

TÜM VÜCUT TİTREŞİMİNİN OPERATÖR ve SÜRÜCÜLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: ÖLÇÜMÜ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

EFFECT OF WHOLE-BODY VIBRATION on OPERATORS and DRIVERS: MEASUREMENT and EVALUATION

Tuğba DOĞAN*
Bülent ERDEM**
Zekeriya DURAN***

ÖZET

Endüstrinin hemen tüm çalışma kollarında titreşim oluşturan makine ve teçhizat kullanılmaktadır. Bazı titreşim kaynakları çalışanların el ve kollarına ulaşan titreşimlere neden olurken diğer bir kısmı ise tüm vücudu titreşimin olumsuz etkisi altında bırakmaktadır. Madencilik faaliyetleri sırasında sürekli değişen ortam koşulları, farklı jeolojik ve iklim şartları, çalışanları olumsuz etkileyen fiziksel durumlar arasında sayılmaktadır. Madenlerde çalışan işçi ve operatörler de kullandıkları iş makinelerinden kaynaklanan mekanik titreşime maruz kalmaktadır. Titreşim, çalışanları; fiziksel ve psikolojik yönlerden etkileyebilmekte, meslek hastalıklarının oluşmasına neden olabilmekte, çalışma performanslarını etkileyerek iş güvenliğini tehlikeye sokabilmektedir.

Bu çalışmada Sivas ili sınırları içerisinde faaliyet gösteren çeşitli maden işletmelerinde çalışan sürücü ve operatörlerin tüm vücut titreşimi maruziyeti ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ulusal ve uluslararası standartlar uyarınca değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: A(8), AB direktifi 2002/44/EC, ISO 2631-1, maruziyet etkin değeri, maruziyet sınır değeri, SEAT, VDV.

ABSTRACT

Vibrating forming machines and equipment are used in almost all parts of industry. While some vibration sources cause vibration that reaches the hands and arms of employees, some others leave the body under the negative influence of whole body vibration. Constantly changing environmental conditions, various geological and climatic conditions during mining activities are considered among adverse effects against the physical condition of workers. Mine workers and operators are exposed to mechanical vibration arising from their use of equipment and machinery. Vibration can affect the employees from the physical and psychological aspects, lead to the formation of occupational diseases and can endanger the occupational safety by affecting work performance.

In this study, whole-body vibration exposure measurements of drivers and operators employed in various mining companies in the province of Sivas is made. The results are evaluated in accordance with national and international standards.

Keywords: A(8), EU directive 2002/44/EC, exposure action value, exposure limit value, ISO 2631-1, SEAT, VDV.

* Arş. Grv. Cumhuriyet Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., SİVAS, tcamuzcu@cumhuriyet.edu.tr
** Prof. Dr., Cumhuriyet Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., SİVAS
*** Öğr. Gör., Cumhuriyet Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., SİVAS

GİRİŞ

Enerji ve endüstriyel hammaddelerin yerkabuğundan çıkarılıp teknolojinin kullanımına sunulması ancak madencilik ile mümkün olmaktadır. Madencilik dünya genelinde ve ülkemizde de iş kazası ve meslek hastalığı oranının yüksek olduğu iş kollarından biri olup inşaat ve metal ile birlikte en riskli sektörler arasında yer almaktadır. Madencilik faaliyetleri sırasında sürekli değişen ortam koşulları, farklı jeolojik ve iklim şartları çalışanları olumsuz etkileyen fiziksel durumlar arasında sayılmaktadır. Ayrıca titreşim kaynağı oluşturan araç-gereç, makine ve cihazlar kullanılmakta olup çalışan işçi ve operatörler kullandıkları iş makinelerinin oluşturdukları titreşimden etkilenerek mekanik titreşime maruz kalmaktadırlar. Bazı titreşim kaynakları el ve kollara ulaşan titreşimlere neden olurken diğer bir kısmı ise tüm vücudu titreşimin olumsuz etkisi altında bırakmaktadır. Bu titreşim (vibrasyon) çalışanları fiziksel, psikolojik etkileyerek çalışma hayatlarında kronik hastalıkların oluşmasına sebep olmakta, çalışma performanslarını etkileyerek iş güvenliğini tehlikeye sokmaktadır.

Ülkemizde çalışma hayatı ile ilgili yasal düzenlemelerde meslek hastalıkları, Sosyal Güvenlik Sağlık İşlemleri Tüzüğü uyarınca beş grup halinde ele alınmakta olup; E grubu 'Fiziksel etkenlerle olan meslek hastalıkları'dır. Titreşimli araç kullananlarda görülen el-parmak ve dirsek rahatsızlıkları ile titreşimli zeminde çalışanlardaki bel ve sırt sorunları, 'Titreşim sonucu kemik – eklem zararları ve anjiyonörotik bozukluklar' (E-5) grubunda değerlendirilmektedir.

Meslek hastalıkları listesinde kas ve iskelet sistemi hastalıklarına oldukça geniş şekilde yer verilmiş olmakla birlikte, çeşitli yıllardaki meslek hastalıkları incelendiğinde bu grupta yer alan hastalıklara sık olarak rastlanmadığı dikkat çekmektedir (Bilir, 2007). T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayınlanan 2012 yılı iş kazası ve meslek hastalığı istatistiklerine göre, titreşim sonucu kemik-eklem zararları ve anjiyo-nörotik bozuklukları kaynaklı meslek hastalığı olgusu ancak 3 erkek işçide izlenmiştir (Anon(a)).

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından 22.08.2013 tarih ve 28743 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Çalışanların titreşim ile ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik" uyarınca tüm vücut titreşimi (TVT), vücudun tümüne aktarıldığında, çalışanın sağlık ve güvenliği için risk oluşturan, özellikle de, bel bölgesinde rahat-

sızlık ve omurgada travmaya yol açan mekanik titreşimi ifade eder (ÇSGB, 2013a).

İşverenler, 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği uyarınca çalışanların maruz kaldığı mekanik titreşim düzeyini, işyerinde gerçekleştirilen risk değerlendirmesinde ele almak, gerektiğinde de ölçümler yaptırarak mekanik titreşime maruziyeti belirlemek durumundadır (ÇSGB, 2012). Bu ölçümler, İş Hijyeni Ölçüm, Test ve Analiz Laboratuvarları Yeterlilik Yönetmeliğine göre yapılır (ÇSGB, 2013b).

1. TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ ÜZERİNE ÖNCEL ÇALIŞMALAR

Bovenzi (1996) otobüs ve traktör şoförleri üzerine yapılan iki epidemiyolojik çalışmada yaş, sırt kazaları, toplam tüm vücut titreşimi oranı ve postural aşırı yüklenme faktörlerinin kalça ağrısı üzerindeki etkisini incelemiştir. 1996 yılı itibarıyla TVT ve kalça sakatlanmaları arasında etki-tepki ilişkisi tam olarak açıklığa kavuşturulmamış olup kadın işçiler için TVT kaynaklı sağlık riskleri üzerine bilgi eksikliği olduğu ifade edilmiştir. İş yerlerinde bir kaç bin kadının yoğun şekilde tüm vücut titreşimine maruz kaldıkları tahmin edilmekte olduğundan, TVT'nin dışı üreme organları ve sırt omurları üzerindeki sağlık etkilerinin detaylı araştırılması önerilmiştir. Yapılan iş kaynaklı TVT'ne maruziyet ve bir sürüş işi olan ortamda postural gerilimin kalça ağrısı riskini artırabileceği ifade edilmiştir.

Lundström *et al.* (1998), dikey TVT maruziyeti sırasında enerjinin soğurulması üzerine yaptıkları çalışmada oturma pozisyonunda dikey TVT'ne maruziyet sırasında soğurulan gücü 15 erkek ve 15 kadın denek üzerinde ölçmüşlerdir. Titreşim seviyesi, frekans, vücut kütlesi, rahat ve kasılma oturma pozisyonları gibi farklı deney koşulları uygulanmıştır. Sonuçlar, iletilen enerji ile titreşimin frekansı arasında güçlü ilişki olduğunu göstermiştir. Enerji düzeyi, ivme seviyesi ve vücut kütlesi ile artmıştır. Kritik frekans değerinde enerji değerinde yaklaşık 10 kat artış gözlenmiştir.

Kumar (2004) açık ocaklarda kullanılan kamyonların operatörlerinin TVT bakımından takip edildiği çalışmada X, Y ve Z eksenlerinde titreşim ölçümleri kaydetmişler ve bulguların değerlendirilmesi sonucunda operatörlerin üçüncü bel ve yedinci boyun omurlarında titreşim kaynaklı

etkileri ölçmüşlerdir. Farklı marka ve değişik taşıma kapasitelerindeki yeni ve eski kamyonlardan alınan veriden, ISO 2631-1 standardında öngörülen maruziyet eşiğinin aşıldığı tespit edilmiştir.

Shervin *et al.* (2004), lastik hava basıncının tomruk kesim makinesi operatörü üzerindeki TVT etkisini incelemişlerdir. Titreşim ölçümleri, 138 kPa, 345 kPa ve 414 kPa lastik basıncı ile üç ortogonal eksenden (X, Y ve Z) alınmıştır. 3,2 Hz frekansta operatör koltuğuna etki eden en yüksek titreşim ivmesi, Z ekseninde 0,281 m/s² değerinde iken 4 Hz frekansta operatör kabine etki eden en yüksek ivme ise 0,425 m/s² idi. 414 kPa lastik basıncında operatörün 8 saat üzeri çalışması durumunda potansiyel risk olduğu belirlenmiş, maksimum lastik hava basıncında operatör koltuğundan kaydedilen toplam titreşim değeri ISO 2631-1 standardı uyarınca "oldukça rahatsızlık verici" olarak sınıflandırılmıştır. Kaydedilen TVT değerlerinde lastik hava basıncının düşmesi ile beraber kayda değer azalma meydana geldiği ve bu ilişkinin tekerlekli tomruk işleme makinelerinde operatörlerin maruz kaldığı TVT düzeyini ayarlama kullanılabileceği gösterilmiştir.

Son 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 $a_z = 0,920 \text{ m/s}^2$ ve $a_y = 0,868 \text{ m/s}^2$ kare ortalamalarının karekökü (RMS) değerleri tespit edilmiş olup bu düzeyler oldukça yüksek titreşim düzeylerini ifade etmektedir. Bunun sonucu olarak da pilotlarda, özellikle omurgada, uzun dönemlerde meydana gelen dejeneratif değişikliklerin sebebinin bu titreşimler olduğu kanısına varılmıştır (Sezgin ve Birlik, 2004).

Okunribidoa *et al.* (2006), tüm vücut titreşiminin, duruşun ve elle kullanılan malzemelerin bel ağrısı için birer risk faktörü olarak görelilik etkisini belirlemek amacıyla kesitsel bir çalışma yapmışlardır. İşlerinin bir kısmında araç kullanan 394 ve araç kullanmayan 59 çalışan üzerinde sağlık geçmişlerini, duruş ve elle kullanılan malzemeler hakkında bilgi toplamak üzere yenilenmiş bir anket uygulamışlardır. Anket cevaplarına ve titreşim maruziyeti ölçümlerine dayanarak toplam titreşim dozu, duruş skoru ve elle kullanma skoru gibi kişisel maruziyet değerleri bilgisayarda hesaplanmıştır. Lojistik regresyon modeli ve logli-neer eliminasyon analizi kullanılarak sırt ağrısı

için oranlar elde edilmiştir. Bulgular; duruş, tek başına titreşim veya elle kullanılan malzeme ile titreşimin birleştirilmiş etkisinin, tek başına titreşim, duruş ve elle kullanılan malzeme faktörlerine göre bel ağrısı yaygınlığında daha önemli katkısının olduğunu göstermiştir.

Eger *et al.* (2008a) yük taşı-boşalt (YTB) operatörleri üzerinde yaptıkları çalışmada ISO 2631-1 kriterlerine göre öngörülen sağlık risklerine ilave olarak, değerlendirilmemiş ISO 2631-5 kriterlerini de çalışarak iki standartta verilen TVT maruziyet ölçütlerini karşılaştırmıştır. Çalışmanın devamı niteliğinde yaptıkları başka bir çalışmada da (Eger *et al.*, 2008b) aynı çalışma grubu ile bir paket program kullanarak boyun ve eklem dönüşleri üzerindeki baskı ve yükleri ölçmüşler ve YTB operatörlerinin titreşime maruz kaldıkları çalışma şartlarında çalışma duruşlarının, kas-iskelet sistemi yaralanma riskini artırdığını tespit etmişlerdir. Eger (2007) doktora tez çalışmasında 19 YTB operatörünün TVT maruziyetlerini ölçerek, bel bölgesindeki omurga rahatsızlıklarını ISO 2631-1 ile ISO 2631-5 standartları doğrultusunda karşılaştırmıştır. ISO2631-1 standardı doğrultusunda A(8), RMS ve VDV değerleri değerlendirilirken; ISO 2631-5 standardı ile Sed değerleri yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda ISO 2631-1 standardı uyarınca 9 operatör etkilenirken, ISO2631-5 uyarınca 2 operatörde bel bölgesi omurga rahatsızlığı tespit edilmiştir.

Mandal and Srivastava (2010) Hindistan'da bir kömür madeninde damperli kamyon gibi taşıma aracı operatörlerinin tüm vücut titreşimine maruziyet durumunu değerlendirdikleri çalışmada, baskın Z eksen boyunca RMS ivme değeri bakımından titreşim değerlerinin 0,644 m/s² ile 1,82 m/s² arasında değiştiğini bulmuşlardır. Günlük ortalama 5 saatlik maruziyet ile birlikte değerlendirildiğinde, tüm damperli araçların ISO 2631-1:1997 standardında öngörülen yüksek sağlık risklerine neden olduğu ortaya çıkmıştır. 7 t ile 350 t arasında taşıma kapasiteli kamyonların 40 sürücüsü üzerinde 20 kez tekrarlanarak yapılan çalışmada, %85 anlamlılık düzeyi ile bel ağrısı sorunu, %30 omuz ve %37,5 de de boyun ağrısı şikâyeti tespit edilmiştir.

Salmoni *et al.* (2010) 33 skreyper operatörünün TVT maruziyetlerini tam dolu yük taşıma, serme, boş dönüş, çalışır durumda bekleme ve dolma gibi beş farklı konumda en az üç skreyper döngüsünü içerecek şekilde yirmişer dakikalık devir boyunca üç eksenle ölçümler alarak tespit etmişlerdir. Titreşimin koltuk boyunca en baskın

olduğu Z-ekseni (oturakta yerçekimi eksenini yönünde) boyunca ortalama RMS 1,21 m/s², vektör toplam değerleri 2,08 m/s² idi. Ulaşılan TVT değerleri, skreyper operatörleri için büyük bir sağlık tehlikesinin mevcut olduğunu göstermiştir. Skreyper çalışma döngüsünün zaman bakımından bölünmesi sonucunda %23'lük kısmın taşıma, %20'lik kısmın serme, %22'lik kısmın boş dönüş, %15'lik kısmın bekleme ve %20'lik kısmın doldurma için harcadığı tespit edilmiştir. Taşıma için 2,46 m/s², bekleme için 2,31 m/s², boş dönüşte 0,55 m/s² ve doldurma sırasında 1,46 m/s² RMS vektör toplam ivme değerleri kaydedilmiştir.

Smets *et al.* (2010) 35 ston, 50 ston ve 150 ston kapasiteli ağır iş kamyonu sürücülerinin titreşim maruziyetini ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 standartları göre bir saat boyunca operatör koltuğundan değerler kaydederek, ölçmüşlerdir. En yüksek günlük maruziyet eşdeğer ivme değeri Z-ekseninden 0,44 m/s² - 0,82 m/s² aralığında ölçülmüştür. ISO 2631-1 değerine göre sürücüler günlük maruziyet değerinin üzerinde titreşime maruz kalırken, ISO 2631-5 uyarınca sağlık etkisi olasılıklarının düşük olduğu sonucuna vararak, iki standart arasında uyumsuzluk olduğu yorumunu yapmışlardır.

Aye and Heyns (2011) Güney Afrika Cumhuriyeti'nde bulunan açık ocaklarda kullanılan çok sayıda iş makinesi tipi üzerinde yaptıkları çalışmada operatörlerin maruz kaldığı TVT düzeyini belirlemeye yönelik ölçümler yapmışlardır. ISO 2631-1 standardında verilen yöntem takip edilerek, A(8) ve VDV parametreleri kullanılmış ve tüm vücut titreşim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ölçüm alınan araçların %95 kadarının maruziyet sınır değerlerinin altında titreşim düzeyleri ile ilişkili olduğu bulunmuştur. İş makinelerinin %50 kadarının maruziyet etkin değerlerini aşan titreşime neden olduğu, dolayısıyla titreşim ilintili risklerin değerlendirilmesi ve bunlarla madencilik uygulamalarında mücadele edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, taşıma yollarına düzenli aralıklarla bakım yapılması ve operatörlere araçları daha verimli kullanma eğitiminin verilmesi gibi titreşim azaltıcı önlemler önermişlerdir.

Blood *et al.* (2012) yükleyici operatörlerinin TVT maruziyetlerini normal kauçuk lastik, merdiven-tipi koruma zinciri kaplı lastik ve kova-tipi zincir kaplı lastik olmak üzere üç farklı lastik türü ile farklı zeminler üzerinde ISO 2631-1 standardına uygun şekilde ölçümler alarak belirlemişlerdir.

Alınan veriler, küresel konumlama sistemi (GPS) alıcıları ile de ilişkilendirilmiştir. Zincir kaplı lastik tiplerinden merdiven-tipi zincir, diğerine göre oldukça yüksek TVT maruziyetine yol açmakla birlikte, her iki tip de, kauçuk lastiklere kıyasla kayda değer oranda yüksek TVT maruziyetine yol açmışlardır. İlave olarak, TVT maruziyetlerinde işleme bağımlı farklılıklar da meydana gelmiştir. Sürüş sırasında baskın maruziyet Z-ekseninde meydana gelmiştir. Zeminin kürenmesi sırasında tüm eksenlerde orantılı titreşim maruziyeti kaydedilirken küreme ve boşaltma sırasında en yüksek titreşim maruziyeti X-ekseni boyunca meydana gelmiştir. GPS verisi görevler arasında ciddi hız farklarına işaret etmekle birlikte kova ve merdiven-tipi zincirle kaplı lastikler arasında farklılık göstermemiştir.

Langer *et al.* (2012) altı deneyimli terskepçe operatörü üzerindeki TVT etkilerini çalışmışlardır. Titreşim ölçümleri ile çalışanlar üzerindeki etkileri incelemek yerine farklı bir yöntem denemiş ve her operatörü üç farklı konumda çalıştırarak, oluşan titreşim ve iş makinelerinin yakıt tüketim performansını ölçmüşlerdir. Daha sonra operatörler kısa bir eğitime alınarak ekonomik sürüş ve titreşimi önleme konusunda eğitilerek tekrar aynı sürüş yöntemlerinde ikincil ölçümler alınmıştır. Kısa eğitim sonucu TVT değerinde ortalama %22,5 azalma olduğu ve tamamlanan tüm iş görevlerinde %38'e kadar yakıt tasarrufuna ulaşıldığı bildirilmiştir. Bu çalışmanın bulguları yapı sektörü için büyük önem taşımaktadır. Zararlı titreşim azaltılmakta ve aynı zamanda yakıt tüketiminde büyük bir potansiyel indirime erişilebilmektedir.

Yerüstü madencilik faaliyetlerinde kullanılan ağır iş makinelerinin operatörlerinin etkilendiği el-kol ve tüm vücut titreşimi, iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli bir konudur. 1 Hz ve 20 Hz arasındaki frekanslar özellikle vücutta sırt ağrısı, omurga dejenerasyonu, mide sorunları, baş ağrısı, uyku sorunları gibi hasarlara sebep olabilmektedir (Thalheimer, 1996; Eger, 2007; Eger *et al.* 2008a, 2008b). Günlük rutin çalışma koşullarında maden ocaklarında çalışan işçiler mekanik titreşime maruz kalmakta, sağlıkları olumsuz etkilenmekte, bu rahatsızlıklarını da çalışma performanslarına yansıtarak verim düşüklüğü ve iş kazalarına sebep olabilmektedirler. Avustralya, Kanada, Güney Afrika Cumhuriyeti gibi endüstrileşmiş ülkelerde sanayiden sayılan iş kolları ile pek çok maden ocağında kullanılan çok çeşitli türdeki ağır iş makinesi operatörlerinin TVT ma-

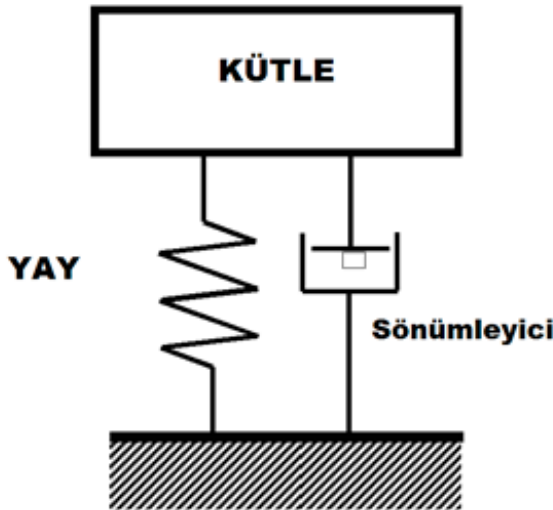
ruziyeti dökümü, yukarıda özetlenen çalışmalar ile kapsamlı olarak çıkarılmıştır. Ancak Ülkemizdeki maden ocaklarında bu konuda henüz bir araştırma yapılmamış olup çalışan işçilerin ve özellikle ağır iş makinesi operatörlerinin ne gibi titreşim etkilerine maruz kaldıkları bilinmemektedir.

2. TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ

2.1. Titreşim

Titreşim, ses dalgaları gibi belirli aralıklarla tekrarlayan mekanik bir enerjidir. Genellikle katı ortamlarda yayılan ve dokunma duygusu ile hissedilen alçak frekanslı ve yüksek genlikli mekanik salınımlar olarak da tanımlanabilir. Bir başka ifade ile potansiyel enerjinin kinetik enerjiye, kinetik enerjinin potansiyel enerjiye dönüşmesi olayına titreşim (vibrasyon) denir (Anon(a), Anon(b)). Bir kütlenin belirli bir merkez etrafında çevrimsel hareketi olarak da ifade edilebilen titreşim, bir kütlenin elastik bir eleman üzerinde salınım hareketi yapmasıyla oluşur (Çay, 2006). Kütle ve elastik elemandan oluşan bu sistem, titreşim sistemi olarak adlandırılır.

Şekil 1'de görülen basit titreşim sisteminde kütle kinetik enerjiyi, yay ise potansiyel enerjiyi depo eder. Titreşim, potansiyel enerji ve kinetik enerji arasında enerji dönüşümü ile oluşur. Salınım sırasında sistemden enerji alarak, hareketi yavaşlatan ve sonunda durduran elemana sönümleyici denir (Anon(a)).



Şekil 1. Titreşim Sistemi (Çay, 2006)

2.2. Tüm Vücut Titreşimi: Tanımı ve Etkileri

İnsan vücudu mekanik bir sistem olarak ele alındığında, düşük frekanslarda ve düşük titreşim seviyelerinde, Şekil 2'de görüldüğü gibi bir doğrusal parametreler sistemi olarak düşünülebilir (Rasmussen, 1983; Sağlam, 2011). İnsan vücudunun mekanik modellenmesi, oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan insan vücudunun kütle, yay ve sönüm elemanlarından oluştuğunu kabul ederek daha basit bir model haline getirmektedir. Şekil 2'de bulunan Hz biriminden frekans değerleri, farklı vücut kısımlarının tınlama (rezonans) frekanslarını göstermektedir. Tınlama frekansının anlamı, o kısmın salınım hareketi yaptığı frekans değeridir. Mekanik modellemeye göre, titreşim ve şokların etkisi bakımından vücudun en önemli kısımlarından birisi göğüs-karın sistemidir. Farklı titreşim işaretlerinin vücut üzerine etkisini tahmin etmek için, titreşimin vücuda giriş noktasından herhangi bir vücut bölümüne geçiriminin bilinmesi gerekir.

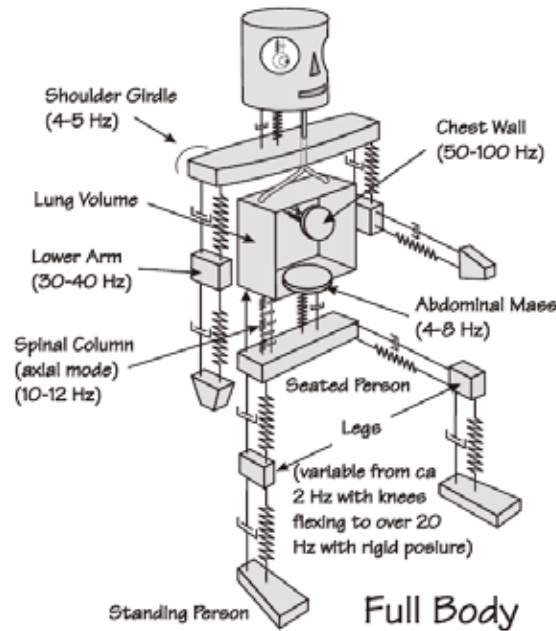
Titreşimin insan üzerindeki etkileri uzun yıllardır bilinmekte ve tedavi amacıyla kullanılmaktadır. Geçmişte böbrek taşlarının dökülmesi gibi sağlığa faydalı işlerde bozuk yolda araba kullanılması gibi seyahat tedavilerinin uygulandığı bilinmektedir. Ayrıca spastik ve paretik kasların tedavisi gibi daha birçok olumlu etkisi yanında akciğer hastalarında titreşimin ciğerleri temizleyici özelliği, sporcularda hareket kabiliyetlerini ve kas faaliyetlerini artırıcı etkisi, reumatoid arthritisi hastalarında, bacak ağrılarının tedavisinde, kemik erimesi görülen hastalarda tedavi edici olarak kullanıldığı da bilinmektedir (Şahin ve Işık, 2007).

İnsan, titreşimin düşük frekanslarında sarsıntı hissetmekte, yüksek frekanslarında ise karıncalanma hatta yanma hissi duymaktadır. Dikkat edilmemesi durumunda biyolojik yapılarda; kas, sinir sistemi bozuklukları, kan damarları ve eklemlerde tahribatlar ve ayrıca kardiyovasküler, solunum, sinir ve metabolik sistemlerde rahatsızlıklar gibi olumsuz etkiler göstermektedir. Bunlar arasında insan vücudunda yorgunluk, dikkat ve refleks azalması, görme bozuklukları, bel ağrısı, omurgadaki olumsuz etkiler, sindirim ve üreme sistemi bozuklukları gibi rahatsızlıklar sayılabilir. İşsever (1999), Sezgin ve Birlik (2004) ile Şahin ve Işık (2007) titreşimin, fiziksel ve mekanik etkileri nedeniyle iş sağlığı ve iş güvenliğini etkilediğini bildirmiştir. Titreşim sebebiyle meydana gelen rahatsızlıklara kas-iskelet sistemi (muskülokeletal) rahatsızlıkları denilmektedir. Kas-iskelet

sistemi rahatsızlıkları, endüstrileşmiş ülkelerin birçoğunda görülen bir rahatsızlık tipidir (Rehn, 2004; İşsever, 1999). 2000'li yıllarda Avrupa'nın toplam çalışan nüfusunun %30'undan fazlasına tekabül edecek şekilde kırk milyonun üzerinde çalışan, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarından etkilenmiştir (Şahin ve Işık, 2007).

Tüm vücut titreşiminin etkisi, 0,5 Hz – 100 Hz aralığının sonlarında daha büyüktür. İnsanın titreşime verdiği tepki, titreşimin frekansı ile değiştiği için ölçülen titreşimin meydana geldiği frekanslara göre ağırlıklandırılması gerekir. Böylece titreşimin frekansa bağlı olarak neden olduğu olumsuz sağlık koşulları yansıtılabilir (Ver and Beranek, 2006; Sağlam, 2011).

Tüm vücut titreşimi ile ilgili literatür incelendiğinde, titreşim ölçümlerinde standartlarda yer alan farklı ölçüm yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 uluslararası standartları, tüm vücut titreşimini incelemekte ve konfor ile sağlık açısından titreşimin önemini ortaya koymayı amaçlamaktadır (ISO, 1997, 2004). Ülkemizde kullanılan TS ISO 2631-1 (2013) standardı, ISO 2631-1 standardından faydalanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 2. İnsan Vücudu Titreşim Frekansları (Brauch, 2009)

2.3. Tüm Vücut Titreşimi: Ölçümü ve Değerlendirilmesi

2.3.1. Tanımlar ve ölçüm yöntemi

“Avrupa Fiziksel Ajanlar (Titreşim) Direktifi” (EU PA(V)D – EEC:2002) 2002 yılında Avrupa Birliği Konseyi tarafından işçi sağlığı ve güvenliğinde gelişmiş seviyede koruma sağlamak için özellikle çalışma ortamında gelişmeleri teşvik etmek amacıyla yayımlanmıştır. PA (V) Direktifi'nin gerekçesi “Özellikle kas/kemik yapısı, nörolojik ve damar hastalıklarına neden olabildiği için, işçilerin sağlık ve güvenliği üzerindeki etkileri nedeniyle, çalışanları titreşimden kaynaklanan risklerden korumak için önlemler geliştirmek”tir. PA (V) direktifinde bu hedef, çalışanları titreşim maruziyeti sonucu ortaya çıkan risklerden koruyarak başarmak olarak belirlenmiştir.

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

- 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,
- Maruziyet eylem değeri: Aşıldığı durumda, çalışanın titreşime maruziyetinden kaynaklanabilecek risklerin kontrol altına alınmasını gerektiren değeri,
- Maruziyet sınır değeri: Çalışanların bu değer üzerinde bir titreşime kesinlikle maruz kalmaması gereken değeri ifade etmektedir.

Madde 5: Bütün vücut titreşimi için;

- Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri: 1,15 m/s².
- Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet etkin değeri: 0,5 m/s² olarak verilmiştir.

Yine, aynı Yönetmeliğin EK 2: Maruziyet değerlendirilmesi'ne göre;

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

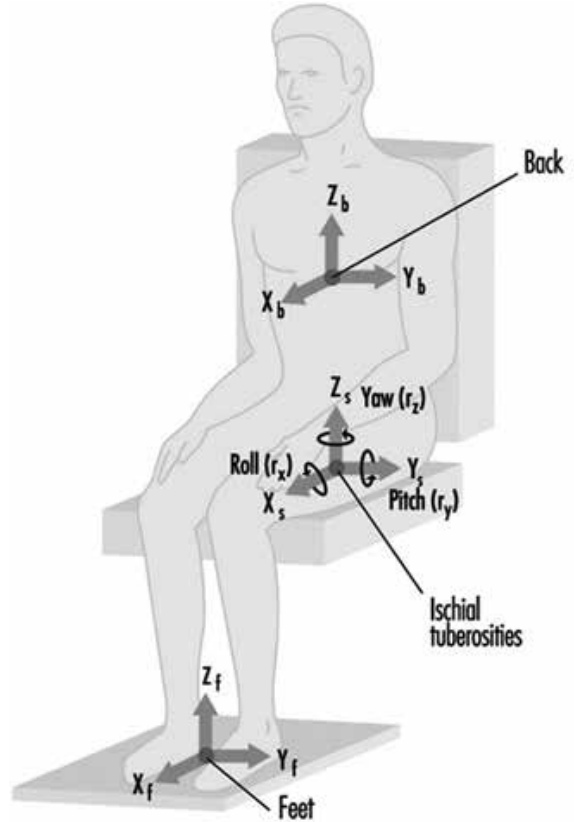
TS ISO 2631-1 “Mekanik Titreşim ve Şok-Tüm Vücut Titreşime Maruz Kalma Değerlendirilmesi – Bölüm 1: Genel Kurallar” standartlarına ve bu standartların en güncel hallerine göre yapılır.

Titreşim riskinin tahmin edilmesi ve değerlendirilmesi etkin değer ve sınır değer ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilir. Buna göre;

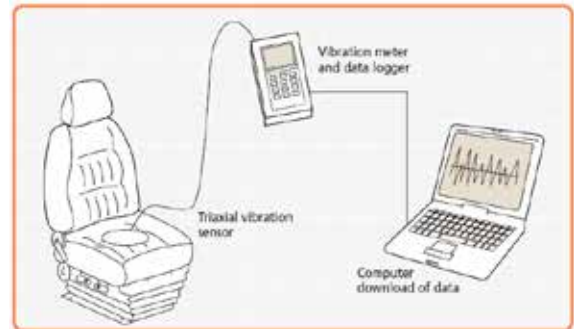
- Etkin değer altında hassas bünyeler hariç risk yoktur. Çalışana aktarılan titreşim tolere edilir.
- Etkin değer ile sınır değer arasındaki bölgede risk vardır. Tolere edilemeyeceğine maruz kalınan süreye göre karar verilir. Etkin değer ile sınır değer arasındaki bölgede riskin kaynağında yok edilmesi için çalışmalar yapmak, sağlık taraması yapmak gerekmektedir.
- 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.

Sürücü ya da operatörün maruz kaldığı tüm vücut titreşimi (TVT) ivmeleri operatör koltuğu yüzeyinde ve zeminde, oturak ayak dikmesi yakınlıklarında uygun bir noktada ölçülmelidir. Ölçümler TS EN 1032 + A1 “Mekanik titreşim - titreşim emisyon değerinin belirlenmesi amacıyla hareketli makinaların deneye tâbi tutulması” ve bu standartta atfedilen TS ISO 2631-1 standardına uygun şekilde karşılıklı dik eksenlerde (X – ileri ve geri, Y – her iki yana, Z – yukarı ve aşağı) yapılmalıdır (Şekil 3). ISO 2631-1 ve ISO 2631-5 uluslararası standartları tüm vücut titreşimini incelemekte ve konfor ile sağlık açısından titreşimin önemini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Operatörlerin tüm vücut titreşimi maruziyetini tespit edebilmek amacıyla koltuk yüzeyinde üç (X_{seat} , Y_{seat} , Z_{seat}) ve kabin zemininde de üç (X_{floor} , Y_{floor} , Z_{floor}) kanal olmak üzere toplam altı kanaldan örnekleme yapılmalıdır (Şekil 4). Aslen koltuk yüzeyinde yapılan TVT ölçümleri yeterli olsa da, kabin zemininden yapılan örnekleme ile operatör koltuğunun titreşim sönümlenme kapasitesi değerlendirilebilmektedir.



Şekil 3. İnsan Vücudunun Basicentric Eksenleri (Anon(c))



Şekil 4. Operatör Koltuk Yüzeyindeki İvmeölçer ile X, Y ve Z Eksenleri Üzerinden Yapılan TVT Ölçümü (McPhee et al, 2009)

2.3.2. Ölçülen büyüklükler

- Tüm vücut titreşimi analizi için operatör koltuğu yüzeyi ve kabin zeminini için ayrı ayrı olmak üzere aşağıdaki büyüklükler ölçülmelidir:
- Frekans ağırlıklı $a_{wx}(t)$, $a_{wy}(t)$ ve $a_{wz}(t)$ titreşim ivme sinyalleri (m/s^2). X (arkadan öne) ve Y (sağdan sola) yönlerinde W_d tüm vücut frekans ağırlıklandırma eğrisi, Z (kalçadan

kafaya) yönünde W_k tüm vücut frekans ağırlıklandırma eğrisi kullanılmıştır.

- c. Tepe titreşim ivmesi (PEAK) (m/s^2)
 - d. Tepe-tepe titreşim ivmesi (P-P) (m/s^2)
 - e. Titreşim dozu değeri (VDV) ($m/s^{1.75}$)
- Maksimum geçici titreşim değeri (MTVV) (m/s^2)

2.3.3. Hesaplanan Büyüklükler

- a. Frekans ağırlıklı ivme sinyallerinin karelerinin ortalamasının karekökü (RMS) değeri (m/s^2)
- b. Tepe faktörü (CRF)
- c. Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{R_{MS-X}}$) faktörü
- d. Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{R_{MS-Y}}$) faktörü
- e. Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{R_{MS-Z}}$) faktörü
- f. Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{VDV-X}$) faktörü
- g. Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{VDV-Y}$) faktörü
- h. Koltuk etkinliği genlik geçirgenliği ($SEAT_{VDV-Z}$) faktörü
- i. En yüksek titreşim ivmesi vektörü; operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi vektör değeri ($VECTOR_{1-3}$) (m/s^2)
- j. En yüksek titreşim ivmesi vektörü; kabin zeminindeki ağırlıklandırılmış titreşim ivmesi vektör değeri ($VECTOR_{4-6}$) (m/s^2)
- k. En yüksek titreşim ivmesi fonksiyonu; operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış en büyük titreşim ivmesi değeri (RMS_{WB}) (m/s^2). X ve Y eksenleri için $k = 1,4$ ve Z eksenini için $k = 1,0$ çarpanı kullanılmaktadır.
- l. Operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış en büyük titreşim ivmesi değeri yönü (X için Ch1, Y için Ch2 ve Z için Ch3)
- m. En yüksek titreşim dozu fonksiyonu; operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış en büyük titreşim dozu değeri (VDV_{WB}) ($m/s^{1.75}$) X ve Y eksenleri için $k = 1,4$ ve Z eksenini için $k = 1,0$ çarpanı kullanılmaktadır.
- n. Operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış en büyük titreşim dozu değeri yönü (X için Ch1, Y için Ch2 ve Z için Ch3)

- o. Geçerli doz fonksiyonu; titreşim dozunun, operatör koltuğu yüzeyindeki ağırlıklandırılmış titreşim dozu değerleri kullanılarak hesaplanan bir ölçüsü (CDose) ($m/s^{1.75}$)
- p. Günlük doz fonksiyonu; titreşim dozunun, 8 saatlik bir süreye atfen, belirli bir maruziyet süresi için hesaplanan bir ölçüsü (DDose) ($m/s^{1.75}$)
- q. Geçerli maruziyet fonksiyonu; titreşim ivmesinin, seçilen bir süreye atfen hesaplanan bir ölçüsü (CExp) (m/s^2)
- r. Günlük maruziyet fonksiyonu; belirli bir maruziyet süresinde oluşan titreşim dozunun, seçili bir süreye atfen hesaplanması ile bulunan bir ölçü (A8) (m/s^2)
- s. Titreşim dozu değerinin kestirim fonksiyonu; VDV ölçülmediği zaman RMS değeri kullanılarak hesaplanan tahmini titreşim dozu değeri (eVDV) ($m/s^{1.75}$)
- t. Maruziyet etkin değerine erişim süresi fonksiyonu (RMS); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında $0,5 m/s^2$ 'lik maruziyet etkin değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi ($EAV_{TT(RMS)}$) (ss:dd:nn)
- u. Maruziyet etkin değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (RMS); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında $0,5 m/s^2$ 'lik maruziyet etkin değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre ($EAV_{TL(RMS)}$) (ss:dd:nn)
- v. Maruziyet sınır değerine erişim süresi fonksiyonu (RMS); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında $1,15 m/s^2$ 'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi ($ELV_{TT(RMS)}$) (ss:dd:nn)
- w. Maruziyet sınır değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (RMS); 8 saatlik referans maruziyet süresi dikkate alındığında $1,15 m/s^2$ 'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre ($ELV_{TL(RMS)}$) (ss:dd:nn)
- x. Maruziyet etkin değerine erişim süresi fonksiyonu (VDV); $9,1 m/s^{1.75}$ 'lik maruziyet etkin değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi ($EAV_{TT(VDV)}$) (ss:dd:nn)
- y. Maruziyet etkin değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (VDV); $9,1 m/s^{1.75}$ 'lik maruziyet etkin değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre ($ELV_{TL(VDV)}$) (ss:dd:nn)

ziyet etkin değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre ($EAV_{T_{L(VDV)}}$) (ss:dd:nn)

- z. Maruziyet sınır değerine erişim süresi fonksiyonu (VDV); $21,0 \text{ m/s}^{1,75}$ 'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresi ($ELV_{TT(VDV)}$) (ss:dd:nn)
- aa. Maruziyet sınır değerine erişim için kalan süre fonksiyonu (VDV); $21,0 \text{ m/s}^{1,75}$ 'lik maruziyet sınır değerine erişim için gerekli toplam maruziyet süresinden ölçüm süresinin çıkarılmasından sonra kalan süre ($ELV_{TL(VDV)}$) (ss:dd:nn)

3. TÜM VÜCUT TİTREŞİMİ ENVANTERİ ÇALIŞMASI

ÇSGB'na bağlı İSGÜM (Merkez ve Bölgeler) tüm vücut titreşimi maruziyeti ölçümleri yapmaktadır (Sağlam, 2011). Ancak maden işletmelerinde çalışan ve tüm vücut titreşimine maruz kalan personel üzerinde sistematik bir çalışma yapılmamış olması kaydedilmiştir.

Bu çalışmada Sivas ili merkez ilçesi ve diğer ilçelerinde faaliyet gösteren kömür, demir, kil açık maden ocakları, taş ocakları, yol şantiyesi, asfalt döküm işleri vb. faaliyetlerde kullanılan değişik tip, marka ve modelde toplam 147 iş makinesinden tüm vücut titreşimi maruziyeti ölçümleri TS ISO 2631-1 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmış ve analiz edilmiştir. Örnek bir operatör TVT maruziyeti değerlendirme çizelgesi Şekil 5'de verilmiştir. Bu ekipmanlar arasından madenlerde yoğun olarak kullanılan 130 adedi Şekil 6'da, operatörlerin ortalama tüm vücut titreşimi ivmesi değerleri (A(8)) ve standart sapması Çizelge 1'de sunulmuştur.

Ölçümler bir adet titreşim analizörü, birer adet koltuk tipi ve zemin tipi ivmeölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizör ISO 8041:2005, ISO 2631-1, ISO 2631-2, ISO 2631-5 ve ISO 5349 standartlarında öngörülen gereklilikleri karşılamakta ve tüm vücut titreşimi için W_d , W_k , W_m , W_b (ISO 2631 gereği) ve el-kol titreşimi için W_h (ISO 5349) filtrelerini kanallar bazında ayarlamaktadır. Koltuk tipi ivmeölçer eşzamanlı olarak üç eksenli (X, Y ve Z) veri kaydedebilmekte, $0,01 \text{ m/s}^2 - 50 \text{ m/s}^2$ arası ivmeleri ölçebilmekte ve $0,1 \text{ Hz}$ ile 125 Hz arasındaki frekans değerlerini ayıklayabilmektedir. Ölçümlerde kullanılan zemin tipi ivmeölçer, koltuk etkinliği genlik geçirgenliği (SEAT) oranını belirlemek için ISO 2631-

1 standardına uygun şekilde ölçüm almak amacıyla operatör kabini zemininde, koltuk ayağının zemine birleştiği yere çok yakın ve uygun olan bir noktaya yerleştirilerek X, Y ve Z eksenlerinde ölçüm alınmaktadır. En yüksek 160 m/s^2 PEAK ivmeyi ölçebilmekte ve $0 \text{ Hz} - 500 \text{ Hz}$ arasındaki frekans değerlerini de ayıklayabilmektedir.

Ölçülen titreşim değerleri, önerilen maruziyet sürelerini belirlemek amacıyla 1997 ISO 2631-1 Sağlık Rehberlik Dikkat Bölgeleri (HGCZ) ile karşılaştırılmıştır. ISO 2631-1 (1997) standardı, HGCZ karşılaştırması yaparken, kaydedilen en yüksek ivme sinyalinin en düşük ivme sinyaline bölümünden elde edilen tepe faktörü (CRF) değerinin dokuz ve altında ($CRF \leq 9$) olduğu durumlarda frekans ağırlıklı RMS ivme değerlerinin (Şekil 7 kırmızı bölge), daha yüksek oranlarda ($CRF > 9$) ise titreşim dozu değerinin (VDV) (Şekil 7 yeşil bölge) kullanılmasını önermekte ise de ilgili Yönetmelikte yalnızca frekans ağırlıklı RMS ivme değerine atıf yapıldığı için HGCZ karşılaştırmaları A(8) değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. TVT Ölçüm Sonuçları.

İş makinesi	Adet	A(8) (m/s^2)
Traktör tipi terskepçe ekskavatör	5	1,084 (0,505)
Lastik tekerlekli yükleyici	22	0,923 (0,230)
Paletli dozer	7	0,918 (0,165)
Lastik tekerlekli dozer	1	0,847 (-)
Lastik tekerlekli greyder	7	0,796 (0,260)
Silindir	8	0,780 (0,595)
Hidrolik kırıcı	5	0,654 (0,324)
Ocak tipi kamyon	8	0,644 (0,208)
Damperli piyasa kamyonu	21	0,618 (0,211)
Çatallı kaldıraç (forklift)	13	0,530 (0,172)
Paletli hidrolik terskepçe ekskavatör	22	0,530 (0,157)
Lastik tekerlekli malzeme elleçleyici	1	0,516 (-)
Delici	4	0,243 (0,140)
Halatlı ekskavatör	5	0,196 (0,056)
Çekmekepçe (dragline)	1	0,162 (-)

Ölçüm tarihi	08.11.2014						
Ölçüme başlama (ss:dd:nn)	13:54:24						
Ölçüm süresi (ss:dd:nn)	00:07:46						
Makine	Paletli hidrolik terskepçe ekskavatör						
Marka/Model	HITACHI ZAXIS 670LCH (Kapı no: 34)						
Yapılan iş	Üst kömür damarında kömür yükleme						
Saha	Kömür ocağı üst kömür damarı						



1. Koltuk ve zeminde ölçülen ağırlıklanmış tüm vücut titreşimi ivme (a_w) ve doz değerleri

Channel	Axis	PEAK m/s ²	P-P m/s ²	RMS m/s ²	VDV m/s ^{1.75}	MTVV m/s ²	CRF
Ch1	X _{seat}	3.195	6.012	0.295	2.921	1.282	10.814
Ch2	Y _{seat}	2.486	4.955	0.215	2.089	0.973	11.548
Ch3	Z _{seat}	8.026	12.218	0.317	3.728	1.299	25.322
Ch4	X _{floor}	2.897	5.534	0.280	2.673	1.198	10.363
Ch5	Y _{floor}	2.443	4.667	0.164	1.704	0.896	14.911
Ch6	Z _{floor}	8.551	16.088	0.357	4.472	1.501	23.961

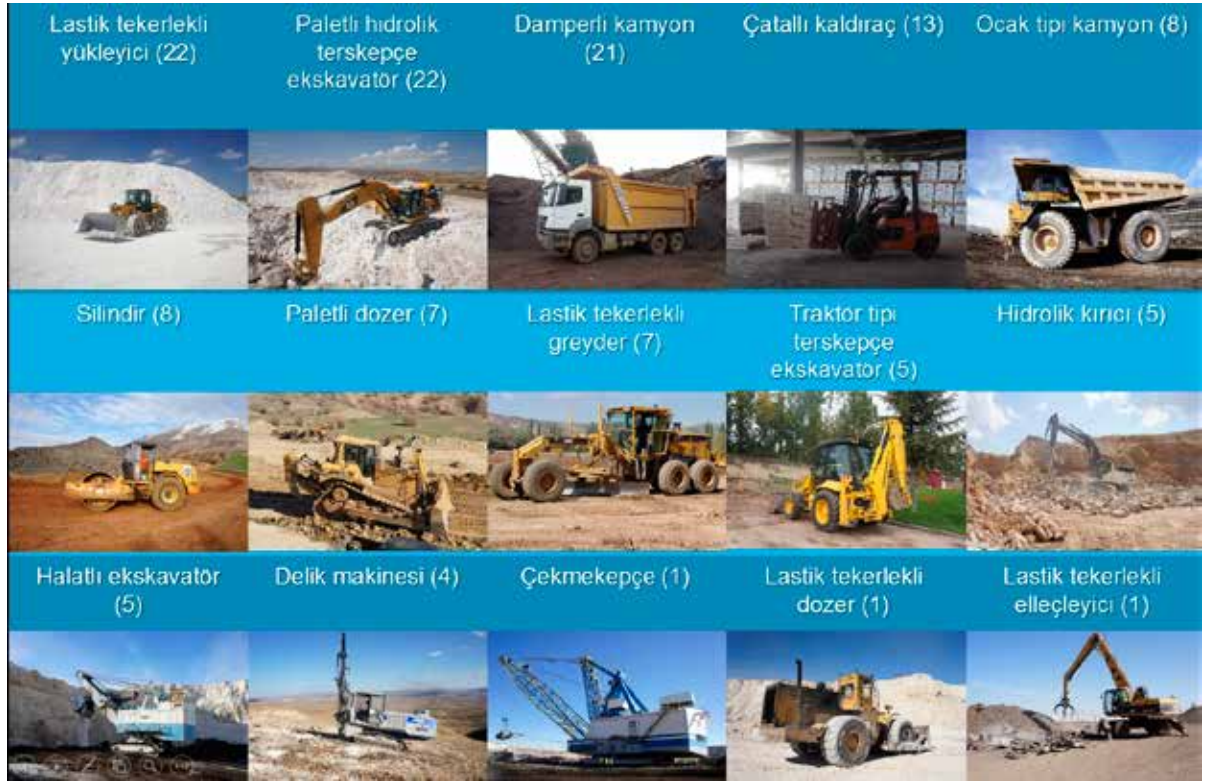
2. Tüm vücut titreşimi ivmesi ve dozu için koltuk etkin genlik iletkenliği katsayıları (SEAT)

SEAT _{RMS-X} (Ch1/Ch4)	1.057	SEAT _{VDV-X} (Ch1/Ch4)	1.093
SEAT _{RMS-Y} (Ch2/Ch5)	1.314	SEAT _{VDV-Y} (Ch2/Ch5)	1.226
SEAT _{RMS-Z} (Ch3/Ch6)	0.888	SEAT _{VDV-Z} (Ch3/Ch6)	0.834

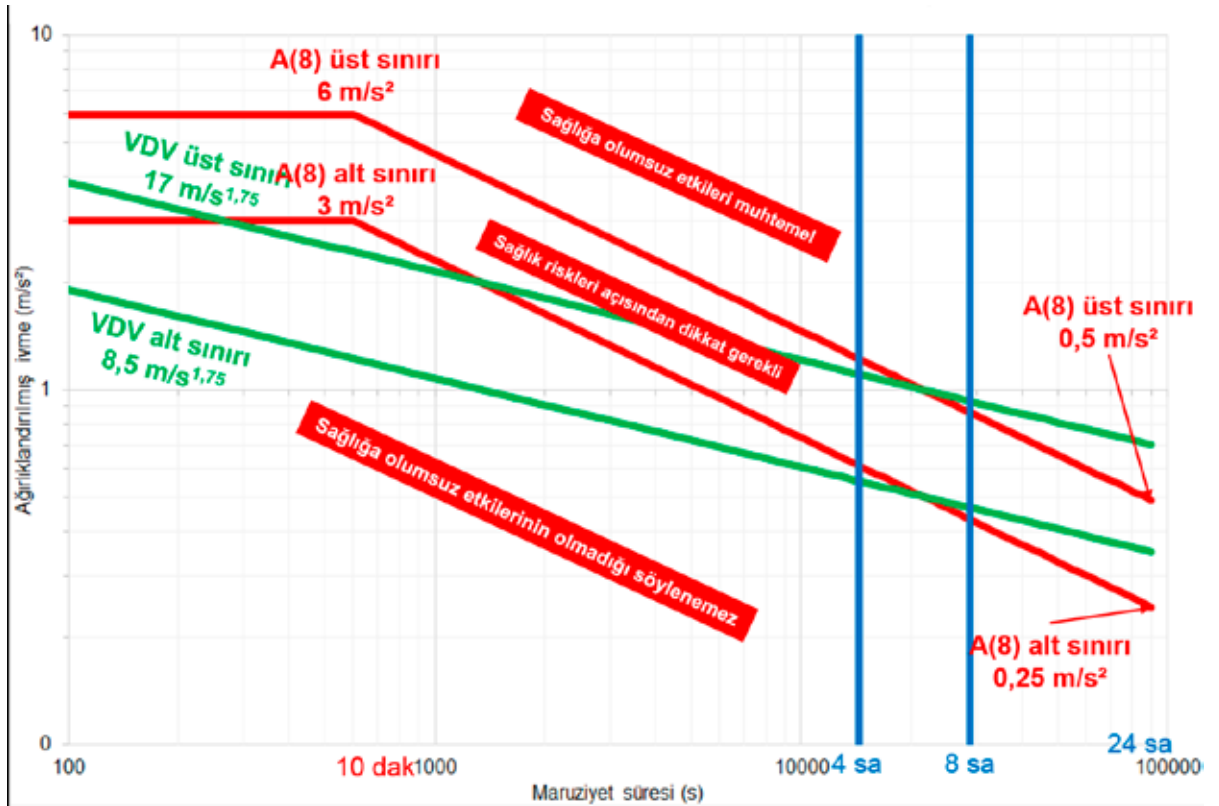
3. Tüm vücut titreşimi ivmesi için vektör değerleri

VECTOR ₁₋₃ (m/s ²)	0.602	EAV _{TT(RMS)} (ss:dd:nn)	11:41:20
VECTOR ₄₋₆ (m/s ²)	0.577	EAV _{TL(RMS)} (ss:dd:nn)	11:33:34
RMS _{WB} (m/s ²)	0.414 Ch1	ELV _{TT(RMS)} (ss:dd:nn)	61:50:03
VDV _{WB} (m/s ^{1.75})	4.089 Ch1	ELV _{TL(RMS)} (ss:dd:nn)	61:42:17
CDose (m/s ^{1.75})	4.089	EAV _{TT(VDV)} (ss:dd:nn)	3:10:26
DDose (m/s ^{1.75})	11.466	EAV _{TL(VDV)} (ss:dd:nn)	3:02:40
CExp (m/s ²)	0.053	ELV _{TT(VDV)} (ss:dd:nn)	90:00:59
A(8) (m/s ²)	0.414	ELV _{TL(VDV)} (ss:dd:nn)	89:53:13

Şekil 5. Operatör TVT Maruziyeti Değerlendirme Çizelgesi



Şekil 6. Madenlerde TVT Ölçümü Yapılan Ekipman Tıp ve Adetleri



Şekil 7. ISO 2631-1 (1997) Sağlık Rehberlik Dikkat Bölgesi Sınırları ve Sağlığa Olası Etki Bölgeleri

ISO 2631-1'e göre, 8 saatlik maruziyet süresi için HGZ alt (dikkat) ve üst (risk) sınırlarına karşılık gelen frekans ağırlıklı ivme değerleri, sırasıyla 0,45 m/s² ve 0,90 m/s²'dir. Diğer yandan Avrupa Birliği (AB) Direktifi 2002/44/EC'ye göre A(8) günlük maruziyet eylem değeri ve günlük maruziyet sınır değeri, sırasıyla 0,5 m/s² ve 1,15 m/s²'dir. Buradan, ISO 2631-1 standardının AB direktifine göre daha sıkı emniyet sınırları belirlendiği görülebilir.

Çalışmada incelenen tüm iş makinelerine ait ortalama titreşim ivmesi değerleri, ISO 2631-1 standardı ve AB 2002/44/EC direktifinde öngörülen dikkat ve risk eşikleri bazında Şekil 8'de sıralanmıştır. Türkiye'de kabul edilen eşik değerler dikkate alındığında, ortalamalar üzerinden, tüm iş makinesi operatörlerinin sınır değeri olan 1,15 m/s²'nin altında tüm vücut titreşimine maruz kaldığı görülmektedir. Deliciler, halatlı ekskavatörler ve çekmekepçe, maruziyet eylem değeri olan 0,50 m/s² değerinin altında titreşim ivmesi verdiğinden, hassas bünyeler hariç riskin olmayacağı ve operatöre aktarılan titreşimin tolere edileceği öngörülmüştür. Diğer yandan traktör tipi terskepçe ekskavatörler, lastik tekerlekli yükleyiciler, paletli dozerler, lastik tekerlekli dozer, lastik tekerlekli greyderler, silindirler, hidrolik kırıcılar, ocak tipi kamyonlar, damperli piyasa kamyonları, çatallı kaldıraçlar, paletli hidrolik terskepçe ekskavatörler ve lastik tekerlekli malzeme elleçleyici maruziyet eylem değeri ile sınır değer arasındaki bölgede titreşim vermişlerdir. Bu aralıkta riskin olduğu kabul edilmiştir. Bu bölgede riskin kaynağında yok edilmesi için çalışmalar yapmak ve titreşime maruz kalan personele sağlık taraması gerçekleştirmek gerekmektedir.

Çalışmadan elde edilen bulgular değerlendirildiğinde aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmaktadır:

- Yeni iş makineleri, eskilere kıyasla daha düşük TVT maruziyeti vermektedir. Bunun temel nedeni, ekipman üreticilerinin teknolojik gelişmeleri benimsemesi ve makinelere uygulamasıdır. Bunlar arasında operatör kabinlerinin makine gövdesinden bağımsız süspansiyonlara sahip olarak imal edilmesi en büyük etken olarak görülmektedir.
- Kabin zemininde ölçülen TVT ivme değerleri, koltukta ölçülen TVT ivmelerinden yüksektir. Bu durum özellikle düşey yönlü TVT ivmeleri için geçerlidir. Buradan, yukarıdaki maddede belirtildiği üzere, koltuk süspansiyon sistemlerinin TVT ivmesini sönmüleyecek şekilde

tasarımlandığı sonucuna varılmaktadır.

- Düşey yönlü TVT ivmeleri (Z), ileri-geri (X) ve yandan-yana (Y) yönlü ivmelere göre daha büyüktür. Operatör/sürücü üzerinde yerçekimi ivmesinin etkisi ile katlanabilen etki yapmakta olduğundan, birçok çalışmada yalnızca düşey yönlü TVT ivmeleri üzerinden maruziyet değerlendirilmesi yapılmaktadır.
- Operatör/sürücünün TVT ivmesi maruziyeti kullandığı aracın kütlesi ile ters orantılıdır. Araç hafifledikçe TVT ivme değeri artmakta, ağırlaştıkça, azalmaktadır. Bu nedenle özellikle taşımada kullanılan lastik tekerlekli araçların boş seyahatlerinde, üretici tarafından önerilen hız sınırlarını aşmamaları gerekmektedir.
- İş makinesinin süratli kullanımı operatör/sürücünün TVT maruziyetini artırmaktadır.
- Lastik tekerlekli iş makineleri paletli olanlara göre daha düşük TVT ivmesi vermektedir. Özellikle ripperli dozerler, hem zemin üzerinde yürüme gücünün hem de operatörün geriye doğru anormal şekilde dönerek ripperleme işlemini sürdürmesinden ötürü operatörün kas-iskelet sistemi üzerine önemli ölçüde baskı uygulamaktadır.
- Operatör/sürücü yetkinliği, iş makinesi kaynaklı TVT ivmesini etkilemektedir. Aynı koşullar altında, tecrübeli operatörler daha düşük TVT ivmesine maruz kalmaktadır. Bu nedenle operatör/sürücüler düzenli aralıklarla uzman eğitimciler tarafından araç kullanma eğitimlerine alınmalıdır.
- Zemin koşulları ve taşıma yolu düzgünlüğü TVT maruziyetini etkilemektedir. Düzgün, bakımlı ve çukur/patar bulunmayan yollar daha düşük TVT maruziyeti vermektedir.
- Lastik tekerlekli iş makinelerinin lastik havaları, aracın emniyetli çalışma sınırları gözetilerek, düzenli olarak kontrol edilmelidir. Aşırı şişirilmiş lastikler yüksek TVT ivmesine yol açmaktadır.



Şekil 8. Tüm Vücut Titreşimi İvmesi Değerlerinin (A(8)) ISO 2631-1 ve Avrupa Birliği Direktifi Maruziyet Eşikleri ile Karşılaştırılması

Sonuç ve Öneriler

Madenlerde kullanılan iş makinelerinden kaynaklanan tüm vücut titreşimi, operatör/sürücülerin sağlığını etkileyebilmektedir. Bu araçların mümkün olan en yüksek verim/performans ve en düşük maliyet ile kullanılabilmesi için pek çok çalışma sürdürülmektedir. Sürücü/operatörün titreşim maruziyetini en aza indirmek ve çalışma verimini artırmak amacıyla operatörlere doğru araç kullanma eğitimi verilmeli, uygun taşıma yolu tasarımı ile yol kaynaklı titreşim minimize edilmeli, periyodik bakımlar ile iş makinelerinden kaynaklanan titreşim azaltılmalı, ocak içi çalışma zeminleri ile yollarda yapılacak bakım ile zemin düzenlenmeli ve lastikli araçlarda hava basıncı düzenli olarak kontrol edilmelidir. Dozerler hariçindeki paletli iş makineleri genellikle belirli bir noktada konumlanarak çalıştılarından operatörler, alt yapıdan kaynaklanan titreşime maruz kalmamakta ve TVT ivmeleri lastik tekerlekli iş makinelerine göre daha düşük düzeyli olmaktadır. Ancak dozerler hareket ederek çalışmak durumunda olduklarından paletli yürüyüş sisteminden kaynaklanan titreşim, operatör kabine iletilmekte ve operatör, yüksek titreşim ivmesine maruz kalmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (CÜBAP) tarafından M-535 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Aye, S., ve Heyns, P., 2011; "The Evaluation of Whole-Body Vibration in a South African Opencast Mine", The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 111(November), 751-757.
- Bilir, N., 2007; "Mesleki Kas İskelet Sistemi Hastalıkları", İş Sağlığı Ve Güvenliği Dergisi, Sayı 34, 10-13.
- Blood, R., Rynell, P., ve Johnson, P., 2012; "Whole-Body Vibration in Heavy Equipment Operators of a Front-End Loader: Role of Task Exposure and Tire Configuration with and without Traction Chains", Journal of Safety Research, JSR-01036, 1-8.
- Bovenzi, M., 1996; "Low Back Pain Disorders and Exposure to Whole-Body Vibration in the Workplace", Seminars in Perinatology, 20(1), 38-53.
- Brauch, R., 2009; "Vibration Analysis and Standards - A Review of Vibration Exposure Regulations,

Standards, Guidelines and Current Exposure Assessment Methods”, Proceedings of American Industrial Hygiene Association (AIHA) Florida Spring 2009 Conference, Larson Davis division of PCB Piezotronics, Inc, Florida, USA.

Çay, İ., 2006; “Tarım Traktörleri Sürücü Koltukları Titreşim Sönümlenme Elemanları Üzerine Bir Araştırma”, Doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ABD., Ankara.

ÇSGB, 2012; “İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği”, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.

ÇSGB, 2013a; “Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik”, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.

ÇSGB, 2013b; “İş Hijyeni Ölçüm, Test ve Analiz Laboratuvarları Yeterlilik Yönetmeliği”, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.

Eger, T., 2007; “Whole-Body Vibration: Investigation of Health Risks Associated with Vibration Exposure, Vibration Transmissibility and Posture During Operation of Mining Vehicles”, PhD thesis, Queen’s University, Canada.

Eger, T., Stevenson, J., Boileauc, P.E., Salmoni, A. ve VibRG, 2008a; “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, 726–738.

Eger, T., Stevenson, J., Boileauc, P.E., Salmoni, A. ve VibRG, 2008b; “Predictions of Health Risks Associated with the Operation of Load-Haul-Dump Mining Vehicles: Part 2—Evaluation of Operator Driving Postures and Associated Postural Loading”, International Journal of Industrial Ergonomics, 38, 801–815.

ISO, 1997; ISO 2631-1: Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Requirements, International Standards Organization, Geneva.

ISO, 2004; ISO 2631-5: Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 5: Method for Evaluation of Vibration Containing Multiple Shocks, International Standards Organization, Geneva.

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.

Langer, T., Iversen T., Andersen, N., Mouritsen, O. ve Hansen, M., 2012; “Reducing Whole-Body Vibration Exposure in Backhoe Loaders by Education of Operators”, International Journal of Industrial

Ergonomics, 42, 304-311.

Lundström, R., Holmlund, P. ve Lindberg, L., 1998; “Absorption of Energy During Vertical Whole-Body Vibration Exposure”, Journal of Biomechanics, 31(4), 317-326.

Kumar, S., 2004; “Vibration in Operating Heavy Haul Trucks in Overburden Mining”, Applied Ergonomics, 35, 509–520.

Mandal, B. ve Srivastava, A., 2010; “Musculoskeletal Disorders in Dumper Operators Exposed to Whole Body Vibration at Indian Mines”, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 24(3), 233–243.

McPhee, B., Foster, G. ve Long, A., 2009; Bad Vibrations - A Handbook on Whole-Body Vibration Exposure in Mining, Coal Services Health & Safety Trust, NSW, Australia.

Okunribido, O., Magnusson, M. ve Popea, M., 2006. “Low back pain in drivers: The Relative Role of Whole-Body Vibration, Posture and Manual Materials Handling”, Liberty Safe Work Research Centre, Department of Occupational and Environmental Medicine, University of Aberdeen, Foresterhill, Aberdeen, AB25 2ZP, UK.

Rasmussen, G., 1983; “Human Body Vibration Exposure and Its Measurements”, The Journal of the Acoustical Society of America.

Rehn, B., 2004; “Musculoskeletal Disorders and Whole-Body Vibration Exposure”, Umea University, ISSN 0346-6612, ISBN 91-7305*-517-4, Sweden.

Sağlam, H., 2011; “Çalışma Hayatında Maruz Kalınan Titreşimin Ölçülmesi ve Bu Maruziyetten Kaynaklanan Titreşimin İnsan Sağlığına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 91 s.

Salmoni, A., Cann, A. ve Gillin, K., 2010; “Exposure to Whole-Body Vibration and Seat Transmissibility in a Large Sample of Earth Scrapers”, Work, 35, 63–75.

Shervin, L., Owende, P., Kanali, C., Lyons, J. ve Ward, S., 2004; “Influence of Type Inflation Pressure on Whole-Body Vibrations Transmitted to the Operator in a Cut-to-Length Timber Harvester”, Applied Ergonomics, 35(3), 253-261.

Sezgin, C. ve Birlik, G., 2004; “Helikopterlerde Alçak Frekans Titreşimlerinin Etkisi”, Havaacılıkta İleri Teknolojiler ve Uygulamalar Sempozyumu HİTEK Bildiriler Kitabı, İstanbul, 665-667.

Smets, M., Eger, T. ve Grenier, G., 2010; “Whole-Body Vibration Experienced by Haulage Truck Operators in Surface Mining Operations: A Comparison of Various Analysis Methods Utilized in the Prediction of Health Risks”, Applied Ergonomics, 41, 763–770.

Şahin, M. ve Işık, G., 2007; “Titreşim, İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Etkileri Risklerin Kontrolü ve

Uygulamaları”, İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 241-261.

Thalheimer, E., 1996; “Practical Approach to Measurement and Evaluation of Exposure to Whole-Body Vibration in the Workplace”, Seminars in Perinatology, 20(1), 77–89.

TS ISO 2631-1, 2013; “Mekanik Titreşim ve Şok - Tüm Vücut Titreşime Maruz Kalma Değerlendirilmesi - Bölüm 1: Genel Kurallar”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Ver, I. ve Beranek, L.L., 2006; Noise and Vibration Control Engineering, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., New Jersey, 966.

Anon(a), 2013; “Mekanik Titreşimler Ders Notları”, Zeki Kıral, http://kisi.deu.edu.tr/zeki.kiral/Mekanik_Titresimler_Ders_Notlar%C4%B1_Zeki_K%C4%B1ral.pdf

Anon(b), 2014; “Titreşim Analizi”, http://80.251.47.4/download/notlar/811518/titresim_analizi1.doc

Anon(c), 2015; http://www.ilo.org/iloenc/images/stories/enlarged/Part06/VIB_imgs/VIB020F3.jpg

Bu Makale 14 – 17 Nisan 2015 tarihinde düzenlenen IMCET 2015-Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi'nde bildiri olarak sunulmuştur.