

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

Measurement and Evaluation of Hand-Arm Vibration Exposure Sourced From Some Power Tools in Mining Workplaces

Bülent ERDEM*
Tuğba DOĞAN**
Zekeriya DURAN***
Zafer ÖZGEN****

ÖZET

Bu çalışmada maden işyerlerinde çalışan işçilerin el-kol titreşim maruziyetleri ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Araştırma, sanayiden sayılan işyerlerinden alınan ölçümlerle de desteklenmiştir. Ölçümler Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından yayımlanan Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik'te 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 Sözcükler: El-kol titreşimi sendromu (EKTS), maruziyet eylem değeri, maruziyet sınır değeri, TS EN ISO 5349-1, TS EN ISO 5349-2.

ABSTRACT

This study includes 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 Control of Vibration at Work Regulations issued by 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.

Keywords: Hand-arm vibration syndrome (HAVS), exposure action value, exposure limit value, TS EN ISO 5349-1, TS EN ISO 5349-2.

* Prof. Dr., Cumhuriyet Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., SİVAS, bulent@cumhuriyet.edu.tr
** Arş. Gör., Cumhuriyet Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., SİVAS
*** Öğr. Gör., Cumhuriyet Üniv., Sivas MYO, SİVAS
**** Öğr. Gör., Sütçü İmam Üniv., Afşin MYO, KAHRAMANMARAŞ

GİRİŞ

Madencilik ve inşaat sektörlerinde basınçlı hava ile çalışan matkap türü el aletleri ilk olarak 1840'lı yıllarda Fransa'da tünel açma çalışmalarında kullanılmıştır. Bu araçların endüstriyel uygulamalarda kullanımı özellikle İkinci Dünya Savaşı ile birlikte artış göstermiş olup günümüzde delici, kırıcı, kesici ve cilalayıcı özellikteki bu titreşimli aletler birçok iş alanında yoğun olarak kullanılmaktadır. Böylece, elle yapılan bu işlerde verimin 6-12 kat artması sağlanmıştır (Yamada ve Sakakibara, 1998).

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 soyma makineleri), sürekli motosiklet kullanmak durumunda olan çalışanlarda (trafik polisi) ve evsel kullanımda (delici çekiç, el matkapları) elle iletilen titreşime mesleki veya özel maruziyet görülebilmektedir (Griffin, 1997, Mirbod vd., 1997; Cherniak, 1994; Güven'den, 2002; Anon(a), 2013). Titreşim ilintili Raynaud Fenomeni (Raynaud Hastalığı) 1862 yılında tanımlanmıştır. Profesör Giovanni Loriga 1911 yılında ilk kez İtalya'daki madenlerde darbeli çekiç ile çalışan işçilerin parmaklarında solukluk, siyanoz ve üşüme atakları ile seyreden bir hastalık tablosu tanımlamıştır (Anon(b), 2015). Ancak titreşimli el aletleri ile bu belirtiler arasındaki ilişki, 1918 yılında Alice Hamilton tarafından taş ocaklarında matkap kullanarak çalışan madencilerde "ölü parmak (dead finger)" hastalık tablosunun tespiti ile belirlenmiştir. Bu hastalık 1970'lerde "beyaz parmak sendromu (vibrating white finger, VWF)" olarak adlandırılmaya başlanmıştır (Anon(c), 2015). 1950'lerde üzerinde güç ünitesi bulunan taşınabilir el aletlerinin imal edilmeye başlanması ve çoğu endüstriyel iş alanında titreşimli araçların yaygın olarak kullanılmaya başlamasının ardından, 1960'lardan sonra pek çok "Mesleki Titreşim Sendromu" vakası görülmüştür (Yamada ve Sakakibara, 1998).

Avrupa işgücünün %(1,7 – 3,6)'sının elle iletilen titreşimin zararlı etkilerine maruz olduğu tahmin edilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) yayınlarına göre ABD'nde 1,2 milyon işçi titreşime maruz kalmaktadır (NIOSH, 1989; Miller vd., 1994). İngiltere'de yapılan bir çalışma bir milyonun üzerinde iş-

çinin 2,8 m/s² ile ulusal düzeyin çok üzerinde titreşime maruz kaldığını göstermektedir. Hollanda'da yapılan bir başka çalışma ise işgücünün %(4 – 7)'sinin tüm 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 el-kol titreşim sendromu (EKTS) 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 bildirilmiştir (HSE, 2010).

Güven (2011), ülkeler arasında değişmekle birlikte, yılda her bin işçiden 4-12'sinin meslek hastalığına yakalanma ihtimali olduğunu bildiğini 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 siliko-tüberküloz, 26 işçi (25 erkek, 1 kadın) kurşun ve kurşun tozları, 14 işçi (13 erkek, 1 kadın) nikel ve bileşikler, 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 (Anon(a), 2013). Güven (2011), ülke istatistiklerimizin bu denli yetersiz olmasının ardında tıbbi, yasal ve sosyal taraflara ilişkin birçok nedenin sıralanabileceğini ifade etmektedir.

Bu çalışmada maden işyerleri ile sanayiden sayılan işyerlerinde çalışan işçilerin el-kol titreşim maruziyetleri ölçülmüş ve farklı ölçütler ile değerlendirilmiştir (Özgen, 2015).

1. EL-KOL TİTREŞİMİ ÜZERİNE ÖNCEL ÇALIŞMALAR

Haines vd., (1988) çalışmalarında, titreşime maruz kalmayan işçilere kıyasla vardiya süresince titreşime maruz kalan maden işçilerinde dokunsal duyarlılık derecesi (esteziyometrik) eşik değerlerinin 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 duygusu esteziyometrisi yapılmıştır. Vardiya boyunca titreşimli bir aletin kullanılmasına ek olarak kol hasarına dair işaretler, parmak ucunda nasırlaşma 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 EKTS maruziyetini değerlendirmek için ABD Maden Bürosu (USBM) ve Kanada-Ontario Madencilik Sağlık ve Güvenlik Bakanlığı, bir yeraltı altın madeni yönetiminin işbirliği ile çalışmalar gerçekleştirmiştir (Hudock, 1990). EKTS maruziyetinin akut etkisi; titreşim ölçer sistemi kullanılarak çeşitli seviye ve frekansta titreşim verilerle 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 ara-

cı 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 titreşim 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 yıldır. 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 deneginde hissizlik, ağrı ve zayıflık rapor edilmiş, 16 maden işçisi ile üç kontrol deneginde EKTS 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 ilişki görülmüştür.

Dasgupta ve Harrison (1996) Hindistan'da bulunan iki madende çalışan 66 martopikör işçisi ile 35 ateşçiyi EKTS 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 ilişileşim 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 kollarındaki 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. 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/s² olarak bulunmuştur. Çalışmada çoğu basınçlı havali 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 titreşimdeki süspansiyonlu kollar çalıştırıldığında ortaya çıkan titreşim iletimi ölçümleriyle ilgili tahminlerle kıyaslama yapılarak bu kombine el-kol süspansiyonlu kol mo-

delleri 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.

Futatsuka vd. (2005) Vietnam'da taş ocağı çalışanlarında EKTS 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 EKTS 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 EKTS 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 EKTS'den mustarip olabileceği ve tropik bölgelerde çalışan taş ocağı işçilerinde EKTS'in bazı karakteristik özelliklerinin bulunabileceği sonucuna varmışlardır.

Nyantumbu vd. (2007) Güney Afrika'daki maden işçilerinde EKTS'nin yaygınlığı ve ağırlığı ile bu duruma neden olan aletleri belirlemek amacıyla Güney Afrika Cumhuriyeti'ndeki bir altın madeninde kesitsel bir çalışma yapmışlardır. EKTS'nin 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 zorlaştıracacağı 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

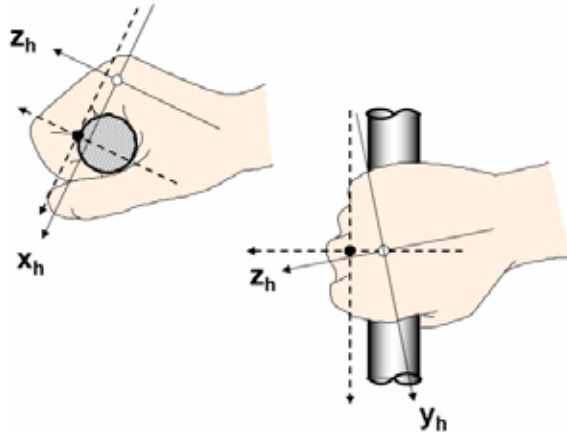
ile titreşime hiç maruz kalmayan 140 kişi seçilmiştir. Katılmayı kabul eden madenciler, HSL protokolüne uygun olarak klinik anlamda EKTS değerlendirmesine alınmıştır. Titreşime maruz kalmış altın madencilerinde EKTS yaygınlığı %15 olarak bulunmuş ve hastalığın belirti vermediği 5,6 yıllık da gizli bir dönem belirlenmiştir. Titreşime maruz kalmamış kıyas grubunun %5'inde EKTS'den ayırt edilemeyen işaret ve belirtiler görülmüş ve bu farklılık istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). EKTS vakalarının tümü delicilere maruziyet öyküsü içermiştir. Çalışmada EKTS 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/s^2 , sol el için de, 2,7 ile 29,1 m/s^2 titreşim değerleri ölçülmüştür.

2. EL-KOL TİTREŞİMİ

2.1. Tanımı ve Etkileri

Titreşim, büyüklüğü ve frekansı ile tanımlanmaktadır. Titreşim büyüklüğü titreşim yer değiştirmesi (m), titreşim hızı (m/s) ya da titreşim ivmesi (m/s^2) cinsinden ifade edilmektedir. Çoğu titreşim çevirgeci (transducer) ivme ile ilintili bir çıktı ürettiğinden ivme, titreşimi tanımlamak için geleneksel olarak kullanılır hale gelmiştir. Şekil 1'de gösterildiği gibi el üzerinden iletilen titreşime ait tam bir görüntü elde etmek için titreşim, üç ekseninde ölçülmektedir.



Şekil 1. El-kol titreşimi ölçüm eksenleri (EU, 2006).

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 yakınlıklarında 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 EKTS görülme sıklığı %10 - %70 olarak bildirilmektedir (Miller vd., 1994).

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:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

Elle tutularak kullanılan güç üniteli aletlere ait örnek titreşim değerleri Şekil 2'de verilmiştir.

2.2. Ölçüm Yöntemi

Birçok ülke, el-kol titreşim maruziyeti için standartlar veya kılavuzlar oluşturmuştur. Bunların temeli esas olarak ölçümlerde frekans ağırlıklandırmasını öneren ISO 5349 standardına dayanmaktadır (Anon(d), 2015). Titreşimin frekans ağırlıklı ivme değeri a_{hw} , uygun ağırlıklandırma filtresi kullanılarak veya dik koordinat sistemi boyunca 1/1 oktav veya 1/3 oktav bantlar ile ölçülerek elde edilebilmektedir (Ikeda, 1998).

- Ülkemizde Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, Madde 4'e göre:

- ii. El-kol titreşimi: İnsanda el-kol sistemine aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan ve özellikle de damar, kemik, eklem, sinir ve kas bozukluklarına yol açan mekanik titreşimi,
- iii. Maruziyet eylem değeri: Aşıldığı durumda, çalışanın titreşime maruziyetinden kaynaklanabilecek risklerin kontrol altına alınmasını gerektiren değeri,

Maruziyet sınır değeri: Çalışanların bu değer üzerinde bir titreşime kesinlikle maruz kalmaması gereken değeri ifade etmektedir.

- i. Madde 5: El-kol titreşimi için;
- ii. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri: 5 m/s².

Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet eylem değeri: 2,5 m/s²

Yönetmeliğin EK 1: Maruziyet değerlendirme-si'ne göre;

"El-kol titreşiminde maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi sekiz saatlik bir referans döneme A(8) normalize edilen günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak, frekans ağırlıklı ivme değerlerinin karelerinin toplamının (RMS) (toplam değer) karekökü olarak ifade edilen, 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 ve bu standartların en güncel hallerine göre yapılır."

2.3. Ölçülen ve hesaplanan büyüklükler

- a. Çalışma kapsamında aşağıdaki parametreler ölçülmüştür:
- b. 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).
- c. 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.

- d. a_{hwX} (m/s²): Kullanılan alet/aracın tutamağında X-ekseni boyunca ölçülen el-kol ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi.
- e. a_{hwY} (m/s²): Kullanılan alet/aracın tutamağında Y-ekseni boyunca ölçülen el-kol ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi.
- f. a_{hwZ} (m/s²): Kullanılan alet/aracın tutamağında Z-ekseni boyunca ölçülen el-kol ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi.

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

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

- a. Max(RMS): Bu fonksiyon ile çalışanın eli aracılığı ile vücuda iletilen en yüksek el-kol titreşimi ivmesi tespit edilmektedir.
- b. AEQ: El-kol titreşim ivmesi vektörü fonksiyonu el-kol titreşim dozu hesaplamalarında kullanılmaktadır.

$$AEQ = \sqrt{RMS_x^2 + RMS_y^2 + RMS_z^2}$$

- c. A(8): Günlük eşdeğer maruziyet değeri, günlük maruziyet süresi (T_E) boyunca oluşan titreşim ivmesinin 8 saatlik (28800 s) bir referans dönemine (T₀) normalize edilmesi ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada 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 sınırlandırıldığından, bu sürenin 8 saatlik bir vardiyaya normalize edilmesi sonucunda hesaplanan A(8) değerleri oldukça düşük çıkmaktadır. Bu nedenle personelin vardiyaya boyunca maruz kalabileceği el-kol titreşimini sayısal ölçekte temsil yeteneği bulunmayan bu değer yerine el-kol titreşim ivmesi vektörü olan AEQ kullanılmıştır.

$$A(8) = AEQ \sqrt{\frac{T_E}{T_0}}$$

- d. EAV_{TT}: Maruziyet eylem değerine erişim süresi fonksiyonu, 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 2,5 m/s²lik maruziyet eylem değerine erişim için gerekli toplam

maruziyet süresidir (ss:dd:nn).

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

- e. EAV_{TL} : Maruziyet eylem değerine erişim için kalan süre fonksiyonu, 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 2,5 m/s²lik maruziyet eylem değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süredir (ss:d:d:nn).

$$EAV_{TL} = EAV_{TT} - T$$

- f. ELV_{TT} : Maruziyet sınır değerine erişim süresi fonksiyonu, 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 5 m/s²lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresidir (ss:dd:nn).

$$ELV_{TT} = T_0 \left(\frac{ELV}{AEQ} \right)^2$$

- g. ELV_{TL} : Maruziyet sınır değerine erişim için kalan süre fonksiyonu, 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında 5 m/s²lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süredir (ss:d:d:nn).

$$EAV_{TL} = EAV_{TT} - T$$

- h. 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.

$$HEP = 2a_{hv}^2$$

- i. 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.

$$TEP = \left(\frac{a_{hv}}{2,5} \right)^2 \frac{T}{8} 100$$

- j. 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 1/3 oktav frekans aralıklandırması ile yapılmış ve sık aralıklı titreşim frekanslarındaki titreşim ivmesi değerleri tespit edilmiştir.

3. EL - KOL TİTREŞİM MARUZİYETİ DEĞERLENDİRMELERİ

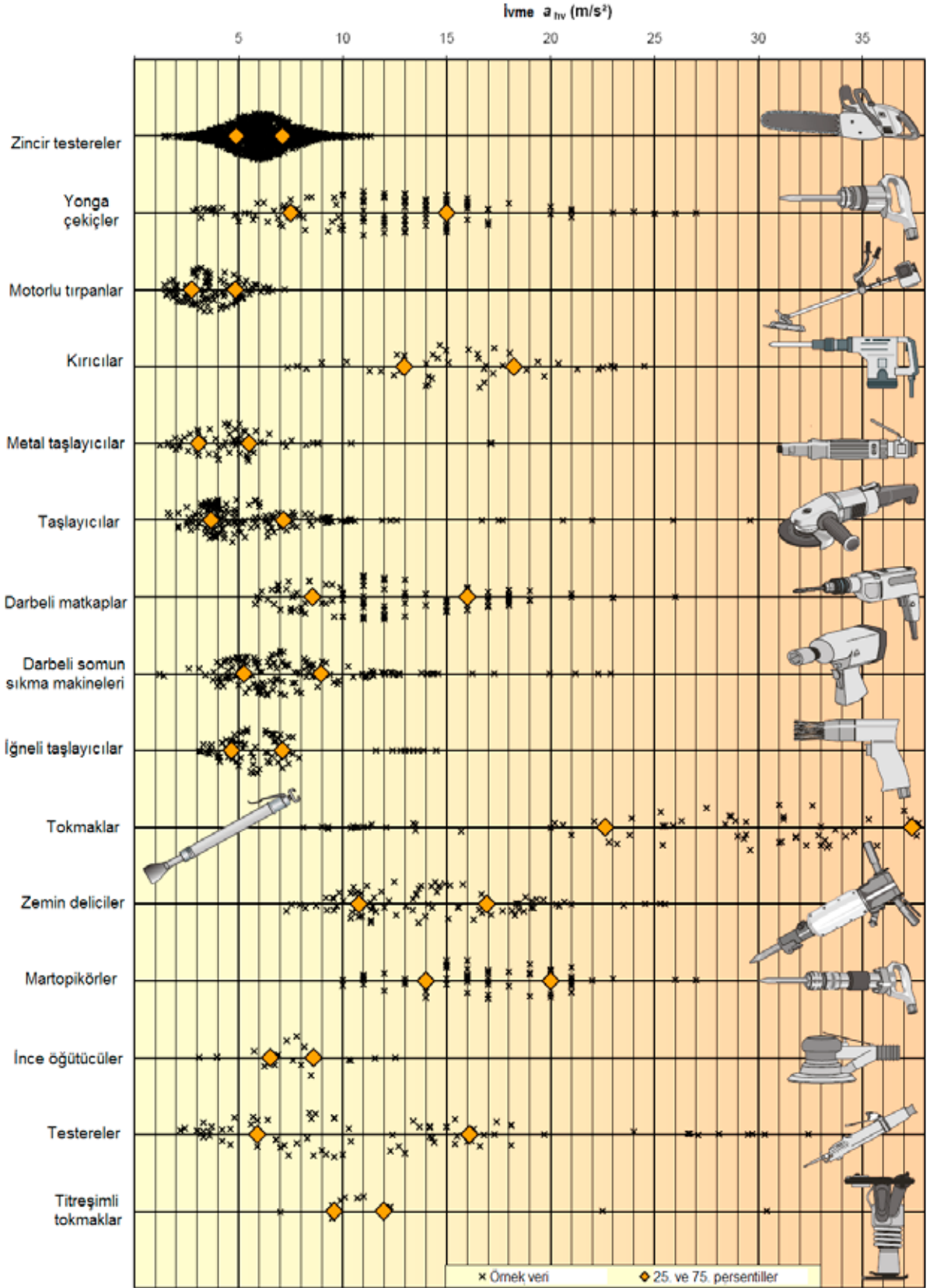
3.1. Çalışma Uzayı

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. Bu 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 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 testere bulunmaktadır. Tüm ölçümlerin sonuçları Çizelge 1'de toplanmıştır.

Ölçümler bir adet titreşim analizörü ile bir adet el-kol ivmeölçeri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizör; ISO 5349 standardında öngörülen gereklilikleri karşılamakta ve el-kol titreşimi için Wh (ISO 5349) filtresini eksenlere göre ayarlamaktadır. El-kol tipi ivmeölçer eşzamanlı olarak üç eksenli (X, Y ve Z) veriyi 2000 m/s² PEAK ivmeye kadar kaydedebilmekte ve 0,1 Hz ile 2500 Hz arasındaki frekans değerlerini ayıklayabilmektedir.

3.2. Benzer İşlev Gören Aletler Bazında Gruplandırma

El-kol titreşimine yol açan ve benzer işlev görev alet/araçlar, gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Kompaktörler, deliciler, asfalt kesme makinesi, büyük çekiç ve somun sıkma makineleri maruziyet sınır 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.



Şekil 2. 1997-2005 yılları arasında İngiltere ve Fransa'daki işyerlerinde yaygın olarak kullanılan el aletlerinde kaydedilen titreşim ölçümleri (EU, 2006).

Çizelge 1. Hesaplanan Parametreler

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

Çizelge 1. Hesaplanan Parametreler (devam ediyor)

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

Çizelge 1. Hesaplanan Parametreler (devam ediyor)

Ölçüm No	Alet/Arac	Eksen	Max(RMS) m/s ²	AEQ m/s ²	A(8) m/s ²	HEP (puan)	TEP (puan)	Frekans a _{rw}	EAV _{T(RMS)} ss:dd:nn	EAV _{L(RMS)} ss:dd:nn	ELV _{T(RMS)} ss:dd:nn	ELV _{L(RMS)} ss:dd:nn
26	Büyük çekiç	X Y Z	6.361 Ch2	8.307	0.317	138	2	1600 Hz 3.15 Hz 1 Hz	0.43:28	0.42:46	2.53:54	2.53:12
27	Elektrikli avuç taşlama makinesi – 4	X Y Z	3.451 Ch3	4.576	0.427	42	3	80 Hz 400 Hz 100 Hz	2.23:16	2.19:05	9.33:05	9.28:54
28	Elektrikli matkap – küçük – 1	X Y Z	5.814 Ch2	7.690	0.505	118	4	1000 Hz 500 Hz 160 Hz	0.50:44	0.48:40	3.22:56	3.20:52
29	Elektrikli matkap – küçük – 2	X Y Z	8.985 Ch3	14.367	0.954	413	15	800 Hz 500 Hz 80 Hz	0.14:32	0.12:25	0.58:08	0.56:01
30	Elektrikli matkap – büyük – 1	X Y Z	7.295 Ch3	11.479	0.803	264	10	40 Hz 400 Hz 80 Hz	0.22:46	0.20:25	1.31:05	1.28:44
31	Elektrikli matkap – büyük – 2	X Y Z	8.185 Ch3	13.367	0.922	357	14	40 Hz 40 Hz 40 Hz	0.16:47	0.14:30	1.07:10	1.04:53
32	Elektrikli somun sıkma makinesi – 1	X Y Z	4.667 Ch1	6.778	0.464	92	3	1250 Hz 500 Hz 1000 Hz	1.05:18	1.03:03	4.21:12	4.18:57
33	Elektrikli spiral kesme makinesi – 1	X Y Z	5.565 Ch2	7.224	0.478	104	4	1000 Hz 315 Hz 315 Hz	0.57:30	0.55:24	3.49:58	3.47:52
34	Elektrikli spiral taşlama makinesi	X Y Z	4.188 Ch3	5.828	0.350	68	2	100 Hz 400 Hz 100 Hz	1.28:19	1.26:35	5.53:18	5.51:34
35	Kompaktör – 2	X Y Z	11.468 Ch1	18.003	1.350	648	29	80 Hz 80 Hz 80 Hz	0.09:15	0.06:33	0.37:02	0.34:20
36	Havali martopikör – 2	X Y Z	15.812 Ch1	16.880	2.026	570	66	2500 Hz 400 Hz 500 Hz	0.10:32	0.03:37	0.42:07	0.35:12
37	Havali bjon tabancası – 6	X Y Z	3.412 Ch3	4.809	0.348	46	2	1250 Hz 500 Hz 1250 Hz	2.09:44	2.07:13	8.38:55	8.36:24
38	Elektrikli avuç kesme makinesi	X Y Z	1.912 Ch3	2.847	0.235	16	1	315 Hz 315 Hz 800 Hz	6.10:04	6.06:48	24.40:15	24.36:59

Çizelge 1. Hesaplanan Parametreler (devam ediyor)

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

3.3. Elle Tutularak veya Elle Gdlerek İşlev Gören Aletler Bazında Gruplandırma

El-kol titreşimine yol açan alet/araçların bir kısmı tutamaklarından elle sıkı şekilde tutularak çalıştırılırken diğeri 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. Çalışmada lçm kaydedilen araçlar, tutulma/gdlme ayırımına tabi tutularak gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri Çizelge 3'de sunulmuştur. Gruplar arasında titreşim bakımından kayda değer farklılık bulunmamıştır.

3.4. Aracın ya da Nesnenin Tutulması ile İşlev Gören Aletler Bazında Gruplandırma

El-kol titreşimine maruziyet ya iş aleti/aracı tutulması veya güdülmesi ile ya da işlenecek nesnenin tutulması/güdülmesi ile doğrudan veya dolaylı olarak meydana gelmektedir. Sözgelimi basınçlı hava ile çalışan bir martopikr kullanan işçi, aracın tutamakları aracılığıyla doğrudan, asfalt kesme makinesini kullanan bir işçi aracın gidonu üzerinden yine doğrudan el-kol titreşimine maruz kalmaktadır. Diğeri taraftan bir metal giyotininde metalik bir parçayı kesen 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 ayırımına tabi tutularak gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri Çizelge 4'de sunulmuştur. Doğrudan el-kol titreşimine maruz bırakan alet/araçların, dolaylı yoldan titreşim maruziyetine neden olan araçlara kıyasla çok daha yüksek titreşim ivmelerine neden olduğu görülmüştür.

3.5. 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 martopikrler hem elektrik hem de basınçlı hava tahrikli olabilmektedir. Basınçlı su jetle-

ri, basınçlı su ile çalışmakta ve titreşime neden olmaktadır. Diğeri taraftan portatif kompaktörler elektrik tahrikli ya da içten yanmalı motor tahrikli olabilmektedir. Tüm tahrik türleri arasında el-kol titreşimi maruziyeti bakımından farkı görmek amacıyla çalışmada ölçüm kaydedilen araçlar, tahrik bakımından ayırma tabi tutularak gruplar altında toplanmıştır. Her grubun temsili titreşim ivmesi değerleri Çizelge 5'de sunulmuştur. Elektrik tahrikli alet/araçların daha düşük el-kol titreşimi ivmesi oluşturdıkları gözlenmiştir.

3.6. El-kol titreşim parametreleri bakımından değerlendirme

Öncelikle, el-kol titreşimi maruziyetine yol açan alet/araçlar, en yüksek aksenal titreşim ivmesi bazında değerlendirilmiştir. Çizelge 6 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 aksenal 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 aksenal 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.

Diğeri yandan Çizelge 6'dan 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. Diğeri yandan X eksenini, maruziyet eylem değeri üzerindeki 16 aletin 7 adedinde en yüksek titreşim ivmesine neden olarak baskın eksen olarak belirirken Z eksenini 6 araçla onu izlemekte ve Y eksenini ise 3 araçla en son sırada bulunmaktadır. En büyük aksenal titreşim ivmesi alet grupları bazında incelendiğinde deliciler grubundaki mar-

topikörler için X eksen, matkaplar için Z eksen, kompaktörler için X ve Z eksen ile somun sıkma makineleri için X ekseninin baskın eksen olduğu tespit edilmiştir.

Ölçülen titreşim ivmelerinin herhangi baskın bir eksene bağımlı olup olmadığını belirlemek amacıyla en büyük ekstenel ivmenin en küçük ekstenel ivmeye bölünmesiyle bulunan oran (Oran1 = Max(RMS)/Min(RMS)) Çizelge 7'de sunulmuştur. Yüksek bir oran ekstenel titreşim ivmeleri arasındaki büyük farklılıklardan ötürü baskın eksenin, el-kol titreşimi vektörü üzerinde büyük payı olduğuna, düşük bir oran ise ekstenel 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. Çalışmada 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 2. Benzer İşlev Grupları Bazında Ortalama El-Kol Titreşimi İvmeleri

Alet/araç	Adet	AEQ (m/s ²)	A(8) (m/s ²)
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
Havali 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

Çizelge 3. Alet/Araç Kullanma Yöntemi Bazında Ortalama El-Kol Titreşimi İvmeleri

Grup	Alet/araç	Adet	AEQ (m/s ²)	A(8) (m/s ²)
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
	Havali zımba tabancası	1	2.437	0.208
	Basınçlı su tabancası	1	1.485	0.103
	Kaynak makinesi	1	1.023	0.080
	Kompaktörler	2	19.800±1.797	1.820±0.470
Elle güdülerak kullanılan alet/araçlar	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

Çizelge 4. Doğrudan Veya Dolaylı Ortalama El-Kol Titreşimi İvmeleri

Grup	Alet/araç	Adet	AEQ (m/s ²)	A(8) (m/s ²)
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
	Basıncılı 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
PVC işleme makineleri		3	2.664±2.362	0.221±0.196
Giyotin		2	0.694±0.067	0.048±0.005

Çizelge 5. Alet/Aracın Tahriki Bakımından Ortalama El-Kol Titreşimi İvmeleri

Grup	Alet/araç	Adet	AEQ (m/s ²)	A(8) (m/s ²)
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
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
Basıncılı su tabancası		1	1.485	0.103

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 etmekte-

dir. Bu duruma bağılı 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 çalışmada işçilerin titreşim maruziyeti sonucunda oluşan saatlik ve toplam maruziyet puanları hesaplanmış ve Çizelge 8'de 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 süresi maruziyet süresine eşleştirilerek hesaplandığından, TEP değerleri olması gerekenden düşük çıkmaktadır. Bu nedenle bu bölümdeki değerlendirmeler HEP üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 8 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.

EI-kol titreşimi ölçümü alınan 51 adet alet/araç, en yüksek titreşim ivmesini veren baskın frekans bakımından da değerlendirilmiştir. Ölçümler 1/3 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. 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 9'da 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 X-ekseninden gelmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışma 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 zimba tabancası, kaynak makinesi, kompaktör, parke kalıp makinesi, PVC birleştirme makinesi, PVC çapak temizleme makinesi, sütunlu matkap ve tranjer testere bulunmaktadır. EI-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 zimba 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.

- Benzer işlev görev alet/araç gruplarının temsili titreşim ivmesi değerleri incelendiğinde kompaktörler, deliciler, asfalt kesme makinesi, büyük çekiç ve somun sıkma makinelerinin maruziyet sınır değeri üzerinde el-kol titreşim vektörü sunduğu; çim biçme makinesi, avuç taşıma/kesme makineleri, parke kalıp makineleri, bant soyma makinesi, tranjer testere ve PVC işleme makinelerine ait titreşim ivmelerinin maruziyet eylem değeri üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir.
- 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.
- 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.
- 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.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (CÜBAP) tarafından M-592 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Anon(a), 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

Anon(b), 2015; <http://www.londonhealthandsafetygroup.org/downloads/140512-hand-arm-vibration-syndrome-by-stewart-mcnaughton/>, alındığı tarih: 01.09.2015

Anon(c), 2015; <https://www.britsafe.org/sites/default/files/editor/Stuart%20McNaughton.%20Reactec.pdf>,

alındığı tarihi: 01.09.2015

Anon(d), 2015; www.iso.org, alındığı tarih: 09.09.2015.

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.

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

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., 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.

Griffin, M.J., 1997; "Handbook of Human Vibration", Academic Press Limited, ISBN: 0-12-303040-4.

Güven, H.N.R., 2002; "Titreşimli Cihaz Kullananlarda Titreşimin El-Kol Üzerindeki Sağlık Etkileri", Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Ens. (Doktora Tezi), p.124, Ankara.

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.

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, 2010; "Topic Inspection Pack Hand-Arm Vibration", Health & Safety Executive, 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.

Ikeda, K., Ishizuka H., Sawada, A., Urushiyama, K., 1998; "Vibration Acceleration Magnitudes of Hand-Held Tools and Workpieces", Industrial Health, 11, 197-208.

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 (in Güven, H.N.R., 2002; "Titreşimli Cihaz Kullananlarda Titreşimin El-Kol Üzerindeki Sağlık Etkileri", Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Ens. (Doktora Tezi), p.124, Ankara.).

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 Vibration 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.

Özgen, Z., 2015; "Maden İşyerlerinde Kullanılan Bazı İş Araçlarından Kaynaklanan El-Kol Titreşim Maruziyetinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi*, 134 s.

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.

SVANTEK, 2013; "SVAN 106 Vibration Meter User's Manual", SVANTEK Sp. z o.o., Warsaw, Poland, 95 pp.

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.

Çizelge 6. En Yüksek Titreşim İvmesi (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 parmakta başparmağa doğru (pozitif eksen)
Z-ekseni → üçüncü metakarpal kemikten parmak köküne doğru (pozitif eksen)

Çizelge 7. Baskın Titreşim İvmesi (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

Çizelge 8. 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 zimba tabancası	Havalı zimba 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 9. En Yüksek Titreşim İvmesine 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	Basıncılı su tabancası	Basıncılı 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 zimba tabancası	Havalı zimba 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