

T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

TİTREŞİM

Serap ZEYREK

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

ANKARA-2009

T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

TİTREŞİM

Serap ZEYREK

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

Tez Danışmanı
Mehmet BERK

ANKARA-2009

T.C.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

İş sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

ONAY

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcısı Serap ZEYREK'in, İş Sağlığı Daire Başkanı Sayın Mehmet BERK danışmanlığında, tez başlığı "**Titreşim**" olarak teslim edilen bu tezin tez savunma sınavı 06/10/2009 tarihinde yapılarak aşağıdaki jüri üyeleri tarafından "**İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi**" olarak kabul edilmiştir.

Kasım ÖZER
İş Sağlığı ve Güvenliği
Genel Müdürü
JÜRİ BAŞKANI

Rana GÜVEN
İş Sağlığı ve Güvenliği
Genel Müdür Yardımcısı
ÜYE

Coşkun DEMİRCİ
İş Sağlığı ve Güvenliği
Enstitü Müdürü
ÜYE

Mehmet BERK
Daire Başkanı
ÜYE

Adnan AĞIR
Şube Müdürü
ÜYE

Yukarıdaki imzaların adı geçen kişilere ait olduğunu onaylıyorum.

Kasım ÖZER
İş Sağlığı ve Güvenliği
Genel Müdürü

TEŞEKKÜR

18 Temmuz 2005 tarihinde Uzman Yardımcısı olarak memuriyet görevine baŐladığım İŞ Sağlığı ve G¼venliđi Merkezi M¼d¼rl¼đ¼'nde ¼c yıllık hazırlık d¼nemimi tamamlamıŐ bulunup ‘‘Titreşim’’ konulu tez çalıŐmamı sunmaktayım.

Uzmanlık tezimi hazırlamamda desteklerini esirgemeyen baŐta Genel M¼d¼r¼m Sayın Kasım ÖZER olmak ¼zere, İŞ Sağlığı ve G¼venliđi Genel M¼d¼r Yardımcıları Sayın İsmail GERİM, Sayın Sabit YAMAN, Sayın Dr. Rana G¼VEN, İŞ Sağlığı ve G¼venliđi Enstit¼s¼ M¼d¼r¼ Sayın Coşkun DEMİRCİ, M¼d¼r Yardımcısı Sayın Cemil AGAH, yıllardır İŞ Sağlığı ve G¼venliđi alanında hizmet vermiŐ ve deneyimlerini benimle paylaŐarak tezimin son haline gelmesinde çok ¼nemli katkısı olan Daire Başkanı ve tez danıŐmanım Sayın Mehmet BERK'e ve diğer t¼m daire baŐkanlarım ile çalışma arkadaŐlarıma teŐekk¼r¼ bir borç bilirim.

Manevi desteklerini her zaman hissettiğim eŐim ve aileme ayrıca teŐekk¼r¼ ederim.

ÖZET

ZEYREK S, Titreşim, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitü Müdürlüğü Uzmanlık Tezi, Ankara, 2009.

İnsan titreşimi, titreşen yüzeyler ile direk temasın bir sonucu olarak kişi tarafından hissedilen titreşim olarak tanımlanır. Bu yüzeyler; bir binanın zemini, bir aracın koltuğu veya güçle çalıştırılan bir aletin tutamak kısmı olabilir. Titreşimin direk insan vücudu üzerine etkileri oldukça ciddi olabilir. Bazı durumlarda, belli titreşim frekans ve seviyelerine maruziyet, iç organlar üzerinde kalıcı hasarlar verebilir. Titreşim, konforsuzluk hissine, iş veriminde düşüşe veya fiziksel hasara neden olabilir. Kişilerin maruz kaldığı titreşimin güvenli seviyelerini belirlemek ve değerlendirmek için titreşim ölçüm ve analizleri gereklidir. İnsan titreşimi, iki ana değerlendirme kategorisine ayrılabilir; el-kol ve tüm vücut olmak üzere “Titreşim” konulu tez çalışması ile titreşim fiziği, titreşime ait fiziksel parametreler, titreşim çeşitleri, ölçüm ve analiz cihazları, ölçüm ve analiz yöntemleri, titreşimin sağlık etkileri, korunma metotları, maruziyet sınır ve etkin değerleri hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır. Bu tez çalışmasının son kısmında İSGÜM’de 2007-2009 yılları arasında yapılan titreşim ölçüm sonuçları verilmiş ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Titreşim, titreşim maruziyeti, titreşim çeşitleri

ABSTRACT

ZEYREK S, Vibration, Ministry of Labour and Social Security Directorate General of Occupational Health and Safety, Directorate Institute of Occupational Health and Safety. Master Thesis for Occupational Health and Safety, Ankara, 2009.

Human vibration is defined as the vibration experienced by the human body as a result of direct contact with vibrating surfaces. These surfaces; include the floor of buildings, the seats of vehicles and the handles of power-driven tools. The effects of direct vibration on the human body can be serious. In some cases, certain frequencies and levels of vibration can permanently damage internal body organs. Vibration may cause discomfort, a reduction in work output or even physical damage. In order to quantify and assess safe levels of human exposure to vibration, measurements and analysis of vibrations are necessary. Human vibration can be categorised into two major areas of evaluation; i.e. hand-arm and whole body. With this thesis scoped vibration, aimed to give information about the physics of vibration, the parameters of vibration, the types of vibration, the measurement and analysis equipments, the methods of measurements and analysis, the health effects of vibration, the methods of prevention, the exposure limit and action values. The results of vibration measurements done by ISGUM between 2007-2009 years have given and evaluated in the end of this thesis.

Key Words: Vibration, vibration exposure, types of vibration

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
İNGİLİZCE ÖZET.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
GİRİŞ VE AMAÇ	1
GENEL BİLGİLER	2
TİTREŞİMİN TEMELLERİ.....	2
Titreşim Fiziği.....	2
Titreşimle İlgili Parametreler.....	3
İNSAN TİTREŞİMİ.....	8
EL-KOL TİTREŞİMİ.....	10
Mesleki Maruziyet.....	10
İnsan El-Kol Sistemi İçin İletim ve Özdirenç.....	13
Parmak ve El Dinamiklerini Etkileyen Faktörler.....	13
Akut Etkiler.....	14
Konforsuzluk.....	14
Aktivite Girişimi.....	14
El-Kol Titreşim Sendromu.....	15
İskelet ve Eklem Yapıları Üzerine Etkiler.....	15
Nörolojik Etkiler.....	16
Kaslar Üzerine Etkiler.....	18
Damarlar Üzerine (Vasküler) Etkiler.....	19
Raynaud Hastalığı.....	19
Diğer Rahatsızlıklar	21
HAVS' ın Teşhisi.....	22
El-Kol Titreşim Ölçümü ve Değerlendirmesi.....	23
Titreşim Ölçerler.....	25
Titreşim Ölçümleri ile İlgili Genel Faktörler.....	29

Tutamak Kısımına İvme Ölçerin Monte Edilmesi.....	30
Kalibrasyon.....	32
El-Kol Titreşim Maruziyetinde Yasal Kontrollerin Gelişimi.....	32
Standartlar.....	33
Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi.....	35
El-Kol Titreşim Dozlarının ve Limitlerinin Hesaplanması.....	37
Üç Eksenden Gelen Bilgilerin Birleştirilmesi.....	37
Ölçüm Hatası Kaynakları.....	42
El-Kol Titreşim Maruziyet Değerlendirmesi Gerekli Midir?.....	43
Bir İşyeri El-Kol Titreşim Maruziyet Değerlendirmesinin Planlanması.....	45
TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ.....	47
Tüm Vücut Titreşimi Kontrolü.....	47
Sağlık Etkileri.....	48
Tüm Vücut Titreşimine Mesleki Maruziyet.....	49
Biyodinamikler.....	49
Akut Etkiler.....	50
Konforsuzluk.....	50
Aktivite Etkileri.....	51
Fizyolojik Fonksiyonlardaki Değişiklikler.....	51
Sinir ve Kas Üzerine (Nöromusküler) Etkiler.....	51
Kardiyovasküler, Solunum, Endokrin Sistemi ve Metabolik Değişiklikler.....	52
Duyu ve Merkezi Sinir Üzerine Etkiler.....	53
Uzun Dönem Etkileri.....	53
Bel Kemiği ile İlgili Sağlık Riski.....	53
Diğer Sağlık Riskleri.....	54
Sinir Sistemi, İşitme ve Denge Organı (Vestibular Organ).....	55
Dolaşım ve Sindirim Sistemleri.....	55
Dişi Üreme Organları, Hamilelik ve Erkek Ürogenital Sistemi.....	56
ISO 2631 ve Doz-Etki İlişkisi.....	56
Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi.....	60
Tüm Vücut Titreşimi Maruziyeti Ölçümü ve Değerlendirmesi.....	61
Ölçüm Sonuçları.....	62
Ölçüm Verilerinin Analizi.....	63

TÜRKİYE’DE TİTREŞİM YÖNETMELİĞİ.....	65
İSGÜM’ DE TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ.....	71
GEREÇ VE YÖNTEMLER.....	74
BULGULAR.....	75
TARTIŞMA.....	84
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	88
El-Kol Titreşim Maruziyetini Azaltmak İçin Kullanılabilecek Yöntemler.....	89
Tıbbi İzleme.....	90
Genel.....	90
İş Öncesi Tıbbi İncelemeler.....	91
Periyodik Tıbbi İncelemeler.....	92
İşten Ayırma Kararı.....	93
Titreşim Kontrolü.....	93
Genel.....	93
Mühendislik Kontrolleri.....	93
Çalışma Pratikleri.....	95
Koruyucu Kıyafet ve Ekipman.....	97
Çalışan Eğitimi.....	99
Etiketleme.....	100
Çalışanların Korunması İçin Metotlar.....	101
Tüm Vücut Titreşimini Azaltmak İçin Uygulanabilecek Yöntemler	102
Kayıtlar ve Arşivleme.....	104
Titreşim Maruziyetini Azaltmak İçin Makineler Üzerine Uygulanabilecek Yöntemler.....	104
KAYNAKLAR.....	107
RESİMLEMELER LİSTESİ.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	111

SİMGELER VE KISALTMALAR

- ACGIH : Amerikan Hükümeti Endüstriyel Hijyenistler Birliği
- A(8) : Sekiz saatlik eşdeğer enerji büyüklüğü
- a_{rms} : İvmenin rms değeri
- a_{hv} : Birleştirilmiş titreşim büyüklüğü
- $a_x(rms)$: x-ekseninde ölçülen titreşimin rms değeri
- $a_y(rms)$: y-ekseninde ölçülen titreşimin rms değeri
- $a_z(rms)$: z-ekseninde ölçülen titreşimin rms değeri
- ANSI : Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü
- ac : Alternatif akım
- BS : İngiliz Standardı
- cm : Santimetre, uzunluk ölçüsü birimi
- clo : Kıyafetler için izolasyon değeri ölçüm birimi
- CTS : Karpal tünel sendromu
- °C : Santigrat derece, sıcaklık ölçüsü birimi
- dc : Doğru akım
- EAV : Maruziyet etkin değer
- ELV : Maruziyet sınır değeri
- eVDV : Tahmini titreşim doz değeri
- °F : Fahrenheit, sıcaklık ölçüm birimi
- g : Yer çekimi ivmesi
- gr : Gram, kütle miktarı ölçüm birimi
- HAVS : El-kol titreşim sendromu
- Hz : Hertz, frekans ölçüsü birimi
- ISO : Uluslar arası Standart Organizasyonu
- ISO 5349 : El-kol titreşim ölçümlerinde referans alınan standart
- ISO 2631 : Tüm vücut titreşim ölçümlerinde referans alınan standart
- İSGGM : İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
- İSGÜM : İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitü Müdürlüğü
- kGauss : Kilo Gaus, manyetik alan ölçüm birimi
- kRad/s : Kilorad/saat, soğurulan doz hızı

- km/sa : Kilometre/saat, hız ölçüm birimi
- MRad : Megarad
- m/sn² : Metre/saniye kare, ivme ölçüsü birimi
- mV : Milivolt, elektrik akım ölçü birimi
- OSHA : İş Güvenliği ve Sağlığı Ajansı
- pC/ms⁻² : Pikocoulomb/metre/saniyekare, ivme ölçer için hassasiyet ölçüm birimi
- rms : Root mean square (karelerin ortalamasının karekökü)
- sa : Saat, zaman ölçüsü birimi
- sn : Saniye, zaman ölçüsü birimi
- t : Maruziyet periyodu
- t₁, t₂, t₃,... : Her titreşim büyüklüğüne maruz kalınan süre
- TLV : Eşik sınır değer
- t_{max} : Maruz kalınabilecek sınır süre
- W_d : Tüm vücut titreşim ölçümü için kullanılan bir filtre
- W_k : Tüm vücut titreşim ölçümü için kullanılan bir filtre
- VDV : Titreşim doz değeri
- VDV_{kısmi} : Kısmi titreşim doz değeri
- VWF : Titreşim beyaz parmak hastalığı
- x, y, z : Ortogonal koordinat sistemi eksenleri

GİRİŞ ve AMAÇ

Titreşim, bir cismin iç veya dış kuvvetlerin etkisiyle yaptığı salınım hareketidir. İnsan titreşimi ise, titreşen bir yüzey veya cisim ile temas sonucunda kişinin hissettiği titreşim olarak tanımlanabilir. Titreşim, insan vücuduna, temas eden titreşen yüzey aracılığı ile iletilir. Bu yüzey bir makinenin tutamak kısmı, bir aletin yüzeyi veya motorlu bir makinenin koltuğu olabilir.

Titreşime iki çeşit maruziyet söz konusudur: Tutamak kısmı olan ve elle kullanılan aletlerden iletilen el-kol titreşimi ve motorlu bir makinenin üzerindeki koltuk veya yüzeyden iletilen tüm vücut titreşimi.

Titreşime maruz kalma sonucu zarar görme riski, titreşimin çeşidine, büyüklüğüne (dalga boyuna), frekansına, maruziyet süresine, etkilenen vücut parçasına bağlı olarak değişiklik gösterir. Çalışması sırasında titreşime maruz kalan kişilerde, yine bu faktörlere bağlı olarak, kişinin sağlığı üzerinde çok farklı etkileri görülebilir.

OSHA (Occupational Safety and Health Administration)'nın verilerine göre, Avrupa'da her üç çalışandan birisi aletler veya makinelerden kaynaklanan; her dört çalışandan birisi de çalışma süresinin en az dörtte birinde titreşime maruz kalmaktadır. Yine OSHA verilerine göre, en fazla titreşim maruziyetinin olduğu çalışma alanları sırayla inşaat (çalışanların %63'ü), imalat sanayi ve madencilik (%44), tarım ve balıkçılık (%38), elektrik, gaz ve su sağlama (%34), ulaşım ve iletişim (%23) oluşturmaktadır. ACGIH (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists) verilerine göre, Amerika'da tahmini olarak 8 milyon çalışan mesleki titreşime maruz kalmaktadır. Bu sayının yaklaşık olarak 1 milyonunu pnömatik darbeli ve dönerli alet, zincirli testere, taşlama makinesi gibi elle kullanılan aletlerden kaynaklanan el-kol, 7 milyonunu ise titreşen zemin, kamyon, forklift, traktör gibi araçlardan kaynaklanan tüm vücut titreşim maruziyeti oluşturmaktadır[1].

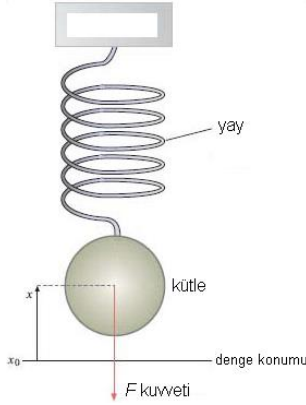
Bu çalışmayla, çalışma ortamında maruz kalınan titreşimin fiziği, titreşime ait parametreler, titreşim çeşitleri, ölçüm yöntemleri, ölçüm cihazları, sağlık etkileri, maruziyet azaltma yöntemleri, maruziyetten korunma yöntemleri, İSGÜM'in daha önceki yıllarda yapmış olduğu işyeri faaliyet alanına göre titreşim ölçüm sonuçlarının verilmesi ve yorumlanması amaçlanmıştır.

GENEL BİLGİLER

TİTREŞİMİN TEMELLERİ

Titreşim Fiziği

Titreşim, bir cisim bir denge konumu etrafında tekrarlı olarak salınım yaptığında meydana gelir. Titreşimin en basit hali Resim 1’de görüldüğü gibi, küçük bir kütle bir yaya asıldığında gözlenebilir. Kütle serbest bırakıldığında, kütle çekim kuvveti ile yayın gerilme kuvveti eşitlendiğinde asılı kütle durgun konuma gelir[2].



Resim 1. Kütle-Yay Sistemi

Kütle, denge konumundan aşağı veya yukarı yönde biraz yer değiştirdiğinde artık denge konumunda değildir. Kütlenin denge konumu etrafındaki aşağı yukarı hareketi dış bir kuvvet etki edene kadar devam edecektir. Bu hareket çeşidi basit harmonik hareket olarak bilinir[2].

Kütle, esneklik ve sönüm titreşen bir sisteme ait bileşenlerden bazılarıdır. Sistemin kinetik enerjisi, sistemin kütle ve hareketinin bir fonksiyonudur. Sistemin potansiyel enerjisi ise, sistemin kütle ve gerilmesinin bir fonksiyonudur. Sistem titreştiği zaman, sistemdeki enerji dönüşümlü olarak kinetik ve potansiyel enerjilere dönüşür. Sistemden enerjiyi soğuracak herhangi bir fiziksel mekanizma yoksa, teorik olarak sistem sonsuza kadar titreşim hareketi yapacaktır. Uygulamada, titreşim hareketi yapan cismin hareketine karşı çıkacak dış kuvvetler daima vardır. Bu kuvvetler genellikle sönüm kuvvetleri olarak bilinirler. Sönüm, potansiyel ve kinetik enerjiyi ısıya dönüştürüp titreşen sistemin enerjisini azaltan bir

mekanizmadır. Titreşen sisteme dışardan enerji sağlayan bir sistem yoksa sönüm nedeniyle sistemin enerjisi tamamen ısıya dönüştürülecek ve bir süre sonra titreşim hareketi duracaktır. Kütle ve yay sisteminde, kütle hareketine gösterilen hava direnci muhtemelen en önemli sönüm kaynağıdır. Başka kuvvetler de vardır: yay kusursuz olmadığından yayın uzayıp kıaldığı zamanlarda küçük bir miktar enerji ısıya dönüşecektir. Yayın bağlı olduğu kısım tam olarak sabit değilse, bu noktaya da bir miktar enerji aktarılır. Titreşen bir sistemden enerji çıktığında, sönüm her zaman meydana gelir ve titreşim genliğini azaltma yönündedir. Portatif bir aletin titreşimi, işle temas, operatörün eline enerji iletimi, herhangi bir hava sönümlendirmesi gibi farklı iç işlemlerle sönümlendirilir. Titreşen sistemden sönüm ile kaybolan enerjinin yerine başka bir enerji kaynağından enerji sağlanırsa zorlanmış titreşimler meydana gelir. Sönüm ile kaybolan enerji ile enerji kaynağından sağlanan enerji eşitlendiğinde bir denge durumu sağlanır. Normal koşullar altında çalışan bir aletin tutamak kısmındaki titreşim zaman içinde sabit olma eğilimindedir. Fakat alet kapatıldığında, farklı sönüm mekanizmaları titreşimi bir an önce sonlandırmak için etkili olacaktır[3].

İnsan el-kol sistemi, kütle, esnekliğe ve sönüme sahiptir; esnekliği ve sönümü olan bir dizi birbirine bağlı kütle olarak ele alınabilir.

Titreşen bir sistem için kullanılacak bir diğer parametre olan izolasyon ise, sistemden zorunlu olarak salınan enerji dışında bir cisimden diğerine enerji iletimini engelleyen bir işlemdir. Bir motorlu araç, çok sayıda yayla desteklenmiş bir kütle olarak düşünülebilir. Araç tümsekli bir yol üzerinde kullanıldığında, tekerleklerin titreşimi direk olarak yolculara iletilmeyecektir. Sönüm elemanları olmasına rağmen yaylar, sistemden küçük bir miktar enerji alacaktır[3].

Titreşimle İlgili Parametreler

Titreşim hareketi salınımlı bir harekettir. Bu tip hareketler bir denge veya referans nokta etrafında yapılan hareketlerdir ve harmonik hareket adını alırlar. Yer değiştirme, cismin durgun pozisyonuna göre o anki pozisyonunu belirtir. Birbiri ile bağlantılı dört titreşim parametresi vardır: Frekans, ivme, hız ve yer değiştirme. Tek frekans değeri için bu parametrelerden ikisi biliniyorsa, geri kalan parametreler hesaplanabilir[2].

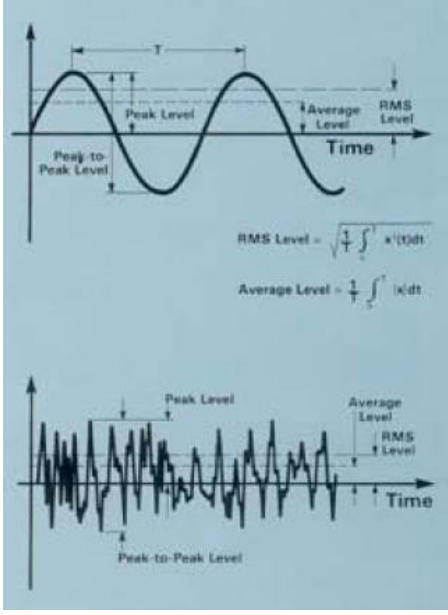
Frekans, cismin bir saniye içinde yaptığı tam devir sayısıdır. Örneğin, bir cisim saniyede 10 tam salınım hareketi yapıyorsa, cismin frekansı 10 devir/sn veya 10 Hz'dir. Salınımın periyodu ise $t = 1/f$ şeklinde hesaplanır. Periyot, cismin bir tam salınım hareketi için gerekli olan süredir[2].

Hız, cismin yer değiştirmesinin zamana oranıdır ve yer değiştirme fonksiyonunun birinci türevi ile temsil edilir. İvme, hızın zamanla değişimini ifade eder ve yer değiştirme fonksiyonunun ikinci türevi ile verilebilir. Yer değiştirme metre (m), hız saniyedeki metre (m/sn), ivme ise saniyenin karesindeki metre (m/sn²) biriminde ölçülür[2].

Titreşimin Büyüklüğü: Osilasyon yapan bir cismin dönüşümlü olarak bir yönde ve daha sonra buna zıt yönde hızı vardır. Bu hız değişiminin anlamı, cismin önce bir yönde, daha sonra zıt yönde devamlı hızlandığıdır. Bir titreşimin büyüklüğü, yer değiştirmesi, hızı veya ivmesi ile nitelendirilebilir. Pratik olarak, ivme genellikle ivme ölçer ile ölçülür. Birimi metre başına saniye karedir (m/sn²)[4].

Bir osilasyonun büyüklüğü, hareketle ulaşılan en uzak (ekstrem) noktalar arasındaki uzaklık veya merkezi noktadan (yani denge konumundan) olan maksimum uzaklık olarak ifade edilebilir. Titreşimin büyüklüğü, hareketin ivmesinin ortalama değeri, genellikle karelerin toplamının karekökü (rms) olarak verilir. Tek frekanslı bir sinüsoidal hareket için rms değeri, pik değer $\sqrt{2}$ 'ye bölünmesi ile elde edilir[2,5].

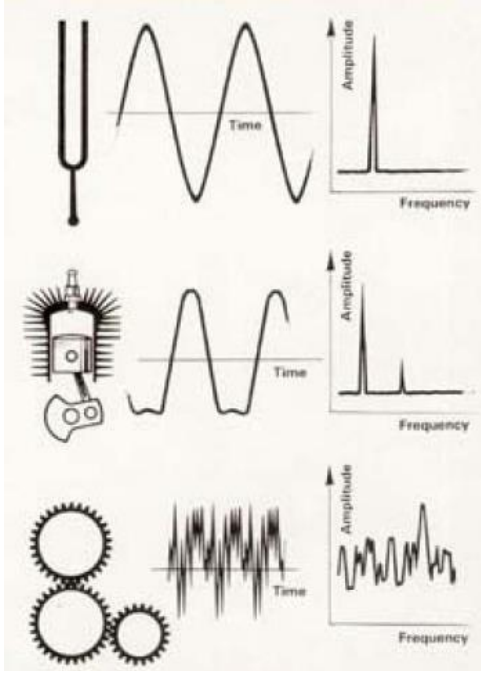
Titreşimin büyüklüğünü tarif eden titreşim genliği, bir çok yöntemle nicelendirilebilir. Resim 2' de, sinüs dalgasının pik-pik seviyesi (tepeden tepeye), pik seviyesi, ortalama seviyesi ve rms seviyesi görülmektedir[5].



Resim 2. Sinüs Dalgasının Pik-Pik Seviyesi, Pik seviyesi, Ortalama Seviyesi ve Rms Seviyesi

Titreşimin Frekansı: Saniye başına devir sayısı olarak Hertz biriminde verilen titreşim frekansı, vücuda iletilen titreşimin iletim yolunu ve titreşimin vücuda olan etki derecesini belirler. Kütle ve yay sistemi muhtemelen 1 Hz'den fazla olmayan düşük bir frekansa sahiptir. Çoğu titreşen cisimler bu frekans değerinden oldukça büyük yüzlerce ve hatta binlerce Hertz frekansta titreşebilirler. Genel olarak insanı etkileyen titreşimin frekans aralığı, işitilebilir sesin frekans aralığından oldukça küçüktür. İki bölge, sağlığa etkisi yönünden incelenen titreşimin frekans aralığı olan 1-1000 Hz aralığında örtüşürler. Ses hareket eden bir dalga gibi görünürken titreşim durgunmuş gibi görülebilir. Titreşim de ilerleyen bir fiziksel büyüklük olduğundan, bu yaklaşım oldukça basit kalmaktadır. Titreşim ilerlemeseydi, bir aletin içindeki titreşen bir mekanizmadan oluşan titreşim, aletin elle tutulan kısmından ilerlemek için bir yol bulamayacak ve titreşim enerjisi insan vücuduna iletilemeyecekti. Ses ve titreşim arasındaki teorik farklılıklar çok büyük olmadığından ikisi bitişik uzaylarda düşünülebilirler. İşyerlerinde titreşim hareketi konusu kolay anlaşılır bir konu değildir ve çoğu zaman titreşim statik bir fenomen gibi ele alınır[4].

Hareket, Resim 3'te gösterildiği haliyle, diyapozan örneğinde olduğu gibi tek bir frekans değerine sahip olabilir veya içten yanmalı makedede bulunan piston örneğinde olduğu gibi aynı anda farklı frekans değerlerine de sahip olabilir[5].



Resim 3. Diyapozandan ve Farklı Örneklerden Yayınlanan Titreşimler

Bir frekans analizi yapılırken, makine titreşimlerinin genellikle, farklı makine parçalarının hareketine göre periyodik olarak tekrar eden birkaç baskın frekans değerinden oluştuğu gözlenir. Frekans analizi sayesinde istenmeyen titreşim kaynaklarının izi sürülebilir[5].

Tüm vücut titreşiminin etkisi, 0.5-100 Hz aralığının sonlarında daha büyüktür. El-kol titreşimi için, 1000 Hz ve daha yüksek frekansların zararlı etkileri vardır. 0.5 Hz değerinin altındaki frekanslar hareket tutması (motion sickness) durumuna neden olabilirler[4].

İnsanın titreşime verdiği tepki, titreşimin frekansı ile değiştiği için, ölçülen titreşimin hangi frekanslarda meydana geldiğine göre ağırlıklandırılması gerekir. Frekans ağırlıklandırma ile titreşimin hangi değerde istenmeyen etkilere neden olduğu yansıtılabilir. Ağırlıklandırma, tüm eksenler için gereklidir. Tüm vücut ve el-kol titreşimleri için farklı frekans ağırlıklandırmalar kullanılmalıdır[6].

Titreşimin Yönü: İvme, hız ve yer değiştirme hepsi vektörel niceliklerdir. Bu nicelikleri tam olarak tanımlayabilmek için büyüklükleri kadar yönlerinin de belirtilmesi

gerekir. Elle kullanılan bir cihaz, üçü birbirine dik olan eksenlerden birinde titreşim yapabilir. Baştan başa, önden arkaya veya yukardan aşağıya titreşim yapabilir. En muhtemel olanı, hareketinin bu üç yöndekinin bir kombinasyonu olmasıdır. Bir cihazın hareketini tam olarak tanımlamak için, ortogonal yani birbirine dik üç eksen boyunca ölçüm alınması gereklidir. Bu eksenler sırasıyla x, y ve z eksenleri olarak adlandırılırlar. El-kol ve tüm vücut titreşimi için standart eksenler, insan el ve vücuduna göre tanımlanırlar. Bazı amaçlar için titreşim büyüklüğü değerlendirilirken, üç eksen de ayrı ayrı ele alınabilir[4].

Titreşimin Süresi: Titreşime insan tarafından verilen tepki, titreşim maruziyetinin toplam süresine bağlıdır. Titreşimin karakteristikleri zamanla değişmiyorsa, titreşimin rms değeri ortalama titreşim büyüklüğü için uygun bir ölçüm verir. Titreşimin karakteristikleri zamanla değişiyorsa, ölçülen ortalama titreşim, ölçümün alındığı periyoda bağlı olacaktır. Bir çok mesleki maruziyet aralıktır, zamanla değişir veya rastgele şoklardan oluşur. Böyle kompleks hareketlerin toplam büyüklüğünü hesaplamak için büyük titreşimlerde kısa periyotların, küçük titreşimlerde uzun periyotların kullanıldığı yöntemler uygun olacaktır[4].

Mekanik Empedans (Özdirenç): İnsana, mekanik bir yapıya veya başka bir sisteme titreşen bir uyarıcı uygulandığında, uygulama noktası ve sistemin diğer noktaları uyarıcı ile aynı frekansta harekete başlar. Uyarıcının uygulandığı sistemin mekanik empedansı, sistemin dinamik karakteristiklerini ve hareketini tanımlamakta kullanılabilir. Empedans, titreşen uyarıcıya karşı insan vücudunun toplam dinamik karşı koymasının bir ölçüsüdür. Empedans ölçümleri, vücudun veya el, kol gibi farklı vücut bölümlerinin dinamik özelliklerini belirlemek için yapılan non–invaziv (cilt ya da mukozayı geçmeden tamamlanan tıbbi girişim) ölçümlerdir[3].

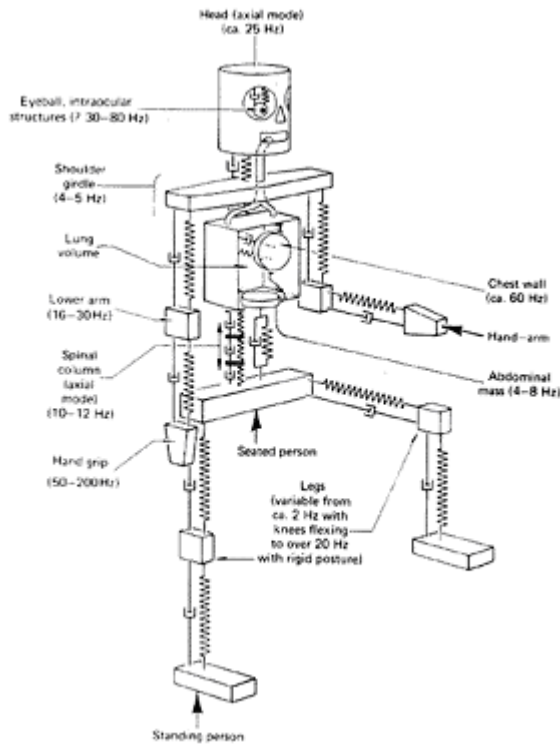
Şoklar: Titreşim terminolojisinde şok kelimesinin anlamı normal dildeki ile aynıdır. Enerji ile çalışan birçok cihaz, çalışma noktası ile cihazın kafası arasında tekrarlı darbeler meydana getirirler. Bazen cihazın tüm çalışma prensibi bunun üzerinedir: örneğin; bir yol kırıcı veya çivi tabancasında olduğu gibi. Bazen darbeler, matkapta olduğu gibi, döner bir hareketin üzerine bindirilir[2].

Titreşim frekansı ve genliği analizinde şoklar kendilerini, çok kısa periyotlarda devam eden yüksek genlikte titreşimler olarak gösterirler. Kararlı titreşim seviyesi içinde şoklar, frekans analizi içinde dikkat çeken yüksek frekansta bileşenler olarak görülürler[2].

İNSAN TİTREŞİMİ

İnsan vücudu fizyolojik ve biyolojik olarak oldukça karmaşık doğası olan bir sistemdir. Mekanik bir sistem olarak bakıldığında, yapısında lineer elementler kadar lineer olmayan elementleri de bulundurur ve mekanik özellikler kişiden kişiye oldukça büyük değişiklikler gösterir. İnsanların titreşim ve şoklara tepkisini ele alırken, bunların hem fizyolojik hem de mekanik etkilerini de göz önüne almak gerekir[7].

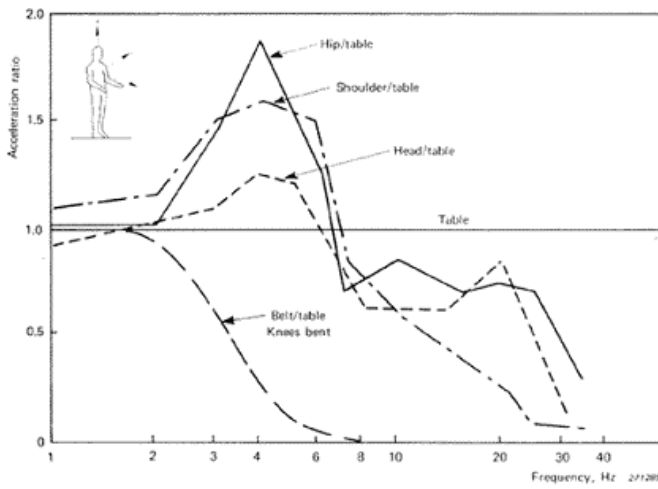
İnsan vücudu mekanik bir sistem olarak ele alındığında, düşük frekanslarda ve düşük titreşim seviyelerinde, Resim 4'te de görüldüğü gibi, bir lineer parametreler sistemi olarak düşünülebilir[7].



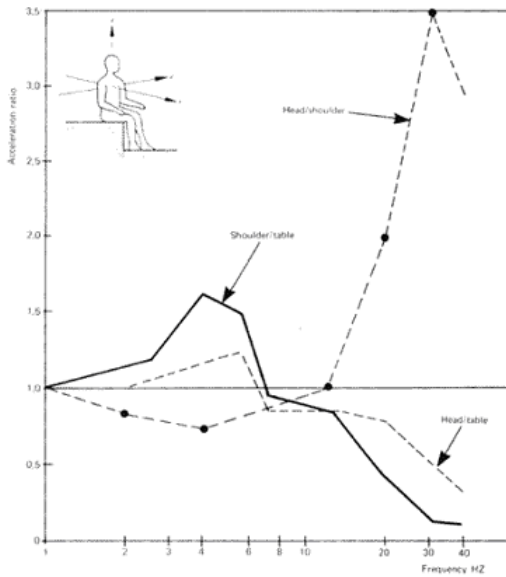
Resim 4. Dikey Olarak Titreşen Bir Yüzeyde Ayakta Duran Bir Kişinin Basitleştirilmiş Mekanik Sistem Modellemesi

İnsan vücudunun mekanik modellemesi, oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan insan vücudunun kütle, yay ve sönüm elemanlarından oluştuğunu kabul ederek daha basit bir model haline getirmektedir. Şekil üzerinde bulunan Hz biriminden frekans değerleri, farklı vücut kısımlarının rezonans frekanslarını göstermektedir. Rezonans frekansının anlamı, o kısmın

osilasyon hareketi yaptığı frekans değeridir. Mekanik modellemeye göre, titreşim ve şokların etkisi bakımından vücudun en önemli kısımlarından birisi toraks-abdomen sistemdir (göğüs-karın sistemi). Bunun nedeni, Resim 5 ve 6’ da gösterildiği gibi, 3-6 Hz aralığında meydana gelen farklı rezonans etkinin oturan veya ayakta duran bir kişi için titreşim izolasyon durumunu oldukça zor hale getirmesidir. Farklı titreşim işaretlerinin vücut üzerine etkisini tahmin etmek için, titreşimin vücuda giriş noktasından herhangi bir vücut bölümüne geçiriminin bilinmesi gerekir. Resim 5 ve 6’ de görüldüğü gibi, vücut düşük frekanslarda işareti yükseltmekte ve daha yüksek frekans değerlerinde ise zayıflatmaktadır[7].



Resim 5. Zeminden, Ayakta Duran Bir Kişinin Farklı Vücut Kısımlarına Frekansın Bir Fonksiyonu Olarak Dikey Titreşim İletimi



Resim 6. Zeminden, Oturan Bir Kişinin Farklı Vücut Kısımlarına Frekansın Bir Fonksiyonu Olarak Dikey Titreşim İletimi

İnsan titreşimi, mekanik titreşimin insan vücudu üzerindeki etkisine göre tanımlanır. Etki tüm vücut üzerinde olabileceği gibi, sadece vücudun bir kısmı üzerinde de olabilir. İnsan titreşim çeşitlerinden en önemlisi el-kol titreşimidir. El-kol titreşimi enerji ile çalışan, tutamak kısmı olan zincirli testere, darbeli matkap, taşlama makinesi gibi aletlerden kaynaklanır. Tüm vücut titreşimi ise araçlardan, titreşen zeminlerden veya operatörün üzerinde oturarak çalıştığı büyük makinelerden kaynaklanır[8].

EL-KOL TİTREŞİMİ

Mesleki Maruziyet

Enerji ile çalışan aletlerden yayılan, parmaklardan veya elin avuçlarından vücuda giren mekanik enerjiye el-kol titreşimi denir. Operatörü el-kol titreşimine maruz bırakan ve enerji ile çalışan aletler bir çok endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. El-kol titreşim maruziyeti üretim, taşımacılık, maden, inşaat, tarım ve ormancılık alanlarında elle kullanılan, enerji ile çalışan aletlerden kaynaklanabilir. Hollanda’ da 150 binden, İngiltere’ de 0.5 milyondan, Amerika’ da 1.5 milyondan fazla kişinin el-kol titreşimine maruziyetinin olduğu rapor edilmiştir. Avrupa ülkelerinde ve Amerika’ da çalışanların %1.7 ile 3.6’ sının zararlı etkileri olabilecek titreşime maruz kaldıkları tahmin edilmektedir[2]. El-kol titreşim sendromu (HAVS) terimi, el-kol titreşim maruziyeti ile ilgili işaret ve semptomları ifade etmek için kullanılır ve şu durumları içerir[4]:

- damarsal hastalıklar
- 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 maruziyetler sağlık üzerinde zararlı etkiye sahiptir.

Mesleki el-kol titreşim maruziyeti ile sağlık etkileri arasındaki ilişki basit değildir. Tablo 1, el-kol titreşimi maruziyeti sırasında titreşimin zararlı etkileri ile ilgili olabilecek bazı faktörleri göstermektedir[4]:

Tablo 1. El-Kol Titreşim Maruziyeti Sırasında Zararla İlişkisi Olabilecek Faktörler

Titreşim karakteristikleri	Aletler veya Prosesler	Maruziyet koşulları	Çevresel koşullar	Kişisel karakteristikler
Büyükölçüm(r.m.s.,pik, ağırlıklandırılmış/ağırlıklandırılmamış)	Alet tasarımı (taşınabilir, sabit)	Süre (günlük, yıllık maruziyetler)	Çevre sıcaklığı	Çalışma yöntemi (tutuş kuvveti, itiş kuvveti, el-kol duruşu, vücut duruşu)
Frekans (spektrum, baskın frekanslar)	Alet çeşidi (darbeli, dönmeli, döner darbeli)	Maruziyet şekli (sürekli, aralıklı, dinlenme periyotları olan)	Hava akışı	Sağlık
			Nem	
			Gürültü	
Yön (x-, y-, z- eksenleri)	Durum	Toplam maruziyet süresi	Parmak-el-kol sisteminin dinamik tepkisi	Eğitim
	İşlem		Mekanik empedans	Yetenek
	Çalışılan malzeme		Titreşim geçirimi	Eldiven kullanımı
			Absorbe edilen enerji	Zarara karşı kişisel hassasiyet

İnsanın titreşime verdiği tepki: Titreşimin frekansı, genliği, maruziyet süresi, yönü, uygulama noktası, vücut ve titreşimin vücuda girdiği noktanın bağlantısı, kıyafetleri ve kullanılan aletler, vücut ağırlığı, kullanıcının boyu, vücudun duruş biçimi, vücut direnci, vücut bileşenleri gibi birçok faktöre bağlıdır. Titreşim, yönü ve büyüklüğü olan vektörel bir

niceliktir. Bu nedenle sayılan faktörler üç eksenle ele alınmalıdır. Eller ve titreşimli alet arasındaki bağlantı, el-kol titreşim büyüklüğü değerlendirilirken raporda bulunması gereken bir çok faktörden etkilenir. Bu faktörler şunlardır[3]:

- Kullanılan aletin çeşidi ve durumu
- Normal çalışma koşulları altında kullanılan alet tarafından üretilen ivme ve frekans spektrumu
- Alet veya iş parçasına doğru uygulanan kuvvetin büyüklüğü ve yönü (örneğin, tutma kuvveti, aksel itme kuvveti, dönmesel momentler)
- Çalışma sırasında ellerin, kolların ve vücudun yönelimi ve duruşu (özellikle, dirsek, bilek ve omuz eklemlerinin açısı)
- Elin titreşen yüzeyle direk bağlantısı olan kısımları
- Yüzeyin ellerle bağlantısı olan kısmının çeşidi ve büyüklüğü
- Kullanılan çalışma şekli
- Çalışanın titreşimli alet kullanarak çalıştığı yıl sayısı
- Sıcaklık, nem ve kullanılan alet veya iş parçasının tutamak kısmının sıcaklığı gibi iklimsel koşullar.

El-kol titreşim maruziyetinin süresi değerlendirilirken aşağıda verilen bilgiler rapor edilmelidir[3]:

- Bir gün içerisindeki titreşim maruziyet süresi ve saat biriminden aylık ve yıllık maruziyet süreleri
- Bir periyot içerisindeki maruziyet ve bunun çalışma metodu ile ilişkisi (örneğin, önceden belli olan ve olmayan çalışma ve dinlenme periyotlarının uzunluğu ve sıklığı, çalışma periyodu içinde titreşimin aralıklı olup olmaması, yani dinlenme arasında titreşimli aletin bırakılması veya elde tutulması).

Titreşimin parmak-el-kol sistemine iletimini etkileyen faktörlerin, titreşimden zarar görme konusunda önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Titreşimin iletimi, hem titreşimin karakteristiklerine (büyüklük, frekans, yön gibi) hem de elin dinamik tepkisine bağlıdır.

İnsan El-Kol Sistemi İçin İletim ve Özdirenç

Titreşime karşı direnç gösteren el-kol sisteminin özdirenci (empedans), titreşim genliğinde, frekansında, uygulanan kuvvette, titreşim eksenine göre el-kol sisteminin yöneliminde farklılıklar olduğunda belirgin değişiklikler gösterdiğinden, deneysel sonuçlar insan üst uzvunun mekanik davranışının kompleks bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Özdirenç aynı zamanda vücut yapısından ve insan üst uzvunun farklı kısımlarının yapısal farklılıklarından da etkilenir. Örneğin, parmakların mekanik özdirenci, el içinin mekanik özdirencinden çok daha düşüktür. Genel olarak, daha yüksek titreşim seviyeleri, buna ek olarak daha sıkı tutuş şekli, daha yüksek bir özdirençle sonuçlanır. Özdirencin büyük ölçüde titreşimin yönüne, frekansına ve kişi ile titreşim kaynağının temas durumuna bağlı olduğu yapılan çalışmalar sonucu bulunmuştur. Bir çok çalışmadan parmak-el-kol sisteminin rezonans bölgesi olarak 80-300 Hz frekans aralığı sonucu çıkarılmıştır[4].

Titreşimin insan koluna iletimi ile ilgili yapılan ölçümler sonucunda, daha düşük frekanstaki (50 Hz' den daha düşük) titreşimin küçük bir zayıflatma ile el ve ön kola iletildiği gözlenmiştir. Titreşim iletimi, dirsek eklemesindeki bükülme açısının artması ile azalma eğiliminde olduğundan dirsekteki zayıflatma, kolun duruşuna bağlıdır. Daha yüksek frekanslarda (50 Hz' den daha yüksek), titreşim iletimi, artan frekansla kademeli olarak azalır ve 150-200 Hz üzeri frekans değerlerinde titreşim enerjisinin çoğu el ve parmakların dokularına dağıtılır[2]. İletim ölçümlerinden, yüksek genlikli düşük frekanslı titreşim bilek, dirsek ve omuz hasarları ile ilişkilendirilebilecekken, yüksek frekans aralığındaki titreşimin yumuşak doku hasarlarından sorumlu olabileceği sonucuna varılabilir[4].

Parmak ve El Dinamiklerini Etkileyen Faktörler

Titreşim maruziyetinin kötü etkilerinin, insan üst uzuvlarına dağıtılan enerji ile bağlantılı olduğu kabul edilebilir. Enerji absorpsiyonu büyük ölçüde parmak-el sisteminin titreşim kaynağına bağlantısını etkileyen faktörlere bağlıdır. Tutuş basıncında, statik kuvvette ve duruştaki değişiklikler parmağın, elin ve kolun dinamik tepkisini ve sonuç olarak da iletilen ve absorbe edilen enerjinin büyüklüğünü belirler. Örneğin, tutuş basıncı, enerji absorpsiyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve daha sıkı kavrama kuvveti, el-kol sistemine aktarılan daha büyük titreşim enerjisi demektir. Dinamik tepki verileri, titreşimli

aletlerden kaynaklanan hasar verme potansiyeli hakkında gerekli bilgiyi verir ve anti-titreşim ekipmanlarının geliştirilmesine yardımcı olur[4].

Akut Etkiler

Konforsuzluk

Titreşim, parmak ve el derisinin yüzeyinde ve altında bulunan farklı mekanik algılayıcılar (mekanoreseptörlerdir) tarafından algılanır. Bunlar, adaptasyon ve kabul alanı özelliklerine göre yavaş ve hızlı adapte olanlar olmak üzere iki kategoriye ayrılırlar. Merkel diskleri ve Ruffini endings, yavaş adapte olan, sabit basınca ve basınçtaki yavaş değişiklere cevap veren ve düşük frekanslarda (16 Hz' den düşük) uyarılabilen mekanoreseptörlerdir (mekanik basınca yanıt verme sürecinde rol oynayan reseptör). Meissner (parmakların, dudakların, meme bezlerinin ve genital organların etli kısımlarının dermik papillalarının duyu korpüskülleri) ve Pacinian (bir nörofibrilin sonlandığı santral granülöz bir bulbusla çevrili olan bağ dokuların çok sayıda konsantrik lamellerinden oluşan ovoid korpüsküller. Bu korpüsküller el ayası, ayak tabanı, pankreas, süt bezleri, dış genital organlarda vb. çok miktarda bulunmaktadır. Bunlar genel duyarlılığın periferik organları olarak kabul edilir) cisimcikleri, hızlı adapte olan, uyarıcıda oluşan hızlı değişikliklere cevap veren, 8-400 Hz aralığındaki titreşim algısından sorumlu mekanoreseptörlerdir. El-kol titreşimine kişisel tepki, eşik değerlerini, eşdeğer algılama ve tolerans sınırlarını belirlemek için farklı frekanslarda titreşimler kullanılarak bir çok çalışmada kullanılmıştır (Griffin, 1990). Deneysel sonuçlar, titreşime insan hassasiyetinin, hem konfor hem de rahatsızlık titreşim seviyeleri için artan frekans değeriyle birlikte azaldığını göstermektedir. Dikey titreşim, diğer yönlerdeki titreşime göre daha fazla konforsuzluk oluşmasına neden olur[4].

Aktivite Girişimi

El-kol titreşimine akut maruziyet, cilt mekanoreseptörlerinin uyarılabilirliklerinde bir düşmeye neden olduğundan dokunma ile hissedilen titreşim (vibrotaktil) eşiğinde geçici bir artmaya neden olabilir. Geçici eşik kaymasının büyüklüğü, iyileşme için gerekli zamana ek olarak, frekans, genlik, süre, sıcaklık, çalışanın yaşı ve daha önceki titreşim maruziyetleri gibi titreşimin karakteristiklerinden etkilenir. Düşük sıcaklık, digital (parmakla ilgili) dolaşım üzerinde damar büzücü (vazokonstriktif) etkiye sahip olduğundan ve parmak cilt sıcaklığını

düşürdüğünden, soğuk maruziyeti, titreşim ile tetiklenen dokunma hissindeki düşüşü artırır. Sıklıkla soğuk bir çevrede çalışarak titreşim maruziyeti olan çalışanlarda tekrarlı olarak dokunma hassasiyetinde akut hasarlar görülme vakaları, sensörel algıda kalıcı azalmalara neden olup çalışma aktivitesine zarar vererek kazalar nedeniyle yaralanma riskini artıracak şekilde yetenek kaybına yol açarlar[4].

El-Kol Titreşim Sendromu

El-kol titreşim sendromu (HAVS), el-kol sisteminin mekanik titreşime uzun süreli maruziyet sonunda ortaya çıkan durumu tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Üç bileşeni vardır: vasküler (kan damarları ile ilgili ya da onlardan kaynaklanan), nörolojik (sinir sistemi ve bozukluklarıyla ilgili ya da bunları konu alan) ve müsküloskeletal (hem kas dokusu hem de iskelet sistemi ile ilgili) olmak üzere. Titreşimin beyaz parmak (VWF) olarak da bilinen vasküler bileşeni en çok bilinenidir. VWF terimi, çoğunlukla yanıltıcı bir şekilde bütün olarak el-kol titreşim sendromunu belirtmek için kullanılır. Vasküler bileşen için geçmişte kullanılan diğer isimlerden olan “mesleki kaynaklı Raynaud fenomeni” terimi, diğer terimler “ölü parmak” veya “taşlamacı krambı (mesleki kramp. Sürekli aynı hareketleri yapan müzisyen, yazar, ayakkabıcı, saatçi, v. b meslek gruplarında el, kol, parmak, boyun, sırt, v. b kaslarda rastlanılan tonik kasılmalar) gibi belirgin izleri anlatacak şekilde iken, uygun ancak uzun bir terimdir[2].

Vasküler semptomların (hastalığı ya da patolojik durumların organizmada oluşturduğu kendine özgü olaylara (fenomen) verilen ad), titreşim maruziyetine ek olarak başka sebepleri de vardır. Nörolojik semptomların da başka sebepleri vardır. Ancak iki semptom grubunun aynı anda olması kesin olarak titreşim maruziyetinin sebep olduğuna işaret eder. Müsküloskeletal (hem kas dokusu hem de iskelet sistemi ile ilgili) bileşen, titreşim dozu ve etkisi arasında belirlenen ilişkiler için en yetersiz bileşendir[2].

İskelet ve Eklem Yapıları Üzerine Etkiler

Titreşim nedeniyle oluşan eklem ve kemik incinmeleri konusu tartışmalı bir konudur. Farklı otoriteler, titreşimli alet kullanan çalışanlarda görülen eklem ve kemik hasarlarının özel bir karakterinin olmadığını, yaşlanma ve elle ağır işler yapıyor olmanın doğal sürecinden kaynaklandığını düşünmektedirler. Diğer yandan bazı araştırmacılar da, ellerde, bileklerde ve

dirseklerde el-kol titreşimine uzun süreli maruziyetten kaynaklanabilecek karakteristik yapıda kemik ve eklem yapılarında değişiklikler rapor etmişlerdir. Erken x-ışını incelemeleri, titreşim maruziyeti olan çalışanların ellerinde ve bileklerinde yaygın bir şekilde kemik kofullarının (bir hücre ya da bir organizmanın değişik maddeler içeren, sitoplazmasında bulunan küçük boşluklar) ve kistlerinin olduğunu ortaya çıkarmıştır, fakat son çalışmalara göre, el işçilerinden oluşan bir kontrol grubuna göre diğer grubun durumunda belirgin bir artışın olmadığı gözlenmiştir. Maden, yol inşaatı ve metal işleri çalışanlarında pnömatik darbeli aletlerden kaynaklanan, düşük frekanslı, yüksek genlikli titreşim maruziyeti nedeniyle aşırı yaygın bir şekilde bilek osteoartrozu (eklem kemiklerinin uçlarının deformasyonu ile oluşan dejeneratif tipte artropati), dirsek arthroz (anatomik olarak osteofit ve kondrofit; klinik olarak ankiloz ve genel durum bozukluğu görülmesizin ağrı, kısırdama sesi, deformasyonlar ve kütürümlük gibi belirtilerle oluşan, eklemlerin inflamasyonlu olmayan dejeneratif kronik hastalıklarına verilen isim) ve osteoartrozu rapor edilmiştir. Diğer yandan, taşlama makineleri ve matkaplardan kaynaklanan orta veya yüksek frekanslı titreşim maruziyeti olan çalışanlarda, dejeneratif eklem ve kemik hasarlarında bir artışın olduğu konusunda çok az kanıt vardır. Ağır fiziksel efor, sıkı tutuş gücü ve diğer biyomekanik faktörler, darbeli aletlerle çalışanlarda iskeletsel hasarların daha yüksek oranda görülmesinin nedeni olarak ele alınabilirler. Çok az sayıda ülkede (Fransa, Almanya, İtalya dahil), elle titreşimli alet kullanan çalışanlarda meydana gelen eklem ve kemik hasarları mesleki bir hastalık olarak görülür ve etkilenen çalışanlar tazmin edilir[4].

Nörolojik Etkiler

Nörolojik bileşen yıllar içerisinde diğer bileşenlere göre daha az dikkat çekmiştir. Damarlara ait (vasküler) bileşenden daha az belirgin olmasına rağmen, hasar görmüş kişinin iş yapma kabiliyetini ve normal hayatının devam ettirebilmesini ciddi şekilde etkileyebilir. Diğer bileşenlere göre teşhisi zordur, ancak nörolojik bileşen konusunda bilinmeyen sebep sayısı çok fazla olmadığından bu durum teşhisini basitleştirebilir. Semptomlar karıncalanma hissi ile birlikte gittikçe daha fazla sayıda parmak eklemine etkileyen hissizlik durumundan oluşur[4].

Elle titreşimli alet kullanan çalışanlar, parmak ve ellerinde karıncalanma ve hissizlik durumu ile karşılaşabilirler. Titreşim maruziyeti devam ederse, semptomlar daha da kötüleşir ve iş kapasitesine ve yaşam aktivitelerine zarar verecek hale gelebilir. Titreşim maruziyeti

olan çalışanların klinik incelemelerinde titreşim, termal ve dokunma algı eşiklerinde bir artış olduğu gözlenir. Sürekli titreşim maruziyetinin sadece cilt reseptörlerinin uyarılabilirliğini azaltmadığı aynı zamanda fibröz (bir doku ya da organ lezyonlarında onarım ya da tepki sonucu bağ dokusu (fibröz doku) oluşması) ve sinir dokusu kaybı ile takip edilen perinöral (bir sinirin çevresinde ya da yakınında olan) ödem gibi digital sinirlerde patolojik değişikliklere de neden olduğu sonucuna ulaşılabilir. Titreşim maruziyeti olan çalışanlar üzerinde yapılan epidemiyolojik çalışmalar, periferal (çevrede ya da periferde bulunan ya da yerleşik olan) nörolojik bozuklukların görülme yaygınlığının yüzde bir kaçtan yüzde seksene kadar değiştiğini ve algılama kayıplarının çok geniş bir aralıkta farklı aletleri kullanan çalışanları kapsadığını göstermiştir. Stockholm Çalışmayı 86' da, klinik inceleme ve kişisel testlerden elde edilen semptomlar ve sonuçlara göre üç aşamadan oluşmak üzere HAV sendromunun nörolojik bileşenlerinin bir ölçeği önerilmiştir. Tablo 2' de HAV sendromu için sensörinöral (algıya ait sinir) aşamaların Stockholm sınıflaması verilmektedir[4].

Tablo 2. El-kol Titreşim Sendromu İçin Stockholm Çalışmayı Sensörinöral Seviyeler (Kaynak: Stockholm Çalışmayı 86 1987).

Seviye	İşaretler ve Semptomlar
0SN	Titreşim maruziyeti var ancak semptom yok
1SN	Karınçalanma olan veya olmayan aralıklı hissizlik
2SN	Aralıklı veya sürekli hissizlik, azalmış sensörel algı
3SN	Aralıklı veya sürekli hissizlik, dokunma ile ayırmda ve/veya manipülatif yetenekte azalma

Hissizlik durumu sürekli olabileceği gibi belirli zamanlarda da ortaya çıkabilir. Hissizlik ve karınçalanma, kişilerin küçük cisimleri kavrama yeteneklerini azaltabilir. Hasar görmüş kişilerde keskin ve sıcak cisimlere karşı his kaybı olduğu için yanık ve kesik oluşması durumları görülebilir. Diğer bileşenlerde olduğu gibi nörolojik bileşende de semptomların Tablo 3' te verilen olası diğer nedenleri de vardır[2].

Tablo 3. HAVS İle Benzer Nörolojik Semptomları Olan, Titreşim Kaynaklı Olmayan Durumlar

İlaç tedavisi	Streptomisin Kloramfenikol
Sinir sıkışması Merkezi sinir sistemi hastalıkları	Karpal Tünel Sendromu Multipl skleroz (MS)
Diğer hastalıklar Toksinler	Omurga kolonu tümörleri Şeker Organofosforlar Kurşun Talyum Karbondisülfid Hekzan

Titreşim nöropatisini bilek içerisinde anatomik bir tünel boyunca uzanan bir sinir olan orta sinirin sıkışması sonucu oluşan karpal tünel sendromu gibi diğer nöropatilerden ayırabilmek için dikkatli bir tanı yapılmasına ihtiyaç vardır. Karpal tünel sendromu (CTS), taş kırma, kaplamacılık ve ormancılık alanlarında titreşimli alet kullanan çalışanlarda çok sık görülen bir rahatsızlıktır[2].

Kaslar Üzerine Etkiler

Kas (musküler) bileşeni, kemik ve eklemleri etkileyen Tablo 4’ te bir dizi farklı durumu içerir[2].

Tablo 4. El-Kol Titreşimi ile İlgili Bazı Kas-İskelet (Musküloskeletal) Durumları

Karpal Tünel Sendromu
Kienbock hastalığı
Baş parmakta osteoartrit
Dupuytren kasılması
Kemik kistleri (eklemlerden sinovyal sıvı sızması nedeniyle)

Bu durumların hiçbiri sadece titreşim maruziyeti nedeniyle oluşmaz. Oluşma olasılıkları bakımından el-kol titreşim maruziyeti olan çalışanlarda artış olmasına rağmen, titreşim maruziyeti nedeniyle oluştuklarına dair kesin kanıtlar mevcut değildir. Ağır fiziksel çalışma gerektiren bütün işler bu durumlara neden olabilirler. Aynı işi titreşim maruziyeti olmadan yapan çalışanlara göre maruziyeti olarak yapan çalışanlarda durumların oluşma ihtimali daha fazladır[2].

Titreşim maruziyeti olan çalışanlar, ellerinde ve kollarında güçsüzlük ve ağrı durumlarından şikayet edebilirler. Bazı kişilerde kas yorgunluğu sakatlıklara neden olabilir. Ormanda ağaç kesen kişiler üzerinde yapılan çalışmalarda, zaman içerisinde elin tutuş gücünde bir azalmanın olduğu rapor edilmiştir. Titreşim maruziyeti olan çalışanlarda, tendinit (bir tendonun inflamasyonu) ve tenosinovit (tendon ve sinovyal kılıfının inflamasyonu, tendon kılıfının iltihabı), Dupuytren kasılması (çoğunlukla 65 yaş üstü erkeklerde (%10) avuç içindeki (palmar) aponerozun bilek ve kola yayılan ve el işlevlerini engelleyen ağrısız kasılmalar. Sadece cilt nodüllerinden oluşan şekillerinden ayrı olarak parmakların avuç içine kasılı kalması ile karakterize ağır şekilleride vardır) gibi işle bağlantılı diğer hastalıklar da rapor edilmiştir. Bu hastalıklar, ağır el işlerinden kaynaklanan ergonomik stres faktörleri ile ilişkili gibi gözükmektedir ve bunların, el- kol titreşimi ile ilgili olup olmadığı kesin değildir[4].

Damarlar Üzerine (vasküler) Etkiler

Raynaud Hastalığı

Bir İtalyan doktor olan Giovanni Loriga, 1911 yılında, Roma’ da mermer ve taş blokları kırmak için pnömatik çekiç kullanan taş kırıcılarının, ilk olarak 1862 yılında Maurice Raynaud tarafından tanımlanan, soğuğa veya duyuusal strese karşı gösterilen vazospastik (damar çeperinin spazmodik kasılmasıyla ilgili ya da onunla belirgin durum) tepkiye benzeyen, parmaklarda beyazlama ataklarından şikayetçi olduklarını rapor etmiştir. Raynaud, durumu titreşim maruziyeti ile ilişkilendirmemiştir. Raynaud tüm ilgisini bir çok sebebi olan ve daha sonra Raynaud hastalığı olarak adlandırılan duruma vermiştir. Hastalık kadın nüfusunun %10’unu, erkek nüfusunun %5’ ini etkilemektedir ve bilinen bir sebebi yoktur. Raynaud fenomenini tetikleme muhtemel olan diğer faktörler el ve kolun hasar görmesi, bazı ilaçlar ve zehirler, Tablo 5’ te verilen bazı tıbbi koşullar olabilir[2].

Tablo 5. Bazı titreşim kaynaklı olmayan Raynaud sendromu nedenleri

Bilinmeyen sebep	Genetik faktörler
İlaç tedavisi	Beta blokör
El/kol hasarı	Donma, el ve kolda vasküler ve sinir sistemini etkileyen diğer hasarlar
Hastalıklar	Çocuk felci Konektif dokuyu etkileyen hastalıklar: Sklerodermi Romatoid arterit Sistemik lupus eritematozus Arteriyoskleroz gibi atardamar hastalıkları
Toksin maruziyeti	Ergot alkaloid
	Vinil klorid

HAVS' ın vasküler bileşeni Raynaud fenomenin bir şeklidir. Soğuğa maruz kalındığında sorunlu parmakların damarlarında spazm oluşur, gerekli kan akışı ciddi şekilde azalır ve etkilenmiş kısım beyaza dönüşür. Aynı zamanda elin bu kısmına ait tüm hisler kaybolur. Ataklar 30 dakika kadar sürebilir ve iyileşme ancak elin tekrar ısıtılmasıyla sağlanabilir[2].

Hafif durumlarda ataklar sık değildir ve sadece eller çok ciddi soğuğa maruz kaldığında görülür. Bu hafif durumlarda ataklar bir veya iki parmağın uç eklemlerini etkiler. Durum ilerlediğinde ataklar daha sıklaşır ve daha az soğuğa maruz kalındığı durumlarda da ortaya çıkar. Daha çok eklem etkilenir ve daha çok parmağa yayılır. Başparmak ve avuç içi nadiren etkilenir, fakat ekstrem durumlarda parmak uçlarına kan akışının bozulması parmak uçlarının ülserleşmesine neden olur ve sonuçta nadir de olsa kangren durumu oluşabilir[2].

Stockholm Çalışmayı 86' da VWF durumunu derecelendirmek için Tablo 6' da verilen skala oluşturulmuştur[4].

Table 6. El-kol Titreşim Sendromunda Soğğun Neden Olduğu Raynaud Fenomeninin Derecelendirilmesi İçin Stockholm alıştay Skalası (Stockholm Workshop 86 1987)

Seviye	Derece	Semptomlar
0	-	Atak yok
1	Hafif	Ara sıra görülen, bir veya daha fazla parmağın yalnızca ucunu etkileyen ataklar
2	Orta	Ara sıra görülen, bir veya daha fazla parmağın orta veya daha uzak falanksını etkileyen ataklar
3	Ciddi	çoğu parmağın tüm falankslarını etkileyen sık ortaya çıkan ataklar
4	çok ciddi	Seviye 3' e ek olarak parmak ucu cildinde trofik değişiklikler

VWF için sayısal bir sistem Griffin tarafından geliştirilmiştir ve içinde farklı falanjeal (falanks (el ve ayak parmaklarındaki kemiklere verilen ad) ile ilgili) kısımların ağarma durumları için skorlar vardır. VWF tanısı için bir çok laboratuvar testine ihtiyaç vardır. Bu testlerin çoğu, soğuk tetiklemesine, ellerin ve parmakların soğutulmasından önce ve sonra parmak cilt sıcaklığı veya digital kan akışı ve basıncı ölçümlerine dayanır[4].

Epidemiyolojik alışmalar, VWF' nin görülme yüzdesinin %1-100 arasında geniş bir aralıkta dağılım gösterdiğine dikkat çekmektedir. VWF, metal işlerinde kullanılan darbeli aletlerin, öğütücü ve diğer dönerli aletlerin, darbeli ekilerin ve matkapların, ormancılıkta kullanılan titreşimli aletlerin ve diğer enerji ile çalışan aletlerin kullanımı ile ilişkilendirilmiştir. VWF, bir çok ülkede meslek hastalığı olarak kabul edilir. 1975-1980 yıllarında itibaren hem Avrupa hem de Japonya' da orman çalışanları arasında VWF tanısı konulan hasta sayısında, anti-titreşimli zincir testerelerin kullanılması ve testere kullanım süresini azaltıcı idari önlemler alınması sayesinde bir azalmanın olduğu rapor edilmiştir[4].

Diğer Rahatsızlıklar

Bazı alışmalar, VWF tanısı koyulmuş kişilerde işitme kaybının, titreşimli aleti kullanan çalışanın maruz kaldığı gürültü ve aleti kullanan kişinin yaş durumuna göre beklenen değerden daha fazla olduğuna dikkat çekmiştir. Buna neden olarak, VWF durumunun, i kulağa giden kan damarlarının titreşiminin neden olduğu refleks sempatetik (sempatik sinir

sistemi ile ilgili) vazokonstriksiyonu (düz kas liflerinin kasılmasıyla bir damarın çapının azalması ya da daralması olayı) gösterilebilir. Japonya ve Rusya' da bulunan mesleki tıp okullarından, titreşim maruziyeti olan çalışanlarda periferik (çevrede ya da periferde bulunan ya da yerleşik olan) rahatsızlıklara ek olarak endokrin (iç salgı yapan bez ya da iç salgı beziyle ilgili) ve merkezi sinir sistemi üzerine titreşimin zararlı sağlık etkilerinin olduğu rapor edilmiştir. Klinik olarak "titreşim hastalığı" olarak adlandırılan durum, beynin otonom (işlevsel bağımsızlığı olan) merkezlerinin disfonksiyonel (bir organ ya da yapının çalışmasındaki bozuklukla ilgili) olması ile ilgili işaret ve semptomları (örneğin, sürekli yorgunluk, baş ağrısı, sinirlilik, uyku bozuklukları, halsizlik, elektroansefalografik (beyin aktivitesiyle bağlantılı olarak beyin kabuğunda sürekli oluşan elektrik potansiyeli değişikliklerinin grafik olarak yazdırılması) abnormalite (anomali, şekil bozukluğu, malformasyon) içerir. Merkezi sinir sistemi rahatsızlıkları ile el-kol titreşim maruziyeti arasındaki bağlantı hipotezini doğrulamak için bu bulguların dikkatli bir şekilde yorumlanmasına ve dikkatli bir şekilde tasarlanmış epidemiyolojik ve klinik araştırma çalışmasına ihtiyaç vardır[4].

HAVS' ın Teşhisi

HAVS' ın teşhisi az sayıda objektif (hastada veya hastalıkta hekim tarafından görülebilen ve dokunabilen her şey) test olması nedeniyle engellenmektedir. Parmak beyazlaşması vazospastik (damar çeperinin spazmodik kasılmasıyla ilgili ya da onunla belirgin durum) bir atak sırasında gözlenebilir bir durumdur, ancak normal olarak kış sabahlarında meydana geldiğinde kuşkulanicacak bir durum olmadığından doktora gitmeye gerek duyulmaz. Yapay olarak bir atak başlatmak zordur ve çoğunlukla bunun sakıncalı bir durum olduğu düşünülür. Hasar gören kişilerin atakların sıklığı ve ciddiliği konusunda söyledikleri temel bilgi kaynağıdır. Hissizlik, hasar görmüş kişi ile görüşme sırasında değerlendirilir. Hissizliğin derecesini belirlemek için testler vardır ancak, bu, hasar görmüş kişinin işbirliğine ve objektifliğine bağlıdır. Vasküler bileşenin objektif belirlenmesini amaçlayan bu testler HAVS durumuna özgü değildir. HAVS durumunun teşhisi için farklı testler vardır ancak, burada daha önceleri İngiliz kömür madeni çalışanları için tazminat belirlemede kullanılan belirleyiciliği olan bazı testler verilecektir. Bu test seti için evrensel bir fikir birliği yoktur. Burada verilen testlerin bazıları, yaygın olarak kullanılmayan cihazların kullanılmasını gerektirmektedir[2].

1. Adson ve Allen testleri, el ve kola yeterli kan akışının olup olmadığı hakkında daha detaylı bilgi sağlayacak şekilde kan basıncı ölçümlerini içerir.
2. Tinel ve Phalen testleri, el sinir sisteminde oluşan hasarları belirler. HAVS için belirleyici değildir ancak, karpal tünel sendromu gibi durumların teşhisi için kullanılırlar.
3. Purdue testi, el kullanma becerisini belirlemek için yapılan bir testtir.
4. Jamar dinamometre testi, cisimleri tutuş kuvvetini ölçer.
5. Soğuk uyarma testi: Her elin parmaklarında sıcaklık sensörleri bulunur ve el, suya batırılarak soğutulur. Soğutmanın derecesi elde bir vazospastik atak başlatacak kadar düşük değildir. Birkaç dakika sonra el sudan çıkarılır ve yeniden ısınma prosesi izlenir. HAVS' in vasküler bileşeninden etkilenmiş bir elin normal sıcaklığa dönmesi daha uzun süre alır.
6. Termal aesthesiometry: Bu testin amacı, etkilenmiş bir parmağın sıcak ve soğuk hissedebilme yeteneğini ölçmektir. Parmak, sıcaklığı kontrol edilebilen bir metal disk üzerine yerleştirilir ve kişinin soğuk ve sıcak durumlara karşı rapor ettiği bilgiler kaydedilir.
7. Vibrotactile eşiği: Kişinin parmağı ile teması bulunan titreşen bir yüzeyi belirleyebilme yeteneğini ölçmeye yönelik bir testtir.

Hasar görmüş kişilerin HAVS semptomlarının belirlenmesi konusunda her zaman objektif ve iş birliği davranmaları beklenemez. Bu nedenle maruziyeti olan kişilerin, tıbbi bir inceleme sırasında rapor etmeleri gereken semptomlar hakkında eğitilmeleri gerekir. Gelişmiş bir sağlık ve güvenlik kültürü içinde olması gereken, bir işverenin titreşim maruziyeti olan çalışanlarda HAVS' in erken semptomlarını gözlediğinde çalışanların el-kol titreşim maruziyeti gerektirmeyen bir bölümde çalışmalarını sağlamasıdır. Yeni bölüm çalışana daha az ödeme yapılan bir bölümse, bu durum çalışanların semptomları gizlemelerine neden olacaktır[2].

El-Kol Titreşim Ölçümü ve Değerlendirmesi

Titreşim ölçümleri, yeni aletlerin geliştirilmesine katkı sağlamak, iş yerine alınacak aletlerin titreşim seviyelerini kontrol etmek, aletlerin bakım programlarını belirlemek ve iş yerinde çalışanların titreşim maruziyetlerini değerlendirmek amacıyla yapılabilir. Titreşim ölçüm cihazı genel olarak, bir transdüser (genellikle bir ivme ölçer), bir genlik yükselteç

düzeneği, filtre (bant geçirimli ve/veya frekans ağırlıklı ağ), genlik veya seviye göstergesi veya kayıt düzeneği gibi bölümlerden oluşur. Titreşim ölçümleri, kullanılan aletin tutamak kısmında veya titreşimin vücuda girdiği kısım olan el yüzeyine en yakın iş parçasında yapılmalıdır. Tam ve doğru sonuçlar elde etmek için dikkatli bir şekilde ivme ölçer seçimi yapılmalı (örneğin, tipi, hassasiyeti, kütlesi) ve ivme ölçeri titreşen yüzeye monte etmek için uygun bir yöntem belirlenmelidir. Ele geçen titreşim, ortogonal koordinat sistemin uygun yönlerinde ölçülüp rapor edilmelidir. Ölçümler en azından 5-1500 Hz frekans aralığı gibi bir aralıkta yapılmalıdır ve titreşimin bir veya daha fazla ekseninde ivme frekansı, merkez frekansı 8-1000 Hz olan oktav bantlarda veya merkez frekansları 6.3-1250 Hz olan 1/3 oktav bantlarda temsil edilmelidir. İvme aynı zamanda, ISO 5349' da tanımlanan karakteristiklere uyacak şekilde olan bir ağırlıklandırma ağı kullanılarak frekans ağırlıklı ivme olarak da tanımlanabilmelidir. İş yerlerinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre, aynı alet üzerinde veya aynı alet farklı yöntemlerle kullanıldığı zaman ölçüm yapıldığında farklı titreşim büyüklükleri ve farklı frekans spektrumları elde edilmektedir[6].

Bir çok standartta el-kol titreşim maruziyeti, dört veya sekiz saatlik frekans ağırlıklı ivmenin enerji eşdeğeri olarak hesaplanır. Eşdeğer enerji ivmesi elde etmekte kullanılan metod, zararlı sağlık etkileri oluşturmaya yeterli olacak günlük maruziyet süresinin, frekans ağırlıklı ivmenin karesi ile ters orantılı olduğunu kabul eder (yani, titreşim büyüklüğü yarıya inerse, maruziyet süresi dört katına çıkabilir). Bu zaman bağımlılığı standardizasyon ve cihazla işlem yapma amaçları için makul olmakla birlikte, epidemiyolojik verilerle tam olarak kanıtlanamamıştır[8].

Frekansın bir fonksiyonu olarak titreşim genliğini tanımlayan üç parametre; yer değiştirme, hız ve ivmedir. Buna rağmen titreşim, aşağıda belirtilen nedenlerden dolayı ivme terimi ile belirtilir[2]:

- Hız ve yer değiştirme, ivme ölçümünden elde edilebilir.
- Çok çeşitli tipte ivme ölçerler piyasada mevcuttur.
- Daha yüksek frekanslarda ivme genliği, yer değiştirme veya hızdan daha yüksektir ve ölçülmesi daha kolaydır.

El-kol titreşim değerlendirmesinde kullanılan, eşdeğer enerji prensibine dayalı titreşim ölçümleri, meydana gelebilecek zararın tahmini için geçerli veriler sunar. Bazı ölçüm aletleri eş zamanlı olarak titreşim büyüklüğünü de ölçerken, el-kol titreşim ölçerlerinin donanımları,

eşdeğer enerji prensibine göre kurulmuş olmalı ve tüm ölçüm aletleri eşdeğer enerji ortalama fonksiyonuna sahip olmalıdır. Bu fonksiyon aşağı yukarı tüm ölçümler için kullanılabilir[2].

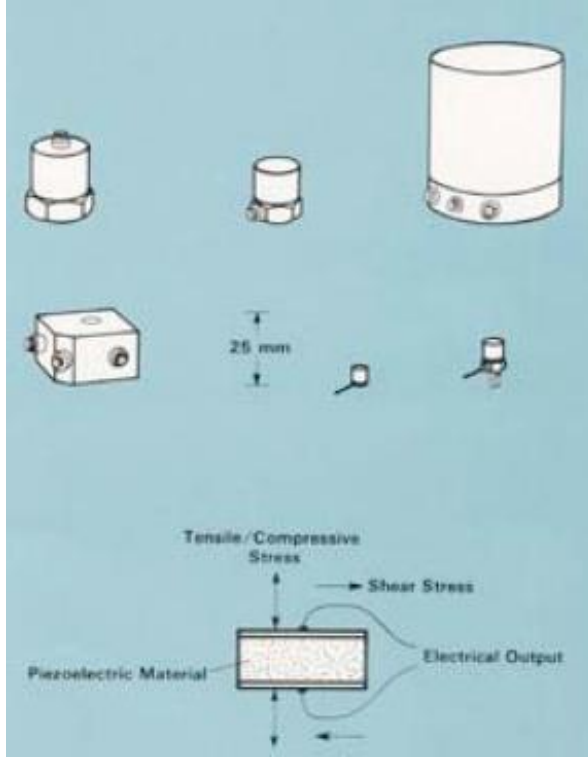
Titreşim Ölçerler

Piyasada birçok titreşim ölçer olmasına rağmen, HAVS maruziyetini ölçmekte el-kol titreşim ölçümü için tasarlanmış cihazlar kullanılabilir. Cihazlardan bazıları sadece el-kol titreşimini ölçerken bazıları da aynı zamanda tüm vücut titreşimini de ölçebilirler[9].

El-kol titreşim ölçer, ses düzeyi ölçere benzer, çoğunlukla da cihazlar iki işlemi de yapacak şekilde tasarlanırlar. Ses düzeyi ölçerlerde, mikrofon, ölçüm yerinin çalışanın kulağına yakın olması gerektiğinden ve iş devam ederken cihazın yerleştirilmesinin kolay olması için cihazın ön tarafına monte edilmiştir. El-kol titreşim ölçümleri, kullanılan aletin tutamak yerinde yapılmalıdır. Titreşim ölçerin sensörü olan ivme ölçer, kısa bir kablo ile – tipik olarak 0.5 ile 1 m uzunluğunda- ölçüm cihazının durgun kısmına birleştirilmelidir. Yapılacak ölçüm gerektiriyorsa kablo daha uzun olabilir[2].

El-kol titreşimini ölçmek için genellikle Resim 7’de görülen piezoelektrik ivme ölçerler kullanılır. Piezoelektrik ivme ölçerler, diğer çeşitlere göre daha iyi çok cephelilik özelliği gösterirler. Lineer geniş frekans ve dinamik aralıkları vardır. Karakteristikleri uzun bir periyot boyunca sabit kaldığından güvenilir sonuçlar verirler. Piezoelektrik ivme ölçerler kendi kendilerine çalışırlar, dışardan bir güç kaynağına ihtiyaç duymazlar. Aşınıp tükenecek hareketli parçaları yoktur. Piezoelektrik ivme ölçerin merkezinde, piezoelektrik etkiyi gösteren, yapay olarak polarize ferroelektrik seramik piezoelektrik malzeme bulunur. Bu ivme ölçerler 1-50000 Hz frekans aralığını ölçmek için tasarlanmışlardır. Titreşim piezoelektrik ivme ölçere geldiğinde bir kristal elementin yüzüne karşı küçük bir kütleyi hareket ettirir. Piezoelektrik ivmeölçerler çok düşük frekanslı sismik uygulamalardan, çok yüksek frekansta doğrusal çalışma aralığı gerektiren çarpma testlerine kadar birçok ölçme uygulamasında kullanılan, küçük boyutlu, yüksek sıcaklık aralığında çalışabilen, endüstriyel standartlarda kılıf içinde yapılandırılmış ivme ölçerlerdir. Kuvarz ya da seramik kristaller bir kuvvet altında kaldığında picocoulomb seviyesinde elektrik yükü üretirler. Bu malzemeler aynı zamanda birçok gaz lambasında da kullanılır. En basit yapıdaki bir piezoelektrik ivme ölçerde, titreşen cismin hareketiyle, bir piezoelektrik kristal dönüşümlü olarak sıkıştırılıp uzatılır ve bunun sonucu olarak titreşim ölçere girdi şeklinde elektrik sinyalleri üretilir. Bu elektrik yükünün

kristal üzerindeki değişimi yer çekimi ivmesinin değişimi ile doğru orantılıdır. İvmeölçerlerdeki sismik kütlelerin ivme altında maruz kaldığı atalet kuvveti piezoelektrik kristale etkir ve ivme ile doğru orantılı bir elektrik sinyali çıkışı verir[5].



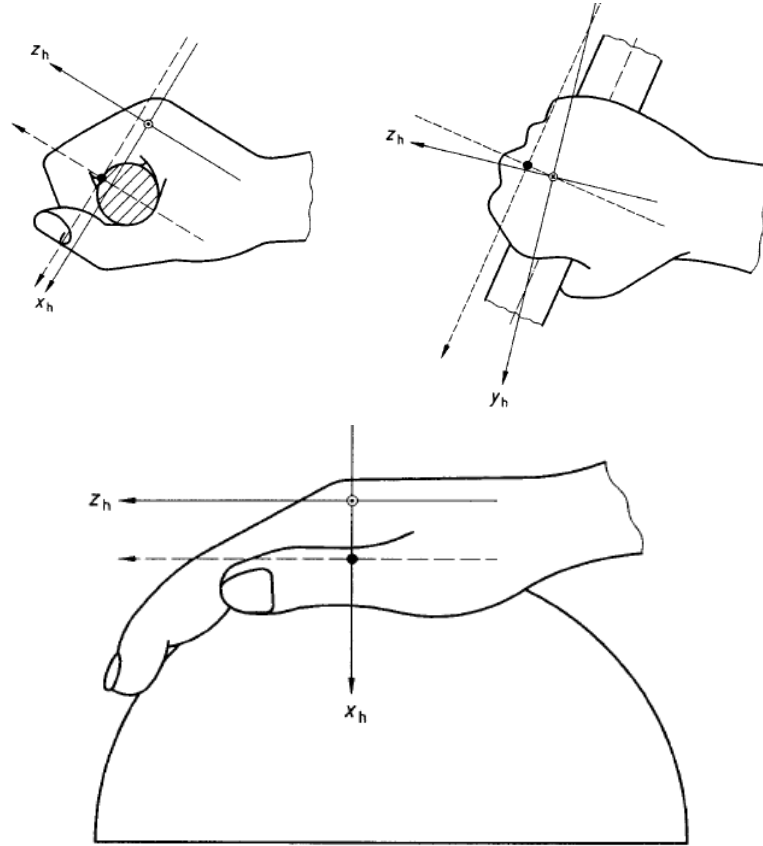
Resim 7. Piezoelektrik İvme Ölçerler

Titreşim ölçüldüğünde, ölçülen titreşimin darbeli veya darbesiz tip aletten geldiğinin belirtilmesi gereklidir. Darbeli aletler, raspa, pnömatik çekiç, havalı matkap, pnömatik çivi makinesi gibi tüm titreşim spektrumu içinde baskın olacak şekilde darbeli titreşim üreten aletlerdir. Darbesiz aletler, zincirli testere, pnömatik burgu makineleri, öğütücüler, freze tezgahları, motorlu yuvarlak testereler ve bunlara benzeyen aletlerdir. Darbeli aletlerin titreşim genliklerini ölçmek için, özel olarak tasarlanmış şok ivme ölçerlerin veya normal ivme ölçerlerin mekanik filtre ile kullanılmaları gereklidir. Piyasalarda bulunabilen bu ivme ölçerler, tekrarlı yüksek seviyeye ve yüksek tepe faktörüne sahip titreşim pulslarına dayanabilirler. Darbelerin olduğu bir titreşim çeşidi ölçülürken sıradan bir ivme ölçer kullanılırsa ölçüm sonucunda ciddi hatalar ortaya çıkabilir. Bu hatalar, ivme ölçerde meydana gelen, ölçülen düşük frekans titreşim genliğini büyük ölçüde değiştiren dc kayması nedeniyle gerçekleşmektedir. Şok ivme ölçerleri hem darbeli hem de darbesiz titreşimi ölçmek için

kullanılabilirken şok olmayan ivme ölçerler yalnızca darbesiz titreşimi ölçmek için kullanılabilirler[2].

İvme ölçer, ölçülen titreşim genliğini etkilememelidir. Büyük ivme ölçerler, monte edildikleri yüzeyde kütle yüklenmesine neden olabilirler. Kütle yüklenmesi, eklendiği nesneye oranla ivme ölçerin kütlesinin ölçülen titreşim sinyalini etkileyecek kadar büyük olmasıdır. Piyasada bulunan ivme ölçerlerin çoğunun kütlesi yaklaşık 5 gr veya daha küçüktür. Belirli bir uygulama için ivme ölçer seçimi yapılırken en hafif olan ivme ölçer seçilebilir. İvme ölçerin kütlesi monte bloğu ile birlikte bir çok durumda 20 gram değerini geçmemelidir. 20 gramdan daha hafif olan ivme ölçerler, küçük ve hafif aletlerde yapılan titreşim ölçümlerinde kullanılabilir[2].

Titreşim vektörel bir nicelik olduğundan, ölçümler üç ortogonal eksende yapılmalıdır. Bu eksenlerin yönelimi standartlarda verildiği hali ile Resim 8'de gösterilmektedir[10].



Resim 8. Elle Tutma Ve El Ayasının Düz Olduğu Durumlar İçin Kullanılacak Eksen Yönelimleri. (Düz çizgi ile gösterilen eksenler, biyodinamik koordinat sistemini; kesikli çizgi ile gösterilen eksenler, taban merkezli koordinat sistemini göstermektedir)

Üç eksenli titreşim ölçümleri, maksimum enerjinin ellere girdiği yer olan, kullanılan titreşimli aletin veya iş parçasının tutamak kısmında veya bu kısma en yakın yerde yapılmalıdır[9].

Üç ortogonal eksenlerdeki titreşim, özel olarak tasarlanmış üç eksenli ivme ölçerle ölçülebileceği gibi, tek eksenli ölçümler için tasarlanmış bir ivme ölçerin yukarıda verilen eksenlere göre yönelimi sağlanarak da ölçülebilir. İvme ölçer, titreşen yüzeye direk olarak bağlanmalıdır ve ivme ölçer ile onun yüzeye monte edilmesini sağlayan kısmı, titreşim ölçümlerini etkilemeyecek şekilde seçilmelidir[9].

İvme ölçerlerde iki yaygın konfigürasyon mevcuttur. Basınç tipi ivme ölçerlerde, kütle piezoelektrik malzemeye sıkıştırma kuvveti uygular. Kayma tipi ivme ölçerlerde, kütle piezoelektrik malzemeye kayma kuvveti uygular. Pratik ivme ölçerler, piezo malzemenin basınçtan daha çok kayma deformasyonu yansıtmak üzere yapılandırılırlar[5].

Piyasada ilk bakışta seçim yapmayı zorlaştıracak kadar çok çeşit ivme ölçer mevcuttur. “Genel amaçlı” çeşitlerin bir kısmı ihtiyaçların çoğunu karşılar. Bu tip ivme ölçerler, yan taraflarından veya üst kısımlarından kabloya bağlanırlar ve 1-10 mV veya $\mu\text{C}/\text{ms}^{-2}$ hassasiyete sahiptirler[5].

Diğer ivme ölçerlerin uygulama alanlarına göre özellikleri vardır. Örneğin, 0.5-2 gr ağırlığında olan küçük ivme ölçerler, yüksek seviye veya yüksek frekans ölçümlerinde ve paneller vs. gibi hassas noktalarda yapılan ölçümlerde tercih edilirler. Üç eksende aynı anda titreşim seviyesi ölçmekte, yüksek sıcaklıkta titreşim seviyesi ölçmekte, çok düşük titreşim seviyelerini ölçmekte, yüksek seviyeli şoklarda, diğer ivme ölçerleri kalibre etmekte, endüstriyel makinelerin sürekli olarak titreşim değerlerinin izlenmesinde kullanılan özel amaçlı ivme ölçerler de mevcuttur[5].

Kullanışlı bir ivme ölçer, beklenen frekans aralığında bir titreşime maruz kaldığında lineer davranış gösterir. Bunun anlamı, ivme iki kat arttığında çıktının da iki kat artacağıdır. İvme ölçerler bunu sınırlı bir frekans aralığında yaparlar. İvme ölçerinin yararlı olarak çalışabileceği frekans aralığı, çıktının frekansa bağımsız olduğu aralıktır ve ivme ölçerinin rezonans frekansı ile sınırlıdır. Bu nedenle ivme ölçerinin rezonans frekansı, maruz kalması

beklenen en büyük frekanstan oldukça büyük olmalıdır. Laboratuarda ölçülen frekans cevabı, titreşen yüzey ile ivme ölçer arasında katı bir bağlantı olmasını kabul eder. Pratikte, tutamak kısmı ile titreşen yüzey arasına yapılan bağlantı eksiksiz olmaktan uzaktır. Bu, rezonans frekansını ve ayrıca ivme ölçerin kullanılabileceği faydalı frekans aralığını indirgeme etkisine sahiptir. Bir ivme ölçerin rezonans frekansının, ölçülecek en yüksek frekanstan en az dört kat büyük olması önemlidir[2].

Titreşim Ölçümleri ile İlgili Genel Faktörler

İş yerlerinde ve diğer çevrelerde ölçülen toplam titreşime katkıda bulunan bir çok titreşim frekansı vardır. El-kol titreşimi durumunda, ISO standartlarında önemli frekans aralığı olarak 5.6-1400 Hz aralığı belirtilir. Yine de, 5000-10000 Hz aralığında frekans üreten bir çok alet de vardır[3].

Belirli bir seviyedeki titreşimin, bir standart veya yönetmelik tarafından verilen değerinde olup olmadığını belirlemek için ölçüm yapılması durumunda titreşim şiddetinin bir tek sayı ile ifade edilmesi istenir. El-kol titreşimi için ANSI (American National Standards Institute), ISO, ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), BSI (British Standards Institution) tarafından m/sn^2 biriminden frekans ağırlıklı ivme seviyesi istenen niceliği belirtmekte kullanılan tek sayıdır. Frekans ağırlıklı ivme, titreşim sinyalini bir frekans ağırlıklı filtreden geçirerek elde edilebilir[3].

Elle kullanılan titreşimli aletlerin veya iş parçalarının bir çoğunda titreşim sinyalinin süresi oldukça kısadır. Bu nedenle, bu sinyalle ilgili titreşim spektrumunu veya titreşim ivmesi 1/3 oktav bant merkez frekansını ölçmek için gerçek zaman (real-time) analizörleri kullanılmalıdır. Bu analizörler, tüm frekanslarda eş zamanlı olarak titreşim genliklerini ölçer veya hesaplarlar. Bu analizörlerin dinamik aralığı 5-5000 Hz aralığında mümkün olduğu kadar geniş olmalıdır[3].

Titreşim sinyallerini analiz etmek için, sinyaller önce kaydedilmeli ve daha sonra, kayıt aygıtından analizöre tekrar getirilmelidir. Bu prosedür her iki elde aynı anda yapılan çok eksenli ölçüm durumunda genellikle gerekli olmaktadır. Kayıt aygıtı genellikle bir çok kanallı FM teyp kaydedici veya kayıtlı sinyalleri bir bilgisayara ileten çok kanallı örnekselden sayısala (analog-to-digital) dönüştürücüdür[5].

El-kol titreşim sinyalleri zamanla değişir. Bu nedenle, ivme ölçülürken değerlerin daima zaman üzerinden ortalaması alınmalıdır. İvme, m/sn^2 biriminde rms (root mean square) olarak ölçülür ve rapor edilir[11].

Bir titreşim ölçümü sırasında ölçümü yapılan alet veya iş parçası günlük çalışmada ne şekilde kullanılıyorsa, bu kullanım tarzını en iyi temsil edecek şekilde kullanılmalıdır. Her üç eksende ölçülen titreşim sinyalleri 1/3 oktav bant merkez frekanslarında rms olarak rapor edilmelidir[11].

Tutamak Kısımına İvme Ölçerin Monte Edilmesi

İvme ölçer, istenen ölçüm yönü, ivme ölçerin ana hassasiyet eksenine gelecek şekilde yerleştirilmelidir. İvme ölçerler enine yöndeki titreşimlere de duyarlıdır, ancak enine hassasiyet, ana eksen hassasiyetinin %1' inden daha az olduğundan ihmal edilebilir. Titreşim ölçümünün nedeni, ölçüm yapılacak noktayı belirtir[5].

Titreşim ölçüm sonuçlarının doğru şekilde elde edilebilmesinde ivme ölçerin ölçüm noktasına yerleştirilme şekli en kritik faktördür. Özensiz bir ivme ölçer yerleştirimi, ivme ölçerin kullanılabilir frekans aralığını önemli ölçüde kısıtlar[10].

El-kol titreşim ölçümleri için en çok kullanılan monte etme yöntemi, her üç eksen için üzerinde boşlukları olan küçük bir alüminyum blok kullanmaktır[2].



Resim 9. Monte Blokları

Resim 9’da görülen monte blokları, birkaç yöntemle tutamak kısma eklenebilir[2]:

- Kablo bağlarının eli sarması için üzerinde bir delik bulunan bir V-şeklinde blok;
- Operatörün parmakları arasında tutulan bir T-şeklinde blok;
- Operatörün avucunda tutulan düz veya eğri bir çubuk şeklinde blok.

Her farklı yöntemin dezavantajları vardır:

- Kablolar çok sıkı bir şekilde bağlanmalıdır.
- Parmaklar arasındaki blokların bazen çok büyük bir uzamaya maruz kalmaları, bloklar tutamak kısma bağlandığında, ivme ölçerin, tutamak kısmında olan titreşimden daha büyük bir titreşim ölçme ihtimalini de artırır.
- Her üç eksende ölçüm yapmak zor olduğundan, düz çubuk tipi bloklar bazen sadece bir veya iki monte boşluğu bulundurlar.

İvme ölçerler için kullanılan farklı monte yolları da mevcuttur. Bir makine üzerinde kalıcı ölçüm noktaları oluşturmak isteniyor ancak, makine üzerinde delik veya sabitleme boşlukları olması istenmiyorsa yapıştırıcı malzemeler kullanılabilir. İvme ölçer direk olarak cyanoacrylate veya epoxy gibi hafif yapıştırıcılar veya sıkı yapıştırıcılar kullanılarak tutamak kısma eklenebilir. Ancak bu durumda ivme ölçerin ve tutamak kısmın yapıştırıcıdan temizlenmesi bir problem olmaktadır. Hafif yapıştırıcılar olarak tavsiye edilen cyanoacrylate veya epoxy tipi yapıştırıcılar, ivme ölçerin kullanılabilir frekans aralığını kısıtlayabilirler[5].

İvme ölçerin ölçüm noktasından elektriksel olarak izole edilmesi gereken durumlarda mika pul veya izole civata kullanılabilir. Düz manyetik yüzeylerde yapılacak ölçümlerde ivme ölçeri monte etmek için sabit bir mıknatısın kullanılması da oldukça basit bir yöntemdir. Bu yöntem, ivme ölçeri elektriksel olarak izole eder[5].

İvme ölçer, kullanılan titreşimli aletin tutamak kısmına yapıştırılmış bir pime vidalanırsa, tutamak kısmı kalıcı olarak etkilenmiş olsa bile ivme ölçer yeniden kullanılabilir. Diğer titreşim ölçümleri için, ivme ölçeri yüzeye eklemek amacıyla az miktarda hafifletilmiş balmumu kullanılması da yaygın bir yöntemdir. Bu yöntem için yüzeyin kuru ve temiz olmasının gerekmesi yanında daha önemlisi, yöntemin özellikle tutamak kısımda yapılan ölçümlerde ayakta çalışmaya çok uygun olmamasıdır. Balmumu kullanmanın bir diğer dezavantajı da, 40⁰C üzerinde balmumu yumuşamaya başlayacağından bu sıcaklık değerinin üzerine çıkılmasının ölçüm koşullarına sınırlama getirmesidir[5].

Bazen titreşimli aletin büyük tutamak kısmının etrafına büyük bir kelepçe sabitlenebilir. İvme ölçer ve tutamak arasında bir bağlantının sağlanabilmesi için bu, sıkılaştırılabilir. Kelepçeye eklenecek bir vidayla ivme ölçer, tutamağa kolayca sabitlenmiş olur[2].

Kalibrasyon

İvme ölçerler, üreticisi tarafından belirtilen çevresel sınır koşulları altında çalıştırılır, muhafaza edilir ve aynı zamanda aşırı şoklara, sıcaklığa, radyasyon dozlarına vb. gibi etkilere maruz kalmazlarsa, uzun bir periyot boyunca karakteristiklerinde sadece minimum değişiklikler olacaktır. Uygun koşullar altında kullanılan ivme ölçerler üzerinde yapılan deneyler, yıllar içerisinde karakteristiklerindeki değişimin %2' den daha az olduğunu göstermiştir[5].

Ancak, normal kullanım şartları altında ivme ölçerler sıklıkla, karakteristiklerinde önemli değişikliklere hatta hasarlara bile yol açan şiddetli koşullarla karşılaşabilmektedirler. Bir ivme ölçer, ölçüm alınırken el hizasında bir yükseklikten yere düşürüldüğünde, binlerce g değerinde bir şok ile karşı karşıya kalır. Bu nedenle, ivme ölçerlerin hassasiyet kalibrasyonlarının periyodik olarak yapılması çok önemlidir[5].

Günümüzde titreşim ölçerler gibi elektronik cihazlar oldukça kararlı olmalarına rağmen, kalibrasyon, ölçüm zinciri içinde bunlar için faydalı bir kontrol sağlar. İvme ölçeri ölçüm cihazına bağlayan kablo zarar görebilir; alan kalibrasyonu, sonuç üzerinde etkili olabilecek bu gibi hataların görülmesinde oldukça etkilidir. ISO 5349' un 2.kısım, alan kalibrasyonu yapılmasını gerekli kılar[2].

El-Kol Titreşim Maruziyetinde Yasal Kontrollerin Gelişimi

Standartlar

Bir çok ülke, el-kol titreşim maruziyeti için standartlar veya kılavuzlar oluşturmuşlardır. Bunların temeli esas olarak ISO 5349 standardına dayanır. ISO 5349, frekans ağırlıklı eğriyi kullanmayı tavsiye eder. Titreşimin frekans ağırlıklı ivme değeri $a_{h,w}$, uygun ağırlıklandırma filtresi kullanılarak veya dik koordinat sistemi boyunca oktav veya 1/3

oktav bantlar ile ölçülen ağırlıklandırılmış ivme değerlerinin toplamı alınarak elde edilebilir[10].

Titreşimin neden olduğu kötü sağlık etkileri riskini en aza indirmek amacıyla, çeşitli komiteler ve organizasyonlar tarafından titreşim maruziyeti için etkin ve eşik limit değerler sunulmuştur. ACGIH (The American Conference of Government Industrial Hygienists), ISO 5349' da verilen frekans ağırlıklandırma prosedürüne göre ölçülen el-kol titreşimi için Tablo 7' de de verilen TLV değerlerini yayınlamıştır[1,12].

Tablo 7. El-kol Titreşimi İçin Eşik Sınır Değerler (ACGIH:American Conference of Government Industrial Hygienists 1992)

Toplam Günlük Maruziyet (saat)	Aşılmaması gereken, baskın ekseninde frekans ağırlıklı rms ivme	
	m/sn ²	g*
4-8	4	0.40
2-4	6	0.61
1-2	8	0.81
1	12	1.22

* g = 9.81 m/sn²

ACGIH' a göre, sunulan TLV değerleri, “ aşağı yukarı tüm çalışanların tekrarlı olarak maruz kalabileceği, VWF için Stockholm Çalıştay 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 (Avrupa Birliği Konseyi 1994). Bu direktifte verilen değerler Tablo 8' de gösterilmektedir[4].

Tablo 8. Avrupa Birliği Konseyi' nin Fiziksel Ajanlar Üzerine Komisyon Direktifi Önerisi: ek 11 a. el-kol titreşimi(1994)

Seviyeler (m/sn ²)	A(8)*	Tanımlar
Eşik	1	Çalışanların sağlık ve güvenliği üzerine kötü bir etki oluşturmayacak sürekli ve/veya tekrarlı maruziyetin altındaki maruziyet değeri
Etkin	2.5	Sorumluluğu üstlenilen eklerin uygun kısımlarında belirtilen bir veya daha fazla önlemin ** alındığı değeri aşan değeri
Maruziyet sınır değeri	5	Korunmasız bir kişinin kabul edilemez risklere maruz kaldığı değeri aşan değeri. 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 edilir. Direktifte yer alan, titreşim maruziyeti ölçüm ve değerlendirme yöntemi, temel olarak İngiliz Standardı olan (BS) 6842 (BSI 1987a) standardından türetilmiştir. BS standardı maruziyet limit değeri ile ilgili bir tavsiye vermemekle birlikte, ek kısmında el-kol titreşimi için doz-etki ilişkisi konusunda bilgi verir. Tablo 9'da, BS standardında rapor edilen, titreşim maruziyeti olan çalışanların %10' ununda VWF durumuna neden olabilecek tahmini frekans ağırlıklı ivme büyüklükleri verilmektedir[4].

Tablo 9. Maruz kalan çalışanların * %10'nunda parmak beyazlaması yapabilecek frekans ağırlıklı titreşim ivme büyüklükleri* (rms m/sn²) (İngiliz Standardı 6842. 1987, BSI 1987a)

Günlük maruziyet (saat)	Maruziyet süresi (yıl)					
	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 büyüktür ve vasküler rahatsızlıklar gelişen ilk semptom olmayabilir.**

2001' in sonunda Uluslararası Standart Organizasyonu, ISO 5349' un yeni bir versiyonunu yayınladı. Diğerine göre büyük değişikliklerin olduğu standart iki bölüme ayrılmıştı. ISO 5349' un birinci bölümü ve eki, el-kol titreşim değerlendirmesinin temellerini, doz-etki ilişkisinin bilimsel yönlerini ele alır. İkinci bölüm ise, detaylı olarak el-kol titreşim ölçümlerinin nasıl yapılacağını anlatır[2].

ISO 5349' un son halindeki en büyük değişiklik, el-kol titreşim maruziyeti değerlendirmesinde kullanılan, vektör toplamı olarak da bilinen, üç eksende ölçülen titreşim büyüklüklerinin karelerinin karekökü alınarak toplanmasıdır. Bu birleştirilmiş değer, daha önce kullanılan, tek tek eksenlerde yapılan ölçümlerde elde edilen en büyük titreşim değerinden daha büyük olacaktır. Örneğin, en büyük değeri alma yaklaşımı ile 2.8m/sn² olarak ölçülen bir titreşim değeri, her üç ekseninde yapılan ölçümlerle yaklaşık 4m/sn² değerine karşı gelir[2].

Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi

Fiziksel Ajanlar Direktifi' nin çıkarılmasındaki önemli itici güçlerden birisi, el-kol titreşim maruziyeti konusunda 1990'ların başından itibaren duyulan bir yönetmelik ihtiyacıdır. Takip eden on yıl içinde, bu kapsamda orijinal olarak tasarlanmış bir direktifin gerçeğe dönüştürülme ihtimalinin pek olmadığı görüldü. İlgililerin çoğu titreşimi, yönetmeliği gereken fiziksel ajan anahtarı olarak gördü ve 1999' un başında Alman başkanlığı, titreşimi

tek başına içeren bir direktifi çıkarmayı amaçladı. Bu fikir diğer ajanların dikkate alınmayacağı anlamına gelmiyordu; fiziksel ajanlar tek tek ele alınırsa daha iyi bir ilerleme sağlanacağını söylüyordu[2].

2000 yılının sonunda, Avrupa Komisyonu ve Konseyi, Avrupa Parlamentosu'ndan önce bir direktif şekli hakkında fikir birliğine vardı. Sonuçta, 2002 yılında direktif çıkarıldı. Diğer direktiflerde olduğu gibi, üyelere kendi iç yönetmeliklerini bu direktife uyumlu hale getirmeleri için üç yıllık bir süre tanındı[2].

Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi, el-kol titreşimi durumunda, A(8) için maruziyet etkin değeri olarak 2.5 m/sn^2 yi; yine A(8) için maruziyet limit değeri olarak da 5 m/sn^2 yi belirtmiştir. Her iki durumda da, çalışanın maruziyeti için ISO 5349'un 2002 versiyonu kullanılır. Bu değerler aşıldığında işverenin sorumlulukları Tablo 10' da verilmiştir[2].

Tablo 10. Fiziksel Ajanlar Direktifi (Titreşim) Doğrultusunda Sorumluluklar

Görev	Uygulama Zamanı
Çalışanların görüşünün alınması	Maruziyet etkin değeri aştığında veya aşmadığında
Çalışanlara bilgi sağlanması ve çalışanların eğitilmesi	Maruziyet etkin değeri aştığında
Sağlık gözetiminin sağlanması	Maruziyet etkin değeri aştığında
Çalışanların titreşim maruziyetinin değerlendirilmesi	Maruziyet etkin değeri aştığında veya aşmadığında
Sağlık risklerinin en aza indirilmesi veya ortadan kaldırılması	Maruziyet etkin değeri aştığında veya aşmadığında
Çalışanların titreşim maruziyetinin en aza indirilmesi	Maruziyet etkin değeri aştığında
Titreşim maruziyetinin maruziyet sınır değerinin altına indirilmesi	Maruziyet sınır değeri aştığında
Titreşim maruziyetinin maruziyet sınır değerini aşmaması için gerekli adımların atılması	Maruziyet sınır değeri aştığında

Eşdeğer enerji ortalaması kullanılması nedeniyle, 2.8m/sn^2 etkin değeri ile 2.5m/sn^2 etkin değeri arasındaki fark görüldüğünden daha fazladır. Özel bir aletin kullanımına süre limitleri koyulurken, alt limit aşılmadan önce müsaade edilebilir süre, 2.8 m/sn^2 etkin değeri için belirlenen sınırlardan %25 daha kısadır. Daha önemlisi en büyük eksen den karelerin toplamının kareköküne gitmektir. 2.5 m/sn^2 maruziyet etkin değeri, yeni ISO 5349 değerlendirme prosedürü kullanılarak 4 m/sn^2 etkin değerine eşdeğer olan daha önceki etkin değeri ile karşılaştırıldığında önemli bir azaltımdır. Titreşim maruziyetini eşdeğer 4 m/sn^2 değerinin altında tutmaya çalışan işveren, maruziyet için tanımlanmış bir limit değeri olmadığı zaman, önceki kılavuzun bir esnekliği olarak yeni maruziyet limitini 5 m/sn^2 olarak görecektir[2].

El-Kol Titreşim Dozlarının ve Limitlerinin Hesaplanması

El-kol titreşim maruziyeti sırasında ve sonrasında yapılması gereken bazı hesaplamalar vardır. Farklı hesaplamalar için[2,10]:

- Üç eksen ölçümlerinden karelerin toplamının karekökü ivmesinin hesaplanması
- Tek bir alet kullanıldığında 8 saatlik eşdeğer seviye $A(8)$ ' in hesaplanması
- Birden çok alet kullanıldığında 8 saatlik eşdeğer seviye $A(8)$ ' in hesaplanması
- Özel bir alet kullanılmasında süre limitlerinin hesaplanması
- Maruziyeti, maruziyet etkin ve sınır değerinin altında tutmak için bilinmeyen bir periyotta o gün başka bir alet kullanıldığında, özel bir alet üzerindeki süre limitinin hesaplanması

gerekir.

Üç Eksenden Gelen Bilgilerin Birleştirilmesi

Toplam zaman ortalamalı el-kol titreşim maruziyet yoğunluğu alet operatörünün çalışma süresi, titreşim maruziyeti aralıkları, dinlenme periyotlarının süreleri gibi faktörlerle birlikte değişir. El-kol titreşim maruziyetini değerlendirmek için titreşim ölçümü yapılacağı zaman, günlük titreşim maruziyet tahmini, operatörün 8 saatlik toplam çalışma günü içinde, titreşim maruziyeti olan farklı çalışma durumlarının hepsini (örneğin, birden fazla alet

kullanımı) içerecek şekilde seçilmelidir. Her 1/3 oktav bant için toplam günlük zaman ağırlıklı rms ivme ($a_{t(rms)}$) şu denklemden elde edilebilir[10]:

$$a_{t(rms)} = \left[\frac{1}{T_i} \sum_{i=1}^n \left[a_{(rms)i}^2 \times T_i \right] \right]^{1/2} \quad (1)$$

Denklem içerisindeki; $a_{(rms)i}$; T_i süresi boyunca süren i. çalışma şekli için rms ivme değeridir.

Yine denklem içerisindeki T_i değeri, $T_i = \sum_{i=1}^n T_i$ ifadesinden hesaplanabilir.

Üç farklı eksenden gelen bilgiler, karelerin toplamının karekökü yöntemi ile birleştirilirler:

$$a_{xyz(rms)} = \left[a_{x(rms)}^2 + a_{y(rms)}^2 + a_{z(rms)}^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Aynı denklem standartlarda verilen indislere göre şu şekilde de ifade edilebilir:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (3)$$

Denklemden; $a_{x(rms)}$, x yönündeki ivmenin rms değeri; $a_{y(rms)}$, y yönündeki ivmenin rms değeri; $a_{z(rms)}$ ise z yönündeki ivmenin rms değeridir; a_{hv} , birleştirilmiş titreşim büyüklüğü; a_{hx}, a_{hy}, a_{hz} ise tek eksen titreşim büyüklükleridir.

Bir çalışan aynı makineyi, aynı şartlar altında, 8 saatlik çalışma süresi boyunca kullanıyorsa, 8 saatlik enerji eşdeğer ivmesi olarak A(8) aşağıdaki denklemle kolaylıkla hesaplanabilir[10]:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{t}{8}} \quad (4)$$

olarak hesaplanır. Denklemdaki a_{hv} , çalışanın maruz kaldığı ivme değeri; t ise maruziyet periyodudur. Aynı hesaplamalar bir gün içindeki maruziyet 8 saatten fazla olduğunda da geçerlidir.

Ancak gerçek çalışma hayatında durum bu kadar basit değildir. Çalışanlar bir çalışma günü içinde farklı periyotlarda, farklı titreşim büyüklüklerine maruz kalabilirler. Bu durumda A(8) hesaplamada kullanılan denklemin farklı titreşim büyüklükleri ve farklı maruziyet sürelerini içine alacak şekilde aşağıdaki gibi genişletilmesi gerekir [10]:

$$A(8) = \sqrt{\frac{a_{hv1}^2 \times t_1 + a_{hv2}^2 \times t_2 + a_{hv3}^2 \times t_3 \dots}{8}} \quad (5)$$

A(8) hesaplanmasında kullanılan yukarıdaki denklemden $a_{hv1}, a_{hv2}, a_{hv3}, \dots$ değerleri her periyot boyunca ölçülen değerler; t_1, t_2, t_3, \dots ise her titreşim büyüklüğüne maruz kalınan sürelerdir.

Birçok durumda, çalışanın günlük el-kol titreşim maruziyetini etkin sınır veya sınır değerinin altında tutabilmek için süre limitinin hesaplanması gerekir. Tek bir alet kullanıldığında bu limit değerinin hesaplanması kolaydır [2].

$$t_{\max} = \left(\frac{A(8)}{a_{hv}} \right)^2 \times 8 \quad (6)$$

Denklemden t_{\max} , maruz kalınabilecek sınır süre; A(8), 8 saatlik eşdeğer maruziyet sınırı; a_{hv} ise, tutamak kısmındaki el-kol ağırlıklı ivme değeridir.

Bazen aynı gün olan bir el-kol titreşim maruziyetinden dolayı, bir aleti kullanan çalışana süre sınırlarının konulması gerekebilir. Deneme yanılma yoluyla veya daha önce verilen denklemleri kullanarak bu hesaplama yapılabilir. Ancak daha sistematik bir yaklaşımla aşağıda denklem kullanılabilir[2]:

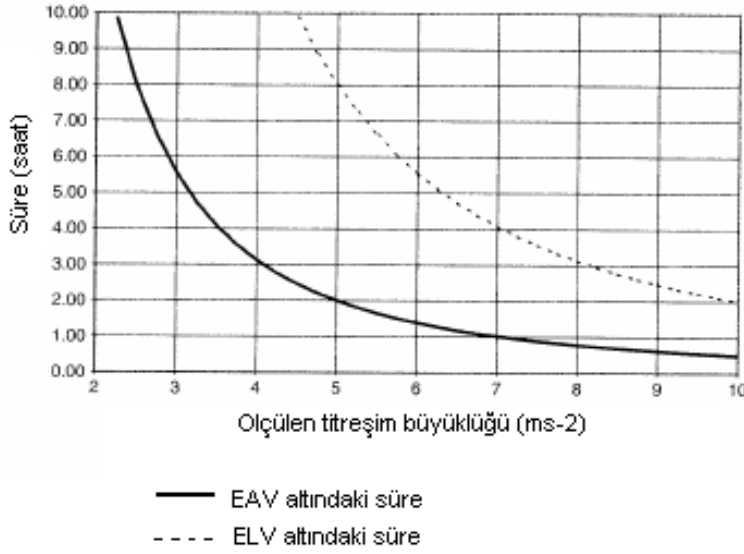
$$t_2 = \frac{8 \times A(8)^2 - a_{hv1}^2 \times t_1}{a_{hv2}^2} \quad (7)$$

Denklemdaki a_{hv1} , t_1 süresince maruz kalınan ivme büyüklüğü; a_{hv2} , kullanılacak olan aletin tutamağındaki ivme büyüklüğü; t_2 , daha sonraki aletin kullanımında maksimum müsaade edilebilir süre; $A(8)$ ise içinde kalınması gereken $A(8)$ değeridir.

Tablo 11 ve Resim 10' da, maruziyet etkin ve sınır değerlerini aşmamak için süre sınırlarına bazı örnekler verilmektedir. Tablo 12' de verilen değerlere, Resim 10'dan da ulaşılabilir[2].

Tablo 11. Fiziksel Ajanlar Direktifi Etkin ve Sınır Değerlerin Aşılmaması için Süre Sınırları

a_{hv}/ms^{-2}	Süre sınırları	
	EAV	ELV
1.5	22 s	Sınır yok
2.0	12.5 s	Sınır yok
2.5	8 s	Sınır yok
3.0	5.5 s	22 s
4.0	3 s	12.5 s
5.0	2s	8 s
6.0	83 dak	5.5 s
7.0	61 dak	4 s
8.0	46 dak	3 s
9.0	37 dak	2.5 s
10.0	30 dak	2 s
12.0	20 dak	83 dak
14.0	15 dak	61 dak
16.0	11 dak	46 dak



Resim 10. Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi' nde Belirtilen Etkin Ve Sınır Değerlerin Altında Kalmak İçin Süre Sınırları

Ölçüm Hatası Kaynakları

Modern ivme ölçerler ve ivme ölçer kabloları, olası dış etkilere karşı en küçük hassasiyete sahip olacak şekilde tasarlanırlar. Ancak yine de çevresel koşullar ölçümler üzerinde bir etkiye sahip olabilirler [5].

Ölçümleri etkileyebilecek koşullara şöyle bir bakılacak olursa:

dc Kayması: dc kayması, bir piezoelektrik ivme ölçer, güçlü atmalı bileşenler içeren titreşim ölçümlerinde kullanıldığında meydana gelir. Bu sorun, matkap, beton kırıcı, havalı çekiçler gibi darbeli aletlerin kullanımı sırasında güçlü atmalı titreşim maruziyetinde ortaya çıkar. İvme ölçer içinde, kısa süreli dc voltajlar dizisinin ac işaret üzerine binmesi sonucu oluşur. rms ortalama alındığında, dc bileşen okunan çok yüksek bir ivme sonucu ile kendini gösterir. Bu sorunla diğer tip titreşim ölçerlerde karşılaşılmaz. Bu durumda kaydedilen sonuç doğru olmayacak kadar yüksektir.

dc kayması önceden tahmin edilemez, ancak darbeli aletler üzerinde ölçüm alınırken bu duruma dikkat edilebilir. dc kayması meydana geldiğinde çözüm, ivme ölçerle monte bloğu arasına bir mekanik filtre koymaktır [2].

Sıcaklık: Genel amaçlı ivme ölçerler, 250 °C' ye kadar olan sıcaklık değerlerini tolere edebilirler. Daha yüksek sıcaklıklarda piezoelektrik seramik depolarize olur ve hassasiyet

kalıcı olarak değişir. Böyle bir ivme ölçer, depolarizasyon çok ileri derecede değilse, kalibrasyondan sonra tekrar kullanılabilir. Tüm piezoelektrik malzemeler sıcaklık bağımlı olduğundan, evre sıcaklığındaki değişikliğe bağlı olarak ivme ölçerin hassasiyeti de değişir. İvme lerin 250°C' den daha yüksek sıcaklık değerinde bulunan bir yzeeye sabitlenmesi gerektiğinde, bir ısı alıcı ve mika pul, ivme ölçer tabanı ile ölçüm yüzeyi arasına yerleştirebilir[5].

Kablo Gürültüsü: Hasarlı bir ivme ölçer kablosu, ivme ölçer bir titreşim kaynağına bağlanmadığında bile gerçek olamayacak kadar yüksek ivme değeri ölçümlerine sebep olabilir[5].

Taban Gerilmesi: Bir ivme ölçer gerilme değişiklikleri olan bir yzeeye yerleştireildiğinde, ivme ölçer içindeki hassas kısma geçen gerilme değişiklikleri nedeniyle bir çıktı üretilir. İvme lerler bu etkiden en az etkilenmeleri için kalın ve sert tabanlı olarak tasarlanırlar[5].

Nükleer Radyasyon: Çoğu ivme ölçer, 10 kRad/s gama doz hızında 2 MRad toplam doz değerine kadar karakteristiklerinde önemli değişiklikler olmadan çalışabilir[5].

Manyetik Alanlar: Piezoelektrik ivme ölçerlerin manyetik hassasiyetleri oldukça düşüktür. Manyetik alan içerisinde ivme ölçerin uygun olmayan yöneliminde bile hassasiyet kGauss başına 0.01-0.25 m/sn² değerlerinden daha azdır[5].

Nem: lmde kullanılacak ivme ölçerin, nemli ortamlarda güvenli sonuçlar verebilmesi için gerekli koruyucu katmanlara sahip olması gerekir. İvme ölçerin kısa süreli sıvı içerisinde veya yoğun buharın olduğu ortamlarda kullanılması gerekiyorsa, teflon kaplamalı kablolar kullanılmalıdır[5].

Aşındırıcı Malzemeler: Seçilen ivme ölçer içindeki malzemenin endüstride kullanılan aşındırıcı malzemelere karşı yüksek bir direnci olması gerekir [5].

Akustik Gürültü: Normal olarak makinelerin oluşturduğu gürültü, yapılan titreşim ölçümlerinde önemli bir değişiklik meydana getirmeye yeterli değildir [5].

Enine Titreşimler: Piezoelektrik ivme ölçerler, ana eksen haricinde diğer yönlerde oluşan titreşime de duyarlıdır[5].

Kütle Yükleme: Tutamak kısma eklenen ivme ölçerin kütlesi (herhangi bir monte bloğu da dahil olmak üzere) tutamak kısmın kütlesine yakın olduğunda gerçekleşir. ISO 5349' un ikinci kısmında toplam kütle, tutamak kısmın kütlesinin %5' inden az olması gerektiği belirtilmiştir [2].

Ölçüm hatalarının diğer nedenlerinden biri de özensiz ölçüm alma süreci olabilir. Başka bir hata sebebi olarak, ivme ölçerin aletin tutamak kısmına dikkatsiz monte edilmesi sonucu ölçülen ivme değeri, gerçek değerden büyük olabilir.

El-Kol Titreşim Maruziyet Değerlendirmesi Gerekli Midir?

Risk yönetim prosesinin birinci adımı, bir işverenin, bazı çalışanların maruziyet etkin değerinin üzerinde bir değerle titreşime maruz kalma ihtimalini kabul etmesidir. İşverenin, el-kol titreşim maruziyeti değerlendirmesi yapmak gibi bir görevi vardır. Bu konudaki ilk adım, gerekli değerlendirmenin kapsamını belirlemektir. Bu, kullanılan alete ve çalışan sayısına ve uygulanan prosese bağlı olacaktır. Tablo 12' de HAVS ile ilgili olan bazı alet ve prosesler verilmektedir[2].

Gürültü maruziyeti ile el-kol titreşim maruziyeti değerlendirmesi arasında benzerliklerin olması beklenir. İki ajan arasındaki anahtar fark, gürültü atmosferde ilerlerken, titreşimin iletilmesi için direk temas gerekesidir. Bunun anlamı şudur [2]:

- Her aletten yalnızca onu kullanan operatör etkilenecektir.
- Titreşim ölçümleri, aletle temasın olduğu tutamak kısımda yapılmalıdır.
- Etkili bir kişisel koruyucu donanımı yoktur.

Maruziyet değerlendirme yönetimi için birkaç sonuç vardır:

- Gürültü maruziyeti ölçümleri çalışanlar normal görevlerini sürdürürken yapılabilirken, titreşim maruziyeti ölçümleri, tutamak kısma kablo yardımıyla bağlanan bir ivme ölçer kullanılarak yapılır. Bu durum her zamanki çalışma şartlarını etkiler. El-kol titreşim ölçümlerinin daha doğru olabilmesi için, çalışma şartlarının simülasyonu yapılabilir.
- El-kol titreşim ölçümlerinde, gerçek maruziyet süresini belirlemek, gürültü maruziyet süresini belirlemekten daha zordur.

Tablo 12. HAVS ile İlgili Olan Alet ve Prosesler

Endüstri/Meslek	Alet
Mühendislik	Taşılama makineleri-tezgah tipi ve elle kullanılan
	Cilalama makineleri
	Astarlama makineleri
	Havali çekiçler
	Darbeli anahtarlar
	Çekiçleme makineleri
Ormancılık	Zincirli testere
Bahçivanlık	Daire testere
Tarım	Ot biçme makinesi
	Çim biçme makinesi
	Kazıcılar
	Ot kesme makinesi
Madencilik	Taş kırıcılar
İnşaat	Yer deliciler
İnşaat mühendisliği	Taş testere
Yıkım	Kaya matkapları
	Profil taşıma makineleri
	İğne kazıcılar
Diğer	Deri dövme makineleri
	Motosikletler

Bir İşyeri El-Kol Titreşim Maruziyet Değerlendirmesinin Planlanması

Özel bir işyerinde veya bölümde el-kol titreşim değerlendirmesine girişmeden önce, işin planlanması ve incelemede harcanacak sürenin belirlenmesi için, inceleme yapılacak yerdeki tüm bilgilerin mevcut olması gerekir. Yapılacak ölçüm sayısı, her alanda çalışanların sayısından çok, kullanılan alet ve farklı görev sayısına bağlı olacaktır. İvme ölçeri titreşim

ölçere bağlayan kablo hassas olduğundan, önemli ölçümler planlandığında yedek kablo bulundurulması önemlidir. Farklı kişiler ve farklı aletler arasında karşılaştırma yapabilmek için, tüm ölçümler sonucu elde edilen bilgilerin kaydedilmesi kolaylık sağlar. Bazı değerlendirmelerde, bir iş günü boyunca farklı aletleri kullanan bir çalışan üzerinde ölçümler yapılırken daha yaygın olarak yapılan değerlendirmelerde ölçümler, bir alet veya işlem üzerinde yoğunlaşır [2,8].

Bazı aletler için yapılması gereken ölçümler zorlayıcı olabilir. Örneğin, bir taşlama makinesi aynı işlemin farklı aşamaları için veya tamamen farklı işlerde kullanılan çok sayıda çarktan ve diskten oluşur. Yine bir bahçıvan, güneşli bir günde bir spor sahasının çimlerinin biçilmesinden yağmurlu bir günde aşırı büyümüş çimlerin biçilmesi gibi geniş bir alanda çalışabilir. Potansiyel olarak aletin tutamak kısmındaki titreşim seviyesini etkileyebilecek faktörler şunları içerebilir [2,9]:

- Aletin çeşidi (taşlama makinesi, matkap vs.)
- Kullanılan model (gücü, büyüklüğü vs.)
- Ekli kesme aleti (kesici çarkın şekli, kesicinin çeşidi, diş sayısı vs.)
- Bıçağın keskinliği
- Aletin yaşı ve bakım durumu
- Çalışılan materyal ve çalışma koşulu (ıslak, kuru)
- Operatörün tekniği
- Operatörün zihinsel durumu (yorgun bir çalışan bir aleti farklı kullanabilir)
- Çalışılan pozisyon ve açı.

Bir aletin aynı işlem için kullanılan aynı modelinde, laboratuvar koşulları altında yapılan ölçümlerin sonuçlarında bile belli bir dağılım gözlenir. Ölçümleri yukarıda belirtilmiş tüm olası kombinasyonlar için yapmak çok fazla vakit ve masraf gerektirir. Her olası durum için ölçüm şansının olmadığı durumlarda, yapılması gereken ölçümlerin seçilmesidir. Günlük maruziyetin başlıca şunlarla belirlenebileceği hatırlatılmalıdır [2]:

- 1) Operatörü en büyük titreşim maruziyetine uğratan görev veya prosesler;
- 2) Operatörün en uzun süre maruziyete uğradığı görev veya prosesler.

Operatörlerin çoğu, titreşimi en çok hissettiği durumları, rahatsız edecek boyuttaki maruziyetlerin hangi sıklıkta olduğunu ve en uzun süreli maruziyetleri bilir. Bu bilgiler mevcut değilse, direk işin gözlenmesiyle veya daha önce tutulmuş kayıtlardan edinilmelidir. Mevcut durumların temsili altında ölçümlerin alınmasının seçilmesi yöntemi de olasıdır [2].

Aynı alet ve materyallerle yapılan ölçümlerin tekrarlanması, ölçümlerin tekrarlanabilirliğinin gözlenmesi için gereklidir [2].

Eş zamanlı olarak üç eksen de ölçüm yapabilen bir cihazın olması halinde, tam ölçüm süresi üçte bir oranında azalır. Bazı çalışma şartlarında çok kısa süreli maruziyetlerden dolayı üç eksen de ölçüm alacak kadar zaman olmayabilir [2].

Ölçümler sırasında ivme ölçer, kullanılan aletin tutamak kısmına veya elle kullanılan parçasına, yani titreşimin ele geçtiği noktaya mümkün olduğu kadar yakın bir noktaya monte edilmelidir. İvme ölçerin bağlanmasından dolayı ek bir güvenlik problemi olmaması ve aletin normal çalışmasını etkilememesi önemlidir. 5349' un ikinci kısmında, ivme ölçerin nasıl monte edileceğine dair bilgiler mevcuttur. Standartta özel aletler için verilen ivme ölçer monte örneklerine bakılarak, benzer alet çeşitleri için ivme ölçerin yerleştirilebileceği en uygun pozisyona, alet normal kullanımı sırasında gözlenerek ve operatörü ile konuşularak karar verilebilir[5].

TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ

Tüm Vücut Titreşimi Kontrolü

Tüm vücut titreşimi (WBV), vücuda birçok yolla giren ve vücuda girdiği yere yakın olmayan organları da etkileme potansiyeli olan titreşim çeşidine verilen isimdir [2].

En önemli giriş yolları şunlardır [2]:

- Ayaklar,
- Kalça,
- Sırt,
- Başın arka tarafı.

Bir işyeri bileşkesi içinde bu tür titreşimden etkilenmiş kişi ya oturuyor ya da ayakta. Çalışan ayakta ise, enerji ayaklar yoluyla vücuda girecektir. Kişi oturur durumda iken, bazı durumlarda enerji, koltuk arkılığı veya sırt arkılığından vücuda girerken, esas

olarak kalça ve ayaklar yoluyla vücuda geçer. Bazen gemi, uçak gibi taşıma araçlarında uzanmış halde bulunan kişiler de bu titreşimden etkilenebilirler. Bu durumda titreşimin vücuda sırttan girdiğinin kabul edilmesi normaldir [13].

Daha önce titreşim nasıl ölçülür ve tanımlanır konusunda anlatılanlar tüm vücut titreşimi için de geçerlidir.

Sağlık Etkileri

Yıllar boyunca titreşim maruziyetinin insan vücuduna etkileri konusunda çalışılmıştır. Hayvan ve insanlar üzerinde yapılan çalışmalarda, yüksek seviyelerde titreşim maruziyetinin hayati organlara zarar vererek sağlık üzerinde ciddi etkilerinin olduğu gözlenmiştir. Bu çeşit bir zarar verebilecek titreşim seviyesi büyük ölçüde rahatsızlık hissine neden olur ve insanlar, uzun aralıklarda bu seviyede titreşime maruz kalamazlar. Tüm vücut titreşimine işyeri maruziyeti, hafif rahatsızlık hissine neden olan, ancak hemen göze çarpmayan, daha çok uzun dönemli sağlık etkileri olan titreşim büyüklüklerini ve maruziyet sürelerini içerir [2].

Tüm vücut titreşiminin aşağıdaki durumlarda insan üzerinde etkisi vardır [2]:

- Algı
- Rahatsızlık
- Görüş ile etkileşim
- Fine motor task ile etkileşim
- Omurga incinmeleri
- Sindirim sistemi hasarları
- Üreme sistemi hasarları.

Bu etkilerin bazıları -örneğin algı- bir sağlık sorunu olarak tanımlanamaz. Diğerleri için durum tartışmalıdır. Örneğin sindirim sistemi üzerine etkileri tam olarak kanıtlanamamıştır. Kısa süreli ve büyüklüğü yüksek olmayan tüm vücut titreşimi maruziyeti, sıkıntı vererek iş etkinliğinde düşüşe ve konsantrasyon kaybına neden olabilir [2].

Gürültü ele alınırken, gürültünün direk sağlık etkileri olasılığını (örneğin, işitme zararları) diğer etkilerinden ayırmak normaldir. Kanun yapıcılar çalışanların işitme sistemini

korumayı kendi görevi olarak üstlenirken, diğer sağlık etkilerinden korunmayı her çalışanın memnun olduğu ve üretici bir iş gücü sağlamak için işverenin duyarlılığına ve ticari baskısına bırakmıştır. Tüm vücut titreşimi durumunda, farkında olunabilecek titreşim seviyesi genliği ile ciddi rahatsızlık verebilecek titreşim seviyesi genliği arasında çok daha az bir fark vardır. Gürültü günlük hayatın kaçınılmaz ve sıklıkla faydalı bir parçası olarak karşımıza çıkarken titreşimin faydalı bir amaca hizmet etmesi çok nadir bir durumdur. Rahatsızlığa neden olan titreşim, özellikle eğer işverenin binasının dışından geliyorsa, farklı çevresel gürültü kaynakları ile karşılaştırılabilir. Titreşim rahatsızlığa sebep olabilir ve sonuç olarak da sağlığı etkileyebilir, fakat direk olarak fiziksel bir hasara sebep olması çok nadirdir. Titreşim ve gürültü iş hayatında olduğu kadar evde olanları veya boş vakit uğraşları ile ilgilenenleri de etkileyebilir. Bir ofis çalışanında titreşimin istenmeyen etkileri, evde televizyon izleyen birisi ile karşılaştırılabilir. Her ikisi de titreşimden rahatsızlık duyar ve sağlıklarının bu titreşimden kötü etkilenmemesini isterler [2].

Tüm Vücut Titreşimine Mesleki Maruziyet

Tüm vücut titreşimine mesleki maruziyet, bazı endüstriyel proseslerde olabileceği gibi genel olarak ulaşım sektöründe de rastlanan bir durumdur. Kara, hava ve deniz ulaşımı rahatsızlık veren, hareketleri kısıtlayan veya yaralanmaya sebep olabilen titreşimler üretebilir. Tüm vücut titreşimine maruz kalınabilecek aktiviteler şunlar olabilir: Traktör kullanımı, askeri araçlar ve benzerleri (örneğin, tank), buldozerler, greyderler, kazıcılar, kamyonlar, silindirler, orman makineleri, maden ve taş ocağı ekipmanları, forkliftler gibi arazi araçları, bazı otobüs veya tramvay kullanımı, helikopter veya kanatlı hava taşıma aracı kullanımı, beton yapım makinesi kullanımı, bazı demiryolu taşıma aracı kullanımı, motosiklet kullanımı, araba veya panelvan kullanımı, bazı spor aktiviteleri, bazı endüstriyel ekipmanlar. Büyük titreşime ve şoklara maruziyet en fazla buldozer, endüstriyel kamyon ve traktör gibi arazi araçlarının kullanımı nedeniyle meydana gelir [4].

Biyodinamikler

Bütün mekanik yapılarda olduğu gibi, insan vücudu da maksimum mekanik cevabı verdiği bir rezonans frekansa sahiptir. Ancak insanın titreşime tepkisi yalnızca rezonans frekansı ile izah edilemez. İnsan vücudunun farklı kısımlarının farklı rezonans frekansları vardır ve rezonans frekansları kişiden kişiye ve duruş biçimine göre değişir. Titreşimin

vücudu hareket ettirdiği durumu tanımlamak için vücudun iki mekanik cevabı kullanılır: geçirgenlik ve özdirenç (empedans) [4].

Geçirgenlik, titreşimin iletilen kısmını gösterir. Vücudun geçirgenliği büyük oranda titreşim frekansına, titreşim eksenine ve vücut duruşuna bağlıdır. Örneğin, oturlan yerdeki dikey titreşim, kafada bir çok eksenle titreşime neden olur; dikey kafa hareketi için 3-10 Hz aralığında geçirgenlik en yüksektir [4].

Vücudun mekanik özdirenci, her frekansta vücudun hareket etmeye karşı gösterdiği dirençtir. Özdirenç vücudun kütesine bağlı olsa da, insan vücudunun dikey empedansı 5 Hz civarında rezonans gösterir. Vücudun mekanik empedansının oturlan yerden iletilen titreşim enerjisi üzerinde büyük bir etkisi vardır [4].

Akut Etkiler

Konforsuzluk

Titreşim ivmesinin neden olduğu konforsuzluk, titreşimin frekansına, yönüne, vücut ile titreşimin temas noktasına ve maruziyet süresine bağlıdır. Oturan kişilerde dikey titreşim durumunda, herhangi bir frekansta titreşimin neden olduğu konforsuzluk, titreşimin büyüklüğü ile orantılı olarak artar: titreşimin yarıya inmesi konforsuzluğu da yarıya indirir[13].

Titreşim kaynaklı konforsuzluk, uygun frekans ağırlıklandırmaların kullanımıyla önceden belirtilebilir ve konforsuzluk için uygun bir skala ile tanımlanabilir. Titreşim konforsuzluğu için kullanılabilir limitler yoktur: kabul edilebilir konforsuzluk bir çevreden diğer bir çevreye göre değişir [4].

Binalarda kabul edilebilir titreşim büyüklükleri, titreşim algılama eşiklerine yakındır. Binalarda titreşimin insanlar üzerindeki etkilerinin titreşimin frekansına, yönüne ve süresine bağlı olmasının yanında binanın kullanım amacına da bağlı olduğu kabul edilir [4].

Aktivite Etkileri

Titreşim, bilgi alımını (gözlerle vs.), bilgi çıkışını (el ve ayak hareketleriyle) veya kompleks merkezi proseslerin meydana geldiği sistemi (öğrenme, hafıza, karar verme vs.) bozabilir. Tüm vücut titreşiminin en büyük etkisi, girdi (özellikle görüş) ve çıktı (özellikle el kontrolü) prosesleri üzerinedir[4,13].

Titreşimin el kontrolü ve görüş üzerine etkilerine esas olarak etkilenmiş vücut parçasının hareketi neden olur. Etkiler, el veya göze aktarılan titreşimi azaltarak veya işi daha az rahatsızlık verecek şekilde ayarlayarak indirgenebilir. Titreşimin görüş ve el kontrolü üzerine etkileri, işin yeniden dizayn edilmesi ile daha çok azaltılabilir [4].

Algı ile ilgili basit görevler titreşimden etkilenmiyor gibi görünmektedir. Bu aynı zamanda algı ile ilgili bazı kompleks görevler için de geçerli olabilir. Deneysel çalışmalarda, titreşimin algı üzerine önemli ve gerçek bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Titreşimin yorgunluk hissine neden olduğuna dair çok kanıt yoktur [4].

Fizyolojik Fonksiyonlardaki Değişiklikler

Fizyolojik fonksiyonlardaki değişiklikler, kişiler laboratuvar koşullarında yeni bir tüm vücut titreşimine maruz bırakıldıklarında meydana gelir. Diğer reaksiyonlar ilerlerken veya gelişirken, irkilme cevabı (kalp atışının hızlanması vs.) maruziyet devam ettikçe normale döner. Daha sonrası eksenler de dahil olmak üzere titreşimin tüm karakteristiklerine, ivme büyüklüğüne ve titreşimin türüne (sinüsoidal veya rastgele), bunun yanında fiziksel ritimlere ve kişinin karakteristiklerine bağlıdır. Alan koşulları altında fizyolojik fonksiyonlardaki değişiklikler, genel olarak titreşimle direk olarak bağdaştırılamaz. Çünkü titreşim genellikle diğer önemli faktörlerle (örneğin, yüksek zihin yorgunluğu, gürültü ve toksik maddeler) birlikte hareket eder. Fizyolojik değişiklikler, psikolojik reaksiyonlardan (konforsuzluk) daha az hassastır[4].

Sinir ve Kas Üzerine (nöromusküler) Etkiler

Aktif doğal hareket sırasında motor kontrol mekanizması, kaslar, tendonlar ve eklemlerdeki sensörler ile devamlı ayarlanan bir geri-besleme kontrol mekanizması olarak

çalır. Tüm vücut titreşimi, insan vücudunda hareket yeteneğinin neden olduğu titreşimden çok farklı pasif yapay bir harekete neden olur. Tüm vücut titreşimi sırasında kayıp geri-besleme kontrolü, nöromüsküler sistemin normal fizyolojik fonksiyonundan çok farklı haldedir. Tüm vücut titreşimi ile ilgili daha geniş frekans aralığı (0.5-100 Hz), normal hareket aralığı (2-8 Hz isteğe bağlı hareketler) ile karşılaştırıldığında görülen farklılık, nöromüsküler kontrol mekanizmasının çok yüksek ve çok düşük frekanslarda nasıl reaksiyon gösterdiğini izah edebilir[4].

Tüm vücut titreşimi ve geçici ivme, oturan bir kişinin yüzeysel sırt kaslarında, EMG (elektromiyogram-kas kasılmalarına bağlı elektrik akımlarının grafik olarak yazdırılmasıyla elde edilen eğri) üzerinde görülebilecek bir aktivite dalgası yaratır. Bu aktivite, refleks benzeri bir hareket olarak algılanabilir. Titreşen kişi eğik pozisyonda gevşemiş halde oturursa, bu durum tamamen yok olur. Kas hareketinin zamanlaması, ivmenin frekansına ve büyüklüğüne bağlıdır. Elektromiyogram bilgileri, omurganın 6.5-8 Hz aralığında ve ani yukarı yer değiştirmenin başlangıç fazı boyunca, azalan müsküler stabilizasyon nedeniyle omurga yükünde artış meydana gelebileceğini söyler. Tüm vücut titreşiminden kaynaklanan zayıf EMG aktivitesine rağmen, titreşim maruziyeti boyunca sırt kası yorgunluğu, normal oturma pozisyonunda tüm vücut titreşim maruziyeti olmadan gözlenen değeri aşabilir[4].

Tendon refleksi, 10 Hz civarında frekans değerlerinde sinüsoidal tüm vücut titreşim maruziyeti süresince geçici olarak kaybolabilir ve azalabilir. Tüm vücut titreşim maruziyetinden sonra duruş kontrolündeki küçük değişiklikler oldukça değişkendir, mekanizmaları ve anlamları kesin değildir[4].

Kardiyovasküler, Solunum, Endokrin Sistemi ve Metabolik Değişiklikler

Titreşim maruziyeti sırasında meydana gelen değişiklikler, tolerans sınırı civarında normal fiziksel faaliyetler durumu (kalp hızındaki, kan basıncındaki ve oksijen alımındaki artışlar) ile karşılaştırılmıştır. Havalandırmanın artırılmasıyla kısmen solunum sistemindeki havada osilasyonlar meydana gelir. Solunum sistemi ve metabolik değişiklikler aynı olmayabilir. Ayrıca adrenokortikotropik hormonlar (ACTH) ve kateşolaminlerde değişikliklerle ilgili farklı ve çelişkili bulgular da rapor edilmiştir[4].

Duyu ve Merkezi Sinir Üzerine Etkiler

Vestibular fonksiyonlardaki değişiklikler, çok düşük frekans veya tüm vücudun rezonans frekansı civarında maruziyetlerde önem kazanmış görünür. Vestibular, görsel ve propriyoseptif (kas, tendon, kemik ve eklem gibi dokulardan gelen uyarıları alan ya da bunlara duyarlı olan) sistemler arasında sensörel bir yanlış eşleştirmenin bazı yapay hareket çevrelerine karşı fiziksel cevabın altında yatan önemli bir mekanizma olduğu düşünülür. Gürültü ve tüm vücut titreşimine aynı anda maruziyetin etkilerinin incelendiği kısa vadeli ve uzun süreli çalışmalarda, titreşimin işitme üzerine önemsiz bir sinerjik etkisinin olduğu gözlenmiştir[4].

Uzun Dönem Etkileri

Bel Kemiği ile İlgili Sağlık Riski

Epidemiyolojik çalışmalar, uzun yıllar boyunca yüksek tüm vücut titreşim maruziyeti olan kişilerde (traktör üzerinde çalışanlar, hafriyat makinelerinde çalışanlar vs.) omurga ile ilgili yüksek bir sağlık riskinin olduğuna dikkat çekmişlerdir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, uzun yıllar tüm vücut titreşim maruziyeti omurgayı kötü etkileyebilmekte ve bel ağrısı riskini artırabilmektedir. Bel ağrısı, bozulmuş omur ve disk sonucu olabilir. Omurganın lumbar kısmı en çok etkilenen kısımdır ve daha sonra thorasik kısım gelir. Servikal kısımdaki sorunlarda kesin bir kanıt olmasa da, titreşimden daha çok sabit uygun olmayan bir duruşun neden olduğu rapor edilmiştir. Sırt kasları üzerine çok az sayıda çalışma yapılmış ve kas yetersizliği gözlenmiştir. Bazı raporlarda, önemli ölçüde lumbar disklerde çıkık tehlikesine dikkat çekilmiştir. Yine yapılan bazı çalışmalarda, karşılaştırılabilir referans çalışanlar arasında sürücülerde ve helikopter pilotlarında daha fazla bel ağrısı saptanmıştır. Buradan, profesyonel araç sürücüleri ve helikopter pilotlarının bel ağrısı ve sırt rahatsızlıkları için önemli bir risk faktörü taşıdıkları sonucuna varılmıştır. İntervertebral disk hastalıklarından dolayı emeklilik ve uzun süreli hastalık izni durumları söz konusu olduğunda, vinç operatörleri ve traktör kullanıcıları arasında bir artış da gözlenmiştir[4].

Epidemiyolojik çalışmalarda, maruziyet durumları üzerine eksik veya kayıp bilgilerden dolayı, maruziyet-etki ilişkisi tam olarak elde edilememiştir. Mevcut bilgi, iskelet hastalıklarını güvenli bir şekilde önleyecek, ters etki vermeyecek sınır değerini

vermemektedir. ISO 2631 içinde yer alan maruziyet limitinin altında veya yakınında değerler risksiz değildir. Seçim prosesleri çalışmaların çoğunda belirlemeyi güçleştirse de, bazı tetkik sonuçları artan maruziyet süresiyle sağlık riskinin de arttığına dikkat çekmektedir. Yine de, bir doz-etki bağıntısı epidemiyolojik çalışmalarda saptanamamıştır. Teorik olarak, maruziyet boyunca yüksek pik yüklerinin omurgaya belirgin zararlı etkiler verdiği ileri sürülmüştür. ISO 2631’ de olduğu gibi, bir titreşim doz hesabı için “enerji eşdeğeri” metodu kullanmak, yüksek pikte ivmeler içeren tüm vücut titreşim maruziyetinde kesin olmayan sonuçlar verir. Titreşim frekansına bağlı tüm vücut titreşiminin farklı uzun süreli etkileri epidemiyolojik çalışmalardan türetilmemiştir. 40-50 Hz frekans değerlerinde tüm vücut titreşimi ayakta çalışanlara uygulandığında, ayak kemiklerinde bozulmaya yönelik değişiklikler meydana gelmiştir[4].

Tüm vücut titreşiminin omurgaya etkisinde cinsiyetin etkisinin olup olmadığına dair net bir bilgi yoktur.

Omurganın dejeneratif bozulmalarının mesleki bir hastalık olarak kabulü tartışmalıdır. Omurga hastalığının tüm vücut titreşimine maruziyetten kaynaklandığını belirleyecek tanı teknikleri bilinmemektedir. Titreşim maruziyeti olmayan kişilerde dejeneratif omurga hastalıklarının yaygın olması, tüm vücut titreşimine maruz kalan kişilerde bu hastalığın maruziyetten kaynaklandığı kabulünü engellemektedir. Titreşimin neden olduğu zorlanmayı değiştirebilecek kişisel risk faktörleri bilinmemektedir. Mesleki hastalık olarak kabulün ilk şartı tüm vücut titreşiminin minimum yoğunluk ve/veya minimum maruziyet süresinin kullanımında kişisel hassasiyetteki değişikliklerin hesaba katılmamasıdır[4].

Diğer Sağlık Riskleri

Epidemiyolojik çalışmalar, tüm vücut titreşiminin diğer sağlık sorunlarına katkıda bulunan bir faktör olduğunu göstermiştir. Gürültü, yüksek zihinsel yorgunluk ve vardiyalı iş, sağlık sorunlarına neden olduğu bilinen önemli bazı örneklerdir. Başka vücut sistemlerindeki hastalıklara yönelik araştırmalar, tüm vücut titreşim büyüklüğü bakımından patolojinin (hastalıkların nedenini, doku ve organlarda oluşturduğu yapısal değişiklikleri makroskopik ve mikroskopik olarak inceleyen bilim dalı) yaygınlığı konusunda ortaya çelişkili sonuçlar koymuştur (örneğin, daha düşük yoğunlukta daha yüksek kötü etkilerin olması). Beton yapmakta kullanılan titreşimli sıkıştırma makinelerini kullanıp ayakta çalışarak ISO 2631’ de

verilen 40 Hz üzerindeki frekanslarda maruziyet limitlerinde tüm vücut titreşimine maruz kalan çalışanlarda, merkezi sinir sisteminde, müküloskeletal (hem kas dokusu hem de iskelet sistemi ile ilgili) sistemde ve dolaşım sisteminde semptomların karakteristik bir kompleksi ve patolojik değişiklikler gözlenmiştir. Bu kompleks “titreşim hastalığı” olarak adlandırılmıştır. Çoğu uzman tarafından kabul edilmese de, aynı terim, kendini başlangıçta özel fonksiyonel karakteri olmayan periferel (çevrede ya da periferde bulunan ya da yerleşik olan) ve serebral (beyinle ilgili) vegeto-vasküler hastalık olarak gösteren, uzun zaman düşük frekanslı tüm vücut titreşimine maruziyetten kaynaklandığı söylenen belirsiz bir klinik resmi tanımlamak için de kullanılmıştır. Mevcut bilgilere dayanarak, “farklı fizyolojik sistemler birbirlerinden bağımsız olarak tepki gösterirler ve tüm vücut titreşimine maruziyeti gösterecek semptomları yoktur” sonucuna varılabilir[4].

Sinir Sistemi, İşitme ve Denge Organı (Vestibular Organ)

40 Hz’ den yüksek yoğun tüm vücut titreşimi, merkezi sinir sistemine zarar verebilir ve rahatsızlığa sebep olabilir. 20 Hz’ den düşük frekanslarda tüm vücut titreşimine maruziyet durumunda etkiler konusunda çelişkili bilgiler rapor edilmiştir. Bazı çalışmalarda sadece, baş ağrısı ve asabiyet gibi belirgin olmayan şikayetlerde artış gözlenmiştir. Yayınlanan bazı sonuçlar, azalan vestibular uyarılma ve diğer vestibular rahatsızlıkların artması durumuna uymaktadır (baş dönmesi dahil). Yine de, yoğunluk-etki arasında çelişkili ilişkiler gözlemlendiğinden, tüm vücut titreşimi ile merkezi sinir sistemindeki değişiklikler arasında nedensel bağlantılar olup olmadığı şüphelidir[4].

Dolaşım ve Sindirim Sistemleri

Tüm vücut titreşimine maruz kalan çalışanlarda en fazla dört ana grupta toplanabilecek dolaşım rahatsızlıkları gözlenmiştir:

- Periferel bozukluklar, Raynaud sendromu gibi tüm vücut titreşiminin uygulama alanı yakınında (örneğin, ayakta çalışanlar için ayaklar veya düşük bir olasılıkla sürücüler için eller)
- Bacaklarda varisler, hemeroidler
- Kalp hastalığı ve hipertansiyon
- Nörovasküler değişiklikler.

Bu dolaşım rahatsızlıklarının marazi olması her zaman titreşim maruziyetinin büyüklüğü ve süresi ile ilişkili değildir. Yüksek oranda sindirim sistemi bozuklukları gözlenmesine rağmen, hemen hemen tüm otoritelerin ortak fikri, tüm vücut titreşim maruziyetinin tek ve en önemli sebep olmadığıdır[4].

Dişi Üreme Organları, Hamilelik ve Erkek Ürogenital Sistemi

Artan düşük riski, menstrüal bozukluklar ve rahim içerisinde bebeğin pozisyonunda anomali gibi durumların uzun süreli tüm vücut titreşim maruziyeti ile ilgisinin olabileceği düşünülmüştür (Seidel ve Heide 1986). Kişisel hassasiyet ve geçici değişiklikler muhtemelen bu biyolojik etkilerin ön belirleyicisidirler. Hayvanlar üzerinde yapılan bazı çalışmalarda tüm vücut titreşiminin fetusu etkileyebildiği görülmüş olsa da mevcut literatürde, tüm vücut titreşiminin insan fetusu üzerinde zararlı bir etkisinin olduğu rapor edilmemiştir[4].

ISO 2631 ve Doz-Etki İlişkisi

Tüm vücut titreşimi değerlendirmesinde kullanılan geçerli uluslar arası standart ISO 2631:1997' dir. Standardın birinci kısmında titreşimin direk sağlık etkileri ele alınırken ikinci kısımda binalardan iletilen titreşim ele alınır ve üçüncü kısım rahatsızlık veren titreşim ile daha çok ilgilidir. Dördüncü kısım tren yolcuları ve çalışanları üzerinde titreşimin etkilerini ele alır. Diğer çoğu standart gibi ISO 2631 de yıllar içinde geliştirilmiştir[2].

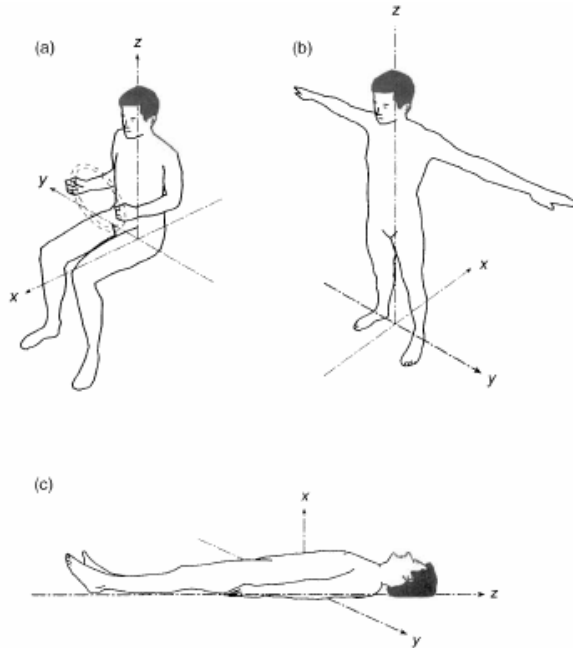
Algı ve rahatsızlık eşikleri, tüm titreşim etkilerinde olduğu gibi, daha az ve daha çok hassas olan kişilere, kişinin o andaki durumuna- örneğin, zindelik durumu, dikkat dağıtıcı faktörlerin olması veya olmaması, duygusal hal- göre büyük değişiklik gösterir. Örneğin, elle idare edilmesi gereken bir makinenin kullanıldığı bir işte, makine operatörünün titreşim maruziyeti, makinenin kontrolünün tam olarak yapılmasını engelleyebileceği için tehlikeli bir durum yaratır. Görüntülü cihazlarda ekrandaki bilginin tam olarak okunmasının önemli olduğu çalışma alanlarında, titreşimin görüş ile etkileşimi yine tehlikeli durumlar yaratabilir[2].

Muhtemelen standardın işaret ettiği en önemli sağlık etkisi omurga incinmeleridir. Bu durum, çok yaygındır. Tüm vücut titreşim maruziyetinin bu çeşit incinmelere neden olduğu tam olarak reddedilmemekle birlikte, tüm vücut titreşimi ve diğer ajanların rölatif ağırlığı tam olarak belirlenememiştir. Ağır kaldırma ve uzun periyotlarda iyi dizayn edilmemiş koltuklarda oturmak da sırt incinmelerine sebep olabilir. Bazı durumlarda titreşim ve yanlış duruş bir aradadır. Örneğin, traktör sürücüleri oldukça yüksek tüm vücut titreşimine maruz kalmalarının yanında çoğunlukla düzgün olmayan koltuklarda, yanlış oturma durumunda bulunurlar[2].

Genellikle işyerlerinde tüm vücut titreşimine maruz kalanların çoğu araç kullananlar veya araçla taşınanlardır. Aynı işi yapan makineler arasında büyük farklılık olmasına rağmen, tarım ve inşaatta kullanılan arazi araçları büyük ölçüde maruziyete sebep olurlar. Araçlardan başka, taş ocakçılığı, mineral çıkarma işlerinde ve çimento endüstrisinde kullanılan bazı makineler ile çalışanlar benzer maruziyete sahiptirler. Yine sabit kanatlı uçaklarda bulunanlar olmasa da helikopter kullananlar yüksek titreşim seviyelerine maruz kalırlar[2,13].

ISO 2631 standardında tüm vücut titreşimi ölçümleri için kullanılması istenen eksen yönelimleri Resim 11’de de gösterildiği gibi şu şekildedir[14]:

- Arkadan öne doğru yönelimli x-ekseni
- Bir yandan diğer yana yönelimli y-ekseni
- Ayaklardan kafaya doğru olan z-ekseni.



Resim 11. Tüm Vücut Titreşim Ölçümleri İçin Kullanılan Eksenler

Uzanmış bir kişi için yukarıdaki yönelimler geçerlidir. Normalde z-ekseni dikey bir eksen olmasına rağmen, uzanmış bir kişi için yatay eksenlerden biri haline gelir. El-kol titreşimi durumunda bir sonraki adım, birleştirilmiş bir büyüklük elde etmek için her üç eksen için ölçüm yapmaktır. Tüm vücut titreşiminde böyle yapılmaz, her eksen ayrı olarak değerlendirilir[14].

ISO 2631 farklı durumlarda kullanılmak üzere altı tane frekans ağırlıklandırma tanımlar. Bunlar $W_c, W_d, W_e, W_f, W_j, W_k$ 'dır. Değerlendirmelerin çoğu bunlardan yalnızca ikisini kullanarak yapılabilir: W_d , x ve y eksenleri için, W_k ise z-ekseni için olmak üzere[2].

Tablo 13'te görüldüğü gibi, farklı frekans ağırlıklandırmalarla birlikte ISO 2631, uygun frekans ağırlıklandırma kullanılarak ölçülen titreşim büyüklüğüne uygulanacak çarpım faktörlerini belirtir[2].

Tablo 13. Tüm Vücut Titreşim Değerlendirmesi İçin Kullanılan Frekans Ağırlıklandırma Ve Ölçeklendirme Faktörleri

Eksen	Değerlendirilen titreşim etkisi	Titreşimin vücuda giriş yeri	Frekans ağırlıklandırma	Çarpım faktörü
x	Sağlık	Kalça	W_d	1.4
y			W_d	1.4
z			W_k	1
x	Konfor	Kalça	W_d	1
y			W_d	1
z			W_k	1
Tüm	Konfor	Başka herhangi bir nokta	ISO 2631' e bakılır	ISO 2631' e bakılır
z	Hareket hastalığı	Ayaklar, kalça	W_f	1

İşyeri maruziyet değerlendirmeleri için olası sağlık etkileri üzerine odaklanıldığında, yatay eksenler olan x ve y-eksenleri boyunca ölçülen değerler 1.4 faktörü ile çarpılmalıdır. Dikey eksen olan z-ekseni boyunca yapılan ölçüm değeri de 1 faktörü ile çarpılmalıdır[2,8].

Tüm vücut titreşimi değerlendirmesinde en uygun yöntem olan zaman ortalaması tipi, birçok araştırmanın konusu olmuştur. En basit yaklaşım, standart bir sekiz saatlik periyot boyunca rms ortalama ile eşdeğer enerji prensibini kullanmaktır. Bu teknik kullanılarak günlük maruziyeti değerlendirmekte kullanılan nicelik, 8 saatlik eşdeğer sürekli maruziyettir. El-kol titreşim değerlendirmesinde olduğu gibi, bu değer de A(8) olarak verilir. 8 saatlik eşdeğer maruziyet, ölçülen verileri kullanarak kolaylıkla hesaplanabilir[2].

Araştırmalar, yukarıdaki paragrafta tanımlanan eşdeğer enerji ortalamasının uzun periyotlu maruziyetlerle karşılaştırıldığında, yüksek titreşim büyüklüklerinin etkisini önemsizleştirdiğini göstermiştir. Yüksek titreşim büyüklüklerini de tam olarak hesaba katmak için “root-mean-quad” ya da kısa gösterimi ile rmq ortalama kullanılabilir. Bu ortalama da el-kol titreşim durumunda kullanılan rms ortalamaya benzer. Ancak rmq ortalama için, ivmenin dördüncü kuvvetinin ortalaması alınır ve eşdeğer sürekli seviyeyi temsil etmekte bu ortalamanın dördüncü kökü kullanılır[2].

Titreşim doz değeri VDV, dördüncü dereceden integrasyon kullanan cihazlarla ölçülebilen bir niceliktir. Sayısal olarak VDV değerleri A(8) değerleri ile karşılaştırılmaz. Avrupa Birliği, Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi’ nde üyelerine, maruziyet etkin ve maruziyet sınır değerlerini A(8) veya VDV cinsinden tanımlama seçeneği sunmuştur. Bütün bir iş günü için VDV değeri, temsili daha kısa bir periyot içinde yapılan ölçümde elde edilen VDV değerinde şu şekilde hesaplanabilir[2,8]:

$$VDV = VDV_{kism} \times \sqrt[4]{\frac{T}{t}} \quad (8)$$

Denklemdaki VDV_{kism} , temsili bir t periyodu boyunca ölçülen VDV değeri; T , ise tam vardiya süresidir. Titreşim doz değerinin birimi, $ms^{-1.75}$ veya $m/s^{1.75}$, tir.

Ölçüm cihazı rms ortalamayı kullanıyorsa, sonuçlardan doğru bir VDV değeri hesaplanamaz. Bazı durumlarda, rms ölçüm sonuçlarından tahmini bir VDV veya eVDV şu şekilde hesaplanabilir[2]:

$$eVDV = 1.4 \times a_{rms} \times \sqrt[4]{t} \text{ ms}^{-1.75} \quad (9)$$

Denklemdaki a_{rms} değeri, rms ortalama kullanan ölçüm cihazı ile temsili bir periyot boyunca ölçülen ivme değeri; t ise, saniye cinsinden tam vardiya süresidir. eVDV değeri, titreşim için tepe faktörü (pik genliğin rms değere bölünmesiyle elde edilen birimsiz değer) küçükse- 6' nın altındaysa- başka bir deyişle titreşimin içinde önemli darbeler ve şoklar yoksa VDV değerine çok yakın doğrulukta olabilir[2].

Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi

2002 Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi, maruziyet etkin ve maruziyet sınır değerlerini belirler. Tüm vücut titreşimi için her nicelik eşdeğer sürekli sekiz saatlik maruziyet veya titreşim doz değeri cinsinden ölçülebilir[2].

- Sekiz saatlik eşdeğer maruziyet için maruziyet etkin değeri 0.5 ms^{-2} veya titreşim doz değeri $9.1 \text{ ms}^{-1.75}$, tir.
- Sekiz saatlik eşdeğer sürekli maruziyet için maruziyet sınır değeri 1.15 ms^{-2} veya titreşim doz değeri $21 \text{ ms}^{-1.75}$, tir.

Üye ülkeler kendi yönetmeliklerini hazırlarken VDV değerlerini veya eşdeğer sekiz saatlik değerleri kullanmayı seçmekte özgürdürler. Üye ülkelerin çoğunun seçimi sekiz saatlik eşdeğer yöntemi kullanmak yönünde olmuştur[2].

Çalışmalar sonucunda Avrupa Parlamentosu, direktifin tüm şartlarının uygulanması için uzun bir periyot tanınması sonucunda karar kılmıştır[2]:

- 2005 yazına kadar tüm üyeler, titreşim risklerine karşı çalışanları en az direktifte olduğu kadar sıkı bir şekilde koruyan kendi iç yönetmeliklerini çıkarmalıdır.

- Bir çok endüstride, 2007 yazından sonra satın alınmış makinelerden kaynaklanan tüm vücut titreşimi maruziyeti, 2008 yazından itibaren direktifin koşulları ile düzenlenecektir.
- Tarım ve ormancılık endüstrisinde, 2007 yazına kadar alınmış olan makinelerden kaynaklanan tüm vücut titreşimi maruziyeti, 2011 yazından itibaren kapsama alınacaktır.

Tüm Vücut Titreşimi Maruziyeti Ölçümü ve Değerlendirmesi

Fiziksel Ajanlar Direktifi (Titreşim)' nin altında, tüm vücut titreşimi maruziyet ihtimali olacak şekilde çalışanlar için bir risk değerlendirmesi yapılması, işverenin bir görevi olarak yer almaktadır. Bunun için ilk adım, hangi çalışanların maruziyetinin olduğunun belirlenmesidir. Bu çalışanlar şunları içerebilir[2]:

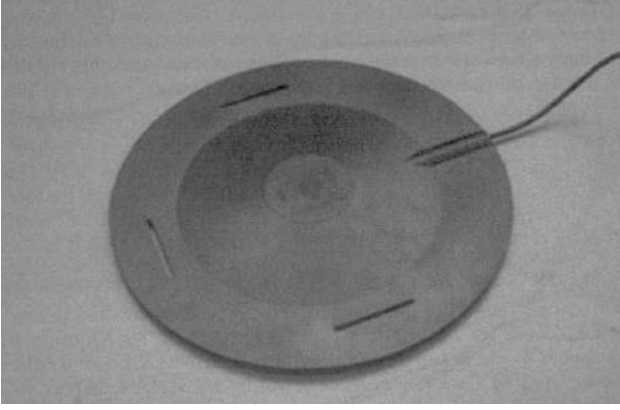
- Görevi, uzun süreli periyotlarda araç kullanımını gerektiren çalışanlar
- Görevi, arazide araç kullanımını gerektiren çalışanlar
- Önemli ölçüde tüm vücut titreşimi olan yerlerde sabit işte çalışanlar.

Etkilenen çalışanlar belirlendikten sonra, ölçüm yapmanın gerekli olup olmadığına karar verilmelidir. Gürültü veya el-kol titreşim maruziyeti değerlendirmesinde ölçüm her zaman gereklidir. Tüm vücut titreşimine maruziyet durumlarının çoğu halka açık yollarda kara yolları araç kullanımı veya daha değişik araçların kullanımı dahil olmak üzere kontrollü koşullarda meydana gelir[2].

Değerlendirme için ilk adım, kullanılan özel araç üzerinde tüm vücut titreşim maruziyeti verilerini toplamaktır. Mevcut bilgiler mümkün olduğunca kullanılan aracın aynı modeline ait olmalıdır. Bu mümkün değilse, test ölçümleri yapılmalıdır[2,14].

Koltuk aracılığıyla vücuda giren titreşimi ölçmek için kullanılan ivme ölçerler, Resim 12'de de görülen, koltukla oturan kişinin kalçasının altına koyulan kauçuk bir diskin içinde yer alır. Disk, karşılıklı olarak dik üç ivme ölçer içerir ve teknik olarak üçlü eksenli koltuk ivme ölçeri adını alır. Üç eksenle aynı anda ölçüm yapmak her zaman gerekirse de cihaz

içinde yer alabilir. Ölçüm için gereken süre el-kol titreşim ölçümü için gereken süreden daha fazladır ve üç eksende ölçüm alabilmek biraz daha zordur[2,14].



Resim 12. Tüm Vücut Titreşim Ölçer Diski

Resim 13'te görüldüğü gibi, koltuk arkılığı için ölçüm yapılacağı zaman, aynı ivme ölçer seti kullanılır, fakat bu durumda eksenler değişebilir.



Resim 13. Tüm Vücut Titreşim Ölçer Diskinin Sırt Ölçümlerinde Kullanılması

İvme ölçer ile zemin arasında mümkün olduğunca sıkı bir bağlantı sağlamak önemlidir. Bunu sağlamak halı kaplı veya esnek bir zeminde oldukça zordur. Zemine ivme ölçer monte ederken dikkat edilmesi gereken bir nokta da ivme ölçere zarar verilmemesi gerektiğidir. Bazen değerlendirmeyi yapan kişi, ölçümleri kontrol etmek ve süreci izlemek için ölçüm yapılan kişinin yanına oturabilir. Daha sıklıkla, cihazın bir yere bağlanması ve daha sonra uzaktan veya ayarlanarak ölçüm alması, veri saklama işlemlerinin otomatik olarak devam etmesi gerekebilir[2,14].

Ölçüm Sonuçları

Diğer işyeri ölçümlerinde olduğu gibi ölçümlerin, kişinin günlük maruziyetinin en iyi şekilde hesaplanmasını sağlayacak kadar uzun olması gerekir. Normal ve istisna çalışma durumları hakkında gerekli bilgi, ölçüm yapılan kişiyle ve bölüm sorumlusuyla konuşarak ve direk gözlemlerle elde edilmelidir[8,14].

Tüm vücut titreşim maruziyeti çoğunlukla normal yollarda veya arazide araç kullanımında meydana gelir. Burada sonuçların tekrar edilebilirliği vardır. Bir çok faktör operatörün maruz kaldığı titreşim seviyesini etkileyebilir. Pratikte, bazı değişkenler diğerlerinden daha önemlidir. Örneğin, makinenin dizaynı, üzerinde kullanıldığı araziden daha önemlidir. Ölçümler genellikle normal iş günü süresinden çok daha kısa sürede olmaktadır. Ölçüm cihazlarının hassas ve pahalı olması, ölçüm yapılan aracın içindeki ve etrafındaki koşulların elverişsiz olması ölçüm süresinin kısa tutulmasının nedenleri olabilir. Koltuk titreşim ölçümlerinde, bazı dağıtım işlerinde olduğu gibi sürücü sıklıkla koltuğa inip biniyorsa sonuçlar yüksek çıkabilir. Bu durumda ivme ölçer, zaman ortalamalı sonucu büyük ölçüde artıracak bir bozukluk ölçecektir, fakat bu sürücünün kendi hareketinden kaynaklandığından sürücüye iletilen titreşimin arttığı anlamına gelmez. Böyle bir problem gözlemlendiğinde zamanlama ve ölçüm kontrollerinin daha dikkatli yapılması gerekir[2,13].

Ölçüm zinciri, ölçüm sırasında maruz kalınan en yüksek şok seviyesini ele alabilecek şekilde olmalıdır. Bazı durumlarda bu, uzun-zamanlı ortalama çok daha büyük olabilir (başka bir deyişle, titreşim sinyali yüksek bir tepe faktörüne sahiptir) ve bu, ölçümün başında belli olmayabilir. Bazı cihazların otomatik-aralıklı kapasiteye sahip olduklarının söylenmesine rağmen, normal olarak ölçüm aralığını bir ölçümün başında - muhtemelen araç hareket etmeden önce- belirleyeceğinden bu cihazların kullanılması çok uygun değildir. Bir ölçüm sırasındaki aralık değişimleri önceki ölçüm bilgisini kaybettirerek o andaki ölçümü baştaki hale getirir. Aşırı yüklenme problemlerinden kaçınmak için ya bir seri kısa ölçüm alınır ya da en azından doğru ölçüm aralığını belirlemek için kısa bir deneme ölçümü ile başlanır[2,14].

Ölçüm Verilerinin Analizi

Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi, ölçüm yapılan üç eksen boyunca titreşim bileşenlerinin ayrı olarak değerlendirilmesini normal uygulama olarak kabul eder. x ve y-

eksenleri boyunca ölçülen değerler, 1.4 faktörü ile çarpılmalıdır. Bazı tüm vücut titreşim maruziyet ölçümleri tam bir çalışma günü boyunca yapılabilir. Titreşim maruziyetinin tüm iş günü içinde yalnızca kısa bir anda meydana geldiği durumlarda veya titreşim koşullarının uzun bir periyot boyunca sabit kaldığı, bu nedenle daha kısa bir ölçüm süresiyle aynı çalışma şartlarının kolaylıkla örneklenebileceği durumlarda tüm iş günü boyunca ölçüm almak gereksiz olabilir[2,14].

ISO 2631:1997’ de rms titreşim büyüklüğüne dayalı bir değerlendirme “Temel Değerlendirme Yöntemi” olarak adlandırılır. Standart, tepe faktörünün 9’ dan büyük olmadığı sürece bu yöntemin uygun olduğunu söyler. Tepe faktörü 9’ dan büyükse önerilen yöntem, bitişik 1 sn periyotlarda rms ivmeyi ölçmektir[2,8].

Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi, çalışanların maruz kaldığı tüm vücut titreşimi için bir değerlendirmenin yapılmasını gerektirir. Elde edilen değerler maruziyet etkin ve sınır değerler ile karşılaştırıldığında maruziyeti olan çalışanlarla ilgili olarak işverenin görevleri belirlenebilir. Bu durumda da işverenin görevleri el-kol titreşim maruziyet durumunda olan görevler ile aynıdır. Bunlar Tablo 11’de özetlenmiştir. Tüm vücut titreşimi maruziyet durumunda, her eksen için A(8) veya titreşim doz değerleri, yatay eksen değerleri 1.4 faktörü ile çarpıldıktan sonra maruziyet etkin ve sınır değerleri ile karşılaştırılır. İlgili işverenin görevleri sadece bir eksen de veya her üç eksen de maruziyet etkin veya sınır değerleri aşıldığında geçerlidir. Hem gürültü hem de el-kol titreşim değerlendirmeleri için, her iki durumda da diğer kaynaklardan kullanıma uygun verilerin elde edilebileceği durumlar olmasına rağmen gerçek veya simule edilmiş çalışma şartları altında ölçüm yapılabilir[2,14].

Tek bir sabit seviyede, basit bir periyot boyunca sekiz saatlik eşdeğer seviyeyi hesaplamak için şu denklem kullanılır[14]:

$$A(8) = a \times \sqrt{\frac{t}{8}} ms^{-2} \quad (10)$$

Denklemdaki A(8), sekiz saatlik eşdeğer seviye; a, ölçülen titreşim seviyesi; t ise saat biriminde maruziyet süresidir.

Denklemin 30’ un daha karmaşık bir hali, bir iş günü boyunca iki farklı seviyede tüm vücut titreşim maruziyeti durumunda (örneğin, iki araç farklı periyotlarda veya bir araç farklı

koşullarda kullanılıyorsa) kullanılabilir. Bu durumlar için Denklem 30' un yeni hali şu şekilde olacaktır[14]:

$$A(\delta) = \sqrt{\frac{a_1^2 \times t_1 + a_2^2 \times t_2 + a_3^2 \times t_3 + \dots}{8}} m s^{-2} \quad (11)$$

Denklemdaki a_1, a_2, \dots her eksen için ölçülen titreşim büyüklükleri ve t_1, t_2, \dots ise saat biriminde olmak üzere uygun maruziyet süreleridir.

TÜRKİYE' DE TİTREŞİM YÖNETMELİĞİ

İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili olarak ülkemizde pek çok yasal düzenleme bulunmaktadır. Anayasanın 50. maddesi kimsenin yaşına, cinsiyetine ve gücüne uygun olmayan işlerde çalıştırılmayacağını, 56. maddesi ise herkesin sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahip olduğunu öngörmektedir. 4857 sayılı İş Kanunu'nun 77-89. maddeleri iş sağlığı ve güvenliği konusuna ayrılmıştır. Borçlar Kanunu, Belediyeler Kanunu, Umumi Hıfzıssıhha Kanunu ve Sosyal Sigortalar Kanunu'nda iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili çeşitli hükümler yer almaktadır. Ayrıca, AB'ye uyum sürecinde, Ulusal Program doğrultusunda, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nda iş sağlığı ve güvenliği konusunda Avrupa Birliği Direktifleri uyumu için çalışmalar, Bakanlar Kurulu'nun, Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Türkiye Ulusal Programının Uygulanması, Koordinasyonu ve İzlenmesine Dair Kararı'nda belirtilen "Tüm kamu kurum ve kuruluşlarının, gerekli çalışmaları Ulusal Program'da yer alan hedefler doğrultusunda ve belirlenen zamanda gerçekleştirmeleri esastır." hükmü gereğince devam etmektedir. Bu bağlamda ilgili AB mevzuatına uyum çerçevesinde yayınlanan yönetmelikler içerisinde Titreşim Yönetmeliği (R.G. 23.12.2003/25325) de yer almaktadır[15].

İşyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin alınması hayati bir önem taşımaktadır. Hizmet sözleşmesi taraflara tanıdığı haklar yanında çeşitli borçları da beraberinde getiren bir özel hukuk sözleşmesidir. Bu bağlamda çalışan işverenin emir ve talimatlarına uymak; buna karşı işveren de Borçlar Kanunu'nun 332. maddesinde "çalışanı işyerinde uğrayabileceği kazalara ve karşılaşılabileceği tehlikelere karşı korumak için gerekli tedbirleri almak, çalışana uygun ve sağlıklı bir çalışma yeri sağlamak zorundadır" hükmü bulunmaktadır[15].

İşveren dar ve teknik anlamda gözetme borcu kapsamında kendi çalışanları kadar, işyerinde başka işverenlerin çalışanlarına karşı da İş Kanunu'nun ikinci maddesinin altıncı fıkrasına göre, alt işveren ile birlikte çalışanlara karşı sorumlu olduğu gibi İş Kanunu'nun yedinci maddesine göre, geçici çalışana karşı da kendisinde çalıştığı süreyle sınırlı olmak üzere gözetme borcundan işvereni ile birlikte sorumlu olup sağlık ve güvenlik risklerine karşı eğitim vermekle de yükümlüdür. Hatta kanunda açıkça belirtildiği gibi çalışan olmayanlara, yani işyerindeki çırak ve stajyerlere karşı da sorumludur[15].

Titreşim Yönetmeliği' nin amacı, çalışanların mekanik titreşime maruz kalmaları sonucu ortaya çıkabilecek sağlık ve güvenlik risklerinden korunmalarını sağlamak için alınması gerekli önlemleri belirlemektir. Bu yönetmelik, 22/5/2003 tarihli ve 4857 sayılı İş Kanunu kapsamına giren ve mekanik titreşime maruz kalma riski bulunan tüm işyerlerinde uygulanır. Bu yönetmelikte belirtilen daha sıkı ve özel önlemler saklı kalmak kaydı ile, titreşime maruz kalma riski bulunan tüm işyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği hükümleri de uygulanır. Titreşim Yönetmeliği, 4857 sayılı İş Kanununun 78 inci maddesine göre düzenlenmiştir. Bu yönetmelikte geçen[16];

a) El-kol titreşimi: İnsanda el–kol sistemine aktarıldığında, işçilerin sağlık ve güvenliği için risk oluşturan ve özellikle de, damar, kemik, eklem, sinir ve kas bozukluklarına yol açan mekanik titreşimi,

b) Bütün vücut titreşimi: Vücudun tümüne aktarıldığında, işçilerin sağlık ve güvenliği için risk oluşturan, özellikle de, bel bölgesinde rahatsızlık ve omurgada travmaya yol açan mekanik titreşimi,

c) Bakanlık: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığını, ifade eder.

Titreşim Yönetmeliği' nde verilen maruziyet sınır değerleri ve maruziyet etkin değerleri[16]:

a) El – kol titreşimi için;

- 1) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri 5 m/s^2 ,
- 2) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet etkin değeri $2,5 \text{ m/s}^2$.

b) Bütün vücut titreşimi için;

- 1) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri $1,15 \text{ m/s}^2$,
- 2) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet etkin değeri $0,5 \text{ m/s}^2$ şeklindedir.

Ülkemizde Titreşim Yönetmeliği gereğince, bir işyerinde, çalışanların maruz kaldığı titreşim düzeyini değerlendirme ve gerekiyorsa ölçüm yaptırma yükümlülüğü işverene aittir. [16].

Titreşim Yönetmeliği'ne göre, çalışanların maruz kaldığı titreşimin önlenmesi ve azaltılması için, titreşime maruziyetten kaynaklanan riskler öncelikle kaynağında yok edilmeli veya en aza indirilmelidir. Yapılan ölçümler sonunda maruziyet etkin değerlerinin aşıldığının

anlaşılması halinde, işveren, titreşim ve neden olduğu risklere maruziyeti en aza indirmek için; titreşim maruziyetini azaltan başka çalışma yöntemleri, yapılacak iş dikkate alınarak mümkün olan en az titreşim oluşturacak uygun ergonomik tasarım ve uygun iş ekipmanı seçimi, titreşimin zarar verme riskini azaltmak için, bütün vücut titreşimini etkili bir biçimde azaltan oturma yerleri ve el-kol sistemine aktarılan titreşimi azaltan el tutma yerleri ve benzeri yardımcı donanım sağlanması, işyeri, işyeri sistemleri ve iş ekipmanları için uygun bakım programları, işyerlerinin ve çalışma yerlerinin tasarımı ve düzeni, çalışanlara, mekanik titreşime maruz kalmayı en aza indirecek şekilde iş ekipmanını doğru ve güvenli bir biçimde kullanmaları için uygun bilgi, eğitim ve talimat verilmesi, maruziyet süresi ve şiddetinin sınırlanması, yeterli dinlenme sürelerini kapsayan uygun çalışma programı, maruz kalan çalışanı soğuktan ve nemden koruyacak giysi sağlanması hususlarını dikkate alarak teknik ve organizasyon önlemleri ile ilgili program yapacak ve uygulayacaktır[16].

Titreşim Yönetmeliği'ne göre, çalışanların maruz kaldığı titreşim büyüklükleri hiçbir zaman belirtilen maruziyet sınır değerlerini aşmamalıdır[16].

İlgili Yönetmeliğe göre, işveren, işyerinde titreşim riskine maruz kalan çalışanların; mekanik titreşimden kaynaklanan riskleri önlemek veya en aza indirmek amacıyla Titreşim Yönetmeliği hükümlerini uygulamak için alınan önlemler, maruziyet sınır değerleri ve maruziyet etkin değerleri, titreşim değerlendirme ve ölçüm sonuçları ve iş ekipmanlarının kullanımından kaynaklanabilecek hasar, hasar belirtilerinin niçin ve nasıl belirleneceği ve bildirileceği, hangi durumlarda çalışanlara sağlık gözetimi uygulanacağı, mekanik titreşime maruziyeti en aza indirecek güvenli çalışma yöntemi konularında bilgilendirilmelerini ve eğitilmelerini sağlayacaktır[16].

Titreşim Yönetmeliği'ne göre, yapılan risk değerlendirmesi sonucunda sağlık riskinin olduğunun anlaşıldığı çalışanlar uygun sağlık gözetimine tabi tutulacaktır. Titreşim maruziyeti sonucu ortaya çıkabilecek sağlık sorunlarının önlenmesi ve erken tanı amacıyla, sağlık gözetimi sonuçları dikkate alınarak, gerekli koruyucu önlemler alınacaktır. Sağlık gözetimi yapılırken; maruz kalınan titreşimin çalışanlarda tanımlanabilir bir hastalık veya sağlığa zararlı bir etkiye neden olduğu tespit edilebildiği durumlar, hastalığın veya etkilenmenin çalışanın özel çalışma koşullarından ortaya çıkması hali, hastalık veya etkilenmenin saptanması için geçerli ve uygun yöntemlerin bulunduğu durumlar gibi hususlar dikkate alınacaktır. Sağlık gözetimi ile ilgili her çalışanın kişisel sağlık kaydı tutulacak ve

güncelleştirilecektir. Sağlık kayıtları, sağlık gözetiminin bir özetini içerecektir. Bu kayıtlar gizlilik esasına uygun olarak ve gerektiğinde incelenebilecek şekilde saklanacaktır. Yetkili makamlarca istendiğinde, kayıtların bir örneği verilecektir. Her çalışan, istediğinde, kendisiyle ilgili kayıtlara ulaşabilecektir[16].

İlgili Yönetmeliğe göre, sağlık gözetimi sonucuna göre bir çalışanda, hekim veya iş sağlığı uzmanı tarafından işteki titreşime maruz kalmanın sonucu olarak değerlendirilen, tanımlanabilir bir hastalık veya olumsuz bir sağlık etkisi saptandığında, çalışan, hekim veya uzman kişi tarafından kendisi ile ilgili sonuçlar hakkında bilgilendirilecektir. Özellikle, maruziyet sonlandıktan sonra yapılacak olan sağlık gözetimi ile ilgili bilgi ve öneri alacaktır. Gizlilik prensibine uyularak, sağlık gözetiminde saptanan önemli bulgular hakkında işveren de bilgilendirilecektir. Yine bu durumda, işveren, riskleri önlemek ve azaltmak için alınan önlemleri gözden geçirmeli, gerekli görülen ve çalışanın riske maruz kalmayacağı başka bir işte görevlendirilmesi de dahil, önlemleri uygularken, uzmanların veya yetkili makamın önerilerini dikkate almalı, maruz kalan başka bir çalışanın sağlık durumunun gözden geçirilmesi ve düzenli sağlık gözetimi yapılması için gerekli düzenlemeyi yapmalıdır[16].

Bir meslek hastalığı nedeni olarak kabul edilen titreşim, meslek hastalıkları listesi içerisinde, Sosyal Sigortalar Sağlık İşlemleri Tüzüğü'nde yer almaktadır. Sosyal Sigortalar Sağlık İşlemleri Tüzüğü'nde meslek hastalıkları, kimyasal maddelerle olan meslek hastalıkları, mesleki deri hastalıkları, pnömokonyozlar ve diğer mesleki solunum sistemi hastalıkları, mesleki bulaşıcı hastalıklar ve fizik etkenlerle olan meslek hastalıkları olmak üzere beş kategoriye ayrılmıştır. Titreşimle ilgili meslek hastalıkları kısmı ilgili tüzüğün E-5 kısmında titreşim sonucu kemik-eklem zararları ve anjinöratik bozukluklar başlığı altında yer almaktadır. İlgili Tüzükte titreşim nedenli meslek hastalıkları için yükümlülük süresi iki yıl olarak verilmiştir [17].

İşverenler, her sigortalı için işyerinin, işyeri tehlike derecesine göre sigorta primine esas kazanç üzerinden en az %1.5, en çok %7 oranında iş kazaları ve meslek hastalıkları sigorta primi öderler. Bu prim sadece işveren hissesidir. Meslek hastalığı ile ilgili kontrol ve tedavilerde herhangi bir prim ödeme yükümlülüğü bulunmamaktadır. Kurum sağlık tesislerinde yapılacak sağlık kontrolünde, sigortalının en az çalışma gücünü %10 oranında kaybettiğinin tespit edilmesi durumunda kendisine sürekli iş göremezlik geliri bağlanır. Çalışana sürekli iş göremezlik geliri bağlandıktan sonra, iş göremezlik durumunun arttığı

iddia edilmesi durumunda kurum sağlık tesisi tarafından yapılacak kontrollerden sonra iş göremezlik derecesinin arttığı tespit edilirse, iş göremezlik derecesine göre iş göremezlik geliri de değişir. Sürekli iş göremezlik durumu, iş göremezlik durumunun derecesine göre sürekli kısmi iş göremezlik ve sürekli tam iş göremezlik olarak ikiye ayrılır. Bu iki kategoride çalışana bağlanan gelirler farklı olacaktır[18].

Meslek hastalığı, sigortalının yaptığı işten kaynaklanan bir hastalık olduğundan çalışanın bu durumu ilk fark ettiği günden itibaren işverene bildirme yükümlülüğü vardır. İş veren, çalışanın meslek hastalığına yakalandığını fark ettiği veya kendisine bildirildiği günden itibaren en geç iki gün içinde vizite kağdı ile birlikte SGK' ya bildirmek durumundadır. Meslek hastalığı nedeniyle kendisine geçici veya sürekli iş göremezlik raporu verilmiş olan sigortalı, doktorun verdiği tavsiyelere uymak zorundadır. Kendisine tavsiye edilen tedaviyi kabul etmek zorundadır. Sigortalı bu ykmllklere uymadığı takdirde, kendisine ödenen iş göremezlik geliri belli oranda düşürülmektedir. Düşürme oranı en fazla %50 olabilir. Sigortalı, tedaviyi kabul etmezse sağlı yardımını yapılmayacağı gibi iş göremezlik deneği de ödenmeyecektir[18,19].

Meslek hastalığı durumunun tespiti halinde işverene ait bir çok yükümlülük kanunlarda belirtilmiştir. Bu yükümlülüklerin yerine getirilmediği durumlarda, işverene para cezası uygulamaları da bulunmaktadır. Bu nedenle, meslek hastalığı riskinin yüksek olduğu iş kollarında işverenler, gerekli iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini almalıdırlar.

Kanuni olarak meslek hastalığı konusunun işverene bir çok yükümlülük getirmesinin yanında istatistiklerde görülen meslek hastalığı sayısının azlığı ne yazık ki, çalışma hayatında her şeyin çok mükemmelen olduğu anlamına gelmemektedir. Türkiye'de meslek hastalıklarına ilişkin düzenli bir veri çalışması olmadığı için, iş yaşamının getirdiği olumsuz etkenlerden doğan hastalıklar meslek hastalığı olarak kayıt altına alınamamaktadır. Tanı ve veri eksikliğinden dolayı istatistiklere bakınca, Avrupa'nın en az meslek hastalığı görülen lkesi Türkiye gibi gözükmektedir. Tezin ilk kısımlarında verildiği gibi, bir çok sağlık sorununa yol açan el-kol veya tüm vücut titreşiminin neden olduğu hiçbir meslek hastalığının gözlenmemesi ile tezin bulgular kısmında verilecek İSGÜM tarafından bir çok farklı faaliyet alanında yapılmış olan titreşim ölçüm sonuçlarının Titreşim Yönetmeliği'nde aşılmaması gereken sınır değerlerin çok üzerinde olması arasından çelişkili bir durum söz konusudur. Buradan ıkarılacak sonuç, ya tüm bilimsel çalışmalardan elde edilen veriler yanlıştır yani

titreşim hiçbir sağlık sorununa neden olmamaktadır ya da titreşimin neden olduğu sağlık sorunları hakkında hiçbir Şey bilinmediği için tanı da konulamamaktadır.

Çalışma hayatında kaçınılmaz olarak karşılaşılan titreşimin neden olduğu sağlık sorunları, maruziyetten itibaren hemen görülmeye başlamadığından dolayı titreşime tehlikeli bir fiziksel faktör gözüyle bakılmamaktadır. İlk el-kol titreşim maruziyetinden itibaren ilk semptomlar ortaya çıkana kadar geçen sreye latens adı verilir. Farklı işkollarında maruz kalınabilecek el-kol titreşim maruziyeti nedeniyle oluşabilecek beyaz parmak durumunun gözlenebilmesi için geçen srelere ait bazı veriler Tablo 14' te verilmektedir[20].

Tablo 14. İlk el-kol titreşim maruziyetinden ilk semptomlar ortaya çıkana kadar geçen süre(latens)

Kaynak: Endüstride El-kol Titreşiminin Etkileri, A. J. Brammer, 1982

Farklı meslek alanlarında titreşim nedenli zararların ortaya çıkması için gerekli ortalama latens		
Meslek alanı	Beyaz parmak seviyesi	Latens(yıl)
Dökümhane alışanı	Karıncalanma	1.8
	Hissizlik	2.2
	Beyazlaşma	2.0
Tersane alışanı	Karıncalanma	9.1
	Hissizlik	12.0
	Beyazlaşma	16.8
Zincirli testere operatörü	Hissizlik	4.0
Taşlayıcı	Beyazlaşma	13.7

Tablodan anlaşılacağı gibi titreşimin etkisini çalışanın fark etmesi için uzun yılların geçmesi gerekmektedir. Ancak titreşimin neden olacağı sağlık sorunlarını alınacak önlemler, verilecek eğitimler ve bilinçlendirme çalışmaları ile ortaya çıkmadan önlemek daha insani, ekonomik ve çalışma verimini artırıcıdır.

İSGÜM'DE TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ

İSGÜM'de gürültü, el-kol ve tüm vücut titreşim ölçümleri Resim 14'te görülen Svan 947 ölçüm cihazı kullanılarak yapılır.



Resim 14. Svantek Cihazının El-Kol ve Tüm Vücut Titreşim Ölçümleri için Kullanılması

El-kol titreşim ölçümlerinde “ISO 5349-1:2001-Mechanical Vibration-Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration” ve tüm vücut titreşim ölçümlerinde “ISO 2631-1:1997-Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration” standardı kullanılır. İşyerlerinden gelen talep doğrultusunda gerekli ölçüm cihazları ile işyerlerine gidilip uzman ve teknik personelin gözlemleri sonunda gerekli görülen noktalarda titreşim ölçümleri yapılır.

El-kol titreşim ölçümleri yapılırken, kullanılan ölçüm cihazının ivme ölçer kısmı, çalışanın titreşimli aleti kullandığı elin parmakları arasına, standartlarda ve İSGÜM'de titreşim ölçümleri için yazılan talimatlarda el-kol titreşim ölçümleri için belirtilen ölçüm eksenlerinin yönelimine dikkat edilerek yerleştirilir. Çalışan kişi titreşimli aleti her iki eliyle birlikte kullanıyorsa, bu durumda, ölçümler her iki el için de yapılır. Ölçüm sonuçlarını içeren

raporda her iki el için elde edilen sonuçlar verilir, ancak, değerlendirmeler yüksek çıkan değere göre yapılır.

Tüm vücut titreşim ölçümleri yapılırken, kullanılan ölçüm cihazının ivme ölçer kısmının yerleştirilme yeri, çalışan kişinin bulunduğu konuma göre değişir. Çalışan kişi eğer titreşimli bir zeminde ayakta durarak çalışıyorsa, ölçüm cihazına ait ivme ölçer kısmın içinde bulunduğu kauçuk disk, çalışan kişinin ayağının altına koyulur. Diskin yerleştirilmesi sırasında yine standart ve talimatlarda belirtilen eksen yönelimlerine dikkat edilir. Çalışan kişinin titreşim maruziyeti oturduğu koltuktan kaynaklanıyorsa yani kişi titreşimli yüzeyde oturarak çalışıyorsa, bu durumda ölçüm cihazına ait disk, çalışan kişinin kalçasının altına koyulur. Ölçüm sonuçlarının değerlendirildiği raporda, tüm vücut titreşim değerlerine ait veriler her üç eksen için ayrı ayrı değerlendirilir.

Gerekli süreler boyunca yapılan ölçümler sonucu elde edilen sonuçlar, 23 Aralık 2003 tarihli ve 25325 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Titreşim Yönetmeliği’nde belirtildiği şekilde değerlendirilir. Titreşim ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde temel alınan Titreşim Yönetmeliği’ ne göre el-kol ve tüm vücut titreşimleri için etkin ve sınır değerler şu şekildedir[16]:

a) El – kol titreşimi için;

- 1) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri 5 m/s^2
- 2) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet etkin değeri $2,5 \text{ m/s}^2$

b) Bütün vücut titreşimi için;

- 1) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri $1,15 \text{ m/s}^2$
- 2) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet etkin değeri $0,5 \text{ m/s}^2$.

Ölçüm sonuçlarını değerlendirmek ve işyerine verilmek üzere İSGÜM tarafından ölçümleri yapmış olan uzman veya teknik personel tarafından düzenlenen raporda, maruziyet ölçümü yapılan çalışanların adları, bu çalışanların kullandıkları titreşimli aletlerin adları, maruz kaldıkları titreşim çeşitleri, el-kol veya tüm vücut titreşimine maruz kaldıkları süre, titreşimli aleti veya taşıtı bir iş günü içerisinde ne kadar süre ile kullandıkları, her üç titreşim ekseninde elde edilen titreşim ivme büyüklükleri ve sekiz saatlik maruziyet eşdeğeri A(8) gibi bilgiler bulunur.

Hazırlanan raporda sonuçların, Titreşim Yönetmeliği'nde belirtilen maruziyet etkin ve sınır değerleri aşıp aşmadığı yorumlanır. Bu değerlerin aşılması durumunda, el-kol veya tüm vücut titreşim maruziyetinin azaltılması için tavsiyeler de rapor içerisinde verilebilir.

GEREÇ ve YÖNTEMLER

Bu çalışma; Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü (İSGGM) İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü bünyesinde, 11.6.2004 tarihli ve 25489 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren, İSGGM İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcılığı ve Uzmanlığa Atama, Görev ve Çalışma Yönetmeliği’ne göre hazırlanmıştır.

Titreşim ve şoklar günlük hayatın her alanında mevcuttur. Titreşim ve şoklar, motorlar, türbinler, enerji ile çalışan aletler, köprüler, binalar vs. tarafından üretilip insan vücuduna aktarılabilir. Özellikle, insanoğlunun endüstriyel amaçlı, makineleri ve motorları kullanmaya başlamasından itibaren titreşim konusu her yönü ile (iletimi, ölçümü, azaltılması, izolasyonu vs.) mühendislerin ilgilendiği bir alan olmuştur. Titreşim izolasyonunun ve azaltılmasının makine tasarımının bir parçası olmaya başlaması ile birlikte, mekanik titreşimin doğru ölçüm ve analizine olan ihtiyaç iyice belirgin hale gelmiştir.

Titreşim bir denge noktası etrafında gerçekleşen bir osilasyon hareketidir. Bu hareket düzenli veya rastgele olabilir. Titreşimin sağlık etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi için titreşen yapılardan kaynaklanan basınç dalgalarının tam olarak ölçülmesi gerekir.

Yapılan araştırmanın temelini, kitap, makale, dergi ve internet gibi kaynaklardan bulunan bilgi ve veriler ile İSGÜM ölçüm ve analiz rapor kayıtları oluşturmakta olup bu kaynaklar tezin ilgili bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir. Tezde öncelikle, iş yaşamında karşılaşılan titreşim ve çeşitleri, oluşturdukları sağlık ve güvenlik riskleri ile korunma yöntemleri anlatılmış daha sonra da İSGÜM’ün 2007–2009 yılları arasında yaptığı ölçüm ve analiz sonuçlarının Titreşim Yönetmeliği’nde verilen titreşim maruziyeti sınır değerlerine göre, en fazla titreşim maruziyetinin olduğu iş kolları ve alet çeşitleri verilmiştir.

BULGULAR

İSGÜM'ün 2007–2009 yılları arasında iş yerlerinde; iş müfettişlerinin önerileri ya da işyerlerinin talebi ve Titreşim Yönetmeliği gereği yapılan titreşim ölçüm ve analiz sonuçlarının tespiti için İSGÜM'de kayıtlı rapor dosyaları ayrıntılı olarak incelenmiş ve gerek mevzuatımızda gerekse uluslararası geçerliliği olan kuruluşlarda belirtilen sınır değerlerin üzerinde ve sınır değerlere yakın olan noktaların, ait oldukları iş yerleri tespit edilmiştir. Bu ölçümlere ait veriler, Tablo 15'de özetlenmiştir.

Tablo 15. 2007-2009 yılları Arasında İSGÜM Tarafından Yapılan Titreşim Ölçümleri

Linyit işletmeciliği 1 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Elektrikli Ekskavatör	Yükleme	0.62	2.5	5.0
Hidrolik Ekskavatör	Yükleme	0.75	2.5	5.0
D 8659 Paletli Dozer	Harmanlama	1.67	2.5	5.0
Draglin	Aktarma	0.45	2.5	5.0

Linyit işletmeciliği 1 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Elek	Boyutlandırma	1.47	0.5	1.15
Man tablo	Kumanda odası	0.15	0.5	1.15
Elle ayıklama	Ayıklama	0.15	0.5	1.15
Parça bandı	Tasnif	0.15	0.5	1.15
Hidrolik ekskavatör	Yükleme	2.24	0.5	1.15
277 yükleyici	Yükleme	3.22	0.5	1.15
124 Vatko kamyon	Nakliye	2.92	0.5	1.15
Elektrikli ekskavatör	Yükleme	2.67	0.5	1.15
D8 paletli dozer	Tesviye	2.92	0.5	1.15
Draglin	Aktarma	0.87	0.5	1.15

Linyit İşletmeciliği2 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Marangozhane	Kesme	0.92	2.5	5.0
Planya	Yüzey işleme	1.73	2.5	5.0
Havalı tabanca	Bijon sökme-takma	2.60	2.5	5.0
Draglin	Harmanlama	0.68	2.5	5.0
Delme makinesi	Delik delme	1.69	2.5	5.0
Elektrikli ekskavatör	Yükleme	1.60	2.5	5.0
Dozer	Tesviye	2.58	2.5	5.0
Greyder	Tesviye	2.07	2.5	5.0
Toprak kamyonu	Nakliye	1.56	2.5	5.0
Kömür kamyonu	Nakliye	1.53	2.5	5.0

Linyit İşletmeciliği2 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Draglin	Harmanlama	1.60	0.5	1.15
Delme makinesi	Delik delme	2.15	0.5	1.15
Elektrikli ekskavatör	Yükleme	2.90	0.5	1.15
Dozer	Yükleme	2.38	0.5	1.15
Greyder	Tesviye	2.80	0.5	1.15
Toprak kamyonu	Nakliye	1.94	0.5	1.15
Kömür kamyonu	Nakliye	2.42	0.5	1.15

Linyit İşletmeciliği3 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Delme makinesi	Delik delme	0.32	2.5	5.0
Elektrikli ekskavatör	Yükleme	1.19	2.5	5.0
Toprak kamyonu	Nakliye	1.89	2.5	5.0
Torna tezgahı	Talaşlı imalat	1.03	2.5	5.0
Radyal matkap	Delme işi	0.39	2.5	5.0

El spirali	Taşlama	2.92	2.5	5.0
Daire testere	Kesme	1.55	2.5	5.0
Forklift	Taşıma	0.84	2.5	5.0
Mobil vinç	İletme-kaldırma	0.27	2.5	5.0
Riperli dozer	Yükleme	1.50	2.5	5.0
Kömür kamyonu	Nakliye	1.91	2.5	5.0
Lastik tekerli yükleyici	Yükleme	2.66	2.5	5.0
Ters kepçe	Yükleme	0.72	2.5	5.0
Greyder	Tesviye	2.06	2.5	5.0

Linyit İşletmeciliği3 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Delme makinesi	Delik delme	1.55	0.5	1.15
Elektrikli ekskavatör	Yükleme	2.51	0.5	1.15
Toprak kamyonu	Nakliye	2.13	0.5	1.15
Torna tezgahı	Talaşlı imalat	0.60	0.5	1.15
Daire testere	Kesme	0.48	0.5	1.15
Forklift	Taşıma	2.75	0.5	1.15
Mobil vinç	İletme-kaldırma	1.01	0.5	1.15
Riperli dozer	Yükleme	2.10	0.5	1.15
Kömür kamyonu	Nakliye	2.67	0.5	1.15
Lastik tekerli yükleyici	Yükleme	1.48	0.5	1.15
Ters kepçe	Yükleme	2.47	0.5	1.15
Greyder	Tesviye	2.13	0.5	1.15

Linyit İşletmeciliği4 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Hidrolik ekskavatör	Yükleme	1.13	2.5	5.0
Greyder	Yükleme	2.15	2.5	5.0
BMC Fatih kamyon	Nakliye	2.94	2.5	5.0
Mercedes kamyon	Nakliye	3.00	2.5	5.0
Ford kamyon	Nakliye	2.98	2.5	5.0
Paletli dozer	Taşıma	1.38	2.5	5.0

Linyit İşletmeciliği4 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Hidrolik ekskavatör	Yükleme	1.96	0.5	1.15
Greyder	Yükleme	2.88	0.5	1.15
BMC Fatih kamyon	Nakliye	3.08	0.5	1.15
Mercedes kamyon	Nakliye	3.10	0.5	1.15
Ford kamyon	Nakliye	2.52	0.5	1.15
Paletli dozer	Taşıma		0.5	1.15
Lastikli kepçe	Yükleme	2.66	0.5	1.15

Linyit İşletmeciliği5 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Marion ekskavatör	Yükleme	2.42	2.5	5.0
777 CAD kamyon	Nakliye	1.72	2.5	5.0
16 H greyder	Tesviye	1.68	2.5	5.0
D 253 Komatsu dozer	Tesviye	3.47	2.5	5.0
PH ekskavatör	Yükleme	0.85	2.5	5.0
CAD lastikli yükleyici	Yükleme	1.15	2.5	5.0
Lastik atölyesi	Sökme-takma	2.01	2.5	5.0

Linyit İşletmeciliği5 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Marion ekskavatör	Yükleme	1.82	0.5	1.15
777 CAD kamyon	Nakliye	1.82	0.5	1.15
16 H greyder	Tesviye	2.67	0.5	1.15
D 253 Komatsu dozer	Tesviye	2.39	0.5	1.15
PH ekskavatör	Yükleme	2.30	0.5	1.15
CAD lastikli yükleyici	Yükleme	2.55	0.5	1.15

Linyit İşletmeciliği6 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Marion eskavatör	Yükleme	2.04	2.5	5.0
785 Komatsu kepçe	Nakliye	1.31	2.5	5.0
Delik makinesi	Delik delme	0.96	2.5	5.0
Hitachi 907 eskavatör	Yükleme	0.74	2.5	5.0
Komatsu dozer	Düzeltilme	2.20	2.5	5.0
CAD greyder	Tesviye	2.23	2.5	5.0
RC 1100 Comatsu eskavatör	Yükleme	0.45	2.5	5.0
Hava tabancası	Bijon sökme	2.55	2.5	5.0

Linyit İşletmeciliği6 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Marion eskavatör	Yükleme	2.42	0.5	1.15
785 Komatsu kepçe	Nakliye	1.45	0.5	1.15
Delik makinesi	Delik delme	2.77	0.5	1.15
Hitachi 907 eskavatör	Yükleme	1.38	0.5	1.15
Komatsu dozer	Düzeltilme	1.82	0.5	1.15
CAD greyder	Tesviye	1.93	0.5	1.15
RC 1100 Comatsu eskavatör	Yükleme	1.60	0.5	1.15

Gemi İnşaatı1 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Römorkör hangar bölümü	Spiral taşlama	14.12	2.5	5.0

Gemi İnşaatı1 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Forklift	Nakliye	4.50	0.5	1.15

Gemi İnşaatı2 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Açık alan	Spiral taşlama	1.63	2.5	5.0

Gemi İnşaatı2 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Forklift	Nakliye	2.07	0.5	1.15

Gemi İnşaatı3 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Açık alan	Spiral taşlama	4.51	2.5	5.0

Gemi İnşaatı3 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Forklift	Nakliye	3.70	0.5	1.15

Gemi İnşaatı4 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Açık alan	Spiral taşlama	3.84	2.5	5.0

Gemi İnşaatı4 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Forklift	Nakliye	3.96	0.5	1.15

Gemi İnşaatı5 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Açık alan	Spiral taşlama	4.43	2.5	5.0

Gemi İnşaatı6 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Açık alan	Spiral taşlama	12.49	2.5	5.0

Gemi İnşaatı7 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Açık alan	Spiral taşlama	2.27	2.5	5.0

Gemi İnşaatı7 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Forklift	Nakliye	3.08	0.5	1.15

Alçı ve Blok Sanayi (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Çalışma sahası	Üst torbalama	3.30	0.5	1.15
Forklift	Nakliye	5.23	0.5	1.15

İnşaat Sanayi1 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Çalışma sahası	Parke silistre	4.02	2.5	5.0
Çalışma sahası	Hilti ile kırım	4.98	2.5	5.0

Şeker Sanayi (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Türbin dairesi	Genel	0.66	0.5	1.15
Santrifüj katı	Genel	1.04	0.5	1.15

Otomotiv Sanayi1 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Çalışma sahası	Havalı tornavida işi	2.46	2.5	5.0

Otomotiv Sanayi1 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Forklift	Nakliye	0.38	0.5	1.15

Otomotiv Sanayi2 (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Çalışma sahası	Havalı tornavida işi	1.25	2.5	5.0

Otomotiv Sanayi2 (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Forklift	Nakliye	0.28	0.5	1.15

Cam Sanayi (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
İmalat hattı	Genel	3.72	0.5	1.15
İmalat hattı	Genel	3.94	0.5	1.15

Patlayıcı Madde Sanayi (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Çalışma sahası	Kamyon sürme işi	0.45	2.5	5.0

Patlayıcı Madde Sanayi (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Çalışma sahası	Kamyon sürme işi	1.12	0.5	1.15
Çalışma sahası	Kamyon sürme işi	1.87	0.5	1.15

Hırdavat Sanayi (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Parmak motoru	Havalı taşlama	2.29	2.5	5.0
Kesme taşı hava motoru	Havalı taşlama	3.87	2.5	5.0
Armut motoru	Havalı taşlama	2.77	2.5	5.0

Metal Sanayi (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet SınırDeğeri (m/sn ²)
Ocak	Yükleme sarsağı	0.29	0.5	1.15
Kalıplama hattı	Sarsak	0.24	0.5	1.15
Çalışma sahası	Modelleme	0.18	0.5	1.15

Çimento Sanayi (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Paketleme kantar katı	Kantar işi	3.48	0.5	1.15
Değirmen kumanda odası	Değirmen kumanda kontrolü	3.19	0.5	1.15

Demiryolları Yol Mekanik Atölyesi (El-Kol Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Çalışma sahası	Kırma	5.3	2.5	5.0

Demiryolları Yol Mekanik Atölyesi (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Yol mekanik atölyesi	Genel	0.28	0.5	1.15
Makineler bölümü	Genel	0.24	0.5	1.15

Elektrik Sanayi (Tüm Vücut Titreşim Ölçüm Sonuçları)				
Ölçüm Yeri	Yapılan İş	Günlük Titreşim Maruziyet Değeri A(8) (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Etkin Değeri (m/sn ²)	Günlük Maruziyet Sınır Değeri (m/sn ²)
Çalışma sahası	Kepçe işi	0.74	0.5	1.15
Forklift	Nakliye	1.02	0.5	1.15

TARTIŞMA

İSGÜM'ün 2007-2009 yılları arasında yapmış olduğu titreşim ölçüm sonuçları ölçümlerin yapıldığı çalışma alanına, ölçüm yapılan alet veya prosese göre Tablo 15'te verilmiştir. Sonuçlara göre, yapılan 67 adet el-kol titreşim ölçümünden 16 adedi sekiz saatlik maruziyet etkin değerinin, üç adedi de sekiz saatlik maruziyet sınır değerinin üzerindedir. Yapılan 73 adet tüm vücut titreşim ölçümünden sekiz adedi sekiz saatlik maruziyet etkin değerinin, 53 adedi de sekiz saatlik maruziyet sınır değerinin üzerindedir. İSGÜM el-kol titreşim ölçüm sonuçlarına göre, ölçüm yapılan işyerlerinin %28'inde Titreşim Yönetmeliği'nde verilen sekiz saatlik maruziyet etkin değeri, %4.5'inde de sekiz saatlik maruziyet sınır değeri aşılmaktadır. İSGÜM tüm vücut titreşim ölçüm sonuçlarına göre, ölçüm yapılan işyerlerinin %83'ünde Titreşim Yönetmeliği'nde verilen sekiz saatlik maruziyet etkin değeri, %73'ünde de sekiz saatlik maruziyet sınır değeri aşılmaktadır. Maruziyet etkin ve sınır değerlerin üzerinde titreşim büyüklüklerinde çalışan kişilerde titreşim nedeni görülen hastalıklar uzun yıllar içerisinde ortaya çıktıklarından titreşim maruziyetinin yüksek olması durumuna önemli bir durum gözüyle bakılmamaktadır.

Çalışanların titreşim maruziyetini kontrol etmek için önlemler almak, çoğunlukla pahalı bir işlemdir. Riskleri kontrol etmekteki aksaklıklar da çok pahalı sonuçlar doğurabilir. Riskleri azaltmak için faaliyette bulunmanın maliyetinin anlık, açık ve kolaylıkla ölçülebilir olması bazen problem olmaktadır. Titreşim maruziyetini azaltmak için herhangi bir faaliyet göstermemenin olası maliyeti daha uzak ve daha az kesindir. Özel veya kamu sektöründe çalışma durumuna göre, mali işlerden sorumlu kişinin, çalışılan kurumun mali konumunu hedef bütçe içerisinde tutturabilmesi için ağır basan hedefleri vardır. Uzun vadede işyerinin finansal durumunu geliştirecek projeler için herhangi bir kaynak sıkıntısı gösterilmez. Örneğin, bir işyerinde, özel bir bölümde el-kol titreşimi bakımından bir problemin olduğu tespit edilmiş olsun. Bu bölümde kullanılan aletler, çalışanları yüksek seviyede titreşime maruz bırakmaktadır ve eğer kullanılan bu aletler değiştirilirse çalışanların el-kol titreşim maruziyetleri de önemli ölçüde azalacaktır. Aletlerin değiştirilmesi aynı zamanda, işyeri üretiminde küçük bir artışa da neden olacaktır. Kullanılan aletlerin daha birkaç yıllık kullanım süreleri olmasına rağmen, değiştirilmeleri için belli bir bütçe gerekecektir. Anlık maliyet ve kazanımlar kolaylıkla belirlenir ve kısa vadeli maliyet, bunlara eklenebilir. Daha uzun vadede, olacaklar daha az belirgindir. Eğer hiçbir önlem alınmazsa, işyerinde bir grup çalışanda

HAVS semptomları gelişecektir. Bu durumda muhtemelen, çalışanların hastalıkları için daha fazla zaman harcanacak ve çalışanların bir kısmı işlerini devam ettiremeyeceklerdir. Bundan birkaç yıl sonra, çalışanlar sağlık durumlarının tazmini için işyerlerine dava açabileceklerdir. Titreşim nedeniyle zarar gören çalışanların bazı talepleri olacaktır. HAVS bildirilmesi gereken bir hastalıktır. Bu durumun ortaya çıkmasından sonra işyerinin, çalışanlar ve yasal kurumlar tarafından talep edilen durumları karşılamaının kaçınılmaz bir maliyeti olacaktır ve bu maliyeti belirlemek kolay değildir. Ancak işverenin titreşim maruziyetine gereken dikkati göstermesi ile HAVS semptomlarının ilerlemesi yavaşlatılabilir[2].

Titreşim maruziyeti için bir risk yönetim programı düzenlenirken, öncelikli olarak mevcut çeşitli kontrol önlemlerinin, bunların olası etkinliklerinin ve maliyetlerinin belirlenmesi gerekir. Bu durumda, mühendislik kontrollerinin, sağlık gözetimleri için değiştirilmiş yönetim prosedürlerinin ve düzenlemelerinin değişik kombinasyonlarından oluşan farklı hareket tarzları izlenebilir. Eklenen her bir durumun maliyet hesabı ve kazanımları belirlenmelidir. Bazı tutarlar ve kazanımlar, finansal terimler cinsinden tanımlanabilir, ancak, diğerlerini belirlemek biraz daha zordur. Örneğin, çalışanlarının sağlığı konusunda önlemler alan ve çalışanlarında görülen hastalık oranı diğer işyerlerine göre daha az olan bir işyerinin daha iyi endüstriyel ilişkilerinin olması olası bir durumdur. İşyerinin sahip olduğu bu özellikler sırayla, işyerinin itibarının artmasını ve gelecek zaman içerisinde kazanımlarının çoğalmasını sağlayacaktır[2].

İSGÜM'ün 2007-2009 yılları arasında yaptığı titreşim ölçüm sonuçlarına bakıldığında, yaklaşık olarak ölçüm yapılan tüm işyerlerinde, titreşime ait sınır değerlerinin aşıldığı görülmektedir. Oysa SGK İstatistikleri'ne bakıldığında titreşim nedeni hiçbir meslek hastalığı rapor edilmemiştir. Meslek hastalığı türleri olarak incelendiğinde de Türkiye'de en büyük bölümün kurşun zehirlenmesi ve pnömokonyozlar olduğu, mesleki deri hastalıklarının ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının hemen hiç bulunmadığı görülmektedir. Türkiye'de bu durumun nedeni, meslek hastalığı olgularının yeterince saptanmaması olduğu düşünülebilir. Örneğin, 2007 yılında bildiri yapılan 1208 meslek hastalığı olgusunun 63'ü nitroz gazları, 15'i fosfor ve anorganik fosfor bileşikleri, 54'ü kurşun ve kurşun tozları ve 1000 tanesi ise silikoz ve silikotüberküloz nedeniyle gerçekleşmiştir. Bu verilere göre, meslek hastalıkları sadece bazı işkollarında görülmektedir. Türkiye'deki meslek hastalığı sayısındaki aşırı düşüklük ve meslek hastalıklarının sadece belli işkollarında meydana geliyor olması nedeniyle meslek hastalıklarının tanı konulması süreci yeniden değerlendirilmelidir.

Türkiye’de meslek hastalıkları tanısının konulması, tedavinin düzenlenmesi ve rehabilitasyonunun sağlanması çok sorunlu bir alandır.

İSGÜM’ün titreşim ölçümü yaptığı işyerlerinin faaliyet alanlarına bakılarak ve yapılan işler incelenerek ülkemizde özellikle hangi alanlarda titreşimin önemli bir fiziksel risk faktörü olduğu belirlenmelidir. Yapılan tespitler sonucunda belirlenen işkollarında, titreşim maruziyetini azaltmak için, tez çalışmasının ilgili kısımlarında verilen maruziyeti azaltmaya yönelik önlemlerden hangilerinin uygun olduğuna karar verilerek uygulamaya geçilmelidir. Bunların sağlanabilmesi için öncelikle, işveren ve çalışanların gerekli iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini almaları, işverenlerin daha duyarlı hale gelmeleri ve çalışanların da kendilerini ilgilendiren konularda bilinçlenerek gerekli mercilere veya kişilere başvurabilecek şekilde eğitilmeleri gerekmektedir. Titreşimin sağlık etkileri konusunda işyerinde bulunan iş güvenliği mühendisleri ve işyeri hekimleri iş birliği halinde çalışmalı, hekimlere yapılan işin niteliği hakkında bilgi verilmeli, kanunen yapılması gereken işyeri ölçüm sonuçları hekimlerle birlikte değerlendirilmeli, gerekli muayenelerin yapılması sağlanmalıdır. Bu şekilde, ölçüm sonuçlarının yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin üzerinde çıkması durumunda önlemler zamanında alınarak titreşim nedenli bir çok sağlık sorununun önüne geçilecek, iş gücü kayıpları azalacak, iş verimi artacak, meslek hastalığı durumunda tespit yapılabilecek ve titreşimin neden olduğu meslek hastalıkları alanında SGK istatistikleri bir miktar da olsa düzelebilecektir.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma hayatı söz konusu olduğunda, çalışan kişinin sağlığını etkileyen pek çok faktör vardır. Bunlar; fiziksel faktörler, kimyasal faktörler, tozlar, biyolojik faktörler, ergonomik koşullar ve psiko-sosyal koşullar olmak üzere sınıflandırılabilirler. Çalışma hayatında maruz kalınan titreşim, bu faktörler içerisinde fiziksel faktörler başlığı altında yer alır. Titreşim, yapılan işin çeşidine göre, insan vücudunda el-kol bölgesini etkileyebileceği gibi tüm vücudu da etkileyebilir. Titreşimin sağlık etkileri, maruz kalınan titreşimin büyüklüğü, süresi, frekansı, maruziyetin gün içerisindeki ve toplam çalışma hayatı içerisindeki süresi vb. gibi faktörlere bağlıdır[20,21].

Çalışma hayatında yapılan işe göre maruz kalınan el-kol ve tüm vücut titreşiminin farklı sağlık etkileri vardır. İmalat sanayinde (metal işleyen darbeli aletler, matkaplar veya döner çalışan diğer alet ve anahtarlar), taş ocağı, madencilik, yol ve yapı işlerinde (kaya deliciler, kaya parçalayıcılar, yol kırıcılar, beton kırıcılar), tarım ve ormancılık alanında (zincirli ve fırça testere, ağaç kabuğu makineleri), sürekli motosiklet kullanıcılarında (trafik polisi) ve ev aletlerinin normal kullanımında (delici çekici, el matkapları) el-kol titreşimine mesleki veya özel maruziyet görülebilmektedir. El-kol titreşimine aşırı maruziyet, kan damarları, sinirler, kaslar, kemik ve eklemlerde (maruz kalan eklemlerde) bozukluklara yol açabilir. El-kol titreşimine maruziyetten kaynaklanan bulgular, HAVS başlığı altında toplanmaktadır. HAVS başlığı altında vasküler bozukluklar, periferik nörolojik bozukluklar, kemik ve eklem bozuklukları, kas bozuklukları ve diğer bozukluklar bulunur[21,22].

Tüm vücut titreşimine maruziyet ise, titreşimli bir yüzeyde yatma, ayakta durma veya oturma pozisyonunda bulunulduğunda, bazı makinelerin yanında çalışıldığında, iş makinesi kullanan kişilerde veya taşımanın bütün çeşitlerinde gerçekleşebilir. Tüm vücut titreşim maruziyeti, çalışan kişinin çalışma konforunu ve çalışma performansını olumsuz etkiler. Tüm vücut titreşimi sonucunda öncelikle, omurganın travmaya uğraması nedeniyle omurgada dejeneratif değişiklikler meydana gelir. Tüm vücut titreşiminin çok görülen bir özelliği de, ağır bir yük kaldırma sonucu oluşan bel ağrısı ve lomber dejenerasyonların artmasıdır. Benzer olarak, otomobil, kamyon, traktör, helikopter, uçak, gemi kullanıcılarının intervertebral disklerindeki kaymanın tüm vücut titreşiminin etkisine bağlı olarak geliştiği ifade edilmiştir[14,23].

Titreşim maruziyeti çok çeşitli ve ciddi sağlık sorunlarına neden olduğu için, hangi iş kollarının ve kullanılan aletlerin titreşime maruziyet riski taşıdığı, titreşime maruziyet sonucu oluşan HAVS veya beyaz parmak sendromunun semptomları ve tanı kriterlerinin işyeri hekimleri tarafından çok iyi bilinmesi ve uygulanması, el-kol dolaşım kusuru olan çalışanın latens döneminde veya daha önce tanı almasını ve böylece geri dönülmez hasarlar oluşmasını önlemede çok önemlidir[9].

HAVS durumundan çalışanların korunmasında ortak fikir, önlemeye yönelmektir. Hastalık, Stockholm Çalıştayı'nda belirtilen Aşama 2'nin ilerisine geçtiğinde artık iyileştirici çalışmalar çok etkili değildir. HAVS'ın gelişimi dozla ilişkili olduğundan etkili kontrol mekanizmaları aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir[9]:

El-Kol Titreşim Maruziyetini Azaltmak İçin Kullanılabilecek Yöntemler

HAVS, geniş bir ivme seviyesi aralığında el ve kollara titreşim enerjisi ileten titreşimli alet kullanan çalışanlarda gözlenmektedir. Titreşimli alet tarafından üretilen titreşim seviyesi kullanılan alet çeşidi ve ağırlığı, çalışma hızı, kullanılan aletin ergonomisi, çevresel koşullar, kullanılan anti-titreşim malzemeleri gibi bir çok faktörden etkilenir. Bu nedenle, NIOSH, her tip titreşimli aletten el-kol sistemine aktarılan titreşim maruziyetinin neden olduğu HAVS durumunun ilerleme riskini ortadan kaldırmak için belirli bir sayısal limit veremez. NIOSH'un verdiği tavsiyeler, titreşim maruziyetinin mümkün en az ivme seviyesinde ve maruziyet süresinde olmasını sağlamak içindir[2,9].

Epidemiyolojik ve klinik kanıtlar, ivme maruziyet dozu ile (ivme seviyesi ve maruz kalınan yıl sayısı) HAVS başlangıcı ve ciddiyeti arasında lineer bir ilişkinin olduğunu desteklemektedir. Titreşimli alet tarafından üretilen titreşim seviyesi hakkında veriler, HAVS durumunu mümkün en erken safhada tespit etmek ve önlemek için alet ve çalışma şekli tasarlanmasında gereklidir[9].

Etkili bir kontrol prosedürü, çalışanların maruz kaldığı tehlikenin derecesine ilişkin objektif verileri gerektirir. Titreşimli alet kullanımı durumunda ihtiyaç duyulan veriler, üçlü koordinat sisteminde ölçülen m/sn^2 biriminden titreşim ivme değeri ve kullanılan titreşimli aletin bir iş günü içinde tam olarak ne kadar süre ile kullanıldığıdır[9,10].

El-kol titreşiminin ölçülebilen bileşenleri, ivme, frekans ve maruziyet süresidir. Titreşimle ilgili ivme ve frekans ölçüm ve analizleri eğitimli kişiler tarafından yapılmalıdır. Her alet için titreşimle ilgili karakteristikler olan ivme ve frekans spektrumu ölçümleri, alet ilk kullanıldığı anda başlamalı ve düzenli aralıklarla tekrarlanmalıdır. Titreşim ölçümleri, alet tam güç çalışırken gerçek koşullarda veya gerçek koşullara en yakın simüle edilmiş durumda yapılmalıdır. Ortalama günlük titreşim maruziyet değerini hesaplamakta kullanılan günlük titreşim maruziyet süresi, bir iş günü içinde gerçek çalışma şartları altında belirlenmelidir[9,10].

Tıbbi İzleme

Genel

Bu konuda işverene ait görevler şunlardır[9]:

- 1) İşveren, titreşimli alet kullanımından kaynaklanan el-kol titreşim maruziyeti olan her çalışan için bir sağlık izleme programı sağlamalıdır.
- 2) İşveren, mesleki sağlık problemleri konusunda özel bir eğitimi olan doktor tarafından veya bu doktorun yönetiminde tüm tıbbi inceleme ve prosedürleri sağlamalıdır.
- 3) İşveren veya doktor, çalışanları, sigara içmenin titreşimli alet kullanımından kaynaklanan el-kol titreşim maruziyetinin neden olduğu zararları artırma ihtimalinin olduğu konusunda çalışanları uyarmalı ve çalışanları sigarayı bırakma yönünde teşvik etmelidir.

HAVS önleme ve kontrolünde titreşimli alet kullanarak çalışanların tıbbi gözlemleri en temel yaklaşımdır, ancak HAVS'ın objektif olarak teşhis edilmesinde ve varlığının değerlendirilmesinde belirli bir klinik veya tıbbi test olmadığından bazı zorluklar ile karşılaşılmaktadır. HAVS, adından da anlaşılacağı gibi işaret ve semptomların bir bileşkesidir. Tıbbi izleme programı, periferik vasküler ve nöral faktörlere özel dikkat verilerek işe alınmadan önce yapılan tıbbi tetkikler, erken HAVS durumu ile ilgili olabilecek tepkileri ortaya çıkarmak için yıllık olarak veya daha sık yapılan tetkikler ve erken semptom ve işaretleri rapor etmeleri için çalışanlarla sürekli bağlantı konularını içermelidir. Mevcut işaret ve semptomlar ne olursa olsun, HAVS durumunun tanısı için çalışanın mesleki olarak titreşimli alet kullanımına ait geçmişi tam incelenmeden bir karara varılamaz [2,9].

İş Öncesi Tıbbi İncelemeler

İşyerinde titreşimli alet kullanacak her çalışan için en azından işe alınmadan önce bir tıbbi ön inceleme yapılmalıdır. Çalışanın işe alınmadan önce yapılan tıbbi tetkiklerinin ilk amacı, daha önceki titreşim maruziyetinden kaynaklanan HAVS durumu olan kişilerin, Raynaud hastalığı olan kişilerin, HAVS durumuna benzer işaret ve semptomları olan hastalığı olan kişileri(örneğin, periferel vasküler veya nöral hastalık), periferel vasküler veya nöral etkileri olan tedavi gören veya ilaç kullanan kişileri belirlemek ve daha sonra yapılacak tetkiklerle karşılaştırma yapabilmek için bir veri tabanı oluşturmaktır. İşe alınmadan önce yapılacak tıbbi tetkikler bu noktalara uygun bilgileri sağlayacak şekilde olmalıdır. İşe alınmadan önce yapılacak tetkikler aşağıdaki bilgileri sağlayacak testleri veya soruları içermelidir[9]:

- Periferel nöral durum- hafif tutuş, ağrı, sıcaklık, iki noktanın ayrı algılanabilmesi, derinlik algısı, titreşim algı seviyesi
- Periferel vasküler durum- soğuğa karşı parmaklardaki kan akış yanıtı, soğuk uyarım testi öncesinde, sırasında ve sonrasında standart koşullar altında yürütülen pletismografi (pletismograf aygıtıyla, kan akımı değişikliklerine uğratılmış bir damar bölgesinde meydana gelen hacim değişikliklerinin ya da akciğer kapasitesinin ortaya konulmasında gaz değişikliklerinin yazdırılması)
- Karpal Tünel Sendromu' nun, dirsek ağrısının, el veya kolların iş ile alakalı daha önceden gelen varlığı
- Periferel vasküler veya nöral etkileri olan daha önceki hasarlar
- Öncül Raynaud hastalığı ve geçmişi
- Benzer periferel vasküler veya nöral işaret ve semptomları olan diğer hastalıklar
- Periferel vasküler veya nöral etkileri olan tedavi edici veya diğer ilaçların kullanımı (alkol ve sigara da dahil olmak üzere)
- Titreşimli alet kullanımının güvenliğini etkileyebilecek anatomik anormallikler
- Soğuk hassasiyetinin varlığı ve daha önceden soğuktan zarar görme
- Titreşimli alet kullanımına ait geçmiş (kullanılan alet çeşitleri ve kullanım süreleri de dahil olmak üzere)
- Yaş, cinsiyet, ırk, vücut ağırlığı ve periferel nöral ve vasküler fonksiyon ve soğuk hassasiyetinde görülen farklılıklarla ilgili olabilecek diğer demografik veriler
- Titreşimi hissetme eşiği, tutuş kuvveti ve kas kuvveti ile ilgili ölçümler vb.

Periyodik Tıbbi İncelemeler

Titreşimli alet kullanımı nedeniyle titreşim maruziyeti olan çalışanlar için periyodik tıbbi tetkikler, yıllık olarak veya etkilenmiş çalışanlar için sorumlu hekimin tavsiyeleri doğrultusunda daha sık olarak yapılması sağlanmalıdır. Periyodik tıbbi tetkikler, erken HAVS işaret ve semptomlarını ortaya çıkaracak veya ilerlemenin seviyesini gösterecek testler ve sorulardan oluşmalıdır[9].

Periyodik tıbbi tetkikler şunları içermelidir[9]:

- Çalışanın sağlık şikâyetlerinin gözden geçirilmesi
- İşe alınmadan önce yapılan tıbbi tetkiklerden elde edilen verilerin gözden geçirilmesi ve güncellenmesi
- Periferel vasküler ve nöral fonksiyon ve semptomlara yönelik test ve prosedürlerin tekrar edilmesi
- Periferel vasküler ve nörolojik işaret ve semptomların değerlendirilmesi, dokunma ile hissedilen titreşim test sonuçları, tutuş kuvveti, HAVS durumunun seviye 1 durumundan daha ileri gidip gitmediğine dair müsküloskeletal (hem kas dokusu hem de iskelet sistemi ile ilgili) semptomatolojinin (bir hastalığın belirtilerinin tümü ya da bir bölümü) varlığı

Kontrol uygulamalarının titreşim maruziyeti olan çalışanlara yeterli korumayı sağlaması için sağlık konusunda görevli kişi, işyeri maruziyet verilerini, periyodik tıbbi tetkik sonuçlarını kullanabilmeli ve daha önceki tetkik sonuçlarına göre durumlarında belirgin bir değişiklik olan çalışan veya çalışan grupları ile görüşebilmelidir. Bu aktiviteler düzensiz hissizlik, karıncalanma veya soğğun neden olduğu beyaz parmak, tutuş kuvvetinde veya kas kuvvetinde değişiklik, el, kol ve omuzlarda ağrılar gibi şikâyet konularını içerebilir. Aktiviteler, çalışanlarda aşırı maruziyet olduğu veya kişinin sağlık durumunda veya hassasiyetinde değişiklik olduğundan şüphelenen doktora yol gösterici yönde olmalıdır. Bu gözcü sağlık aktiviteleri, işyerinde bir aksaklığın olduğu veya titreşim maruziyetini önleme kontrollerinde yetersiz bir durum olduğu konularında işaretler sağlayacaktır[9].

İşten Ayırma Kararı

Titreşim maruziyeti olan çalışanlardan peripheral nöral veya periferel vasküler işaretler ve semptomlar Stockholm Çalıştayı'nda belirlenen HAVS Aşama 2 seviyesinde veya daha üzerinde ise, çalışanlar, işaret ve semptomları HAVS Aşama 1' e gelene kadar el-kol titreşim maruziyetinden uzak kalmalıdır. Uzman doktor, çalışanın titreşimli alet kullanımından uzak kalması gerektiğini tavsiye ederse, işveren, çalışanın tüm kazanımları, kıdemleri ve hakları saklı kalmak üzere bu durumu sağlamalıdır[9].

Titreşim Kontrolü

Genel

Mühendislik ve çalışma pratiği kontrolleri, el-kol titreşim maruziyetini mümkün olan en düşük seviyeye düşürmek için kullanılabilir. Bu kontroller, anti-titreşim kıyafet, eldiven ve ekipman kullanılması, çalışanların titreşimli aletleri uygun şekilde kullanmalarını sağlamak amacıyla verilen eğitim programları gibi diğer kontrol yöntemleriyle de desteklenebilir[9].

Mühendislik Kontrolleri

- 1) Titreşim ivme seviyesi, titreşimli alet tarafından üretilen titreşim enerjisi ideal çalışma şekli ve/veya alet kullanımı ile ilgili prosesi değiştirerek mümkün olan en düşük seviyeye indirilip kontrol edilmelidir.
- 2) Aletin güç ve ağırlığı, titreşimi en düşük seviyede tutmak için işin izin verdiği ölçüde en iyi duruma getirilmelidir.
- 3) Alet üreticisi, simüle edilmiş çalışma şartlarında, standart test prosedürleri ile, ürettiği alet için titreşim ivme seviyesi ve frekans karakteristiklerini belirleyip bu bilgileri sunmalıdır[9,24].

Titreşim maruziyetini yok etmeye veya azaltmaya yönelik temel mühendislik yaklaşımları kaynağında azaltma, geçirim azaltılması ve proses değişimi yapılmasıdır[9,24].

Kaynağında Azaltma: İvme seviyesi, kullanılan titreşimli aletin hızı artırıldıkça artar (örneğin, 2/3 güçle çalıştırılan bir zincirli testerenin üreteceği ivme seviyesi tam güçle çalışan

bir zincirli testerenin üreteceği ivme seviyesinden azdır). İşin yapılabilmesini sağlayarak azaltılmış bir hızda çalışabilen bir alet kullanımı daha faydalıdır. Aletin ağırlığı ve kullanımı için gereken güç arasındaki ilişki de üretilen titreşim büyüklüğünü etkiler. Aynı işi yapabilen birden fazla alet varsa, kullanım için en düşük ivme seviyesini üreten alet seçilmelidir. Titreşimli aletin bakımının iyi yapılması çalışma sırasında üretilen titreşim seviyesini etkiler. Alet bakımlarının en iyi şekilde yapılabilmesi için kullanıcılarının bakım prosedürleri ve bakım yapılmasının önemi konularında iyi bir şekilde eğitilmeleri gerekir. Bakım çizelgelerinin oluşturulması bakım işlerinin düzenli bir şekilde yapılabilmesi için faydalı olacaktır[9,24].

Geçirimin Azaltılması: Titreşimli alet tarafından üretilen titreşim enerjisi kullanıcının el veya kollarına zararlı sağlık etkileri oluşturmak üzere iletilir. Aletten ellere iletilen titreşimi azaltan herhangi bir yöntem, HAVS durumunun oluşmasına engel olacaktır. Titreşimli aletlerin tutamak kısımlarında veya eldivenlerin parmak ve avuç kısımlarında bir çok çeşit enerji sönmüleyici malzeme kullanılmaktadır. Bazı malzemeler düşük frekanslarda titreşim geçirimini azaltırken bazı malzemeler azaltımı daha yüksek frekanslarda yaparlar. Eldivenlerde kullanılan sönmüleyici malzemeler yüksek frekanslarda daha etkilidir. Tutamak kısımlarında, eldivenlerin parmak ve avuç kısımlarında kullanılan sönmüleyici malzemeler, çalışma sırasında aleti kontrol etme yeteneğini azaltabilir. Bu durum üretimin azalmasına veya kaza riskinin artmasına neden olabilir. Sarsıntıya, kimyasallara ve sıcaklığa karşı kullanılan pamuklu veya deri eldivenlerin titreşim için bir koruma sağlamadığı hatta titreşim geçirimini artırdığı rapor edilmiştir[9,24].

Proses Değişikliği: Tüm endüstriyel prosesin bazı kısımlarında değişiklik yapıldığında titreşimli alet kullanımına olan ihtiyacı azaltıp azaltmayacağıın ergonomik bir analizinin yapılması tavsiye edilen bir durumdur. Örneğin, bir dökümhanede farklı bir döküm prosesinin kullanılması taşlama makinesi veya motorlu keskilere olan ihtiyacı azaltabilir veya ortadan kaldıracaktır. Otomasyon ve robot kullanımı sayesinde de titreşimli alet kullanan çalışan sayısı azaltılabilir. Ağaç büyüklüğü ve arazi uygun olduğunda otomatik ağaç kesme makineleri zincirli testere kullanımına olan ihtiyacı azaltabilir[9,24].

Proses hiçbir yöntemle önüne geçilemeyecek şekilde uç noktada bir titreşim kuvveti üretiyorsa bu durumda en makul çözüm, procesten vazgeçmek olacaktır[9].

Çalışma Pratikleri

Olası tüm mühendislik kontrollerine ek olarak, çalışma, titreşim maruziyetini en aza indirecek şekilde değiştirilmelidir. Çalışma değişikliği yaklaşımı şu prosedürleri kapsamalıdır[9]:

- Bir iş günü boyunca bir çalışanın titreşimli alet ile çalıştığı saati azaltmak,
- Hafta içinde titreşimli alet kullanılan gün sayısını azaltmak,
- İş, titreşimli ve titreşimsiz aletlerin dönüşümlü olarak kullanılmasını sağlayacak şekilde düzenlemek,
- Aletlerin keskinleştirilmesi, yağlanması ve motor ayarlarının yapılması gibi gerekli bakım işlerinin planlanması,
- İş en iyi şekilde ve en az titreşim maruziyeti verecek halde yapacak aletlerin seçilmesi,
- Titreşim stresini en aza indirmek için çalışma şeklinin ve iş yerinin ergonomik prensipleri içerecek şekilde dizayn edilmesi,
- Aletin tutamak kısmına uygulanan tutma kuvvetinin güvenlik ve performansa uygun olarak azaltılması,
- Parça başına ücret ve teşvik primi uygulamalarının sınırlandırılması.

Titreşimli alet kullanımının patofizyolojik (patolojik değişikliklerin normal fizyolojik mekanizmalar üzerine etkisini inceleyen fizyoloji dalı) etkileri titreşim yoğunluğu ve maruziyet süresi ile bağlantılı olduğundan günlük, haftalık ve yıllık toplam maruziyet çizelgesi hazırlanması çalışanlarda HAVS durumunun ilerlemesini önlemek için önemli bir faktördür[9].

Saito (1987), 1978 ve 1983 yılları arasında 155 zincirli testere kullanıcısı üzerinde yaptığı çalışmada sınırlanmış alet kullanım süresinin HAVS' in varlığı üzerine etkisini araştırmıştır. Operatörler her yıl tıbbi izlemeden geçirilmişlerdir. Cilt sıcaklığı, titreşim eşiği, basınç uygulamasından sonra tırnakların tekrar eski rengine geçme durumu ve ağrı hissi 10 dakika boyunca elin 10°C sıcaklıktaki soğuk suya maruziyeti öncesinde ve sonrasında ölçülmüştür. Beş yıllık çalışmaların sonucunda, zincirli testere kullanım süresinin sınırlandırılmasının HAVS durumunu önleme konusunda etkili olduğu kanıtlanmıştır. Tavsiye edilen zincirli testere kullanım zaman bilgisi Tablo 16'da verilmiştir[9].

Tablo 16. Tavsiye Edilen Zincirli Testere Kullanım Zaman Bilgisi

Bir işletim devri	10 dakika
Bir günde toplam işletim süresi	2 saat
Ardışık kullanım günü	2 gün
Yılda işletim süresi	320 saat
Üst yaş sınırı (yıl)	55 yıl

Günlük maruziyet süresi iş günü süresince veya sıradan iş günü içinde maruziyetin olduğu veya olmadığı devirler belirtilerek ayarlanabilir. Maruziyetlerin çoğu tüm iş günü boyunca sürekli değildir, ancak asıl alet işletim durumunda değil iken çizelgede belirtilen veya belirtilmeyen periyotlarda araya giren diğer aletlerden de kaynaklanabilir. Çalışma/dinlenme devir çizelgelerinin olası kombinasyonları bir çok endüstri alanın ihtiyacını en iyi şekilde sağlayacak kadar çoktur[9,10].

Uygulanabilir maruziyet çizelgesi çeşitleri aşağıdaki durumları içerebilir[9]:

- Titreşimli alet kullanımını içeren bir görevi yapan bir çalışanı aynı gün içinde titreşim maruziyeti olmayan bir bölümde çalıştırmak
- İvme değeri yüksekse, günlük titreşimli alet kullanım süresini mümkün olduğu kadar azaltmak,
- Titreşimli alet kullanılan gün sayısını haftada bir veya iki gün ile sınırlandırmak,
- Zaman ağırlıklı ivme seviyesini azaltmak için yeterince uzun dinlenme periyotlarının çalışma çizelgesi içinde yazılması.

Koruyucu Kıyafet ve Ekipman

Koruyucu kıyafet ve ekipman, el-kol sistemine aktarılan enerjinin azaltılma olanağının bulunduğu durumlarda kullanılmalıdır. Kıyafet ve ekipmanla çalışanların korunmasında bazı yaklaşımlar şu şekilde sıralanabilir[9,25]:

- Eldivenlerin parmak ve avuç kısımlarının titreşim sönümleyici malzemelerle desteklenmesi,
- Aletin tutamak kısmının veya alet ile çalışanın temas halinde olduğu yerin titreşim sönümleyici malzemelerle desteklenmesi,
- Anti-titreşim zincir testerelerde kullanılan izolatörler gibi, titreşimli aletlerde anti-titreşim izolatörlerinin veya sönüm tekniklerinin kullanılması,
- Vücut iç sıcaklığını korumak ve soğğun neden olduğu periferik vazokonstriksiyon (düz kas liflerinin kasılmasıyla bir damarın çapının azalması ya da daralması olayı) durumunu önlemek için soğuktan koruyucu uygun kıyafetlerin giyilmesi,
- Sağlanan anti-titreşim ekipmanı, kıyafeti ve el donanımının ergonomik olarak uygun olmasının sağlanması (örneğin, eldivenlerin ele tam oturması, hareket rahatlığı sağlanması, aletin kontrolü için gerekli tutma kuvvetine engel olmaması gibi).

Titreşimin etkilerine karşı iki çeşit koruyucu kıyafet ve donanım kullanılabilir. Bunlardan biri, titreşim enerjisinin ellere geçişini azaltır, diğeri ise soğğa ve travmaya karşı koruma sağlar.

Titreşimli alet kullanıcılarını korumak için eldivenlerde bir çok çeşit titreşim sönümleyici malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemeler enerji azaltımı için yeterli ise kabul edilebilir. Titreşimli alet kullanımını içeren bir çok görevde, soğğa ve travmaya karşı koruma sağlamak için bazı eldiven tipleri kullanılmaktadır. Enerji sönümleyici malzeme konusunda karşılaşılan en büyük problemlerden birisi alet kullanımının güvenli ve etkin bir şekilde yapılmasına engel olmayacak incelikte sönümleyici malzeme bulmak, diğeri ise titreşim frekans spektrumunda HAVS durumuna neden olan bölgeye karşı koruma sağlayacak uygun malzemenin bulunmasıdır. Farklı çeşit malzemeler bulunsa da, tüm amaçları karşılayacak malzemenin bulunması her zaman mümkün değildir[9].

Akut beyaz parmak, özellikle HAVS' in erken aşamaları sıklıkla ellerin veya vücudun soğuk maruziyeti ile tetiklenir. Vücudun ve ellerin uygun kıyafet ve eldivenlerle termal olarak

korunmasıyla, atakların sıklığını azaltılabilir. Soğuk havalarda ellerin ve vücudun soğuğa karşı korunması bir çok faktör tarafından etkilenen kompleks bir problemdir[9]:

- Hava sıcaklığı
- Rüzgâr hızı
- Yağmur veya karın oluşu
- Güneş ışığı veya diğer radyant ısı kaynağı
- Kıyafet ve eldivenin su geçirimi
- Kıyafet ve eldivenin buhar geçirimi
- Kıyafet ve eldivenin hava geçirimi
- Kıyafet ve eldivenin izolasyon değeri
- Metabolik ısı üretimi
- Maruziyet süresi
- Kıyafet uygunluğu.

Kıyafetin izolasyon değeri “clo” biriminden ifade edilir(1 clo=5.55 kcal/m²/s ; bir clo, ışınlım ve konveksiyon yoluyla, cilt ve ayarlanmış kuru hazne sıcaklığı arasındaki her ⁰ C farklılık için ısı değişimidir). Oturarak iş yapan bir kişi için termal denge durumunu 23.9⁰C (75⁰F) durumunda tutan bir kıyafet takımı için izolasyon değeri 1 clo’ dur. Yaklaşık 0.6 cm kalınlığında bir kıyafet için izolasyon değeri 1 clo’ dur. En düşük hava akımı koşullarında kıyafetin izolasyon değeri kıyafetin ipi veya kumaşının bir fonksiyonu değildir, ancak kumaş tabakaları veya ipler arasında sıkıştırılmış havanın büyüklüğüne bağlıdır[9].

Kıyafet, negatif bir vücut ısı dengesi sağlamaya yeterli değilse, dolaşım sistemi özellikle el ve ayak parmaklarında periferik (çevrede ya da periferde bulunan ya da yerleşik olan) vazokonstriksiyon (düz kas liflerinin kasılmasıyla bir damarın çapının azalması ya da daralması olayı) ile bu duruma karşılık verir. Bu nedenle soğuk hava maruziyeti, özellikle HAVS hassasiyeti olan kişilerde beyaz parmak ataklarını hızlandırır.

Kıyafet ve eldivenlerin izolasyon değerlerine ek olarak, soğuk hava çalışmalarında aşağıdaki faktörler de göz önüne alınmalıdır[9]:

- Kar veya yağmurun olması durumunda, su geçirmeyen dışarı kıyafeti kullanılmalıdır.
- Eldivenler kuru tutulmalıdır. Eldivenler ıslandığında, yeni bir eldiven alınabilmeli ve ıslak olan eldivenler tekrar kullanılmadan önce kurutulmalıdır.

- Soğuk koşullarda (0 °C veya 32°F' ın altında) rüzgar hızı 0,8 km/s değerinin üzerinde ise, eller ve vücut için hava geçirmez kıyafetler sağlanmalıdır. Vücut yüzeyine doğru olan hava akışını azaltacak rüzgâr bariyerlerinin kullanılması, ısı kaybı oranını etkileyecektir.
- Hava sıcaklığı donma noktasının üzerinde olsa bile vücudun ılık tutulması için araların verilmesi gereklidir. Parmaklarda kan akışının kısa süreli soğuk maruziyetine bile hassas olup bu duruma akut vazokonstriksiyon ve azalmış kan akışı ile karşılık vermesinden dolayı, titreşimli alet kullanımı sırasında parmakları korumak için etkin olduklarının kontrolünün yapılması gereklidir. Vücut cilt sıcaklığı normal olsa ve tüm vücut termal denge içinde bulunsu bile ellerin soğuğa maruz kalması vazokonstriksiyona neden olabilir.
- Batarya ile çalışan elektrikli ısıtıcısı bulunan eldivenler bazı durumlarda parmaklarda soğuğun neden olduğu vazokonstriksiyon etkiye karşı uygun bir çözüm sağlarlar.

Çalışan Eğitimi

İşveren, titreşimli alet kullanan her çalışan için, titreşimin sağlık ve güvenlik etkileri, titreşimin zararlarını en aza indirecek çalışma yöntemleri konularında en yeni bilgileri de içerecek şekilde sürekli bir eğitim programı sağlamalıdır. Eğitim programı uzman kişiler tarafından yürütülmelidir. Program, her çalışanın sağlık ve güvenlik risklerini, değerlendirme ve kontrol metodlarını tam olarak anlamalarını sağlayacak şekilde yeterli yazılı ve sözlü bilgiyi içermelidir.

Eğitim programı en azından aşağıdaki başlıkları içermelidir[9,23,24]:

- Titreşim maruziyetin kaynağı,
- Titreşim büyüklüğünü ters yönde etkileyen faktörler,
- Titreşimin el-kol bölgesine iletilme yolları,
- Titreşim maruziyetinin sağlık ve güvenlik üzerine kötü etkileri,
- HAVS' ın erken işaret ve semptomları,
- Bütün işaret ve semptomların rapor edilmesi,
- HAVS' ın önlenmesinde ve kontrolünde tıbbi gözetimin rolü,
- Sürekli titreşimli alet kullanımının olası sağlık etkileri,
- HAVS' ın ilerlemesi ve önceki durumuna dönme özelliği,
- Titreşimin neden olduğu sağlık sorunlarını artıran diğer faktörler,

- HAVS' ın önlenmesi,
- Titreşime karşı koruyucu kıyafetlerin bulundurulması ve kullanılması,
- Titreşimi kaynağında azaltmak için kullanılan anti-titreşim önlemleri,
- Tutuş kuvveti, alet/iş parçası yüzeyine uygulanan basınç, aletin tutuş yöntemi, vücut duruşu, vb. durumlar dahil olmak üzere kullanılan titreşimli aletin ergonomik özellikleri,
- Titreşimli aletlerin bakımlarının iyi yapılmasının etkisi,
- Kullanılan titreşimli aletin herhangi bir anormal çalışma durumunun amire bildirilmesi,
- Ellerin ve vücudun sıcak ve kuru tutulmasının etkisi,
- Sigara ve bazı ilaçların kullanımının HAVS olasılığını artırabileceği,
- Titreşim maruziyetinin sağlık ve güvenlik etkilerini en aza indirmek için çalışma pratiği prosedürleri.

Titreşimin neden olabileceği potansiyel problemlere karşı çalışanların farkındalıklarının sürekli olmasını sağlamak amacıyla her yeni çalışan ve tekrarlı aralıklarla her çalışan için eğitim sağlanmalıdır. HAVS' ın en erken işaret ve semptomlarını ilk fark eden kişi çalışanın kendisi olacağından eğitilmiş bir çalışanın ilerlemenin önüne geçilmesi ve eski hale tam olarak dönülebilmesindeki önemi büyük olacaktır[2,9].

Etiketleme

Titreşimli alet ve anti-titreşim ekipmanı üreticisi tarafından aşağıdaki bilgiler verilmelidir[9]:

- Titreşim üreten ve elle kullanılan tüm aletler, aletin normal çalışması sırasında üretilen ivme seviyesi bilgisini yazan bir etiket taşımalıdır.
- Anti-titreşim ekipmanı, kıyafeti ve eldiveni üreticisi, ürettiği her parçanın üzerinde titreşim sönmüleyici malzemenin karakteristiğini belirtmelidir.

Çalışanların Korunması İçin Metotlar

El-kol titreşiminden kaynaklanan hasar ve rahatsızlıkları önlemek için idari, teknik ve tıbbi prosedürlerin uygulanması gereklidir. Titreşimli alet üreticilerine ve kullanıcılarına uygun tavsiyeler verilmelidir. İdari önlemler, titreşimli alet kullanıcılarına işlerini güvenli ve doğru yapmalarını sağlayacak yeterli bilgilendirme ve eğitim çalışmalarını kapsamalıdır. Sürekli titreşim maruziyetinin titreşimin verdiği zararları artırdığı bilindiği için çalışma programları, dinlenme periyotlarını içerecek şekilde ayarlanmalıdır. Teknik önlemler, en az titreşim yayan aletlerin seçimini ve uygun ergonomik dizaynlarını kapsamalıdır. Avrupa Konseyi' nin makine güvenliği direktifine göre, üreticiler, uygun deney kodları ile belirlenmiş yöntemlerle, bir makine için frekans ağırlıklı el-kol titreşim seviyesinin 2.5m/sn^2 değerini aşp aşmadığını belirlemeli ve sonucu açıklamalıdır. Kullanılan titreşimli aletin bakım durumu, periyodik olarak yapılan titreşim ölçümleri ile kontrol edilmelidir. Titreşime maruz kalacak şekilde çalışacak kişiler, işe alınmadan önce gerekli tıbbi taramalar ve titreşim maruziyeti olan çalışanlarda düzenli aralıklarla klinik incelemeler yapılmalıdır. Tıbbi gözetimin amacı, titreşim maruziyeti ile ilişkili olarak çalışan kişinin potansiyel riskini belirlemek, çalışanın sağlık durumunu belirlemek ve titreşimin neden olabileceği rahatsızlıkları erken aşamada belirleyip tedavisini sağlamaktır. İlk taramada, titreşim maruziyetinin şiddetlendirebileceği durumları (örneğin, beyaz parmak durumuna yapısal yatkınlık, ikincil Raynaud Hastalığı' nın bazı şekilleri, geçmişte üst uzuvlarda meydana gelen hasarlar, nörolojik rahatsızlıklar) belirlemek için özel bir dikkat harcanmalıdır. Etkilenmiş çalışanlar için maruziyeti önleme veya azaltmaya, hem semptomların ciddiliği hem de tüm çalışma prosedürü göz önüne alındıktan sonra karar verilmelidir. Çalışanlara, tüm vücudu sıcak tutacak uygun kıyafet giyme, periferel dolaşımı etkileyebilecek sigara veya bazı ilaçları içmekten sakınma veya en aza indirme konularında bilgi verilmelidir. Parmak ve elleri sıcak tutmak ve zedelenmelerden korumak için eldiven kullanılmasının faydası olabilir. Anti-titreşim eldivenleri olarak adlandırılan eldivenler, bazı aletlerden kaynaklanan titreşimin yüksek frekans bileşenlerine karşı kısmen izolasyon sağlayabilirler[2,9].

Çalışanların HAVS durumundan korunmasının temeli, önlemeye dayanmalıdır. Hastalığın Stockholm sınıflamasına göre Aşama 2'yi aşması halinde, süreci geriye çevirmek için tasarlanan prosedürler genellikle etkili değildir. Çünkü HAVS'ın gelişimi dozla ilişkili olduğundan etkili kontrol prosedürleri, titreşim ivmesini azaltmaya, maruziyet süresini azaltmaya, erken işaret ve semptomları belirlemeye, titreşim hassasiyeti olan kişileri

belirlemeye yönelik olmalıdır. Kontrol stratejileri maruziyet izlemeyi, mühendislik kontrollerini, çalışma pratiklerini, ergonomik yaklaşımları, koruyucu kıyafetleri ve ekipmanları, çalışanların eğitilmesini ve tıbbi izlemeyi içermelidir[2,9].

Kayıtlar ve Arşivleme

Sayılan ölçümlerden elde edilen verilerin kaydedilmesi, yeterli kontrol prosedürlerinin kurulmasını gerektirir:

- 1) Kullanılan titreşimli alete ait ivme ve frekans değerlerinin güncellenmiş karakteristikleri
- 2) Titreşimli alet kullanarak çalışan kişinin günlük olarak aleti kullandığı süre
- 3) Gün içi maruziyet durumu
- 4) Aletin kullanıldığı yıl
- 5) Mesleki olmayan titreşim maruziyeti
- 6) HAVS semptomlarının ilk ortaya çıktığı maruziyet yılı
- 7) HAVS durumu
- 8) Hava sıcaklığı, hava akış hızı ve nem de dahil olmak üzere işyerinin çevresel koşulları
- 9) Kullanılan kişisel koruyucu kıyafetin ve ekipmanın çeşidi
- 10) İşe almadan önce ve daha sonra periyodik olarak yapılan tıbbi tetkiklerin sonuçları
- 11) Tıbbi gözetimler arasında sağlık durumunda meydana gelen değişiklikler ve
- 12) Çalışan eğitim programları[9].

Tüm Vücut Titreşimini Azaltmak İçin Uygulanabilecek Yöntemler

Tüm vücut titreşim maruziyetinin mümkün en az seviyede tutulabilmesi için yukarıda verilen, el-kol titreşim maruziyeti durumunda kullanılacak yöntemlere ek olarak aşağıda verilecek ek yöntemler de kullanılabilir.

Mümkün olan her yerde titreşimin kaynağında azaltılması tercih edilen durumdur. Bu durum arazideki dalgalanmaların azaltılması veya kullanılan araçların hızının azaltılması gibi durumları içerebilir. Titreşimin operatöre iletiminin azaltılması için kullanılacak diğer metotlar, titreşim çevresinin özelliklerinin ve titreşimin vücuda girdiği yolun bilinmesini gerektirir. Örneğin, titreşim konumuyla değişebilir; bazı alanlarda daha az titreşim büyüklüğüne maruz kalınabilir. Tablo 17’de bazı koruyucu önlemler verilmektedir[2,24].

Tablo 17. Tüm Vücut Titreşim Maruziyeti Olan Çalışanlarda Dikkat Edilmesi Gerekli Engelleyici Önlemler

Grup	Faaliyet
Yönetim	Teknik bilgi sağlamak
	Tıbbi bilgi sağlamak
	Maruziyeti olan çalışanları uyarmak
	Maruziyeti olan çalışanları eğitmek
	Maruziyet sürelerini gözden geçirmek
	Maruziyeti azaltacak bir tutum izlemek
Makine üreticileri	Titreşimi ölçmek
	Tüm vücut titreşimini en aza indirecek tasarımlar
	Süspansiyonu etkili kılmak
	Koltuk dinamiklerini etkili kılmak
	İyi duruş sağlamak için ergonomik tasarımlar kullanmak
	Makine bakımı için rehberlik etmek
	Koltuk bakımı için rehberlik etmek
	Tehlikeli titreşim uyarısında bulunmak
Teknik elemanlar	Titreşim maruziyetini ölçmek
	Uygun makine sağlamak
	İyi sönümlü kotalar seçmek
	Makine bakımları
	Yönetimi bilgilendirmek
Tıbbi	İş öncesi tetkikler
	Rutin tıbbi kontroller
	Rapor edilmiş tüm işaret ve semptomları kaydetmek
	Belirgin yatkınlığı olan çalışanları uyarmak
	Maruziyetin sonuçları hakkında bilgi sağlamak
	Yönetimi bilgilendirmek
Maruziyeti olan çalışanlar	Makineyi uygun kullanmak
	Gereksiz titreşim maruziyetinden kaçınmak
	Koltuk ayarlarını düzenli olarak kontrol etmek
	Düzgün oturuş şeklini benimsemek
	Makinenin durumunu kontrol etmek
	Titreşim problemleri hakkında amirini bilgilendirmek
	Semptomlar görülüyorsa tıbbi yardım almak
	Titreşimle ilgili hastalıklar konusunda işvereni bilgilendirmek

Koltuklar titreşimi azaltacak şekilde dizayn edilebilirler. Koltukların çoğu düşük frekanslarda rezonansa izin verdiği için, koltuk üzerinde oluşan dikey titreşim büyüklüğü yerde olan titreşim büyüklüğünden daha fazla olmaktadır. Genellikle yüksek frekanslarda titreşimde bir azalma olur. Kullanımda, çoğu koltukların rezonans frekansı 4 Hz civarındadır. Rezonanstaki genlik, kısmen koltuktaki sönüm ile belirlenir. Koltuk tamponlamasının neden olduğu sönümdeki bir artış, rezonanstaki genliğin azaltılmasına neden olur fakat yüksek frekanslarda geçirimi artırır. Koltukların geçirimleri arasında büyük farklılıklar olduğu için kişilerin hissettikleri titreşim değerleri de büyük ölçüde farklılıklar gösterir. Koltuk efektif genlik geçirimi, özel bir uygulama için koltuğun izolasyon etkinliğini bir sayı ile belirtir (SEAT). %100'den daha büyük bir SEAT değeri, koltuk üzerindeki titreşim değerinin yerden daha büyük olduğunu gösterir. %100'ün altında bir SEAT değeri, koltuk tarafından bir sönümleme yapıldığını gösterir. Koltuklar en düşük SEAT değerine sahip olacak şekilde dizayn edilmelidirler[2,4,13].

Süspansiyon koltuklarında koltuk altında özel bir süspansiyon mekanizması bulunur. Bu koltuklar, bazı arazi araçlarında, kamyonlarda ve yolcu otobüslerinde kullanılırlar. Bu koltuklar 2 Hz civarında düşük rezonans frekansına sahiptirler ve 3 Hz üzerinde frekans değerinde olan titreşimleri azaltabilir. Bu koltukların geçirimleri genellikle üretici tarafından belirlenirken izolasyon etkinlikleri kullanım koşullarına göre değişir[4].

Titreşim Maruziyetini Azaltmak İçin Makineler Üzerine Uygulanabilecek Yöntemler

El-kol veya tüm vücut titreşim maruziyetine neden olan makine, araç veya aletlerden kaynaklanan titreşimin çalışan kişiye veya çalışılan ortama yayılmasını önleyici bazı yöntemler kullanılabilir. Bu amaçları gerçekleştirebilmek için bazı titreşim yalıtım malzemeleri mevcuttur. Kullanılacak yalıtım malzemesi seçiminde en düşük maliyete karşılık en yüksek verimlilik prensibi kabul edilmelidir. Değişik yalıtım malzemesi kullanmanın önemli bir sebebi de, göreceli olarak elde edilen yalıtım derecesinin, titreşim meydana getiren makinenin çalışma frekansının, seçilen yalıtım malzemesinin doğal frekansına oranına eşit olmasıdır. Genel olarak iyi bir yalıtım için, yalıtım malzemesinin doğal frekansının, makine titreşim frekansından üç-beş kat daha düşük olması gerekir. Makine tarafından üretilen titreşim çok fazla değiştirilemeyeceğinden, iyi bir yalıtım için yeteri kadar düşük doğal frekansa sahip bir yalıtım malzemesi kullanmak iyi bir çözüm yöntemi olacaktır. Doğal

frekans, yalıtım malzemesini yükleyerek veya deformasyona zorlayarak azaltılabilir. Deformasyon ne kadar büyükse doğal frekans o kadar küçük olur[26].

Makinelere yayılan titreşimin yalıtımı için genellikle; çelik yay yalıtıcılar, elastomerler (ayak altlığı, keçe yastıklı taban, döşeme ve tavan süspansiyon elemanları, mantarlı elastomerler, elastik plaka, elastomer ağır hizmet yalıtım blokları), mantarlar, titreşim söndürücü kaplamalar kullanılır. Yalıtım malzemesi seçimleri için tablolar bulunmaktadır. Seçilecek yalıtım çeşidini, yalıtımı yapılacak makinenin büyüklüğü, özellikleri, frekansı, çalışma durumu ve çalışma ortamında bulunduğu yer tayin eder[26].

Çelik yay yalıtıcılar, en büyük elastik deformasyonu sağlarlar. En iyi performans alınan ve en uygun titreşim yalıtım malzemesi çelik yaylardır. Titreşim kontrolünde kullanılan çelik yay yalıtıcılar, değişik kullanış yerlerine, amaçlarına, taşıyacağı yüke, makinenin devir sayısına uygun olarak A, B, C, D ve E tipi olmak üzere değişik tiplerde imal edilirler ve kullanıcılar tarafından bu özellikleri göz önüne alınarak seçilirler[26].

Elastomerler, titreşim yalıtımında orta ve yüksek hızdaki cihazlarda daha çok kullanılırlar. Hafif ve orta ağırlıktaki makineler için ekonomiktirler. Yüksek frekanslı titreşim üreten bir çok dinamik makinede gövdesel ses yalıtımı için de başarı ile kullanılırlar. Elastomer titreşim yalıtıcılar, genellikle endüstriyel çalışma şartlarında olabilen yağ, asit vb. gibi maddelere karşı dayanıklılığı olan neoprenden yapılırlar[26].

Yalıtım mantarları, makineler tarafından üretilen titreşimi kabul edilebilir bir seviyeye ekonomik olarak indirir, dönme ve gidip gelme hareketi yapan makinelerin meydana getirdiği titreşimlerin çalışma ortamına yayılmasını önler. Değişik kalınlık ve yoğunlukta olabildikleri için çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler[26].

Titreşim söndürücü kaplama olarak visko elastik, püskürtülebilen veya spatula ile sürülen macun şeklinde veya yapışkan bant şeklinde çeşitli malzemeler kullanılabilir. Bu malzemeler titreşime maruz kalan sac veya levha metallere üzerine uygulanarak veya titreşim yapan makine veya cihazın etrafını bir örtü gibi saracak şekilde uygun bir malzeme üzerine tatbik edilmiş olarak kullanılır[26].

Yukarıda sayılan, makinelere yönelik uygulanabilecek metotlara ek olarak darbeli çalışan makinelerde titreşim kontrol yöntemleri de verilebilir. Darbeli çalışan makinelerin çelik yaylarla titreşim kontrolü, düzgün bir şekilde dizayn edilmiş beton temelin yaylar üzerinde asılı yerleştirilmesi ile yapılır. Şahmerdan veya pres gibi darbeli çalışan makinelerin üzerine bağlanacağı beton blok, darbe yükünün temel bloğuna düzgün olarak dağılması ve darbe kuvvetinin blokta hasar yapmaması için demir çubuklarla takviyeli yapılmalıdır. İyi bir titreşim yalıtımı yapılmış şahmerdan veya pres operatörü, çalışma sırasında herhangi bir titreşim hissetmemelidir. Darbeli makinelerde uygulanan titreşim yalıtım teknikleri sayesinde makine veriminde, işyeri veriminde, çalışan veriminde artış sağlanır, bina ve makine bakım maliyetleri azalır, makine temeli ömrü artar ve ilk şeklini korur[26].

KAYNAKLAR

- [1] Documentation of the Threshold Limit Values for Physical Agents, ACGIH Worldwide, Seventh Edition.
- [2] South T., Managing Noise and Vibration At Work, Elsevier, 2004.
- [3] Occupational Exposure to Hand-Arm Vibration, U.S Department of Health and Human Services, NIOSH, Ohio, 1989.
- [4] ILO, Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, Fourth Edition.
- [5] Measuring Vibration, Bruel&Kjaer Lecture Notes, 1982.
- [6] Ver I. L., Beranek L. L., Noise and Vibration Control Engineering, Second Edition, John Wiley&Sons, 2006.
- [7] Rasmussen G., Human Body Vibration Exposure and Its Measurements, The Journal of the Acoustical Society of America, 1983.
- [8] Sound and Vibration Measurements, Bruel&Kjaer Lecture Notes, Human Vibration, 2002.
- [9] Donati P., Evaluation of Occupational Exposures to Hand-Transmitted Vibration: Frequency Weighted and Exposure May 2001.
- [10] Mechanical Vibration- Guidelines for the Measurement and the Assesment of Human Exposure to Hand-Transmitted Vibration, ISO 5349-1: 2001.
- [11] Ikeda K., Ishizuka H., Vibration Acceleration Magnitudes of Hand-Hend Tools and Workpieces, Industrial Health 1998. 36, 197-208.
- [12] Vibration- Measurement, Control and Standards, Canadian Centre for Occupational Health and Safety, OSH Answers.
- [13] Control Back-Pain Risks From Whole-Body Vibration, Advice for Employers on the Control of Vibrtaiion at Work Regulations, HSE, 2005.
- [14] Mechanical Vibration and Shock, Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration, ISO 2631-1: 1997.
- [15] İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulları, TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi, Cilt 19, 2004.
- [16] Titreşim Yönetmeliği
- [17] Sosyal Sigortalar Sağlık İşlemleri Tüzüğü
- [18] 506 Sayılı Sosyal Sigortalar Kanunu
- [19] 5489 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası

- [20] Vibration- Health Effects, Canadian Centre for Occupational Health and Safety, OSH Answers.
- [21] Güven, H. N. R., Titreşimli Cihaz Kullananlarda Titreşimin El-Kol Üzerindeki Sağlık Etkileri, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2002.
- [22] Vibration- Introduction, Canadian Centre for Occupational Health and Safety, OSH Answers.
- [23] Guidelines on Occupational Vibration, Department of Occupational Safety and Health Ministry of Human Resources Malaysia, 2003.
- [24] Control the Risks From Hand-Arm vibrations, Advice for Employers on the Control of Vibration at Work Regulations, HSE, 2005.
- [25] Kroemer K.H.E., Grandjean E., Fitting to Task to The Human, Fifth Edition, Taylor&Francis, 2003.
- [26] Özer, M., Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı, İTÜ 1979.

RESİMLEMELER LİSTESİ

TABLULAR

	Sayfa
Tablo 1. El-Kol Titreşim Maruziyeti Sırasında Zararla İlişkisi Olabilecek Faktörler.....	11
Tablo 2. El-kol Titreşim Sendromu İçin Stockholm Çalıştayı Sensörinöral Seviyeler (Kaynak: Stockholm Çalıştayı 86 1987).....	17
Tablo 3. HAVS İle Benzer Nörolojik Semptomları Olan, Titreşim Kaynaklı Olmayan Durumlar.....	18
Tablo 4. El-kol Titreşimi İle İlgili Bazı Kas-İskelet (Müsküloskeletal) Durumları.....	18
Tablo 5. Bazı titreşim kaynaklı olmayan Raynaud sendromu nedenleri.....	20
Tablo 6. El-Kol Titreşim Sendromunda Soğğun Neden Olduğu Raynaud Fenomeninin Derecelendirilmesi İçin Stockholm Çalıştay Skalası (Stockholm Workshop 86 1987).....	21
Tablo 7. El-Kol Titreşimi İçin Eşik Sınır Değerler (ACGIH:American Conference of Government Industrial Hygienists 1992).....	33
Tablo 8. Avrupa birliği Konseyi' nin Fiziksel Ajanlar Üzerine Komisyon Direktifi Önerisi: ek 11 a. el-kol titreşimi (1994)	34
Tablo 9. Maruz kalan çalışanların * %10' nunda parmak beyazlaması yapabilecek frekans ağırlıklı titreşim ivme büyüklükleri * (rms m/sn ²).....	35
Tablo 10. Fiziksel Ajanlar Direktifi (Titreşim) Doğrultusunda Sorumluluklar.....	37
Tablo 11. Fiziksel Ajanlar Direktifi Etkin ve Sınır Değerlerin Aşılmaması için Süre Sınırları.....	40
Tablo 12. HAVS ile İlgili Olan Alet ve Prosesler.....	44
Tablo 13. Tüm Vücut Titreşim Değerlendirmesi İçin Kullanılan Frekans Ağırlıklandırma Ve Ölçeklendirme Faktörleri	57
Tablo 14. İlk el-kol titreşim maruziyetinden ilk semptomlar ortaya çıkana kadar geçen süre(latens)	68
Tablo 15. 2007-2009 yılları Arasında İSGÜM (Merkez) Tarafından Yapılan Titreşim Ölçümleri.....	73
Tablo 16. Tavsiye Edilen Zincirli Testere Kullanım Zaman Bilgisi.....	96
Tablo 17. Tüm Vücut Titreşim Maruziyeti Olan Çalışanlarda Dikkat Edilmesi Gerekli Engelleyici Önlemler.....	103

RESİMLER

	Sayfa
Resim 1. Kütle-Yay Sistemi.....	2
Resim 2. Sinüs Dalgasının Pik-Pik Seviyesi, Pik seviyesi, Ortalama Seviyesi ve Rms Seviyesi.....	5
Resim 3. Diyapozandan ve Farklı Örneklerden Yayınlanan Titreşimler.....	6
Resim 4. Dikey Olarak Titreşen Bir Yüzeyde Ayakta Duran Bir Kişinin Basitleştirilmiş Mekanik Sistem Modellemesi.....	8
Resim 5. Zeminden, Ayakta Duran Bir Kişinin Farklı Vücut Kısımlarına Frekansın Bir Fonksiyonu Olarak Dikey Titreşim İletimi.....	9
Resim 6. Zeminden, Oturan Bir Kişinin Farklı Vücut Kısımlarına Frekansın Bir Fonksiyonu Olarak Dikey Titreşim İletimi.....	9
Resim 7. Piezoelektrik İvme Ölçerler.....	26
Resim 8. Elle Tutma Ve El Ayasının Düz Olduğu Durumlar İçin Kullanılacak Eksen Yönelimleri. (Düz çizgi ile gösterilen eksenler, biyodinamik koordinat sistemini; kesikli çizgi ile gösterilen eksenler, taban merkezli koordinat sistemini göstermektedir).....	27
Resim 9. Monte Blokları.....	30
Resim 10. Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi' nde Belirtilen Etkin Ve Sınır Değerlerin Altında Kalmak İçin Süre Sınırları.....	41
Resim 11. Tüm Vücut Titreşim Ölçümleri İçin Kullanılan Eksenler.....	56
Resim 12. Tüm Vücut Titreşim Ölçer Diski.....	61
Resim 13. Tüm Vücut Titreşim Ölçer Diskinin Sırt Ölçümlerinde Kullanılması.....	61
Resim 14. Svantek Cihazının El-Kol ve Tüm Vücut Titreşim Ölçümleri için Kullanılması.....	71

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Serap ZEYREK

Doğum Yeri ve Tarihi: Sungurlu, 17.02.1977

Medeni Durum: Evli ve 1 çocuk annesi

Adres: Dodurga Mah. Yeşilpark Sitesi 58/1-23 Türkkonut, Yenimahalle/Ankara

Telefon: 0505 8258925

E-mail: szeyrek@csgb.gov.tr

Eğitim:

- Lise: Ankara Başkent Lisesi Fen-Matematik Bölümü 1994.
- Lisans: Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü 2001.
- Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Bölümü 2004.

Kurslar,Projeler:

- BGAG Event Training, Basic Training, 2005 Dresden, ALMANYA

Yabancı Dil:

İngilizce KPDS- C

İş Deneyimi:

- ÇSGB İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü (2005-İSG Uzman Yardımcısı)
- Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü(2002-2005 Araştırma Görevlisi)