

## OTURMA POZİSYONUNDA ÇALIŞANLARIN TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ MARUZİYETLERİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN ISO2631-1, ISO2631-5, BS6841 ve AVRUPA BİRLİĞİ DİREKTİFİ (EU) 2002/44/EC' nin KARŞILAŞTIRILMASI

Tuğba DOĞAN<sup>1\*</sup>, Bülent ERDEM<sup>2</sup>, Zekeriya DURAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2628-4238>

<sup>2</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1226-9248>

<sup>3</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas MYO

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-9327-8567>

### Anahtar Kelimeler

Tüm vücut titreşimi  
AB direktifi 2002/44/EC  
ISO 2631-1  
ISO 2631-5  
VDV(8), A(8)

### Öz

Titreşim kaynaklı makineler endüstrinin neredeyse tüm çalışma kollarında kullanılmaktadır. Bu makineleri kullanan çalışanlar titreşim sonucunda el ve kol titreşimi ve tüm vücudu titreşiminin olumsuz etkisi altında kalarak sağlıksal maruziyetler yaşamaktadırlar. Titreşim, çalışanları; fiziksel ve psikolojik yönlerden etkileyebilmekte, meslek hastalıklarının oluşmasına neden olabilmekte, çalışma performanslarını etkileyerek iş sağlığını ve güvenliğini tehlikeye sokabilmektedir. Titreşimli araç kullananlarda görülen el-parmak ve dirsek rahatsızlıkları ile titreşimli zeminde çalışanlardaki bel ve sırt sorunları, gibi pek çok titreşim kaynaklı rahatsızlık İSGİP tarafından hazırlanan Meslek Hastalıkları ve İş ile ilgili Hastalıklar Tanı Rehberinde tanımlanarak sonuçları değerlendirilmektedir. İnsan vücudunun titreşime maruziyetinin ölçümü ve değerlendirilmesi için en iyi bilinen standartlar BS 6841 (1987) ve ISO 2631-1'dir (1997). AB Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifinde ISO 2631'e atıfta bulunulduğundan, BS 6841'in yerine tercih edilmektedir. ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 uluslararası standartları, tüm vücut titreşimini incelemekte ve ergonomi, konfor ile sağlık açısından titreşimin önemini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada ülkemizde ve dünyada titreşimin insan vücuduna etkisini değerlendirmede kullanılan ulusal ve uluslararası bu standartlar karşılaştırılmıştır.

## COMPARISON OF ISO 2631-1, ISO 2631-5, BS 6841 AND EU 2002/44/EC USED IN DETERMINING THE WHOLE-BODY VIBRATION EXPOSURE OF EMPLOYEES IN THE SITTING POSITION

### Keywords

Whole body vibration  
EU Directive 2002/44/EC  
ISO 2631-1  
ISO 2631-5  
VDV(8), A(8)

### Abstract

Vibration-induced machines are used in almost all industry branches. Employees using these machines experience health exposures by being affected by hand and arm vibration and the whole-body vibration as a result of vibration. Vibration, employees; it can affect physically and psychologically, cause occupational diseases, and may affect occupational health and safety by affecting their performance. Many vibration-related disorders such as hand-finger and elbow discomfort seen in users using vibratory vehicles and waist and back problems in those working on vibratory grounds are defined in the Diagnostic Guide of Occupational Diseases and Work-Related Diseases prepared by İSGİP. The best-known standards for measuring and evaluating human body exposure to vibration are BS 6841 (1987) and ISO 2631-1 (1997). ISO 2631 is preferred over BS 6841 as the EU Physical Agents (Vibration) Directive refers to it. International standards ISO 2631-1 and ISO 2631-5 examine whole body vibration and aim to demonstrate the importance of vibration in terms of ergonomics, comfort and health. In this study, national and international this standard used for evaluating the effect of vibration on human body in Turkey and in the world have been compared.

Derleme Makalesi

Başvuru Tarihi : 06.02.2020  
Kabul Tarihi : 08.07.2020

Review Article

Submission Date : 06.02.2020  
Accepted Date : 08.07.2020

\* Sorumlu yazar e-posta: tcamuzcu@cumhuriyet.edu.tr

## 1. Giriş

İnsanların, muhtemelen düdük ya da davul gibi ilk müzik aletlerini yaptıklarında titreşimle ilgilenmeye başladıkları ifade edilmektedir. Ses dalgaları ve müzikal seslerin bilimsel temelini ilk araştıran matematikçi Pisagor (MÖ 582-507), monokord denilen basit bir alet kullanarak titreşimli bir sicim üzerine deneyler gerçekleştirmiştir. Müzikal enstrümanların birçoğunda, özellikle telli enstrümanlarda, titreşim istenilen bir olay olmasına rağmen birçok mekanik sistem için istenmeyen bir durumdur. Örneğin uçak gövdesindeki titreşimler yorulmaya neden olmakta ve sonuç olarak hasara yol açmaktadır (Rao, 2011).

Titreşim, bir cismin iç veya dış kuvvetlerin etkisi ile yaptığı salınım hareketi olarak tanımlanmaktadır. Titreşim, diğer yandan, ses dalgaları gibi belirli aralıklarla tekrarlayan mekanik bir enerji olup bunu sestten ayıran en önemli farkın, sesin hava yolu ile titreşimin ise cismin (vücutun) sert kısımlarından girmesi olduğu belirtilmektedir (Akduman ve Pekey, 2010). Mansfield (2005) titreşimin mekanik bir yapıya ihtiyacı olduğunu ve bu yapının bir makinenin, aracın veya kişinin bir parçası olabileceğini ancak mekanik bir bağlantı (kuplaj) kaybolduğunda titreşimin artık yayılamayacağını ifade etmiştir. Diğer yandan titreşim, genellikle katı ortamlarda yayılan ve dokunma duygusu ile hissedilen alçak frekanslı ve yüksek genlikli mekanik salınımlar olarak da tanımlanabilmektedir.

Titreşim, fiziksel ve mekanik etkileri nedeniyle iş sağlığı ve iş güvenliğini etkilemektedir. İşsever (1999), Sezgin ve Birlik (2004) ve Şahin ve Işık (2007) titreşimin gürültü ile birlikte toplumsal etkilerinden en önemlisinin çalışma hayatında kronik hastalıkların oluşum mekanizmasındaki yeri olduğunu belirtmişlerdir.

İnsan, titreşimin düşük frekanslarında sarsıntı hissetmekte, yüksek frekanslarında ise karıncalanma hatta yanma hissi duymaktadır. Titreşim sebebiyle meydana gelen rahatsızlıklara kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları denilmektedir. Terminolojik olarak kas-iskelet sistemi; tendonları, bağları, eklemleri, çevresel sinirleri ve kan damarlarını kapsayan bir yapıdır. Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, endüstrileşmiş ülkelerin birçoğunda görülen bir rahatsızlık tipidir (İşsever, 1999; Rehn, 2004). Şahin ve Işık (2007) Avrupa'nın toplam çalışan nüfusunun %30'undan fazlasına karşı gelecek şekilde kırk milyonun üzerinde çalışanın kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarından etkilendiğini belirtmişlerdir. Titreşim rahatsızlığının en çok görülen belirtileri arasında yorgunluk, bitkinlik ve ağrılar bulunmaktadır. Rahatsızlık durumunda özellikle boyun, omuz ve bel bölgeleri etkilenmektedir. Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları

çalışma şartlarından kaynaklı olup olumsuz ergonomik faktörler bu rahatsızlıkları tetikleyici, ağırlaştırıcı etki göstermektedir. İş ortamıyla ilgili daha fazla risk faktörleri ortaya çıktıkça, çalışanlar bu rahatsızlıklardan daha fazla etkilenmektedirler (Rehn, 2004). Önceki yıllarda tanımlanan ve doğrudan gürültü ve titreşimle ilişkilendirilmiş olan vibro-akustik hastalık (VAH) dikkate alındığında, helikopter pilotlarının maruz kaldığı titreşim düzeylerinin azaltılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. UH-1H helikopterlerinde normal uçuş koşullarında pilot koltuklarında  $a_z = 0,920 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  ve  $a_y = 0,868 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  KOK değerleri tespit edilmiş olup bunlar yüksek titreşim düzeylerine işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak da pilotlarda, özellikle omurgada, uzun dönemlerde meydana gelen dejeneratif değişikliklerin sebebinin bu titreşimler olduğu kanısına varılmıştır (Sezgin ve Birlik, 2004).

Titreşim çalışanları fiziksel ve psikolojik yönlerden etkileyerek çalışma hayatlarında kronik hastalıkların oluşmasına sebep olmakta, çalışma performanslarını etkileyerek iş güvenliğini tehlikeye sokmaktadır. TÜİK kayıtlarında 2007-2012 yılları arasında "E-5 grubu Titreşim Sonucu Kemik-Eklemler Zararları ve Anjöratik Bozuklukları" başlığı altında sadece 6 hastalık kaydedilmişken 2013 yılından itibaren bu başlık istatistik kayıtlarından çıkartılmış olup "Gürültü ve Titreşimin Etkileri (Ani duyma kaybını da kapsar)" başlığı altına taşınmıştır. 2013 yılı itibarıyla kayıt altına alınan yaralanmaların gürültü sonucunu yoksa titreşim sonucunu olduğu anlaşılamamaktadır.

ABD'de 7 milyondan fazla insan kas ve iskelet sistemi hastalıklarına yakalanırken; İngiltere'de endüstride çalışanların %50'sinden fazlası kas-iskelet sistemi rahatsızlığı çektiği bildirilmiştir (Wasserman vd.,1997; Özel ve Çetik, 2010). Dünyada pek çok ülkede kas ve iskelet sistemine bağlı hastalıkların dikkat çekici bir artış gösterdiği istatistiksel kayıtlardan izlenmesine rağmen ülkemizde bu konuda hiçbir istatistik kesin kaydın olmaması önemli bir eksiklik olarak görülmüştür.

Bu çalışmada ülkemizde ve dünyada daha çok tercih edilerek tüm vücut titreşimi maruziyetinin belirlenmesinde kullanılan ISO 2631-1, BS 6841, ISO 2631-5 standartları ile EU 2002 direktifini hakkında bilgiler verilmesi, karşılaştırılması amaçlanarak; aralarındaki farkların incelenmesi yapılmıştır.

## 2. Tüm Vücut Titreşimi ile İlgili Standartlar ve Ülkemizdeki Yasal Mevzuat

Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı'na (ISO) göre standartlar; malzemelerin, ürünlerin, işlemlerin ve hizmetlerin amaçlarına uygun olmasını sağlamak

için kurallar, kılavuzlar veya özellikler tanımları olarak sürekli kullanılmak üzere teknik şartnameler veya diğer kesin ölçütler içeren belgelenmiş anlaşmalardır. Ölçüm metodolojilerini belirlemek için standartlar kullanılmaktadır. Bu, bir dizi yöntem bir laboratuvar tarafından kullanıldığında aynı sonuçları kullanan başka bir laboratuvar da benzer sonuçlar elde edilmesini sağlamak amacıyla yapılmaktadır. İdeal olarak, bu laboratuvarlardan herhangi birisinin, ölçümün, "standartlara (standart sayıya) göre yapıldığını" rapor etmesi yeterli olmakta ve daha fazla açıklama gerekmemektedir. İnsan titreşim maruziyeti araştırması disiplini için de standartlar mevcut olup bunlarda ölçüm amaçlı genel metodlar verilmektedir.

Çoğu titreşim standardı, makinelerin emisyonu veya operatör maruziyetinin ölçülmesini sağlamak için uygulanmaktadır. Emisyon, belirli çalışma koşullarında işleyen makinenin ölçülebilen titreşim büyüklüğünü belirlemekte olup çalışma koşulları ile değişmektedir. Personelin titreşim maruziyeti ise genellikle bir iş gününü kapsayan maruziyete yol açan makine emisyonlarını, çalışma süresi ve çalışma koşulu profiliyle birleştirmektedir. Bu nedenle - emisyon makineye özel, maruziyet ise operatöre özgü olarak tanımlanmaktadır.

İnsan vücudunun titreşime maruziyetinin ölçümü ve değerlendirilmesi için en iyi bilinen standartlar BS 6841 (1987) ve ISO 2631-1'dir (1997). Frekans ağırlıkları, eksen çarpanları, sınır değerleri vb. aralarında önemli farklılıklar olmasına rağmen bu iki standart benzer şekilde uygulanabilmektedir. AB Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifinde ISO 2631'e atıfta bulunulduğundan, BS 6841'in yerine tercih edilmektedir (Doğan, 2019).

### **2.1. BS 6841 İnsan Vücudunun Mekanik Titreşimlere Ve Tekrarlı Şoklara Maruziyetinin Ölçümü Ve Değerlendirilmesi İçin Kılavuz**

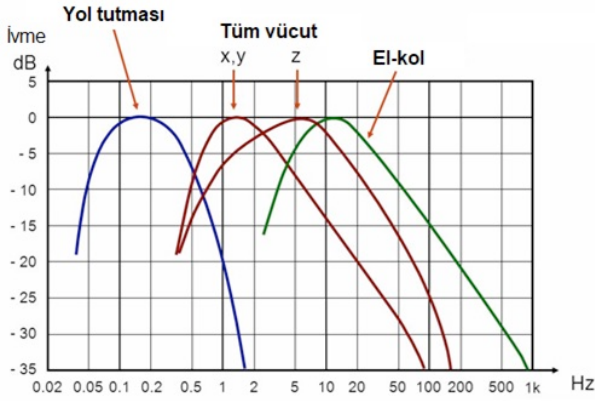
BS 6841 (1987) standardı; insan sağlığına, faaliyetlerin engellenmesine, rahatsızlığa, titreşim algılama ihtimaline ve yol tutmasına neden olan titreşimleri ve tekrarlı şokların ölçümünde kullanılan yöntemleri içermektedir. Standart, operatör koltuğundaki titreşim ölçümlerinin, koltuk yüzeyine yerleştirilen minder türü bir aygıtta monte edilmiş bir ivmeölçer kullanılarak yapılması gerektiğini belirtmektedir. Standart ayrıca, koltuk sırtlığında ve ayakta iken ölçülen titreşimin değerlendirilmesine yönelik rehberlik de vermektedir. Standart uyarınca titreşim ivmesi sinyalleri, normal olarak, koltuk dikeyinde  $W_b$ , ön-arka koltuk sırtlığı için  $W_c$  ve koltukta yatay titreşim için  $W_d$  filtresi kullanılarak frekansa göre ağırlıklandırılmalıdır. El-kol titreşimi için  $W_b$ , yol

tutması için ise  $W_f$  frekans ağırlıklandırması kullanılmaktadır.

Standart uyarınca titreşim sinyalleri kararlı (durağan) ve bir tepe değere sahipse, sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmek için frekans-ağırlıklı ivme sinyallerinin KOK değeri hesaplanmalı ve bu değer üzerinden eVDV belirlenmelidir. Sinyallerin zamana bağlı olarak durağan olmadığı ya da tepe faktörünün 6'dan büyük olduğu durumda VDV hesaplanmalıdır. Standart,  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1.75}$ 'den büyük VDV değerlerinde titreşim kaynaklı ciddi rahatsızlıkların oluşabileceğini belirtmektedir. Dolayısıyla bu değer, genel bir gösterge olarak, standart uyarınca güvenli veya güvensiz bir sınır olarak sunulmaktadır.

### **2.2. ISO 2631-1 Mekanik Titreşim Ve Şok- İnsanın Tüm Vücut Titreşimine Maruziyetinin Değerlendirilmesi- Bölüm 1: Genel Gereksinimler (1997)**

ISO 2631-1 periyodik, rasgele ve geçici nitelikteki tüm vücut titreşiminin ölçüm yöntemlerini içermekte ve ölçümlerin yorumlanması için rehberlik etmektedir. Birinci ek frekans ağırlıklandırmalarını tanımlamaktadır. Standart, titreşimin insan vücudu ve titreşim kaynağı arasındaki ara yüzde ölçülmesi gerektiğini belirtmektedir. Operatör koltuğundaki ölçümler, ivmeölçerin içerisine yerleştirildiği SAE uyumlu bir minder kullanılarak, kişinin otururken kalçasında eliyle hissedebileceği iskiyak kemikleri altında yapılmalıdır. Standart ayrıca, koltuk sırtlığında ve ayakta dururken yapılan titreşim ölçümlerine nasıl yaklaşılacağı konusunda rehberlik etmektedir. Titreşim büyüklüğü, geldiği frekansın vücut üzerindeki etkisini gösterecek biçimde "ağırlıklandırma" faktörü ile düzeltilmektedir. ISO 2631 farklı durumlarda kullanılmak üzere altı adet frekans ağırlıklandırması tanımlamıştır. Frekans ağırlıklandırmaları, daha yüksek frekanslarda daha yüksek değerlere sahiptir. Bunlar  $W_c$ ,  $W_d$ ,  $W_e$ ,  $W_f$ ,  $W_j$ ,  $W_k$ 'dir. İvme sinyalleri normal olarak, koltuk dikeyinde (Z eksen)  $W_k$ , ön-arka ve sırt (X eksen) için  $W_c$  ve koltukta yatay titreşim için (X ve Y eksenleri)  $W_d$  kullanılarak frekans ağırlıklandırması ile alınmaktadır. Yol tutması için  $W_f$  filtresi kullanılmaktadır. Tüm vücut titreşimi ve el-kol titreşimi ölçümlerinde faydalanan frekans ağırlıklandırma filtreleri Şekil 1'de gösterilmektedir.

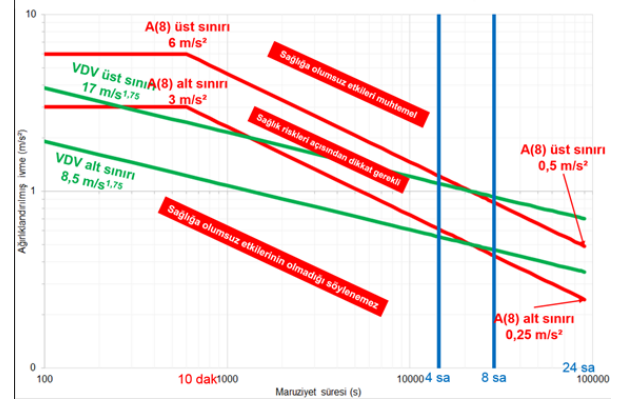


Şekil 1. Ağırlıklandırılmış Frekans Eğrileri (Brüel ve Kjaer, 2002).

ISO 2631'e (1997) göre titreşimin sağlık üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi frekans ağırlıklı KOK değerleri kullanılarak saptanmaktadır. Destek yüzeyi üzerindeki her bir hareket eksenini için tepe faktörü 9'dan düşükse, her yönde bağımsız olarak değerlendirilmeler yapılmakta ve yatay titreşim 1,4 ölçek faktörü ile çarpılmaktadır.

İki eksenle karşılaştırılabilir büyüklükler olduğunda bunların vektörel toplamı alınabilmeye birlikte bu işlem zorunlu değildir ve "karşılaştırılabilir" in nasıl yorumlanacağı konusunda yönlendirme bulunmamaktadır. Tepe faktörü 9'dan büyük olduğunda iki alternatif değerlendirme yönteminin kullanımı önerilmektedir: MTVV ve VDV. MTVV, akan KOK değerlerinin en büyüğüdür. Ancak standart, VDV veya MTVV kullanılmış olsa bile KOK değerinin rapor edilmesini istemektedir.

ISO 2631 (1997), en 'kötü' eksenindeki frekans ağırlıklı KOK ivmesini yorumlamaya yardımcı olmak amacıyla KOK ve VDV yaklaşımları için iki "sağlık kılavuzu uyarı bölgesi (HGCZ)" içermektedir. Standartta göre "Bölgenin altındaki maruziyet değerlerindeki sağlığa olumsuz etkiler açıkça belgelenmemiş ve/veya nesnel olarak gözlenmemiştir; bölgede potansiyel sağlık riskleri ile ilgili ihtiyatlılık gösterilmektedir ve bölgenin üstünde ise sağlık riskleri muhtemeldir". KOK ve VDV değerleri için bölgeler yaklaşık 4-8 saat aralığında çakışmakta olup standart, bölgelerin daha kısa sürelerle kullanılmasına karşı uyarılmaktadır (Şekil 2). VDV baz alınarak yapılan değerlendirmelerde, sağlık kılavuzu uyarı bölgesi sırasıyla  $8,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1,75}$  ve  $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1,75}$  de alt ve üst sınırlara sahiptir. MTVV için eşdeğer bir bölge yoktur. Standartın özünde frekans ağırlıklı KOK değerleri kullanma yöntemi var olup bu, çoğu kullanıcının uyguladığı birincil yöntemdir. VDV veya MTVV üzerinden sağlık etkilerinin değerlendirilmesi, tepe faktörü 9'u aştığında uygulanmaktadır.



Şekil 2. ISO 2631-1 (1997) HGCZ Sınırları Ve Sağlığa Olası Etki Bölgeleri (Doğan, vd., 2015)

ISO 2631-1 ve BS 6841 standartları karşılaştırıldığında; dikey yönlü titreşim için BS 6841' de  $W_b$ , ISO 2631-1'de  $W_k$  frekans ağırlıklandırma filtresi kullanılmaktadır. Koltuk yüzeyinde ölçülen titreşiminin değerlendirilmesinde BS 6841'de çarpım faktörü gerekmezken; ISO 2631-1'de X ve Y yönlerinde oluşan yatay titreşim için 1,4 çarpım faktörü kullanılmaktadır. BS 6841'de sağlık riski ölçütü olarak titreşim dozunun  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1,75}$  üzerindeki değerleri, ISO 2631-1'de bu ölçüt için "sağlık kılavuzu uyarı bölgesi" nin alt ve üst sınır değerleri olan  $8,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1,75}$  ve  $17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1,75}$  kullanılmaktadır. Ancak her iki standartta da RMS değerlerine öncelik verilmekte; sağlık riskini değerlendirmek için BS 6841'de tepe faktörünün 6'dan, ISO 2631-1'de 9'dan büyük olduğu eksenlerde VDV dikkate alınmaktadır.

### 2.3. ISO 2631-5 Mekanik Titreşim Ve Şok- İnsanın Tüm Vücut Titreşimine Maruziyetinin Değerlendirilmesi- Bölüm 5: Çoklu Şok İçeren Titreşimin Değerlendirilmesi İçin Yöntem (2004)

ISO 2631-5: 2004 standardı, genel olarak bel omurgasında olumsuz sağlık etkileri söz konusu olduğunda koltuk yüzeyinde ölçülen mekanik çoklu şoklara maruziyet sorununu ele almaktadır. Yöntem kullanılarak tekli veya çoklu şokların omurgada oluşturacağı baskı hesaplanabilmekte ve muhtemel zarar analiz edilebilmektedir. ISO 2631-5: 2004 standardı şokları doğru biçimde analiz etmek için kullanılabilen tek güncel standart olma özelliğine sahiptir.

Standart uyarınca sağlık riski hesaplanırken çalışanın yaşı, titreşime maruziyetin başladığı yaş, başlangıçtan itibaren titreşime maruz kalan yıl ile yılda titreşime maruz kalan gün sayısı kullanılmaktadır. ISO 2631-5: 2004'te tarif edilen bel omurga sisteminin titreşime tepkisinin hesaplandığı

yöntem uyarınca titreşime maruz olan kişinin koltukta dik bir konumda oturduğu ve farklı duruşlar omurganın farklı tepkileriyle sonuçlanabileceği için maruziyet sırasında gönüllü olarak koltuktan kalkmadığını varsayılmaktadır.

Standart, tüm vücut titreşiminin sağlık üzerindeki etkilerini değerlendirmek için statik basınç dozu tanımını ortaya koymaktadır.  $S_{ed}$ ; 0,5 MPa altında, 0,5 MPa ve 0,8 MPa arasında ya da 0,8 MPa değerinin üzerindeki bölgelere düşmektedir. ISO 2631-5: 2004'e göre  $S_{ed} < 0,5$  MPa durumunda olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşüktür.  $S_{ed} > 0,8$  MPa ise olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı yüksektir. Bununla birlikte 0,5 MPa ile 0,8 MPa arasındaki  $S_{ed}$  değerleri sağlık üzerindeki olumsuz etkilerin orta derecede olasılığına işaret etmektedir. Alternatif olarak günlük eşdeğer statik basınç dozu kullanılarak hesaplanan ve operatörün yaşı ile tecrübesine bağlı azalan güç durumunu dikkate alan R faktöründen de faydalanılabilmektedir. Buna göre; R faktörü 0,8'in altındaysa olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı düşük, 1,2'nin üzerinde ise olumsuz bir sağlık etkisi olasılığı yüksek, 0,8 ve 1,2 arasında ise olumsuz bir sağlık etkisinin orta derecede olası olduğu belirtilmektedir.

Standart, 2018 yılında revize edilmiştir.  $S_d^A$  ;  $R^A$  değerleri tanımlanmıştır. Ancak kullanılan limit değerleri aynı kalmıştır.

#### 2.4. Avrupa Birliği Direktifi (EU) 2002/44/EC

Avrupa Birliği üye devletleri, işyerinde sağlık ve güvenlik koşullarını sağlamak için asgari standartlar da dâhil olmak üzere bazı "sosyal hükümlerin" uyumlaştırılması üzerinde anlaşmaya varmıştır. Avrupa Direktifi 89/391/EEC ile işverenlerin işyerindeki kişilerin sağlığı ve güvenliğiyle ilgili riskleri ve belirli tehlikelere ilişkin şartları değerlendirmesi ve kontrol etmesiyle ilişkili

hükümler belirlenmiştir. 2002/44/EC sayı ile kabul edilen "Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi" olarak bilinen el-kol titreşiminden ve tüm vücut titreşiminden kaynaklanan risklere çerçeve yönerge ilkelerini uygulayan, titreşime bağlı hastalıkların önlenmesi için asgari gereklilikleri vurgulayan 2002 tarihli direktif, üye devletlerin 6 Temmuz 2005 tarihine kadar gerekli hükümleri uygulaması yükümlüğünü getirmiştir (Nelson ve Brereton, 2005). Direktifte işverenin çalışma kaynaklı titreşim maruziyetini mümkün olan yerlerde en aza indirmesinin yanı sıra maruziyet eylem değeri (EAV) ve maruziyet sınır değeri de (ELV) tanımlanmıştır. Bir işçinin titreşime maruziyet yükümlülüğü varsa günlük titreşime maruziyet olasılığının değerlendirilmesi ve maruziyet düzeyi EAV'yi aşarsa, maruziyeti azaltmak ve riskleri en aza indirmek için bir dizi önlem alınması gerekmektedir. ELV aşıldığında ise titreşim maruziyetini bu eşiğin altına düşürmek için derhal harekete geçilmeli ve tekrar aşılmasını önlemek için önlemler uygulanmalıdır.

TVT maruziyetiyle ilişkili olumsuz sağlık etkilerinin değerlendirilmesi için 2002/44/EC sayılı Avrupa Birliği Direktifi'nde A (8) için belirlenen EAV ve ELV değerleri, sırasıyla; 0,5  $m \cdot s^{-2}$  ve 1,15  $m \cdot s^{-2}$ , VDV değerleri de sırasıyla, 9,1  $m \cdot s^{-1,75}$  ve 21  $m \cdot s^{-1,75}$ 'dir. Maruziyet eşikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Morrison vd. (1998) ile Eger vd. (2013) VDV'nin insan sağlığı, konfor, algı ve yol tutması ile ilişkili olarak geliştirilmiş öngörü gücüne rağmen mevcut standartların, çoklu şokların bulunduğu durumlarda insanın titreşime tepkisini yeterince tarif edemediği sonucuna varmıştır.

**Tablo 1. TVT İçin Maruz Kalma Sınır Değerleri (van Niekerk, 2008; Eger ve Godwin, 2014)**

	ISO 2631-1 (1997)		Avrupa Birliği Direktifi 2002/44/EC		BS 6841 (1987)	ISO 2631-5: 2004			
	a	b	a	b	a-b	a-b	a-b		
	A(8) ( $m \cdot s^{-2}$ )	A(8) ( $m \cdot s^{-2}$ )	A(8) ( $m \cdot s^{-2}$ )	A(8) ( $m \cdot s^{-2}$ )	A(8) ( $m \cdot s^{-2}$ )	VDV ( $m \cdot s^{-1,75}$ )	VDV ( $m \cdot s^{-1,75}$ )	Sed (MPa)	R
Düşük	0,43	< 0,45	8,5	< 8,5	< 0,5	< 9,1		Alt Sınır	<0,80
Orta		0,45-0,90		8,5-17,0	0,5-1,15	9,1-21,0		Ara bölge	0,5-1,20
Yüksek	0,86	>0,90	17,0	>17,0	>1,15	>21,0	15,0	Üst Sınır	>1,20

<sup>a</sup> van Niekerk, 2008

<sup>b</sup> Eger ve Godwin, 2014

## 2.5. Ülkemizdeki Yasal Mevzuat

Dünyada pek çok ülkede tüm vücut titreşimini inceleyen ve konfor ile sağlık açısından titreşimin önemini ortaya koymayı amaçlayan ISO 2631-1 ile ISO 2631-5 standartları kullanılmaktadır. Titreşimin ölçülmesi, kayıt altına alınması ve raporlanması; titreşim yönetmeliği ve uygulanmakta olan titreşim standartlarına uygun olarak yapılmalıdır. Titreşim ölçümünde kullanılan algılayıcılar yer değiştirme, hız ve ivme algılayıcıları olmakla birlikte rahatsız edici en büyük niceliğin ivme olması nedeniyle genellikle bu büyüklük ölçülmektedir (Saral 1976; Anonim, 1998; Çay, 2006).

Türkiye’de Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 20.6.2012 tarih ve 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’nun 30. maddesine dayanarak ve 25.6.2002 tarihli ve 2002/44/EC sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konseyi Direktifine paralel olarak, çalışanların mekanik titreşime maruziyeti sonucu oluşabilecek sağlık ve güvenlik risklerinden korunmalarını sağlamak için asgari gereklilikleri belirlemek amacıyla 22.08.2013 tarih ve 28743 sayılı Resmi Gazete’de “Çalışanların Titreşimle ilgili Risklerden Korunmalarına dair Yönetmelik” yayımlanmış olup, halen kullanılmaktadır.

Yönetmelik madde 4 uyarınca:

- i. Bütün vücut titreşimi: Vücudun tümüne aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan, özellikle de bel bölgesinde rahatsızlık ve omurgada travmaya yol açan mekanik titreşimi,
- ii. Maruziyet eylem değeri: Aşıldığı durumda, çalışanın titreşime maruziyetinden kaynaklanabilecek risklerin kontrol altına alınmasını gerektiren değeri,
- iii. Maruziyet sınır değeri: Çalışanların bu değer üzerinde bir titreşime kesinlikle maruz kalmaması gereken değeri ifade etmektedir.

Yönetmelik madde 5: Bütün vücut titreşimi için;

- i. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri:  $1,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  olacak şekilde belirtilmektedir.
- ii. Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet eylem değeri:  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  olacak şekilde belirtilmektedir. Bu sınırların aşıldığı durumlarda insan vücudunda refleks azalması, görme bozuklukları, bel ağrısı, omurgadaki olumsuz etkiler, sindirim ve üreme sistemi bozuklukları gibi rahatsızlıklar görülmeye başlanmaktadır.

Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik EK 2: Maruziyet değerlendirmesinde “Bütün vücut titreşiminde maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi, günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak sekiz saatlik dönemde  $A(8)$  sürekli ivme eşdeğeri cinsinden tanımlanan en yüksek (RMS) değeri olarak hesaplanan, TS EN 1032+A1:2011 “Mekanik Titreşim – Titreşim Emisyon Değerinin Belirlenmesi Amacıyla Hareketli Makinelerin Deneye Tabi Tutulması” ile TS ISO 2631-1 “Mekanik Titreşim ve Şok-Tüm Vücut Titreşime Maruz Kalma Değerlendirilmesi – Bölüm 1: Genel Kurallar” standartlarına ve bu standartların en güncel hallerine göre yapılır” ifadesi yer almaktadır.

Titreşim riskinin tahmin edilmesi ve değerlendirilmesi eylem ve sınır değerleri ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilir. Buna göre;

- a) Eylem değeri altında hassas bünyeler hariç risk yoktur. Çalışana aktarılan titreşim tolere edilir.
- b) Eylem değeri ile sınır değer arasındaki bölgede risk vardır. Tolere edilip edilemeyeceğine maruz kalınan süreye göre karar verilir. Eylem değeri ile sınır değer arasındaki bölgede riskin kaynağında yok edilmesi için çalışmalar yapmak, sağlık taraması yapmak gerekmektedir.
- c) Sınır değer üzerinde maruz kalınan titreşim tolere edilememektedir. Sınır değer üzerinde, titreşim değerinin sınır değer altına indirilmesi için acil bir şekilde önlem alınmalıdır. Değer, sınır değer altına indirilemiyorsa çalışma saatlerini düzenleyerek çalışanın 8 saatlik maruziyet değeri azaltılmalıdır.

## 3. Tartışma

ISO 2631-1: 1997, tüm vücut titreşiminin insan sağlığı ve sürüş konforu üzerindeki etkilerini değerlendirmek için birincil standarttır. Bu standartta, tüm vücut titreşimlerinin insan sağlığı ve sürüş konforu üzerindeki etkilerini değerlendirmek için prosedürler önerilmiştir. ISO 2631-5: 2004, tüm vücut titreşiminin çoklu şok içeren nedenleri üzerindeki sağlık etkilerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. EU 2002/44/EC ve BS 6841, tüm vücut titreşiminin insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu standarttaki değerlendirme prosedürleri kabaca ISO 2631-1: 1997'deki ile benzerdir. BS 6841: 1987 ve ISO 2631-1: 1997 arasındaki temel fark, koltuk minderindeki dikey ivmeler için frekans ağırlık filtrelerinin farklı olmasıdır. Ek olarak, BS 6841: 1987'de tüm vücut titreşiminin insan sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmek için koltuk minderi üzerindeki üç ötelenme (translational) ivmesinin titreşim toplam değeri ve koltuk arkılığı

üzerindeki uzunlamasına ivmelenmeler önerilmektedir. Ancak ISO 2631-1: 1997'de koltuk minderi üzerindeki üç ötelenme ivmesinin en yüksek değeri veya titreşim toplam değerinin alınması önerilir. ISO 2631-1: 1997'deki sağlık rehberliği uyarı bölgesinin (HGCZ) sınırları ile AB Direktifi sınır değerleri farklıdır.

Tüm vücut titreşim maruziyetinin değerlendirilmesinde kullanılan ISO 2631-1, EU 2002/44/EC direktifi ve BS 6841 standardında alt ve üst limit değerleri titreşim dozu ve titreşim ivmesi açısından farklılık göstermektedir. BS 6841 standardında yalnızca titreşim dozu (VDV) değerlerinde  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1.75}$ 'den büyük titreşim kaynaklı ciddi rahatsızlıkların oluşabileceğine değinilmiş ancak daha düşük değerler için bir açıklama verilmemiştir. Titreşim ivmesi için ISO 2631-1 alt ve üst limit değerleri ( $0,43-0,86 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ), EU 2002/44/EC direktifinde  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  ile  $1,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  arasında değişmektedir. Titreşim dozu için de bu değerler  $8,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1.75}$  -  $17,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1.75}$  ile  $9,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1.75}$  -  $21,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1.75}$  arasındadır. ISO 2631-5 standardında ise maruziyet, şoklar ve çalışanın yaşı ile iş tecrübesi kullanılarak belirlenmektedir. ISO 2631-1 standardında insan sağlığı ve rahatlığı, titreşim algısı olasılığı ve hareket hastalığı insidansı ile ilgili olarak TVT'nin miktarının belirlenmesi konusunda rehberlik yaparken; 2004 yılında ISO, 2631-5 standart numarası ile çoklu şoklar içeren TVT'ye insan maruziyetinin değerlendirilmesi için yeni bir standart getirmiştir. Yeni standardın temeli, 1991-1997 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Aero Tıbbi Araştırma Laboratuvarı (USAARL) tarafından yaptırılan bir dizi araştırma raporu tarafından atılmıştır. ISO 2631-5 standardı, özellikle bel omurgası ve vertebral uç plakalara yönelik sağlık risklerini çoklu şok içeren titreşim maruziyetinin sonucu olarak ele almaktadır (Eger vd., 2008). Aye (2009), tüm vücut titreşimi maruziyetinin belirlenmesi için ISO 2631-1: 1997 ve ISO 2631-5: 2004'e göre çeşitli maden makinelerinden kaynaklanan sağlık risklerini belirlemeye çalışmıştır. ISO 2631-5 standardı uyarınca belirlenen  $S_{ed}$  değerlerinin ISO 2631-1 standardı ile hesaplanan VDV değerlerinden daha yüksek sağlık riskleriyle sonuçlandığını göstermiştir. 2009 yılında, ekskavatörlerde TVT'nin neden olduğu yüksek sağlık risklerinin ISO 2631-1: 1997'deki VDV yönteminden ziyade ISO 2631-5: 2004'te  $S_{ed}$  yöntemiyle tahmin edilmesi gerektiği sonucuna varmıştır. Aye'in görüşünün aksine Gryllias vd. (2016) yaptıkları çalışmada, VDV(8) değerleri ile öngörülen sağlık risklerinin  $S_{ed}$  değerleri ile öngörülenlerden daha düşük olduğunu göstermişlerdir. Başka bir deyişle, ISO 2631-1: 1997'deki HGCZ sınırları, TVT'nin insan sağlığı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için ISO 2631-5: 2004'tekilere eşdeğer değildir. HGCZ'ye göre TVT'nin insan sağlığı üzerindeki etkisini

değerlendirmek için hangi standardın takip edilmesi gerektiğini söylemenin zor olduğunu vurgularken bu iki standart ile ilgili çalışmaların çoğaltılması gerektiği görüşünde bulunmuşlardır. Alem vd. (2004) benzer değerlendirme yapmışlar ve ISO 2631-5 standart değerlerinin güvenilir olarak kabul edilmesi için yeni verilerin değerlendirilmesi gerektiğini söylemişlerdir.

Standartlarda ve AB direktifinde titreşim ivmesi ve dozu hesaplanırken X, Y ve Z yönlerinde ölçülen en yüksek değer, titreşim maruziyeti değeri olarak kabul edilmektedir. Ancak insan aynı anda üç eksen boyunca eşzamanlı olarak titreşime maruz kalmaktadır. Bu yüzden titreşim dozu ve ivmesi bulunurken bu üç değer de kullanıldığı vektör toplamının kabul edilmesi daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Burgess-Limerick (2012) ISO 2631-1'de RMS hesabında kullanılan "k" faktörünün X ve Y eksenlerinde (yanal eksenlerde) daha yüksek ağırlıklandırıldığına dikkat çekerken, uygulamanın neden böyle yapıldığına dair standartta bir açıklama olmadığını bildirmiştir. Yapılan pek çok çalışmada dikey eksen (Z eksen) ölçülen titreşim ivmesinin daha yüksek olduğu ve bu değer titreşim maruziyetinde daha etkili olduğu bilinmektedir. Els'in (2005) yaptığı çalışma da bu savı destekler niteliktedir. Eger vd. (2008) ISO 2631-5 standardında maruziyetin, iş makinesi kullanan operatörün yaşı ve iş tecrübesi kullanılarak belirlendiği için daha çok tercih edilebileceği görüşünü belirtmişlerdir. Diğer yandan Park vd. (2013) ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 standartlarının benzer sonuçlar ortaya koyduğunu savunmuşlardır. Zhao (2015), ISO 2631-1: 1997'deki çarpım faktörlerinin ağırlığının, ISO 2631-5: 2004'teki çarpım faktörlerinin ağırlığı ile tutarsız olduğunu ve ISO 2631-5: 2004'teki omurga modellerinin gelecekte de doğrulanması ve iyileştirilmesi gerektiğini belirtmektedir. El Sayed vd. (2013) ISO 2631-1, ISO 2631-5 ve AB 2002 direktifi değerlerini kullanarak yaptıkları çalışmanın sonucunda ISO 2631-5 değerlerinin HGCZ bölgesi üzerinde olduğunun, ISO 2631-1 ve AB Direktifi limitleri bazında ise sonuçların sınır değerlere yakın çıktığını söyleyerek değerlendirmenin, tüm standartlar ve direktif bazında yapılması gerektiğini vurgulamışlardır. 2019 yılında Orelaja vd. ISO 2631-1: 1997 ve 2002/44 / EC standardını karşılaştırmak, amacıyla yaptıkları çalışmalarında en yüksek titreşim değerinin z ekseninde olduğunu her iki standartta da böyle sonuçlandığını belirtmişlerdir. Hoz-Torres vd.(2019) ISO 2631-1 ve ISO2631-5 standartlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında ISO 2631-5: 2004'de elde edilen R faktörü değerinin ISO 2631-5: 2018'de  $R^A$  değerinden daha düşük çıktığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, her iki standart da aynı değerlendirmeyi sağladığını vurgulamışlardır.



Sonuçların olumsuz sağlık etkisi olasılığı düşük çıktığını belirtmişlerdir.

Titreşim maruziyetinin sağlık ilintili rahatsızlık ile ilişkisini değerlendirmek için çeşitli yöntemler mevcut olsa da pratikte en çok titreşim ivmesi ve titreşim dozuna dayalı metotlar kullanılmıştır. Titreşim dozu yöntemi, farklı sürelerdeki risklerin karşılaştırılması veya şokların bulunması durumunda daha iyi olabilmektedir (Marjanen, 2010). Van der Westhuizen ve Van Niekerk (2006) koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) değerinin her titreşim karakteristiğinin en iyi yerini seçmede güvenilir bir ölçü olarak kullanılabilmesi sonucuna varmıştır. Sarsıntı ve tüm vücut titreşim maruziyeti ile ilgili sistematik bir çalışma yoktur ve standardize edilmemiştir. Els (2005) askeri araçlar kullanarak dört konfor değerlendirme yönteminin (BS 6841, ISO 2631-1, VDI 2057 ve AAP) karşılaştırılması için bir test yapmıştır. Çalışmasının sonucunda dört yöntemin de TVT maruziyeti için kullanılabilmesini ancak bu yöntemleri kullanırken ölçüm sırasında araç koltuğunda dikey yöndeki titreşim ivmesinin ölçülmesini önermiştir.

#### 4. Sonuç

Çalışma konforunu etkilediği ve çalışan sağlığı ve performansında önemli olduğu için tüm vücut titreşimini anlamak önemlidir. Operatör maruziyetleri titreşim ivmesi parametresi (A(8)) ve titreşim dozu parametresi (VDV(8)) göz önüne alınarak EU 2002/44/EC direktifi ile ISO 2631-1 (1997) ve BS 6841 (1987) standartları uyarınca değerlendirilmektedir. ISO 2631-5 (2004) standardı uyarınca da tüm vücut titreşimine insan vücudu tepkisini değerlendiren günlük eşdeğer basınç dozu ( $S_{ed}$ ) parametresi en kötü değer eksenini üzerinden değerlendirilmektedir.

Titreşim maruziyetinin sağlık ilintili rahatsızlık ile ilişkisini değerlendirmek için çeşitli yöntemler mevcut olsa da pratikte en çok titreşim ivmesi ve titreşim dozuna dayalı metotlar kullanılmıştır. Titreşim dozu yöntemi, farklı sürelerdeki risklerin karşılaştırılması veya şokların bulunması durumunda daha iyi olabilmektedir (Marjanen, 2010).

ISO 2631-1, ISO 2631-5 ve AB 2002 direktifi değerlerini kullanarak yapılan pek çok çalışmanın sonucunda ISO 2631-5 değerlerinin HGCZ bölgesi üzerinde olduğunun, ISO 2631-1 ve AB Direktifi limitleri bazında ise sonuçların sınır değerlere yakın çıktığını yaptıkları ölçümler sonucunda vurgulayan pek çok çalışma bulunmaktadır (El Sayed vd., 2013, Aye, 2009).

Yöntemlerin karşılaştırılmasında ve kullanılan limit değer farklılıklarıyla birlikte saha çalışmaları yapılarak, yaklaşımlar arasındaki farklar daha detaylı incelenmelidir. Fakat bu çalışmalar yapılırken tüm standartlar ve direktif bazında yapılması gerekmektedir. Standartlarda, yönetmeliklerde bu yöntemi kullanın bu şekilde yapın diye kesin bir ifade bulunmamaktadır. Söz konusu insan sağlığı olduğu için ölçüm yapılırken yukarıda bahsettiğimiz gibi dünyada ve ülkemizde kullanılan tüm standartların ve direktiflerin kullanılması ile daha doğru bir sonuç vereceğini düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (CÜBAP) tarafından M-535 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

- Alem, N., Hiltz, E., Breaux-Sims, A. (2004). Evaluation of New Methodology for Health Hazard Assessment of Repeated Shock in Military Tactical Ground Vehicles, *Habitability of Combat and Transport Vehicles: Noise, Vibration and Motion*, Prague, Czech Republic, 4-7
- Akduman, N. & Pekey, B. (2010). Metal İşleme Tesisinde Titreşim ve Gürültü Ölçümlerinin Değerlendirilmesi, İ.T.Ü. 12. *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu 16-18 Haziran*.
- Anonim (1998). Introduction to Shock & Vibration. Brüel & Kjør Sound and Vibration Measurement A/S, 36 p, Denmark.
- Aye, A. S. (2009). Evaluation of Operator Whole-Body Vibration and Shock Exposure in A South African Open Cast Mine, *in the Department of Mechanical and Aeronautical Engineering of the Faculty of Engineering, Built Environment and Information Technology at the University of Pretoria.*, (Master of Science), 140 p.
- British Standards Institution, BS 6841. (1987). Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock.
- Çay, İ. C. (2006). Tarım Traktörleri Sürücü Koltukları Titreşim Sönümleme Elemanları Üzerine Bir Araştırma, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Ens.*,



- Tarım Makineleri ABD.*, (Doktora Tezi), 214 s, Ankara.
- Directive 2002/24/EC of the European Parliament and of the Council, (2002). Official Journal of the European Communities
- Doğan, T., Duran, Z., Erdem, B. (2015). Maden Ocaklarındaki İş Makinesi Operatörlerinin Tüm Vücut Titreşimi Ölçümleri Ve Değerlendirilmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Maden Mühendisliği ABD.*, (Doktora Tezi), 455s, Sivas.
- Doğan, T. (2019). Tüm Vücut Titreşiminin Operatör ve Sürücüler Üzerindeki Etkileri Ölçümü ve Değerlendirilmesi. *Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi*, Cilt 54, Sayı 3-4, Sayfa 25-39, Eylül-Aralık.
- Eger, T., Stevenson, J., Boileauc, P.-E., Salmoni, A., VibRG. (2008). Predictions of Health Risks Associated with The Operation of Load-Haul-Dump Mining Vehicles: Part 1—Analysis of Whole-Body Vibration Exposure Using ISO 2631-1 and ISO-2631-5 Standards, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(9-10), 726–738.
- Eger, T., Kociolek, M., Dickey, J. (2013). Comparing Health Risks to Load-Haul-Dump Vehicle Operators Exposed to Whole-Body Vibration Using EU directive 2002/44EC, ISO 2631-1 and ISO 2631-5. *Minerals*, 3(1), 16-35.
- Eger, T. & Godwin, A. (2014). Whole-body Vibration Exposure: What You Need to Know to Prevent Vibration Induced Injuries, *WSN Health of a Miner Symposium*, November.
- El Sayed, M., Habashy, S., El Adawy, M. (2013). Whole-body-vibration Measurement and Assessment for Cairo Subway (Metro), Car and Bus Passengers, *International Journal of Electronics, Communication & Instrumentation Engineering Research and Development (IJEIERD)*, ISSN 2249-684X, Vol. 3, Issue 1, Mar 2013, 185-202
- Els, P. S. (2005). The Applicability of Ride Comfort Standards to Off-Road Vehicles, *Journal of Terramechanics*, 42(1), 47-64.
- Gryllias, K., Yiakopoulos, C., Karamolegkou, S., Antoniadis, I. (2016). Human-body Vibration Exposure Experienced by Tram Drivers – An Evaluation According to ISO Standards & European Directives, *23rd International Congress on Sound & Vibration*, Athens, Greece 10-14 July, 1-8.
- Hoz-Torres, M. L., Aguilar-Aguilera, A.J., Martínez-Aires, M.D., Ruiz, D.P. (2019). A Comparison of ISO 2631-5:2004 and ISO 2631-5:2018 Standards for Whole-Body Vibrations Exposure: A Case Study, *Occupational and Environmental Safety and Health*, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-14730-3>
- International Organization for Standardization, ISO. (1995). Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
- International Organization for Standardization, ISO 2631-1. (1982). Guide for The Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration. Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization, ISO 2631-1. (1989). Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration -- Part 1: General Requirements. Geneva, Switzerland. This standard has been revised by ISO 2631-1:1997.
- International Organization for Standardization, ISO 2631-1. (1997). Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration – Part 1: General Requirements. Geneva, Switzerland. Reference Number ISO 2631-1: 1997(E).
- International Organization for Standardization, ISO 2631-5. (2004). Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks. Geneva, Switzerland. Reference Number ISO 2631-5: 2004(E).
- İSGİP, (TR0702.20-01/001), *Meslek Hastalıkları ve İş ile ilgili Hastalıklar Tanı Rehberi*, 139-147.
- İşsever, H. (1999). Vibrasyon ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri, *İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı TMMOB Makine Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı*, MMO Yayın No:239, ISBN:975-395-357-7, 85-98.
- Mansfield, N. J. (2005). Human Response to Vibration. *CRC Press*, New York.
- Marjanen, Y. (2010). Validation and Improvement of The ISO 2631-1 (1997) standard method for evaluating discomfort from whole-body vibration in a multi-axis environment, *Doctor of Philosophy of Loughborough University*, 313
- Nelson, C. M., Brereton, P. F. (2005). The European Vibration Directive, *Industrial Health*, 43, 472-479.
- van Niekerk, W. (2008). Human Vibration in the Workplace Measurement, Analysis and Assessment, *Sound & Vibration Research Group South African Society of Occupational Medicine*

- Orelaja, O. A., Wang, X., Ibrahim, D. Sh., Sharif, U. (2019). Evaluation of Health Risk Level of Hand-Arm and Whole-Body Vibrations on the Technical Operators and Equipment in a Tobacco-Producing Company in Nigeria, *Journal of Healthcare Engineering*, Volume 2019, Article ID 5723830, 12 pages.
- Park, M. S., Fukuda, T., Kim, T. G., Maeda, S. (2013). Health Risk Evaluation of Whole-Body Vibration by ISO 2631-5 and ISO 2631-1 For Operators of Agricultural Tractors and Recreational Vehicles, *Industrial Health*, 364-70.
- Rao, S. S. (2011). *Mechanical Vibrations*, Fifth Edition, *Pearson Education*, ISBN 978-0-13-212819-3 (978-0-13-212819-3: alk. paper) 1. Vibration. I. Title., University of Miami.
- Rehn, B. (2004). Musculoskeletal Disorders and Whole-Body Vibration Exposure, *From the Department of Public Health and Clinical Medicine, Occupational Medicine, Umea University, Umea, Sweden*. ISSN 0346-6612 ISBN 91-7305\*-517-4.
- Saral, A. (1976). Yerli Yapı Traktörlerde Oturma Yerlerinin Sürücüye Olan Etkileri, *A. Ü. Ziraat Fakültesi Ziraî Kuvvet Makinaları Kürsüsü* (Doktora Tezi,) 99 s, Ankara.
- Sezgin, C. Ö., Birlık, G. (2004). Helikopterlerde Alçak Frekans Titreşimlerin Etkisi, *Havacılıkta İleri Teknolojiler ve Uygulamalar Sempozyumu HİTEK'2004*, İstanbul, 665-667.
- Şahin, M.N., Işık G. (2007). Titreşim, İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Etkileri Risklerin Kontrolü ve Uygulamaları, *İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu*, 241-261.
- TS EN 1032 Mekanik Titreşim. (2005). Titreşim Emisyon Değerinin Belirlenmesi Amacıyla Hareketli Makinaların Deneye Tabi Tutulması
- TS EN 1032+A1 (2011). Mekanik Titreşim-Titreşim Emisyon Değerinin Belirlenmesi Amacıyla Hareketli Makinelerin Deneye Tabi Tutulması
- TS ISO 2631-1 (1997). Mekanik Titreşim ve Şok-Tüm Vücut Titreşime Maruz Kalma Değerlendirilmesi- Bölüm 1: Genel Kurallar
- TS ISO 2631-2 (2001). İnsanın Tüm Vücut Titreşimine Maruz Kalmasının Değerlendirilmesi- Bölüm 2: Binalarda Sürekli Ve Darbe İle Meydana Gelen Titreşim (1 ila 80 Hz)
- TS ISO 2631-5 (1997). Mekanik Titreşim Ve Şok-Tüm Vücut Titreşime Maruz Kalma Değerlendirilmesi- Bölüm 5: Birden Fazla Şok İçeren Titreşim Değerlendirilmesi İçin Yöntem
- TS EN ISO 5349-1 (2005). Mekanik Titreşim-Kişilerin Maruz Kaldığı Elle İletilen Titreşimin Ölçülmesi Ve Değerlendirilmesi- Bölüm 1: Genel Kurallar
- TS EN ISO 5349-2 (2004). Mekanik Titreşim-Kişilerin Maruz Kaldığı, Elden Vücuda İletilen Titreşimin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi- Bölüm 2: İş Yerlerinde Ölçme Yapmak İçin Pratik Kılavuz
- TS ISO 5805 (1999). Mekanik Titreşim ve Şok-İnsanın Maruz Kaldığı-Terimler ve Tarifler
- van der Westhuizen, A. van Niekerk, J.L. (2006). Verification of Seat Effective Amplitude Transmissibility (SEAT) Value as A Reliable Metric to Predict Dynamic Seat Comfort, *Journal of Sound and Vibration*, 295(3-5), 1060-1075.
- Zhao, X. (2015). Evaluation of Whole-Body Vibrations and Improvement of The Driver's Seat Performance on A Compact Wheel Loader, *From the Department of Mechanical and Process Engineering the University of Kaiserslautern* (These Doctors).