak zorunlu hallerde günde en fazla dört saat titreşimli cihaz kullanılmalıdır.
  - iki günlük kullanımdan sonra üçüncü gün mümkünse başka işle meşgul olunmalıdır (dönüşümlü kullanma).
  - haftada en fazla beş gün titreşimli cihaz kullanılmalıdır.
  - yılda toplam en fazla 150 gün titreşimli cihaz kullanılmalıdır.
  - 50 yaşın üstünde bir işçi titreşimli cihaz kullanılan bir işte çalışmamalıdır.

4. SAHA ÇALIŞMASI

4.1 Genel

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) İş Sağlığı ve Güvenliği Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü Başkanlığı'na (İSGÜM) bağlı merkez ve bölge laboratuvarları el-kol titreşimi maruziyeti ölçümleri yapmaktadır. Bunun yanında çok sayıda akredite özel laboratuvar da kişisel titreşim maruziyeti ölçümleri yapmaktadır. Saha çalışmaları sırasında bazı maden işletmelerinin çalışanları üzerinde özellikle gürültü, toz ve titreşim maruziyeti ölçümleri yaptırdıkları gözlenmiştir. Ancak bu ölçümler, bilimsel düzeyde olmayıp yalnızca maruziyet düzeylerinin titreşim ivmesi üzerinden 22.08.2013 tarih ve 28743 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik Madde 5'te verilen maruziyet sınır ve eylem değerleri ile karşılaştırılması amacıyla kullanıldığı tespit edilmiştir.

4.2 Çalışma Uzayı

Bu çalışmada Sivas ve komşu illerde faaliyet gösteren beş maden işletmesi ile sanayiden sayılan iki işletmede değişik faaliyetlerde kullanılan farklı tip ve modelde toplam 51 adet elle tutulan ya da güdülen iş aletinden alınan el-kol titreşimi maruziyeti ölçümleri analiz edilmiştir. Ölçümler, TS EN ISO 5349-1 "Mekanik Titreşim – Kişilerin Maruz Kaldığı Elle İletilen Titreşimin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi – Bölüm 1: Genel Kurallar" ile TS EN ISO 5349-2 "Mekanik Titreşim – Kişilerin Maruz Kaldığı, Elden Vücuda İletilen Titreşimin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi – Bölüm 2: İşyerlerinde Ölçme Yapmak için Pratik Kılavuz" standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her iki standartta da el-kol titreşiminde maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi için sekiz saatlik bir referans döneme A(8) normalize edilen günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak, frekans ağırlıklı ivme değerlerinin karelerinin toplamının (RMS) karekökü tanımlanmış olsa da bu çalışmada el-kol titreşimi değerlendirmesine yönelik diğer parametreler de hesaplanmıştır. Örnek bir el-kol maruziyeti değerlendirme çizelgesi Şekil 4.1'de verilmiştir.

Tez çalışmasında el-kol titreşimi ölçümü yapılan alet ve araçlar sınıflandırılmış ve Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Buna göre açılı kesim makinesi, asfalt kesme makinesi, bant soyma makinesi, basınçlı su tabancası, büyük çekiç, çim biçme makinesi, elektrikli avuç taşlama makinesi, elektrikli büyük matkap, elektrikli küçük matkap, elektrikli martopikör, elektrikli somun sıkma makinesi, elektrikli spiral kesme ve taşlama makineleri, giyotin, havalı avuç taşlama makinesi, havalı bijon tabancası, havalı martopikör, havalı zımba tabancası, kaynak makinesi, kompaktör, parke kalıp makinesi, PVC birleştirme makinesi, PVC çapak temizleme makinesi, sütunlu matkap ve tranjer testereden ölçüm alınmıştır.

Ölçüm tarihi	26.08.2015					
Ölçüm yeri	BMT Alçı A.Ş. Tamir-Bakım Atölyesi					
Ölçüme başlama (ss:dd:nn)	15:09:47					
Ölçüm süresi (ss:dd:nn)	00:02:42					
Makine	Kompaktör					
Marka/Model	WACKER NEUSON WP 155					
Yapılan iş	Zemin sıkıştırma işlemi					



1. El veya titreşimin vücuda girdiği en yakın yerde ölçülen ağırlıklandırılmış el-kol titreşimi ivme (a_{hw}) değerleri

Channel	Axis	PEAK	P-P		a_{hw}	CRF
		m/s²	m/s²		m/s²	
Ch1	X	81.846	141.742		11.468	7.137
Ch2	Y	58.817	116.950		9.739	6.039
Ch3	Z	68.549	120.088		9.886	6.934

2. El-kol titreşimi ivmesi için vektör değerleri, çalışma süreleri ve frekans bilgileri

Max(RMS) (m/s²)	11.468	Ch1	Max RMS ivme frekansı (X-Ch1)	80 Hz
AEQ (m/s²)	18.003		Max RMS ivme frekansı (Y-Ch2)	80 Hz
A(8) (m/s²)	1.350		Max RMS ivme frekansı (Z-Ch3)	80 Hz
Saatlik maruziyet puanı	648			
Toplam maruziyet puanı	29			
$EAV_{TT(RMS)}$ (ss:dd:nn)	0:09:15			
$EAV_{TL(RMS)}$ (ss:dd:nn)	0:06:33			
$ELV_{TT(RMS)}$ (ss:dd:nn)	0:37:02			
$ELV_{TL(RMS)}$ (ss:dd:nn)	0:34:20			

Şekil 4.1 İşçi el-kol maruziyeti değerlendirme çizelgesi.

Çizelge 4.1 Çalışmada ölçüm alınan alet/araçlar

Makine/Alet/Araç	Temsili resim	Adet
Açılı kesim makinesi Sivas organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir iş yerinde metal şerit kesim işlemi		1
Asfalt kesme makinesi Sivas il merkezinde yol yapımı çalışmaları sırasında asfalt üstünde kesim işlemi		1
Bant soyma makinesi Bir termik santralin bant atölyesinde hasarlı bantların soyulma işlemi		1
Basınçlı su tabancası Bir kömür ocağına ait bakım-onarım atölyesinde basınçlı su ile motor yıkama işlemi		1
Büyük çekiç Bir kömür ocağına ait vulkanize atölyesinde bant perçinleme işlemi		1
Çim biçme makinesi Sivas organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir iş yerinde çevre düzenleme işlemi		1

Çizelge 4.1 Çalışmada ölçüm alınan alet/araçlar (devam ediyor)

Makine/Alet/Araç	Temsili resim	Adet
Elektrikli avuç kesme makinesi Maden işletmeleri bakım-onarım atölyeleri ile sanayiden sayılan işyerlerinde demir profil kesme işlemi		4
Elektrikli avuç taşlama makinesi Maden işletmeleri bakım-onarım atölyeleri ile sanayiden sayılan işyerlerinde demir profil taşlama işlemi		9
Elektrikli martopikör Sivas il merkezinde bulunan bir alçı fabrikasında kırıcı ağzına sıkışan iri bloklarda boyut küçültme işlemi		1
Elektrikli matkap – büyük Maden işletmeleri bakım-onarım atölyeleri ile sanayiden sayılan işyerlerinde demir profil üzerine delik açma işlemi		3
Elektrikli matkap – küçük Maden işletmeleri bakım-onarım atölyeleri ile sanayiden sayılan işyerlerinde beton zeminde delik delme işlemi		3
Elektrikli somun sıkma makinesi Maden işletmeleri bakım-onarım atölyeleri ile sanayiden sayılan işyerlerinde somun sıkma işlemi		2

Çizelge 4.1 Çalışmada ölçüm alınan alet/araçlar (devam ediyor)

Makine/Alet/Araç	Temsili resim	Adet
Giyotin Sivas organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir iş yerinde metal sac kesim işlemi		2
Havalı avuç taşlama makinesi Bir kömür ocağına ait bakım-onarım atölyesinde demir profil taşlama işlemi		1
Havalı bijon tabancası Maden işletmeleri bakım-onarım atölyeleri ile sanayiden sayılan işyerlerinde somun sıkma işlemi		7
Havalı martopikör Maden işletmelerinde patar kırma ve delik açma işlemi		2
Havalı zımba tabancası Sivas il merkezinde bulunan bir imalat tesisinde kumaş zımbalama işlemi		1
Parke kalıp makinesi Sivas il merkezinde bulunan bir imalat tesisine ait parke taşı üretim hattında kalıplama işlemi		2

Çizelge 4.1 Çalışmada ölçüm alınan alet/araçlar (devam ediyor)

Makine/Alet/Araç	Temsili resim	Adet
Kaynak makinesi Bir kömür ocağına ait bakım-onarım atölyesinde demir profil kaynaklama işlemi		1
Kompaktör Sivas il merkezinde bulunan bir alçı fabrikasında stabil zeminin tesviye işlemi		2
PVC birleştirme makinesi Sivas organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir iş yerinde PVC birleştirme işlemi		1
PVC çapak temizleme makinesi Sivas organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir iş yerinde PVC çapak temizleme işlemi		1
Sütunlu matkap Bir altın ocağına ait bakım-onarım atölyesinde demir sac üzerinde delik açma işlemi		1
Şarjlı matkap Bir kömür ocağına ait vulkanize atölyesinde bant vidalama işlemi		1

Çizelge 4.1 Çalışmada ölçüm alınan alet/araçlar (devam ediyor)

Makine/Alet/Araç	Temsili resim	Adet
Tranjer testere Bir kömür ocağına ait bakım-onarım atölyesinde metal profil kesme işlemi		1

Ölçümler bir adet titreşim analizörü ile bir adet el-kol ivmeölçeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizör; ISO 8041:2005, ISO 2631-1, ISO 2631-2, ISO 2631-5 ve ISO 5349 standartlarında öngörülen gereklilikleri karşılamakta ve tüm vücut titreşimi için W_d, W_k, W_m, W_b (ISO 2631 gereği) ve el-kol titreşimi için W_h (ISO 5349) filtrelerini eksenlere göre ayarlamaktadır. El-kol tipi ivmeölçer eşzamanlı olarak üç eksenli (X, Y ve Z) veri kaydedebilmekte, 2000 m/s² PEAK ivmeleri kaydedebilmekte ve 0,1 Hz ile 2500 Hz arasındaki frekans değerlerini ayıklayabilmektedir.

4.3 Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler

Tez çalışması kapsamındaki el-kol titreşimi maruziyeti ölçümleri, 2014-2015 akademik yılı bahar ve yaz dönemlerinde yapılmıştır. Titreşim analizörü ile aşağıdaki parametreler ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 4.2'de sunulmuştur:

a) Peak (m/s²): tanımlanan zaman aralığında titreşim ivmesinin eriştiği en büyük (tepe) anlık mutlak değer. Tepe değeri genellikle titreşim ivmesinin ortalama değerinden en büyük sapma olarak alınmaktadır. Böylece pozitif tepe değeri en büyük pozitif sapmayı, negatif tepe değeri de en büyük negatif sapmayı göstermektedir (Griffin, 1997).

b) Peak-Peak (P-P) (m/s²): tanımlanan zaman aralığında titreşim ivmesine ait dalga yapısındaki pozitif en büyük genlik değeri ile negatif en büyük genlik değeri arasındaki fark.

c) a_{hwx} (m/s²): Kullanılan alet/aracın tutamağında X-ekseni boyunca ölçülen el-kol ağırlıklandırmalı titreşim ivmesi. X-ekseni için tüm ölçümlere ait süre-ivme grafiği EK-1'de sunulmuştur.

d) a_{hwy} (m/s²): Kullanılan alet/aracın tutamağında Y-ekseni boyunca ölçülen el-kol ağırlıklandırmalı titreşim ivmesi. Y-ekseni için tüm ölçümlere ait süre-ivme grafiği EK-1'de sunulmuştur.

e) a_{hwz} (m/s²): Kullanılan alet/aracın tutamağında Z-ekseni boyunca ölçülen el-kol ağırlıklandırmalı titreşim ivmesi. Z-ekseni için tüm ölçümlere ait süre-ivme grafiği EK-1'de sunulmuştur.

f) CRF: Tepe faktörü, PEAK/a_{hw} olarak hesaplanmaktadır.

Önceki bölümlerde verilen değerlendirme parametreleri yanında, ölçülen parametreler aracılığıyla aşağıdaki değerlendirme parametreleri de hesaplanmaktadır. Tüm ölçümler için sonuçlar Çizelge 4.3'de toplanmış olup çok düşük, orta ve çok yüksek düzeyli titreşim maruziyetlerine ait örnek hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

a) Günlük eşdeğer maruziyet değeri A(8), günlük maruziyet süresi (T_E) boyunca oluşan titreşim ivmesinin 8 saatlik (28800 s) bir referans dönemine (T_0) normalize edilmesi ile hesaplanmaktadır. Bu tez çalışmasında el-kol titreşimi ölçümleri alınan işyerlerinden sağlıklı maruziyet süresi değerleri elde edilemediğinden A(8) değeri, günlük maruziyet süresi (T_E) yerine ölçüm süresi (T) kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçüm süreleri birkaç dakika ile sınırlandığından, bu sürenin 8 saatlik bir vardiyaya normalize edilmesi sonucunda hesaplanan A(8) değerleri oldukça düşük çıkmaktadır. Bu nedenle personelin vardiya boyunca maruz kalabileceği el-kol titreşimini sayısal ölçekte temsil yeteneği bulunmayan bu değer yerine el-kol titreşim ivmesi vektörü olan AEQ kullanılmıştır.
b) HEP (puan): Saatlik maruziyet puanı. Kullanılan araç aracılığıyla maruz kalınan el-kol titreşiminin 1 saat çalışma üzerinden sağlığa olası etkileri açısından değeri. Maruziyet eylem değeri olan 2,5 m/s² eşdeğer ivmeye 100 puan, maruziyet sınır değeri olan 5 m/s² eşdeğer ivmeye ise 400 puan verilmiştir.
c) TEP (puan): Toplam maruziyet puanı. Kullanılan araç aracılığıyla maruz kalınan el-kol titreşiminin 8 saat çalışma üzerinden sağlığa olası etkileri açısından değeri. Maruziyet eylem değeri olan 2,5 m/s² eşdeğer ivmeye 100 puan, maruziyet sınır değeri olan 5 m/s² eşdeğer ivmeye ise 400 puan verilmiştir.
d) Baskın frekans (a_{hw}): El-kol titreşiminin insana 5 Hz – 1500 Hz frekans aralıklarında daha zararlı olduğu belirtilmektedir. Tutamak üzerinden ele iletilen titreşim ivmesinin frekans dağılımını görebilmek için ölçümler ⅓ oktav frekans aralıklandırması ile yapılmıştır. Böylece sık aralıklı titreşim frekanslarındaki titreşim ivmesi değerleri tespit edilmiş ve tüm ölçümler için EK-1'de a_{hw} ivme değerleri üzerinden sunulmuştur.

Sütunlu matkap (ölçüm no: 10):

Ölçüm no	Alet/Araç	Süre ss:dd:nn	Eksen	PEAK m/s²	P-P m/s²	a_{hw} m/s²	CRF
			X	29.957	42.462	0.451	66.374
10	Sütunlu matkap	00:03:07	Y	21.928	30.796	0.382	57.478
			Z	20.989	28.510	0.426	49.261

$Max(RMS) = max\{RMS_x, RMS_y, RMS_z\} = max\{0.451, 0.382, 0.426\} = 0.451\ (X\ ekseni)$

$AEQ = \sqrt{RMS_x^2 + RMS_y^2 + RMS_z^2} = \sqrt{0.451^2 + 0.382^2 + 0.426^2} = 0.729\ m/s^2$

$A(8) = AEQ\sqrt{\frac{T_E}{T_0}} = 0.729 \cdot \sqrt{\frac{187}{28800}} = 0.059\ m/s^2$

$HEP = P_{E,1h} = 2a_{hv}^2 = 2 \cdot 0.729^2 = 1$ (yuvarlanmış değer)

$TEP = P_E = \left(\frac{a_{hv}}{2{,}5\ m/s^2}\right)^2 \cdot \frac{T}{8\ saat} \cdot 100 = \left(\frac{0.729}{2.5}\right)^2 \cdot \frac{187}{28800} \cdot 100 = 0$ (yuvarlanmış değer)

Baskın frekans (a_{hw}): Şekil E-1.19'dan X-ekseni için baskın frekansın 630 Hz, Y-ekseni için 500 Hz ve Z-ekseni için 125 Hz olduğu görülmektedir.

$EAV_{TT} = T_0\left(\frac{EAV}{AEQ}\right)^2 = 8 \cdot \left(\frac{2.5}{0.729}\right)^2 = 94.0838 = 94{:}11{:}02\ (ss{:}dd{:}nn)$

$EAV_{TL} = EAV_{TT} - T = 94{:}11{:}02 - 00{:}03{:}07 = 94{:}07{:}55\ (ss{:}dd{:}nn)$

$\mathrm{ELV_{TT}} = \mathrm{T_0}\left(\frac{\mathrm{ELV}}{\mathrm{AEQ}}\right)^2 = 8 \cdot \left(\frac{5.0}{0.729}\right)^2 = 376.3353 = 376{:}44{:}07\ (ss{:}dd{:}nn)$

$ELV_{TL} = ELV_{TT} - T = 376{:}44{:}07 - 00{:}03{:}07 = 376{:}41{:}00\ (ss{:}dd{:}nn)$

Çim biçme makinesi (ölçüm no: 17):

Ölçüm no	Alet/Araç	Süre ss:dd:nn	Eksen	PEAK m/s²	P-P m/s²	a_{hw} m/s²	CRF
			X	84.918	137.246	3.105	27.353
17	Çim biçme makinesi	00:04:36	Y	58.884	105.075	2.223	26.485
			Z	69.263	128.381	2.928	23.659

$Max(RMS) = max\{RMS_x, RMS_y, RMS_z\} = max\{3.105, 2.223, 2.928\} = 3.105\ (X\ ekseni)$

$AEQ = \sqrt{RMS_x^2 + RMS_y^2 + RMS_z^2} = \sqrt{3.105^2 + 2.223^2 + 2.928^2} = 4.812\ m/s^2$

$A(8) = AEQ\sqrt{\frac{T_E}{T_0}} = 4.812 \cdot \sqrt{\frac{276}{28800}} = 0.471\ m/s^2$

$HEP = P_{E,1h} = 2a_{hv}^2 = 2 \cdot 4.812^2 = 46$ (yuvarlanmış değer)

$TEP = P_E = \left(\frac{a_{hv}}{2{,}5\ m/s^2}\right)^2 \cdot \frac{T}{8\ saat} \cdot 100 = \left(\frac{4.812}{2.5}\right)^2 \cdot \frac{276}{28800} \cdot 100 = 4$ (yuvarlanmış değer)

Baskın frekans (a_{hw}): Şekil E-1.33'den X-ekseni için baskın frekansın 200 Hz, Y-ekseni için 630 Hz ve Z-ekseni için de 630 Hz olduğu görülmektedir.

$$EAV_{TT} = T_0 \left(\frac{EAV}{AEQ}\right)^2 = 8 \cdot \left(\frac{2.5}{4.812}\right)^2 = 2.1593 = 02{:}09{:}33\ (ss{:}dd{:}nn)$$

$$EAV_{TL} = EAV_{TT} - T = 02{:}09{:}33 - 00{:}04{:}36 = 02{:}04{:}57\ (ss{:}dd{:}nn)$$

$$\mathrm{ELV_{TT}} = \mathrm{T_0} \left(\frac{\mathrm{ELV}}{\mathrm{AEQ}}\right)^2 = 8 \cdot \left(\frac{5.0}{4.812}\right)^2 = 8.6373 = 08{:}38{:}14\ (ss{:}dd{:}nn)$$

$$ELV_{TL} = ELV_{TT} - T = 08{:}38{:}14 - 00{:}04{:}36 = 08{:}33{:}38\ (ss{:}dd{:}nn)$$

Havalı martopikör (ölçüm no: 36):

Ölçüm no	Alet/Araç	Süre ss:dd:nn	Eksen	PEAK m/s²	P-P m/s²	a_{hw} m/s²	CRF
			X	128.973	203.470	15.812	8.156
36	Havalı martopikör	00:06:55	Y	54.450	93.433	3.296	16.520
			Z	77.446	137.721	4.903	15.794

$$Max(RMS) = max\{RMS_x, RMS_y, RMS_z\} = max\{15.812{,}3.296{,}4.903\} = 15.812\ (X\ ekseni)$$

$$AEQ = \sqrt{RMS_x^2 + RMS_y^2 + RMS_z^2} = \sqrt{15.812^2 + 3.296^2 + 4.903^2} = 16.880\ m/s^2$$

$$A(8) = AEQ \sqrt{\frac{T_E}{T_0}} = 16.880 \cdot \sqrt{\frac{415}{28800}} = 2.026\ m/s^2$$

$$HEP = P_{E,1h} = 2a_{hv}^2 = 2 \cdot 16.880^2 = 570 \text{ (yuvarlanmış değer)}$$

$$TEP = P_E = \left(\frac{a_{hv}}{2{,}5\ m/s^2}\right)^2 \cdot \frac{T}{8\ saat} \cdot 100 = \left(\frac{16.880}{2.5}\right)^2 \cdot \frac{415}{28800} \cdot 100 = 66 \text{ (yuvarlanmış değer)}$$

Baskın frekans (a_{hw}): Şekil E-1.71'den X-ekseni için baskın frekansın 2500 Hz, Y-ekseni için 400 Hz ve Z-ekseni için 500 Hz olduğu görülmektedir.

$$EAV_{TT} = T_0 \left(\frac{EAV}{AEQ}\right)^2 = 8 \cdot \left(\frac{2.5}{16.880}\right)^2 = 0.1755 = 00{:}10{:}32\ (ss{:}dd{:}nn)$$

$$EAV_{TL} = EAV_{TT} - T = 00{:}10{:}32 - 00{:}06{:}55 = 00{:}03{:}37\ (ss{:}dd{:}nn)$$

$$\mathrm{ELV_{TT}} = \mathrm{T_0} \left(\frac{\mathrm{ELV}}{\mathrm{AEQ}}\right)^2 = 8 \cdot \left(\frac{5.0}{16.880}\right)^2 = 0.7019 = 00{:}42{:}07\ (ss{:}dd{:}nn)$$

$$ELV_{TL} = ELV_{TT} - T = 00{:}42{:}07 - 00{:}06{:}55 = 00{:}35{:}12\ (ss{:}dd{:}nn)$$

Çizelge 4.2 Çalışmada ölçülen parametreler

Ölçüm No	Alet/Araç	Süre ss:dd:nn	Eksen	PEAK m/s²	P-P m/s²	a_{hw} m/s²	CRF
			X	60.604	104.833	2.941	20.606
1	Kalıp makinesi – 1	00:03:39	Y	21.208	39.446	1.288	0.016
			Z	63.314	117.625	1.998	31.696
			X	73.790	111.815	2.145	34.395
2	Kalıp makinesi – 2	00:02:56	Y	60.256	90.261	2.123	28.379
			Z	35.563	64.195	1.740	20.441
			X	76.648	144.046	5.578	13.740
3	Havalı bijon tabancası – 1	00:02:50	Y	61.165	110.662	5.585	10.952
			Z	43.752	82.604	3.304	13.243
			X	31.333	59.841	6.569	4.770
4	Asfalt kesme makinesi	00:09:18	Y	25.912	45.082	4.097	6.324
			Z	43.803	74.046	3.593	12.190
			X	101.158	177.419	12.260	8.251
5	Kompaktör – 1	00:05:24	Y	75.162	138.995	9.840	7.638
			Z	113.110	198.838	14.808	7.638
			X	119.950	239.607	8.831	13.583
6	Elektrikli martopikör	00:01:44	Y	227.510	325.837	7.219	31.514
			Z	122.462	226.204	8.561	14.305
			X	56.105	91.728	4.365	12.853
7	Havalı martopikör – 1	00:04:49	Y	44.259	84.723	2.532	17.478
			Z	44.005	85.901	2.793	15.758
			X	21.208	42.267	1.390	0.015
8	Havalı zımba tabancası	00:03:30	Y	34.954	56.885	1.540	22.699
			Z	43.003	74.817	1.279	33.612
			X	116.547	180.926	3.285	35.481
9	Havalı bijon tabancası – 2	00:07:13	Y	47.206	74.473	1.766	26.730
			Z	86.596	170.608	2.603	33.266
			X	29.957	42.462	0.451	66.374
10	Sütunlu matkap	00:03:07	Y	21.928	30.796	0.382	57.478
			Z	20.989	28.510	0.426	49.261
			X	24.127	46.238	3.350	7.203
11	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 1	00:03:22	Y	27.765	47.424	3.516	7.898
			Z	29.343	55.017	4.597	6.383
			X	11.940	23.415	0.449	26.577
12	PVC birleştirme makinesi	00:03:49	Y	12.246	20.630	0.429	28.543
			Z	11.169	19.724	0.433	25.793
			X	14.174	26.915	0.688	20.606
13	PVC çapak temizleme makinesi	00:02:57	Y	19.143	35.075	0.790	24.238
			Z	13.137	23.041	0.668	19.679
			X	12.064	20.630	0.392	30.796
14	Giyotin – 1	00:02:16	Y	9.897	17.620	0.438	22.620
			Z	9.365	18.134	0.484	19.342
			X	3.963	7.516	0.361	10.977
15	Giyotin – 2	00:02:16	Y	4.441	8.790	0.315	14.093
			Z	3.976	7.754	0.405	9.817
			X	85.803	168.267	3.767	22.777
16	Açılı kesim makinesi	00:03:18	Y	126.474	241.546	4.285	29.512
			Z	47.152	92.151	1.832	25.734
			X	84.918	137.246	3.105	27.353
17	Çim biçme makinesi	00:04:36	Y	58.884	105.075	2.223	26.485
			Z	69.263	128.381	2.928	23.659
			X	46.238	88.818	2.463	18.772
18	Havalı bijon tabancası – 3	00:04:59	Y	29.478	56.689	1.652	17.844
			Z	31.659	62.445	2.320	13.646
			X	38.459	74.989	2.030	18.945
19	Havalı bijon tabancası – 4	00:02:44	Y	25.556	42.316	1.393	18.344
			Z	30.061	58.076	2.679	11.220
			X	25.942	45.761	1.563	16.596
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 2	00:02:43	Y	21.677	41.305	1.687	12.853
			Z	21.478	42.413	1.667	12.882

Çizelge 4.2 Çalışmada ölçülen parametreler (devam ediyor)

Ölçüm No	Alet/Araç	Süre ss:dd:nn	Eksen	PEAK m/s²	P-P m/s²	a_{hw} m/s²	CRF
			X	12.794	22.310	0.785	16.293
21	Havalı avuç taşlama makinesi	00:01:46	Y	13.474	20.893	1.090	12.359
			Z	10.280	20.347	1.068	9.627
			X	48.306	73.114	3.949	12.232
22	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 3	00:02:23	Y	33.113	55.911	3.144	10.532
			Z	27.606	48.195	3.622	7.621
			X	10.666	17.885	0.518	20.606
23	Kaynak makinesi	00:02:58	Y	8.260	15.885	0.524	15.776
			Z	13.630	26.607	0.710	19.187
			X	24.803	48.306	1.297	19.121
24	Havalı bijon tabancası – 5	00:01:54	Y	32.397	55.335	1.155	28.054
			Z	17.022	32.659	1.404	12.120
			X	8.433	16.749	0.524	16.106
25	Basınçlı su tabancası	00:02:19	Y	10.654	19.976	1.253	8.502
			Z	20.488	35.441	0.600	34.159
			X	79.433	112.460	3.972	19.999
26	Büyük çekiç	00:00:42	Y	118.440	224.905	6.361	18.621
			Z	56.105	99.426	3.573	15.704
			X	28.119	49.317	2.535	11.092
27	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 4	00:04:11	Y	16.293	27.990	1.613	10.104
			Z	17.885	34.995	3.451	5.182
			X	9.322	18.113	1.963	4.748
28	Elektrikli matkap – küçük – 1	00:02:04	Y	22.387	38.815	5.814	3.850
			Z	20.583	37.844	4.634	4.441
			X	43.601	83.560	7.691	5.669
29	Elektrikli matkap – küçük – 2	00:02:07	Y	59.979	116.011	8.156	7.354
			Z	34.356	60.325	8.985	3.824
			X	28.576	56.885	5.559	5.140
30	Elektrikli matkap – büyük – 1	00:02:21	Y	32.397	55.144	6.902	4.694
			Z	39.219	65.388	7.295	5.377
			X	108.518	186.853	7.063	15.364
31	Elektrikli matkap – büyük – 2	00:02:17	Y	110.662	144.710	7.861	14.077
			Z	87.498	151.880	8.185	10.691
			X	26.884	53.641	4.667	5.761
32	Elektrikli somun sıkma makinesi – 1	00:02:15	Y	23.933	39.446	2.851	8.395
			Z	29.957	58.076	4.004	7.482
			X	29.275	55.335	3.232	9.057
33	Elektrikli spiral kesme makinesi – 1	00:02:06	Y	80.076	120.781	5.565	14.388
			Z	29.444	52.541	3.281	8.974
			X	16.088	30.479	3.210	5.012
34	Elektrikli spiral taşlama makinesi	00:01:44	Y	11.298	21.878	2.475	4.566
			Z	19.143	35.934	4.188	4.571
			X	81.846	141.742	11.468	7.137
35	Kompaktör – 2	00:02:42	Y	58.817	116.950	9.739	6.039
			Z	68.549	120.088	9.886	6.934
			X	128.973	203.470	15.812	8.156
36	Havalı martopikör -2	00:06:55	Y	54.450	93.433	3.296	16.520
			Z	77.446	137.721	4.903	15.794
			X	29.478	52.905	2.452	12.023
37	Havalı bijon tabancası – 6	00:02:31	Y	28.940	55.208	2.339	12.374
			Z	36.602	65.163	3.412	10.728
			X	57.810	77.625	1.567	36.898
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	00:03:16	Y	13.137	20.845	1.413	9.300
			Z	21.553	33.420	1.912	11.272
			X	177.419	284.446	2.780	63.826
39	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 5	00:01:09	Y	226.725	383.266	3.673	61.731
			Z	123.880	171.396	2.317	53.456
			X	13.259	21.135	1.081	12.260
40	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 6	00:03:21	Y	11.735	20.749	1.514	7.754
			Z	10.617	19.792	1.652	6.427

Çizelge 4.2 Çalışmada ölçülen parametreler (devam ediyor)

Ölçüm No	Alet/Araç	Süre ss:dd:nn	Eksen	PEAK m/s²	P-P m/s²	a_{hw} m/s²	CRF
			X	21.159	34.634	2.664	7.943
41	Havalı bijon tabancası – 7	00:03:11	Y	26.699	52.180	2.861	9.333
			Z	37.282	68.391	6.317	5.902
			X	28.087	54.075	1.493	18.815
42	Tranjer testere	00:02:46	Y	39.948	74.131	2.104	18.989
			Z	30.690	51.582	1.545	19.861
			X	92.897	120.642	1.644	56.494
43	Elektrikli matkap – küçük – 3	00:02:54	Y	27.133	41.543	2.938	9.236
			Z	32.772	55.976	4.004	8.185
			X	50.003	99.197	6.577	7.603
44	Elektrikli somun sıkma makinesi – 2	00:02:42	Y	58.143	103.039	6.730	8.640
			Z	68.312	119.950	7.516	9.089
			X	5.483	9.649	0.834	6.577
45	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 7	00:03:02	Y	11.790	22.182	1.183	9.966
			Z	13.772	25.439	1.305	10.556
			X	21.478	40.411	2.358	9.110
46	Elektrikli iri taşlama makinesi – 8	00:02:53	Y	14.588	28.347	1.249	11.682
			Z	11.389	22.004	1.939	5.875
			X	13.428	22.725	1.136	11.817
47	Elektrikli spiral kesme makinesi – 2	00:02:44	Y	10.864	20.535	1.892	5.741
			Z	14.980	24.632	2.333	6.419
			X	32.923	49.488	3.159	10.423
48	Elektrikli spiral kesme makinesi – 3	00:02:30	Y	13.820	23.741	1.401	9.863
			Z	15.136	29.107	2.068	7.320
			X	11.363	22.673	4.036	2.815
49	Bant soyma makinesi	00:03:05	Y	18.218	34.277	3.392	5.370
			Z	24.322	47.098	9.716	2.503
			X	11.233	18.281	0.681	16.501
50	Şarjlı matkap	00:01:35	Y	5.695	9.583	0.575	9.908
			Z	13.122	20.324	0.694	18.902
			X	66.757	121.199	3.455	19.320
51	Elektrikli matkap – büyük – 3	00:01:40	Y	80.538	145.211	4.710	17.100
			Z	82.890	158.672	4.683	17.701

Çizelge 4.3 Hesaplanan parametreler

Ölçüm No	Alet/Araç	Eksen	Max(RMS) m/s²		AEQ m/s²	A(8) m/s²	HEP (puan)	TEP (puan)	Frekans a_{hw}	$EAV_{TT(RMS)}$ ss:dd:nn	$EAV_{TL(RMS)}$ ss:dd:nn	$ELV_{TT(RMS)}$ ss:dd:nn	$ELV_{TL(RMS)}$ ss:dd:nn
		X							800 Hz				
1	Kalıp makinesi – 1	Y	2.941	Ch1	3.782	0.330	29	2	400 Hz	3:29:46	3:26:07	13:59:06	13:55:27
		Z							800 Hz				
		X							800 Hz				
2	Kalıp makinesi – 2	Y	2.145	Ch1	3.484	0.272	24	1	31.5 Hz	4:07:12	4:04:16	16:28:49	16:25:53
		Z							2.5 Hz				
		X							50 Hz				
3	Havalı bijon tabancası – 1	Y	5.585	Ch2	8.557	0.657	146	7	50 Hz	0:40:58	0:38:08	2:43:53	2:41:03
		Z							50 Hz				
		X							25 Hz				
4	Asfalt kesme makinesi	Y	6.569	Ch1	8.535	1.188	146	23	50 Hz	0:41:11	0:31:53	2:44:44	2:35:26
		Z							50 Hz				
		X							800 Hz				
5	Kompaktör – 1	Y	14.808	Ch3	21.597	2.291	933	84	80 Hz	0:06:26	0:01:02	0:25:44	0:20:20
		Z							80 Hz				
		X							40 Hz				
6	Elektrikli martopikör	Y	8.831	Ch1	14.262	0.857	407	12	2000 Hz	0:14:45	0:13:01	0:59:00	0:57:16
		Z							12.5 Hz				
		X							500 Hz				
7	Havalı martopikör – 1	Y	4.365	Ch1	5.768	0.578	67	5	500 Hz	1:30:11	1:25:22	6:00:44	5:55:55
		Z							500 Hz				
		X							800 Hz				
8	Havalı zımba tabancası	Y	1.540	Ch2	2.437	0.208	12	1	400 Hz	8:25:06	8:21:36	33:40:24	33:36:54
		Z							400 Hz				
		X							2000 Hz				
9	Havalı bijon tabancası – 2	Y	3.285	Ch1	4.548	0.558	41	5	1250 Hz	2:25:02	2:17:49	9:40:07	9:32:54
		Z							1250 Hz				
		X							630 Hz				
10	Sütunlu matkap	Y	0.451	Ch1	0.729	0.059	1	0	500 Hz	94:11:02	94:07:55	376:44:07	376:41:00
		Z							125 Hz				
		X							315 Hz				
11	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 1	Y	4.597	Ch3	6.687	0.560	89	5	100 Hz	1:07:05	1:03:43	4:28:21	4:24:59
		Z							100 Hz				
		X							0.4 Hz				
12	PVC birleştirme makinesi	Y	0.449	Ch1	0.757	0.068	1	0	0.4 Hz	87:11:50	87:08:01	348:47:20	348:43:31
		Z							0.4 Hz				

Çizelge 4.3 Hesaplanan parametreler (devam ediyor)

Ölçüm No	Alet/Araç	Eksen	Max(RMS) m/s²		AEQ m/s²	A(8) m/s²	HEP (puan)	TEP (puan)	Frekans a_{hw}	$EAV_{TT(RMS)}$ ss:dd:nn	$EAV_{TL(RMS)}$ ss:dd:nn	$ELV_{TT(RMS)}$ ss:dd:nn	$ELV_{TL(RMS)}$ ss:dd:nn
		X							50 Hz				
13	PVC çapak temizleme makinesi	Y	0.790	Ch2	1.242	0.097	3	0	50 Hz	32:24:50	32:21:53	129:39:22	129:36:25
		Z							50 Hz				
		X							0.4 Hz				
14	Giyotin – 1	Y	0.484	Ch3	0.761	0.052	1	0	0.4 Hz	86:18:35	86:16:19	345:14:18	345:12:02
		Z							0.4 Hz				
		X							100 Hz				
15	Giyotin – 2	Y	0.405	Ch3	0.627	0.043	1	0	1000 Hz	127:00:16	126:58:00	508:01:04	507:58:48
		Z							1000 Hz				
		X							1600 Hz				
16	Açılı kesim makinesi	Y	4.285	Ch2	5.992	0.497	72	4	1600 Hz	1:23:33	1:20:15	5:34:11	5:30:53
		Z							1600 Hz				
		X							200 Hz				
17	Çim biçme makinesi	Y	3.105	Ch1	4.812	0.471	46	4	630 Hz	2:09:33	2:04:57	8:38:14	8:33:38
		Z							630 Hz				
		X							2500 Hz				
18	Havalı bijon tabancası – 3	Y	2.463	Ch1	3.765	0.384	28	2	2500 Hz	3:31:36	3:26:37	14:06:23	14:01:24
		Z							2500 Hz				
		X							2500 Hz				
19	Havalı bijon tabancası – 4	Y	2.679	Ch3	3.639	0.275	26	1	2000 Hz	3:46:36	3:43:52	15:06:25	15:03:41
		Z							2500 Hz				
		X							400 Hz				
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 2	Y	1.687	Ch2	2.840	0.214	16	1	315 Hz	6:11:51	6:09:08	24:47:26	24:44:43
		Z							400 Hz				
		X							1600 Hz				
21	Havalı avuç taşlama makinesi	Y	1.090	Ch2	1.716	0.104	6	0	63 Hz	16:58:33	16:56:47	67:54:13	67:52:27
		Z							1250 Hz				
		X							100 Hz				
22	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 3	Y	3.949	Ch1	6.213	0.438	77	3	315 Hz	1:17:43	1:15:20	5:10:54	5:08:31
		Z							100 Hz				
		X							2500 Hz				
23	Kaynak makinesi	Y	0.710	Ch3	1.023	0.080	2	0	2500 Hz	47:46:03	47:43:05	191:04:13	191:01:15
		Z							2500 Hz				
		X							1000 Hz				
24	Havalı bijon tabancası – 5	Y	1.404	Ch3	2.234	0.141	10	0	1000 Hz	10:01:18	9:59:24	40:05:14	40:03:20
		Z							1250 Hz				
		X							160 Hz				
25	Basınçlı su tabancası	Y	1.253	Ch2	1.485	0.103	4	0	160 Hz	22:41:00	22:38:41	90:43:59	90:41:40
		Z							160 Hz				

Çizelge 4.3 Hesaplanan parametreler (devam ediyor)

Ölçüm No	Alet/Araç	Eksen	Max(RMS) m/s²		AEQ m/s²	A(8) m/s²	HEP (puan)	TEP (puan)	Frekans a_{hw}	$EAV_{TT(RMS)}$ ss:dd:nn	$EAV_{TL(RMS)}$ ss:dd:nn	$ELV_{TT(RMS)}$ ss:dd:nn	$ELV_{TL(RMS)}$ ss:dd:nn
		X							1600 Hz				
26	Büyük çekiç	Y	6.361	Ch2	8.307	0.317	138	2	3.15 Hz	0:43:28	0:42:46	2:53:54	2:53:12
		Z							1 Hz				
		X							80 Hz				
27	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 4	Y	3.451	Ch3	4.576	0.427	42	3	400 Hz	2:23:16	2:19:05	9:33:05	9:28:54
		Z							100 Hz				
		X							1000 Hz				
28	Elektrikli matkap – küçük – 1	Y	5.814	Ch2	7.690	0.505	118	4	500 Hz	0:50:44	0:48:40	3:22:56	3:20:52
		Z							160 Hz				
		X							800 Hz				
29	Elektrikli matkap – küçük – 2	Y	8.985	Ch3	14.367	0.954	413	15	500 Hz	0:14:32	0:12:25	0:58:08	0:56:01
		Z							80 Hz				
		X							40 Hz				
30	Elektrikli matkap – büyük – 1	Y	7.295	Ch3	11.479	0.803	264	10	400 Hz	0:22:46	0:20:25	1:31:05	1:28:44
		Z							80 Hz				
		X							40 Hz				
31	Elektrikli matkap – büyük – 2	Y	8.185	Ch3	13.367	0.922	357	14	40 Hz	0:16:47	0:14:30	1:07:10	1:04:53
		Z							40 Hz				
		X							1250 Hz				
32	Elektrikli somun sıkma makinesi – 1	Y	4.667	Ch1	6.778	0.464	92	3	500 Hz	1:05:18	1:03:03	4:21:12	4:18:57
		Z							1000 Hz				
		X							1000 Hz				
33	Elektrikli spiral kesme makinesi – 1	Y	5.565	Ch2	7.224	0.478	104	4	315 Hz	0:57:30	0:55:24	3:49:58	3:47:52
		Z							315 Hz				
		X							100 Hz				
34	Elektrikli spiral taşlama makinesi	Y	4.188	Ch3	5.828	0.350	68	2	400 Hz	1:28:19	1:26:35	5:53:18	5:51:34
		Z							100 Hz				
		X							80 Hz				
35	Kompaktör – 2	Y	11.468	Ch1	18.003	1.350	648	29	80 Hz	0:09:15	0:06:33	0:37:02	0:34:20
		Z							80 Hz				
		X							2500 Hz				
36	Havalı martopikör -2	Y	15.812	Ch1	16.880	2.026	570	66	400 Hz	0:10:32	0:03:37	0:42:07	0:35:12
		Z							500 Hz				
		X							1250 Hz				
37	Havalı bijon tabancası – 6	Y	3.412	Ch3	4.809	0.348	46	2	500 Hz	2:09:44	2:07:13	8:38:55	8:36:24
		Z							1250 Hz				
		X							315 Hz				
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	Y	1.912	Ch3	2.847	0.235	16	1	315 Hz	6:10:04	6:06:48	24:40:15	24:36:59
		Z							800 Hz				

Çizelge 4.3 Hesaplanan parametreler (devam ediyor)

Ölçüm no	Alet/Araç	Eksen	Max(RMS) m/s²		AEQ m/s²	A(8) m/s²	HEP (puan)	TEP (puan)	Frekans a_{hw}	$EAV_{TT(RMS)}$ ss:dd:nn	$EAV_{TL(RMS)}$ ss:dd:nn	$ELV_{TT(RMS)}$ ss:dd:nn	$ELV_{TL(RMS)}$ ss:dd:nn
		X							125 Hz				
39	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 5	Y	3.673	Ch2	5.156	0.252	53	1	400 Hz	1:52:50	1:51:41	7:31:20	7:30:11
		Z							125 Hz				
		X							100 Hz				
40	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 6	Y	1.652	Ch3	2.488	0.208	12	1	315 Hz	8:04:42	8:01:21	32:18:49	32:15:28
		Z							315 Hz				
		X							1600 Hz				
41	Havalı bijon tabancası – 7	Y	6.317	Ch3	7.429	0.605	110	6	630 Hz	0:54:22	0:51:11	3:37:27	3:34:16
		Z							630 Hz				
		X							50 Hz				
42	Tranjer testere	Y	2.104	Ch2	3.007	0.228	18	1	50 Hz	5:31:45	5:28:59	22:06:59	22:04:13
		Z							50 Hz				
		X							400 Hz				
43	Elektrikli matkap – küçük – 3	Y	4.004	Ch3	5.231	0.407	55	3	80 Hz	1:49:37	1:46:43	7:18:29	7:15:35
		Z							80 Hz				
		X							800 Hz				
44	Elektrikli somun sıkma makinesi – 2	Y	7.516	Ch3	12.043	0.903	290	13	800 Hz	0:20:41	0:17:59	1:22:44	1:20:02
		Z							315 Hz				
		X							500 Hz				
45	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 7	Y	1.305	Ch3	1.949	0.155	8	0	2000 Hz	13:10:09	13:07:07	52:40:35	52:37:33
		Z							630 Hz				
		X							400 Hz				
46	Elektrikli iri taşlama makinesi – 8	Y	2.358	Ch1	3.298	0.256	22	1	400 Hz	4:35:49	4:32:56	18:23:15	18:20:22
		Z							400 Hz				
		X							500 Hz				
47	Elektrikli spiral kesme makinesi – 2	Y	2.333	Ch3	3.212	0.242	21	1	500 Hz	4:50:47	4:48:03	19:23:06	19:20:22
		Z							500 Hz				
		X							125 Hz				
48	Elektrikli spiral kesme makinesi – 3	Y	3.159	Ch1	4.027	0.291	32	1	400 Hz	3:04:59	3:02:29	12:19:54	12:17:24
		Z							630 Hz				
		X							80 Hz				
49	Bant soyma makinesi	Y	9.716	Ch3	11.054	0.886	244	13	80 Hz	0:24:33	0:21:28	1:38:12	1:35:07
		Z							80 Hz				
		X							2000 Hz				
50	Şarjlı matkap	Y	0.694	Ch3	1.129	0.065	3	0	400 Hz	39:11:32	39:09:57	156:46:07	156:44:32
		Z							400 Hz				
		X							50 Hz				
51	Elektrikli matkap – büyük – 3	Y	4.710	Ch2	7.487	0.441	112	3	315 Hz	0:53:31	0:51:51	3:34:05	3:32:25
		Z							315 Hz				

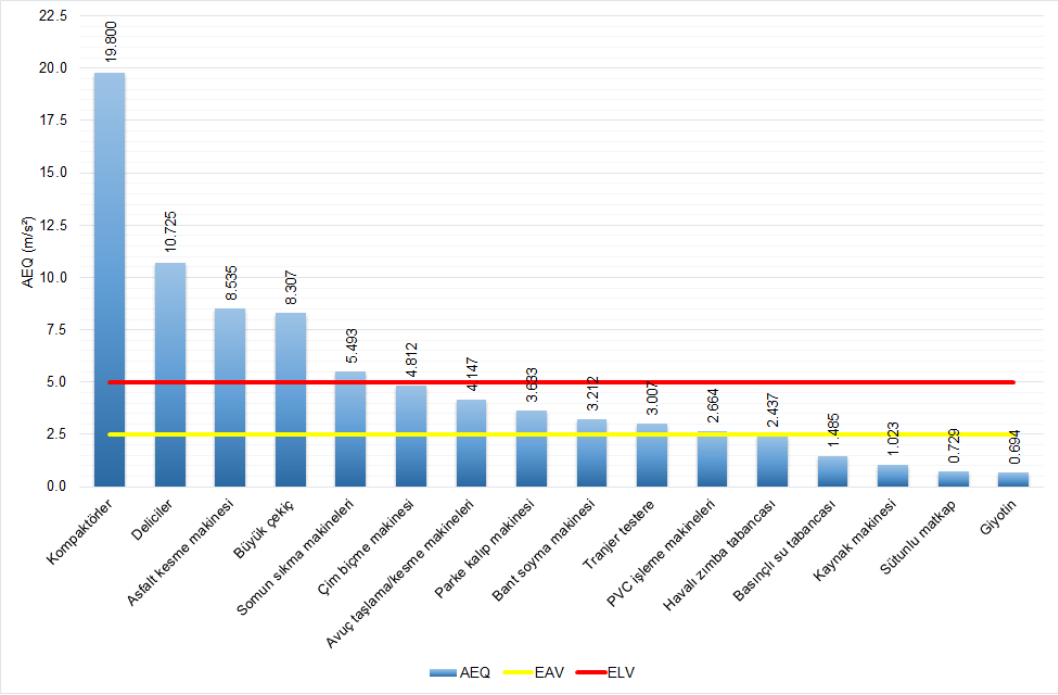
4.4 El-Kol Titreşim Maruziyeti Değerlendirmeleri

4.4.1 Benzer işlev gören aletler bazında gruplandırma

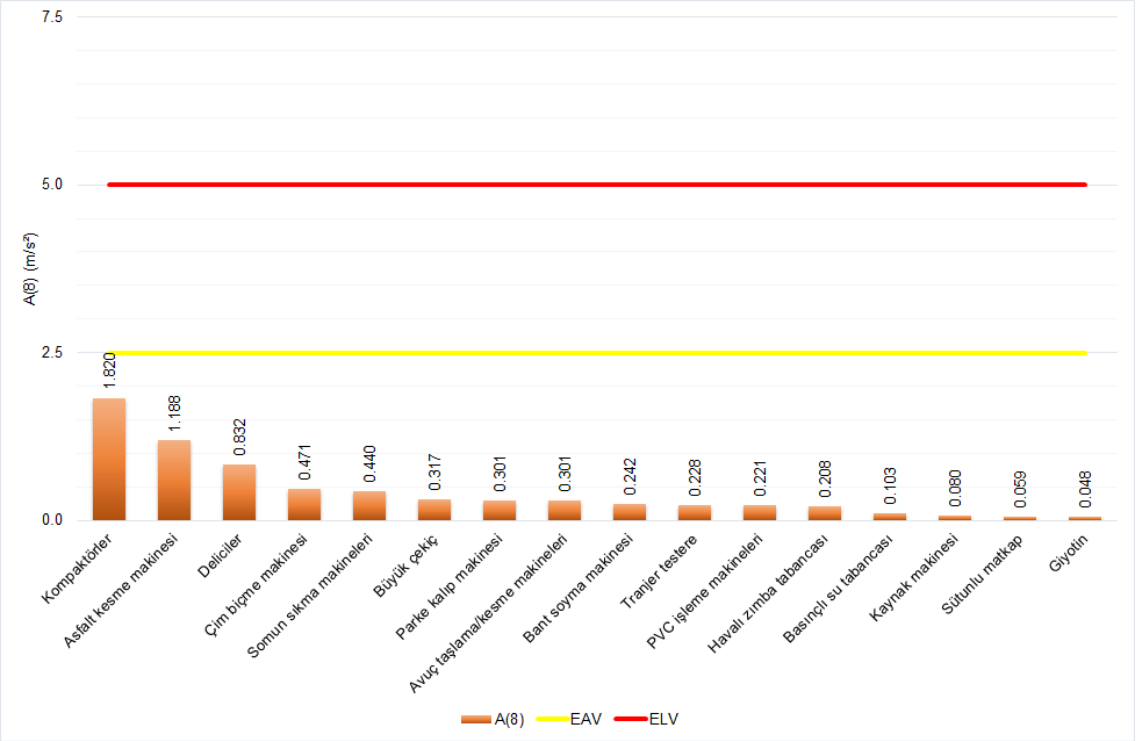
El-kol titreşimine yol açan ve benzer işlev görev alet/araçlar, gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri, titreşim vektörü (AEQ) ve eşdeğer titreşim ivmesi (A(8)) üzerinden Çizelge 4.4'de, AEQ üzerinden Şekil 4.2'de ve A(8) üzerinden Şekil 4.3'te sunulmuştur. Kompaktörler, deliciler, asfalt kesme makinesi, büyük çekiç ve somun sıkma makineleri maruziyet limit değeri üzerinde el-kol titreşim vektörü sunarken, çim biçme makinesi, avuç taşlama/kesme ve parke kalıp makineleri, bant soyma makinesi, tranjer testere ve PVC işleme makinelerine ait titreşim ivmeleri maruziyet eylem değeri üzerinde bulunmuştur.

Çizelge 4.4 Benzer işlev grupları bazında ortalama el-kol titreşimi ivmeleri

Alet/araç	Adet	AEQ (m/s²)	A(8) (m/s²)
Kompaktörler	2	19.800±1.797	1.820±0.470
Deliciler	9	10.725±4.023	0.832±0.466
Asfalt kesme makinesi	1	8.535	1.188
Büyük çekiç	1	8.307	0.317
Somun sıkma makineleri	10	5.493±3.084	0.440±0.239
Çim biçme makinesi	1	4.812	0.471
Avuç taşlama/kesme makineleri	14	4.147±1.747	0.301±0.127
Parke kalıp makinesi	2	3.633±0.149	0.301±0.029
Bant soyma makinesi	1	3.212	0.242
Tranjer testere	1	3.007	0.228
PVC işleme makineleri	3	2.664±2.362	0.221±0.196
Havalı zımba tabancası	1	2.437	0.208
Basınçlı su tabancası	1	1.485	0.103
Kaynak makinesi	1	1.023	0.080
Sütunlu matkap	1	0.729	0.059
Giyotin	2	0.694±0.067	0.048±0.005



Şekil 4.2 Alet gruplarının el-kol titreşim vektörü (AEQ) bazında sıralanması.



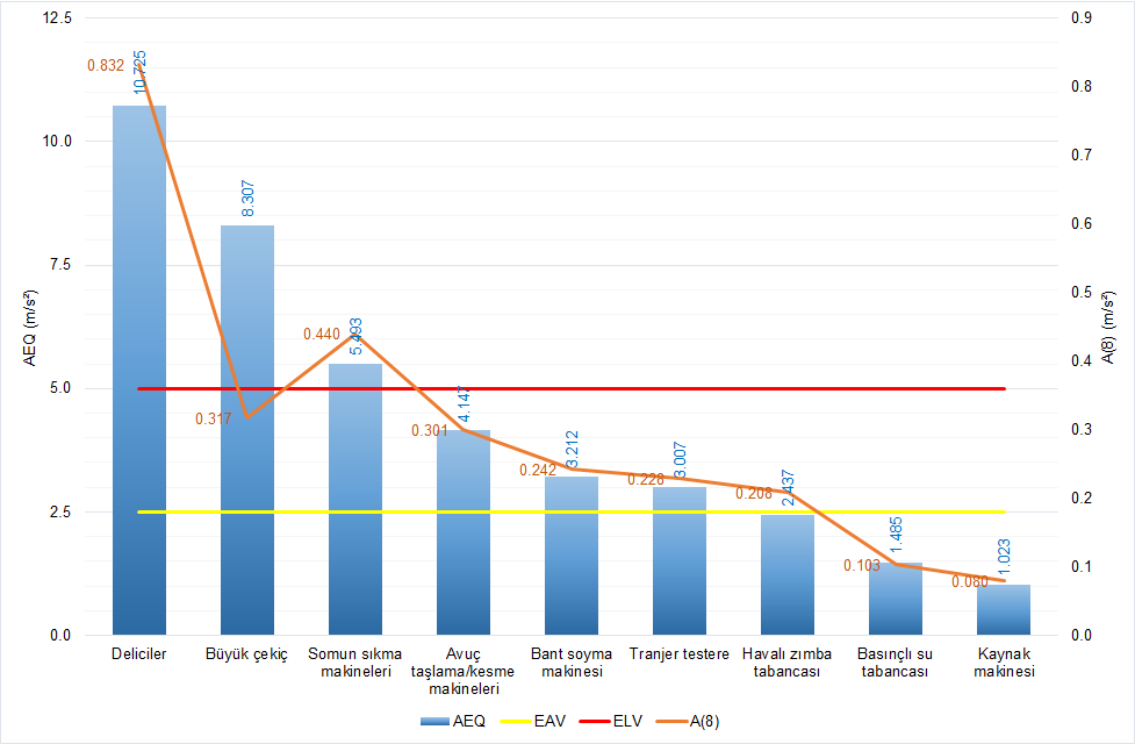
Şekil 4.3 Alet gruplarının eşdeğer titreşim ivmesi (A(8)) bazında sıralanması.

4.4.2 Elle tutularak veya elle güdülerek işlev gören aletler bazında gruplandırma

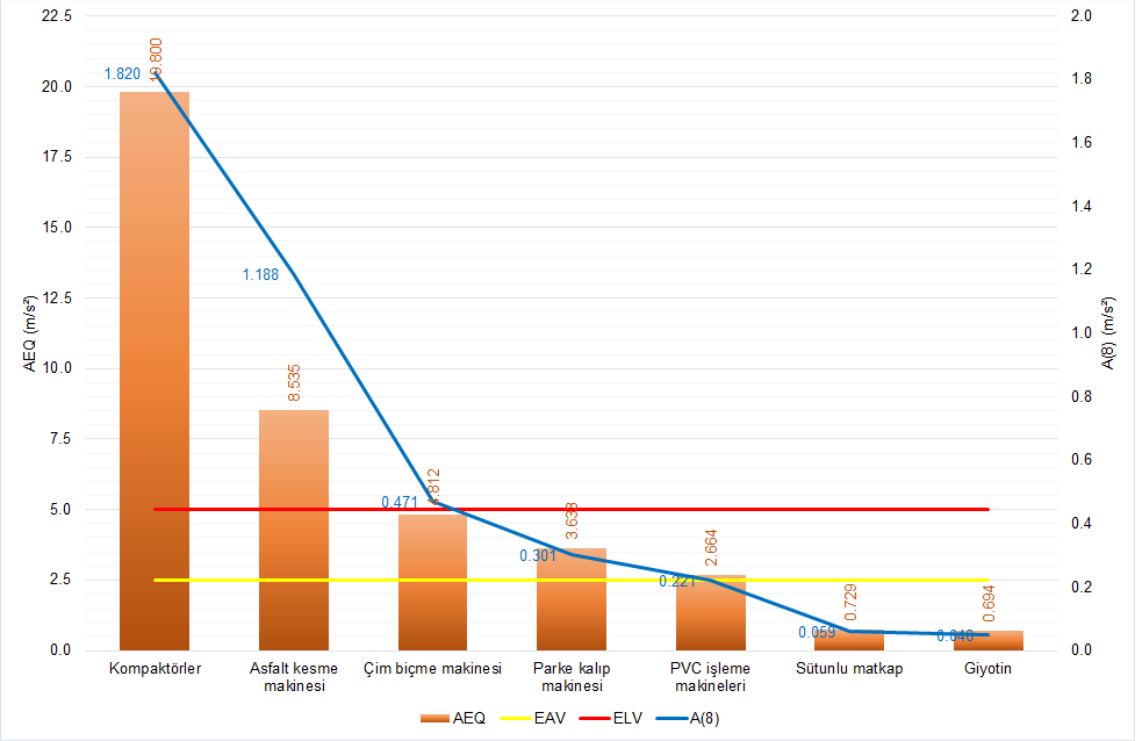
El-kol titreşimine yol açan alet/araçların bir kısmı tutamaklarından elle sıkı şekilde tutularak çalıştırılırken diğer bir kısmı ise bir kulp aracılığıyla yön verilerek ya da güdülerek kullanılmaktadır. Sözgelimi bir avuç taşlama makinesi elle tutularak kullanılırken, kompaktör ise yönlendirilip, güdülerek kullanılmaktadır. Tez çalışmasında ölçüm kaydedilen araçlar, tutulma/güdülme ayrımına tabi tutularak gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri, AEQ ve A(8) üzerinden Çizelge 4.5'te, elle tutularak kullanılan alet grubu üzerinden Şekil 5.4'de ve elle güdülerek kullanılan alet grubu üzerinden Şekil 4.5'te sunulmuştur. Gruplar arasında titreşim bakımından kayda değer farklılık bulunmamıştır.

Çizelge 4.5 Alet/araç kullanma yöntemi bazında ortalama el-kol titreşimi ivmeleri

Grup	Alet/araç	Adet	AEQ (m/s²)	A(8) (m/s²)
Elle tutularak kullanılan alet/araçlar	Deliciler	9	10.725±4.023	0.832±0.466
	Büyük çekiç	1	8.307	0.317
	Somun sıkma makineleri	10	5.493±3.084	0.440±0.239
	Avuç taşlama/kesme makineleri	14	4.147±1.747	0.301±0.127
	Bant soyma makinesi	1	3.212	0.242
	Tranjer testere	1	3.007	0.228
	Havalı zımba tabancası	1	2.437	0.208
	Basınçlı su tabancası	1	1.485	0.103
	Kaynak makinesi	1	1.023	0.080
Elle güdülerek kullanılan alet/araçlar	Kompaktörler	2	19.800±1.797	1.820±0.470
	Asfalt kesme makinesi	1	8.535	1.188
	Çim biçme makinesi	1	4.812	0.471
	Parke kalıp makineleri	2	3.633±0.149	0.301±0.029
	PVC işleme makineleri	3	2.664±2.362	0.221±0.196
	Sütunlu matkap	1	0.729	0.059
	Giyotin	2	0.694±0.067	0.048±0.005



Şekil 4.4 Elle tutularak kullanılan alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.



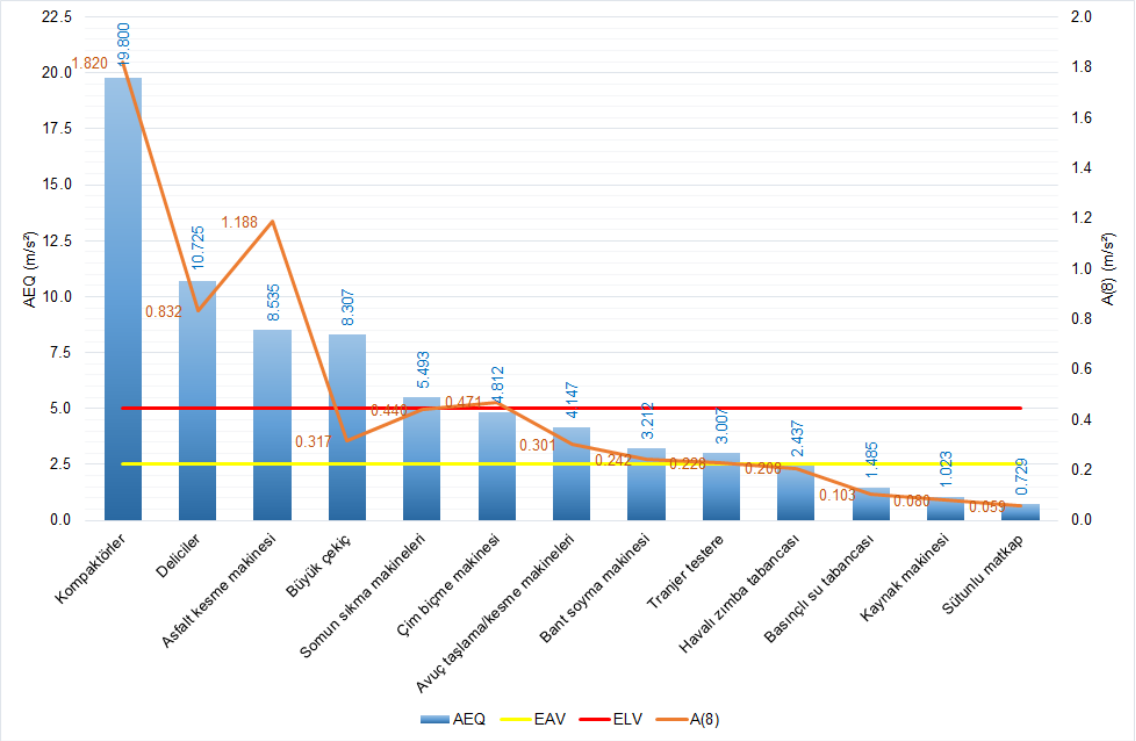
Şekil 4.5 Elle güdülerek kullanılan alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.

4.4.3 Aracın ya da nesnenin tutulması ile işlev gören aletler bazında gruplandırma

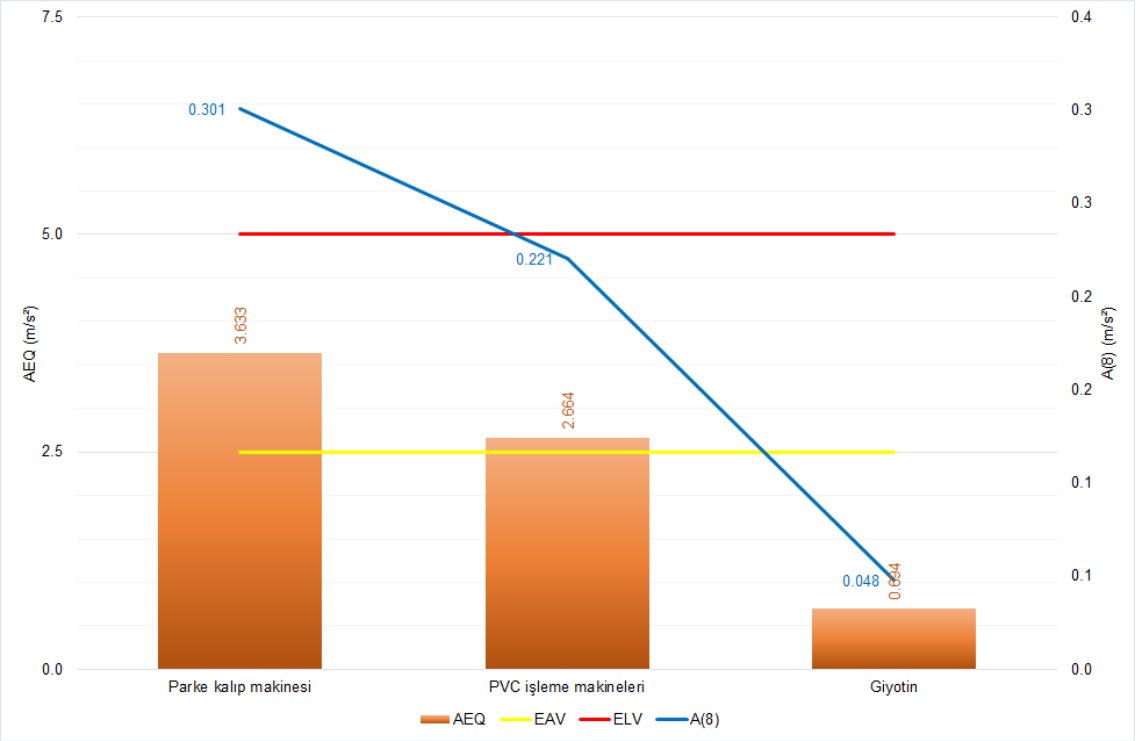
El-kol titreşimine maruziyet ya iş aleti/aracı tutulması ya da güdülmesi ile ya da işlenecek nesnenin tutulması/güdülmesi ile çalışana doğrudan veya dolaylı olarak meydana gelmektedir. Sözgelimi basınçlı hava ile çalışan bir martopikörü kullanan işçi, aracın tutamakları aracılığıyla doğrudan, asfalt kesme makinesini kullanan bir işçi aracın gidonu üzerinden yine doğrudan el-kol titreşimine maruz kalmaktadır. Diğer taraftan bir metal giyotininde metalik bir parçayı kesen bir işçi, işlenen parça üzerinden dolaylı olarak el-kol titreşimine maruz kalmaktadır. Her iki çalışma şekli arasında el-kol titreşimi maruziyeti bakımından farkı görmek amacıyla tez çalışmasında ölçüm kaydedilen araçlar, doğrudan/dolaylı titreşim maruziyeti ayrımına tabi tutularak gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri, titreşim vektörü (AEQ) ve eşdeğer titreşim ivmesi (A(8)) üzerinden Çizelge 4.6'da, doğrudan el-kol titreşim maruziyeti üzerinden Şekil 4.6'da ve dolaylı el-kol titreşim maruziyeti üzerinden Şekil 4.7'de sunulmuştur. Doğrudan el-kol titreşimine maruz bırakan alet/araçlar, dolaylı yoldan titreşim maruziyetine neden olan araçlara kıyasla çok daha yüksek titreşim ivmelerine neden olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.6 Doğrudan veya dolaylı ortalama el-kol titreşimi ivmeleri

Grup	Alet/araç	Adet	AEQ (m/s²)	A(8) (m/s²)
Doğrudan el-kol titreşimine maruz bırakan alet/araçlar	Kompaktörler	2	19.800±1.797	1.820±0.470
	Deliciler	9	10.725±4.023	0.832±0.466
	Asfalt kesme makinesi	1	8.535	1.188
	Büyük çekiç	1	8.307	0.317
	Somun sıkma makineleri	10	5.493±3.084	0.440±0.239
	Çim biçme makinesi	1	4.812	0.471
	Avuç taşlama/kesme makineleri	14	4.147±1.747	0.301±0.127
	Bant soyma makinesi	1	3.212	0.242
	Tranjer testere	1	3.007	0.228
	Havalı zımba tabancası	1	2.437	0.208
	Basınçlı su tabancası	1	1.485	0.103
	Kaynak makinesi	1	1.023	0.080
	Sütunlu matkap	1	0.729	0.059
Dolaylı yoldan el-kol titreşimine maruz bırakan alet/araçlar	Parke kalıp makineleri	2	3.633±0.149	0.301±0.029
	PVC işleme makineleri	3	2.664±2.362	0.221±0.196
	Giyotin	2	0.694±0.067	0.048±0.005



Şekil 4.6 Doğrudan titreşim ileten alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.



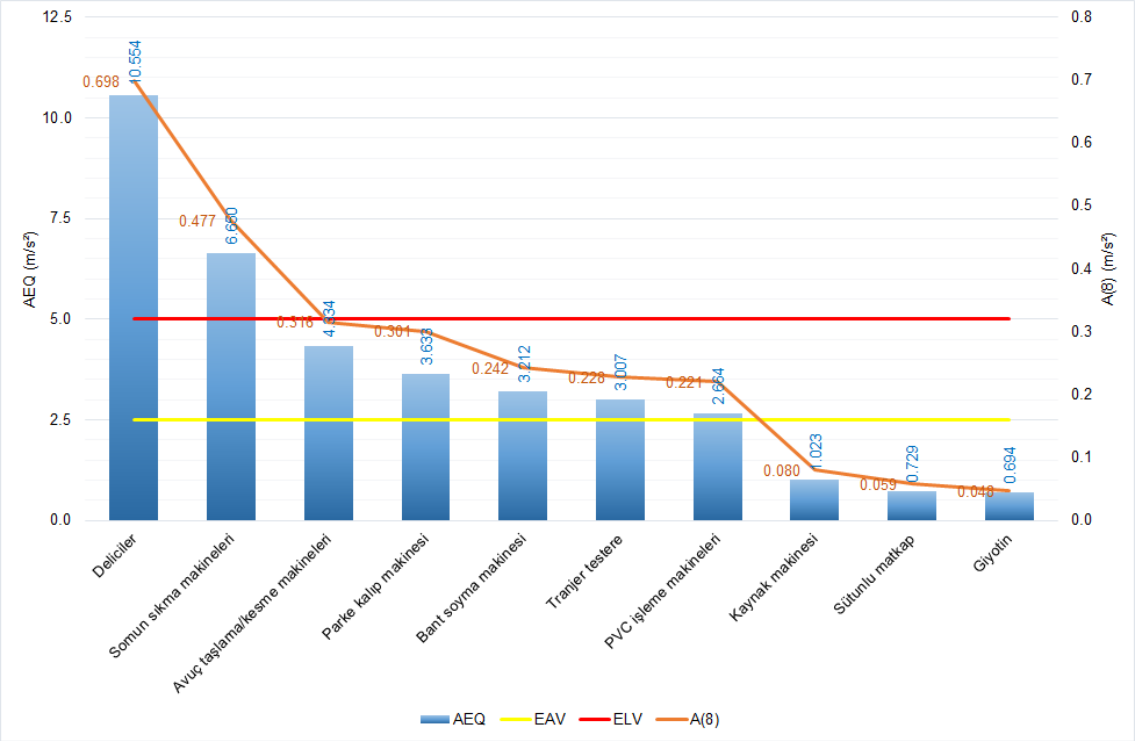
Şekil 4.7 Dolaylı titreşim ileten alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.

4.4.4 Elektrik ya da basınçlı akışkan tahrikli aletler bazında gruplandırma

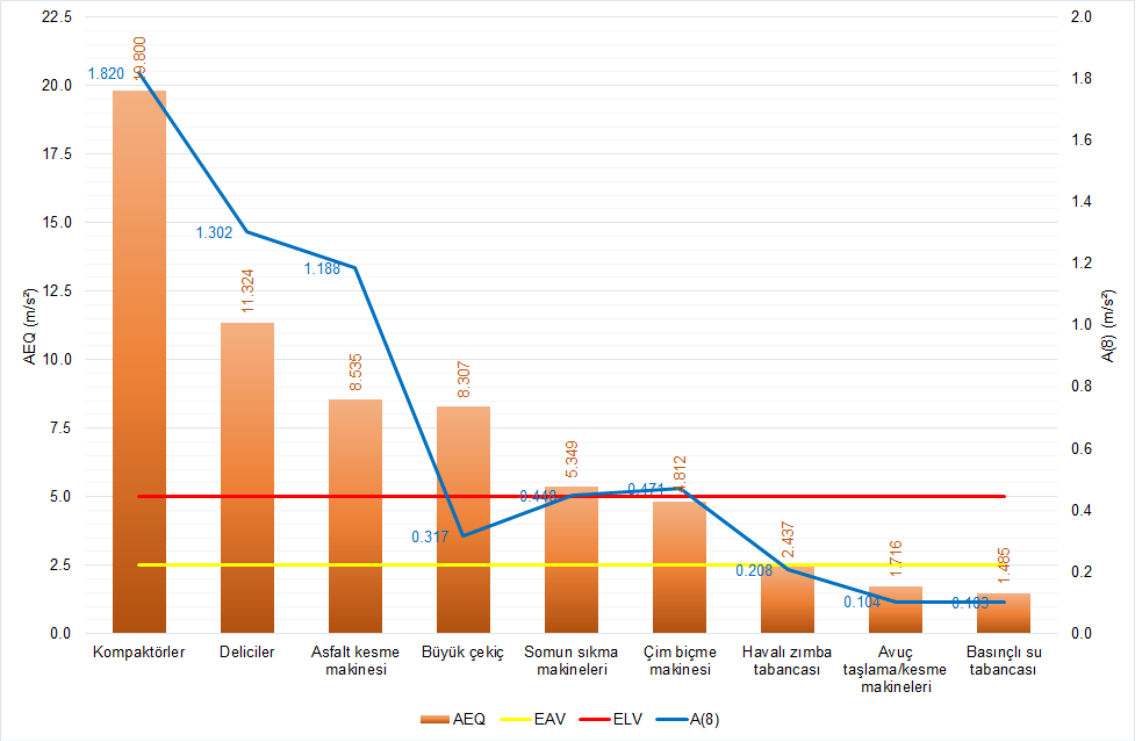
El-kol titreşimi maruziyeti herhangi bir enerji kaynağı ile güçlendirilen alet/araçlar aracılığıyla olmaktadır. Elle tutulan ya da güdülen alet/araçlar genellikle elektrik motorları ile güçlendirilmiş olmakla birlikte, basınçlı hava, basınçlı sıvı ya da içten yanmalı motorlar ile tahrik edilen araçlar da kullanılmakta ve çalışan el-kol titreşimine maruz kalmaktadır. Sözgelimi somun sıkma makineleri ile martopikörler hem elektrik hem de basınçlı hava tahrikli olabilmektedir. Basınçlı su jetleri, basınçlı su ile çalışmakta ve titreşime neden olmaktadır. Diğer taraftan portatif kompaktörler elektrik tahrikli ya da içten yanmalı motor tahrikli olabilmektedir. Tüm tahrik türleri arasında el-kol titreşimi maruziyeti bakımından farkı görmek amacıyla tez çalışmasında ölçüm kaydedilen araçlar, tahrik bakımından ayrıma tabi tutularak gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri, titreşim vektörü (AEQ) ve eşdeğer titreşim ivmesi (A(8)) üzerinden Çizelge 4.7'de, elektrik tahrikli araçları kullanma sonucunda el-kol titreşim maruziyeti üzerinden Şekil 4.8'de ve diğer tahrikli araçları kullanma sonucunda el-kol titreşim maruziyeti üzerinden Şekil 4.9'da sunulmuştur. Elektrik tahrikli alet/araçların daha düşük el-kol titreşimi ivmesi oluşturdukları gözlenmiştir.

Çizelge 4.7 Alet/aracın tahriki bakımından ortalama el-kol titreşimi ivmeleri

Grup	Alet/araç	Adet	AEQ (m/s²)	A(8) (m/s²)
Elektrik tahrikli alet/araç	Deliciler	7	10.554	0.698
	Somun sıkma makineleri	3	6.650	0.477
	Avuç taşlama/kesme makineleri	13	4.334	0.316
	Parke kalıp makinesi	2	3.633	0.301
	Bant soyma makinesi	1	3.212	0.242
	Tranjer testere	1	3.007	0.228
	PVC işleme makineleri	3	2.664	0.221
	Kaynak makinesi	1	1.023	0.080
	Sütunlu matkap	1	0.729	0.059
	Giyotin	2	0.694	0.048
Diğer tahrikli alet/araç	Kompaktörler	2	19.800	1.820
	Deliciler	2	11.324	1.302
	Asfalt kesme makinesi	1	8.535	1.188
	Büyük çekiç	1	8.307	0.317
	Somun sıkma makineleri	7	5.349	0.448
	Çim biçme makinesi	1	4.812	0.471
	Havalı zımba tabancası	1	2.437	0.208
	Avuç taşlama/kesme makineleri	1	1.716	0.104
	Basınçlı su tabancası	1	1.485	0.103



Şekil 4.8 Elektrik tahrikli alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.



Şekil 4.9 Diğer tahrikli alet grubunun AEQ ve A(8) bazında sıralanması.

4.4.5 El-kol titreşim parametreleri bakımından değerlendirme

Öncelikle, el-kol titreşimi maruziyetine yol açan alet/araçlar, en yüksek eksenel titreşim ivmesi bazında değerlendirilmiştir. Çizelge 4.8 incelendiğinde kompaktörler sınıfındaki her iki araç, asfalt kesme makinesi, bant soyma makinesi ve büyük çekiç ile deliciler, avuç taşlama/kesme makineleri ve somun sıkma makineleri grubundaki araçların maruziyet sınır değeri üzerinde eksenel titreşim ivmesine sahip olduğu görülmektedir. Deliciler grubundaki toplam 9 aracın 6 adedi maruziyet sınır değeri üzerinde, 3 adedi ise maruziyet eylem değerinin üzerindedir. Somun sıkma makineleri grubundaki 10 aracın 3 adedi maruziyet sınır değeri üzerinde, 4 adedi ise maruziyet eylem değerinin üzerindedir. Benzer şekilde avuç taşlama/kesme makineleri grubundaki 14 aracın 1 adedi maruziyet sınır değeri üzerinde, 6 adedi ise maruziyet eylem değerinin üzerindedir. Çim biçme makinesi, açılı kesim makinesi ve parke kalıp makinesi de maruziyet eylem değerinin üzerinde eksenel titreşim ivmesi vermiştir. Sonuç olarak deliciler ve kompaktörler gruplarının oldukça yüksek titreşim ivmesine, somun sıkma makineleri ile avuç taşlama/kesme makineleri gruplarının da yüksek titreşim ivmesine yol açtığı tespit edilmiştir.

Diğer yandan Çizelge 4.8'den eksenel en büyük titreşim ivmesine sahip eksenler incelendiğinde maruziyet sınır değeri üzerinde titreşime neden olan 15 aletin 4 adedinin X (Ch1), 4 adedinin Y (Ch2) ve 7 adedinin de Z (Ch3) eksenlerinde en yüksek titreşim ivmesi verdiği görülmektedir. Diğer yandan X ekseni, maruziyet eylem değeri üzerindeki 16 aletin 7 adedinde en yüksek titreşim ivmesine neden olarak baskın eksen olarak belirirken Z ekseni 6 araçla onu izlemekte ve Y ekseni ise 3 araçla en son sırada bulunmaktadır. En büyük eksenel titreşim ivmesi alet grupları bazında incelendiğinde deliciler grubundaki martopikörler için X ekseni, matkaplar için Z ekseni, kompaktörler için X ve Z ekseni ile somun sıkma makineleri içi X ekseninin baskın eksen olduğu tespit edilmiştir.

Ölçülen titreşim ivmelerinin herhangi baskın bir eksene bağımlı olup olmadığını belirlemek amacıyla en büyük eksenel ivmenin en küçük eksenel ivmeye bölünmesiyle bulunan oran (Oran1 = Max(RMS)/Min(RMS)) Çizelge 4.9'da sunulmuştur. Yüksek bir oran eksenel titreşim ivmeleri arasındaki büyük farklılıklardan ötürü baskın eksenin, el-kol titreşimi vektörü üzerinde büyük payı olduğuna, düşük bir oran ise eksenel titreşim ivmesi değerlerinin birbirine yakın olması nedeniyle titreşim vektörünün, tüm eksen değerlerine yakın olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışmada Max(RMS)/Min(RMS) oranı 1,5'dan büyük olan alet/araçlar baskın eksene bağlı olarak tanımlanmış ve buna bağlı olarak benzer işlev grubundaki alet/araçların bu parametre açısından durumu incelenmiştir. Tez çalışmasında ölçüm alınan araçların çoğunluğu elektrik tahriklidir. Buna karşın basınçlı akışkan ile tahrik edilen alet/araçların daha büyük bölümü baskın bir eksen üzerinde titreşim ivmesine sahiptir. Durum benzer işlev gören alet/araç grupları bakımından incelendiğinde somun sıkma makineleri, avuç taşlama/kesme makineleri ve deliciler gruplarının da baskın eksene bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Her üç grup ta yüksek devirli ya da yüksek frekanslı araçlardır.

Çizelge 4.8 En yüksek titreşim ivmesi (Max(RMS)) bakımından sıralama

No	Alet/araç	Grup	Max(RMS)	Ch(Max(RMS))
36	**Havalı martopikör - 2**	**Deliciler**	**15.812**	**X**
5	**Kompaktör - 1**	**Kompaktörler**	**14.808**	**Z**
35	**Kompaktör - 2**	**Kompaktörler**	**11.468**	**X**
49	**Bant soyma makinesi**	**Bant soyma makinesi**	**9.716**	**Z**
29	**Elektrikli matkap - küçük - 2**	**Deliciler**	**8.985**	**Z**
6	**Elektrikli martopikör**	**Deliciler**	**8.831**	**X**
31	**Elektrikli matkap - büyük - 2**	**Deliciler**	**8.185**	**Z**
44	**Elektrikli somun sıkma makinesi - 2**	**Somun sıkma makineleri**	**7.516**	**Z**
30	**Elektrikli matkap - büyük - 1**	**Deliciler**	**7.295**	**Z**
4	**Asfalt kesme makinesi**	**Asfalt kesme makinesi**	**6.569**	**X**
26	**Büyük çekiç**	**Büyük çekiç**	**6.361**	**Y**
41	**Havalı bijon tabancası - 7**	**Somun sıkma makineleri**	**6.317**	**Z**
28	**Elektrikli matkap - küçük - 1**	**Deliciler**	**5.814**	**Y**
3	**Havalı bijon tabancası - 1**	**Somun sıkma makineleri**	**5.585**	**Y**
33	**Elektrikli spiral kesme makinesi - 1**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**5.565**	**Y**
51	*Elektrikli matkap - büyük - 3*	*Deliciler*	*4.710*	*Y*
32	*Elektrikli somun sıkma makinesi - 1*	*Somun sıkma makineleri*	*4.667*	*X*
11	*Elektrikli avuç taşlama makinesi - 1*	*Avuç taşlama/kesme makineleri*	*4.597*	*Z*
7	*Havalı martopikör - 1*	*Deliciler*	*4.365*	*X*
16	*Açılı kesim makinesi*	*PVC işleme makineleri*	*4.285*	*Y*
34	*Elektrikli spiral taşlama makinesi*	*Avuç taşlama/kesme makineleri*	*4.188*	*Z*
43	*Elektrikli matkap - küçük - 3*	*Deliciler*	*4.004*	*Z*
22	*Elektrikli avuç taşlama makinesi - 3*	*Avuç taşlama/kesme makineleri*	*3.949*	*X*
39	*Elektrikli avuç taşlama makinesi - 5*	*Avuç taşlama/kesme makineleri*	*3.673*	*Y*
27	*Elektrikli avuç taşlama makinesi - 4*	*Avuç taşlama/kesme makineleri*	*3.451*	*Z*
37	*Havalı bijon tabancası - 6*	*Somun sıkma makineleri*	*3.412*	*Z*
9	*Havalı bijon tabancası - 2*	*Somun sıkma makineleri*	*3.285*	*X*
48	*Elektrikli spiral kesme makinesi - 3*	*Avuç taşlama/kesme makineleri*	*3.159*	*X*
17	*Çim biçme makinesi*	*Çim biçme makinesi*	*3.105*	*X*
1	*Kalıp makinesi - 1*	*Parke kalıp makinesi*	*2.941*	*X*
19	*Havalı bijon tabancası - 4*	*Somun sıkma makineleri*	*2.679*	*Z*
18	Havalı bijon tabancası - 3	Somun sıkma makineleri	2.463	X
46	Elektrikli iri taşlama makinesi - 8	Avuç taşlama/kesme makineleri	2.358	X
47	Elektrikli spiral kesme makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	2.333	Z
2	Kalıp makinesi - 2	Parke kalıp makinesi	2.145	X
42	Tranjer testere	Tezgâhlı kesiciler	2.104	Y
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.912	Z
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.687	Y
40	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 6	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.652	Z
8	Havalı zımba tabancası	Havalı zımba tabancası	1.540	Y
24	Havalı bijon tabancası - 5	Somun sıkma makineleri	1.404	Z
45	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 7	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.305	Z
25	Basınçlı su tabancası	Basınçlı su tabancası	1.253	Y
21	Havalı avuç taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.090	Y
13	PVC çapak temizleme makinesi	PVC işleme makineleri	0.790	Y
23	Kaynak makinesi	Kaynak makinesi	0.710	Z
50	Şarjlı matkap	Somun sıkma makineleri	0.694	Z
14	Giyotin - 1	Giyotin	0.484	Z
10	Sütunlu matkap	Sütunlu matkap	0.451	X
12	PVC birleştirme makinesi	PVC işleme makineleri	0.449	X
15	Giyotin - 2	Giyotin	0.405	Z

* X-ekseni → elin sırtından ayasına doğru (pozitif eksen)
Y-ekseni → küçük parmaktan başparmağa doğru (pozitif eksen)
Z-ekseni → üçüncü metakarpal kemikten parmak köküne doğru (pozitif eksen)

Çizelge 4.9 Baskın titreşim ivmesi (Max(RMS)/Min(RMS)) bakımından sıralama

No	Alet/araç	Grup	Oran1	Oran2
36	**Havalı martopikör - 2**	**Deliciler**	**4.797**	**1.068**
46	**Elektrikli iri taşlama makinesi - 8**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**3.396**	**1.399**
28	**Elektrikli matkap - küçük - 1**	**Deliciler**	**2.961**	**1.323**
41	**Havalı bijon tabancası - 7**	**Somun sıkma makineleri**	**2.416**	**1.176**
25	**Basınçlı su tabancası**	**Basınçlı su tabancası**	**2.393**	**1.185**
51	**Elektrikli matkap - büyük - 3**	**Deliciler**	**2.371**	**1.590**
16	**Açılı kesim makinesi**	**PVC işleme makineleri**	**2.339**	**1.398**
1	**Kalıp makinesi - 1**	**Parke kalıp makinesi**	**2.283**	**1.286**
40	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 6**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**2.177**	**1.506**
47	**Elektrikli spiral kesme makinesi - 2**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**2.143**	**1.377**
27	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 4**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**2.140**	**1.326**
38	**Elektrikli avuç kesme makinesi**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**2.096**	**1.489**
37	**Havalı bijon tabancası - 6**	**Somun sıkma makineleri**	**2.000**	**1.409**
43	**Elektrikli matkap - küçük - 3**	**Deliciler**	**1.968**	**1.307**
19	**Havalı bijon tabancası - 4**	**Somun sıkma makineleri**	**1.923**	**1.358**
44	**Elektrikli somun sıkma makinesi - 2**	**Somun sıkma makineleri**	**1.921**	1.602
9	**Havalı bijon tabancası - 2**	**Somun sıkma makineleri**	**1.860**	**1.385**
4	**Asfalt kesme makinesi**	**Asfalt kesme makinesi**	**1.828**	**1.299**
26	**Büyük çekiç**	**Büyük çekiç**	**1.780**	**1.306**
49	**Bant soyma makinesi**	**Bant soyma makinesi**	**1.760**	**1.138**
50	**Şarjlı matkap**	**Somun sıkma makineleri**	**1.732**	1.627
7	**Havalı martopikör - 1**	**Deliciler**	**1.724**	**1.321**
33	**Elektrikli spiral kesme makinesi - 1**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**1.722**	**1.298**
34	**Elektrikli spiral taşlama makinesi**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**1.692**	**1.392**
3	**Havalı bijon tabancası - 1**	**Somun sıkma makineleri**	**1.690**	1.532
32	**Elektrikli somun sıkma makinesi - 1**	**Somun sıkma makineleri**	**1.637**	**1.452**
45	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 7**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**1.585**	**1.494**
48	**Elektrikli spiral kesme makinesi - 3**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**1.528**	**1.275**
5	**Kompaktör - 1**	**Kompaktörler**	**1.505**	**1.458**
18	Havalı bijon tabancası - 3	Somun sıkma makineleri	1.491	1.529
39	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 5	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.459	**1.404**
17	Çim biçme makinesi	Çim biçme makinesi	1.397	1.550
21	Havalı avuç taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.388	1.574
23	Kaynak makinesi	Kaynak makinesi	1.372	**1.440**
11	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.372	**1.455**
42	Tranjer testere	Tezgâhlı kesiciler	1.354	**1.429**
30	Elektrikli matkap - büyük - 1	Deliciler	1.312	1.573
15	Giyotin - 2	Giyotin	1.285	1.549
22	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.256	1.573
14	Giyotin - 1	Giyotin	1.236	1.572
2	Kalıp makinesi - 2	Parke kalıp makinesi	1.233	1.624
6	Elektrikli martopikör	Deliciler	1.223	1.615
24	Havalı bijon tabancası - 5	Somun sıkma makineleri	1.216	1.590
8	Havalı zımba tabancası	Havalı zımba tabancası	1.204	1.583
13	PVC çapak temizleme makinesi	PVC işleme makineleri	1.183	1.573
10	Sütunlu matkap	Sütunlu matkap	1.181	1.616
35	Kompaktör - 2	Kompaktörler	1.178	1.570
29	Elektrikli matkap - küçük - 2	Deliciler	1.168	1.599
31	Elektrikli matkap - büyük - 2	Deliciler	1.159	1.633
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	1.079	1.684
12	PVC birleştirme makinesi	PVC işleme makineleri	1.047	1.686

El-kol titreşiminin baskın bir eksen ya da tüm eksenlerden alınan titreşimin yaklaşık ortak katkısı ile oluştuğunu belirlemek için bir diğer oran değeri daha (Oran2) tanımlanmıştır. Buna göre, titreşim vektörünün (AEQ) baskın eksen ivmesine (Max(RMS)) bölünmesi sonucunda bulunan Oran2, titreşim vektörüne baskın eksen haricindeki diğer eksenlerin katkısını göstermektedir. Yine, AEQ/Max(RMS) oranı 1,5'dan küçük olan alet/araçlar, baskın eksenden gelen el-kol titreşimi ivmesinin diğer eksenlerden en az birisinden oldukça yüksek olduğu duruma işaret etmektedir. Bu duruma bağlı olarak benzer işlev grubundaki alet/araçların bu parametre açısından durumu incelenmiş ve hemen hemen Oran1 ile aynı sonuçlar elde edilmiştir.

İşçilerin çalışma sırasında kullandıkları farklı iş aletleri nedeniyle oluşan kısmi maruziyet puanları toplanarak toplam maruziyet puanı (TEP) belirlenmektedir. Buna göre maruziyet eylem değeri (EAV) 100 puan, maruziyet sınır değeri (ELV) ise 400 puana karşılık gelmektedir. 100 veya daha büyük bir toplam maruziyet puan değeri çalışanlar bakımından artan riske işaret etmekte olup riski azaltmak için idari veya mühendislik kontrollerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Diğer yandan 400 veya daha büyük bir toplam maruziyet puan değeri, güvenli sınırların aşıldığını, işçilerin HAVS gelişimi bakımından kayda değer risk altında olduğuna ve titreşim maruziyetini azaltmak için derhal kontrol önlemlerinin uygulamaya konulması gerektiğine işaret etmektedir.

Bu tez çalışmasında işçilerin titreşim maruziyeti sonucunda oluşan saatlik ve toplam maruziyet puanları hesaplanmış ve Çizelge 4.10'da sunulmuştur. Yukarıda özetlendiği üzere EAV ve ELV değerlendirmeleri TEP üzerinden yapılmalı olsa da, saha çalışması sırasında izin verilen ölçüm süreleri oldukça kısa olduğundan ve TEP de ölçüm süresini maruziyet süresine eşleştirerek hesaplandığından, TEP değerleri olması gerekenden düşük çıkmaktadır. Bu nedenle bu bölümdeki değerlendirmeler HEP üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 4.10 incelendiğinde kompaktörler ile deliciler grubundaki martopikörlerin ELV üzerinde puana sahip olduğu ve maruziyeti azaltmak ya da yok etmek için mutlaka idari/mühendislik kontrollerine başvurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan deliciler grubunun diğer elemanları, basınçlı hava ile çalışan somun sıkma makineleri, bant soyma makinesi, asfalt kesme makinesi ile büyük çekiç de çalışanları EAV üzerinde titreşime maruz bırakmaktadır.

El-kol titreşimi ölçümü alınan 51 adet alet/araç, en yüksek titreşim ivmesini veren baskın frekans bakımından da değerlendirilmiştir. Ölçümler ⅓ oktav frekans bantları üzerinden yapıldığından, ağırlıklandırılmış titreşim ivmeleri 0.4 Hz, 0.5 Hz, 0.63 Hz, 0.8 Hz, 1 Hz, 1.25 Hz, 1.6 Hz, 2 Hz, 2.5 Hz, 3.15 Hz, 4 Hz, 5 Hz, 6.3 Hz, 8 Hz, 10 Hz, 12.5 Hz, 16 Hz, 20 Hz, 25 Hz, 31.5 Hz, 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 630 Hz, 800 Hz, 1000 Hz, 1250 Hz, 1600 Hz, 2000 Hz ve 2500 Hz merkez frekanslarda kaydedilmiştir. Tüm araçlara ait frekans-ivme grafikleri Ek-1'de sunulmuştur. Elle iletilen titreşim için 1000 Hz'in üzerine kadar frekanslar sağlığa zararlı görülmekte iken 0.5 Hz'in altındaki frekanslar ise yol tutmasına neden olabilmektedir. Çizelge 4.11'de sunulan baskın frekanslar incelendiğinde giyotin ve PVC birleştirme makinesinin X, Y ve Z eksenlerindeki en yüksek ağırlıklandırılmış titreşim ivmelerinin, mide bulantısına neden olabilen 0.4 Hz merkez frekans bandından geldiği görülmektedir. 40 Hz - 160 Hz arasındaki düşük merkez frekanslarda her üç eksendeki ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmelerinin aynı frekanstan geldiği kaydedilmiştir. Yüksek devirle dönen avuç taşlama/kesme makineleri grubundaki araçların büyük kısmının ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmeleri düşük merkez frekanslardan gelmekte iken somun sıkma makineleri grubundaki araçların ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmeleri ise frekans tayfının üst sınırlarına aittir. Diğer yandan, ölçüm alınan araçların büyük çoğunluğuna ait

ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmeleri parmaklardan bileğe doğru olan X-ekseninden gelmektedir.

Çizelge 4.10 Saatlik (HEP) ve toplam (TEP) maruziyet puanı bakımından sıralama

No	Alet/araç	Grup	HEP	TEP
5	**Kompaktör - 1**	**Kompaktörler**	**933**	**84**
35	**Kompaktör - 2**	**Kompaktörler**	**648**	**29**
36	**Havalı martopikör - 2**	**Deliciler**	**570**	**66**
29	**Elektrikli matkap - küçük - 2**	**Deliciler**	**413**	**15**
6	**Elektrikli martopikör**	**Deliciler**	**407**	**12**
31	*Elektrikli matkap - büyük - 2*	*Deliciler*	*357*	*14*
44	*Elektrikli somun sıkma makinesi - 2*	*Somun sıkma makineleri*	*290*	*13*
30	*Elektrikli matkap - büyük - 1*	*Deliciler*	*264*	*10*
49	*Bant soyma makinesi*	*Bant soyma makinesi*	*244*	*13*
4	*Asfalt kesme makinesi*	*Asfalt kesme makinesi*	*146*	*23*
3	*Havalı bijon tabancası - 1*	*Somun sıkma makineleri*	*146*	*7*
26	*Büyük çekiç*	*Büyük çekiç*	*138*	*2*
28	*Elektrikli matkap - küçük - 1*	*Deliciler*	*118*	*4*
51	*Elektrikli matkap - büyük - 3*	*Deliciler*	*112*	*3*
41	*Havalı bijon tabancası - 7*	*Somun sıkma makineleri*	*110*	*6*
33	*Elektrikli spiral kesme makinesi - 1*	*Avuç taşlama/kesme makineleri*	*104*	*4*
32	Elektrikli somun sıkma makinesi - 1	Somun sıkma makineleri	92	3
11	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 1	Avuç taşlama/kesme makineleri	89	5
22	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	77	3
16	Açılı kesim makinesi	PVC işleme makineleri	72	4
34	Elektrikli spiral taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	68	2
7	Havalı martopikör - 1	Deliciler	67	5
43	Elektrikli matkap - küçük - 3	Deliciler	55	3
39	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 5	Avuç taşlama/kesme makineleri	53	1
37	Havalı bijon tabancası - 6	Somun sıkma makineleri	46	2
17	Çim biçme makinesi	Çim biçme makinesi	46	4
27	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 4	Avuç taşlama/kesme makineleri	42	3
9	Havalı bijon tabancası - 2	Somun sıkma makineleri	41	5
48	Elektrikli spiral kesme makinesi - 3	Avuç taşlama/kesme makineleri	32	1
1	Kalıp makinesi - 1	Parke kalıp makinesi	29	2
18	Havalı bijon tabancası - 3	Somun sıkma makineleri	28	2
19	Havalı bijon tabancası - 4	Somun sıkma makineleri	26	1
2	Kalıp makinesi - 2	Parke kalıp makinesi	24	1
46	Elektrikli iri taşlama makinesi - 8	Avuç taşlama/kesme makineleri	22	1
47	Elektrikli spiral kesme makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	21	1
42	Tranjer testere	Tezgâhlı kesiciler	18	1
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	16	1
20	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 2	Avuç taşlama/kesme makineleri	16	1
40	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 6	Avuç taşlama/kesme makineleri	12	1
8	Havalı zımba tabancası	Havalı zımba tabancası	12	1
24	Havalı bijon tabancası - 5	Somun sıkma makineleri	10	0
45	Elektrikli avuç taşlama makinesi - 7	Avuç taşlama/kesme makineleri	8	0
21	Havalı avuç taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	6	0
25	Basınçlı su tabancası	Basınçlı su tabancası	4	0
13	PVC çapak temizleme makinesi	PVC işleme makineleri	3	0
50	Şarjlı matkap	Somun sıkma makineleri	3	0
23	Kaynak makinesi	Kaynak makinesi	2	0
15	Giyotin - 2	Giyotin	1	0
14	Giyotin - 1	Giyotin	1	0
10	Sütunlu matkap	Sütunlu matkap	1	0
12	PVC birleştirme makinesi	PVC işleme makineleri	1	0

Çizelge 4.11 En yüksek titreşim ivmesine ait frekans bakımından sıralama

No	Alet/araç	Grup	Frekans (a_{hw})	Eksen
14	Giyotin - 1	Giyotin	0.4	X, Y, Z
12	PVC birleştirme makinesi	PVC işleme makineleri	0.4	X, Y, Z
31	**Elektrikli matkap - büyük - 2**	**Deliciler**	**40**	**X, Y, Z**
4	**Asfalt kesme makinesi**	**Asfalt kesme makinesi**	**50**	**Y, Z**
3	**Havalı bijon tabancası - 1**	**Somun sıkma makineleri**	**50**	**X, Y, Z**
13	**PVC çapak temizleme makinesi**	**PVC işleme makineleri**	**50**	**X, Y, Z**
35	**Kompaktör - 2**	**Kompaktörler**	**80**	**X, Y, Z**
25	**Basınçlı su tabancası**	**Basınçlı su tabancası**	**160**	**X, Y, Z**
11	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 1**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**315**	**X**
22	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 3**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**315**	**Y**
48	**Elektrikli spiral kesme makinesi - 3**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**315**	**Z**
47	**Elektrikli spiral kesme makinesi - 2**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**315**	**X, Y, Z**
30	**Elektrikli matkap - büyük - 1**	**Deliciler**	**400**	**Y**
34	**Elektrikli spiral taşlama makinesi**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**400**	**Y**
27	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 4**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**400**	**Y**
46	**Elektrikli iri taşlama makinesi - 8**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**400**	**X, Y, Z**
20	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 2**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**400**	**X, Z**
45	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 7**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**400**	**Y**
7	**Havalı martopikör - 1**	**Deliciler**	**500**	**X, Y, Z**
17	**Çim biçme makinesi**	**Çim biçme makinesi**	**630**	**Y, Z**
10	**Sütunlu matkap**	**Sütunlu matkap**	**630**	**X**
5	**Kompaktör - 1**	**Kompaktörler**	**800**	**X**
29	**Elektrikli matkap - küçük - 2**	**Deliciler**	**800**	**X**
44	**Elektrikli somun sıkma makinesi - 2**	**Somun sıkma makineleri**	**800**	**X, Y**
43	**Elektrikli matkap - küçük - 3**	**Deliciler**	**800**	**X**
1	**Kalıp makinesi - 1**	**Parke kalıp makinesi**	**800**	**X, Z**
2	**Kalıp makinesi - 2**	**Parke kalıp makinesi**	**800**	**X**
42	**Tranjer testere**	**Tezgâhlı kesiciler**	**800**	**X, Y, Z**
8	**Havalı zımba tabancası**	**Havalı zımba tabancası**	**800**	**X**
28	**Elektrikli matkap - küçük - 1**	**Deliciler**	**1000**	**X**
33	**Elektrikli spiral kesme makinesi - 1**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**1000**	**X**
15	**Giyotin - 2**	**Giyotin**	**1000**	**Y, Z**
41	**Havalı bijon tabancası - 7**	**Somun sıkma makineleri**	**1250**	**X**
32	**Elektrikli somun sıkma makinesi - 1**	**Somun sıkma makineleri**	**1250**	**X**
39	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 5**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**1250**	**Y**
37	**Havalı bijon tabancası - 6**	**Somun sıkma makineleri**	**1250**	**X, Z**
38	**Elektrikli avuç kesme makinesi**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**1250**	**Z**
40	**Elektrikli avuç taşlama makinesi - 6**	**Avuç taşlama/kesme makineleri**	**1250**	**Y, Z**
24	**Havalı bijon tabancası - 5**	**Somun sıkma makineleri**	**1250**	**Z**
49	Bant soyma makinesi	Bant soyma makinesi	1600	X, Y, Z
26	Büyük çekiç	Büyük çekiç	1600	X
51	Elektrikli matkap - büyük - 3	Deliciler	1600	Y, Z
16	Açılı kesim makinesi	PVC işleme makineleri	1600	X, Y, Z
21	Havalı avuç taşlama makinesi	Avuç taşlama/kesme makineleri	1600	X
50	Şarjlı matkap	Somun sıkma makineleri	1600	X
6	Elektrikli martopikör	Deliciler	2000	Y
9	Havalı bijon tabancası - 2	Somun sıkma makineleri	2000	X
36	Havalı martopikör - 2	Deliciler	2500	X
18	Havalı bijon tabancası - 3	Somun sıkma makineleri	2500	X, Y, Z
19	Havalı bijon tabancası - 4	Somun sıkma makineleri	2500	X, Z
23	Kaynak makinesi	Kaynak makinesi	2500	X, Y, Z

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında Sivas, Erzincan ve Kahramanmaraş il sınırları içerisinde bulunan kömür, altın ve jips çıkartılan maden işyerlerine ait mekanik, tamir-bakım, elektrik ve vulkanize atölyeleri ile Sivas il merkezinde bulunan sanayiden sayılan işyerlerinde elle tutulan ya da elle güdülen alet/araçları kullanan işçilerin el-kol titreşim maruziyetleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Araçlar arasında açılı kesim makinesi, asfalt kesme makinesi, bant soyma makinesi, basınçlı su tabancası, büyük çekiç, çim biçme makinesi, elektrikli avuç taşlama makinesi, elektrikli büyük matkap, elektrikli küçük matkap, elektrikli martopikör, elektrikli somun sıkma makinesi, elektrikli spiral kesme makinesi, elektrikli spiral taşlama makinesi, giyotin, havalı avuç taşlama makinesi, havalı bijon tabancası, havalı martopikör, havalı zımba tabancası, kaynak makinesi, kompaktör, parke kalıp makinesi, PVC birleştirme makinesi, PVC çapak temizleme makinesi, sütunlu matkap ve tranjer testere bulunmaktadır. El-kol titreşimi ölçümü yapılan alet/araçlar benzer işlev grupları altında toplanmıştır. Bunlar: kompaktörler, deliciler, asfalt kesme makinesi, büyük çekiç, avuç taşlama/kesme makineleri, somun sıkma makineleri, çim biçme makinesi, parke kalıp makineleri, PVC işleme makineleri, havalı zımba tabancası, basınçlı su tabancası, kaynak makinesi, sütunlu matkap, bant soyma makinesi, tranjer testere ve giyotinlerdir.

El-kol titreşimi maruziyet ölçüm sonuçları aşağıdaki dört kategoriye ayrılarak, değerlendirilmiştir.

a) Benzer işlev görev alet/araç gruplarının temsili titreşim ivmesi değerleri incelendiğinde kompaktörler, deliciler, asfalt kesme makinesi, büyük çekiç ve somun sıkma makinelerinin maruziyet limit değeri üzerinde el-kol titreşim vektörü sunduğu, çim biçme makinesi, avuç taşlama/kesme makineleri, parke kalıp makineleri, bant soyma makinesi, tranjer testere ve PVC işleme makinelerine ait titreşim ivmelerinin maruziyet eylem değeri üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir.
b) Elle tutularak veya elle güdülerek işlev gören alet gruplarının temsili titreşim ivmesi değerleri incelendiğinde gruplar arasında titreşim ivmesi büyüklüğü bakımından kayda değer farklılık bulunmadığı sonucuna varılmıştır.
c) İş aleti/aracı (doğrudan) ya da işlenen nesnenin (dolaylı) tutulması ile çalışılan grupların temsili titreşim ivmesi değerleri incelendiğinde doğrudan el-kol titreşimine maruz bırakan alet/araçların, dolaylı yoldan titreşim maruziyetine neden olan araçlara kıyasla çok daha yüksek titreşim ivmelerine neden olduğu belirlenmiştir.
d) Elektrik ya da basınçlı akışkan tahrikli alet/araç gruplarının temsili titreşim ivmesi değerleri incelendiğinde elektrik tahrikli alet/araçların daha düşük el-kol titreşimi ivmesi oluşturdukları görülmüştür.

El-kol titreşimi maruziyetine yol açan alet/araçlar, en yüksek titreşim ivmesi bazında değerlendirildiğinde deliciler ve kompaktörler gruplarının oldukça yüksek titreşim ivmesine yol açtığı görülmüştür. Ayrıca asfalt kesme makinesi ile büyük çekiç te maruziyet sınır değeri üzerinde eksenel titreşim ivmesine sahiptir. Somun sıkma makineleri ile avuç taşlama/kesme makineleri gruplarındaki araçların büyük bölümü de maruziyet eylem değeri üzerinde titreşime neden olmaktadır. Sonuç olarak deliciler ve kompaktörler gruplarının oldukça yüksek titreşim ivmesine, somun sıkma makineleri ile avuç taşlama/kesme makineleri gruplarının da yüksek titreşim ivmesine yol açtığı tespit edilmiştir.

En büyük titreşim ivme eksenleri incelendiğinde maruziyet sınır değeri üzerinde titreşime neden olan 15 aletin 4 adedinin X (Ch1), 4 adedinin Y (Ch2) ve 7 adedinin de Z (Ch3) eksenlerinde en yüksek titreşim ivmesi verdiği görülmektedir. Diğer yandan X ekseni, maruziyet eylem değeri üzerindeki 16 aletin 7 adedinde en yüksek titreşim ivmesine neden olarak baskın eksen olarak belirirken Z ekseni 6 araçla onu izlemekte ve Y ekseni ise 3 araçla en son sırada bulunmaktadır. En büyük eksenel titreşim ivmesi alet grupları bazında incelendiğinde deliciler grubundaki martopikörler için X ekseni, matkaplar için Z ekseni, kompaktörler için X ve Z ekseni ile somun sıkma makineleri için X ekseninin baskın eksen olduğu tespit edilmiştir.

Ölçülen titreşim ivmelerinin bağlı olabileceği baskın ekseni bulmak için en büyük eksenel ivme, en küçük eksenel ivmeye bölünmüştür. Bölüm değeri (Oran1) 1,5'den büyük olan alet/araçlar baskın eksene bağlı olarak tanımlanmış ve buna bağlı olarak benzer işlev grubundaki alet/araçların bu parametre açısından durumu incelenmiştir. Tez çalışmasında ölçüm alınan araçların çoğunluğunun elektrik tahrikli olmasına karşın basınçlı akışkan ile tahrik edilen alet/araçların daha büyük bölümü baskın bir eksen üzerinde titreşim ivmesine sahip bulunmuştur. Durum benzer işlev gören alet/araç grupları bakımından incelendiğinde somun sıkma makineleri, avuç taşlama/kesme makineleri ve deliciler gruplarının da baskın eksene bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Her üç grup ta yüksek devirli ya da yüksek frekanslı araçlardır.

Titreşim vektörünün (AEQ) baskın eksen ivmesine (Max(RMS)) bölünmesi sonucunda bulunan Oran2, titreşim vektörüne baskın eksen haricindeki diğer eksenlerin katkısını göstermektedir. Oran2'nin 1,5'dan küçük olduğu alet/araçlar, baskın eksenden gelen el-kol titreşimi ivmesinin diğer eksenlerden en az birisinden oldukça yüksek olduğu duruma işaret etmektedir. Bu duruma bağlı olarak benzer işlev grubundaki alet/araçların bu parametre açısından durumu incelenmiş ve hemen hemen Oran1 ile aynı sonuçlar elde edilmiştir.

İşçilerin titreşim maruziyeti sonucunda oluşan saatlik (HEP) ve toplam maruziyet puanları (TEP) değerlendirildiğinde kompaktörler ile deliciler grubundaki martopikörlerin ELV üzerinde puana sahip olduğu ve maruziyeti azaltmak ya da yok etmek için mutlaka idari/mühendislik kontrollerine

başvurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan deliciler grubunun diğer elemanları, basınçlı hava ile çalışan somun sıkma makineleri, bant soyma makinesi, asfalt kesme makinesi ile büyük çekiç de çalışanları EAV üzerinde titreşime maruz bırakmaktadır.

Tez çalışmasında el-kol titreşimi ölçümü alınan 51 adet alet/araç, en yüksek titreşim ivmesini veren baskın frekans bakımından değerlendirildiğinde giyotin ve PVC birleştirme makinesinin X, Y ve Z eksenlerindeki en yüksek ağırlıklandırılmış titreşim ivmelerinin, mide bulantısına neden olabilen 0.4 Hz merkez frekans bandından geldiği görülmektedir. 40 Hz - 160 Hz arasındaki düşük merkez frekanslarda her üç eksendeki ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmelerinin aynı frekanstan geldiği kaydedilmiştir. Yüksek devirle dönen avuç taşlama/kesme makineleri grubundaki araçların büyük kısmının ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmeleri düşük merkez frekanslardan gelmekte iken somun sıkma makineleri grubundaki araçların ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmeleri ise frekans tayfının üst sınırlarına aittir. Diğer yandan ölçüm alınan araçların büyük çoğunluğuna ait ağırlıklandırılmış en yüksek titreşim ivmeleri parmaklardan bileğe doğru olan X-ekseninden gelmektedir.

5.2 ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında madencilik sektöründe faaliyet gösteren işyerlerinde çalışan ve yaptıkları iş nedeniyle el-kol titreşimine maruz kalan işçiler üzerinde titreşim maruziyeti ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın daha da olgunlaştırılması için aşağıdaki önerilerde bulunulmuştur.

a) Örnek uzayı, işyerlerinde kullanılan daha fazla iş aleti/aracı gruplarını kapsayacak şekilde genişletilmelidir. Böylece çalışanların farklı tipteki alet/açları kullanırken maruz kaldıkları titreşim düzeyi tespit edilebilir.
b) Tüm araç gruplarının farklı malzemede çalıştırılması ile malzeme özelliklerinin el-kol titreşimi maruziyeti üzerine etkisi ortaya konabilir. Sözgelimi madencilikte yaygın kullanım gören martopikörler değişik yankayaç ve cevherlerde denenebilirler. Benzer şekilde avuç taşlama/kesme makineleri, tranjer testere ve sütunlu matkap farklı metal türlerinde çalıştırılabilirler.
c) Veri içindeki asfalt kesme makinesi, çim biçme makinesi, bant soyma makinesi, tranjer testere, asfalt kesme makinesi ve çekiç gibi alet/araçlardan yalnızca bir kez örnekleme yapılabilmiştir. Bu nedenle bu grubun ortalaması alınamamış ve grubu temsilen tek veriye dayanmak durumunda kalınmıştır. Özellikle istatistiksel değerlendirmelerin daha sağlıklı olarak yapılabilmesini sağlayabilmek için her bir iş aleti türünden daha fazla sayıda örnekleme yapılmalıdır. Ancak özel sektöre bağlı işyerlerinin fiziksel risk etmenleri grubundaki titreşim ölçümlerini yaptırmakta gönülsüz davrandığı söylenebilir. Bu durum ölçüm sürelerinin de kısalmasına neden olmaktadır.

KAYNAKÇA

ACGIH Worldwide. (2006). *Documentation of the Threshold Limit Values for Physical Agents*, Seventh Edition.

Aiba, Y., Ohshiba S., Ishizuka H., Sakamoto K., Morioka I., Miyashita K., Iwata H. (1999). A study on the effects of countermeasures for vibrating tool workers using an impact wrench, *Industrial Health*, 37(4), 426-431.

Bilir, N. (2007). Mesleksel Kas İskelet Sistemi Hastalıkları, *İş Sağlığı Ve Güvenliği Dergisi*, Sayı 34, pp. 10-13.

Brüel&Kjaer, (2002). Human vibration, *Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S*, Nærum, Denmark.

BSI, (1987) BS 6842: Guide to measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to the hand, *British Standards Institute*.

Burström, L., Gregory, N., Lundström, R., Nilsson, T., (2009) Occupational exposure to vibration from hand-held tools: A teaching guide on health effects, risk assessment and prevention, *WHO Press*, Geneva, ISBN 9789241598613.

Cherniak, M. (1994). Upper Extremity Disorders *(in Rosenstock, L., M.D., M.P.H., Cullen M.R., M.D., Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine)*, Saunders Company, USA, 380-382

ÇSGB. (2013). Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.

Çay, C.İ., (2006). Tarım Traktörleri Sürücü Koltukları Titreşim Sönümleme Elemanları Üzerine Bir Araştırma, doktora tezi, Ankara Üniversitesi, 214 s.

Dasgupta, A.K., Harrison, J. (1996). Effects of vibration on the hand-arm system of miners in India. *Occupational Medicine*, 46(1), 71-78.

Ergör, A. (2007) İnşaat işkolu ve meslek hastalıkları, *İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiri Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, 05-06 Ekim, Ankara.

EU, (2006). Non-binding guide to good practice with a view to implementation of directive 2002/44/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibrations), *Directorate-General for Employment, Social Affairs and Inclusion, European Commission*, ISBN: 978-92-79-07533-9, 61 pp.

Futatsuka, M., Yasutake, N., Sakurai, T., Matsumoto, T. (1985). Comparative study of vibration disease among operators of vibrating tools by factor analysis, *British Journal of Industrial Medicine*, 42, 260-266.

Futatsuka, M., Shono, M., Sakakibara, H., Quoc Quan, P. (2005). Hand-Arm vibration syndrome among quarry workers in Vietnam. *Journal of Occupational Health*, 47(2), 165-170.

Gemne, G., Pyykkö, I., Taylor, W., Pelmear, P. L. (1987). The Stockholm workshop scale for the classification of cold-induced Raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome (revision of the Taylor-Pelmear scale), *Scand J Work Environ Health*, 13(4), 275-8.

Griffin, M.J. (1997). Handbook of human vibration, Academic Press Limited, ISBN: 0-12-303040-4.

Güven, H.N.R. (2011). Meslek hastalıkları rehberi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, (Editörler: Berk, M., Önal, B. ve Güven, R.) ISBN : 978-975-455-169-3.

Güven, H.N.R. (2002). "Titreşimli cihaz kullananlarda titreşimin el-kol üzerindeki sağlık etkileri", Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Ens. (Doktora Tezi), p.124, Ankara.

Haines, T., Chong, J., Verrall, A.B., Julian, J., Bernholz, C., Spears, R., Muir, D.C. (1988). Aesthesiometric threshold changes over the course of a work shift in miners exposed to hand-arm vibration. *British Journal of Industrial Medicine*, 45(2), 106-111.

HSE, (Health & Safety Executive). (2010). "Topic Inspection Pack Hand-Arm Vibration", 1-10

Hudock, S.D. (1990). Performance analysis of acute exposure to hand-arm vibration among underground drillers. *Proceedings of the Human Factors Soc 34th Annual Meeting Human Factors*, Soc: 734-737.

ILO, (1998). Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Fourth Edition, Vol.2, 231.

ISO 5349-1. (2001). Mechanical Vibration- Guidelines for the Measurement and the Assessment of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration.

ISO 5349-2. (2001). Mechanical vibration -- Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.

Ikeda, K. (1998). Ishizuka H., Vibration acceleration magnitudes of hand-held tools and workpieces, *Industrial Health*, 11, 197-208.

İşsever, H. (1999). Vibrasyon ve insan sağlığı üzerindeki etkileri, *İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı Bildiriler Kitabı*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO Yayın No: 239, ISBN:975-395-357-7, 85-98.

Koukoulaki, T. (2001). Workers' exposure to vibrations: Council common position, *Newsletter of The European Trade Union Technical Bureau for Health and Safety (TUTB Newsletter)*, No.17, 16-18

Kürkçü, E.A., Ahioğlu, S.S., Çeviksoy, N. (2009). "İspanya Ulusal İş Güvenliği Ve Hijyeni Enstitüsü'nde (INSHT) Gerçekleştirilen "İşyerlerinde Havalandırma ve Titreşim"", *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, Sayı 43, pp. 40-45

Malerbi, B., (1989). Vibration *(Waldron, Occupational Health Practice içinde)*, Chapter 6, Third Edition, 101-112

Mckenna, K. M., Blann, A.D., Allen, J.A., (1994). Vascular responses in chain saw operators, *Occupational and Environmental Medicine*, V.51, 366-370

Miller, R.F., Lohman, W.H., Maldonado, G., Mandel, J.S. (1994). An epidemiologic study of carpal tunnel syndrome and hand-arm vibration syndrome in relation to vibration exposure, *The Journal of Hand Surgery*, 19A(1), 99-105.

Mirbod, S.M., Yoshida, H., Jamali, M., Masamura, K., Inaba, R., Iwata, H. (1997). Assessment of hand arm vibration exposure among traffic police motorcyclists, *Int. Arch. Occupational Environmental Health*, 70, 22-28.

Narini, P.P., Novak, C.B., Mackinnon, S.E., Coulson-Roos, C. (1993). Occupational exposure to hand vibration in northern Ontario gold miners. *The Journal of Hand Surgery*, 18(6), 1051–1058.

NIOSH, (1989). Occupational Exposure to Hand-Arm Vibration, U.S Department of Health and Human Services, Ohio, USA.

Nor, A. A., Mohd, I.G., Musli, N.Y. (2014). Hand arm vibratıon and personnel noise exposure characteristics of hand held grass cutter machines, *The 21st International Congress on Sound and Vibration,* Beijing China,1-8

Nyantumbu, B., Barber, C.M., Ross, M., Curran, A.D., Fishwick, D., Dias, B., Kgalamono, S., Phillips, J.I. (2007). Hand–arm vibration syndrome in South African gold miners. *Occupational Medicine*, 57(1), 25–29.

Oddo, R., Loyau, T., Boileau, P.E., Champoux, Y. (2004). Design of a suspended handle to attenuate rock drill hand-arm vibration: model development and validation. *Journal of Sound and Vibration*, 275(3-5), 623–640.

Rehn, B. (2004). Musculoskeletal Disorders and Whole-Body Vibration Exposure, Umea Uni. ISSN 0346-6612, ISBN 91-7305*-517-4, Sweden.

Ruffle, P.A.B., Lee W.R., McCallum, R.I., Murray, R., (1987). Hunter's Diseases of Occupations, Chapter 10, Sixth Edition, London, 460-481

Sağlam, H. (2011). "Çalışma hayatında maruz kalınan titreşimin ölçülmesi ve bu maruziyetten kaynaklanan titreşimin insan sağlığına etkisi", *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, 91 s.

South, T. (2004). Managing Noise and Vibration at Work, *Elsevier*.

SVANTEK, (2013). SVAN 106 vibration meter user's manual, *SVANTEK Sp. z o.o*., Warsaw, Poland, 95 pp.

Şahin, M.N. ve Işık, G. (2007). Titreşim, İş Sağlığı ve İş Güvenliği Açısından Etkileri - Risklerin Kontrolü ve Uygulamalar, *İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, TMMOB-İMO, 241-261.

Yamada,S. and Sakakibara, H. (1998). Prevention strategy for vibration hazards by portable power tools, national forest model of comprehensive prevention system in Japan", *Industrial Health*, 36, 141-153

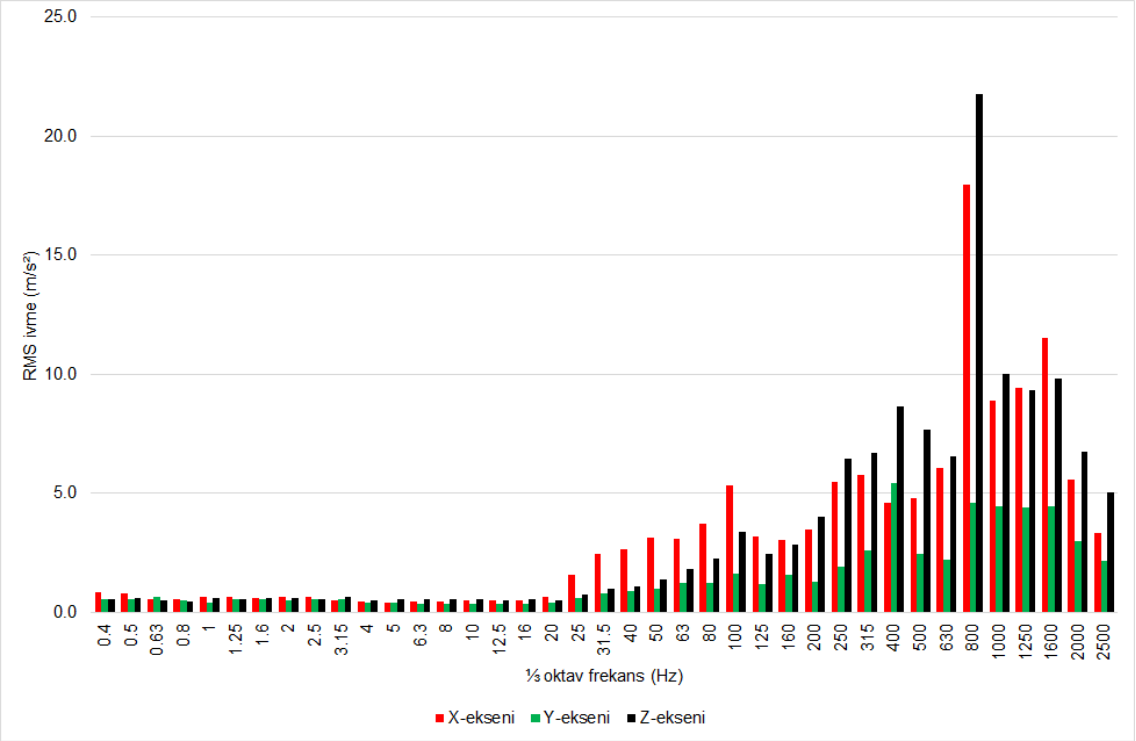
Yonekawa, Y., Maeda, S., Morioka,M., Kanada, K., Takahashi,Y., (1998). Prediction of TTS for hand intermittent vibration, *Industrial Health*, 36(2), 191-196.

Zeyrek, S. (2009). Titreşim, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, 111s.

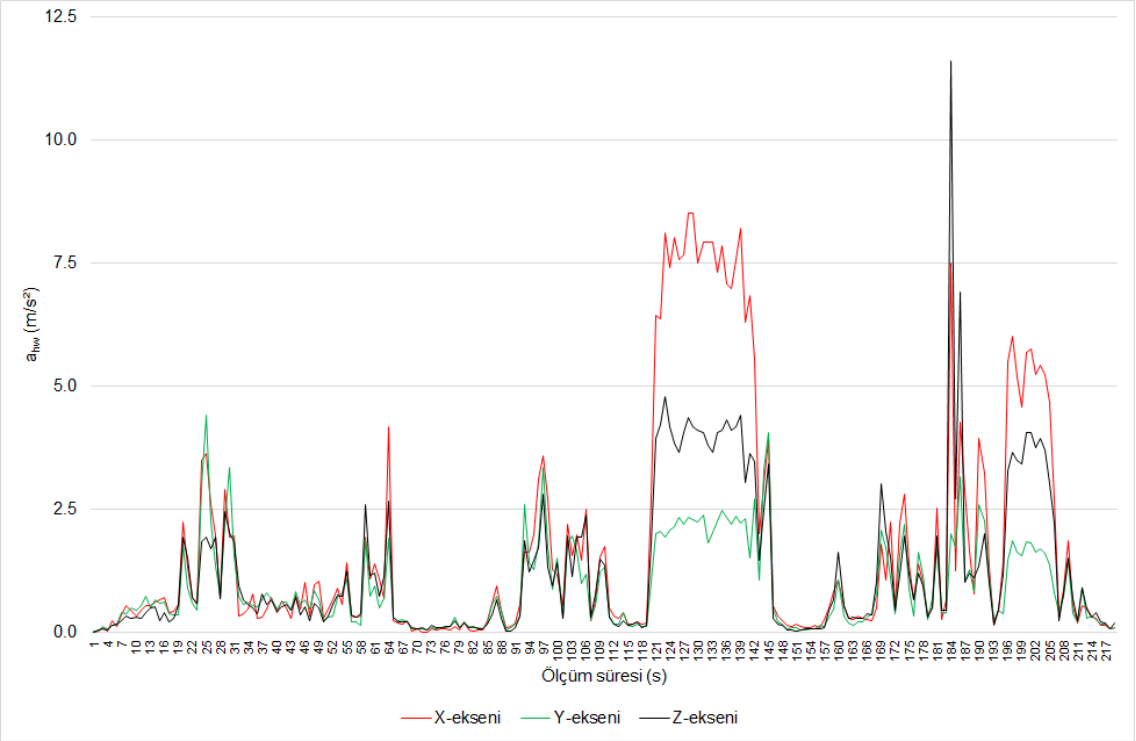
WEB1. (2015) www.ilo.org, alındığı tarih: 01.09.2015

WEB2. (2015) www.osha.eu.int, alındığı tarih: 01.09.2015
WEB3. (2013) T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik Yıllıkları, 2012 yılı istatistikleri, http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/tr/kurumsal/istatistikler/sgk_istatistik_yilliklari/, alındığı tarih: 01.08.2013
WEB4. (2015) http://www.londonhealthandsafetygroup.org/downloads/140512-hand-arm-vibration-syndrome-by-stewart-mcnaughton/, alındığı tarih: 01.09.2015
WEB5. (2015) https://www.britsafe.org/sites/default/files//editor/Stuart%20McNaughton.%20Reactec.pdf , alındığı tarih: 01.09.2015
WEB6. (2015**)** www.ıso.org, alındığı tarih: 09.09.2015
WEB7. (2015) https://work.alberta.ca/documents/WHS-PUB_gs007.pdf, alındığı tarih: 19.10.2015
WEB8. (2015) www.ccohs.ca, alındığı tarih: 09.09.2015
WEB9. (2015) www.europa.eu, alındığı tarih: 09.09.2015
WEB10. (2015) www.hse.gov.uk, alındığı tarih: 09.09.2015

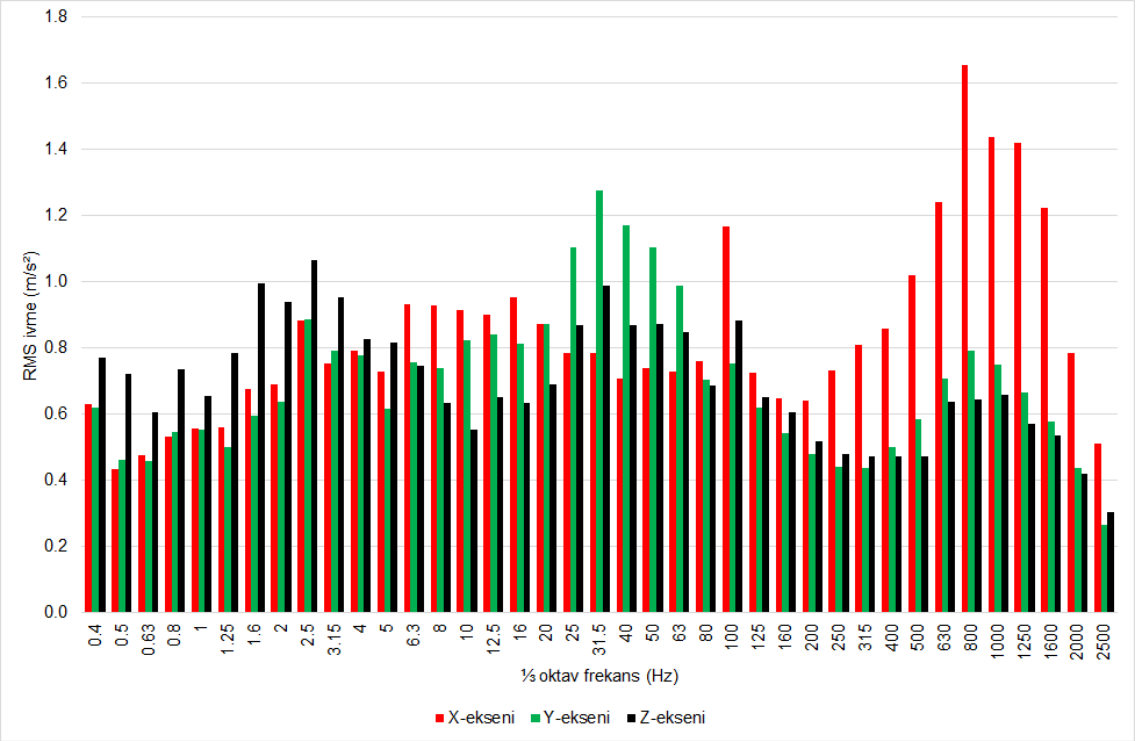
EK-1 EL-KOL TİTREŞİMİ ANALİZ VERİSİ



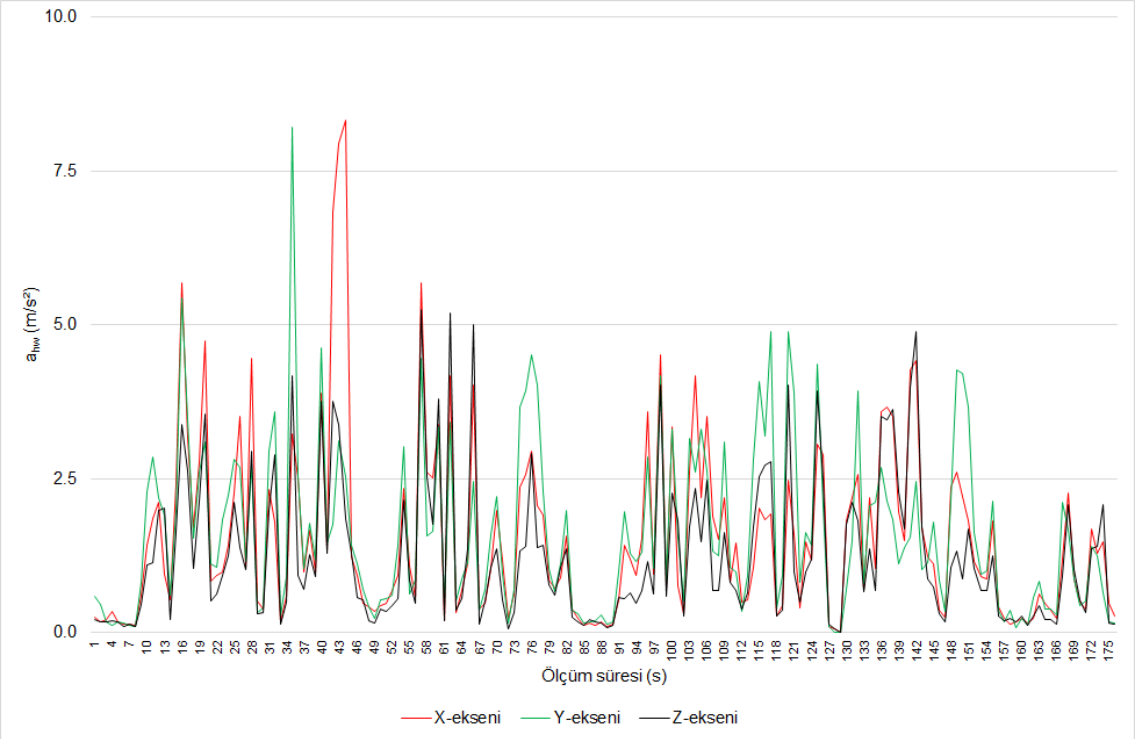
Şekil E-1.1 Parke kalıp makinesi – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



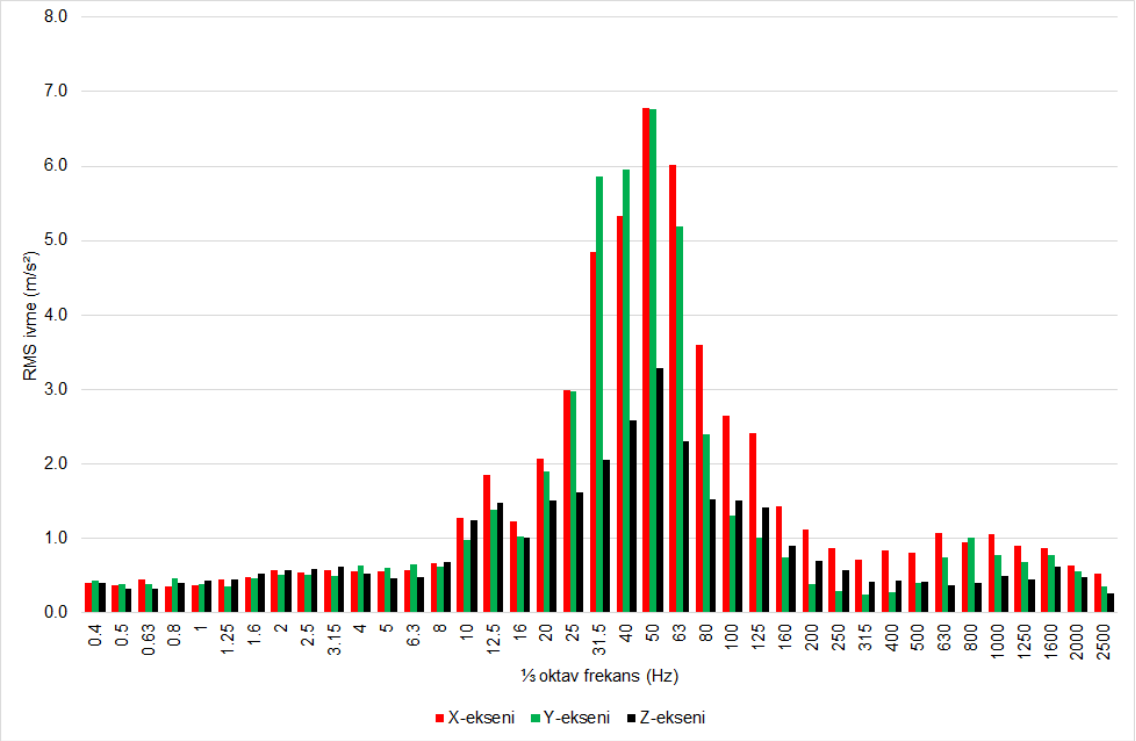
Şekil E-1.2 Parke kalıp makinesi – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



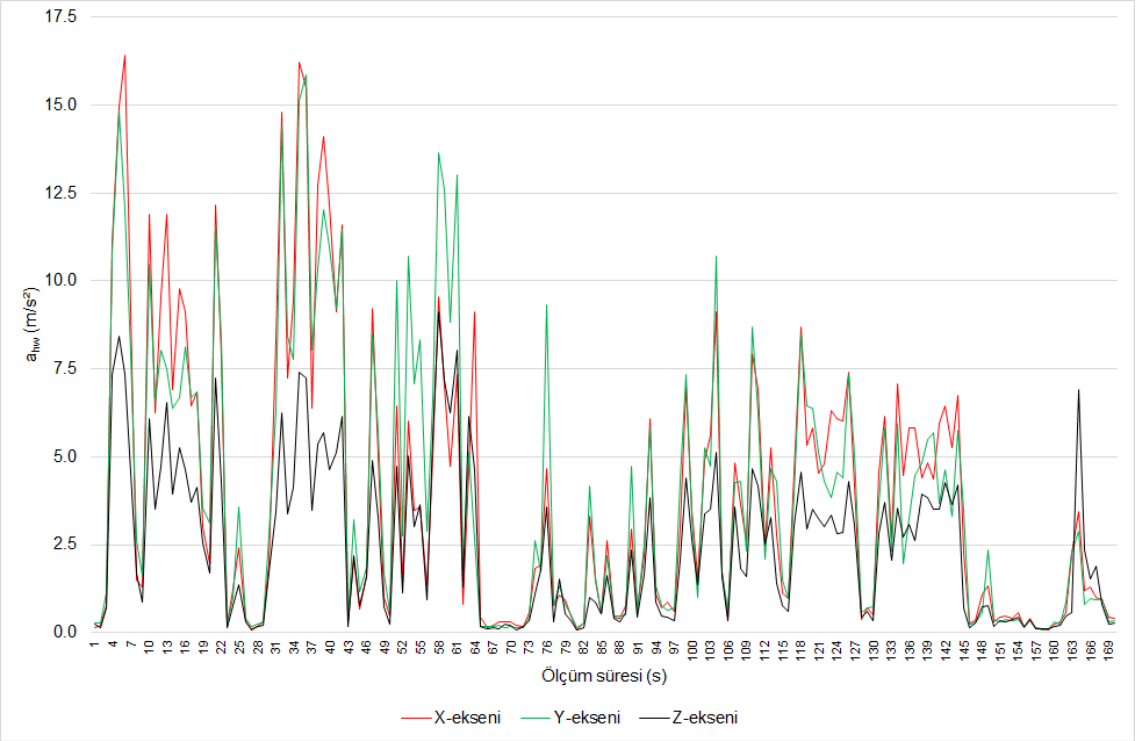
Şekil E-1.3 Parke kalıp makinesi – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



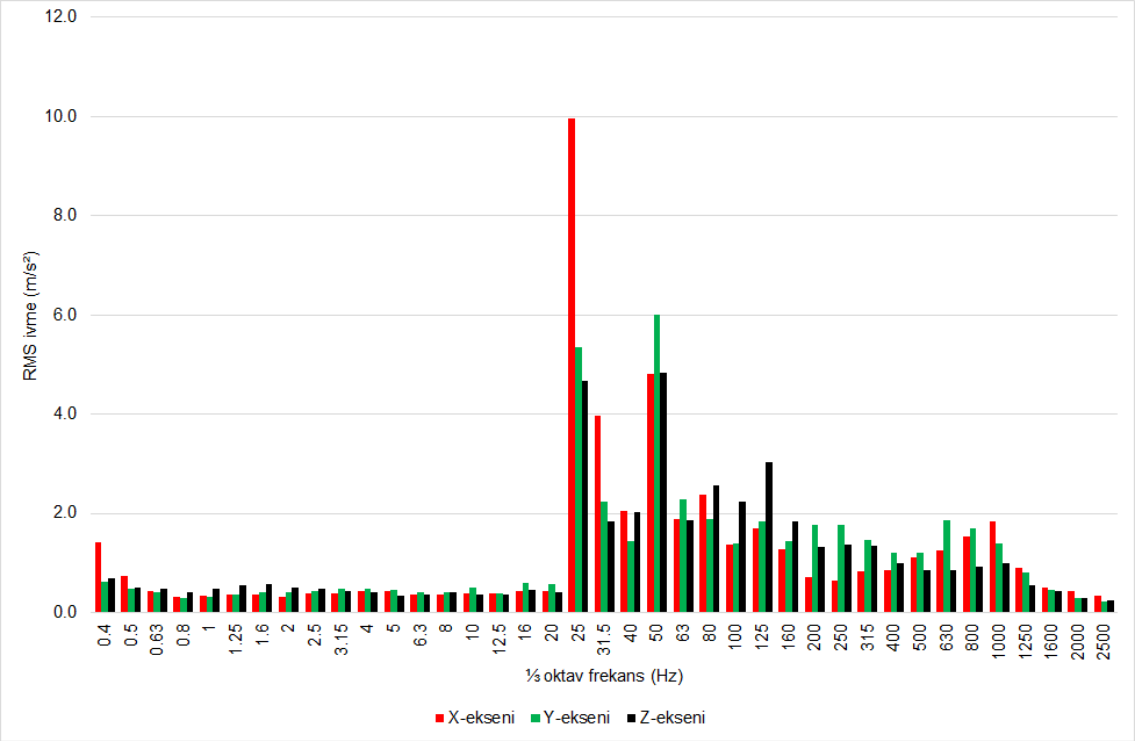
Şekil E-1.4 Parke kalıp makinesi – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



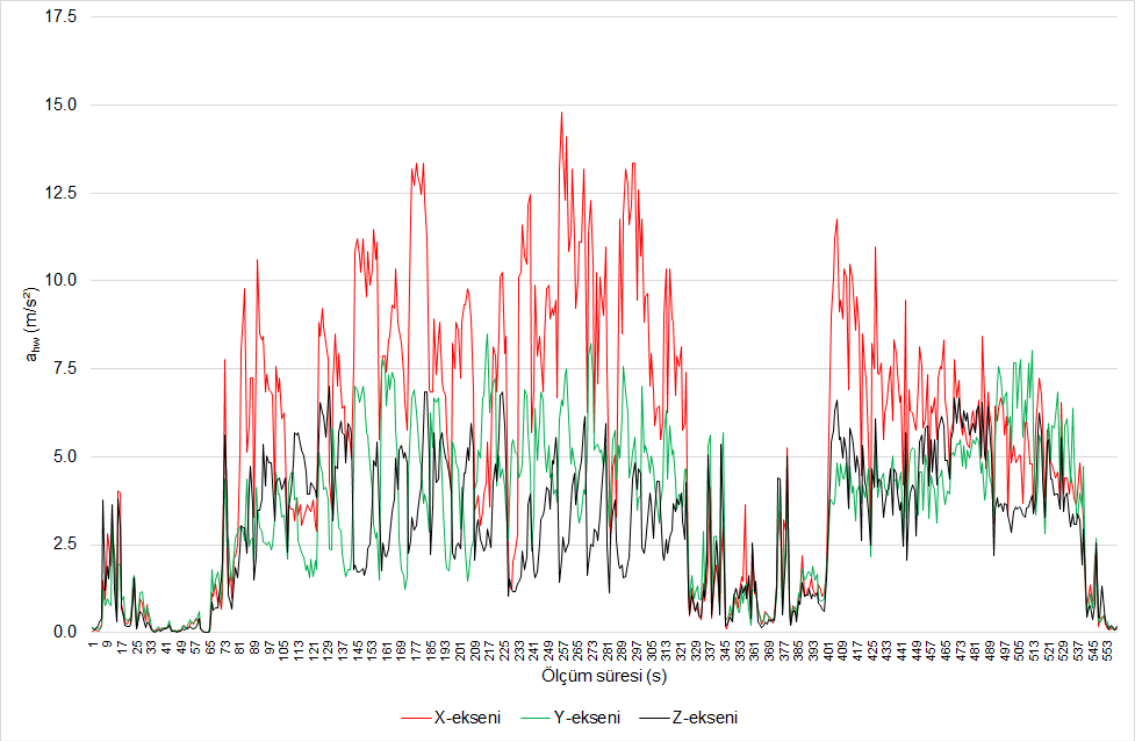
Şekil E-1.5 Havalı bijon tabancası – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



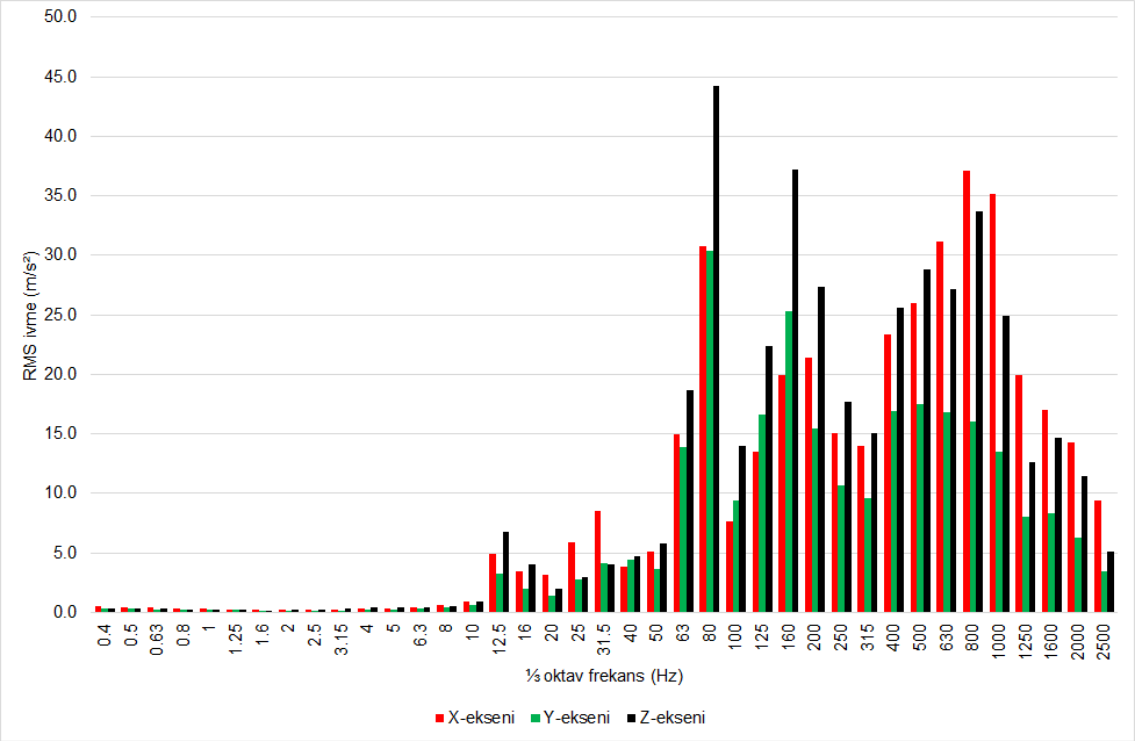
Şekil E-1.6 Havalı bijon tabancası – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



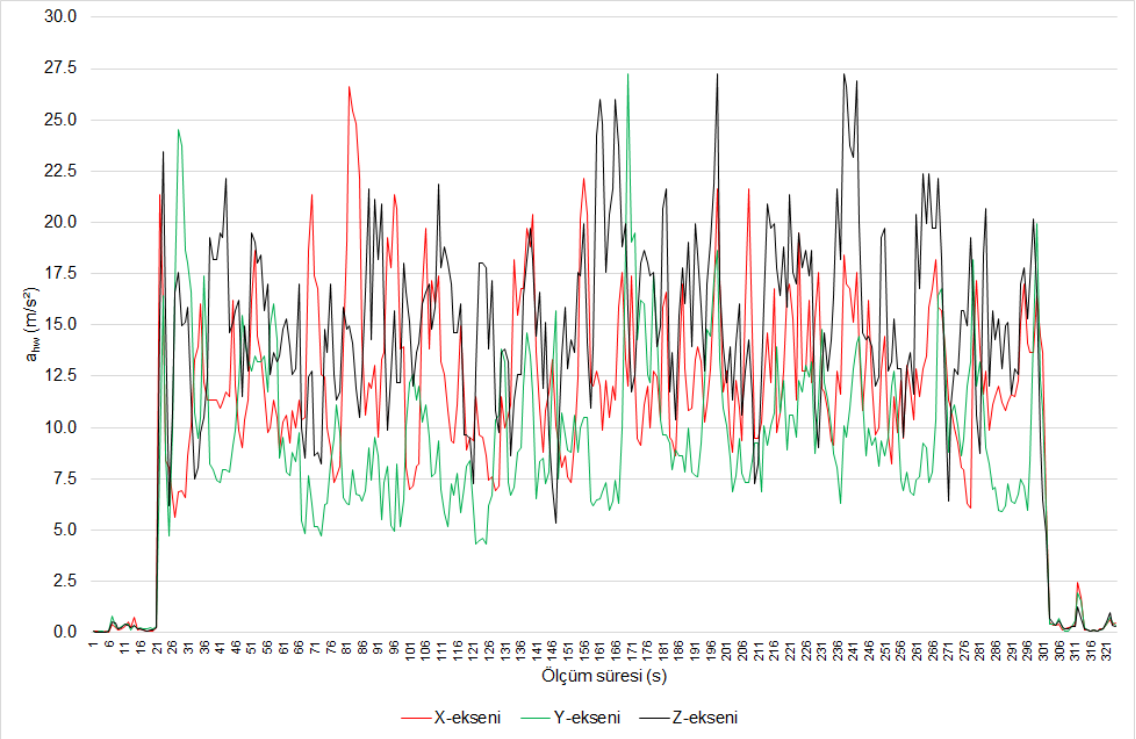
Şekil E-1.7 Asfalt kesme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



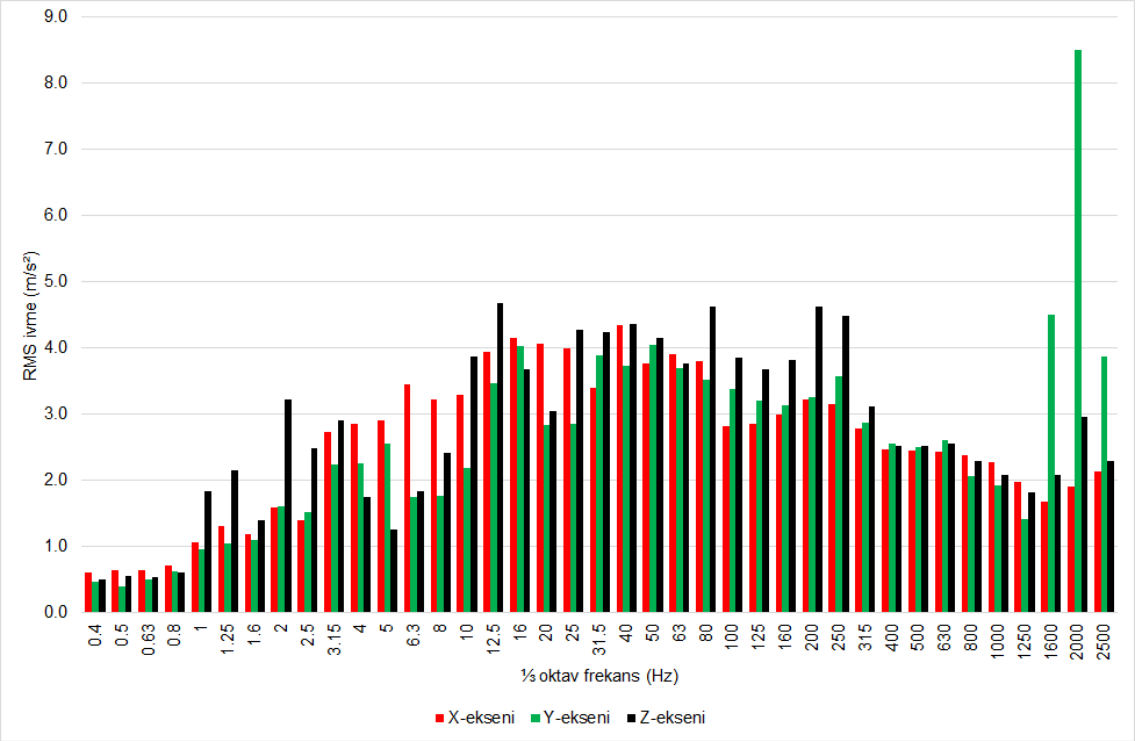
Şekil E-1.8 Asfalt kesme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



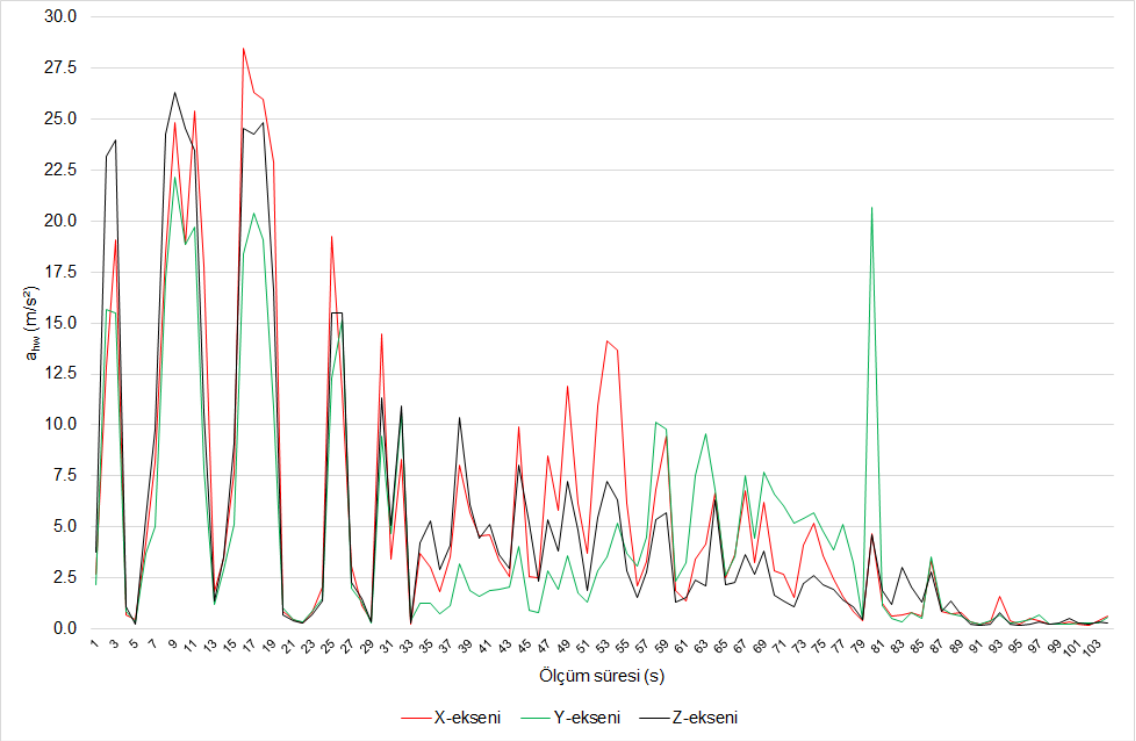
Şekil E-1.9 Kompaktör – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



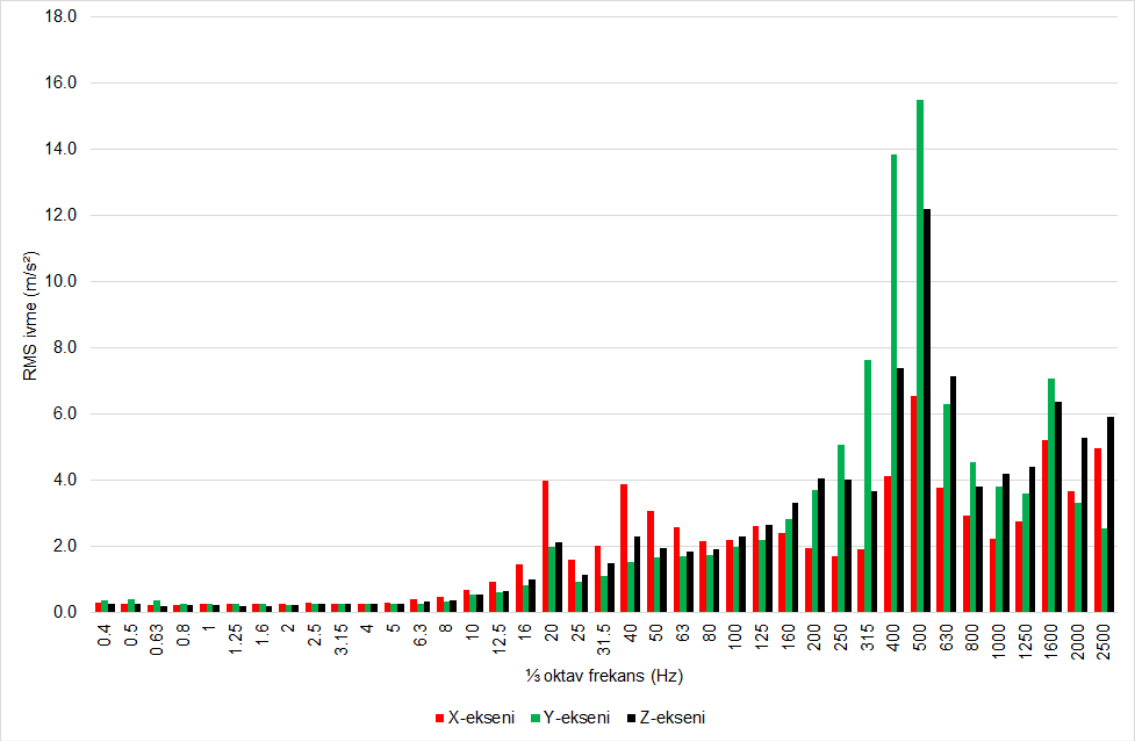
Şekil E-1.10 Kompaktör – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



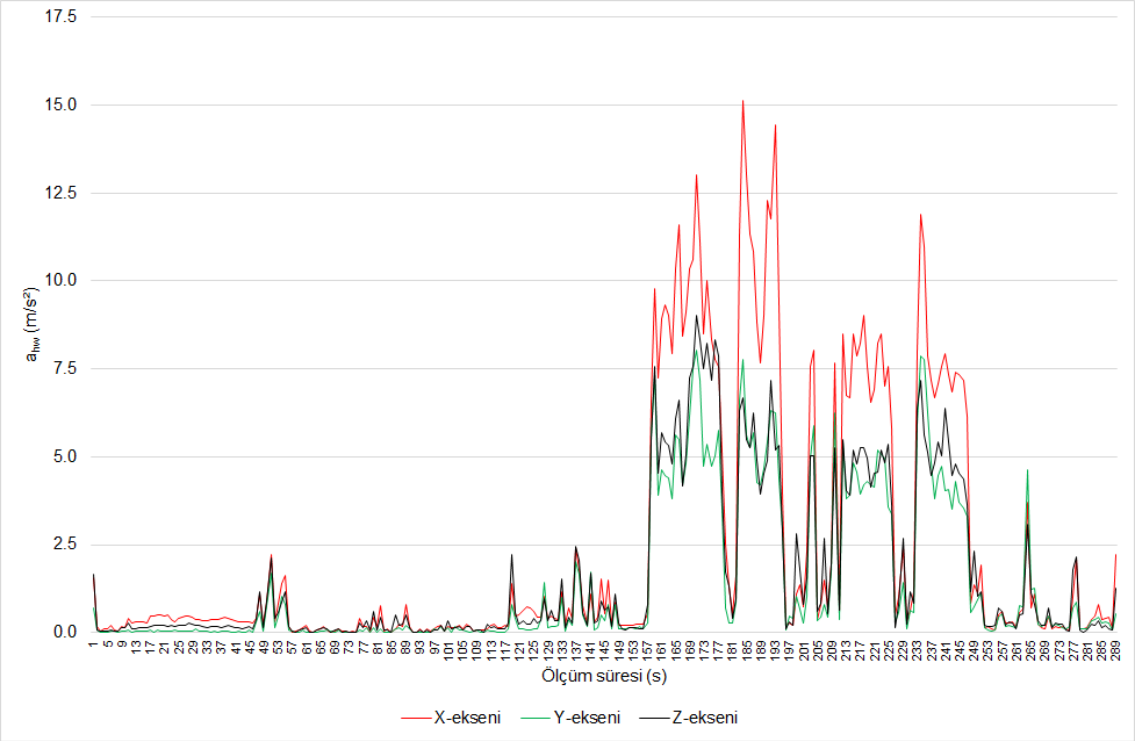
Şekil E-1.11 Elektrikli martopikör ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



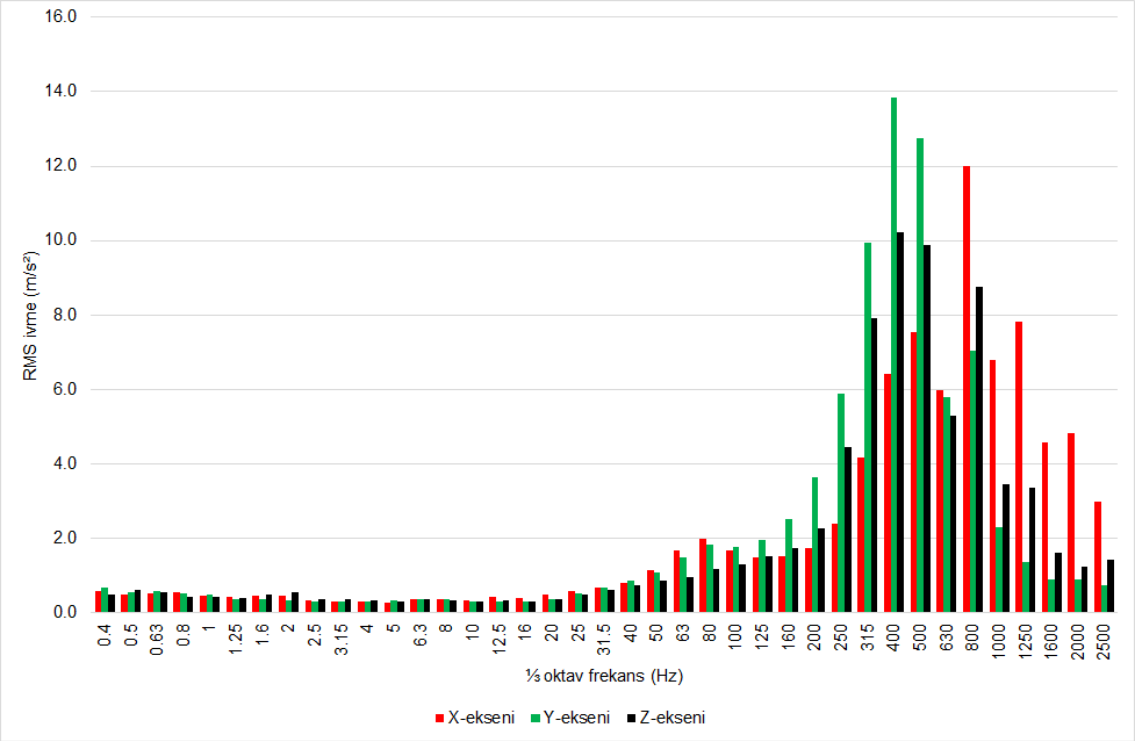
Şekil E-1.12 Elektrikli martopikör ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



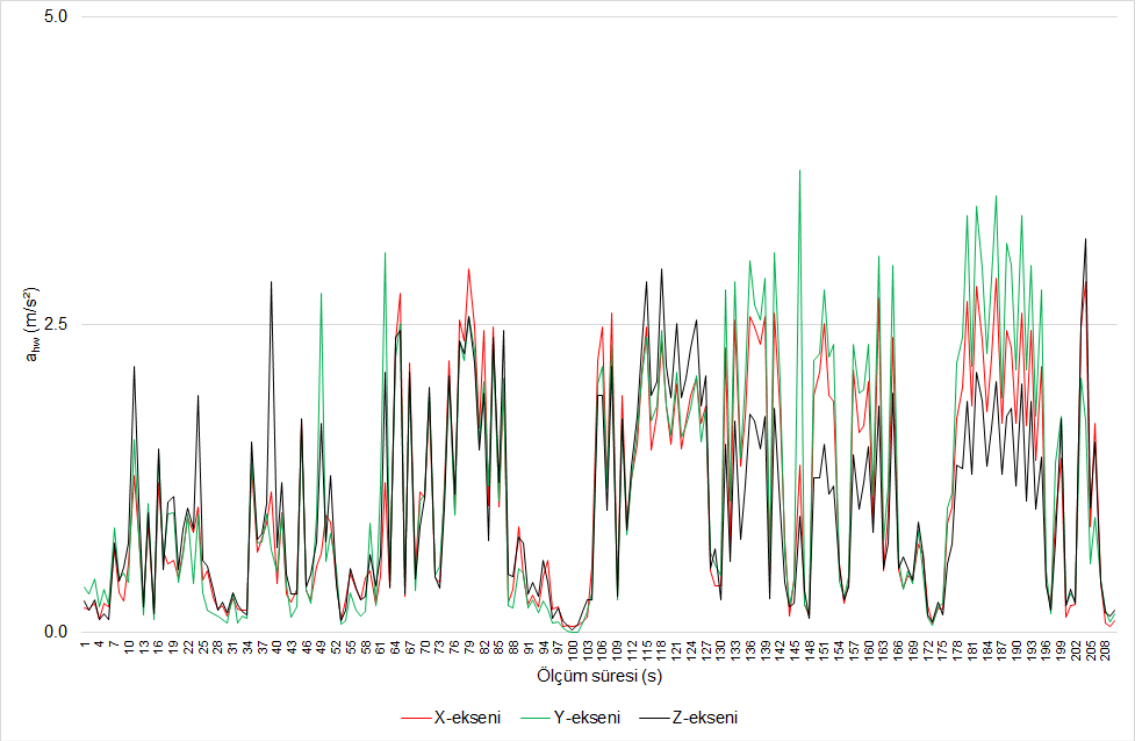
Şekil E-1.13 Havalı martopikör – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



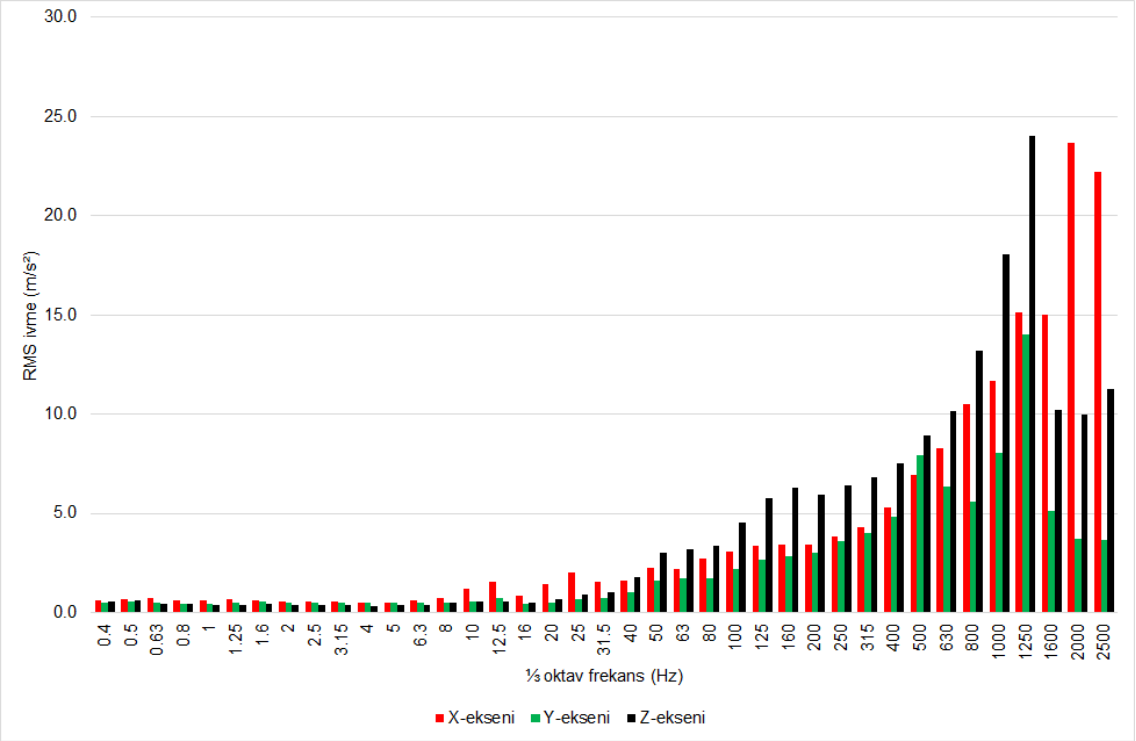
Şekil E-1.14 Havalı martopikör – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



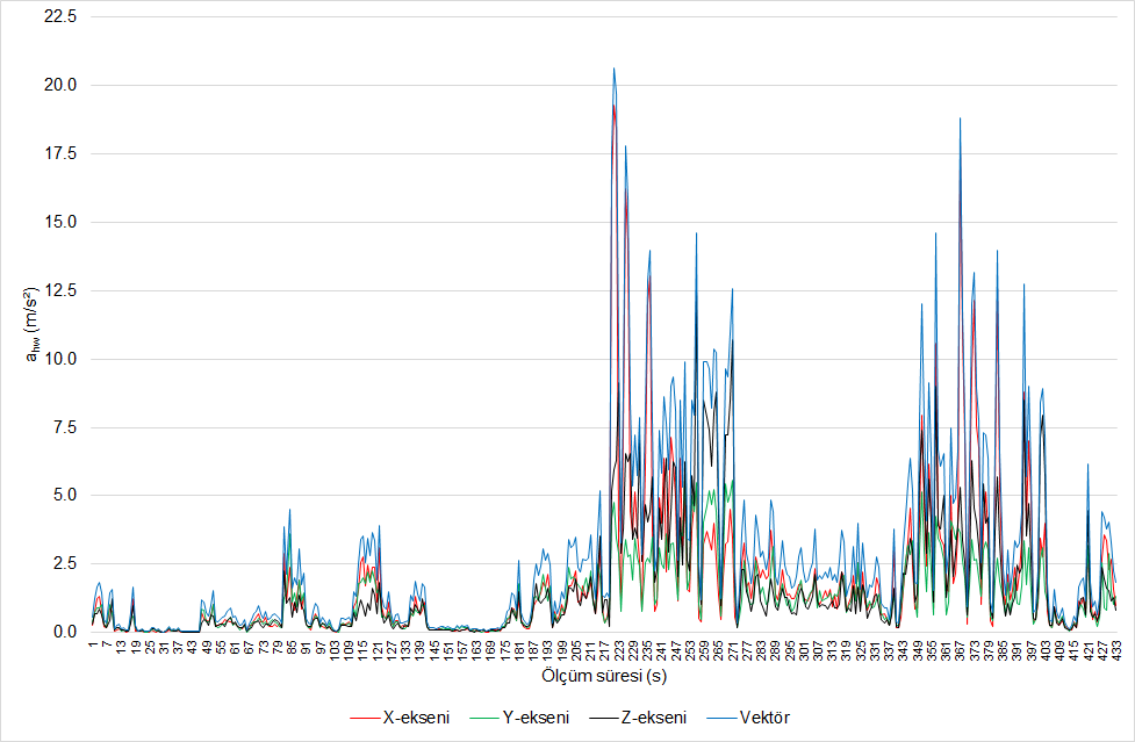
Şekil E-1.15 Havalı zımba tabancası ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



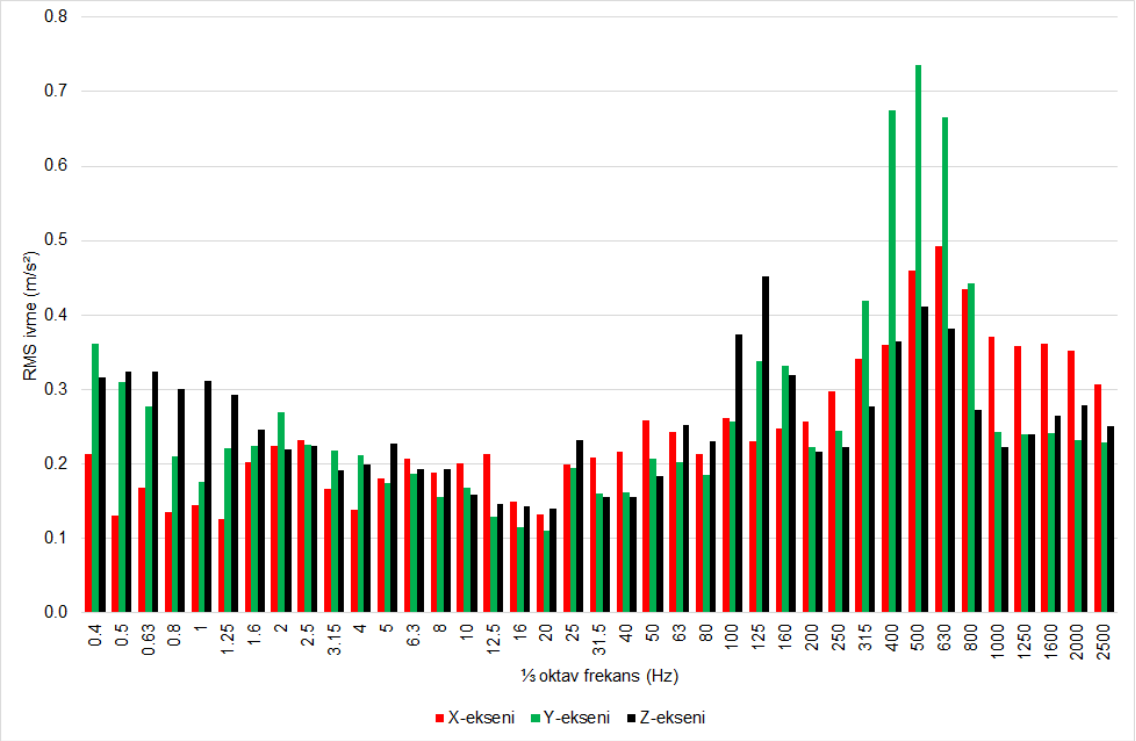
Şekil E-1.16 Havalı zımba tabancası ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



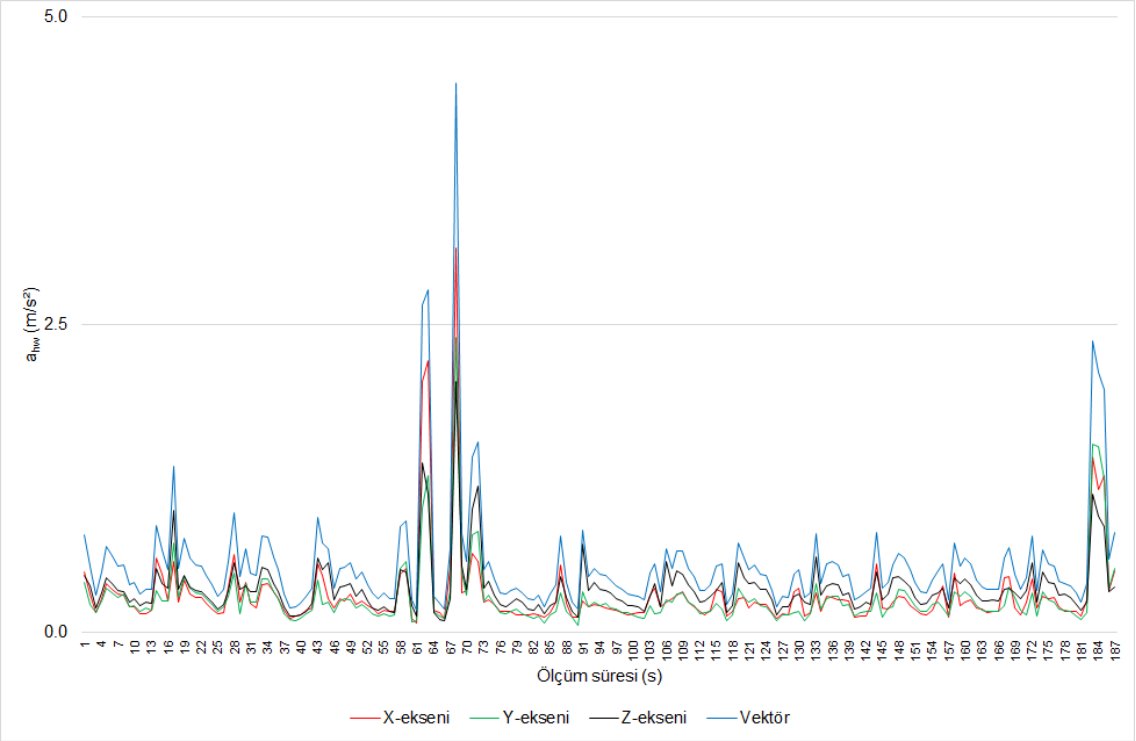
Şekil E-1.17 Havalı bijon tabancası – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



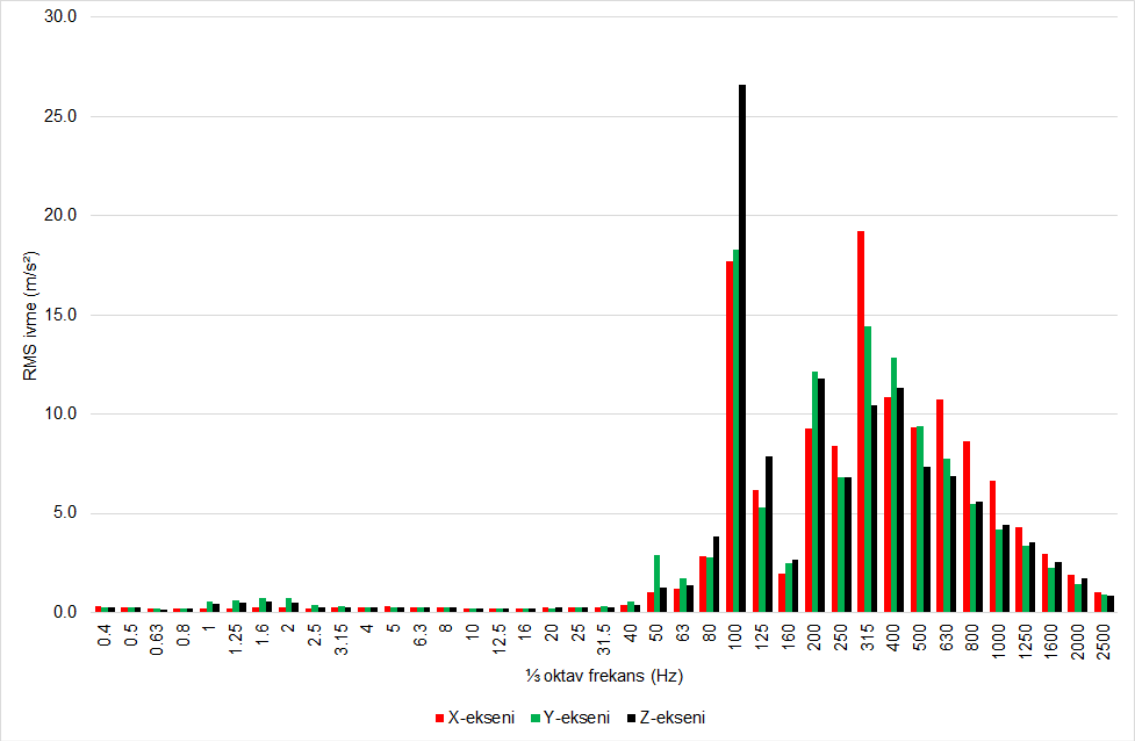
Şekil E-1.18 Havalı bijon tabancası – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



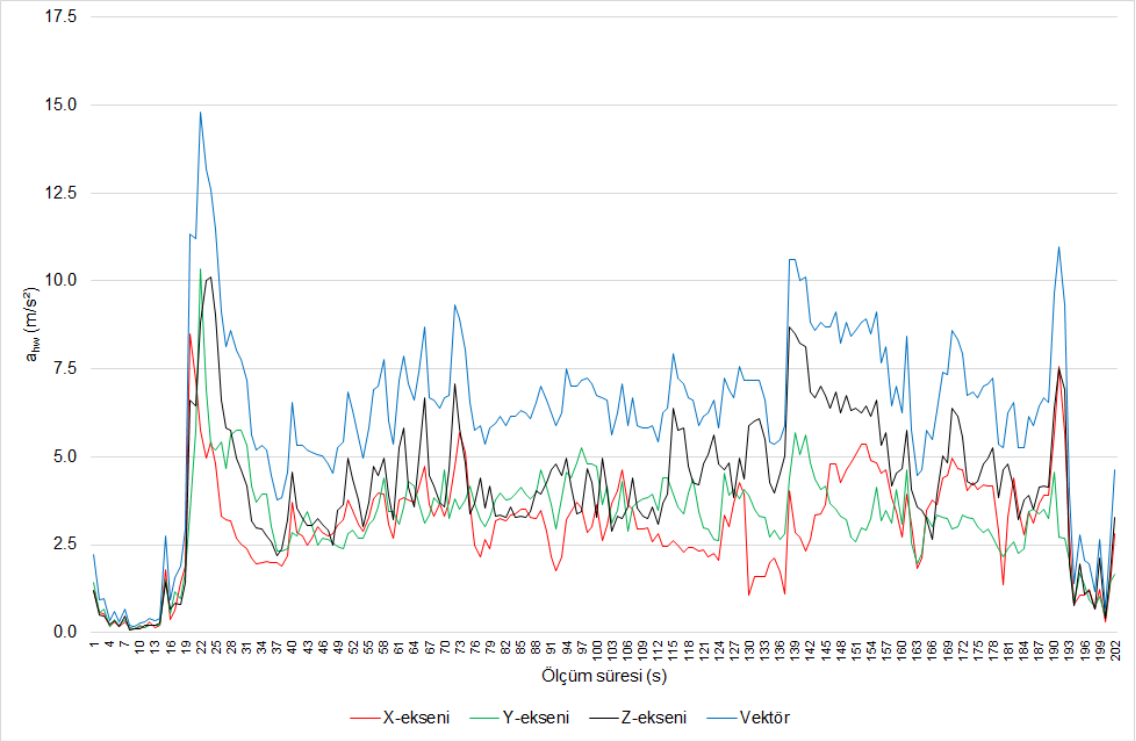
Şekil E-1.19 Sütunlu matkap ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



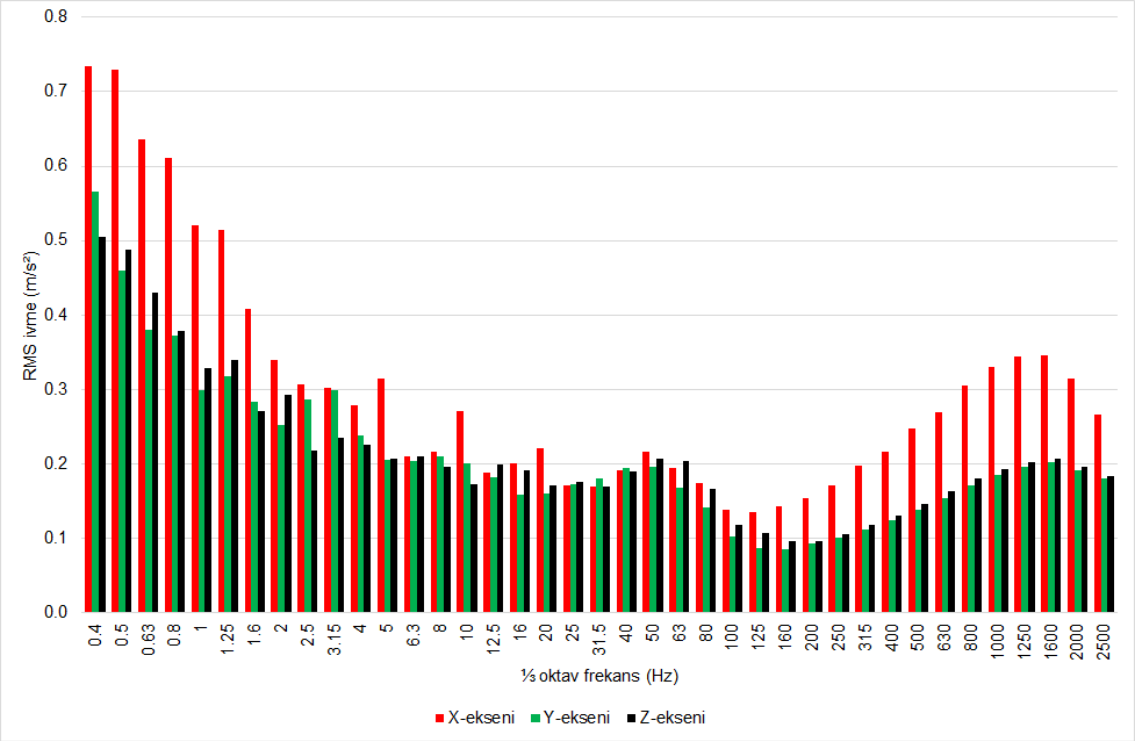
Şekil E-1.20 Sütunlu matkap ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



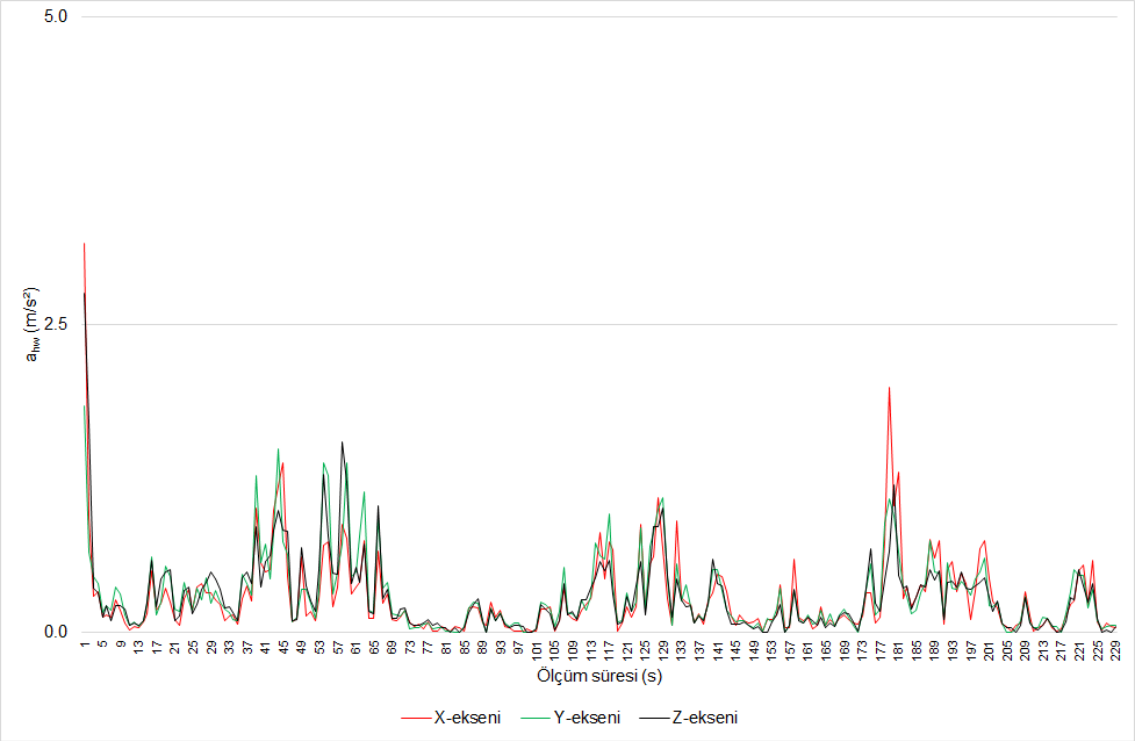
Şekil E-1.21 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



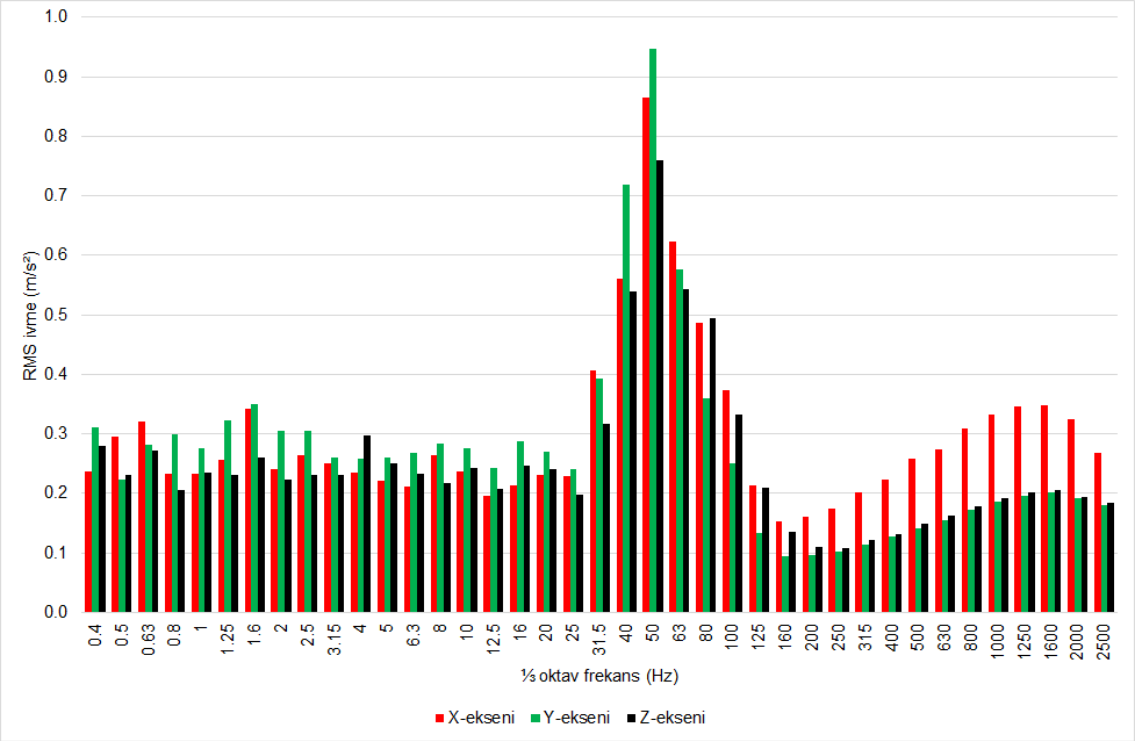
Şekil E-1.22 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



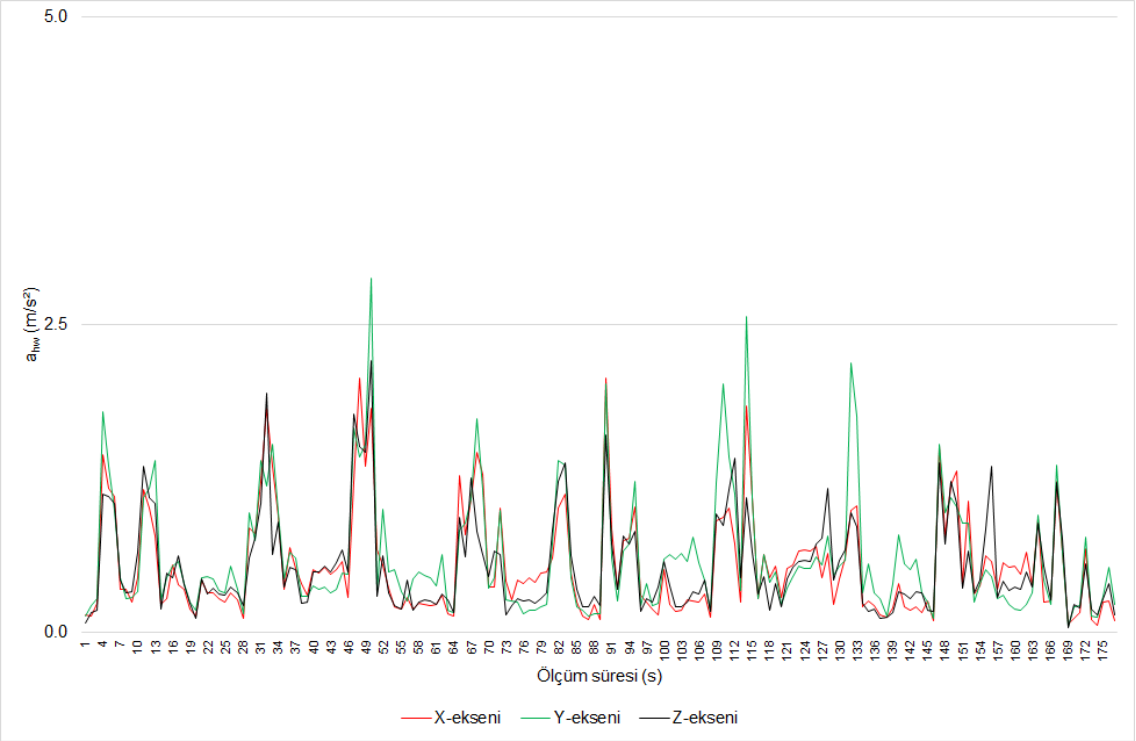
Şekil E-1.23 PVC birleştirme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



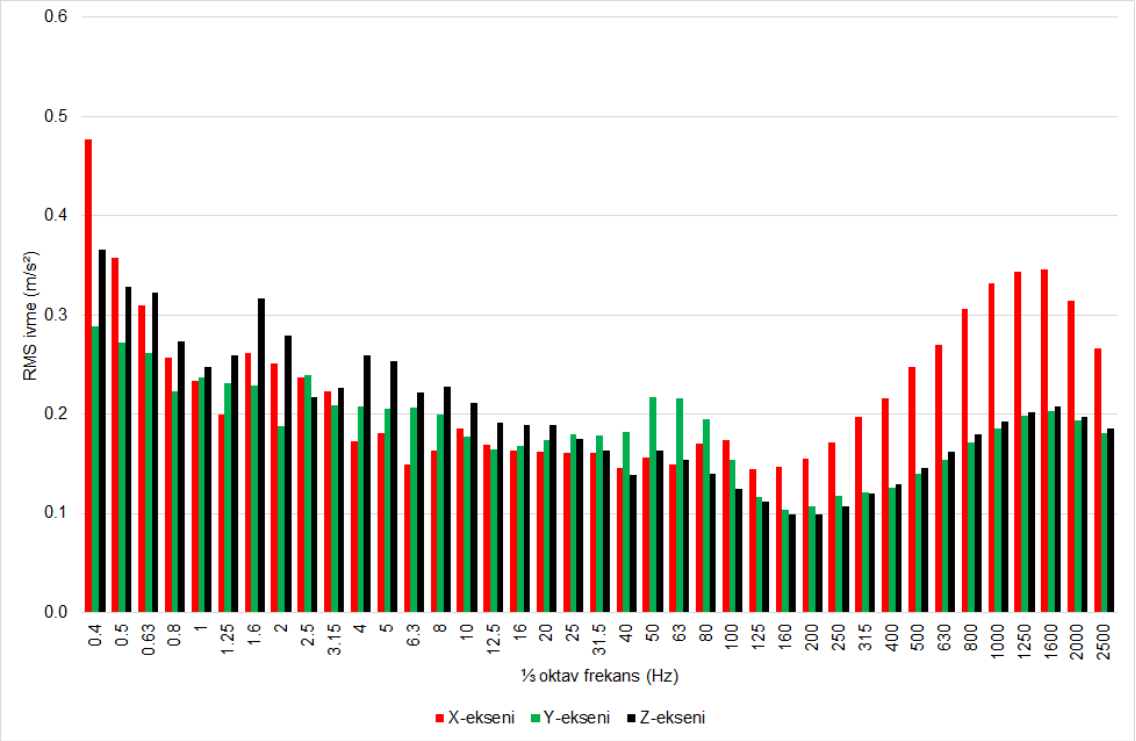
Şekil E-1.24 PVC birleştirme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



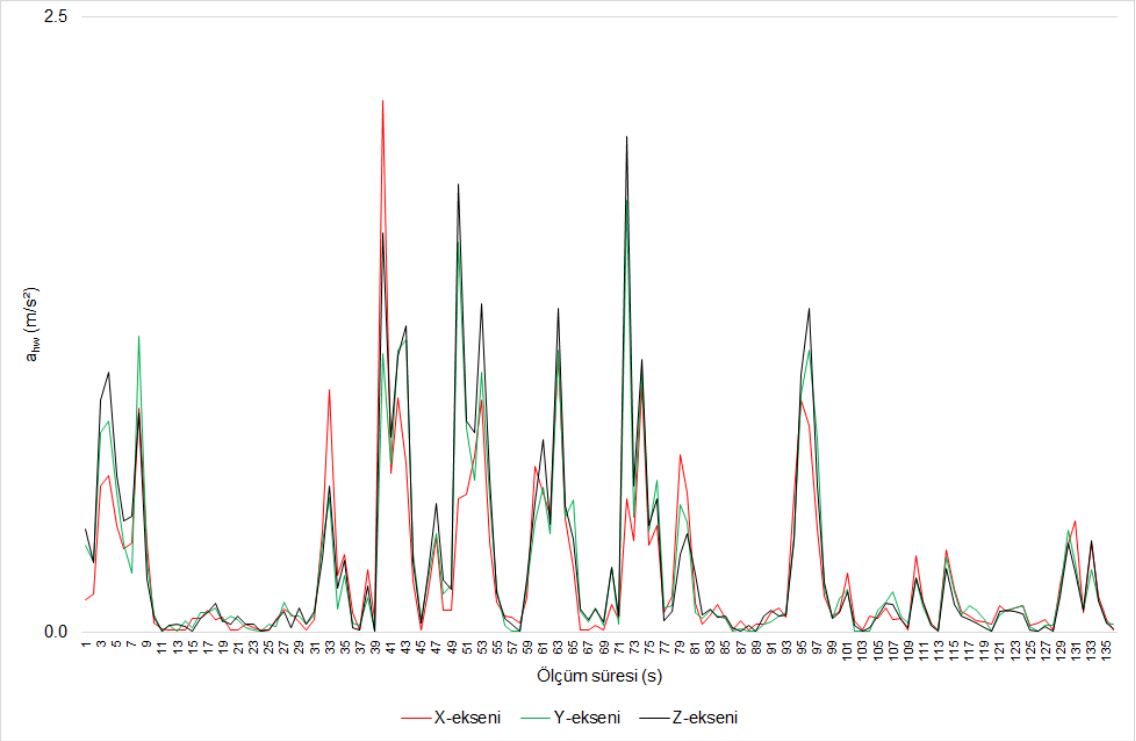
Şekil E-1.25 PVC çapak temizleme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



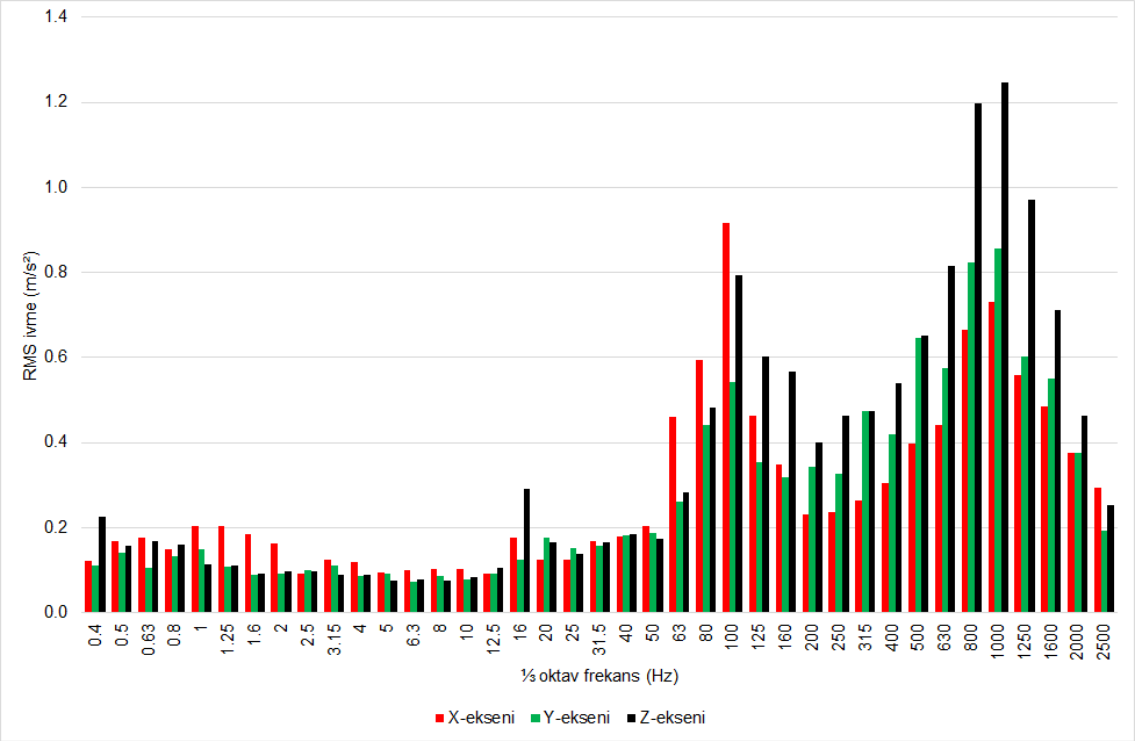
Şekil E-1.26 PVC çapak temizleme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



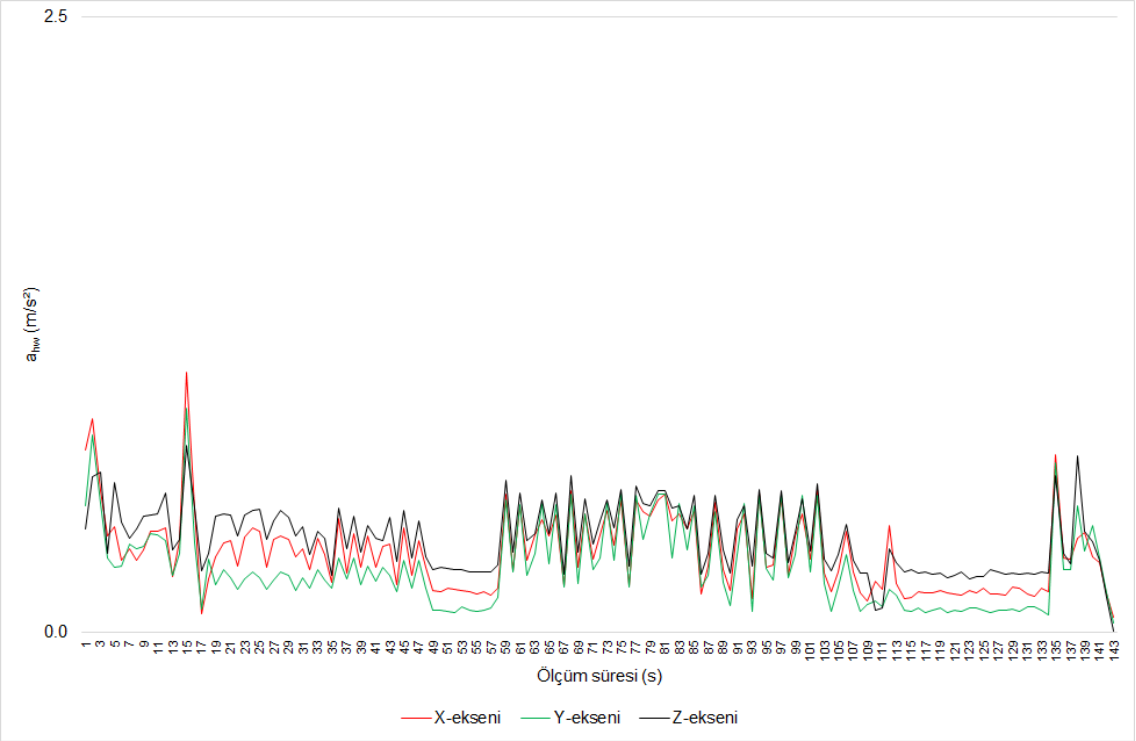
Şekil E-1.27 Giyotin – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



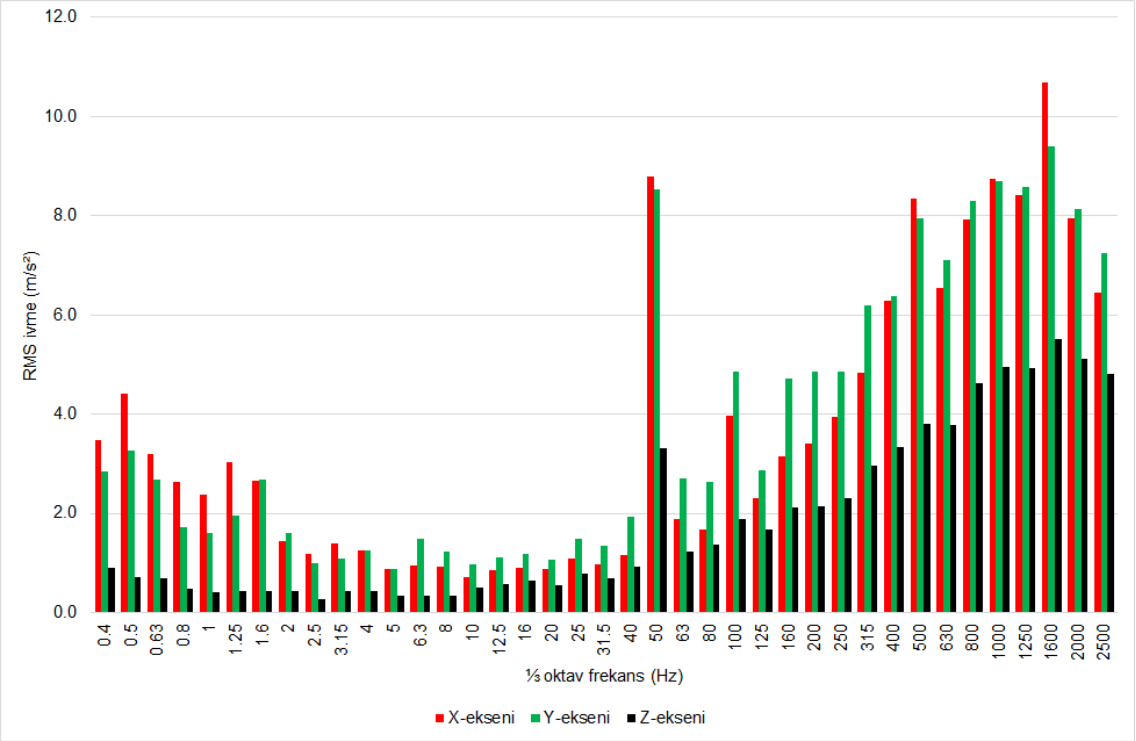
Şekil E-1.28 Giyotin – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



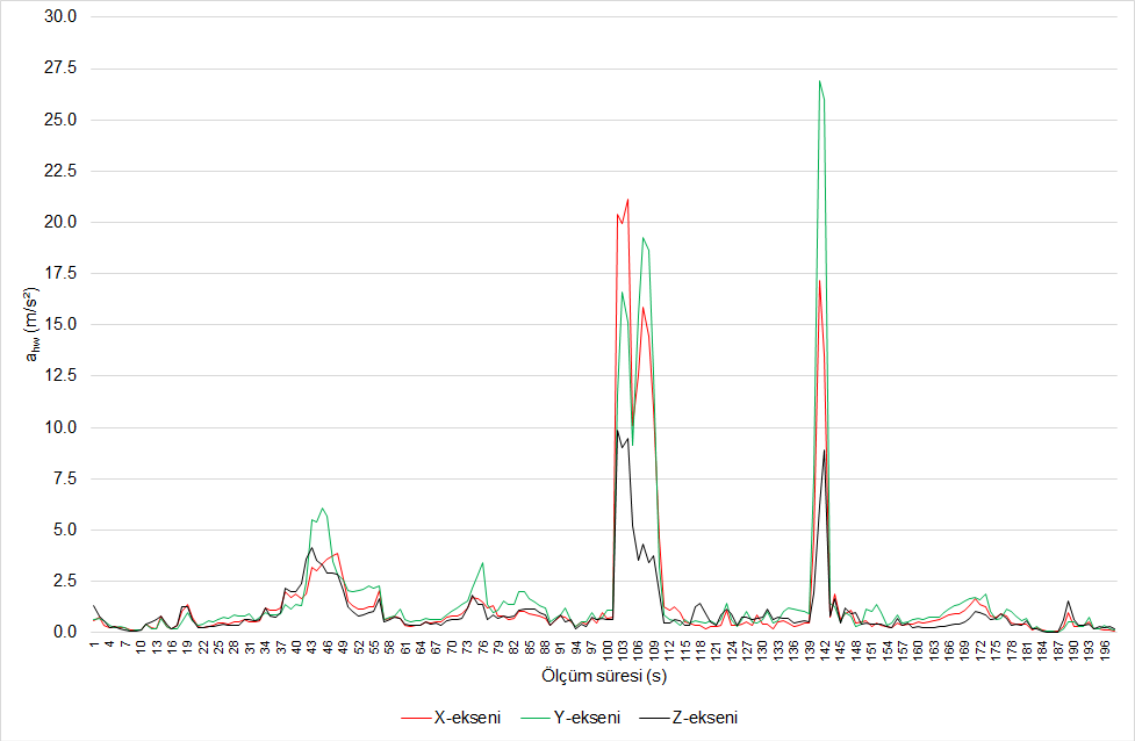
Şekil E-1.29 Giyotin – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



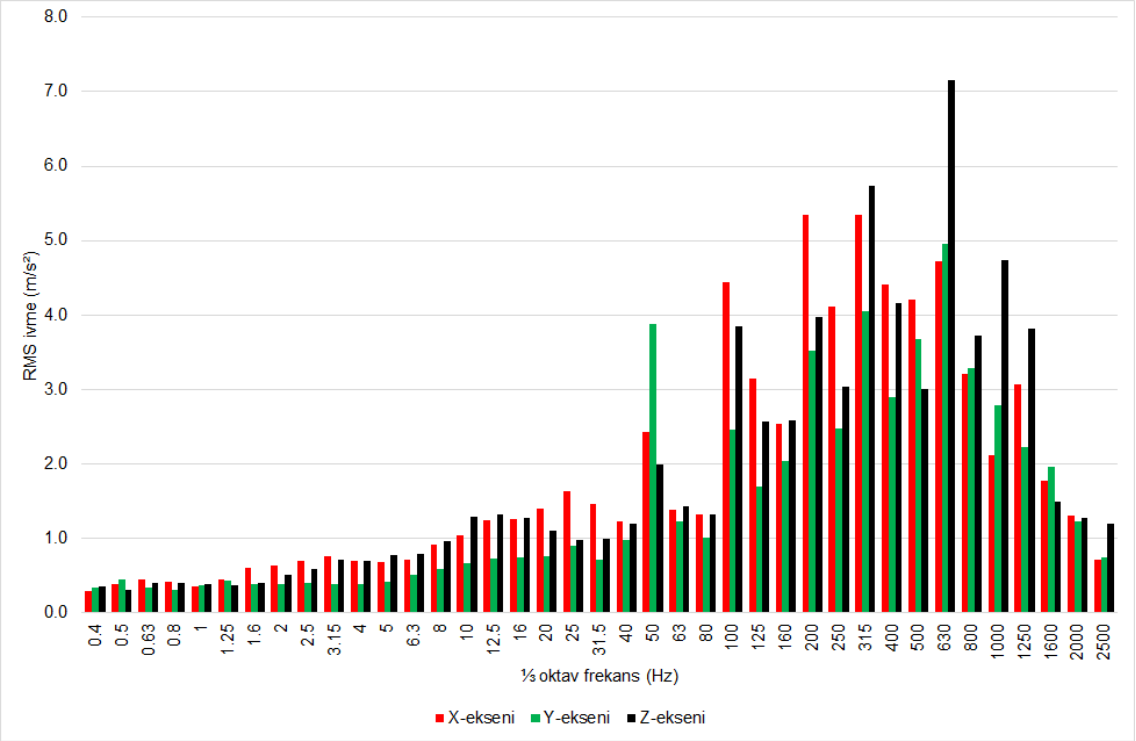
Şekil E-1.30 Giyotin – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



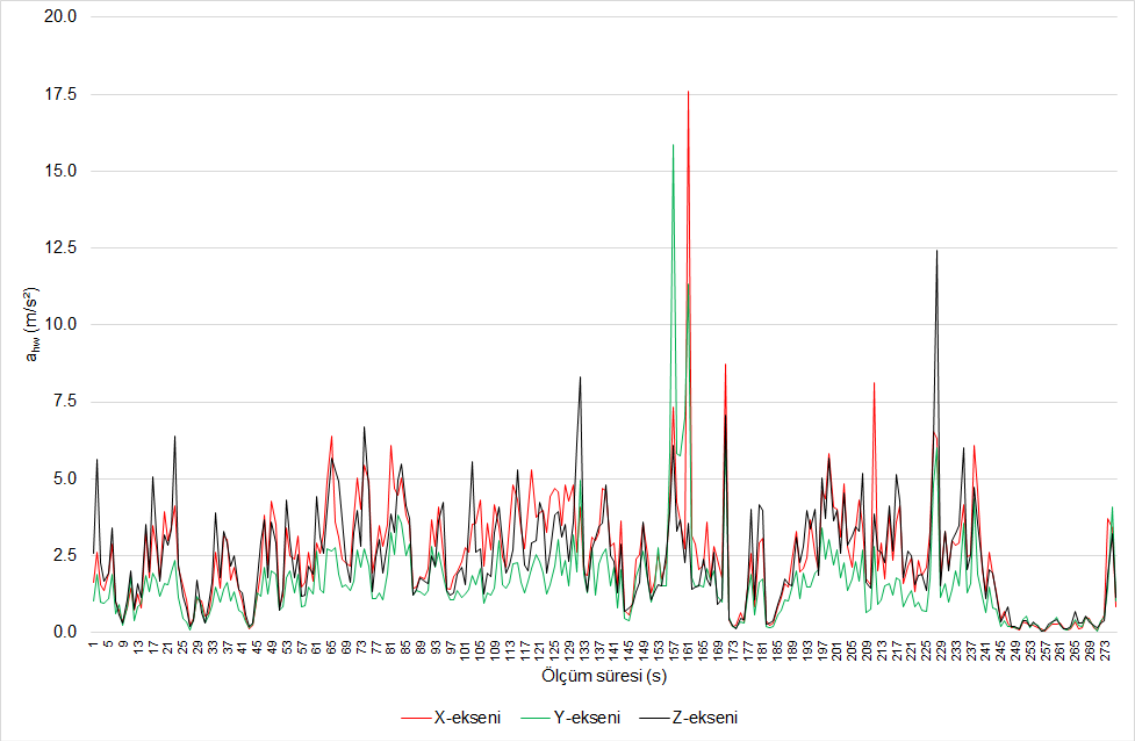
Şekil E-1.31 Açılı kesim makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



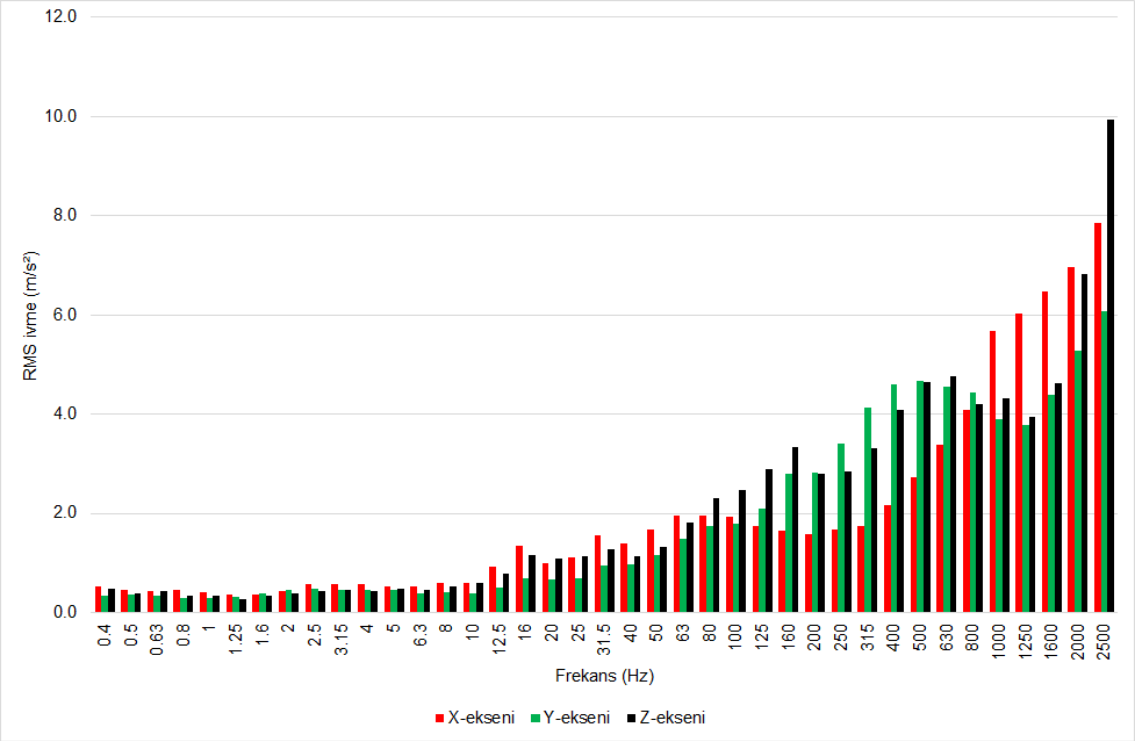
Şekil E-1.32 Açılı kesim makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



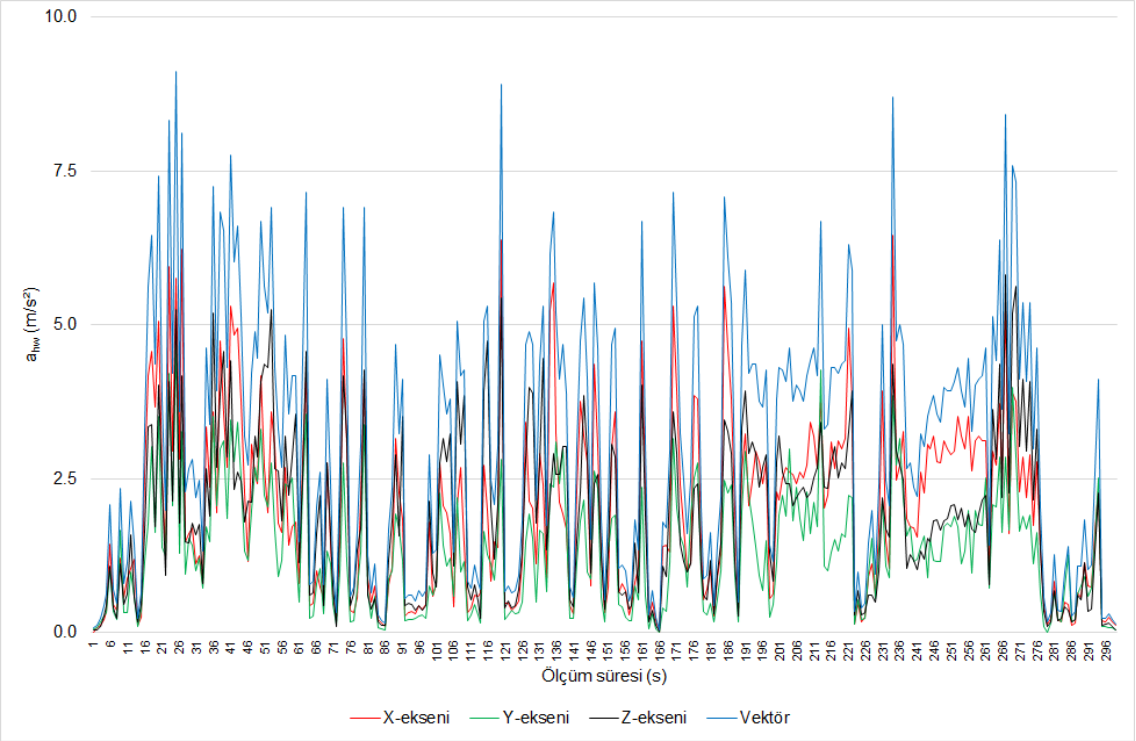
Şekil E-1.33 Çim biçme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



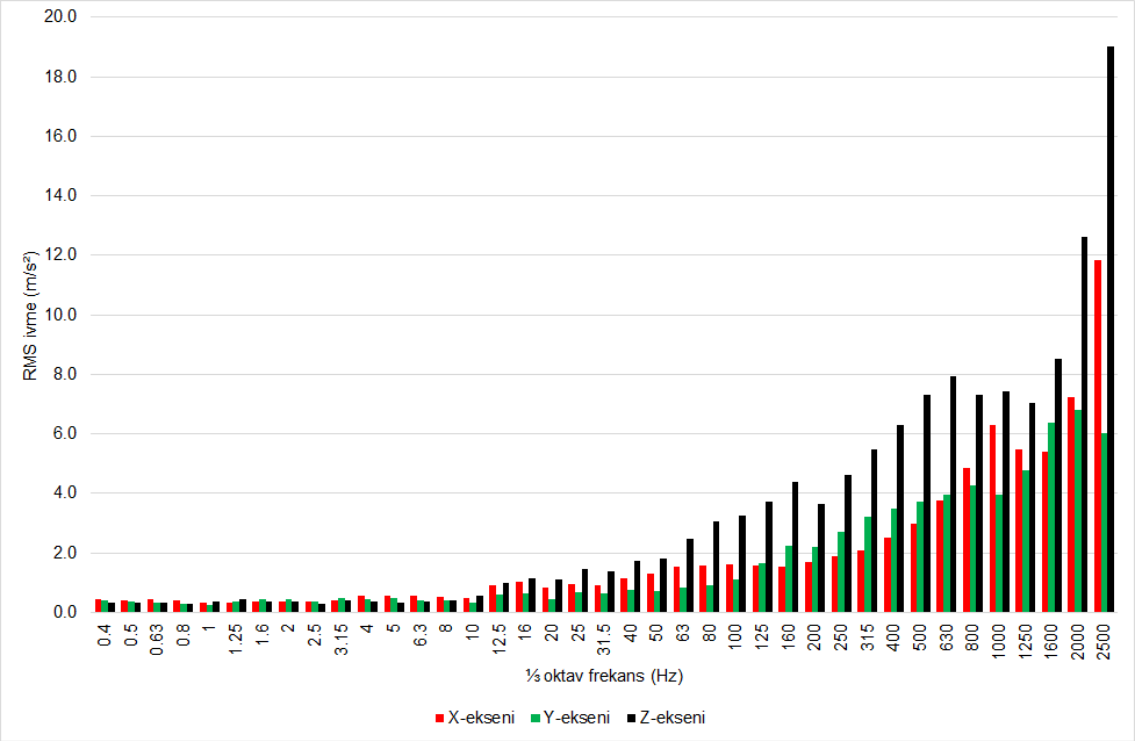
Şekil E-1.34 Çim biçme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği



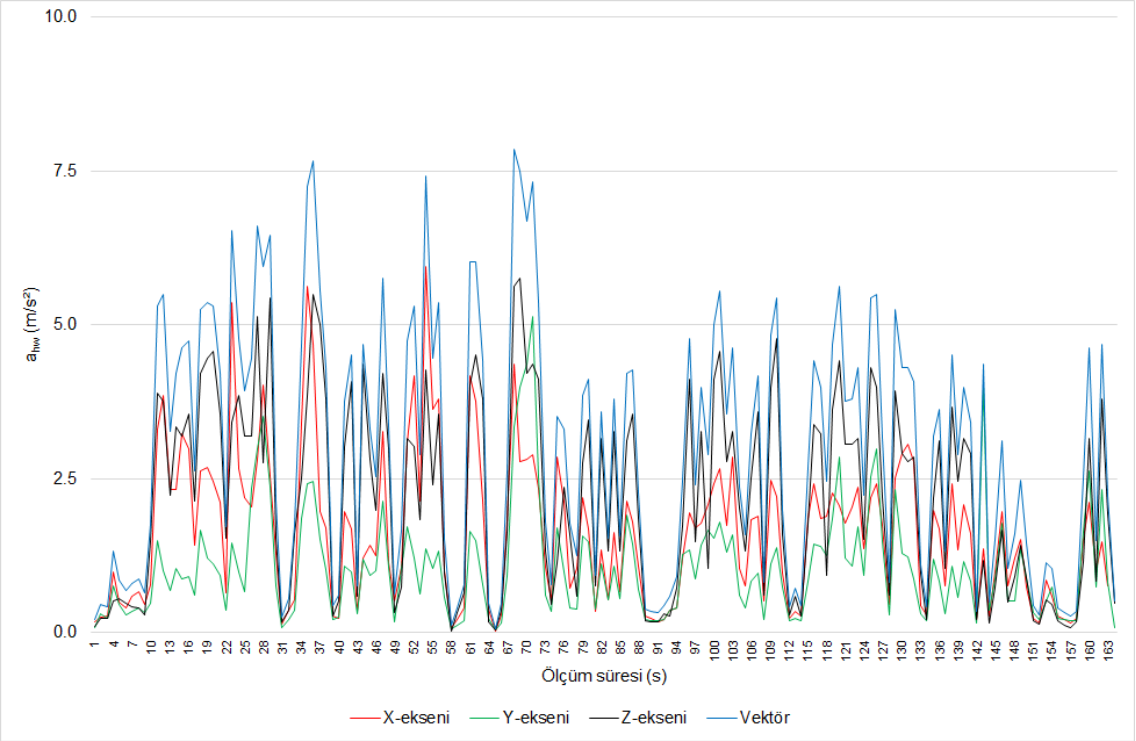
Şekil E-1.35 Havalı bijon tabancası – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



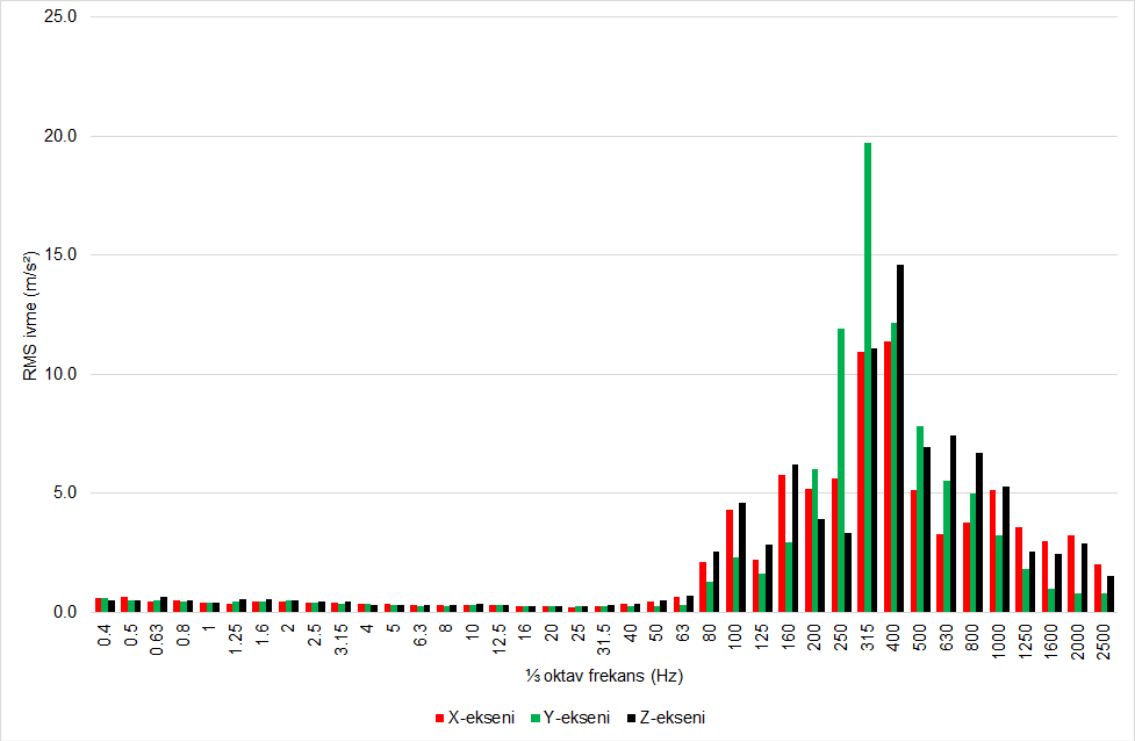
Şekil E-1.36 Havalı bijon tabancası – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



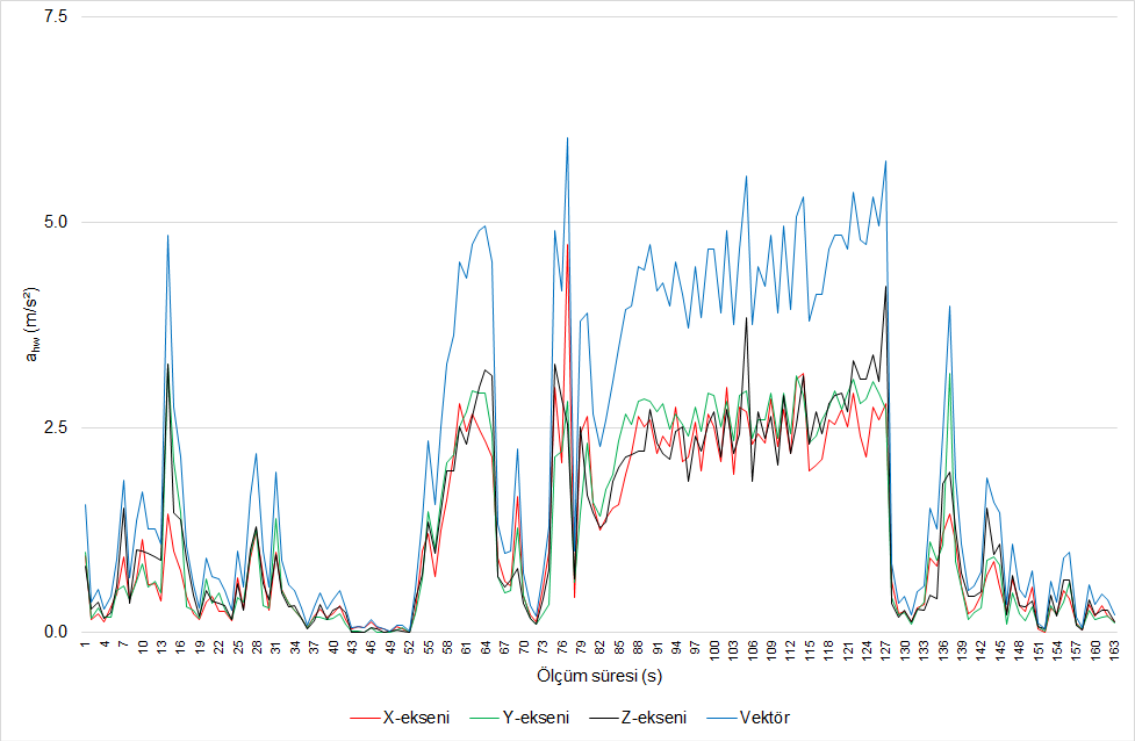
Şekil E-1.37 Havalı bijon tabancası – 4 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



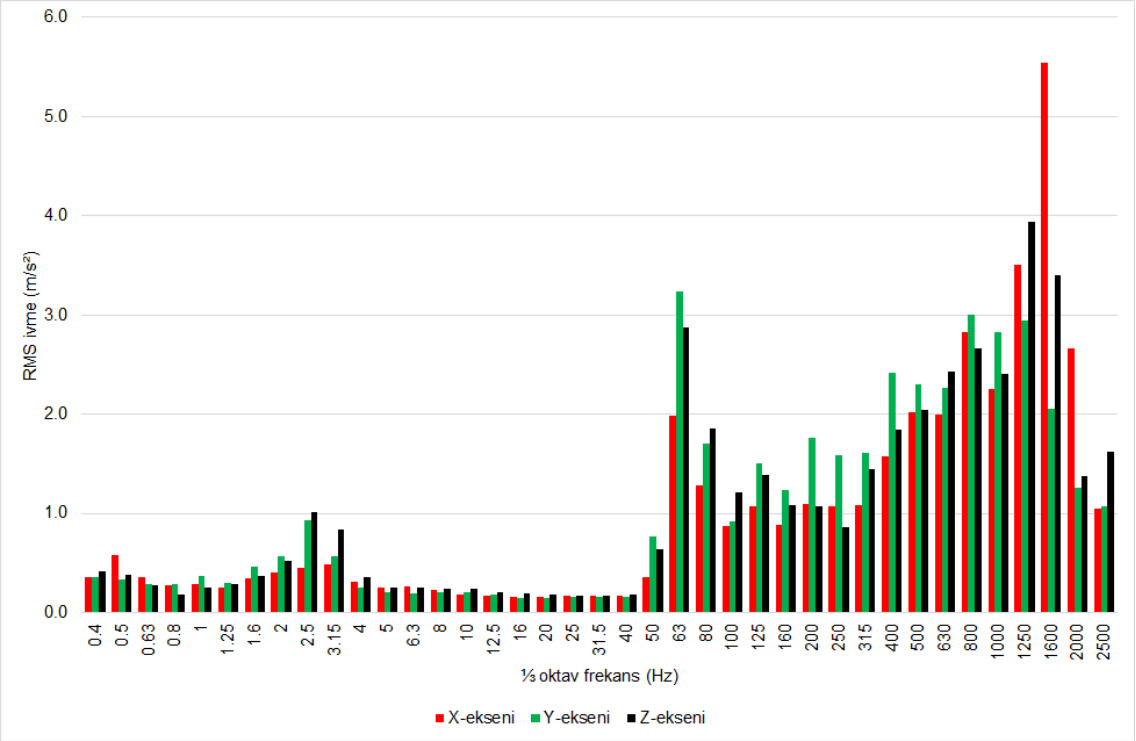
Şekil E-1.38 Havalı bijon tabancası – 4 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



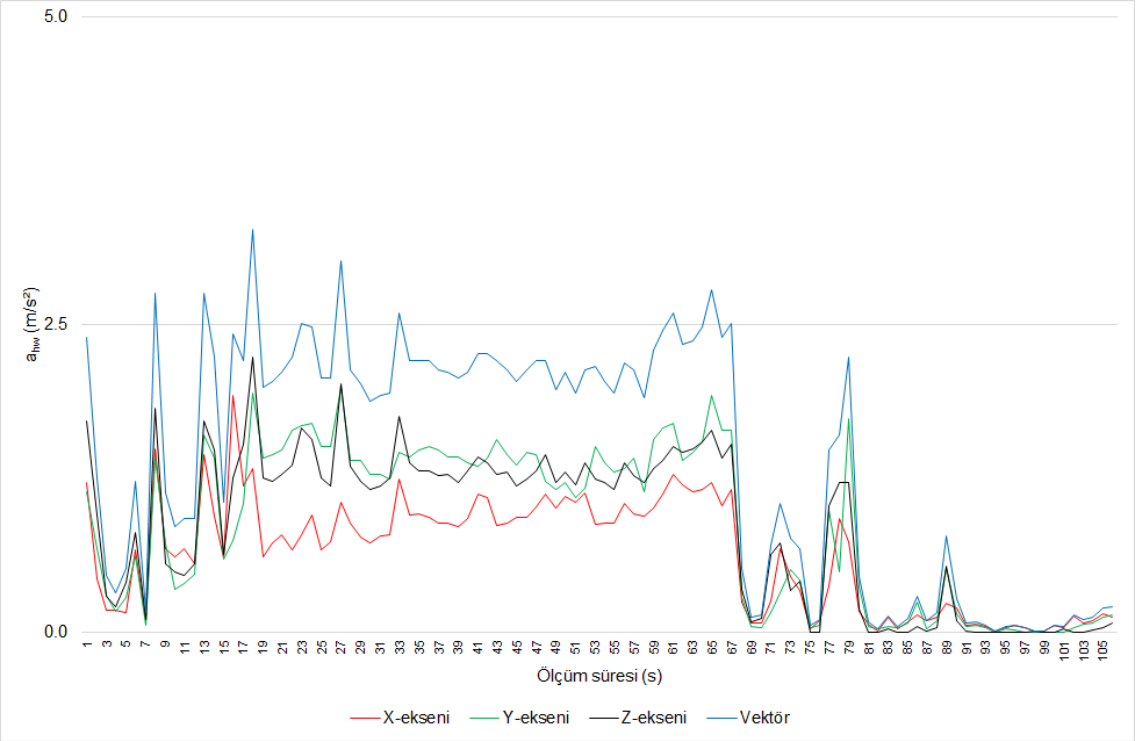
Şekil E-1.39 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



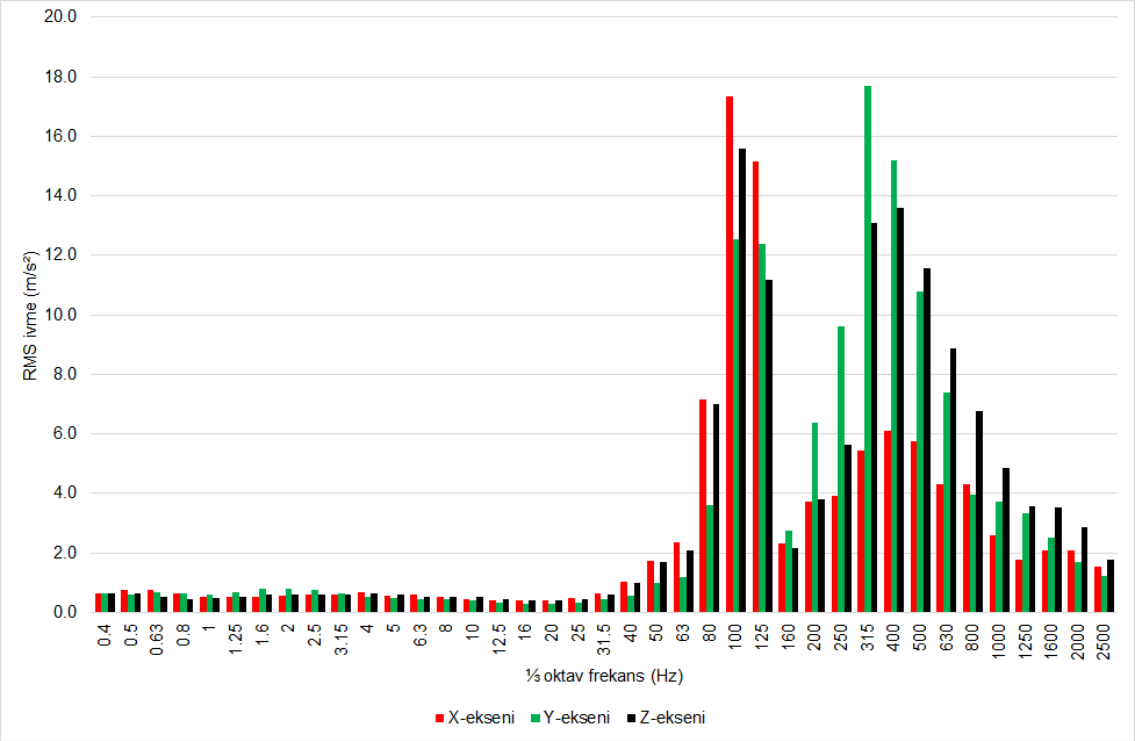
Şekil E-1.40 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



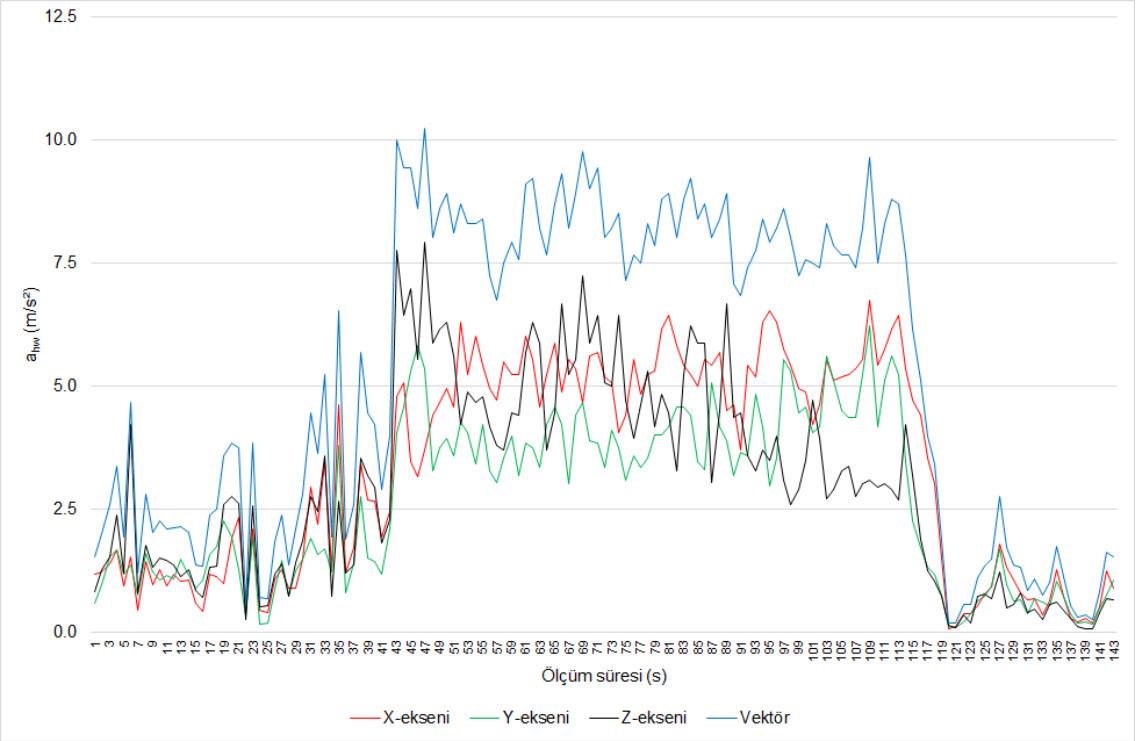
Şekil E-1.41 Havalı avuç taşlama makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



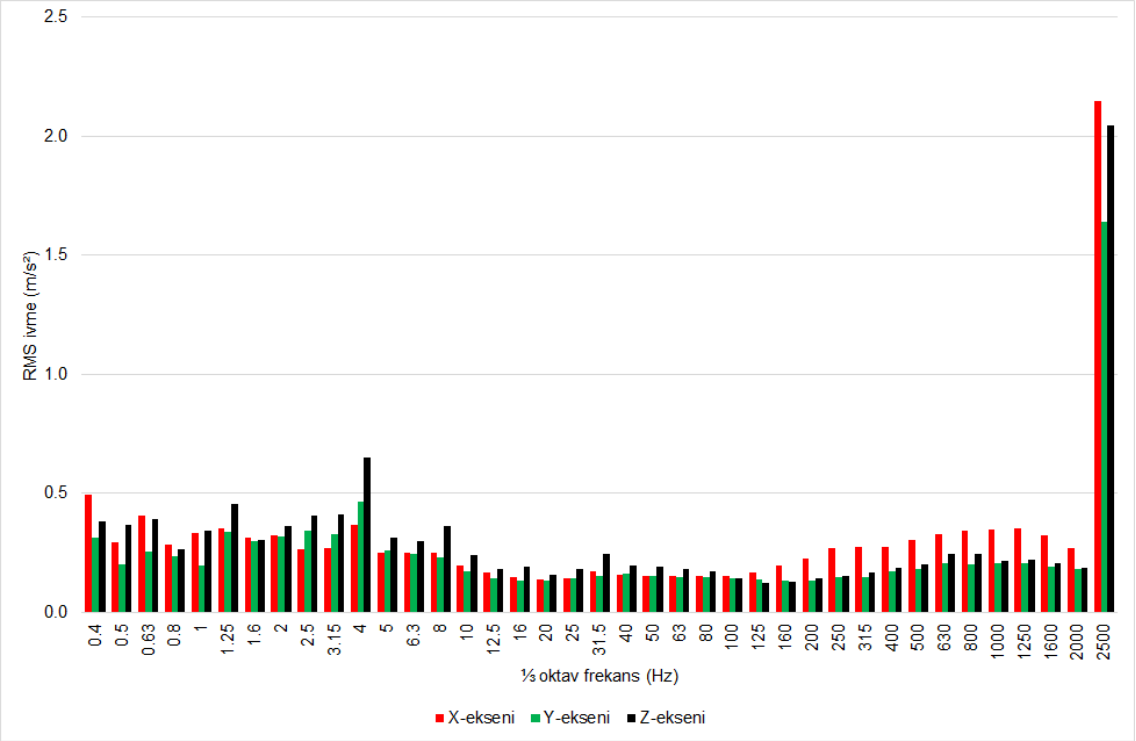
Şekil E-1.42 Havalı avuç taşlama makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



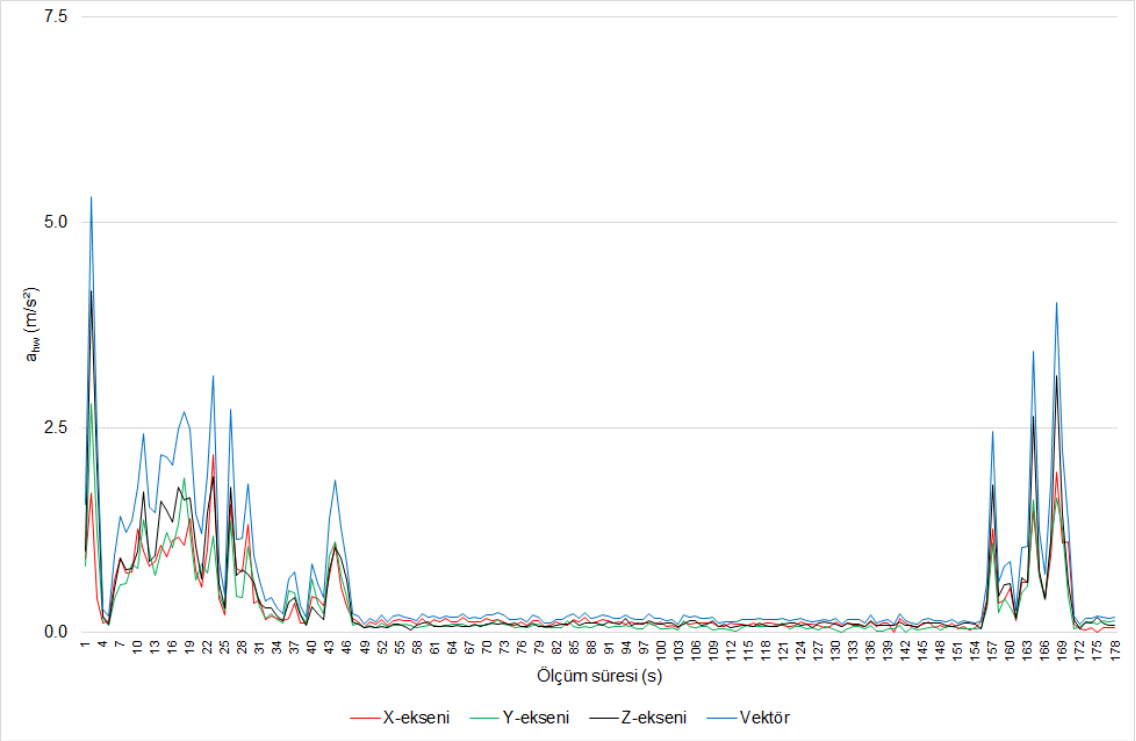
Şekil E-1.43 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



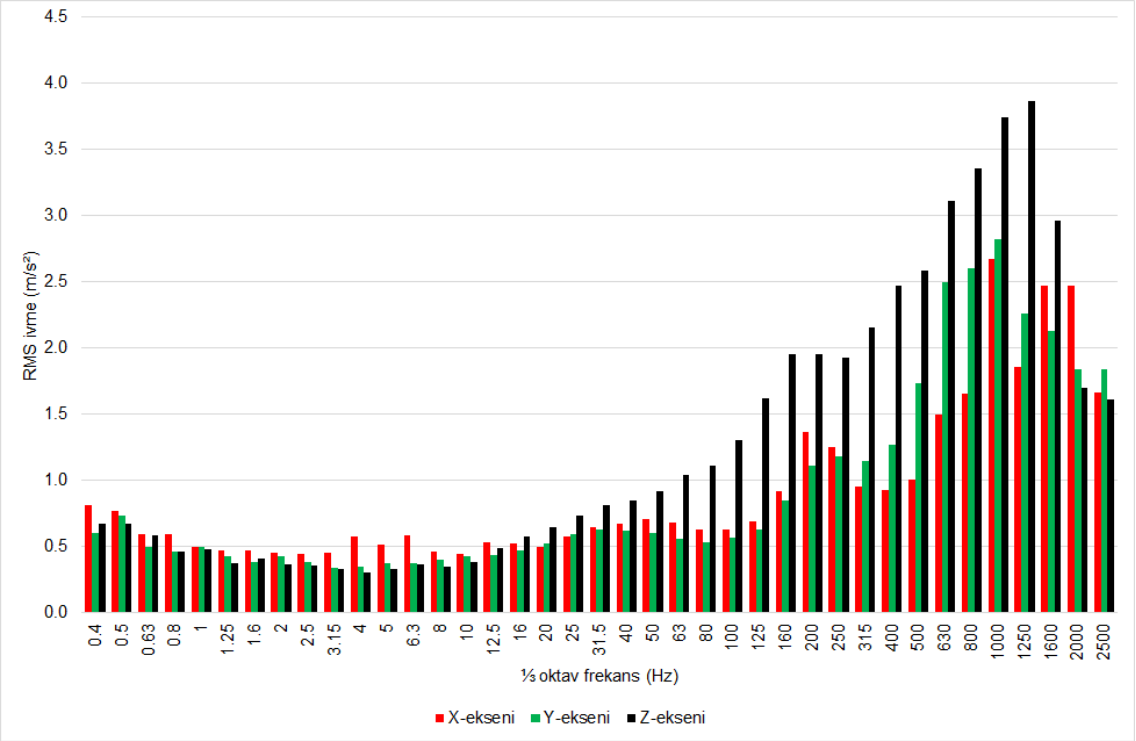
Şekil E-1.44 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



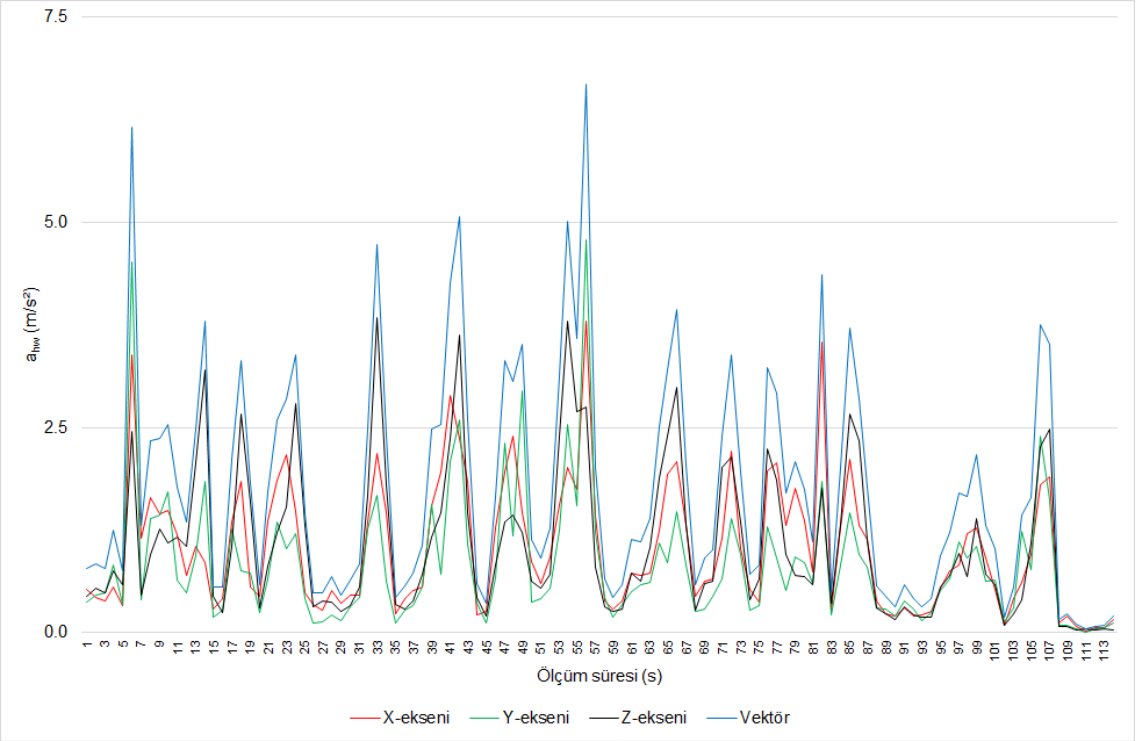
Şekil E-1.45 Kaynak makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



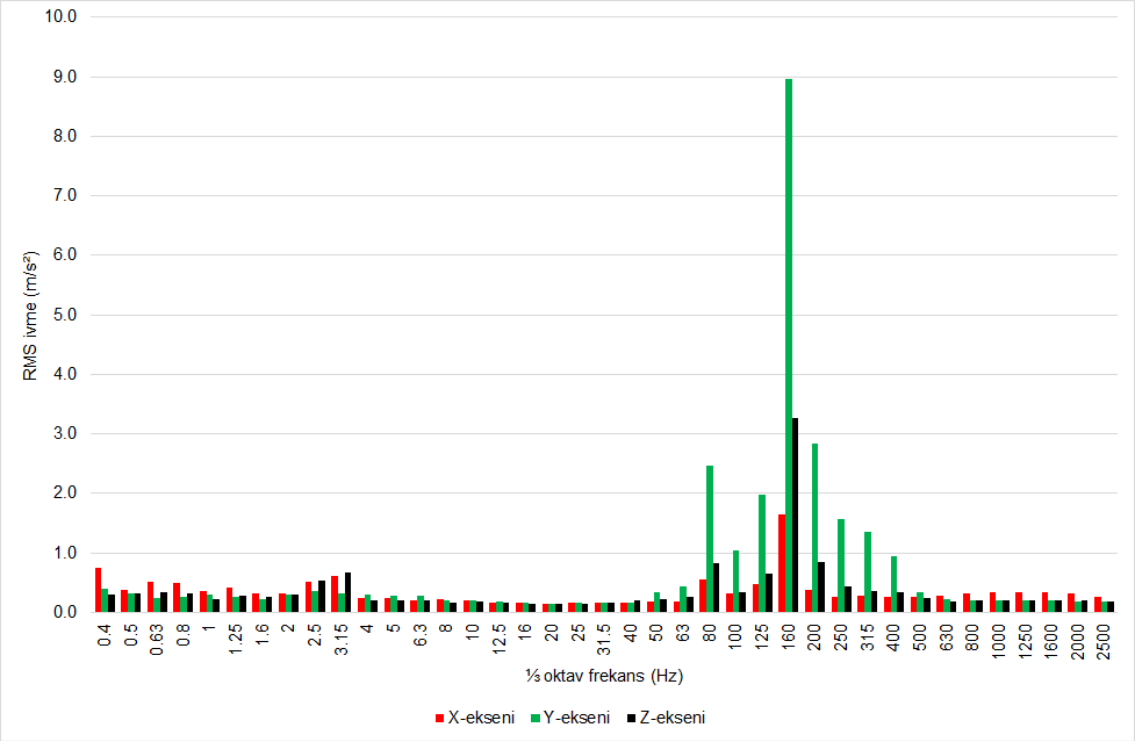
Şekil E-1.46 Kaynak makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



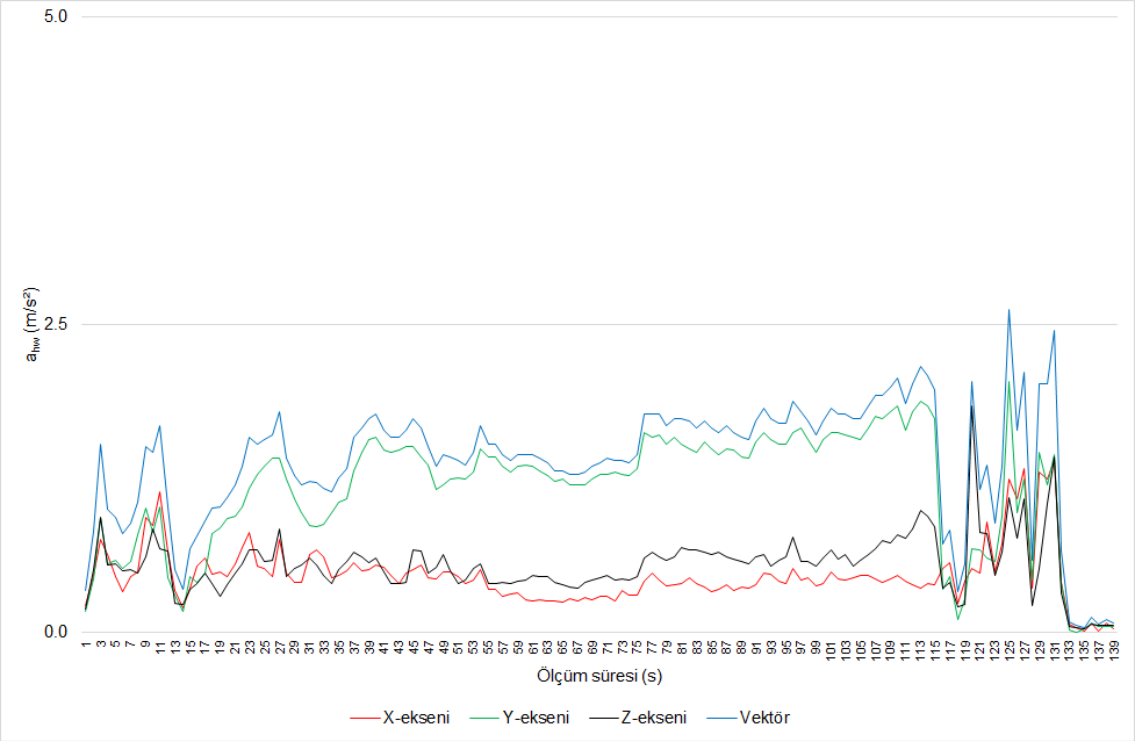
Şekil E-1.47 Havalı bijon tabancası – 5 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



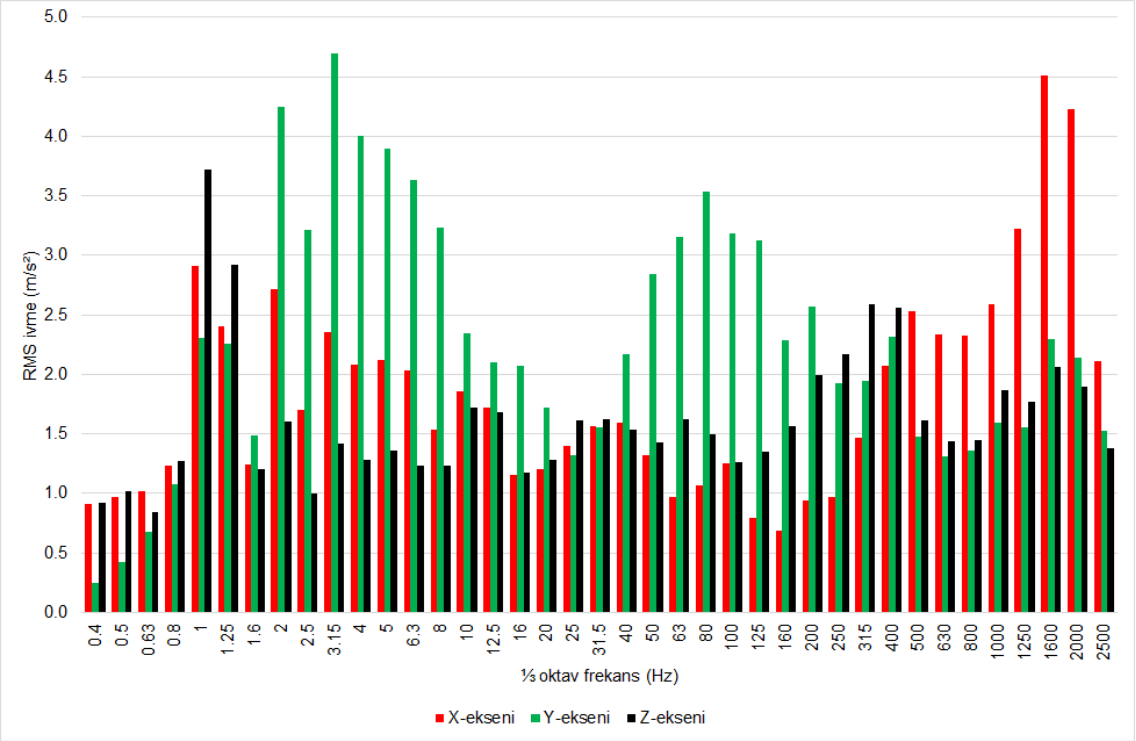
Şekil E-1.48 Havalı bijon tabancası – 5 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



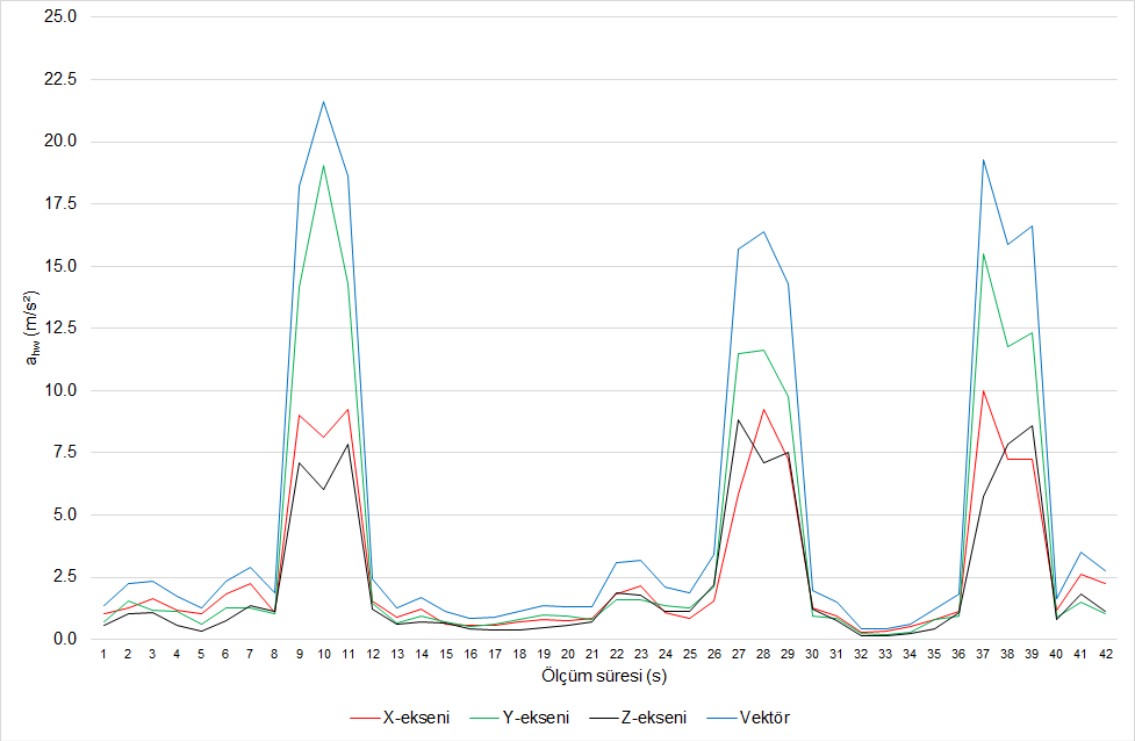
Şekil E-1.49 Basınçlı su tabancası ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



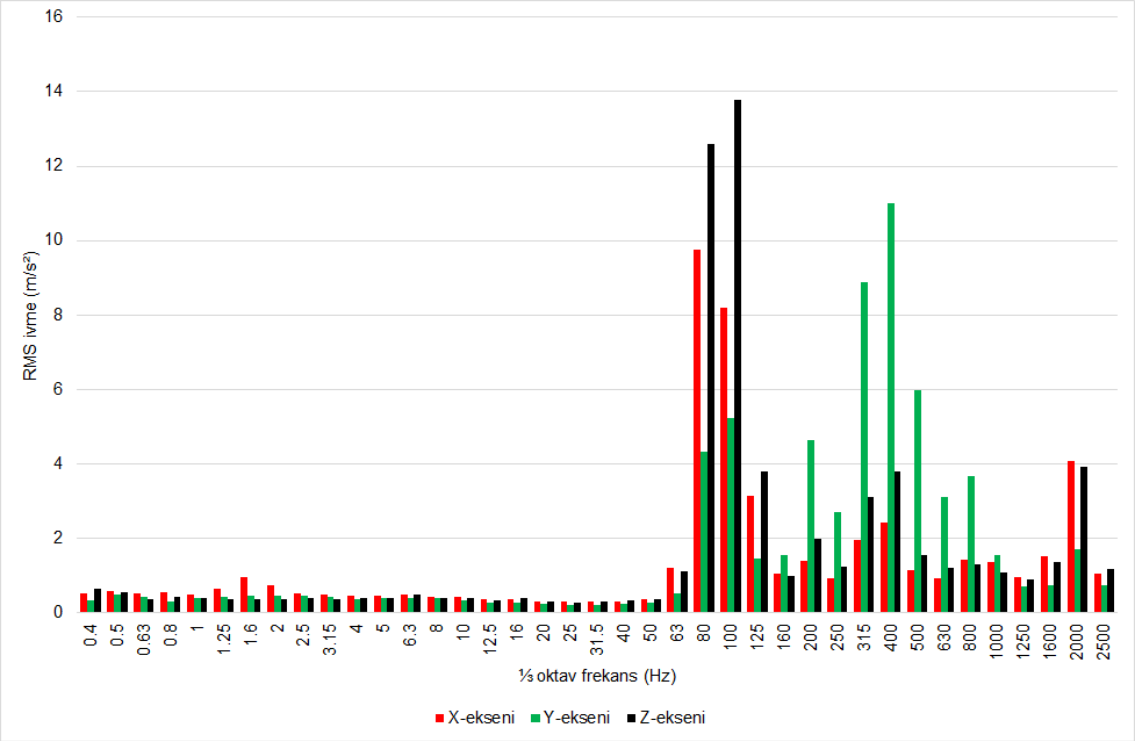
Şekil E-1.50 Basınçlı su tabancası ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



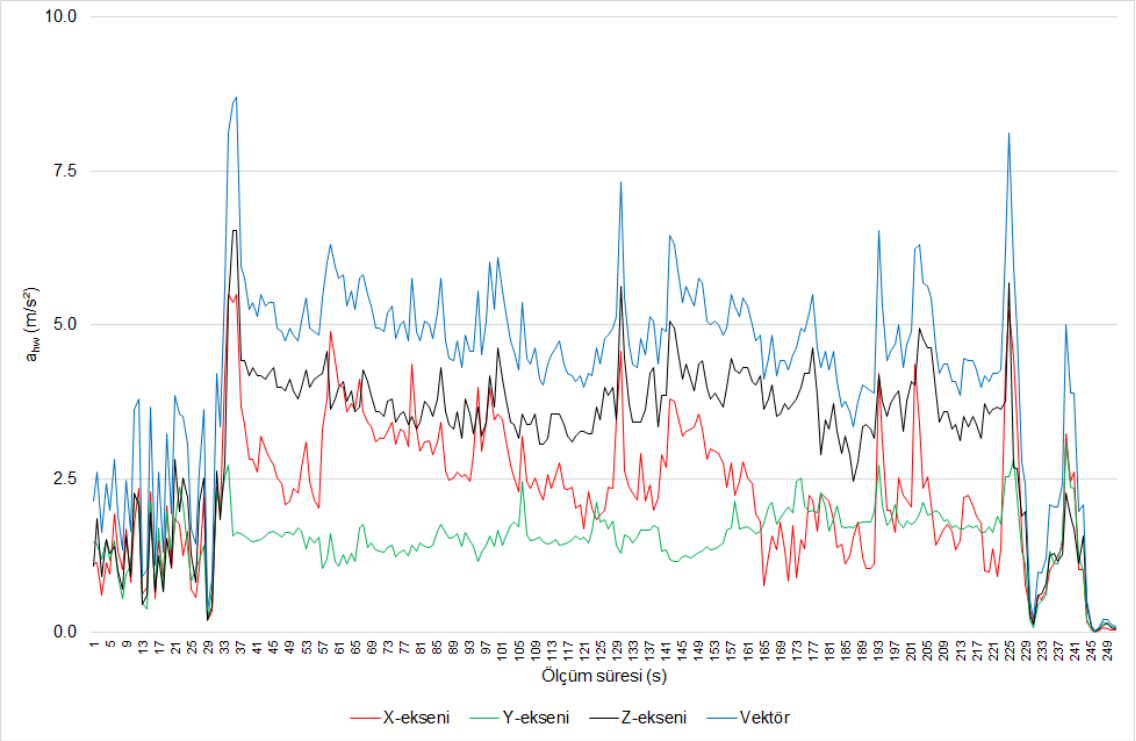
Şekil E-1.51 Büyük çekiç ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



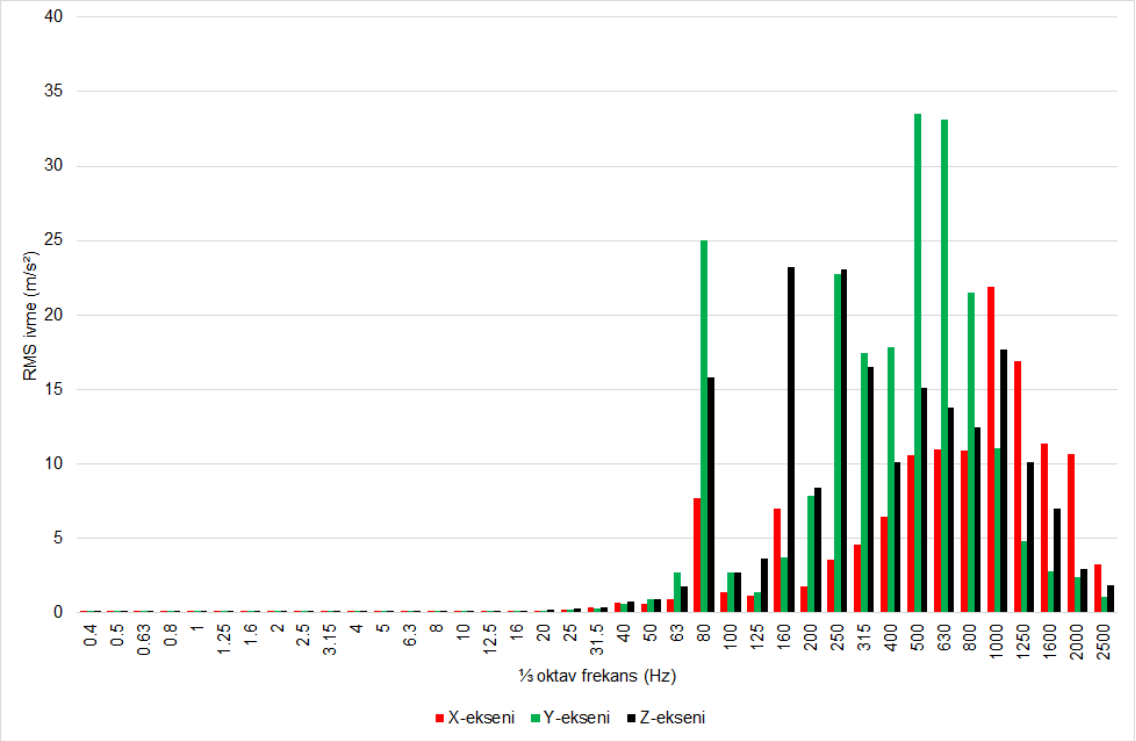
Şekil E-1.52 Büyük çekiç ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



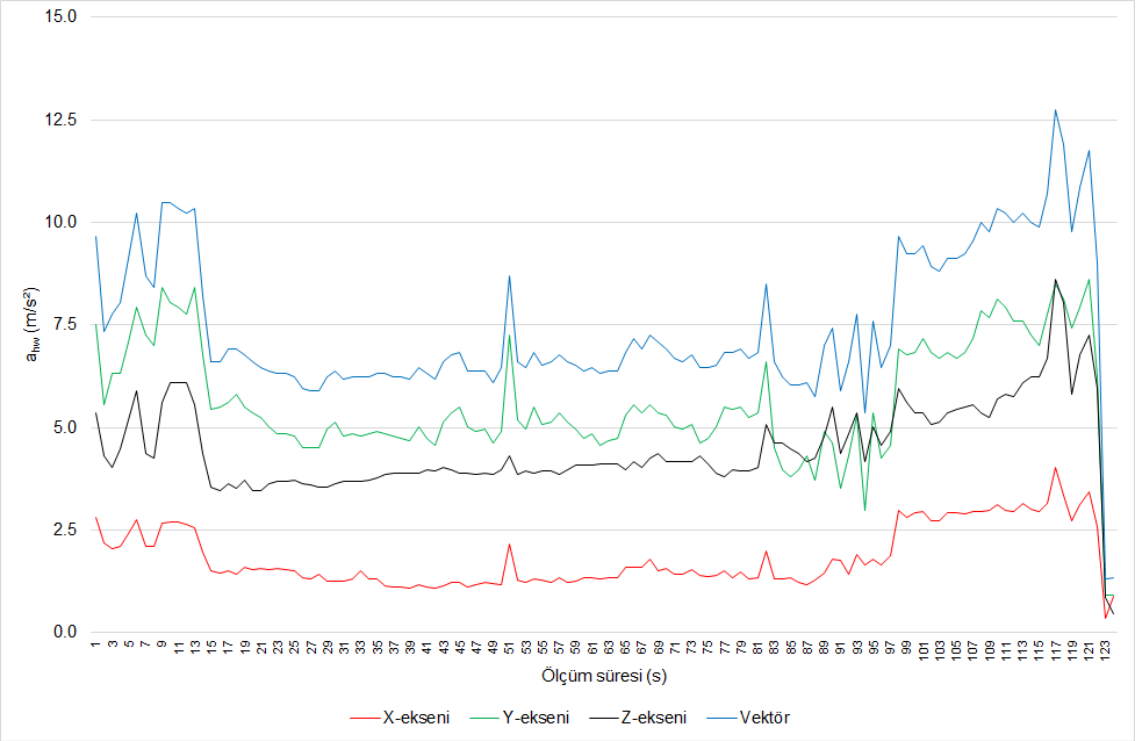
Şekil E-1.53 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 4 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



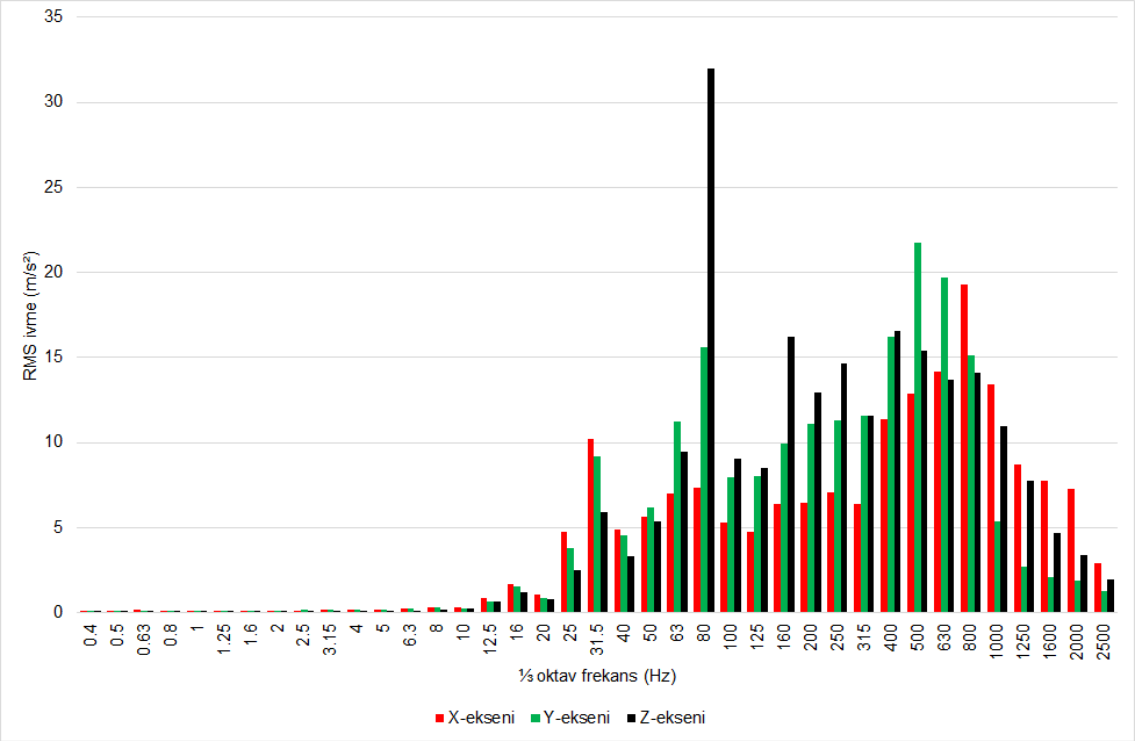
Şekil E-1.54 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 4 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



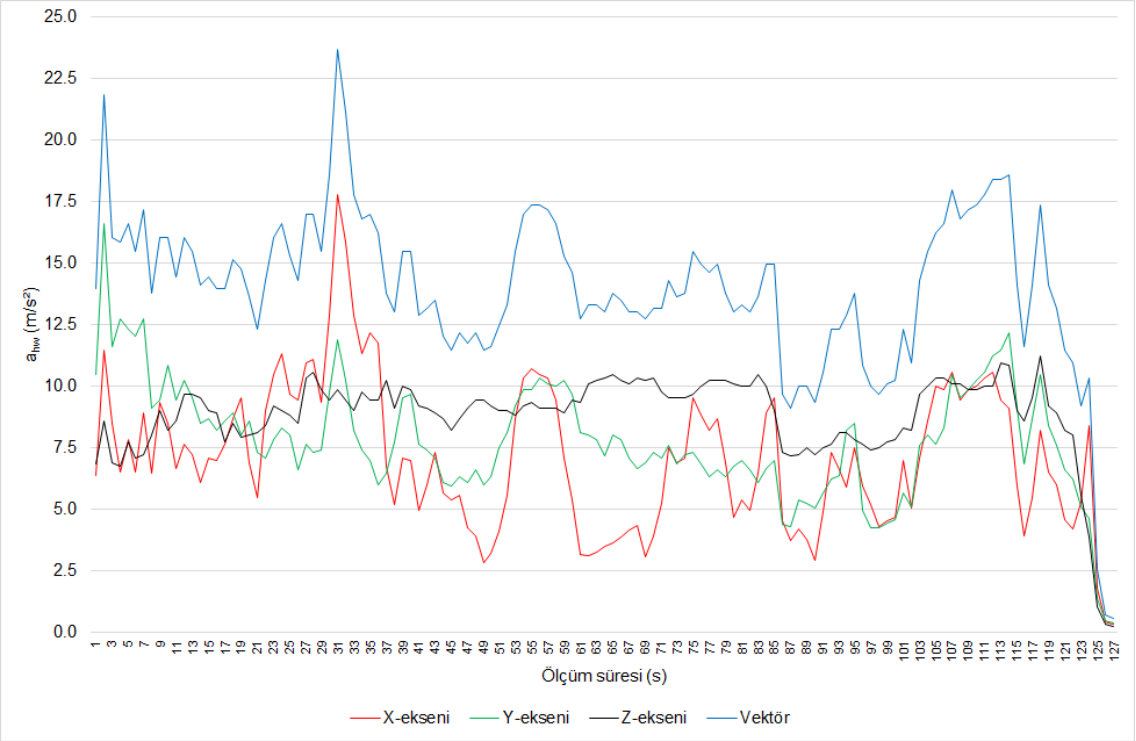
Şekil E-1.55 Elektrikli matkap – küçük – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



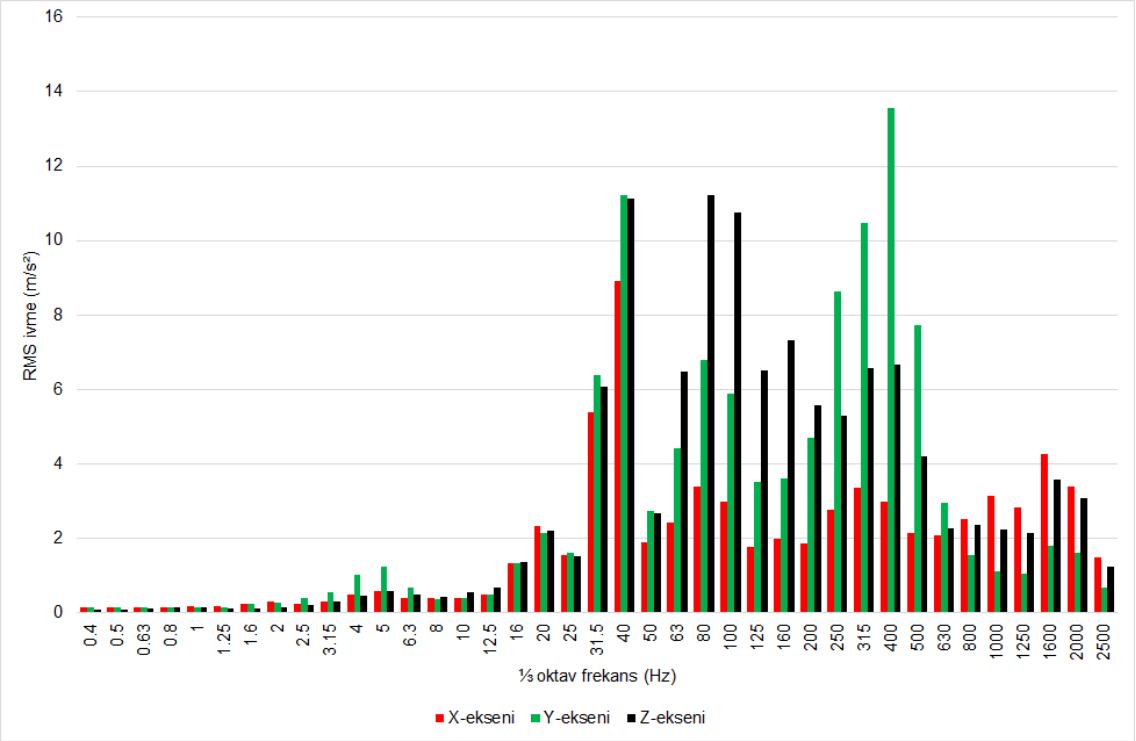
Şekil E-1.56 Elektrikli matkap – küçük – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



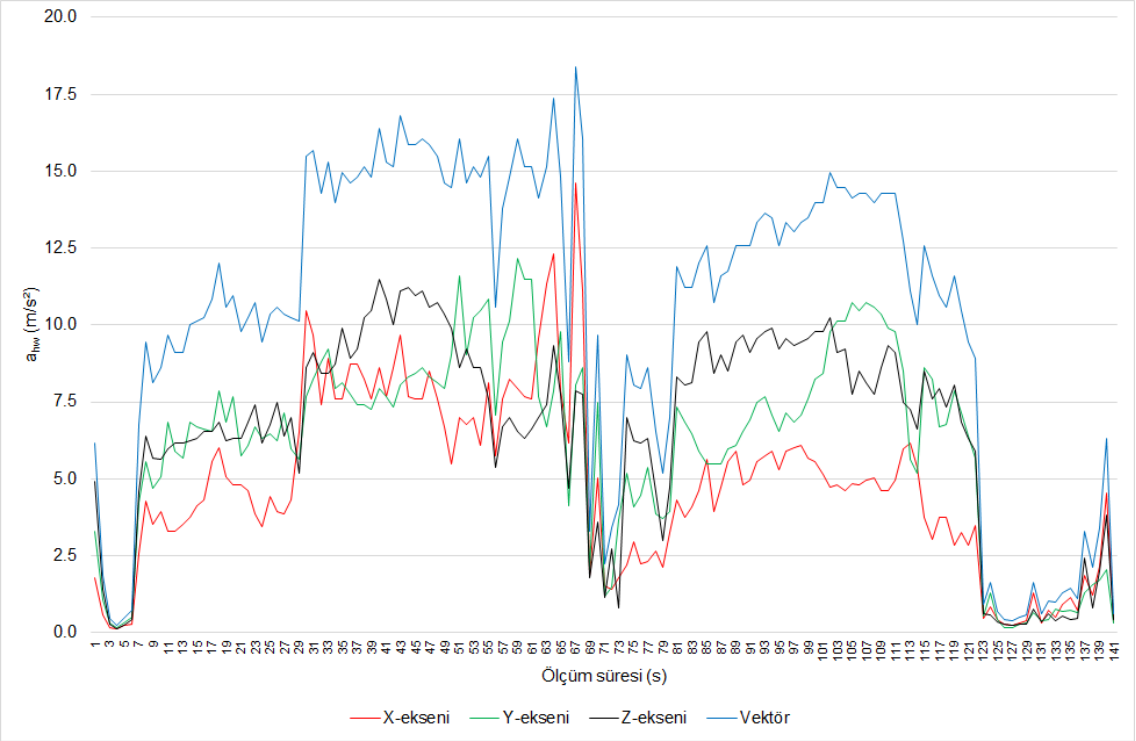
Şekil E-1.57 Elektrikli matkap – küçük – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



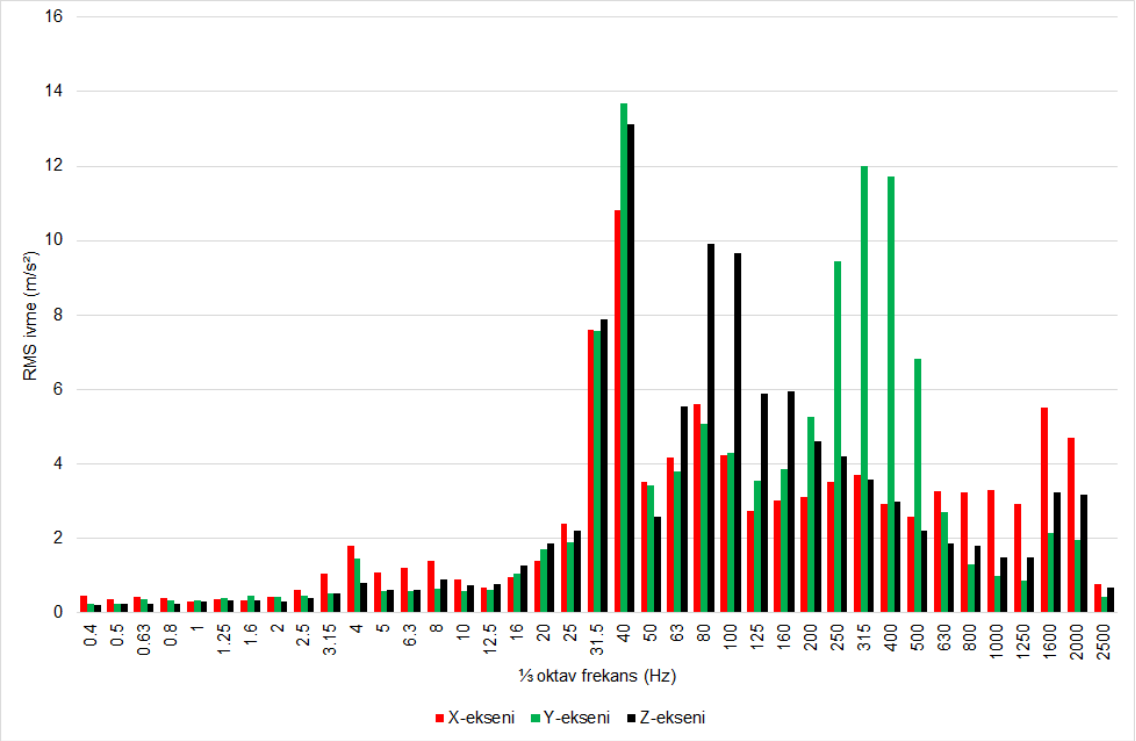
Şekil E-1.58 Elektrikli matkap – küçük – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



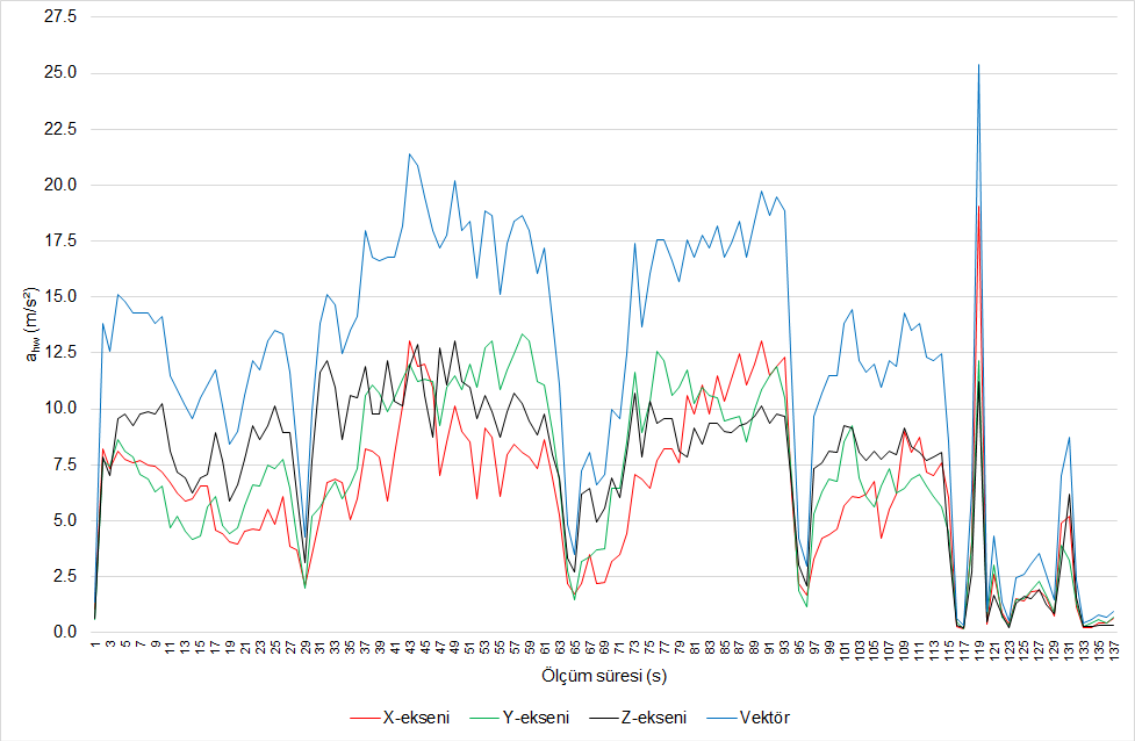
Şekil E-1.59 Elektrikli matkap – büyük – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



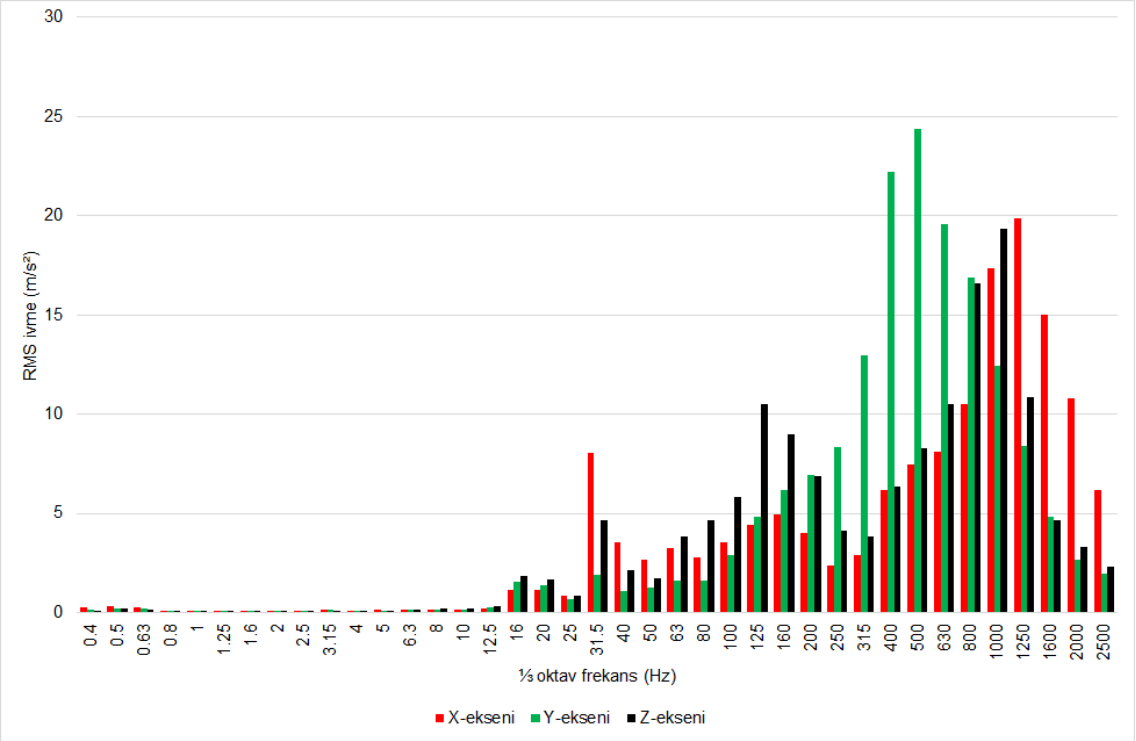
Şekil E-1.60 Elektrikli matkap – büyük – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



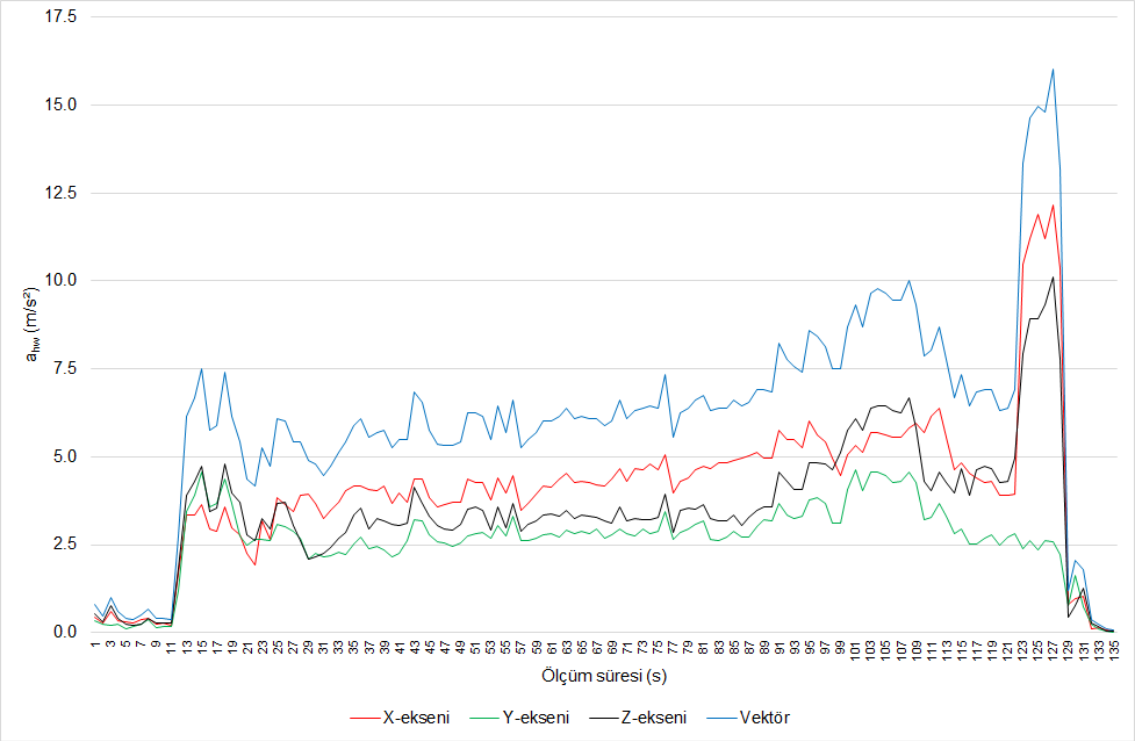
Şekil E-1.61 Elektrikli matkap – büyük – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



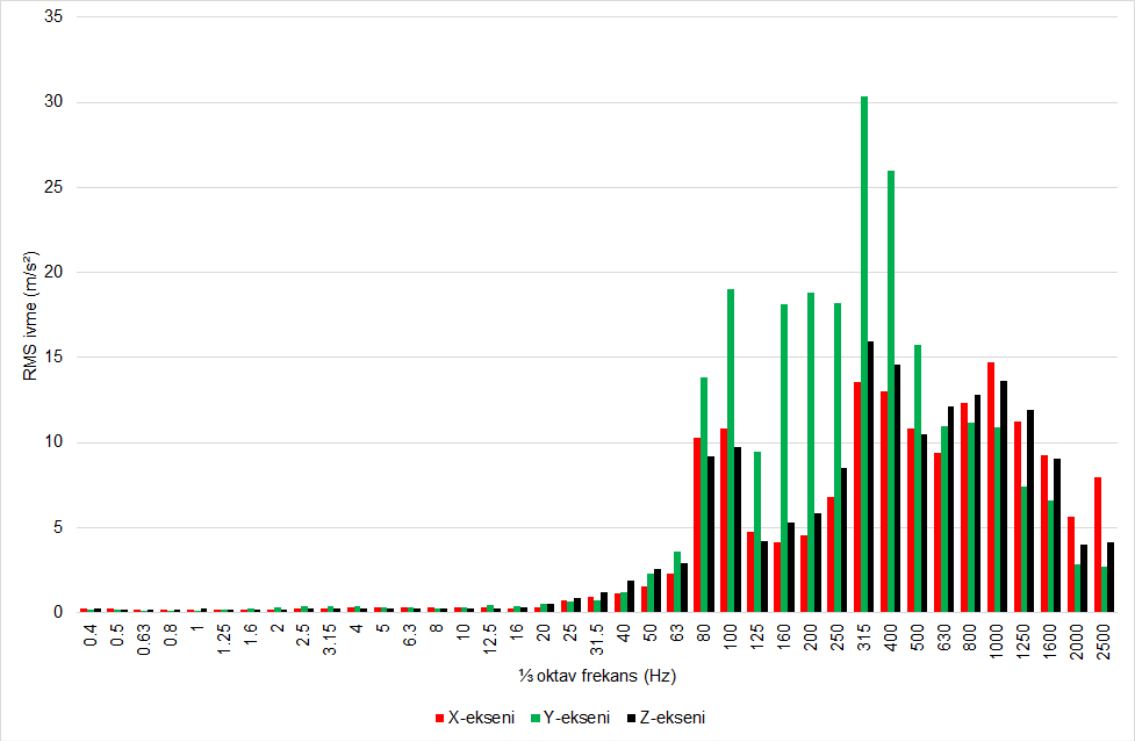
Şekil E-1.62 Elektrikli matkap – büyük – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



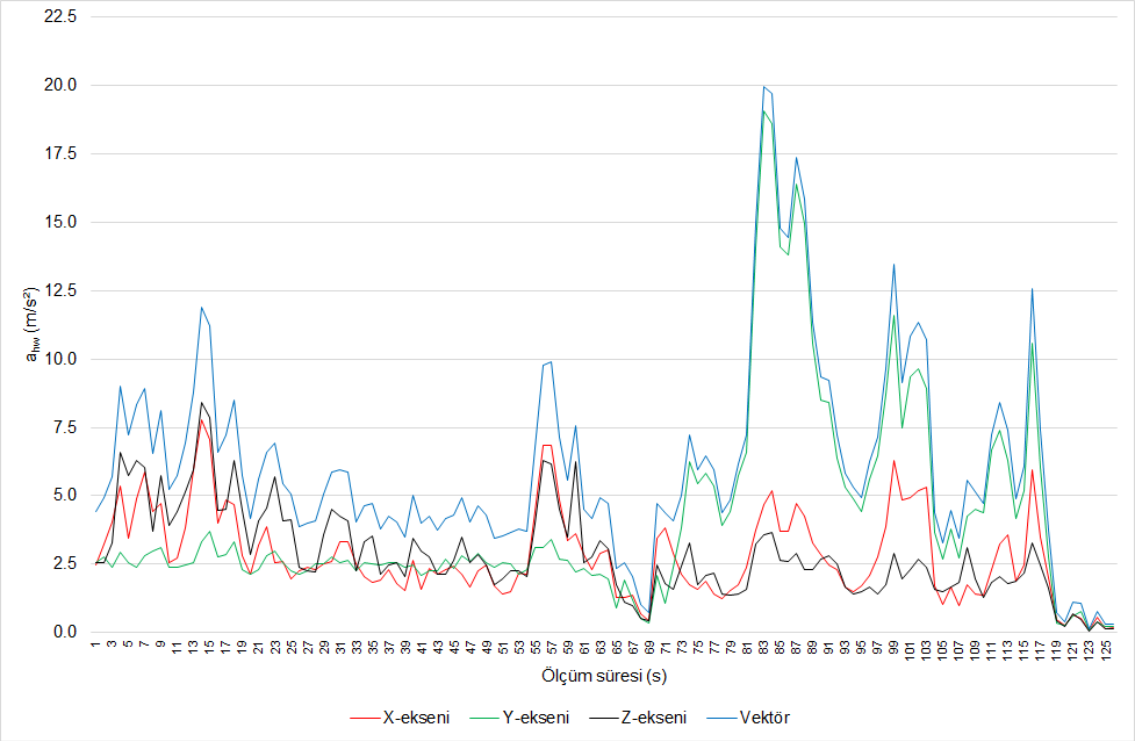
Şekil E-1.63 Elektrikli somun sıkma makinesi – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



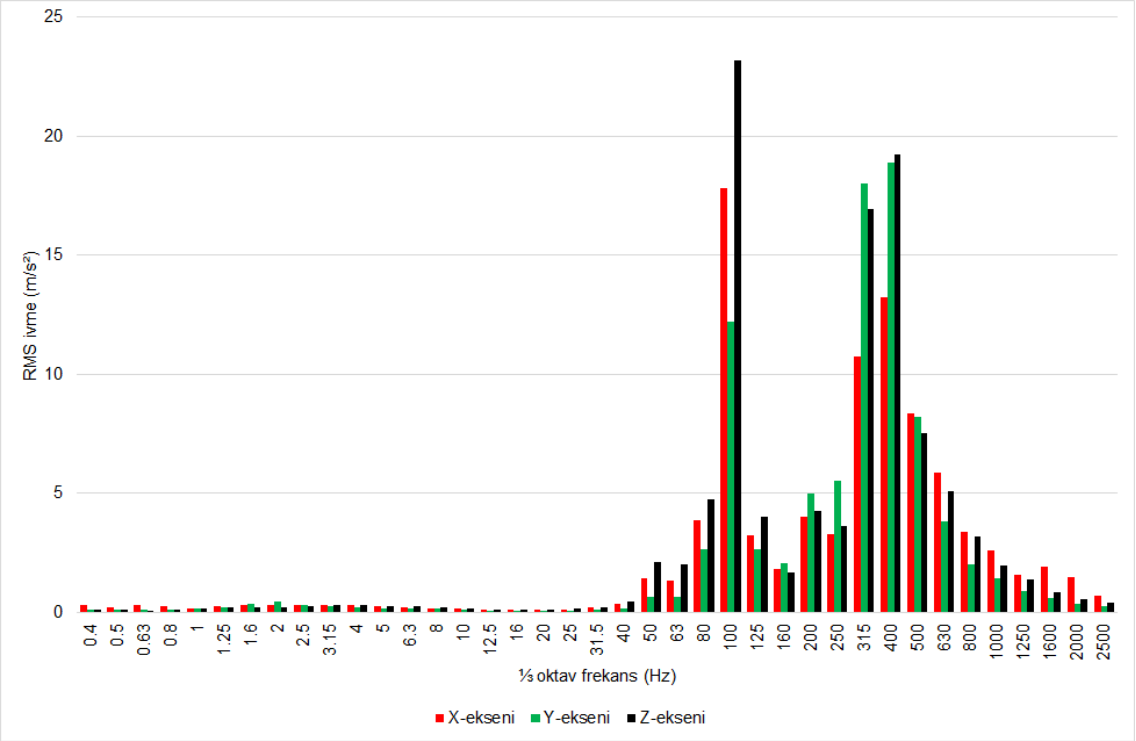
Şekil E-1.64 Elektrikli somun sıkma makinesi – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



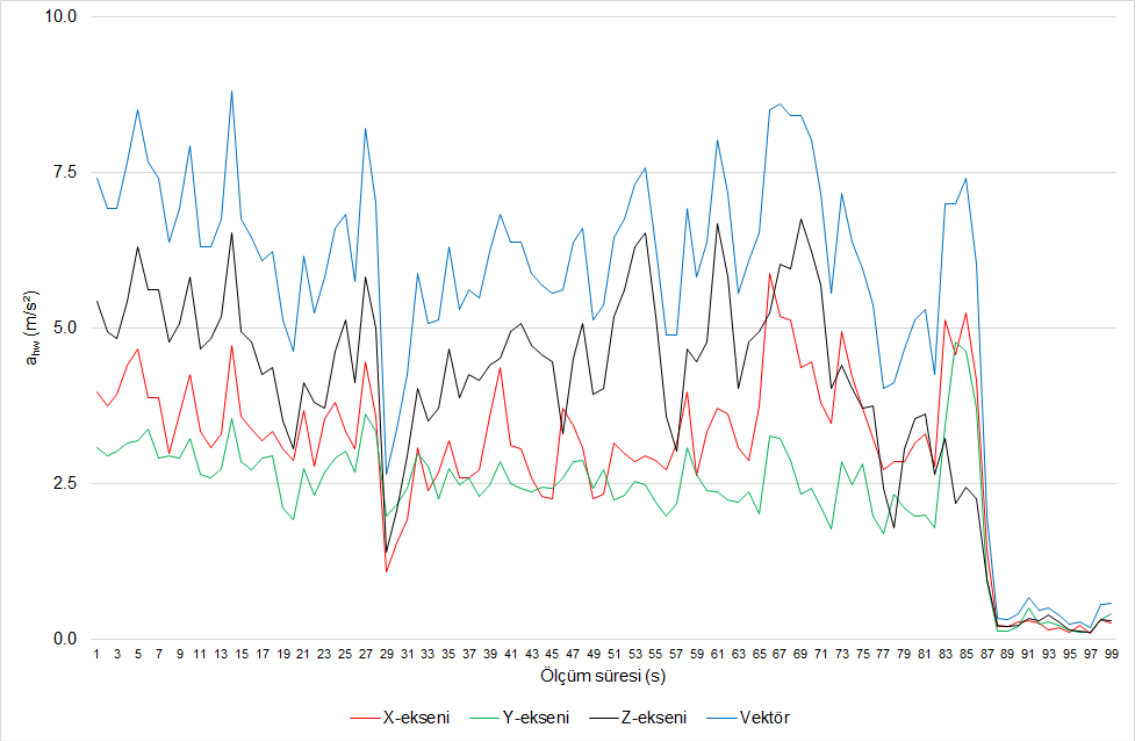
Şekil E-1.65 Elektrikli spiral kesme makinesi – 1 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



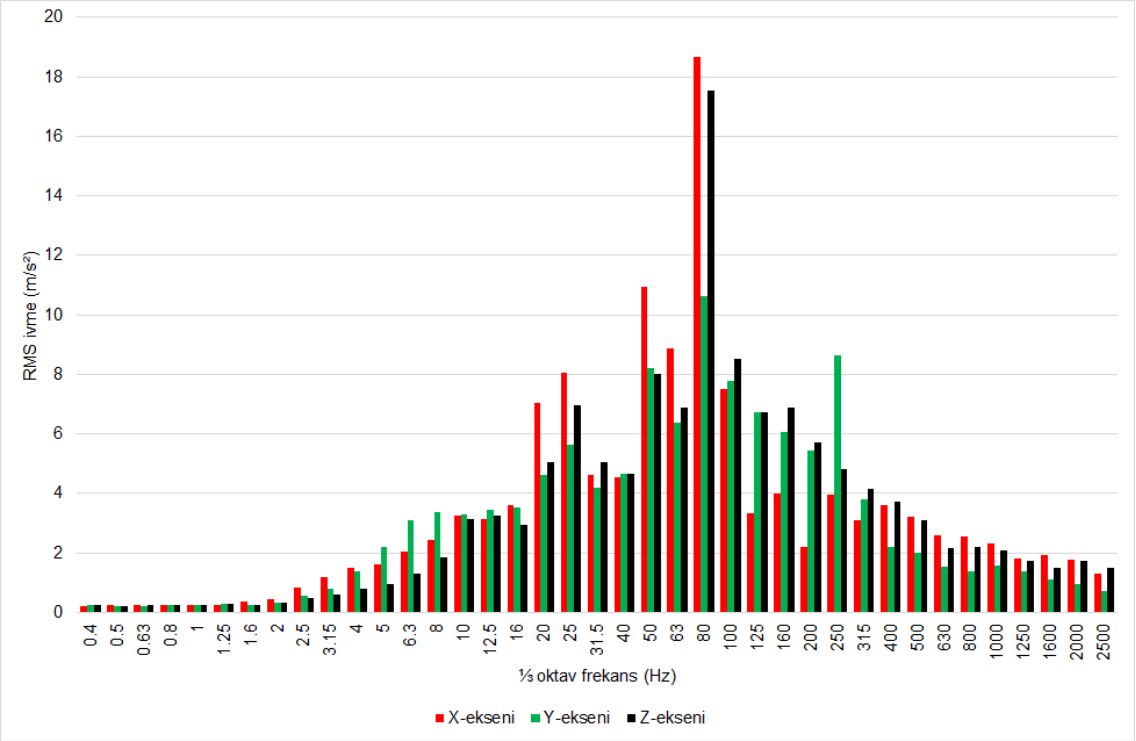
Şekil E-1.66 Elektrikli spiral kesme makinesi – 1 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



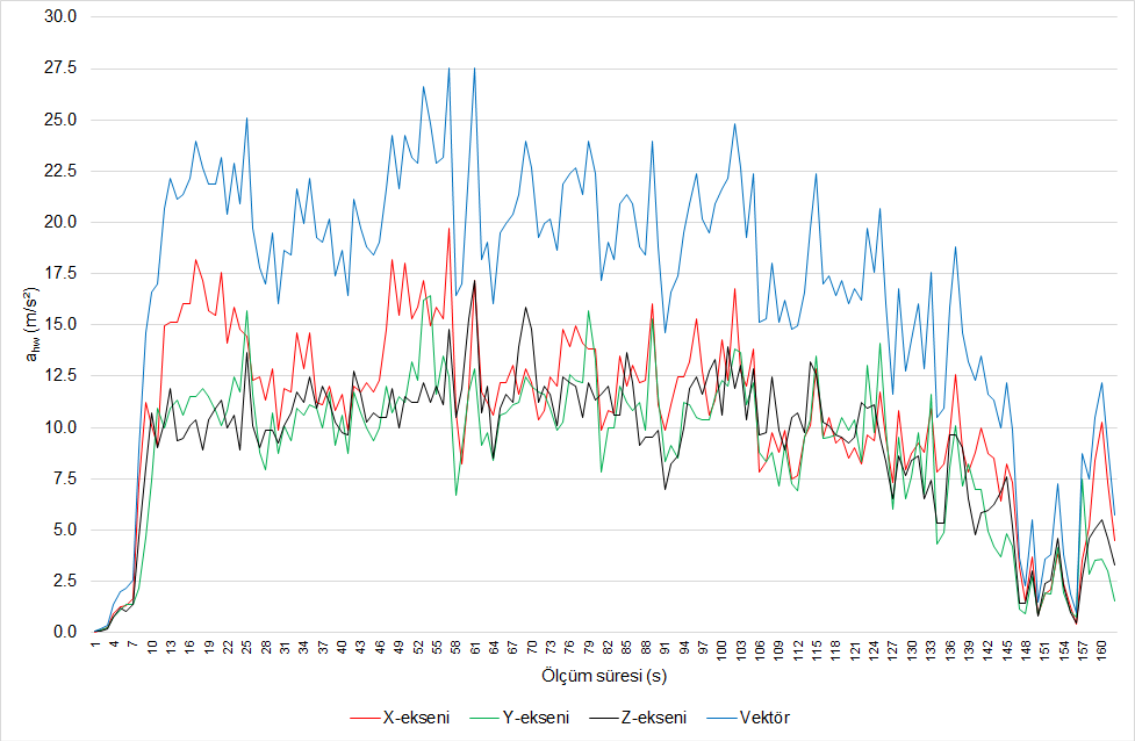
Şekil E-1.67 Elektrikli spiral taşlama makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



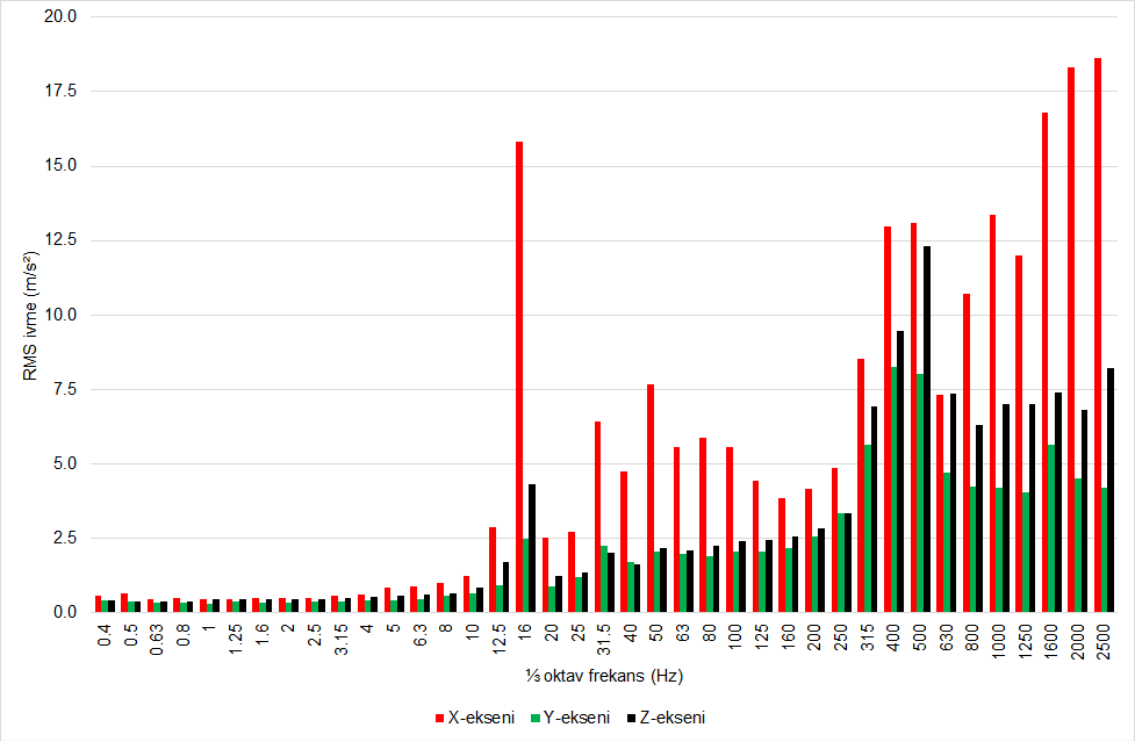
Şekil E-1.68 Elektrikli spiral taşlama makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



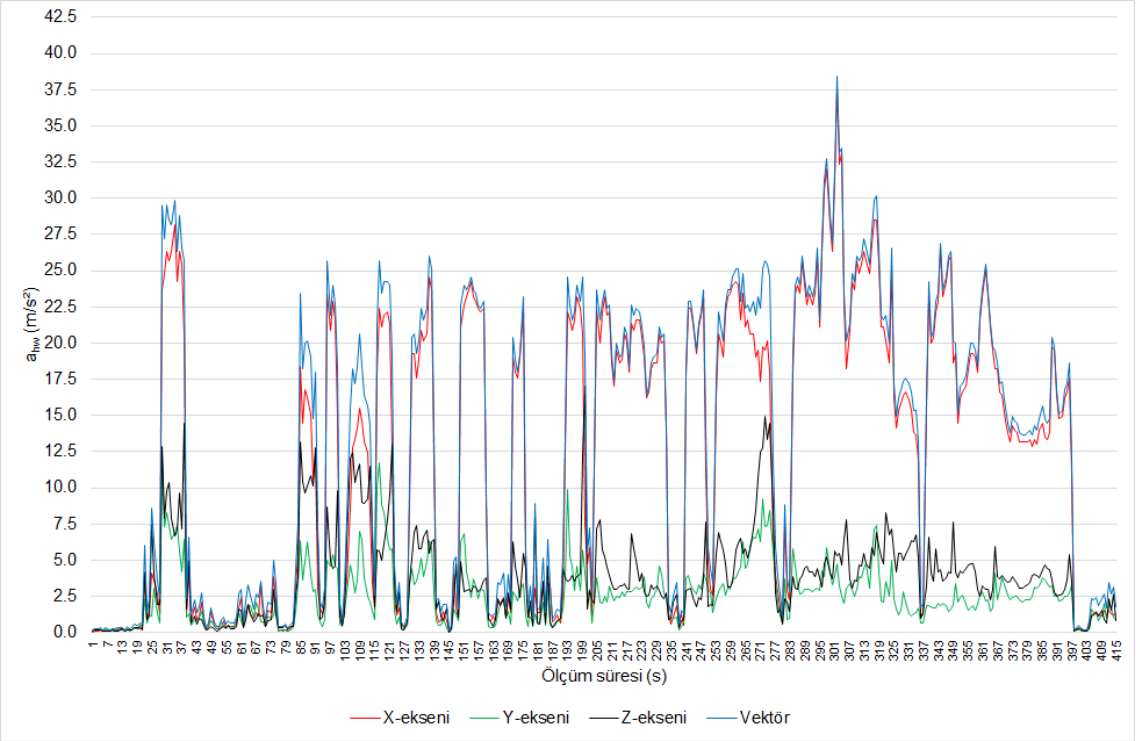
Şekil E-1.69 Kompaktör – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



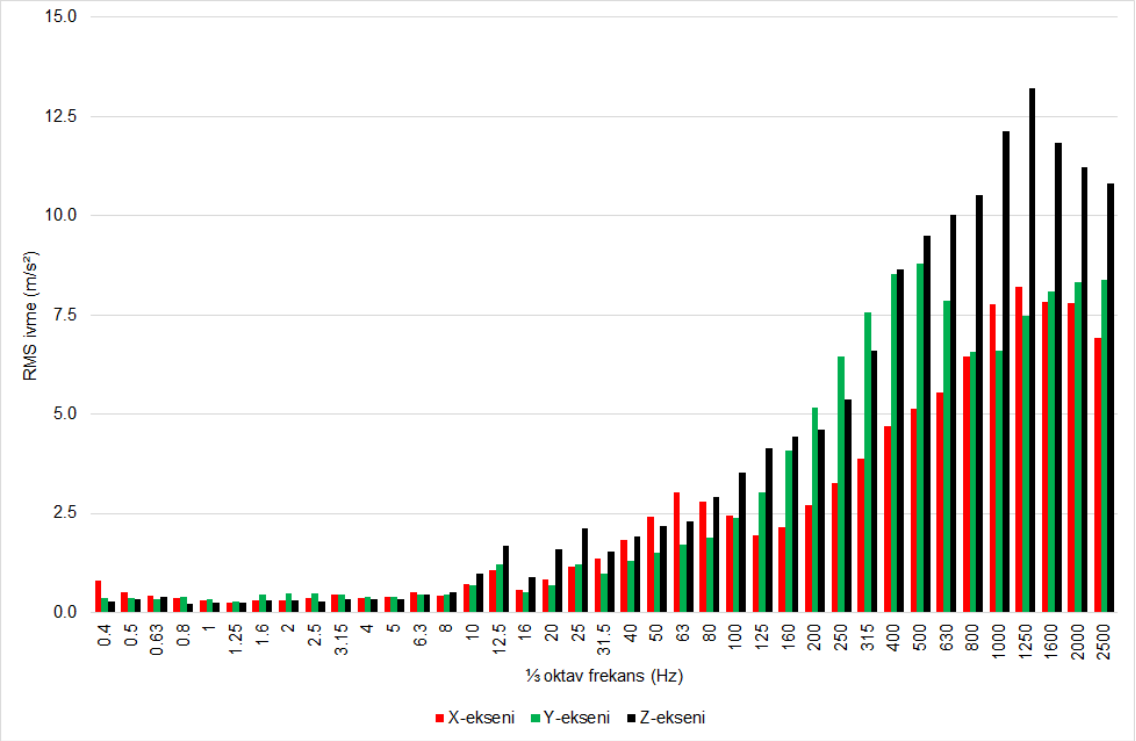
Şekil E-1.70 Kompaktör – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



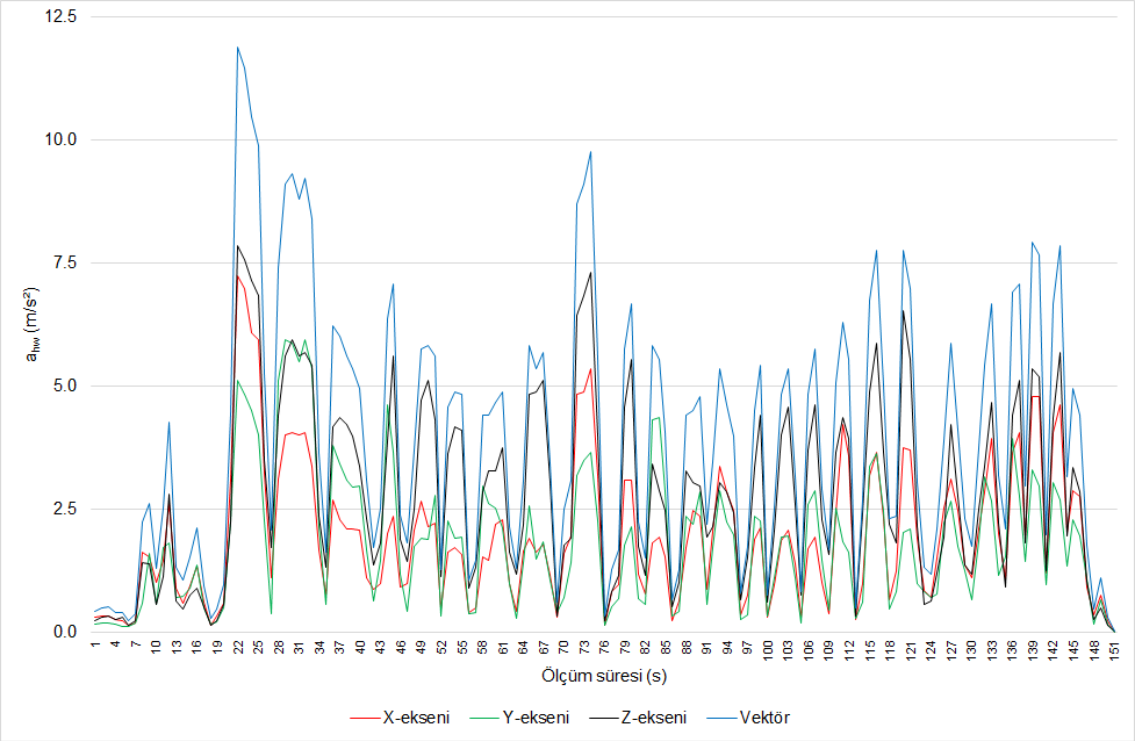
Şekil E-1.71 Havalı martopikör – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



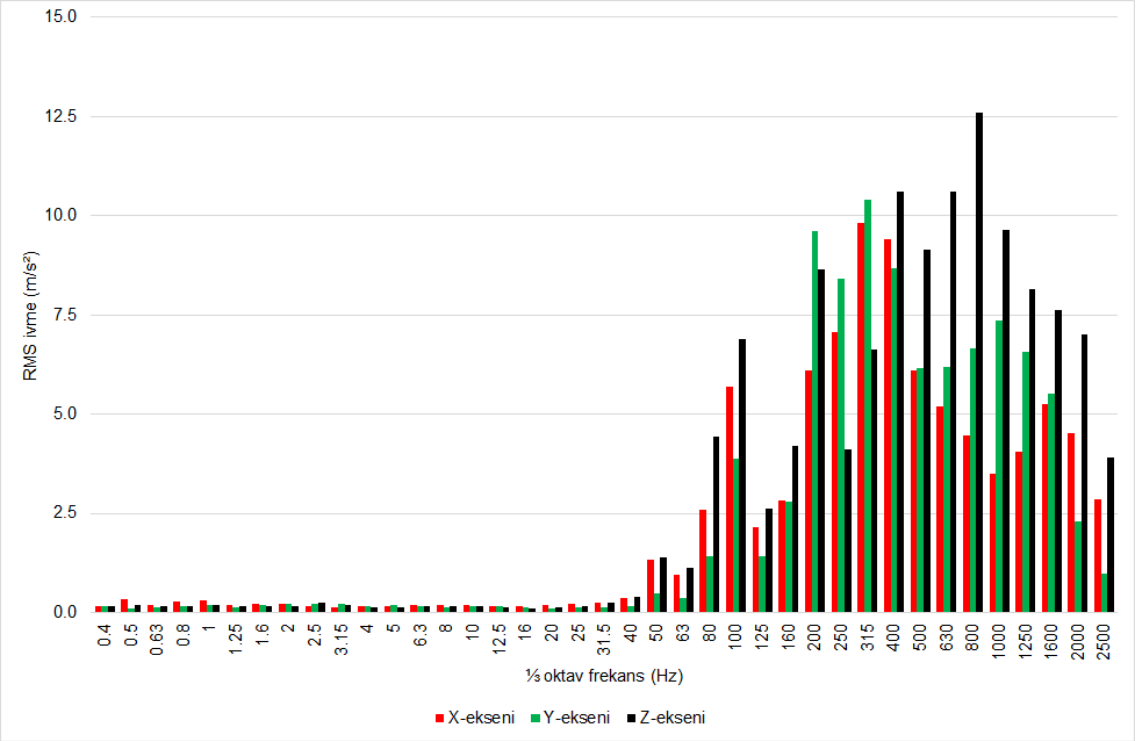
Şekil E-1.72 Havalı martopikör – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



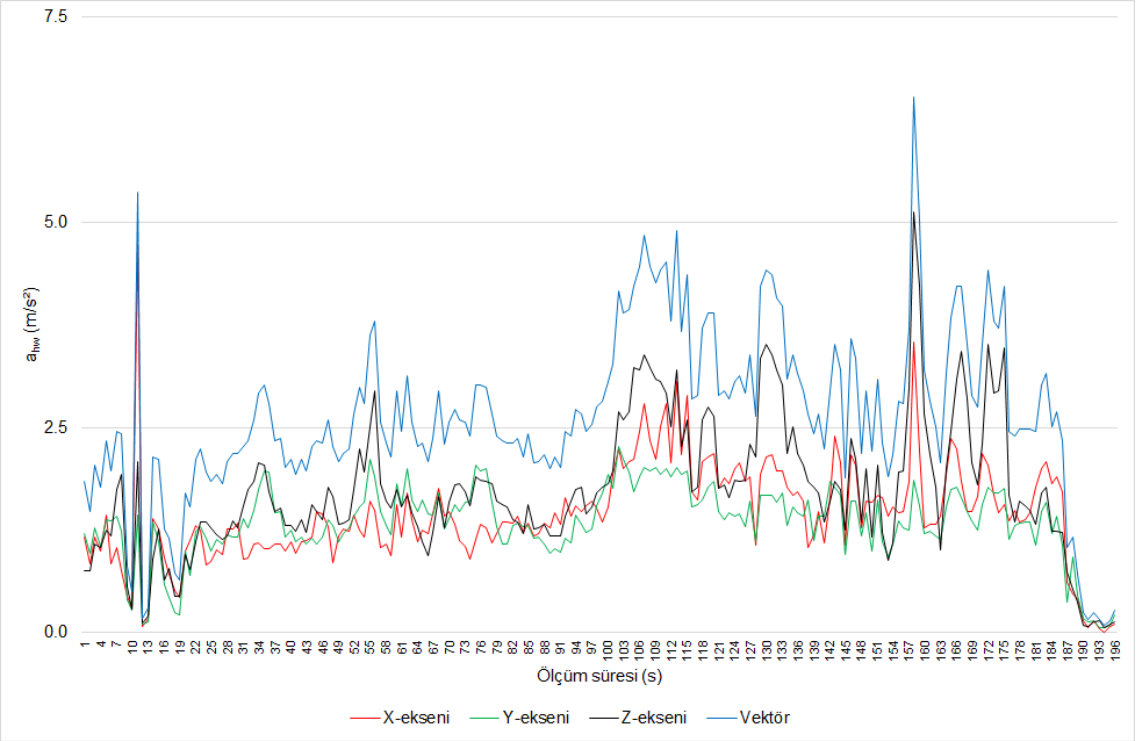
Şekil E-1.73 Havalı bijon tabancası – 6 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



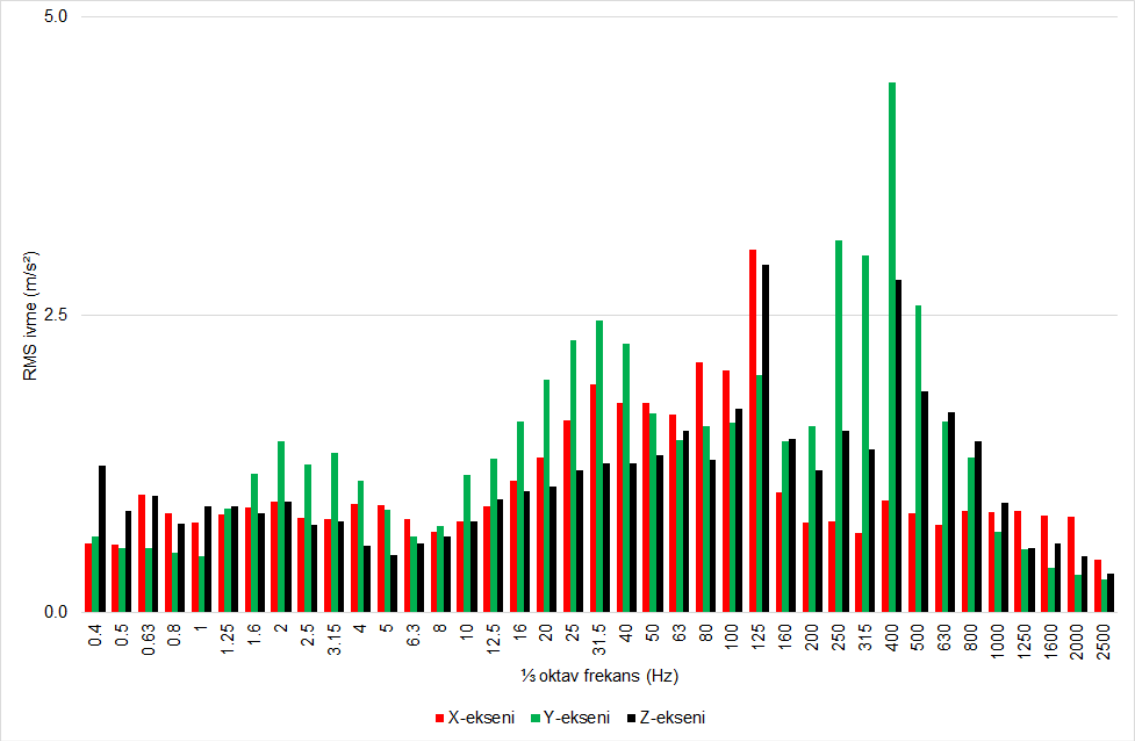
Şekil E-1.74 Havalı bijon tabancası – 6 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



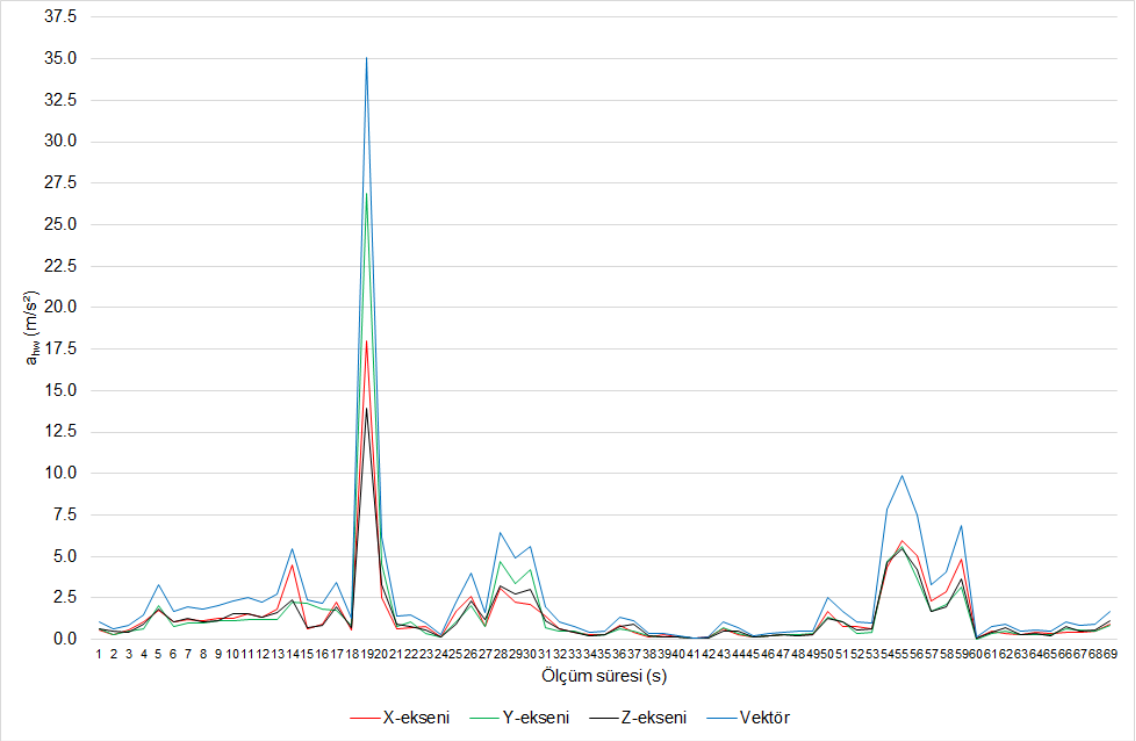
Şekil E-1.75 Elektrikli avuç kesme makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



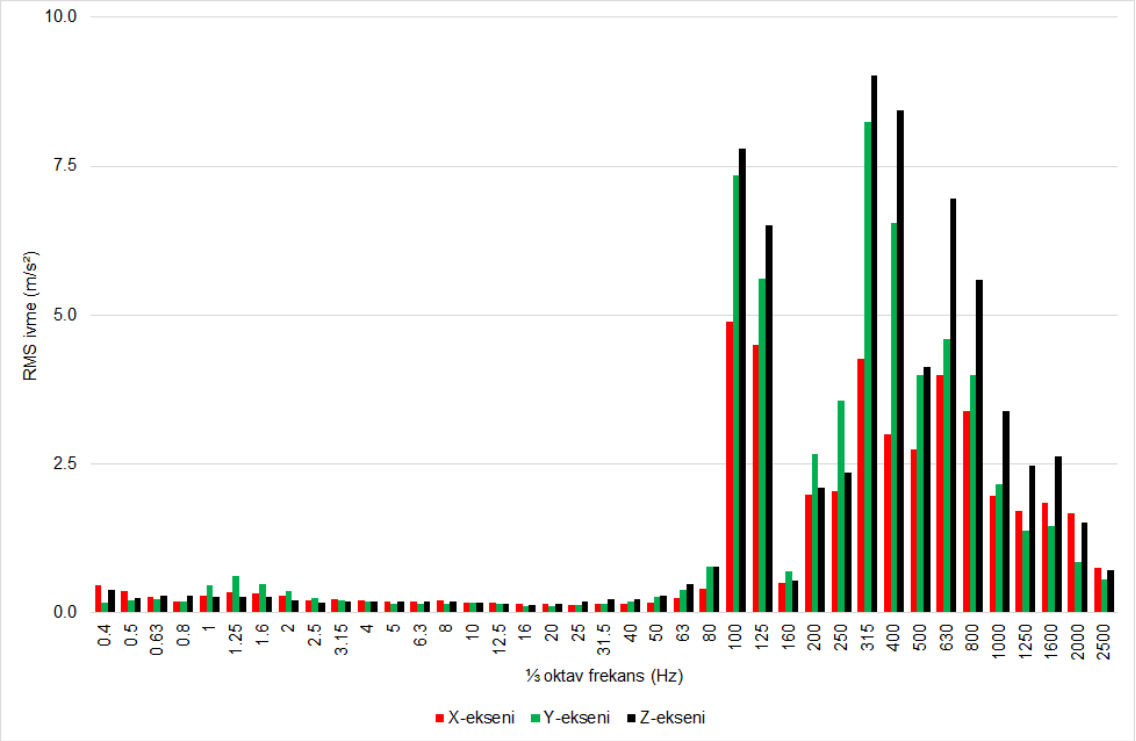
Şekil E-1.76 Elektrikli avuç kesme makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



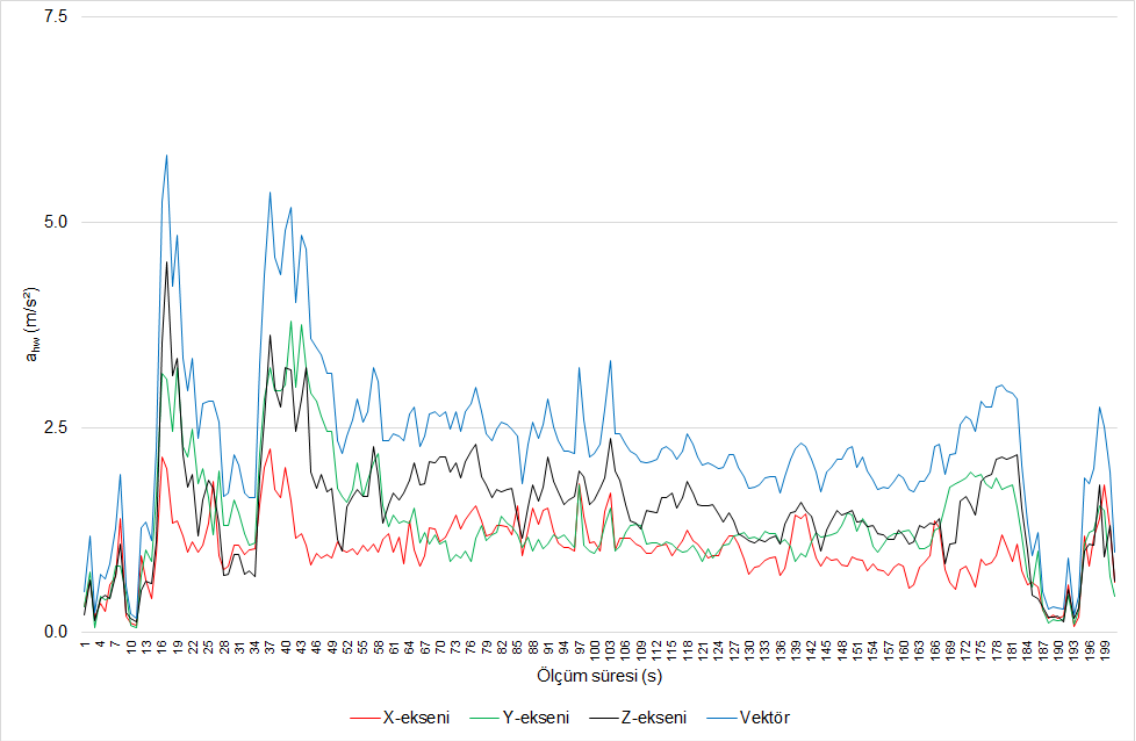
Şekil E-1.77 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 5 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



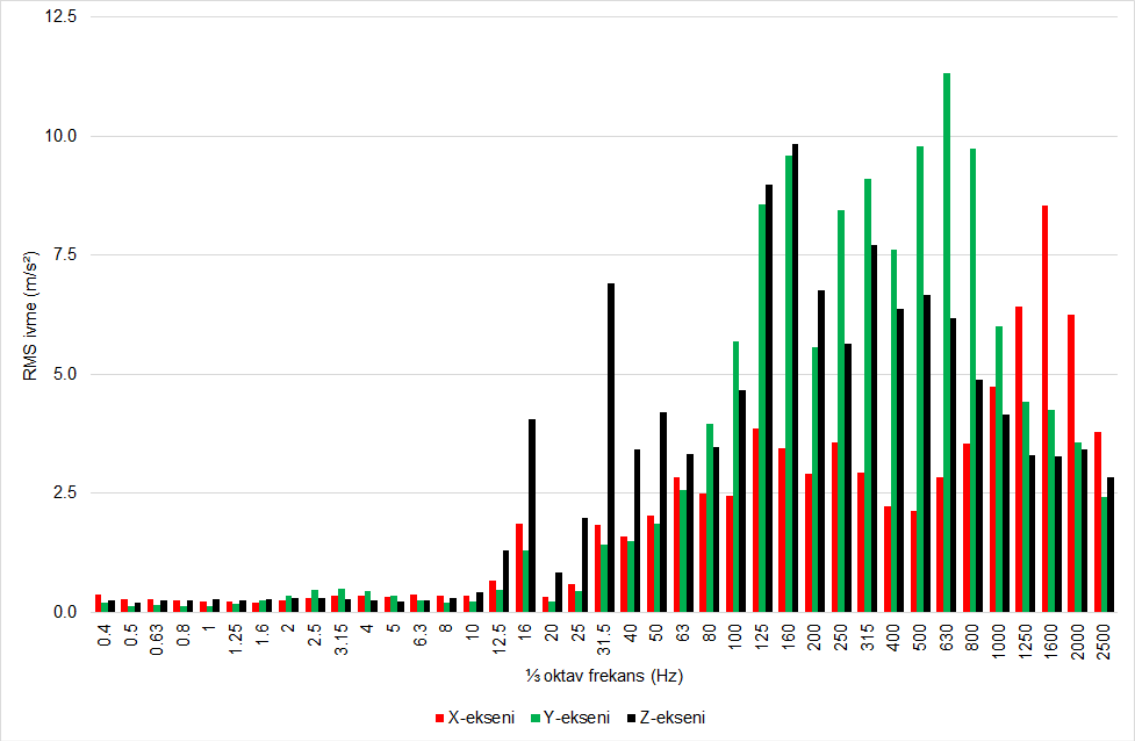
Şekil E-1.78 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 5 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



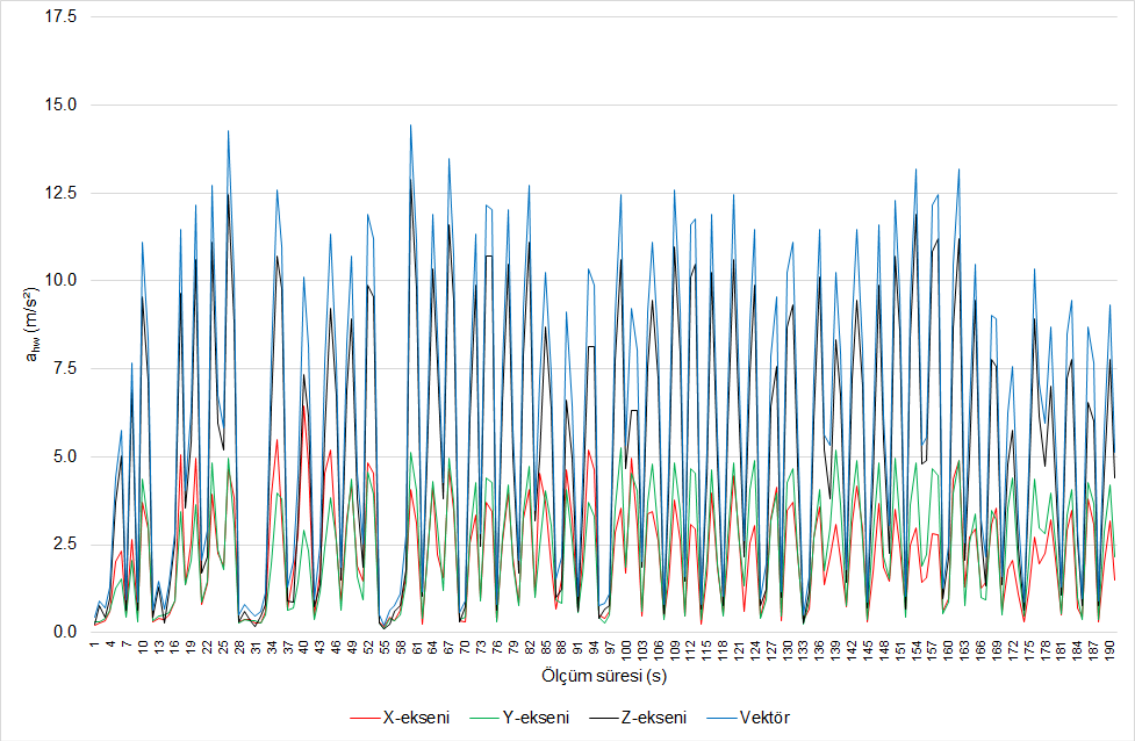
Şekil E-1.79 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 6 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



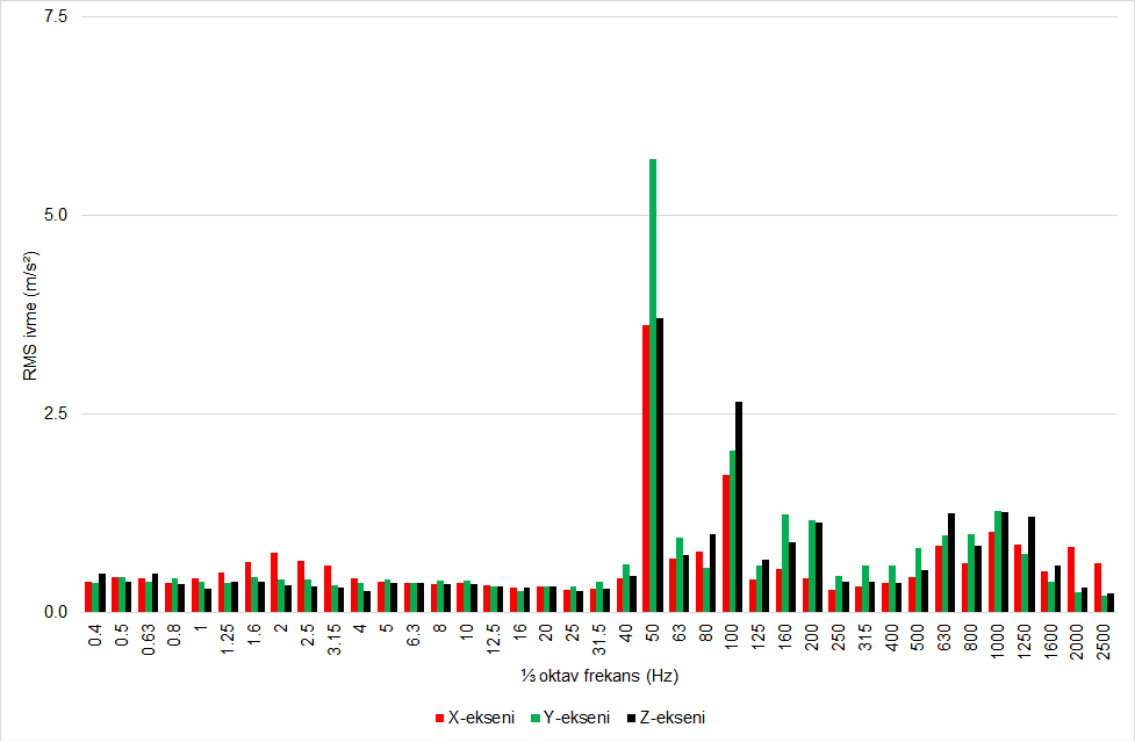
Şekil E-1.80 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 6 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



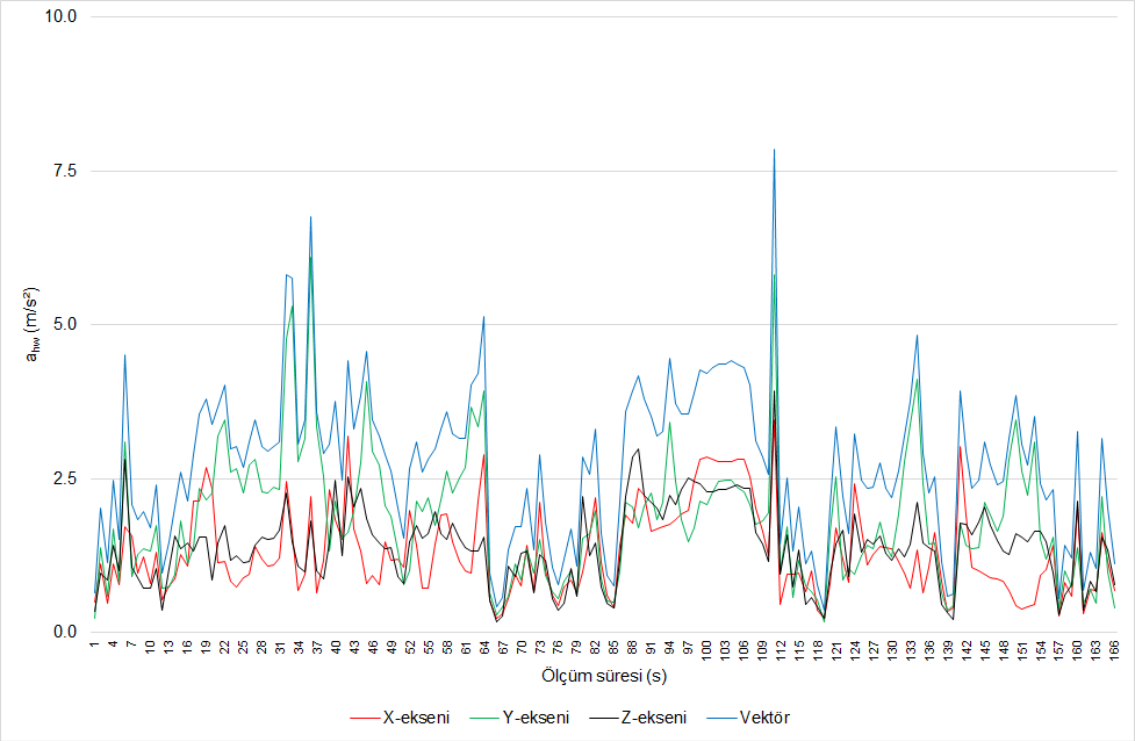
Şekil E-1.81 Havalı bijon tabancası – 7 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



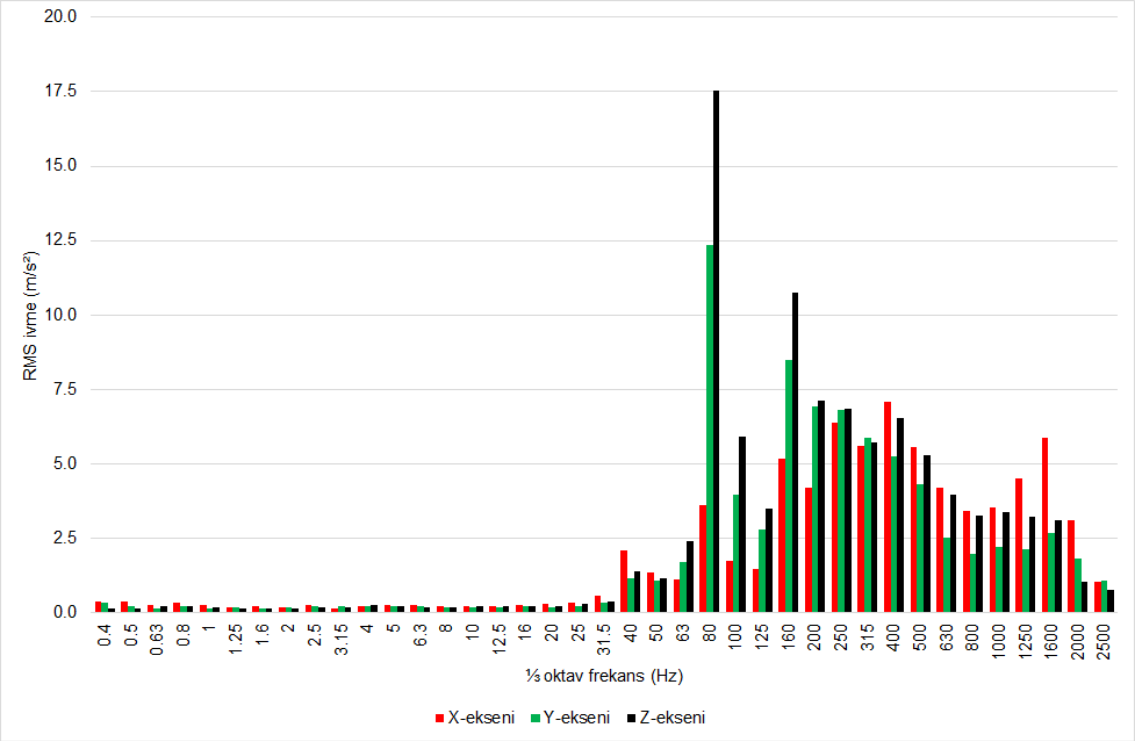
Şekil E-1.82 Havalı bijon tabancası – 7 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



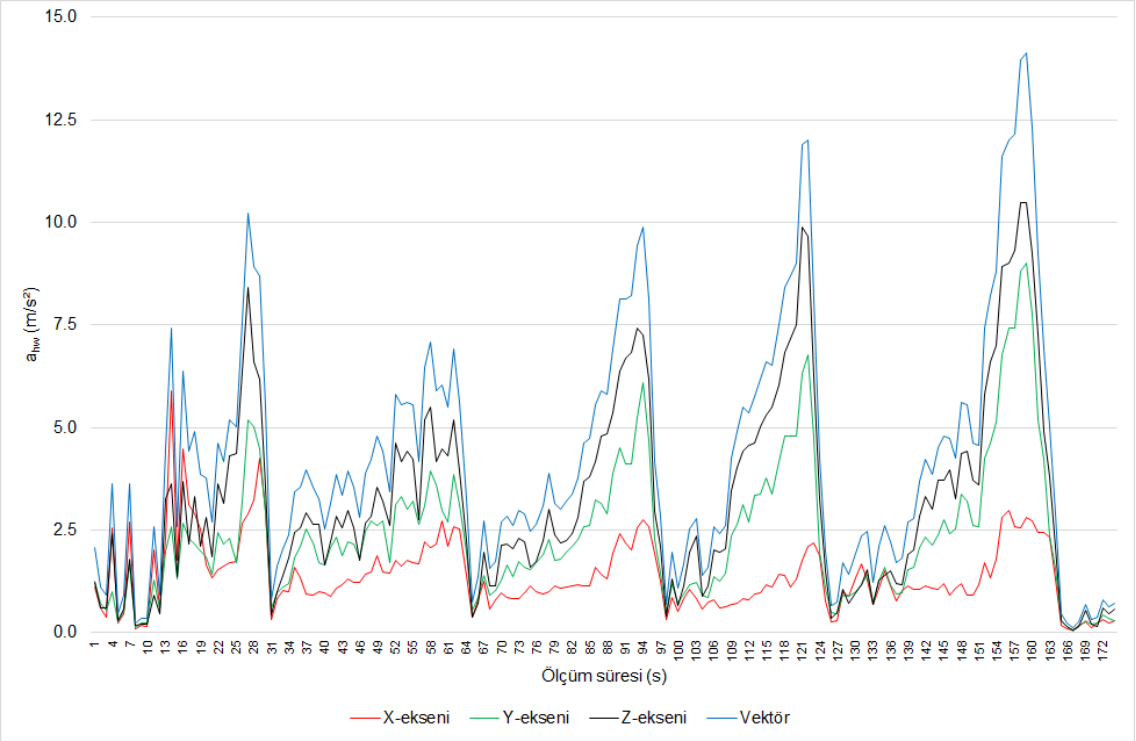
Şekil E-1.83 Tranjer testere ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



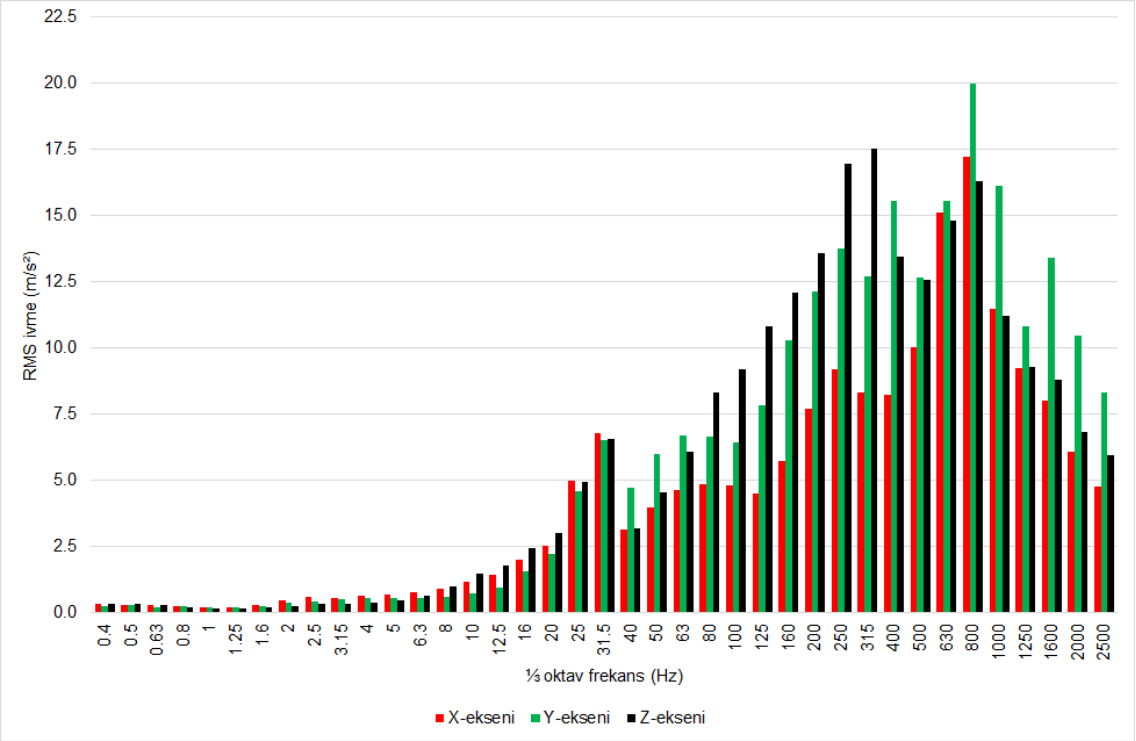
Şekil E-1.84 Tranjer testere ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



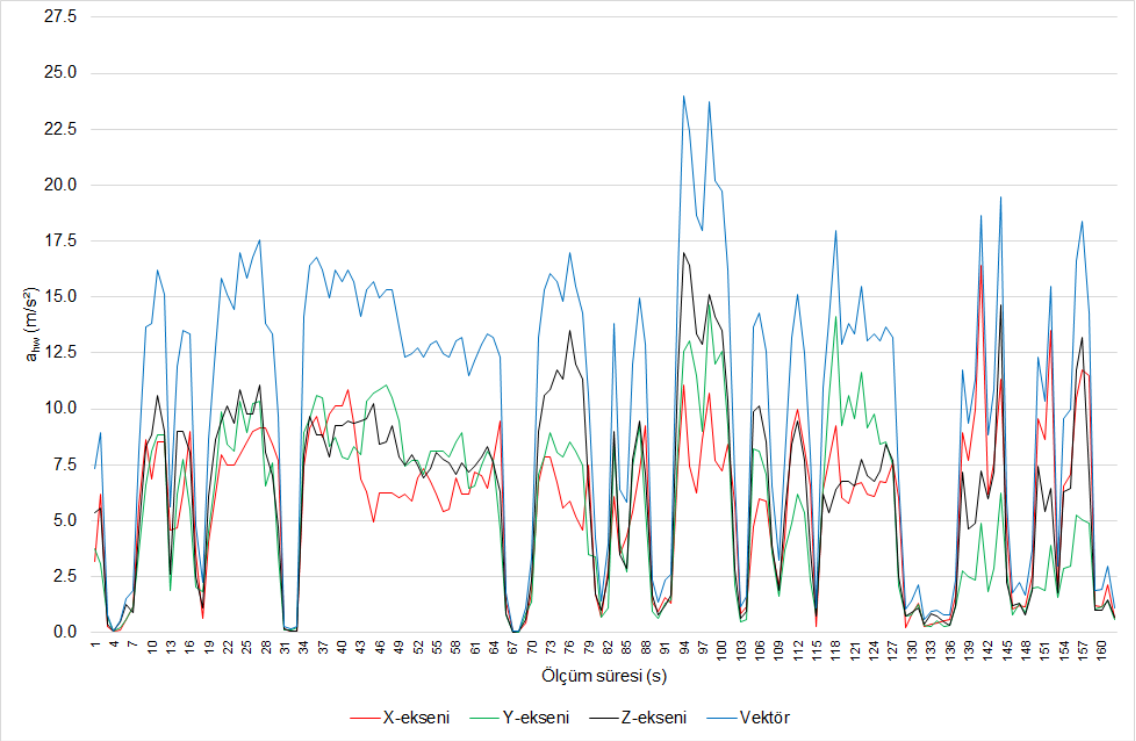
Şekil E-1.85 Elektrikli matkap – küçük – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



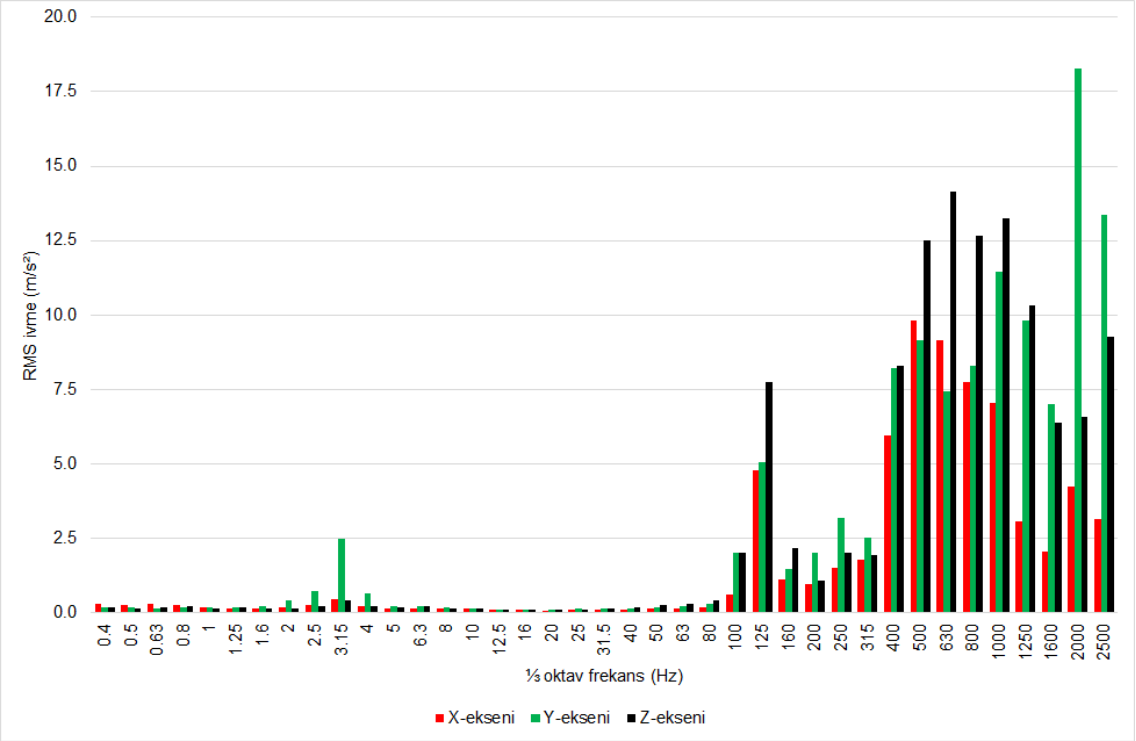
Şekil E-1.86 Elektrikli matkap – küçük – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



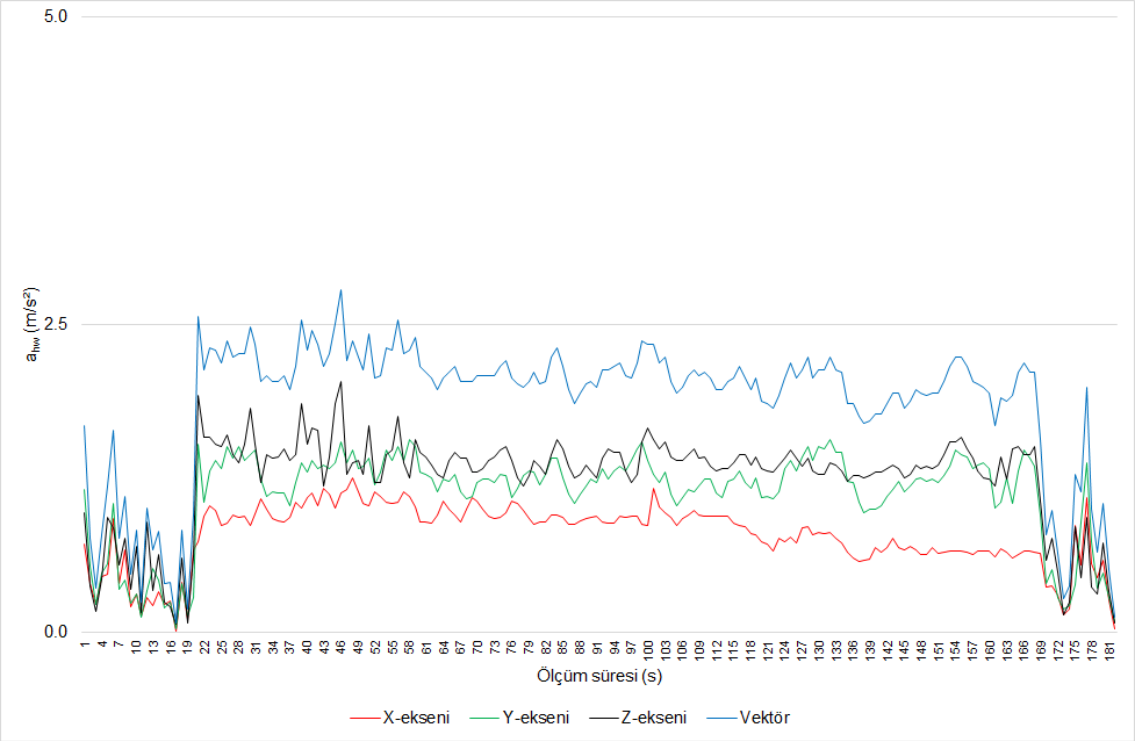
Şekil E-1.87 Elektrikli somun sıkma makinesi – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



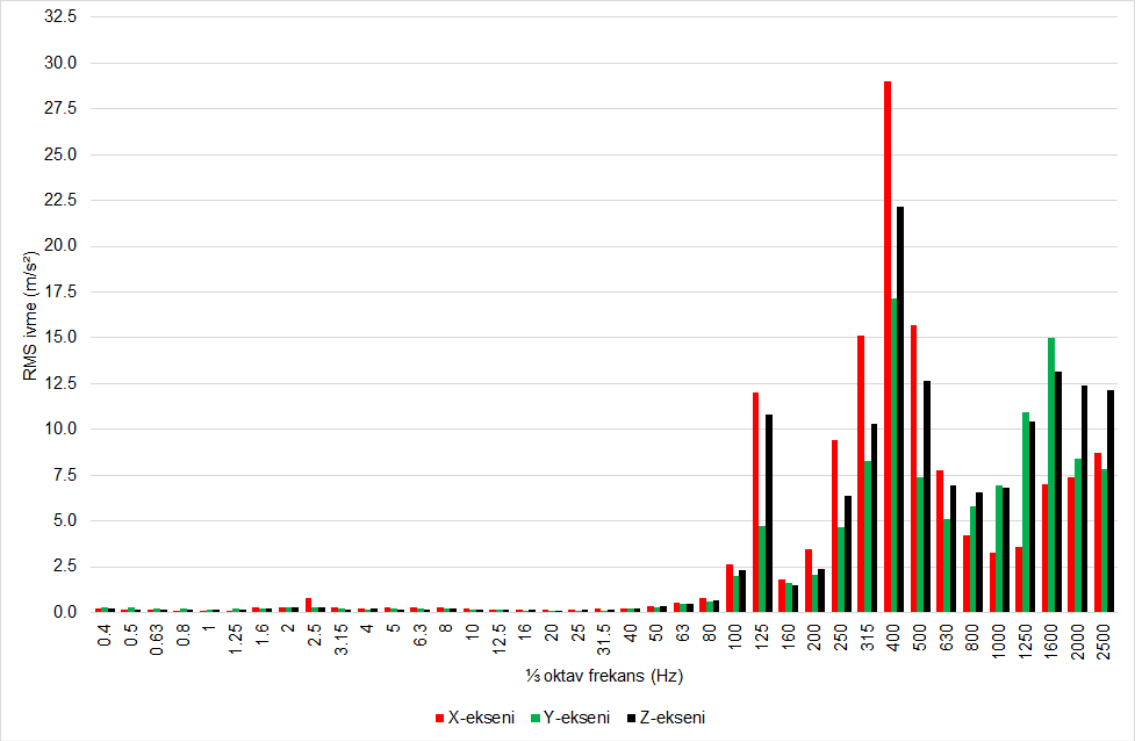
Şekil E-1.88 Elektrikli somun sıkma makinesi – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



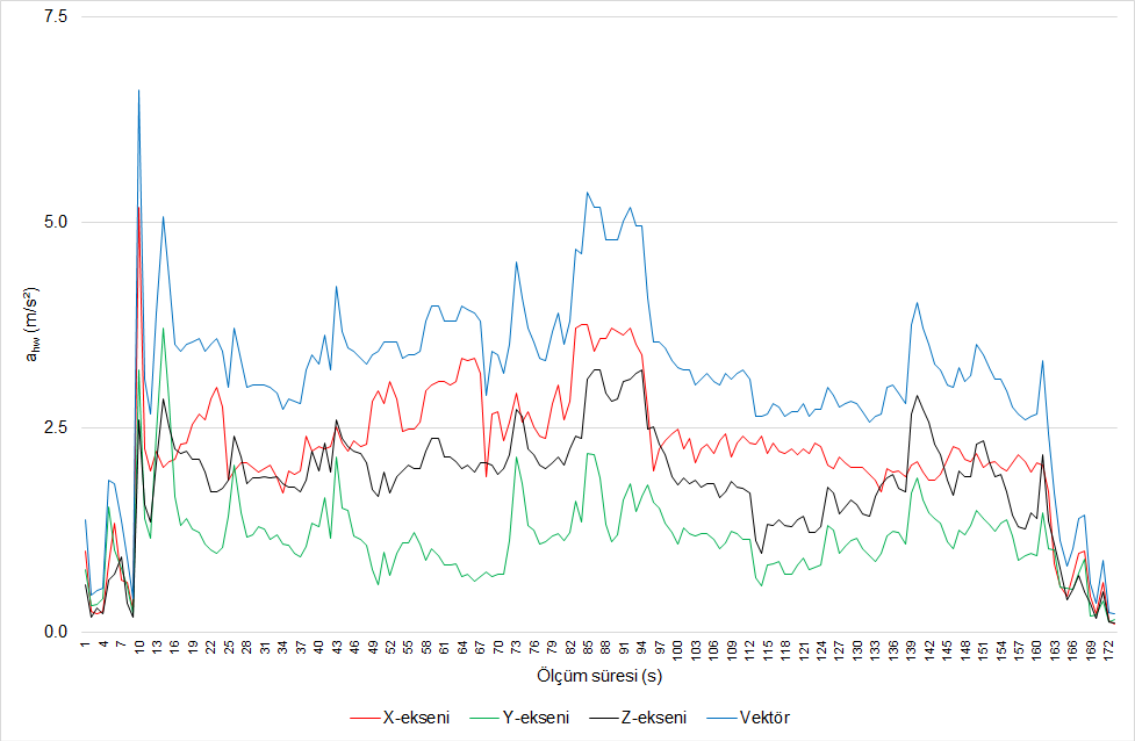
Şekil E-1.89 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 7 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



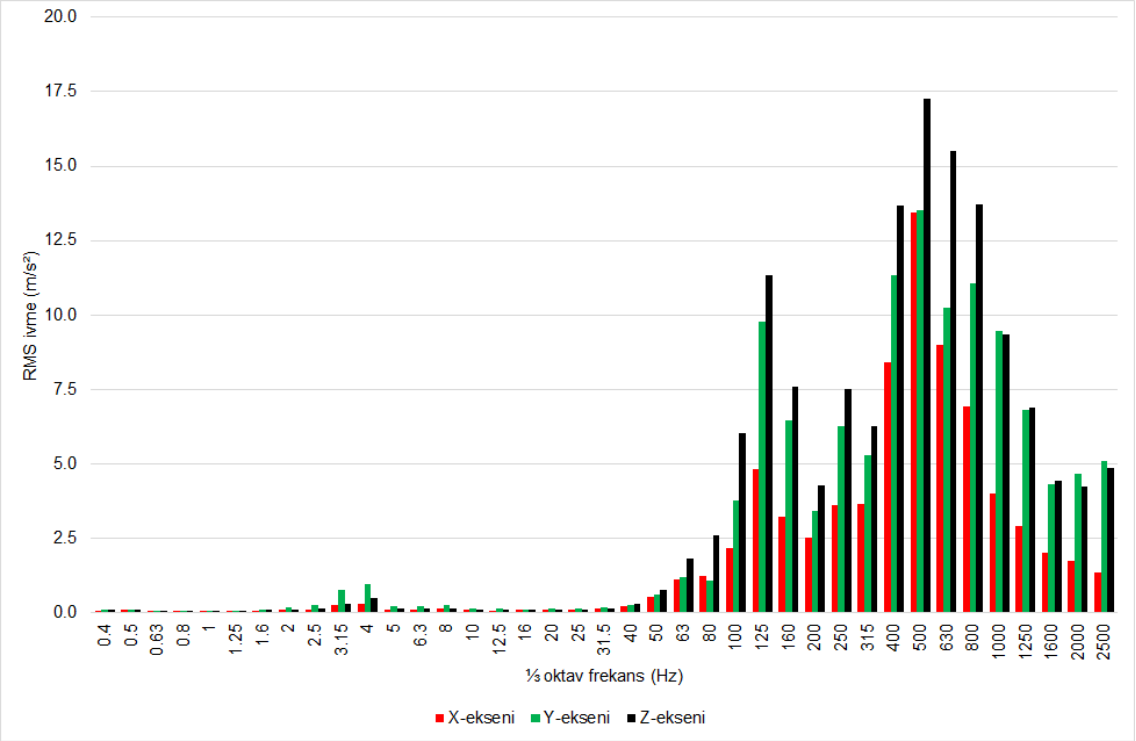
Şekil E-1.90 Elektrikli avuç taşlama makinesi – 7 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



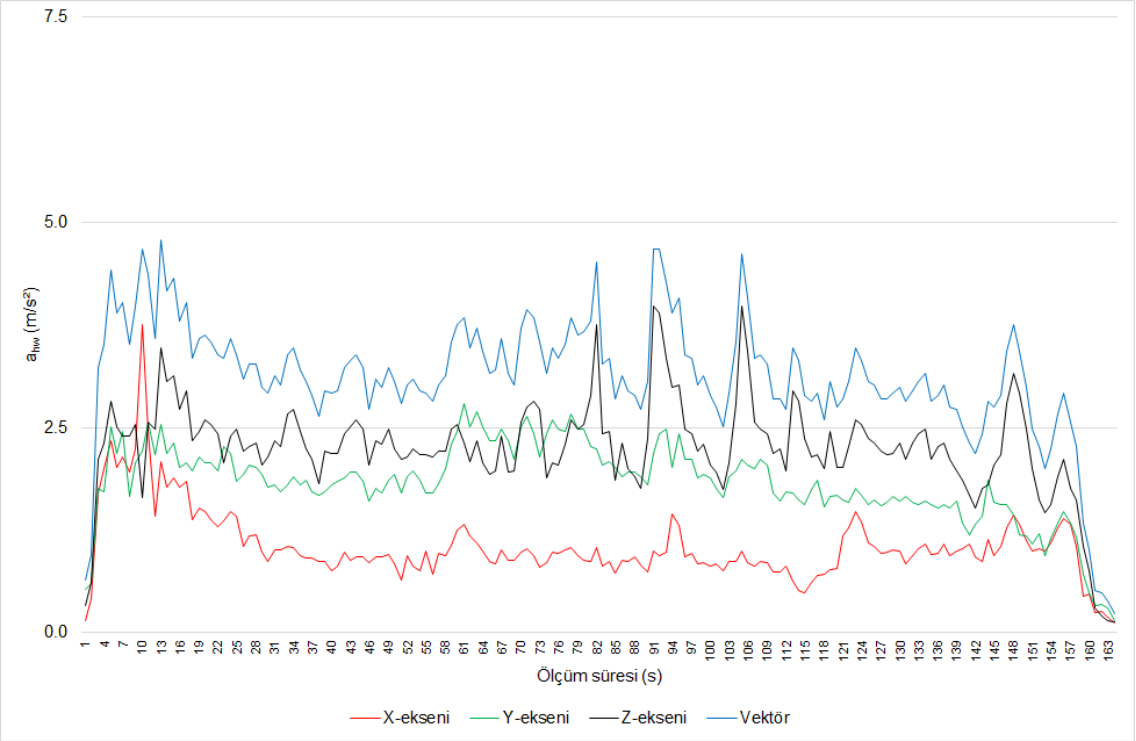
Şekil E-1.91 Elektrikli iri taşlama makinesi – 8 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



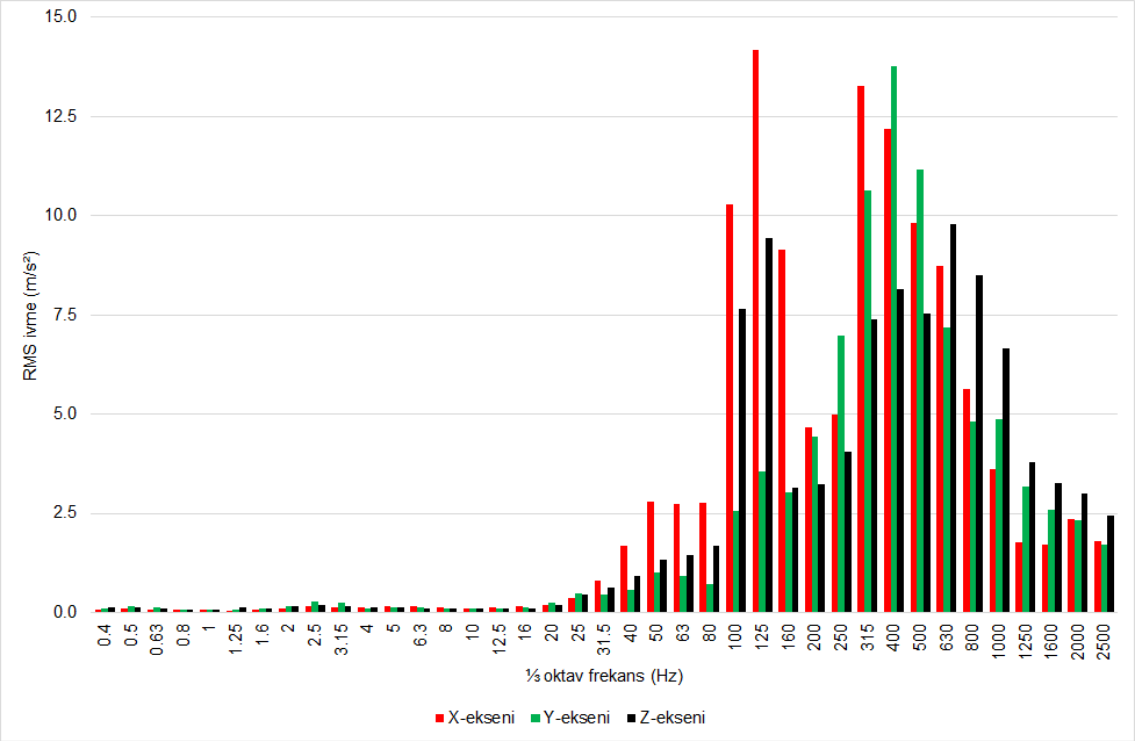
Şekil E-1.92 Elektrikli iri taşlama makinesi – 8 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



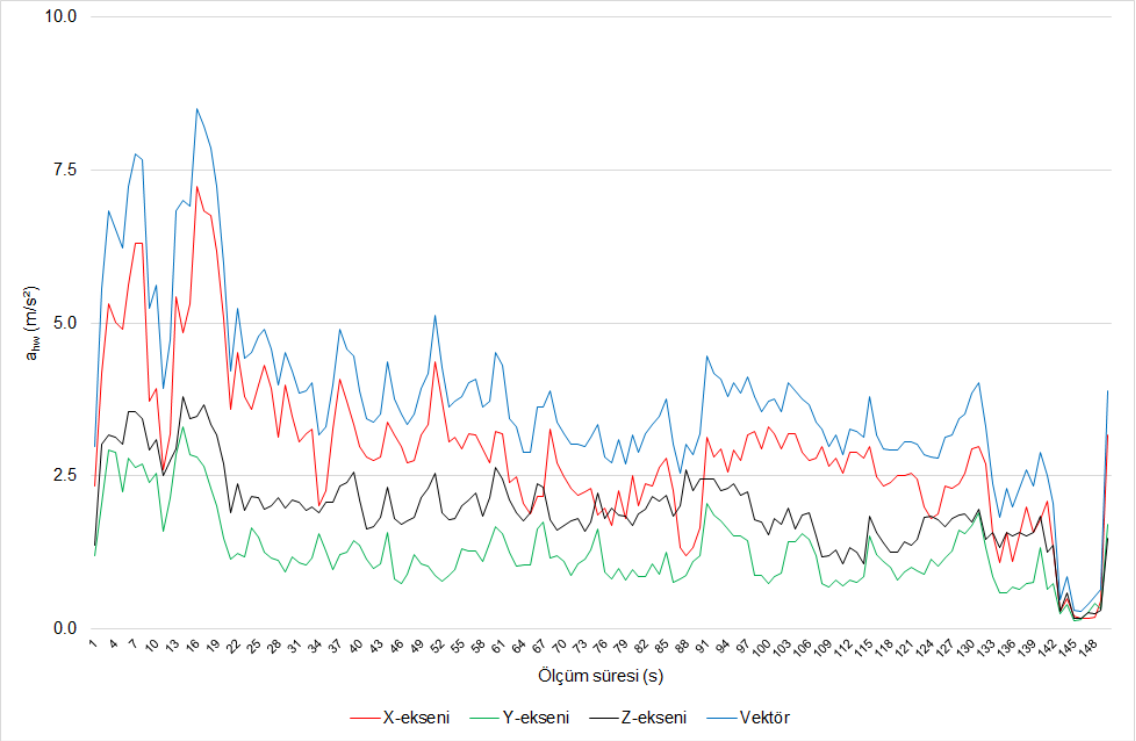
Şekil E-1.93 Elektrikli spiral kesme makinesi – 2 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



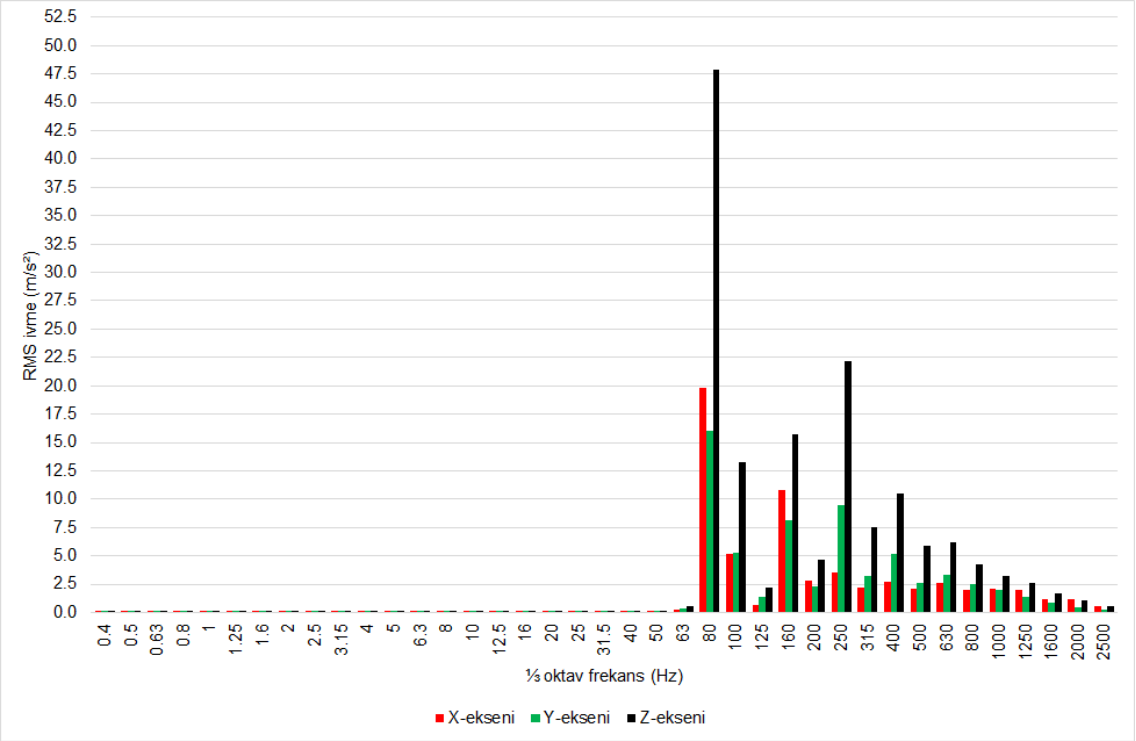
Şekil E-1.94 Elektrikli spiral kesme makinesi – 2 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



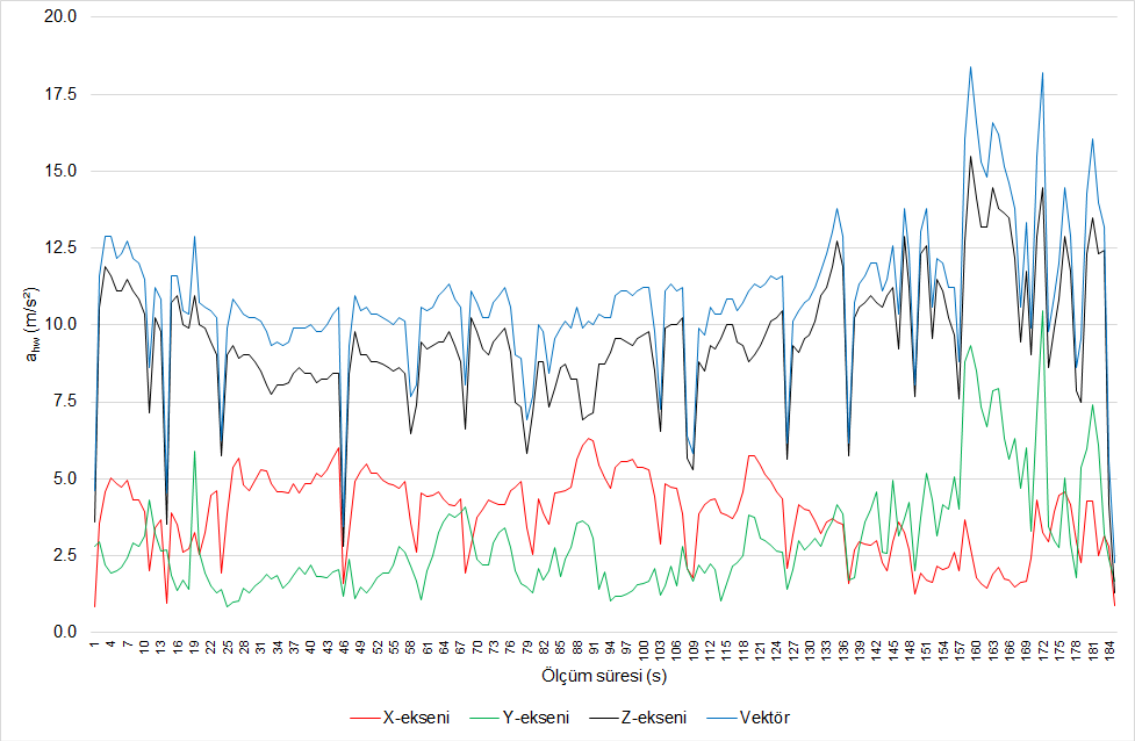
Şekil E-1.95 Elektrikli spiral kesme makinesi – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



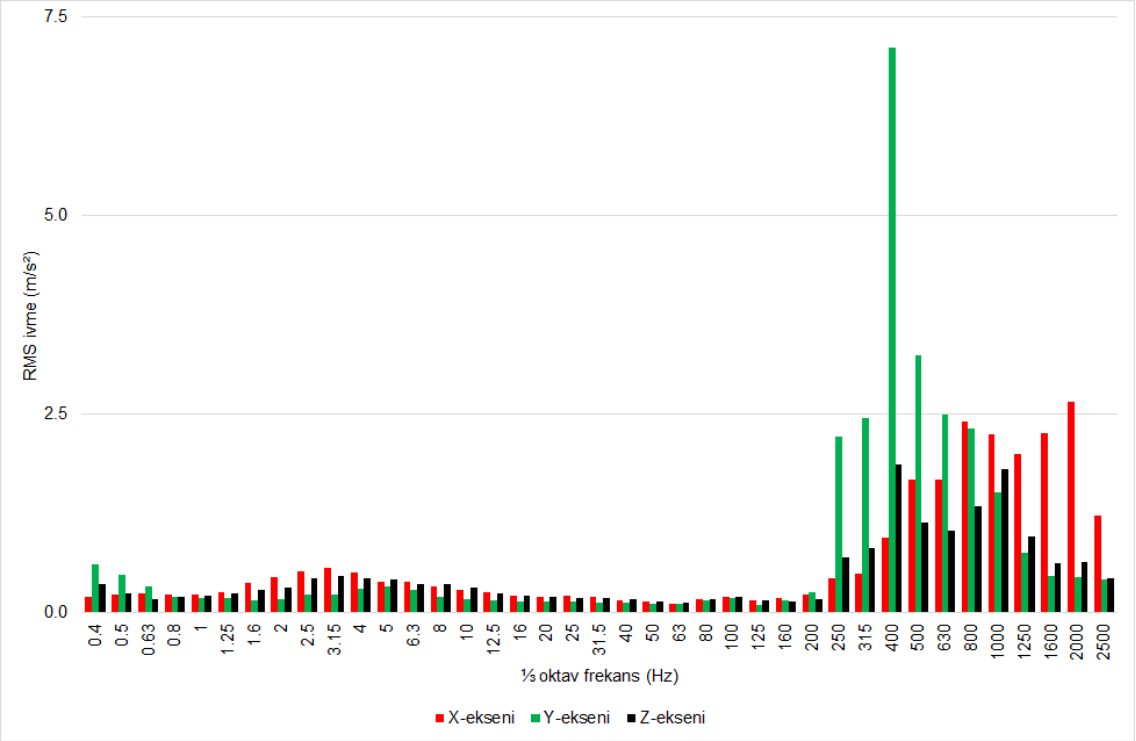
Şekil E-1.96 Elektrikli spiral kesme makinesi – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



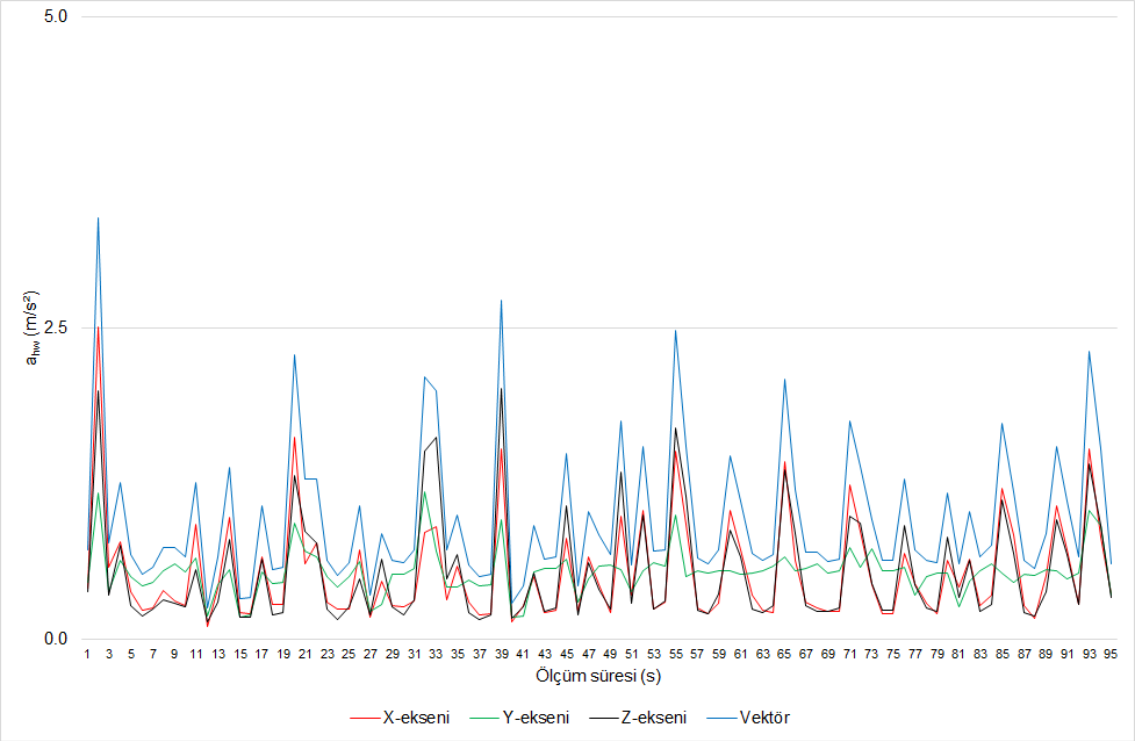
Şekil E-1.97 Bant soyma makinesi ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



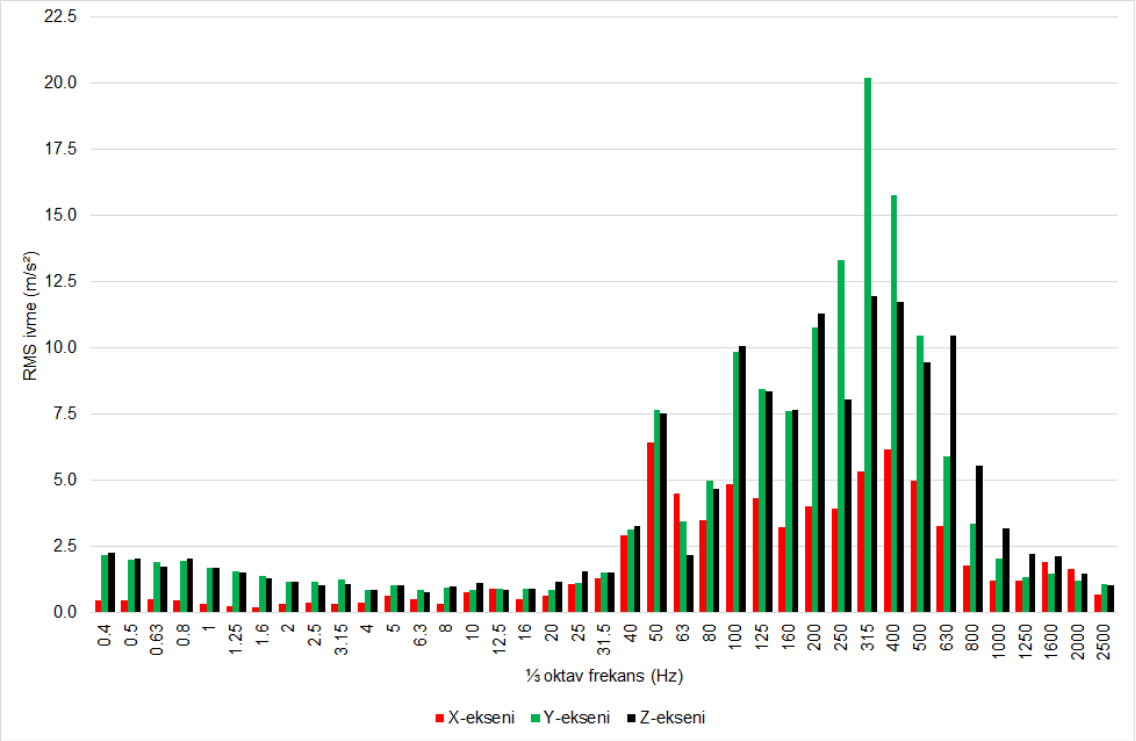
Şekil E-1.98 Bant soyma makinesi ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



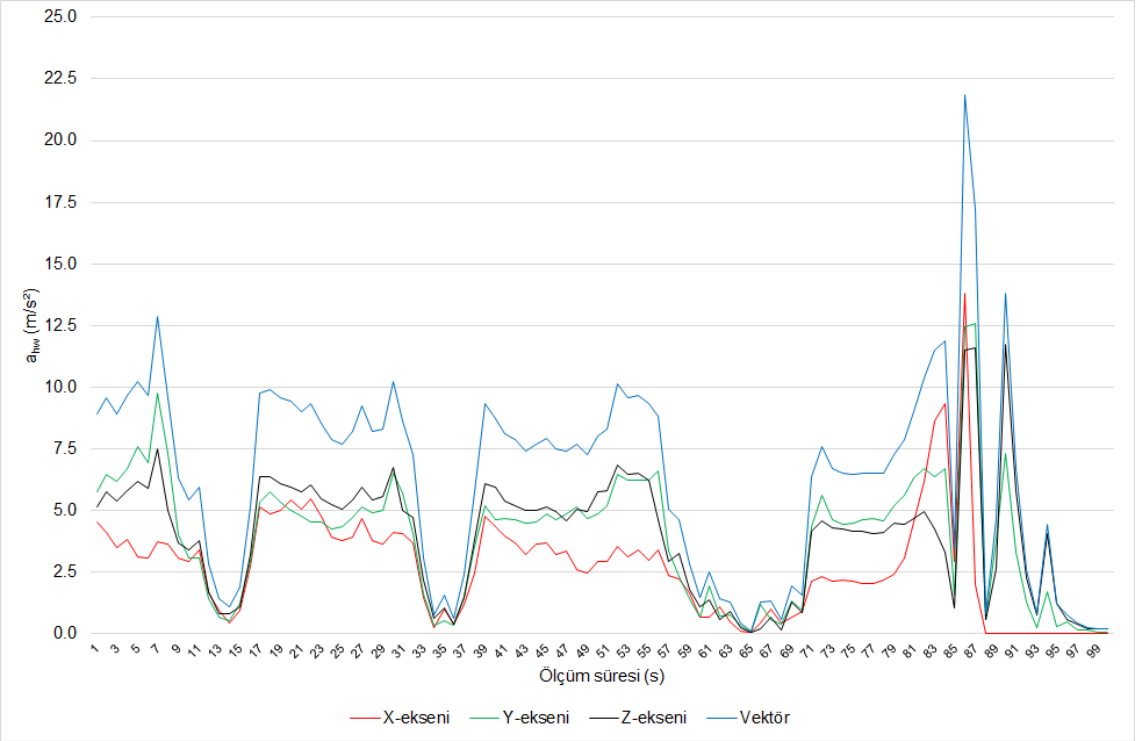
Şekil E-1.99 Şarjlı matkap ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



Şekil E-1.100 Şarjlı matkap ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



Şekil E-1.101 Elektrikli matkap – büyük – 3 ⅓ oktav frekans – RMS ivme grafiği.



Şekil E-1.102 Elektrikli matkap – büyük – 3 ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi grafiği.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Zafer Özgen
Doğum Yeri ve Tarihi	Elazığ, 1977
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Üniversite Mah. Çetin Sokak, No: 5/3 Elazığ
E-posta Adresi	(531) 956 3555

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Elazığ Atatürk Lisesi, 1995
Lisans	Osmangazi Üniversitesi, 2007
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2015

İş Tecrübesi

Elazığ Çimento Fabrikası	Şantiye şefi, 2008 – 2010
Eti Krom	Maden mühendisi, 2010 – 2011
Elazığ Birlik Hazır Beton Santrali	Maden mühendisi, 2011 – 2013
Akçakale Mermer	Maden mühendisi, 2013 –

Yayınlar

Ulusal

Uluslararası

Kongreler ve Bildiriler

Ulusal

Uluslararası

Ödüller, Teşvikler ve Üyelikler