

## Motorlu Çapa Makinasının Titreşim Karakteristiklerinin Belirlenmesi\*

Ercan GÜLSOYLU, Bülent ÇAKMAK, Fazilet N. ALAYUNT

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü, Bornova, İzmir  
ercan.gulsoylu@ege.edu.tr

Received (Geliş Tarihi): 04.06.2013 Accepted (Kabul Tarihi): 07.10.2013

**Özet:** Ülkemizde tarımsal işletmelerin üçte biri 2 hektardan küçüktür. Bu nedenle tek akslı traktörler ve motorlu çapa makinaları bu alanlarda ekonomik olarak çalıştırılabilme potansiyeline sahiptir. Bu tür makinaları kullanan kişiler, titreşime ve güç kaynağının oluşturduğu gürültüye maruz kalmakta ve bazı kalıcı hasarlar ortaya çıkmaktadır. Bu tip hasarlar arasında en önemlisi HAVS olarak bilinen el-kol titreşim sendromudur. Kumanda edilen makinanın titreşimi operatörün elinden vücuduna geçmekte ve beyaz parmak sendromu (WFS) olarak adlandırılan rahatsızlığa neden olmaktadır. WFS'nin görüleceği %10'luk popülasyona girme süresi, gerçek zamanlı olarak ölçülen titreşim değerleri ve ilgili standartlarda belirtilen eşitliklerle hesaplanabilmektedir. Yapılan araştırmada, farklı motor gücüne sahip (4,1 kW otto ve 5,5 kW dizel) iki adet motorlu çapa makinasının tutamaklarında oluşan titreşimler ile kulak seviyesindeki dB(A) ağırlıklı ses basınç değerleri, durağan konumda ve çapa ile toprak işlemede, 3 farklı ilerleme hızı, 3 farklı iş genişliğinde, TS EN ISO 5349-1 ve TS EN ISO 5349-2 standartlarına göre ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Motorlu çapanın farklı motor devirleri ve iş genişlikleri için ortalama titreşim değerleri sırasıyla 6 - 10 ms<sup>-2</sup> arasında belirlenmiş ve ortalama ses basınç değerleri ise motorlu çapanın farklı ilerleme hızları ve iş genişlikleri için 79,87 - 87,91 dB(A) arasında saptanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Titreşim, motorlu çapa, tarım makinaları, ergonomi

### Determination of Vibrations Characteristics of Motorhoe

**Abstract:** In Turkey, one third of Agricultural Enterprises is smaller than 2 ha. That is why it is possible to use economically single axes tractors and motorhoes in the small farms. Operators of these types of machines are exposed to high levels of vibration and noise and may cause permanent damage to hands and arms known as Hand Arm Vibration Syndrome (HAVS). Vibration of hand-held power tools/machines is transmitted from hands to the body and may cause a significant health problems which is known as White Finger Syndrome (WFS). Daily exposure time required to produce WFS in 10% of population can be calculated by using vibration values measured in the real time and the equations given in related standards.

In this research, sound pressure (dBA) at the ear level and vibration values on the handles of two different type of motor hoes (4.1 kW Otto, 5.5 kW Diesel) were measured under the stationary condition and soil tilling operation. Measurements were carried out at three different forward speeds and three different working widths. These values were evaluated according to TS EN ISO 5349-1 and TS EN ISO 5349-2 standards. The average vibration values and sound pressure levels of motorhoes for the different speeds and different working widths were determined as 6 - 10 ms<sup>-2</sup> and 79.87 – 87.9 dB (A) respectively.

**Key words:** Vibration, motorhoe, agricultural machines, ergonomics

### GİRİŞ

Toprak işleme, tarımsal üretimin en önemli ve temel faaliyetlerinden birisidir. Toprak işlemede, toprak granül iriliğini küçültmek ve toprağı havalandırmak amacıyla çapalama işlemi yapılmaktadır. Bu amaca yönelik olarak sadece çapalama işlemlerinde kullanılmak üzere motorlu çapa makinaları oluşturulmuştur. Özellikle son yıllarda küçük alanların işlenmesinde ve

tarımsal üretimle amatör olarak ilgilenen üreticilerin tercih ettiği motorlu çapanın kullanımında ülkemizde de önemli bir artışın olduğu görülmektedir (Çakmak ve ark., 2008).

Bu makinalar freze bıçakları bağlanmış bir çapalama ünitesi ve bıçakların bağlı olduğu rotoru çalıştıran bir içten yanmalı motor ve operatörün maki-

nayı sevk ve idare etmesini sağlayan tutamaklardan oluşmaktadır.

Operatör, motorlu çapa makinasını tutamaklar yardımıyla idare ederken, makinanın çalışması sırasında oluşan tüm titreşimler ellerine, kollarına ve vücuduna iletilmektedir. Titreşen el aletlerini kullanan kişilerde çeşitli rahatsızlıkların oluştuğu bilinmektedir.

Konuya ilişkin yapılan araştırmalar; çalışma süresinin, titreşim ve ses basınç seviyesinin kullanıcıda el-kol titreşim sendromu ve işitme ile ilgili sorun oluşturmayacak düzeyde tutulmasını ve koruyucu önlemlerin alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Çakmak ve ark., 2008).

İnsanı etkileyen titreşimler iki grup altında incelenmektedir. Titreşim; insan vücuduna iletimi olduğu yer temasıyla etkili oluyorsa "*vücut titreşimi*", eğer eller vasıtasıyla iletiliyorsa "*el iletimli titreşim*" adını almaktadır (Civelek ve Gülsoylu, 2008).

Motorlu çapanın kullanımı sırasında yapılan gözlemler, bu makinaların sadece iş başarıları yönü ile değil, aynı zamanda ergonomik özelliklerinin de incelenerek değerlendirilmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu tür makinaları kullanan kişiler, titreşime ve güç kaynağının oluşturduğu gürültüye maruz kalmaktadır. Motorlu çapa makinalarında el iletimli titreşim etkili olmakta, çalışanların ellerinde kan dolaşımı hastalıkları, nörolojik hastalıklar, kas ve iskelet sistemi hastalıkları ortaya çıkabilmektedir (TS EN ISO 5349-1). Raynaud hastalığı beyaz parmak hastalığı gibi rahatsızlıkların kaynağındaki nedenlerden birisi de titreşim olup, bu tip hastalıklar mesleki hastalıklar içerisinde anılmaktadır.

Konuya ilişkin yapılan araştırmalar; çalışma süresinin, titreşim ve ses basınç seviyesinin kullanıcıda el-kol titreşim sendromu ve işitme ile ilgili sorun oluşturmayacak düzeyde tutulmasını ve koruyucu önlemlerin alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Ying ve arkadaşları (1998), tek akslı bir traktörün tutamaklarındaki titreşimleri belirlemişler ve titreşim engelleyici bir cihazla donatılmış yeni bir titreşim sönümleyici tutamak tasarlamışlardır. Yaptıkları ölçümlerde, x doğrultusunda ortaya çıkan titreşimlerin diğer iki (y ve z) doğrultuda oluşan titreşimlere oranla operatörü daha çok etkilediğini bildirmişlerdir.

Ragni ve ark., (1999), yaptıkları çalışmada güçleri 2,6 ile 3,7 kW arasında değişen 3 adet benzinli motorlu çapa ile gücü 2,6 kW olan tek akslı bir traktörün tutamaklarında yarattığı titreşimi ve gürültü

seviyesini ölçmüşlerdir. Standarda göre test edilen bu 4 makinanın el-kol titreşimi bakımından yüksek risk sınıfında olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca bu makinalar eğer günde 4 saat kullanılırsa operatörlerin %10'unun ellerinde vasküler bozuklukların oluşma riskinin 3 yıl gibi kısa bir sürede ortaya çıkabileceğini bildirmişlerdir.

Goglia ve ark., (2003), 4 tekerlekten tahrikli, 22 kW'lık motor gücüne sahip iki akslı bahçe tipi bir traktörün tutamaklarından ellere iletilen titreşimin sürücüyeye olan etkilerini incelemişler ve frekans ağırlıklı toplam ivmenin durağan konumda  $4,26 \text{ ms}^{-2}$  ve tam yükte çalışmada  $14,91 \text{ ms}^{-2}$  olarak bulmuşlardır.

Tewari ve ark., (2004), oturularak kullanılacak şekilde düzenlenen bir tek akslı traktör ile arkasında yürünerek kontrol edilen tipteki standart tasarıma sahip tek akslı bir traktörün operatör üzerindeki fizyolojik etkilerini araştırmışlar ve titreşimin en fazla düşey eksen de olduğunu söylemişlerdir.

Goglia ve ark., (2006), 9,4 kW gücünde 4 zamanlı motora sahip tek akslı bir traktörün tutamaklarından operatörün ellerine iletilen titreşimleri belirlemek üzere bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Frekans ağırlıklı toplam titreşim seviyelerinin durağan halde  $3,37 \text{ ms}^{-2}$  ve tek akslı bir römork ile taşıma işleminde  $8,37 \text{ ms}^{-2}$  olarak belirlemişlerdir.

Sam ve Kathirvel (2006), iki farklı tek akslı traktörün çalışma sırasında yarattığı vücuda ve ele gelen titreşimleri incelemişlerdir. İşlenmemiş toprakta frezelemenin, işlenmiş topraktakine göre %20 daha fazla el titreşimi yarattığını ayrıca boş bir treylerle tarla yolunda taşımada asfalt yola göre %32 daha fazla el titreşiminin olduğunu belirlemişlerdir.

Dewangan ve Tewari (2008), tek akslı bir traktörün taşıma sırasında, kuru arazide frezeleme ve ıslak arazide pullukla işlemede tutamaklarda oluşan titreşimlerin operatörlerin el tarak kemiğine, bilek, dirsek ve omuzlarına iletimlerini belirlemişlerdir. İvme değerinin ve vücudun duruşunun titreşimin vücuda geçme oranını etkilediğini ve en yüksek titreşim iletiminin frezeleme ortaya çıktığını belirlemişlerdir.

Civelek ve Gülsoylu (2008), biri otto diğeri dizel motora sahip iki adet tek akslı traktörde, durağan konumda ve freze ile toprak işlemede tutamaklara gelen titreşimleri ve kulak hizasındaki gürültü seviyesini TS EN ISO 5349-1 ve TS EN ISO 5349-2 standartlarına göre belirlemişlerdir. Üç eksen de ölçülen titreşimlerin en yüksek değerleri düşey eksen de elde edilmiştir.

Bu çalışmada; 2 farklı motorlu çapanın motoru çalışırken "durağan halde" ve "toprak işleme sırasında" olmak üzere iki farklı çalışma koşulunda tutamaklara gelen titreşim değerleri ve gürültü düzeyleri ölçülerek kullanıcıya yapacağı etki TS EN ISO 5349-1 ve 2 standartlarına göre belirlenmeye çalışılmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

Bu çalışmada biri otto motorlu (4,1 kW) ve diğeri de dizel motorlu (5,5 kW) olmak üzere iki motorlu çapa kullanılmıştır (Şekil 1). Motorlu çapalar, güçlerine uygun iş genişliğine sahip freze (çapa) üniteleriyle birlikte toprak işlemleri sırasında ve boşta (hareketsiz sadece motoru çalışıyor) olacak şekilde iki konumda çalıştırılmışlardır. Bu konumlarda makinaların tutamaklarına gelen titreşimler belirlenmiştir (Gülsoylu ve ark., 2011).



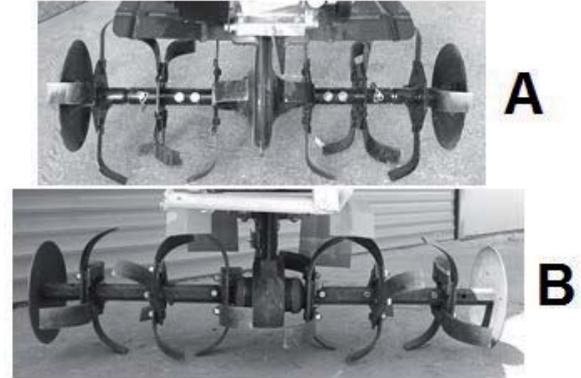
Şekil 1. Denemelerde kullanılan motorlu çapalar (A- Otto motorlu, B- Dizel motorlu)

Denemelerde kullanılan motorlu çapa makinalarına ait bazı teknik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Denemelerde kullanılan motorlu çapaların genel özellikleri

Özellikler	Motorlu Çapa Tipi	
	A	B
Güç (kW/HP)	4,1 / 5,5	5,5 / 7
Motor Tipi	Otto, 4 zamanlı	Dizel, 4 Zamanlı
Silindir Adedi	1	1
Silindir Hacmi (cm <sup>3</sup> )	163	349
Vites Sayısı (ileri+geri)	1 + 1	3 + 1
Maksimum Motor Devri (min <sup>-1</sup> )	3600	3600
Maksimum Tork (Nm)	10,3 (2500 min <sup>-1</sup> 'de)	16,6 (2400 min <sup>-1</sup> 'de)
Kütle (kg)	53	128
Uzunluk (mm)	1170 - 1440	1430 - 1620
Genişlik (mm)	715	1045
Yükseklik (mm)	915 - 190	880 - 1285

Denemelerde kullanılan motorlu çapaların freze üniteleri Şekil 2 'de ve bu ünitelerde bulunan bıçaklara ait bazı özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Motorlu çapaların freze üniteleri

Çizelge 2. Freze ünitelerine ait bazı özellikler

Özellikler	Motorlu Çapa Tipi	
	A	B
Frezedeki Bıçak Sayısı	24	24
Freze Bıçağının Konstrüktif İş Genişliği (mm)	52	80
Bıçağın Çizdiği Dairenin Çapı (mm)	300	320

Motorlu çapa makinalarının tutamaklarındaki titreşimleri belirlemek amacı ile Bruel & Kjaer marka 4520-002 model 3 eksenli piezoelektrik bir ivmeölçer, Bruel & Kjaer marka 3560-C model bir analizör ve Bruel & Kjaer 7533 model kontrol modülünden oluşan bir sis-

tem kullanılmıştır. Ayrıca denemeler sırasında motorlu çapaların oluşturduğu gürültüyü ölçmek amacıyla Bruel & Kjaer marka 2669 model mikrofön ön yükselticisi ve 4189 model mikrofön kullanılmıştır. Analizörün aldığı verileri işlemek ve kaydetmek üzere kullanılan bilgisayarda PULSE 5.0 yazılımı yüklüdür.

Denemeler, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümüne ait, %36 kum, %30 mil ve %34 kil içeren, killi-tın bünyeli toprağa sahip bir bahçede gerçekleştirilmiştir. Deneme alanına ait toprağın nem içeriği 0-10 cm arasında %12,3 ve 10-20 cm arasında %20,9'dur.

Denemelerin yapıldığı arazide toprak penetrasyon direnci ölçümleri de 5 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Penetrasyon direnci ölçümleri gerçekleştirmek üzere, Field Scout marka, SC 900 model, dijital bir penetrometre kullanılmıştır. Toprak derinliği 7,5 cm'de 750 kPa ve 10 cm toprak derinliğindeki ortalama toprak penetrasyon direnci değeri 1980 kPa olarak ölçülmüştür.

### Yöntem

Araştırmada biri 4,1 kW gücünde otto (benzinli) motor, diğeri 5,5 kW gücünde dizel motoru olan iki farklı tip motorlu çapa makinası kullanılmıştır. Bu makinalarla yapılan çalışmalarda bağımlı değişkenler;

- 3 ilerleme hızı (otto motorlu çapada 2,3, 3,2 ve 3,4  $\text{kmh}^{-1}$  – dizel motorlu çapada; 2, 2,4 ve 2,6  $\text{kmh}^{-1}$  )
- Farklı iş genişliği (otto motorlu çapada 50, 74 ve 98 cm, dizel motorlu çapa 64 cm, 95 cm),
- 2 çalışma koşulu (boşta "sadece motor çalışıyor" ve çapalama sırasında)

olarak ele alınmıştır. Her kombinasyon için tekrar sayısı 5, ölçüm süresi ise 60 saniye olarak belirlenmiştir (Gülsoylu ve ark., 2011).

Tutamak üzerine yerleştirilen üç eksenli ivme ölçerden gelen sinyaller taşınabilir 6 kanallı titreşim analizörüne aktarılmış ve ham titreşim değerleri ( $\text{ms}^{-2}$ ) belirlenmiştir. Motorlu çapaların tutamaklarına gelen titreşimin ölçme ve değerlendirilmesinde TS EN ISO 5349 standardı dikkate alınmış ve sonuçlar bu standardın direktiflerine göre değerlendirilmiştir.

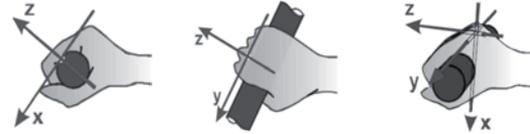
Tarlada yapılan çalışmalar sırasında toprağın fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla; toprak bünye analizi, toprak nemi, toprak hacim ağırlığı, toprak penetrometre direnci ölçümleri yapılmıştır.

Denemelerde motorlu çapalara takılı frezeler daha önceden belirlenen iş genişliklerinde ve ilerleme hızlarında çalıştırılmıştır. Otto motorlu çapa (A) ile

çalışmada 3 iş genişliği, dizel motorlu çapa (B) ile olanaklı ayarlanabilen 2 iş genişliğinde çalışılmıştır.

Seçilen ilerleme hızlarında ve iş genişliklerinde çalıştırılan motorlu çapaların tutamaklardaki ivme değerleri, durağan konumda (sadece motor çalışırken) ve ayrıca freze bıçaklarından oluşturulmuş çapa üniteleri ile toprak işleme işlemini gerçekleştirirken kaydedilmiştir. Bilgisayara kaydedilen veriler, her tekerrür ve her eksen için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve tekerrürler arası istatistiksel analizi yapılarak standart sapma sonuçları belirlenmiştir. Daha sonraki aşamalarda ise elde edilen veriler TS EN ISO 5349-1 ve TS EN ISO 5349-2 numaralı Türk Standartları temel alınarak değerlendirilmiştir.

Tutamaklardaki ivme değerlerini ölçmek için kullanılan ivmeölçer, TS EN ISO 5349-1 ve TS EN ISO 5349-2 Türk Standardında belirttiği şekilde motorlu çapaların tutamaklarına ayrı ayrı yerleştirilmiştir (Şekil 3).



**Şekil 3. Tutamağın "elle tutma" konumu ve koordinat sisteminde ölçüm yapılan yönler**

Şekil 3'de görüldüğü gibi el üzerinde 3 yönlü bir koordinat sistemi belirtilmiştir. Bu koordinat sistemi biyodinamik koordinat sistemi olarak adlandırılmaktadır. Biyodinamik koordinat sisteminin orijini, elin üçüncü parmağının bağlandığı tarak kemiğinin üst kısmıdır. z eksenine (el eksenine) elin üçüncü parmağının bağlandığı tarak kemiğinin uzunlamasına olan ekseni olarak tanımlanmıştır ve pozitif olarak parmağın ucuna yönlendirilmiştir. x eksenine orijinden geçmektedir ve z eksenine diktir. x eksenine el normal anatomik konumunda iken ileriye doğru olan yönde pozitifdir. y eksenine ise diğer iki eksene diktir ve başparmağa olan yönde pozitifdir. Standartta belirtildiği gibi ivmeölçer biyodinamik koordinat sisteminin orijinine en yakın olacak şekilde motorlu çapaların tutamaklarına bağlanmıştır.

Denemeler sırasında kaydedilen veriler değerlendirilirken, ivme değerlerinin belirlenmesinde standarda göre ana büyüklük olarak frekans ağırlıklı ivmenin karelerinin ortalamasının karekökü (k.o.k) (root mean square, RMS) değeri ele alınmış ve frekans ağırlıklı ivmenin ölçülmesi için frekans ağırlıklandırmaya esas bant filtreleri kullanılmıştır.

Standartta 6,3 Hz'den 1250 Hz'e kadar olan 1/3 oktav bant frekanslarının ele etki eden titreşimlerin esas frekans aralığını oluşturduğu ve bunun dışındaki ele etki etmediği belirtildiğinden, denemeler bu frekans aralığı içerisinde yürütülmüştür.

1/3 oktav bant frekanslarında ölçülen her titreşim değerinin frekans ağırlıklandırmasının yapılması için, o frekansa ait ivme değerinin aşağıdaki eşitliğe yerleştirilmesi ile herhangi bir eksenindeki frekans ağırlıklı ivmenin ( $a_{hw}$ ) karesinin ortalamasının karekökü (k.o.k.) değeri 1 numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$a_{hw} = \sqrt{\sum_i (W_{hi} a_{hi})^2} \quad [1]$$

$a_{hw}$  : Frekans ağırlıklı ivmenin karelerinin ortalamasının karekökü değeri ( $ms^{-2}$ )  
 $W_{hi}$  : i'inci 1/3 oktav bandı için ağırlıklandırma faktörü  
 $a_{hi}$  : i'inci 1/3 oktav bandı içinde ölçülen k.o.k değeri ( $ms^{-2}$ )

Denemeler 5 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiş ve TS EN ISO 5349-2 standardında belirtilen eşitlik kullanılarak her eksen için frekans ağırlıklı ivmelerin ortalaması belirlenmiştir (Eşitlik 2).

$$a_{hw} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{j=1}^N a_{hwj}^2 t_j} \quad [2]$$

$a_{hwj}$  : j numunesi için ölçülen titreşim büyüklüğü  
 $t_j$  : j numunesi için ölçülen süre  
 $T$  : Toplam ölçüm süresi

$a_{hw}$  değerinin her üç eksen için belirlenmiş olan frekans ağırlıklı ortalamaları kullanılarak ( $a_{hw_x}$ ,  $a_{hw_y}$ ,  $a_{hw_z}$ ), toplam titreşim değeri standartta verilen Eşitlik 3 ile elde edilmiştir.

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2} \quad [3]$$

$a_{hv}$  : Toplam titreşim değeri ( $ms^{-2}$ )  
 $a_{hw_x}$  : x eksenindeki frekans ağırlıklı ivmenin k.o.k değeri  
 $a_{hw_y}$  : y eksenindeki frekans ağırlıklı ivmenin k.o.k değeri  
 $a_{hw_z}$  : z eksenindeki frekans ağırlıklı ivmenin k.o.k değeri

Toplam titreşim değerinin belirlenmesinden sonra günlük titreşime maruz kalmanın  $[A(8)]$  belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, içerisinde toplam titreşim değeri ( $a_{hv}$ ) ve günlük titreşime maruz kalma süresini (T) içeren bir eşitlik kullanılmaktadır (Eşitlik 4).

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad [4]$$

$A(8)$  : Günlük maruz kalınan titreşim ( $ms^{-2}$ )

$a_{hv}$  : Toplam titreşim değeri ( $ms^{-2}$ )

$T$  : Günlük titreşime ( $a_{hv}$ ) maruz kalma süresi (saniye veya saat)

$T_0$  : 8 saatlik (28800 saniyelik) referans süre

Günlük titreşime maruz kalma süresi, değerlendirmeye alınan motorlu çapa makinası operatörünün günde ne kadar süre ile titreşime maruz kaldığını belirten bir değerdir. Operatörler tarafından günde ne kadar süre kullanıldığına dair istatistiksel değerler Türkiye'de mevcut değildir.

Titreşime maruz kalan çalışanların %10'unda parmaklarda kan çekilmesi durumunun oluşması için gereken sürenin belirlenmesi için kullanılan eşitlik (Eşitlik 5) aşağıda verilmiştir. Bununla birlikte, TS EN ISO 5349-1 standardında verilen eşitlik kullanılarak da bu değer tam olarak hesaplanabilmektedir.

$$D_y = 31,8[A(8)]^{-1,06} \quad [5]$$

$D_y$  : Toplam maruz kalma süresinin grup ortalaması (yıl)

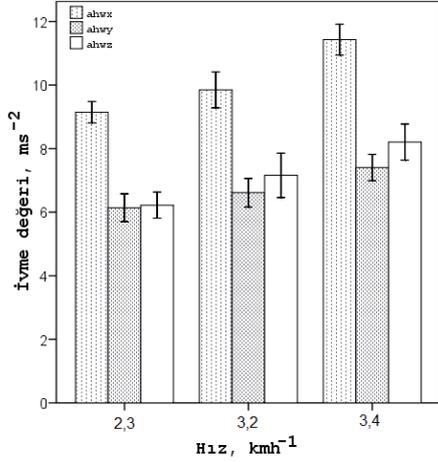
$A(8)$  : Günlük titreşime maruz kalma (el ile temas halinde olan bir yüzeyde, 8 saatlik enerjiye eş değer olan toplam titreşim değeri) ( $ms^{-2}$ )

Operatörün şapkasına yerleştirilen bir mikrofon yardımıyla operatörün kulak hizasında ses düzeyi ölçümleri 5 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

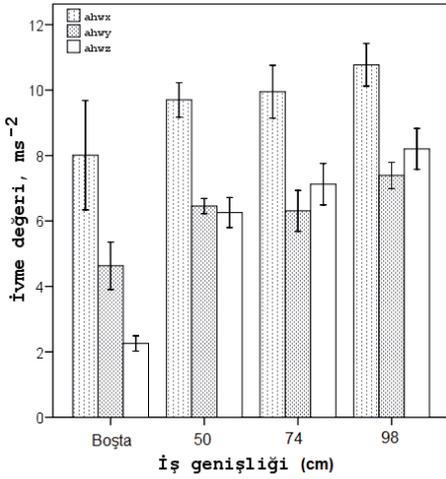
## BULGULAR ve TARTIŞMA

### Motorlu Çapa Makinalarına Ait Titreşim Değerleri

Her eksen için belirlenen ağırlıklandırılmış ivme değerlerinin otto motorlu çapanın (A) hızına bağlı olarak değişimi Şekil 4'te, yine aynı motorlu çapanın teorik iş genişliğine bağlı olarak değişimi de Şekil 5'de verilmiştir. Her iki değişken için de x ekseninde görülen ağırlıklı ivme değeri en yüksek düzeyde bulunmuştur. Diğer eksenlerdeki ivme değerleri ise birbirine çok yakın saptanmıştır. Hıza bağlı olarak titreşim değerinin arttığı Şekil 4'te görülmektedir.



**Şekil 4. A makinasında üç eksende saptanan hızla bağlı ortalama titreşim değerleri ve standart sapma değerleri**



**Şekil 5. A makinasında üç eksende saptanan iş genişliğine bağlı ortalama titreşim değerleri ve standart sapma değerleri**

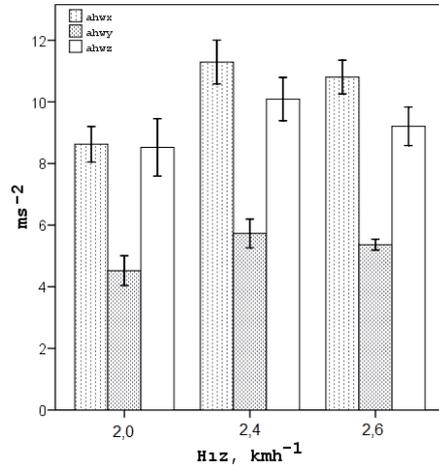
Şekil 5, ivme değerlerinin çalışılan teorik iş genişliğine göre değişimini göstermektedir. Şekilde görülen ilk sütunlar motorlu çapanın boşta çalışması sırasındaki verileri göstermektedir. Elde edilen tüm ivme değerleri, çapanın aktif çalışması ve iş genişliğinin artmasıyla beraber artış göstermiştir. Özellikle "z" ekseninde değişim çok açık olarak görülmektedir.

Otto motorlu çapa için yapılan değerlendirmeler dizel motorlu çapa için aynı şekilde yapılmış ve sonuçlar Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.

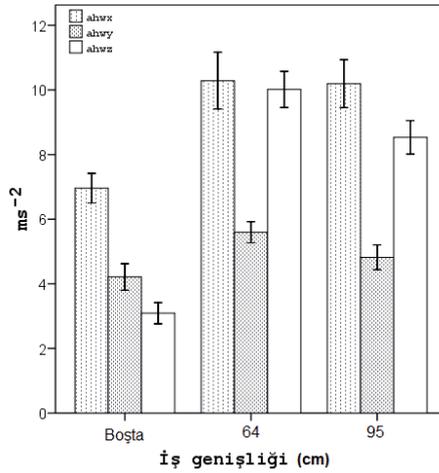
Dizel motorlu çapa (B) ile çalışmada hızlara bağlı ivme değişimi, otto motorlu çapada saptanan değerlere oranla daha düzensiz görünmektedir. Ancak A makinasında en yüksek ivmede hakim eksen "x"

ekseni iken, B makinasında "x" ve "z" eksenleri olarak ortaya çıkmıştır. Çalışma hızındaki artışla beraber ivme değerlerinde de bir artış görülmektedir (Şekil 6).

Dizel motorlu çapa ile çalışma, makine üzerindeki teknik olanaklar nedeniyle iki iş genişliğinde gerçekleştirilebilmiştir. Teorik iş genişliğinin artmasıyla beraber titreşim değerlerinde bir artış görülmemekte hatta "y" ve "z" eksenlerinde göreceli bir azalma meydana gelmektedir (Şekil 7).



**Şekil 6. B makinasında üç eksende saptanan hızla bağlı ortalama titreşim değerleri ve standart sapma değerleri**



**Şekil 7. B makinasında üç eksende saptanan iş genişliğine bağlı ortalama titreşim değerleri ve standart sapma değerleri**

Otto ve dizel motora sahip motorlu çapalara takılı frezeler ile çalışırken saptanan ağırlıklandırılmış ivme değerleri özellikle "x" eksenini doğrultusunda ortalama 10 ms<sup>-2</sup> olarak saptanmıştır. İvme değerleri ise hem

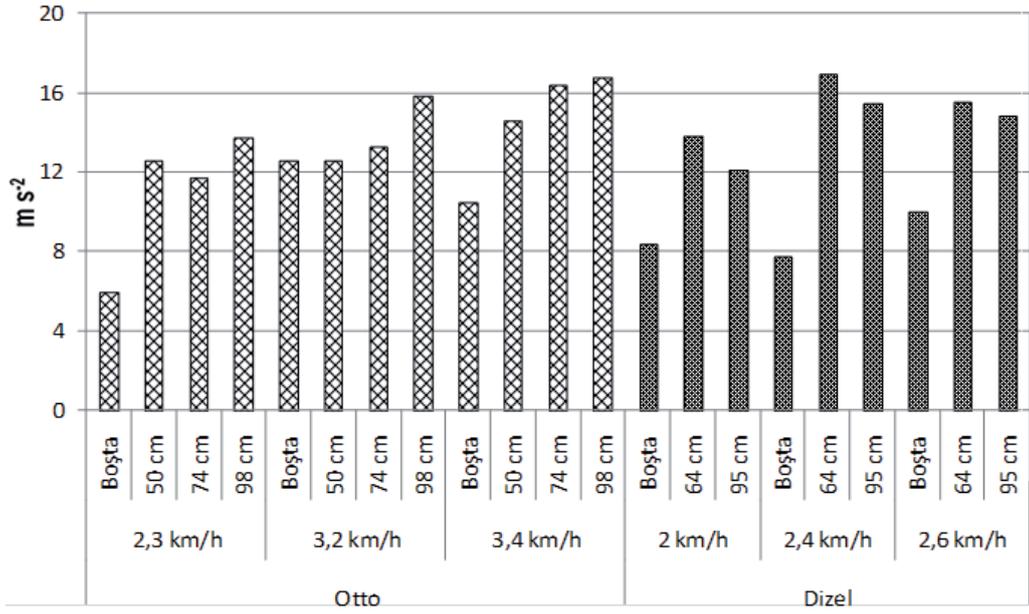
ilerleme hızı hem de iş genişliği değişiminde her iki motorlu çapada birbirine çok yakın bulunmuştur. En düşük ivme değeri her iki tip için "y" ekseninde ve ortalama  $6 \text{ ms}^{-2}$  olarak saptanmıştır

### Otto ve Dizel Motorlu Çapalara ait Toplam Titreşim Değerleri

Motorlu çapalarla çalışırken tutamaktan operatörün eline gelen toplam titreşim değerlerini ( $a_{hw}$ ) belirlemek için, üç eksen için frekans ağırlıklı ortalama

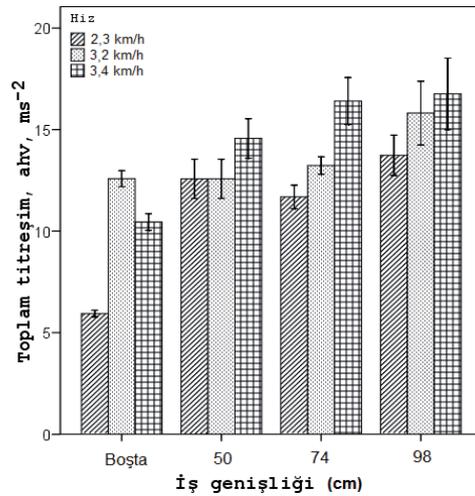
malar ( $a_{hw_x}$ ,  $a_{hw_y}$ ,  $a_{hw_z}$ ) hesaplanmıştır. Şekil 8, her iki motorlu çapa için ilerleme ve teorik iş genişliğine bağlı toplam titreşim değerinin değişimini göstermektedir.

Toplam titreşim değeri otto motorlu çapa ile çalışırken ilerleme hızının artışıyla beraber artış göstermiş ve en yüksek değerine en yüksek ilerleme hızında ve iş genişliğinde ulaşmıştır. Dizel motorlu tipte ise ilerleme hızının bir etkisi görülmemekle birlikte iş genişliğinin artması operatör eline gelen toplam titreşim değerini azaltmıştır.

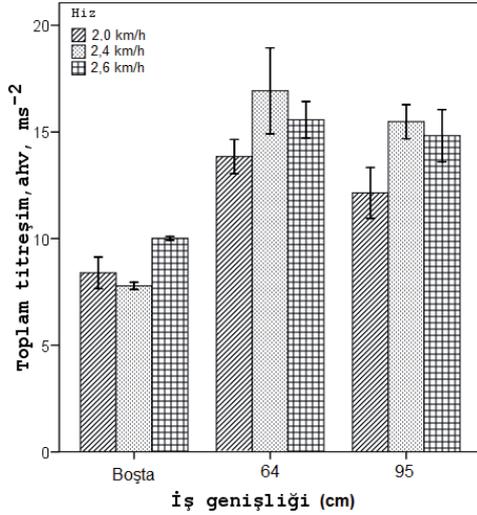


Şekil 8. Operatörün eline gelen toplam titreşim değerinin motorlu çapalarda motor tipine ilerleme hızına ve iş genişliğine bağlı olarak değişimi

Şekil 9, otto motorlu tipte ilerleme hızı ve iş genişliğinin toplam titreşim değerine etkisini göstermektedir. İş genişliği arttıkça hızlar arasındaki toplam titreşim değeri farkının da arttığı şekilden açıkça görülmektedir. Dizel motorlu tipte ise iş genişliğinin artmasıyla beraber değerlerde bir azalma görülmektedir (Şekil 10). Bu azalmanın nedeni, iş genişliğinin artmasıyla birlikte topraktaki temas alanının büyümesi ve bıçak sayısının artışıyla beraber dizel motorda oluşan içsel kuvvetlerin dengelenmesi olarak gösterilebilir (Gülsoylu ve ark., 2011).



Şekil 9. Operatörün eline gelen toplam titreşim değerinin otto motorlu çapada (A) ilerleme hızına ve iş genişliğine bağlı olarak değişimi ve standart sapma değerleri



**Şekil 10. Operatörün eline gelen toplam titreşim değerinin dizel motorlu çapada (B) ilerleme hızına ve iş genişliğine bağlı olarak değişimi ve standart sapma değerleri**

#### **Otto ve Dizel Motorlu Çapalara ait Günlük Maruz Kalınan Titreşim [A(8)] ve Beyaz Parmak Rahatsızlığının Ortaya Çıkma Olasılığı İçin Yaklaşık Süre (Dy)**

Otto motorlu çapa ile çalışırken ölçülüp daha sonra hesaplanarak bulunan A(8) ( $ms^{-2}$ ) ve Dy (yıl) değerlerinin iş genişliği ve ilerleme hızına bağlı değişimi incelendiğinde otto motorlu çapada çalışırken günlük maruz kalınan titreşim değerinin iş genişliği ve ilerleme hızının artmasıyla birlikte arttığı görülmüştür. Bu durum operatörün beyaz parmak sendromuna yakalanma olasılığı için süreyi kısaltmakta ve otto motorlu çapa ile en büyük iş genişliğinde ve en yüksek ilerleme hızında bu süre 2 yıldan az olmaktadır. En küçük iş genişliğinde en düşük ilerleme hızında bu süre ortalama 2,5 yıl olmaktadır.

Dizel motorlu çapa ile çalışırken ölçülüp daha sonra hesaplanarak bulunan A(8) ( $ms^{-2}$ ) ve Dy (yıl) değerlerinin iş genişliği ve ilerleme hızına bağlı değişimi, dizel motorlu çapada çalışırken günlük maruz kalınan titreşim değerinin iş genişliği ve ilerleme

hızının artmasıyla birlikte orantılı bir artış olmadığını göstermektedir. Dizel motorlu çapada çalışırken operatörün beyaz parmak sendromuna yakalanma olasılığı için süreyi kısaltmakta ve dizel motorlu çapa hızında bu süre 2 yıldan az olmaktadır. Ancak en büyük iş genişliği en düşük ilerleme hızında bu süre ortalama 2,5 yıl bir süreye uzamaktadır.

Otto ve dizel motorlu çapalar ile çalışmada operatörün beyaz parmak sendromuna yakalanacak %10'luk popülasyon içine dahil olması için geçen ortalama süre ve bunların ortalama standart hata (SEM) değerleri, Ortalama Dy (yıl); A makinasında 2,074 (standart hata 0,041) B makinasında 1,971 (standart hata 0,051) olarak bulunmuştur.

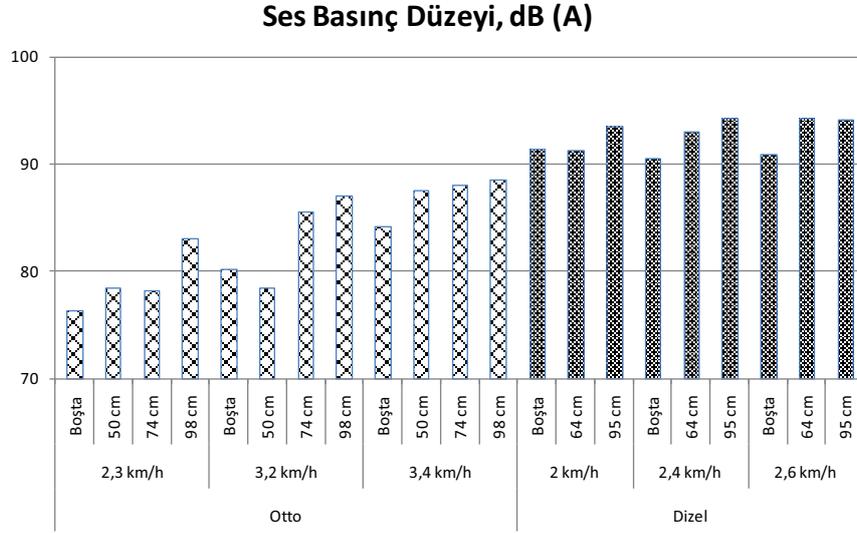
Tüm iş genişliği ve ilerleme hızlarında yapılan çalışmalarda motorlu çapalar arasında P:0,95 önem seviyesinde istatistiki olarak bir fark olmadığı belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar tüm yıl boyunca her gün 8 saat bu tip makinalarla çalışma yapan kişilere göre hesaplanmıştır.

#### **Motorlu Çapalara Ait Ses Basınç Değerleri**

Motorlu çapalarla yapılan çalışmalarda, motor tipi, ilerleme hızı ve iş genişliğine bağlı olarak ses basınç seviyelerindeki değişim operatör kulak seviyesinde (A filtrelili) ölçülmüştür. Belirlenen değerler Şekil 11'de toplu olarak görülmektedir. Özellikle otto motorlu çapa makinasında hem ilerleme hızı hem de iş genişliğindeki değişime bağlı olarak değerlerde artış görülmektedir. Bu anlamlı artış Varyans Analizi sonuçlarıncada desteklenmektedir. Hızın, iş genişliğinin ve bunların ikili interaksiyonunun ses basınç seviyesi üzerinde etkisi anlamlı bulunmuştur ( $\alpha=0,05$ ).

Özellikle en büyük iş genişliğinde en yüksek hızla yapılan toprak işleme sırasında saptanan Ses Basınç seviyeleri, ILO (Dünya çalışma örgütü)'nun belirttiği 85 dB(A) seviyesini aşmaktadır. Bu durumda otto motorlu çapa ile bu değerlerle çalışmada mutlaka koruyucu tedbirler alınması gerekmektedir.



**Şekil 11. Motorlu çapa makinalarına ait farklı hız ve iş genişliklerinde ölçülen A ağırlıklı olarak filtrelenmiş ses basınç düzeyleri.**

## SONUÇ

Elde edilen sonuçlara göre motorlu çapaların her ikisinde de toprak işleme sırasında (yükte) çalışmak daha yüksek titreşim ve ivme değerlerine neden olmuştur. Ayrıca üç eksenle ölçülen ivme değerleri incelendiğinde her iki motorlu çapada da "x" ekseninde elde edilen titreşim ve ivme değerlerinin "y" ve "z" eksenlerindeki değerlerden daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Dizel motorlu çapa (B) ile çalışmada hızlara bağlı ivme değişimi, otto motorlu çapada (A) saptanan değerlere oranla daha düzensiz görünmektedir. Ancak otto motorda en yüksek titreşim ve ivme değeri "x" ekseninde iken, dizel motorlu çapada "x" ve "z" eksenleri olarak ortaya çıkmıştır. Çalışma hızındaki artışla beraber ivme değerlerinde de bir artış görülmektedir.

Dizel motorlu çapa ile toprak işlerken teorik iş genişliğinin artmasıyla beraber titreşim değerlerinde bir artış görülmemekte hatta "y" ve "z" eksenlerinde göreceli bir azalma meydana gelmektedir.

Otto ve dizel motora sahip motorlu çapalarla çalışırken saptanan ağırlıklandırılmış ivme değerleri özellikle "x" eksenine doğrultusunda ortalama  $10 \text{ ms}^{-2}$  olarak hesaplanmıştır. İvme değerleri, hem ilerleme hızı hem de iş genişliği değişiminde her iki motorlu çapada birbirine çok yakın bulunmuştur. En düşük ivme değeri her iki motorlu çapa için "y" ekseninde ve ortalama  $6 \text{ ms}^{-2}$  olarak saptanmıştır.

Toplam titreşim değeri otto motorlu çapa ile çalışırken ilerleme hızının artışıyla beraber artış göstermiş ve en yüksek değerine en yüksek ilerleme hızında ve iş genişliğinde ulaşmıştır. Dizel motorlu çapada ise ilerleme hızının bir etkisi görülmemekle birlikte iş genişliğinin artması operatörüne gelen toplam titreşim değerini azaltmıştır. Bu azalmanın nedeni, iş genişliğinin artmasıyla birlikte topraktaki temas alanının büyümesi ve bıçak sayısının artışıyla beraber dizel motorda oluşan içsel kuvvetlerin dengelenmesi olarak açıklanabilir.

Otto motorlu çapada (A) çalışırken günlük maruz kalınan titreşim değerinin iş genişliği ve ilerleme hızının artmasıyla birlikte arttığını göstermektedir. Bu durum operatörün beyaz parmak sendromuna yakalanma olasılığı için süreyi kısaltmakta ve otto motorlu çapa ile en büyük iş genişliğinde ve en yüksek ilerleme hızında bu süre 2 yılın altına inmektedir. En küçük iş genişliği en düşük ilerleme hızında bu süre ortalama 2,5 yıl olmaktadır.

Otto ve dizel motorlu çapalar ile çalışmada operatörün beyaz parmak sendromuna yakalanacak %10 'luk popülasyon içine dahil olması için geçen ortalama sürenin, iş genişliği ve ilerleme hızına bağlı ilişkisi  $P:0,05$  önem düzeyinde önemli bulunmamıştır.

Elde edilen sonuçlar tüm yıl boyunca her gün 8 saat bu makinalarla çalışan operatörler için hesaplanmıştır. Tarım işleri mevsime bağlıdır. Tarımsal faaliyet-

lerin yoğun olarak yapıldığı dönemlerde çok az dinlenerek aşırı yüklenme ile yapılan bu tip çalışmalar, sağlık sorunlarının ortaya çıkmasını hızlandırmakla birlikte, operatör ve iş dönüşümlü olarak yapılan faaliyetler el-kol sendromunun ortaya çıkma süresini uzatabilmektedir.

Motorlu çapalarla yapılan çalışmalarda, motor tipi, ilerleme hızı ve iş genişliğine bağlı olarak ses basınç seviyelerindeki değişim operatör kulak seviyesinde dB(A) olarak ölçülmüştür. Her iki motorlu çapada özellikle en büyük iş genişliğinde ve en yüksek hızla yapılan toprak işleme sırasında saptanan ses basınç

seviyeleri, ILO (Dünya çalışma örgütü)'nun belirttiği 85 dB(A) seviyesini aşmaktadır. Bu durumda motorlu çapa ile bu değerlerle çalışmada mutlaka koruyucu tedbirler alınması (örneğin kulaklık takılması) gerekmektedir.

İşletmelerde operatörlerin bu tip makinalarla çalışması izlenerek titreşime maruz kalma süresini azaltan iş programları yapılmalıdır. Bu makinalarda titreşimin en büyük nedenlerinden biri olan motorun, çatıya bağlanmasında titreşim sönmüleyici düzenler kullanılmalı ve makina üreticisi firmaların bu konuda çalışmalar yapması özendirilmelidir (Gülsoylu ve ark., 2011).

### LİTERATÜR LİSTESİ

- Civelek, Ç., E. Gülsoylu, 2008. Bazı Tek Akslı Traktörlerle Çalışmada Tutamlara Gelen Titreşimlerin Belirlenmesi. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 108 sayfa, Bornova, İZMİR.
- Çakmak, B., E. Gülsoylu, F.N. Alayunt, 2008. Toprak İşlemede Kullanılan Motorlu Çapanın Titreşim ve Gürültü Değerlerinin Belirlenmesi. 14. Ulusal Ergonomi Kongresi Bildiriler Kitabı, sayfa 491-498, TRABZON.
- Dewangan, K. N., Tewari, V. K., 2008. Characteristics of Hand-Transmitted Vibration of a Hand Tractor Used in Three Operational Modes. International Journal of Industrial Ergonomics, doi:10.1016/j.ergon. 2008.08.007
- Goglia, V., Gospodaric, Z., Kosutic, S., Filipovic, D., 2003. Hand-Transmitted Vibration From The Steering Wheel to Drivers of a Small Four-Wheel Drive Tractor. Elsevier Science Ltd., Applied Ergonomics 34, 45-49
- Goglia, V., Gospodaric, Z., Filipovic, D., Djukic, F., 2006. Influence on Operator's Health of Hand-Transmitted Vibrations from Handles of a Single-Axle Tractor. Ann Agric Environ Med 2006, 13, 33-38
- Gülsoylu, E., B. Çakmak, F.N. Alayunt, 2011. Motorlu Çapa Makinasının Titreşim Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Sonuç Raporu, Proje No: 2007-ZRF-037, Bornova-İZMİR.
- Ragni, L., Vassalini, G., Xu, F., Zhang, L. B., 1999. Vibration and Noise of Small Implements for Soil Tillage. J. Agricul. Engineering Research (1999) 74, 403-409
- Sam, B., Kathirvel, K., 2006. Vibration Characteristics of Walking and Riding Type Power Tillers. Biosystems Engineering (2006) 95(4), 517-528
- Tewari, V. K., Dewangan, K. N., Karmakar, S., 2004. Operator's Fatigue in Field Operation of Hand Tractors. Biosystems Engineering (2004) 89(1), 1-11
- 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. Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN ISO 5349-1, 2005. Mekanik Titreşim-Kişilerin Maruz Kaldığı, Elle İletilen Titreşimin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi-Bölüm 1: Genel Kurallar. Türk Standartları Enstitüsü.
- Ying, Y., Zhang, L., Xu, F., Dong, M., 1998. Vibratory Characteristics and Hand-Transmitted Vibration Reduction of Walking Tractor. American Society of Agricultural Engineers, 0001-2351/98/4104-917.