

## MADEN MAKİNELERİNİN FREKANS-GÜRÜLTÜ İLİŞKİSİ

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

<sup>1,2,3</sup>Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Sivas

<sup>1</sup>zduran@cumhuriyet.edu.tr, <sup>2</sup>bulent@cumhuriyet.edu.tr, <sup>3</sup>tcamuzcu@cumhuriyet.edu.tr

(Geliş/Received: 18.10.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 13.12.2017)

**ÖZ:** Normal bir insan kulağı 20 Hz – 20000 Hz frekans aralığındaki sesleri duymakla birlikte bu aralıktaki farklı frekanstaki sesleri eş şiddetle algılamamaktadır. Bu nedenle insan maruziyetinin belirlenmesinde gürültü düzeylerini belirlemenin yanında, gürültünün frekansı da dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada Sivas ve komşu illerde yer alan toplam altı çalışma alanında kullanılan 67 adet iş makinesinden gürültü ölçümleri alınmış ve frekans-gürültü ilişkisi ortaya çıkarılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre paletli dozer ve lastik tekerlekli yükleyici operatörlerinin maruz kaldığı maksimum gürültü düzeyi büyük oranda düşük frekans aralığına, diğerleri orta frekans aralığına düşmektedir. Tüm iş makinesi operatörlerinin maruz kaldığı minimum gürültü düzeyleri yüksek frekans aralığındadır. Ölçüm yapılan iş makinelerinin maksimum gürültü düzeylerinin insan kulağının en hassas olduğu frekans aralığının dışında olduğu tespit edilmiştir. İş makinelerinin oluşturduğu gürültü geniş frekans aralığında yer almaktadır. Gürültü düzeyleri, zamanla değişim ölçütüne göre sınıflandırıldığında ölçüm alınan tüm iş makineleri kararsız gürültü sınıfına girmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Gürültü spektral analizi,  $\frac{1}{3}$  oktav bant frekansları,  $L_{eq}$ ,  $L_{EX-8h}$

### Frequency-Noise Relation of Mining Machines

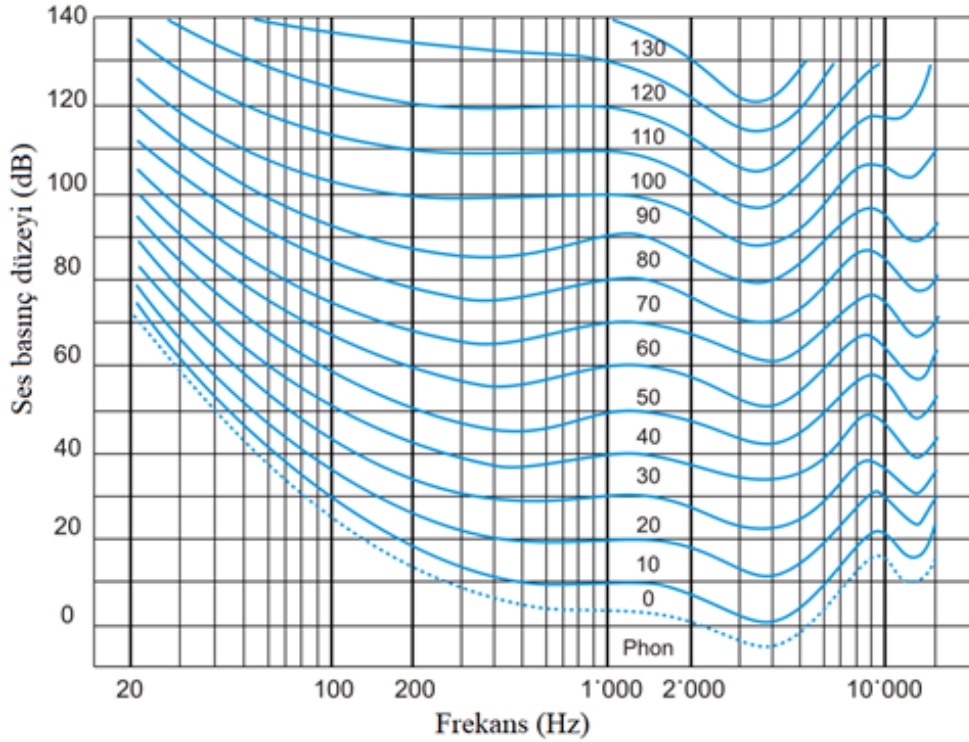
**ABSTRACT:** Though a normal human can hear sound in 20 Hz – 20000 Hz frequency range, he/she does not detect the same intensity at different frequencies in this interval. Therefore, when determining noise levels for human exposure, the noise frequency should also be taken into consideration. In this study noise measurements were taken and frequency-noise relations extracted from 67 units of mining machinery of different types and models used in six work sites in Sivas and neighbor provinces. According to study results the maximum noise level, to which crawled dozer and wheel loader operators are exposed, fall greatly in the low-frequency range while the others fall into the medium-frequency range. The minimum noise levels, to which all mining equipment operators are exposed, fall into the high-frequency range. It is determined that the maximum noise levels of the mining machines sampled are outside the frequency range to which human ear is most sensitive. The noise that all mining equipment generated is located in the wide frequency range. When the noise levels are classified according to the criteria of change over time, all mining machines are characterized as unsteady.

**Key Words:** Noise spectral analysis,  $\frac{1}{3}$  octave band frequencies,  $L_{eq}$ ,  $L_{EX-8h}$

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sağlıklı bir insan kulağı 0 dB – 140 dB arasındaki sesleri duyabilmektedir. Normal ve sağlıklı genç bir insanın kulağı 20 Hz – 20000 Hz frekans aralığındaki sesleri duymakla birlikte bu aralıktaki farklı frekanstaki sesleri eş şiddetle algılamamaktadır (Brüel and Kjaer, 2001). 1000 Hz seviyesinde tanımlanan belirli bir ses seviyesinin karşılığı, günlük eğrisi boyunca başka bir frekansta bulunabilmektedir.

Örneğin, 1000 Hz'lik frekansta 40 desibel şiddetindeki ses, 100 Hz frekansta 50 desibel olarak duyulmaktadır (ISO, 2003) (Şekil 1).



Şekil 1. Eşit gürültü eğrileri (ISO, 2003)

Figure 1. Equal sound loudness curves

İnsan kulağı orta frekanslı seslere, düşük ve yüksek frekanslı seslerden daha duyarlı olduğu için bu frekans aralığındaki sesler insan kulağına daha çok zarar vermektedir. Diğer taraftan düşük frekanslı sesler, engellerden doğrudan geçebildiği ve görece kolaylıkla yönelebildiğinden bariyer ile engellenmeleri daha güçtür. Bu nedenle düşük frekanslı seslerin şiddetini azaltmak için yüksek frekanslı seslere göre daha kalın ses emici malzemeler gerekmektedir (Reeves ve diğ., 2009). Kişisel korumada etkin olan kulaklıkların, gürültü şiddetini; düşük frekanslarda 30 dBA, yüksek frekanslarda 50 dBA, dış kulak yoluna konulan poliüretan tıkaçların düşük frekanslarda 25 dBA, yüksek frekanslarda 40 dBA kadar azalttığı bilinmektedir. Ayrıca yüksek frekanslı sesler, düşük frekanslı seslere göre çalışanları daha fazla rahatsız ettiği için işlerini daha fazla aksatmasına neden olmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1994).

Gürültünün insan sağlığına vermiş olduğu zararların başında geçici ve kalıcı işitme kaybı gelmektedir. Yüksek gürültüye maruz kalan kişiler, gerekli önlemler alınmadığında geçici işitme kaybına uğrayabilmektedir. Gürültülü ortamda kalma süresi yıllara uzadığında (bir ya da iki yıl) ise geçici işitme kaybı, kalıcı işitme kaybına dönüşebilmektedir. İnsanda işitme kaybının ilk belirtileri 4000 Hz'de görülmeye başlanmakta, kişinin gürültülü ortamdan uzaklaşmasına rağmen işitmede düzelme meydana gelmediğinde durum, uzun süreli kalıcı işitme kaybı ile sonuçlanabilmektedir. Bu da kalıcı bir meslek hastalığına işaret edebilmektedir (Sharland, 1972).

Doğada rastladığımız seslerin frekans aralıkları değişkenlik göstermektedir. Bir sesin frekans analizini yapmak, o sesin baskın frekansının hangi aralıkta olduğunu anlamamıza yardımcı olacaktır. Mühendislik kontrolleri açısından birçok durumda gürültünün frekans dağılımını bilmek gerekmektedir. Örneğin, bir ses kaynağında düşük frekanslı gürültü baskın ise (en yüksek oktav bandı ses seviyeleri 500 Hz veya daha düşük frekansta ise), gürültü muhtemelen titreşimden kaynaklanır ve böyle durumda titreşimin azalması için önlem almak aynı zamanda gürültünün azalmasını da sağlayacaktır. Ses kaynağında yüksek frekanslı gürültü baskın ise (en yüksek oktav bandı ses seviyeleri

2.000 Hz veya daha yüksek frekanslarda ise) gürültüyü kontrol etmek için ses emici sistemler, gürültü duvarları veya bariyerler kullanmak en etkili çözümdür (Chen ve Brueck, 2011). Frekans analizi gürültü kontrolü, işitme koruyucularının seçimi ve çevresel ya da toplumsal gürültü değerlendirmesi için yaygın biçimde faydalanılan hayati bir araç olarak tanımlanmıştır (Driscoll, 2009).

Literatürde insan kulağının işitebildiği frekans aralıklarını düşük, orta ve yüksek frekans aralığı olarak tanımlamak için çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. 250 Hz'den düşük frekanslı sesler düşük frekanslı ses, >250 Hz – 2000 Hz arası frekanslı sesler orta frekanslı ses ve 2000 Hz'den büyük frekanslı sesler, yüksek frekanslı ses olarak tanımlanmaktadır (BRD, 2017). Bunun dışında, Alves ve diğ. (2015) 200 Hz'den düşük frekanslı sesleri düşük frekanslı ses olarak adlandırılmaktadır. Diğer taraftan 20 Hz – 200 Hz arasındaki düşük frekanslar, kalın sesler olarak tanımlanmaktadır. Düşük frekanslar atmosfer tarafından çok daha az yutulmakta ve bu nedenle daha uzak mesafelerde daha etkili olmaktadır. İnsan kulağı, alçak frekanslı seslere daha az duyarlı olduğundan düşük frekanslı sesler yorgunluk hissi oluşturarak yoğunlaşma bozukluklarına yol açmaktadır (Bilgili ve diğ., 2011). Bu frekans aralığındaki seslerin denge yitimi, baskı, yüksek tansiyon, kalp ritim bozukluğu ve uyku bozukluğu gibi ciddi problemlere de yol açabileceği (Leventhall, 2003; Waye, 2004), yüksek frekanslı seslerin ise temel olarak yüksek tansiyon, yorgunluk ve işitme kaybı gibi etkilerinin olduğu ifade edilmektedir (Reinhold ve diğ., 2014). Bu çalışmada düşük frekans bölgesinin 20 Hz – 250 Hz, orta frekans bölgesinin 315 Hz – 2000 Hz ve yüksek frekans bölgesinin 2500 Hz – 20000 Hz aralığını kapsadığı kabul edilmiştir.

İnsanlar, 20 Hz'den düşük frekansa sahip dalgaları sadece titreşim olarak, 20 Hz ve 200 Hz arasında frekansa sahip olan dalgaları hem titreşim hem de ses olarak hissedebilmektedir. 200 Hz ile 20 kHz frekans aralığında olan dalgaları da ses olarak algılayabilmektedir (Testroete, 2017).

İnsan kulağının en hassas olduğu frekans aralığı 1000 Hz ile 5000 Hz arasındaki bölgedir (Brüel and Kjaer, 1978; May, 2000). Sabit hat ve mobil iletişimle telefonla konuşma frekans bant genişliği 300 Hz – 3400 Hz arasındadır (Hyrkäs, 2010; Hu ve diğ., 2013). İnsan, bu frekans bölgesinde oluşan sesin sahibini karşısında konuşanı görmeden rahatlıkla algılayabilmektedir. Diğer yandan konuşma sesi frekans aralığı ise 500 Hz – 4000 Hz arasında değişmektedir (OSHA, 2017). Dolayısıyla insanın konuşma frekans aralığı hemen hemen telefonla konuşma frekans aralığına denk gelmektedir. Odyogram işitme testi analizleri de 125 Hz - 8000 Hz aralığında yapılmaktadır (Perala, 2006).

İşitme kaybının geçici ya da kalıcı olması ve kaybın derecesi; etkisinde kalınan gürültünün düzeyine, frekans içeriğine ve etkilenim süresine bağlı olmakla birlikte kişisel duyarlılık da önem taşımaktadır. Kadınlar ve erkekler genel olarak 80 yaşından sonra eşit seviyelerde işitme kaybına uğramış olsalar bile aralarında belirgin farklılıklar vardır. Buna göre kadınların daha önce düşük frekanslarda, erkeklerin ise yüksek frekanslarda işitme kaybına maruz kaldıkları belirtilmektedir (Healthy Hearing, 2017).

Ertürk (2001) gürültü ölçümündeki amacın bir iş yerinde gürültü düzeylerinin istenilen sınırlar içerisinde olup olmadığının kontrol edilmesi olduğunu ancak gürültü kontrol çalışmalarının istenilen amaca gürültü ölçümlerinin frekans analizi ile birlikte yapıldığında ulaşacağını belirtmiştir. Badur (1997), Gaziantep il merkezinde 37 değişik noktada gürültü ölçümü yapmış, bunlar arasında 10 noktanın gürültü açısından tehlikeli olduğunu tespit etmiştir. Bu noktalardan birinde 35 kişi üzerinde odyolojik inceleme yapılarak en çok etkilenen frekansın 4000 Hz olduğunu saptanmıştır. Güney Kıbrıs'ta 3 yıllık bir çalışmada farklı endüstri alanlarında yapılan odyometrik testler sonucunda, ölçüm yapılan işçilerin % 27,8'inde kısmen işitme zararları görülürken % 7,7'sinde ciddi işitme kaybı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra 35 yaş altındaki genç işçilerde yüksek frekanslarda işitme eşiği kaybının daha çok olduğu tespit edilmiştir (Eleftheriou, 2002). Starck ve diğ. (2002) tarafından farklı frekanslardaki yüksek gürültü seviyelerinde kulak tıkaçlarının gürültü yalıtımı incelenmiş, 104 dBA – 110 dBA arasındaki gürültü seviyelerinin 80 dBA – 89 dBA aralığına düşürüldüğü gözlenmiştir. Kosala ve Bartłomiej (2016), bir andezit ocağındaki kırma-eleme tesisinde çeşitli makinelerde gürültü ölçümleri yapmışlar, makinelerin gürültü düzeylerinin 100 dBA – 130 dBA arasında değiştiğini belirlemişler ve 1/3 oktav frekans bantlarındaki ses basınç seviyelerini vermişlerdir.

## SAHA ÇALIŞMASI (FIELD STUDY)

## Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada gürültü maruziyeti ölçümleri, TS EN ISO 9612-2009 “Akustik-Mesleki Gürültü Maruziyetinin Belirlenmesi-Mühendislik Metodu” ile TS 2607 ISO 1999 “Akustik-İş Yerinde Maruz Kalınan Gürültünün Tayini Ve Bu Gürültünün Sebep Olduğu İşitme Kaybının Tahmini” standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her iki standartta da gürültüye maruziyet düzeyinin değerlendirilmesi için sekiz saatlik bir referans döneme ( $L_{EX-8h}$ ) indirgenen günlük maruziyet değerinin hesaplanmasına dayalı olarak, frekans ağırlıklı ses basıncı değerlerinin karelerinin toplamının (RMS) karekökü tanımlanmış ve gürültü maruziyeti değerlendirmesine yönelik frekans-gürültü ilişkisi de çalışılmıştır.

Ölçümler Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”nde yer alan tüm gürültü ölçümleri için uygun olan yüksek hassasiyete sahip Tip-1 gürültü seviyesi ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm aralığı 15 dBA RMS ile 140 dBA Peak arasında değişen gürültü ölçüm cihazı IEC 61672-1: 2002 Standardında öngörülen gereklilikleri karşılamakta olup frekans analizi için dâhili 1/3 oktav bant filtresi bulunmaktadır. Gürültü ölçümleri üç ayrı profil tanımlanarak A, C ve Z (doğrusal) frekans ağırlıklandırması üzerinden Sivas ve komşu illerde yer alan bir yol inşaat çalışması, bir kum ocağı, bir kireçtaşı işletmesi, bir demir işletmesi, bir altın işletmesi ve bir kömür işletmesi olmak üzere toplam altı işyerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ölçüm alınan iş makinelerinin işletmelere dağılımı Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. İş makinelerinin işletmelere dağılımı

Table 1. Distribution of mining equipment among mines

İş makinesi	Temsili resim	Adet
Hafriyat kamyonu		Kum ocağı 1 Kireçtaşı işletmesi 4
Açık maden işletmelerinde cevher ve pasa taşıma işlemlerinde kullanılmaktadır		Demir işletmesi 8 Altın işletmesi 7 Toplam 20
Hidrolik terskepeç ekskavator		Kireçtaşı işletmesi 1 Demir işletmesi 2 Altın işletmesi 8 Toplam 11
Açık maden işletmelerinde cevher/pasa kazı ve yükleme işlemlerinde kullanılmaktadır		
Paletli dozer		Yol inşaat çalışması 1 Altın işletmesi 3 Kömür işletmesi 2 Toplam 6
Açık maden işletmelerinde zemin tesviye/kazı ve destek işlemlerinde kullanılmaktadır		
Lastik tekerlekli yükleyici		Kum ocağı 1 Altın işletmesi 3 Toplam 4
Açık maden işletmelerinde yükleme/kazı ve destek işlemlerinde kullanılmaktadır		
Greyder		Yol inşaat çalışması 1 Altın işletmesi 3 Toplam 4
Açık maden işletmelerinde zemin tesviye işlemlerinde kullanılmaktadır		

<p>Lastik tekerlekli titreşimli silindir</p> <p>Açık maden işletmelerinde zemin sıkıştırma işlemlerinde kullanılmaktadır</p>		<p>Yol inşaat çalışması 1</p> <p>Altın işletmesi 2</p> <p>Toplam 3</p>
<p>Delici</p> <p>Açık maden işletmelerinde patlatma deliği delme işlemlerinde kullanılmaktadır</p>		<p>Demir işletmesi 1</p> <p>Altın işletmesi 2</p> <p>Toplam 3</p>
<p>Hidrolik kırıcı</p> <p>Açık maden işletmelerinde boyut küçültme işlemlerinde kullanılmaktadır</p>		<p>Kireçtaşı işletmesi 1</p> <p>Altın işletmesi 2</p> <p>Toplam 3</p>
<p>Döner kepçeli ekskavatör (DKE)</p> <p>Açık maden işletmelerinde cevher/pasa kazı/yükleme ve transfer işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 3</p> <p>Toplam 3</p>
<p>DKE boşaltma birimi (tripper car)</p> <p>Açık maden işletmelerinde DKE'den alınan cevher/pasanın basamak bandına transfer işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 3</p> <p>Toplam 3</p>
<p>Dökücü (spreader)</p> <p>Açık maden işletmelerinde pasanın döküm sahasına yayılarak, yığılması işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 3</p> <p>Toplam 3</p>
<p>DKE kömür yükleyici (coal loader)</p> <p>Termik santral stok sahasındaki kömürün, termik santrale beslenmesi işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 2</p> <p>Toplam 2</p>
<p>Kömür serici (coal spreader)</p> <p>Termik santral stok sahasına iletilen kömürün, düzenli biçimde konik yığınlara aktarımı işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kömür işletmesi 2</p> <p>Toplam 2</p>
<p>Hidrolik terskepçe yükleyici</p> <p>Açık maden işletmelerinde yükleme, hendek açma ve destek işlemlerinde kullanılmaktadır.</p>		<p>Kum ocağı 1</p> <p>Toplam 1</p>

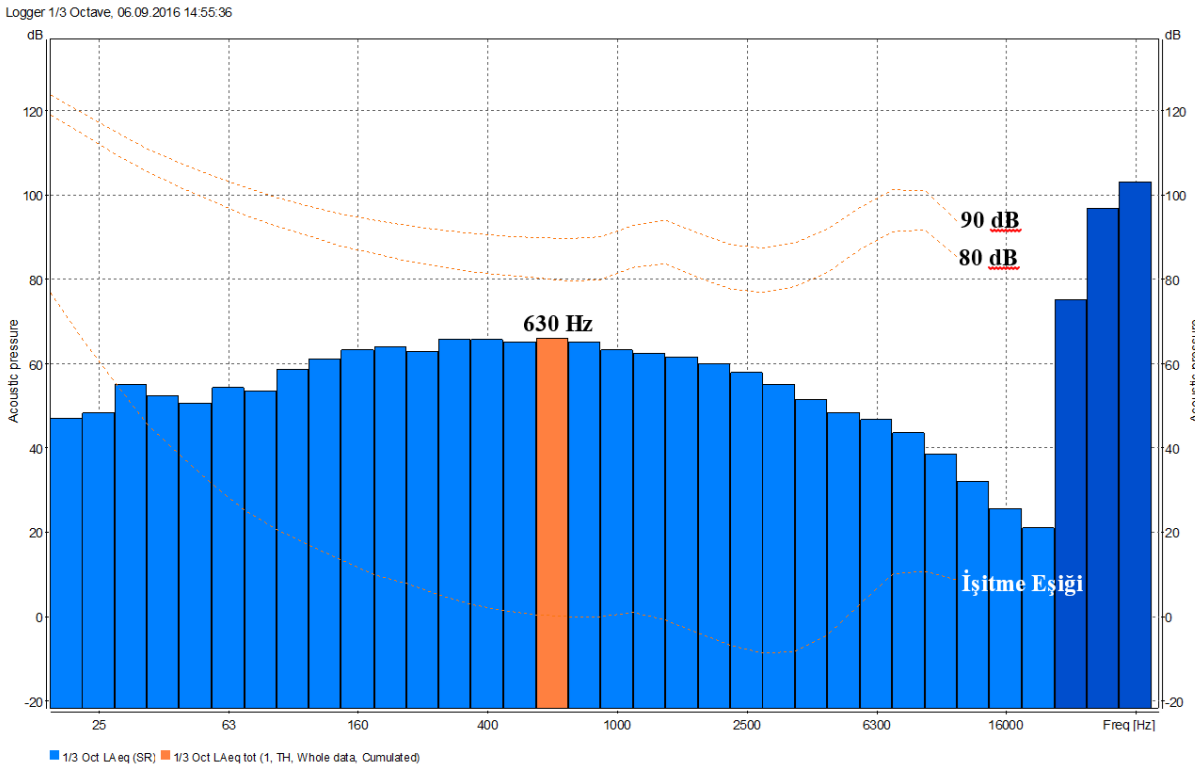
### Hafriyat Kamyonları (Dumpers)

Ölçümü yapılan tüm iş makineleri bir paket program aracılığıyla analiz edilmiş (Svantek, 2017) ve çalışma sonuçları Çizelge 2 ve Çizelge 3'te ayrıntılı biçimde verilmiştir. Çalışma kapsamında 20 adet hafriyat kamyonundan gürültü ölçümü alınmış,  $\frac{1}{3}$  oktav bant aralığında frekans-gürültü analizi

yapılarak her frekans bandında operatörün maruz kaldığı gürültü düzeyi çıkarılmıştır. Grafikler üzerine eş gürültü (phon) eğrileri de işlenerek, operatör duyulanması çıkarılmıştır. 10 numaralı hafriyat kamyonu (No\_10) örnek olarak verilmiştir. Burada, frekans-gürültü analizi yapılan bu aracın en büyük gürültü düzeyi 630 Hz'de gerçekleşmiş olup frekans-eşdeğer gürültü ilişkisi Şekil 2'de verilmiştir. Operatör, çok düşük frekanslar olan 20 Hz ve 25 Hz'deki gürültü düzeyleri işitme eşliğinin altında olduğu için bu frekanslardaki sesleri duyamamaktadır. Operatör, en düşük maruziyet eylem değeri olan 80 dBA'dan daha düşük gürültüye maruz kalmıştır. Ayrıca orta frekans aralığındaki gürültü düzeylerinde fazla değişkenlik bulunmamaktadır. Aynı hafriyat kamyonu için 630 Hz'deki gürültü-zaman kütüğü Şekil 3 üzerinden incelenebilir. Buna göre operatör, ölçüm süresinin %10'unda 77,5 dBA ve %90'ında ise 65,5 dBA üzerinde gürültüye maruz kalmıştır. Operatör en yüksek gürültüye kasa boşaltma evresinde (74 dBA), en düşük gürültüye ise yüklenme evresinde (61 dBA) maruz kalmıştır. Dolayısıyla kamyonun bir döngüsündeki evreler arasındaki gürültü şiddetinde farklılık bulunmaktadır.

Hafriyat kamyonlarının işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkilerinde büyük değişkenlik bulunmamaktadır. Ancak, kireçtaşı işletmesinde çalışan hafriyat kamyonlarının operatörleri yol zeminlerinin görece düzgün olmasından dolayı diğer işletmelerde çalışan operatörlere göre daha düşük gürültü seviyesine maruz kalmışlardır (Çizelge 2). Buna göre;

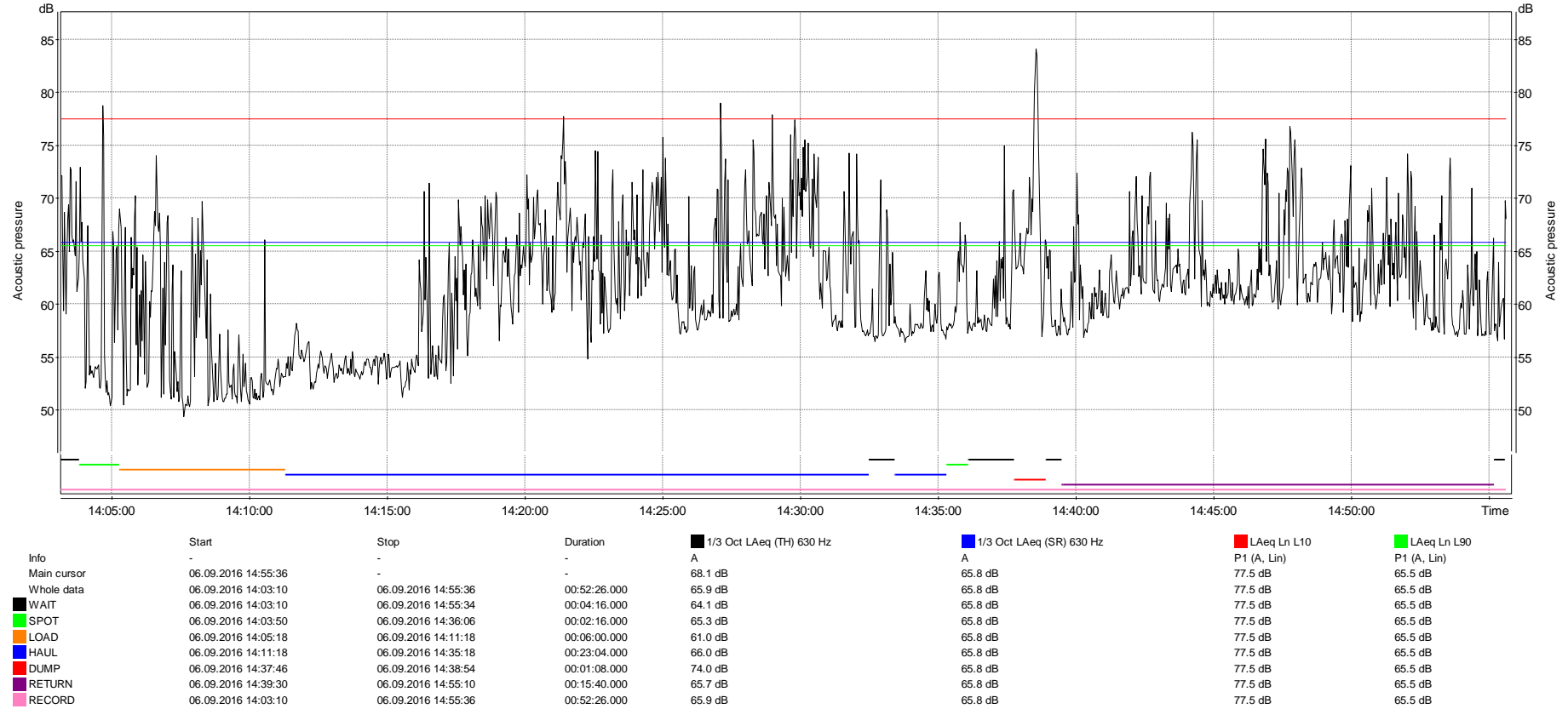
- Düşük frekans aralığındaki gürültü 41,8 dBA – 65,8 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 55,6 dBA – 67,2 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 18,8 dBA – 58,1 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi orta, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi demir işletmesinde 400 Hz, diğer işletmelerde ise 630 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz'de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-sh}$ ) 70,7 dBA ile 81,5 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 75,6 dBA olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 2. Hafriyat kamyonu No\_10 için frekans-ses basıncı düzeyi ilişkisi

Figure 2. Frequency-sound pressure relation for dumper No\_10

Logger results, logger step = 2 s



**Şekil 3.** 630 Hz’de hafriyat kamyonu No\_10 için maksimum gürültü-zaman kütüğü

*Figure 3.* Maximum noise-time log for dumper No\_10 for 630 Hz

### Paletli Dozerler (Crawled Dozers)

Çalışma kapsamında 6 adet paletli dozerden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Paletli dozerlerin işletmelerdeki farklı çalışma koşulları altındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılık vardır. Organik toprağın kürenerek, tesviye edildiği yol inşaat çalışmasında operatörün maruz kaldığı gürültü düzeyi, diğerlerine göre düşüktür. Zemin koşulları ve çalışılan malzemenin gürültü düzeyini etkilediği görülmektedir (Tablo 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 33,2 dBA – 83,5 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 63,3 dBA – 83,4 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 24,7 dBA – 71,1 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi çoğunlukla düşük, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi kömür işletmesinde 500 Hz, yol inşaatı ve altın işletmesinde 160 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz’de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-8h}$ ) 80,1 dBA ile 92,1 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyininin 86,0 dBA olduğu hesaplanmıştır.

### Lastik Tekerlekli Yükleyiciler (Wheeled Loaders)

Çalışma kapsamında 4 adet lastik tekerlekli yükleyiciden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Lastik tekerlekli yükleyicilerin işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılık bulunmaktadır. Buna göre çalışılan malzemenin türü gürültü düzeyini etkilemektedir (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 37,8 dBA – 72,6 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 55,5 dBA – 66,0 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 24,5 dBA – 57,1 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi düşük frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi kum ocağında 250 Hz, altın işletmesinde 100 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz’de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-8h}$ ) 72,5 dBA ile 80,3 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyininin 75,9 dBA olduğu hesaplanmıştır.

### Greyderler (Graders)

Çalışma kapsamında 4 greyderden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Greyderlerin işletmelerdeki farklı çalışma koşulları altındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılık vardır. Açık altın işletmesinde sert zeminli harman sahasında çalışan greyderlerin gürültü düzeyi yüksek çıkarken yol inşaat çalışmasında düşük seviyededir. Zemin koşullarının gürültü düzeyini etkilediği görülmektedir (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 35,9 dBA – 72,9 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 59,4 dBA – 73,4 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 30,9 dBA – 64,3 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi orta frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi yol inşaatında 800 Hz, altın işletmesinde 315 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz’de gerçekleşmiştir.



- d) Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-8h}$ ) 73,4 dBA ile 87,2 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 80,0 dBA olduğu hesaplanmıştır.

#### **Lastik Tekerlekli Titreşimli Silindirler (Wheeled Rollers)**

Çalışma kapsamında 3 adet titreşimli silindirden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Lastik tekerlekli titreşimli silindirlerin işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılıklar bulunmaktadır. Zemin koşullarının gürültü düzeyini etkilediği görülmektedir (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 45,3 dBA – 72,0 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 56,7 dBA – 81,5 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 19,2 dBA – 59,1 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi orta frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi yol inşaatında 800 Hz, altın işletmesinde 400 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz'de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-8h}$ ) 75,8 dBA ile 83,6 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 78,8 dBA olduğu hesaplanmıştır.

#### **Deliciler (Drills)**

Çalışma kapsamında 3 adet deliciden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Delicilerin işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkilerinde farklılık vardır. Açık demir işletmesinde çalışan operatörler daha yüksek düzeyli gürültüye maruz kalmıştır (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 27,9 dBA – 77,9 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 61,5 dBA – 79,9 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 27,9 dBA – 62,0 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi orta frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi demir işletmesinde 500 Hz altın işletmesinde 315 Hz iken minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz'de gerçekleşmiştir.
- Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-8h}$ ) 74,0 dBA ile 86,3 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 80,0 dBA olduğu hesaplanmıştır.

#### **Hidrolik Kırıcılar (Hydraulic Breakers)**

Çalışma kapsamında 3 adet hidrolik kırıcıdan gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Hidrolik kırıcıların işletme bazında farklı çalışma koşullarındaki frekans-gürültü ilişkileri farklılık göstermemektedir (Çizelge 2). Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü 47,0 dBA – 73,8 dBA, orta frekans aralığındaki gürültü 66,4 dBA – 73,8 dBA ve yüksek frekans aralığındaki gürültü 27,9 dBA – 67,3 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi düşük ve orta frekans, minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına denk gelmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi kireçtaşı işletmesinde 1000 Hz altın işletmesinde 315 Hz iken, minimum gürültü düzeyleri ise tüm işletmelerde 20000 Hz'de gerçekleşmiştir.

- d) Operatörün vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-SH}$ ) 81,3 dBA ile 83,7 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 82,7 dBA olduğu hesaplanmıştır.

#### **Döner Kepçeli Ekskavatörler ve Bant Aktarma Araçları (Bucket Wheel Excavators and Tripper Cars)**

Çalışma kapsamında DKE ve bant aktarma araçlarından üçer adet gürültü ölçümü kaydedilmiştir. DKE'ler ve bant aktarma araçları yalnızca açık kömür işletmesinde kullanıldıklarından karşılaştırma olanağı bulunmamaktadır. DKE'lerin ve bant aktarma araçlarının frekans-gürültü ilişkisi Çizelge 2'de verilmiştir. Buna göre;

- Düşük frekans aralığındaki gürültü DKE'ler için 38,2 dBA – 61,9 dBA, bant aktarma araçları için 40,0 dBA – 59,5 dBA arasında değişmektedir.
- Orta frekans aralığındaki gürültü DKE'ler için 62,2 dBA – 70,1 dBA, bant aktarma araçları için 61,2 dBA – 71,8 dBA arasında değişmektedir.
- Yüksek frekans aralığındaki gürültü DKE'ler için 24,1 dBA – 62,4 dBA, bant aktarma araçları için 24,4 dBA – 60,8 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi DKE ve bant aktarma araçları için orta frekans (500 Hz), minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına (20000 Hz) denk gelmektedir.
- DKE operatörlerinin vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-SH}$ ) 73,1 dBA ile 79,9 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 77,1 dBA olduğu hesaplanmıştır.
- Bant aktarma operatörlerinin vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-SH}$ ) 75,4 dBA ile 80,4 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 78,0 dBA olduğu hesaplanmıştır. Dolayısıyla bant aktarma araç operatörleri DKE operatörlerine göre daha yüksek gürültüye maruz kalmaktadırlar.

#### **Dökücüler ile Kömür Yükleyici/Dökücüler (Spreaders and Coal Loaders/Coal Spreaders)**

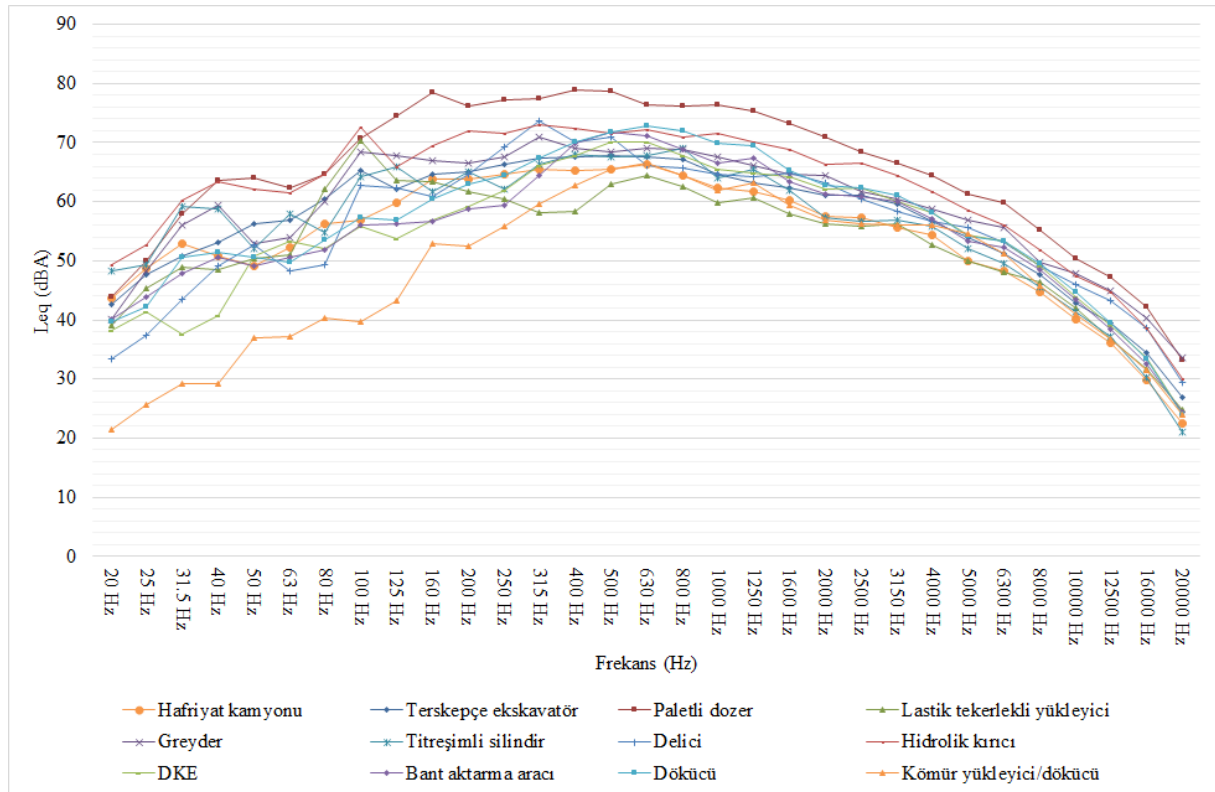
Çalışma kapsamında 3 adet dökücüden, 2 adet DKE tipi kömür yükleyici ile 1 adet kömür dökücüden gürültü ölçümü kaydedilmiştir. Dökücüler açık kömür işletmesinde harman sahasında, yükleyici/dökücüler kömür stok sahasında kullanılmaktadır. Ölçüm yapılan iş makinelerinin frekans-gürültü ilişkisi Çizelge 2'de verilmiştir. Buna göre;

- Düşük frekanslı gürültü dökücüler için 39,6 dBA – 64,4 dBA, kömür yükleyici/dökücüler için 25,7 dBA – 55,7 dBA arasında değişmektedir.
- Orta frekans aralığındaki gürültü dökücüler için 62,8 dBA – 72,8 dBA, kömür yükleyici/dökücüler için 57,0 dBA – 66,5 dBA arasında değişmektedir.
- Yüksek frekans aralığındaki gürültü dökücüler için 24,0 dBA – 62,4 dBA, kömür yükleyici/dökücüler için 24,0 dBA – 56,2 dBA arasında değişmektedir.
- Maksimum gürültü düzeyi dökücüler ve kömür yükleyici/dökücüler için orta frekans (630 Hz), minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına (20000 Hz) denk gelmektedir.
- Dökücü operatörlerinin vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-SH}$ ) 78,0 dBA ile 81,0 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 79,7 dBA olduğu hesaplanmıştır.
- Kömür Yükleyici/Dökücü operatörlerinin vardiyada 7,5 saat gürültüye maruz kaldığı kabul edilerek günlük gürültü maruziyetinin ( $L_{EX-SH}$ ) 67,3 dBA ile 74,5 dBA arasında değiştiği ve ortalama gürültü düzeyinin 73,0 dBA olduğu hesaplanmıştır.

#### **TARTIŞMA (DISCUSSION)**

Çalışma kapsamında gürültü ölçümleri yapılan iş makinelerinin  $\frac{1}{3}$  oktav frekans-gürültü ilişkileri çıkarılmıştır. Tüm iş makinesi gruplarının frekans-gürültü ilişkisi Şekil 4'de verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Hafriyat kamyonu, hidrolik terskepçe ekskavatör, lastik tekerlekli titreşimli silindir, delici, greyder, hidrolik kırıcı, DKE, bant aktarma aracı, dökücü ile kömür yükleyici/dökücü operatörlerinin maruz kaldığı maksimum gürültü düzeyi büyük oranda orta frekanslı ses aralığına denk gelmektedir.
- Paletli dozer ve lastik tekerlekli yükleyici operatörlerinin maruz kaldığı maksimum gürültü düzeyi büyük oranda düşük frekanslı ses aralığına denk gelmektedir. Bu iş makinesi operatörlerinin yorgunluk hissi ve yoğunlaşma bozukluklarına yakalanma olasılığının diğer iş makinelerine göre daha yüksek olduğu düşünülmektedir.
- Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin düşük frekans aralığındaki gürültü düzeyleri artma eğiliminde iken orta ve yüksek frekans aralığındaki gürültü düzeyleri azalma eğilimindedir.
- Tüm iş makineleri geniş frekans aralığında gürültü oluşturmaktadır.
- Tüm iş makinelerinin operatör kabini içinde kaydedilen eşdeğer ses basıncı değerlerine göre paletli dozer en yüksek, kömür yükleyici/dökücüleri ise en düşük gürültü maruziyetine neden olmuştur.
- Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinde minimum gürültü düzeyi yüksek frekans aralığına (20000 Hz) denk gelmektedir.
- Ölçüm yapılan iş makinesi gruplarında çalışan operatörlerin maruz kaldığı etkin gürültü düzeyi aralıkları odyogram işitme testi analizlerinin yapıldığı frekans aralıklarına karşılık gelmektedir.
- Kulağın en hassas olduğu 1000 Hz – 4000 Hz frekans aralığındaki gürültü düzeyi azalma eğiliminde olup, ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin maksimum gürültü düzeyleri bu frekans aralığının dışındadır.



Şekil 4. Tüm maden makinesi gruplarının frekans-gürültü ilişkisi

Figure 4. Frequency-noise relation of all mining machinery groups

## SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma kapsamında Sivas ve komşu illerde yer alan altı maden işletmesinde kullanılan farklı tip ve modelde 67 adet iş makinesinden gürültü ölçümleri alınmıştır. Ölçümler, bir analiz paket programı kullanılarak iş makinelerinin çalışma evrelerine bölümlendirilerek değerlendirilmiştir. İş makinelerinin frekans-gürültü ilişkileri analiz edilerek maksimum gürültü düzeyinin olduğu frekans bandı belirlenmiştir (Çizelge 3). Verilerin değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin maksimum gürültü düzeyleri düşük ve orta frekans aralıklarında, minimum gürültü düzeyleri yüksek frekans aralıklarına denk gelmektedir. Dolayısıyla iş makinesi operatörleri yüksek frekans aralığından çok, düşük ve orta frekans aralıklarında daha yüksek gürültü düzeylerine maruz kalmaktadırlar.
- Ses düzeyinin zamanla değişimine göre sınıflandırma yapıldığında ölçüm yapılan tüm iş makineleri kararsız gürültü üretmektedir.
- Ölçüm yapılan tüm iş makinelerinin çalışma koşulları ağırlaştıkça maksimum gürültü düzeyleri düşük frekans aralığına doğru kaymaktadır. Bu da iş makinesi operatörlerinin hem gürültü ve hem de titreşime daha çok maruz kaldıkları anlamına gelmektedir.
- İş makinelerinin çalışma koşulları iyileştikçe maksimum gürültü düzeyleri orta frekans aralığına doğru kaymaktadır. Bu da iş makinesi operatörlerinin daha az gürültüye ve titreşime maruz kalmalarını sağlayacaktır.
- İş makinelerinde çalışan operatörler için kulaklık seçiminde gürültünün frekansı da dikkate alınmalıdır.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (CÜBAP) tarafından M-574 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alves, J.A., Silva, L.T., Remoaldo, P.C., 2015, "The Influence of Low-frequency Noise Pollution on the Quality of Life and Place in Sustainable Cities: A Case Study from Northern Portugal", *Sustainability*, Vol. 7(10), pp. 13920-13946.
- Badur, T., 1997, *Gaziantep Kent Merkezinin Gürültü Haritası ve Gürültünün İşitsel Etkileri Üzerine Bir Çalışma*, Uzmanlık Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Bilgili, S., Gürtepe, E., Türkel, E., Altınoluk, H.M., Hüsmen, N., Bütün, A., Ertorun, H., 2011, *Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Hava Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- BRD, *Technical Discussion*, BRD Noise and Vibration Control, Inc., <https://hushcore.net/wp-content/uploads/2016/09/General-Info.pdf>, ziyaret tarihi: 21 Temmuz 2017.
- Brüel and Kjaer, 1978, *Architectural Acoustics*, Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum, Denmark.
- Brüel and Kjaer, 2001, *Environmental Noise*, Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, Nærum, Denmark.
- Chen, L., Brueck, S.E., 2011, *Noise and Lead Exposures at an Outdoor Firing Range – California*, Health Hazard Evaluation Report, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, HETA 2011-0069-3140, Cincinnati, Ohio, A.B.D.
- Driscoll, D. E., 2009, *Noise – Measurement and its Effects*, BP International Ltd, London, England, 2009.
- Eleftheriou, P.C., 2002, "Industrial Noise and its Effects on Human Hearing", *Applied Acoustics*, Vol. 63(1), pp. 35-42.
- Ertürk, B., "Hidrolik Gürültü ve Azaltma Yöntemleri", II. Ulusal Hidrolik Ve Pnömatik Kongresi ve Sergisi, İzmir, Türkiye, 213-236, 8-11 Kasım 2001.

- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1994, *Gürültü*, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No. 19, TC Sağlık Bakanlığı Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü, TC Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, ISBN 975-7572-44-6, Ankara.
- Healthy Hearing, *Studies Show Men are Affected by Hearing Loss more than Women*, <http://www.healthyhearing.com/report/50553>, ziyaret tarihi: 31 Temmuz 2017.
- Hu, Y., Tahmina, Q., Runge, C., Friedland, D. R., 2013, "The Perception of Telephone-Processed Speech by Combined Electric and Acoustic Stimulation", *Trends in Amplification*, Vol. 17(3), pp. 189-196.
- Hyrkäs, S., 2010, *Comparison of Wideband Earpiece Integrations in Mobile Phone*, Master of Science Thesis, Aalto University, School of Science and Technology, Espo, Finland.
- ISO, 2003, *Acoustics – Normal Equal Loudness Level Contours*, International Organization for Standardization, 2<sup>nd</sup> edition ISO 226:2003(E), Geneva, Switzerland.
- Kosała, K., Bartłomiej, S., 2016, "Analysis of Noise Pollution in an Andesite Quarry with the Use of Simulation Studies and Evaluation Indices", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 22(1), pp. 92-101.
- Leventhall, G., 2003, *A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects*, Contract Report, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra Publications, London.
- May, J.J., 2000, "Occupational Hearing Loss", *American Journal of Industrial Medicine*, Vol. 37, pp. 112-120.
- OSHA, 2017, *OSHA Technical Manual TED 01-00-015: Noise*, Occupational Safety and Health Administration, Washington, D.C., A.B.D.
- Perala, C.H., 2006, *Active Noise Reduction Headphone Measurement: Comparison of Physical and Psychophysical Protocols and Effects of Microphone Placement*, Doctorate Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Industrial and Systems Engineering, A.B.D.
- Reeves, E.R., Randolph, R.F., Yantek, D.S., Peterson, J.S., 2009, *Noise Control in Underground Metal Mining*, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Information Circular IC 9518, Pittsburgh, A.B.D.
- Reinhold, K., Kalle, S., Paju, J., 2014, "Exposure to High or Low Frequency Noise at Workplaces: Differences between Assessment, Health Complaints and Implementation of Adequate Personal Protective Equipment", *Agronomy Research*, Vol. 12(3), pp. 895-906.
- Sharland, I., 1972, *Fläkt Woods Practical Guide to Noise Control*, Fläkt Woods Ltd., Colchester, England.
- Starck, J., Toppila, E., Laitinen, H., Suvorov, G., Haritonov, V., Grishina, T., 2002, "The Attenuation of Hearing Protectors Against High-Level Industrial Impulse Noise: Comparison of Predicted and in situ Results", *Applied Acoustics*, Vol. 63, pp. 1-8.
- Svantek, 2017, *SvanPC++ Software User's Manual*, SVANTEK SP. Z O.O., Warsaw, Poland.
- Testroete, E., *Technical Training: Section 1 - Fundamentals of Noise, Vibration and Harshness*, Course 472, <http://www.testroete.com/car/Toyota/mr2%20spyder/References/Technical%20Training/04%20-%20Noise,%20Vibration%20and%20Harness/02.pdf>, ziyaret tarihi: 04 Ağustos 2017.
- Waye, K.P., 2004, "Effects of Low Frequency Noise on Sleep", *Noise & Health*, Vol. 6(23), pp. 87-91.

Çizelge 2. Maden makinelerinin frekans-eşdeğer gürültü düzeyi ilişkisi

Table 2. Frequency-equivalent noise level of mining machinery

		Hafriyat kamyonu				Hidrolik terskeççe ekskavatör				Paletli dozer			Lastik tekerlekli yükleyici	
İşletmeler →		①	②	③	④	①	②	③	④	④	⑤	⑥	①	④
Frekans (Hz) ↓		Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)
Düşük frekans aralığı	20	43,9	41,8	45,7	44,7	40,4	40,4	46,9	42,9	46,0	46,0	33,2	42,6	37,8
	25	50,1	50,6	46,5	47,5	46,2	45,9	49,2	48,0	52,8	51,4	38,1	47,6	44,5
	31,5	52,4	52,7	52,7	53,4	48,8	51,1	54,7	50,6	61,1	58,1	48,0	49,4	48,6
	40	54,4	49,9	51,1	51,4	51,6	55,0	48,4	53,3	62,9	65,4	61,7	51,4	47,4
	50	54,5	48,3	49,8	48,9	53,1	58,4	49,1	57,1	68,1	61,5	56,5	48,5	51,0
	63	55,5	50,9	53,5	53,0	55,5	60,0	54,7	56,4	68,7	57,8	52,1	45,7	52,7
	80	56,7	55,5	51,7	59,5	51,9	64,3	60,3	60,5	68,9	62,3	56,2	59,9	62,9
	100	56,2	54,7	56,3	59,6	58,6	64,3	65,4	66,5	76,4	65,2	64,9	63,2	72,6
	125	57,3	59,3	59,0	61,1	59,4	63,2	61,9	62,2	77,1	71,2	73,5	63,9	63,4
	160	60,9	63,3	61,6	66,0	56,3	68,4	64,8	64,8	83,5	72,1	75,5	66,9	62,3
Orta frekans aralığı	200	61,7	65,3	61,6	63,8	59,5	69,5	63,3	64,9	80,5	74,1	67,3	64,3	60,8
	250	61,8	65,8	61,2	65,7	63,3	68,4	63,0	66,6	81,4	75,4	68,8	69,4	57,6
	315	61,0	67,2	63,2	65,2	72,8	68,8	64,2	66,8	82,5	75,6	65,8	66,0	55,5
	400	59,5	67,6	63,6	64,2	73,4	68,6	64,4	66,9	83,4	77,3	69,0	64,7	56,4
	500	63,5	66,4	62,9	66,3	69,8	71,1	65,5	67,2	82,0	78,7	68,1	65,9	62,0
	630	64,7	65,9	63,9	68,4	69,9	67,6	65,2	67,6	79,4	77,0	65,8	65,3	64,1
	800	59,1	63,8	62,8	66,7	70,0	65,1	62,4	67,9	78,3	78,4	64,9	61,4	62,9
	1000	58,9	62,4	61,1	63,4	67,8	65,0	58,7	64,9	80,1	77,3	63,6	61,2	59,5
	1250	62,1	61,5	60,4	62,7	69,1	63,7	57,5	63,0	79,3	75,4	63,8	60,8	60,5
Yüksek frekans aralığı	1600	60,4	59,8	58,7	61,3	65,8	64,0	57,4	62,3	76,4	72,0	66,2	59,4	57,6
	2000	58,9	58,2	55,6	57,4	64,3	62,8	56,5	60,7	74,3	69,7	63,3	56,0	56,2
	2500	58,1	58,1	56,1	56,9	63,1	62,0	55,9	61,1	71,1	67,7	62,1	54,1	56,5
	3150	57,3	57,0	52,6	55,8	60,8	60,9	54,2	59,9	68,2	66,6	62,0	53,9	57,1
	4000	53,1	55,2	48,8	56,5	59,8	58,5	51,0	56,4	66,9	63,8	58,8	52,6	52,8
	5000	49,8	51,4	46,3	50,5	58,0	55,7	47,8	53,7	63,5	61,2	55,3	49,9	50,0
	6300	47,9	49,2	44,1	49,5	54,8	53,0	45,6	51,2	62,0	60,4	51,9	48,8	48,0
	8000	43,3	46,6	40,5	45,5	51,9	49,7	41,8	47,4	58,5	53,7	48,5	48,4	45,7
	10000	39,0	43,2	35,9	39,3	47,7	45,5	36,9	42,3	52,5	50,7	43,3	42,5	41,8
	12500	35,9	38,5	30,4	36,6	46,5	42,1	33,6	38,7	49,2	48,4	38,6	37,3	36,5
16000	27,9	31,0	24,3	32,0	39,3	35,6	29,0	34,2	44,6	43,4	32,9	32,9	31,4	
20000	20,6	24,4	18,8	22,8	31,5	28,4	21,3	26,8	35,5	34,3	24,7	25,6	24,5	

① Kum ocağı

② Açık demir işletmesi

③ Açık kireçtaşı işletmesi

④ Açık altın işletmesi

⑤ Açık kömür işletmesi

⑥ Yol inşaatı

Çizelge 2. Maden makinelerinin frekans-eşdeğer gürültü düzeyi ilişkisi (devam ediyor)

Table 2. Frequency-equivalent noise level of mining machinery

		Greyder	Titreşimli silindir		Delici		Hidrolik kırıncı		DKE	Aktarıncı	Dökücü	Yükleyici/dökücü	
İşletmeler →		④	⑥	④	⑥	②	④	③	④	⑤	⑤	⑤	
Frekans (Hz) ↓		Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	
Düşük frekans aralığı	20	41,5	35,9	46,6	51,8	27,9	36,2	54,2	47,0	38,2	40,0	39,6	26,6
	25	50,9	40,2	50,9	46,6	35,3	38,6	57,3	50,4	41,5	43,9	42,2	25,7
	31,5	58,1	49,9	66,2	45,3	41,0	44,7	59,0	60,9	37,6	47,9	50,7	29,3
	40	61,3	53,9	52,1	72,0	47,2	50,2	61,4	64,4	40,8	50,6	51,4	29,3
	50	54,4	48,5	46,3	63,3	55,7	51,1	59,8	63,4	50,9	49,0	50,6	36,9
	63	56,4	47,0	55,6	62,9	51,7	46,7	56,8	63,8	53,3	50,5	49,8	37,2
	80	64,5	46,4	54,0	56,1	53,0	47,6	64,8	64,6	52,1	51,9	53,6	40,2
	100	72,9	55,0	63,3	66,1	75,3	56,6	70,3	73,8	55,8	56,0	57,4	39,8
	125	71,2	57,5	66,3	65,3	75,4	55,8	63,8	67,0	53,7	56,2	56,9	43,2
	160	71,4	54,1	62,0	61,1	66,3	58,2	69,6	69,5	56,8	56,6	60,4	52,9
	200	69,2	58,7	64,8	65,9	74,3	59,8	69,6	73,3	59,2	58,8	62,9	52,5
250	70,7	57,9	64,0	58,6	77,9	64,9	69,9	72,5	61,9	59,5	64,4	55,7	
Orta frekans aralığı	315	<b>73,4</b>	63,2	67,4	64,5	78,9	<b>71,1</b>	71,3	<b>73,8</b>	66,1	64,5	67,3	59,7
	400	71,3	62,2	<b>69,0</b>	65,8	78,5	65,8	71,1	73,1	67,9	69,8	70,1	62,7
	500	69,5	65,3	64,2	74,2	<b>79,9</b>	66,5	70,0	72,4	<b>70,1</b>	<b>71,8</b>	71,7	65,6
	630	70,3	65,1	67,0	69,3	69,6	64,5	69,5	73,7	70,0	71,1	<b>72,8</b>	<b>66,5</b>
	800	69,9	<b>65,6</b>	63,0	<b>81,5</b>	70,4	63,5	70,9	71,1	67,8	68,9	72,0	64,3
	1000	68,8	63,7	60,2	71,6	71,1	61,5	<b>71,7</b>	71,5	65,5	66,6	69,8	61,8
	1250	67,1	63,1	62,3	71,7	69,0	61,9	70,0	70,1	64,8	67,3	69,4	63,1
	1600	66,4	59,4	60,0	65,8	66,4	64,1	68,9	68,9	64,1	63,4	65,4	59,4
2000	65,4	61,3	56,7	58,7	65,2	62,1	66,4	66,4	62,2	61,2	62,8	57,0	
Yüksek frekans aralığı	2500	64,3	54,4	56,9	56,0	62,0	59,7	64,9	67,3	62,4	60,8	62,4	56,2
	3150	63,2	52,5	55,7	59,1	60,8	57,2	63,4	64,8	60,1	60,1	61,2	56,0
	4000	60,8	52,4	55,9	55,8	59,8	55,2	60,8	62,1	58,2	57,1	58,1	56,0
	5000	59,7	48,1	52,5	51,5	58,4	54,2	57,8	58,9	54,3	53,4	54,2	54,5
	6300	59,3	44,8	49,2	50,3	55,7	51,9	54,9	56,7	53,4	52,2	53,4	51,1
	8000	52,5	41,7	45,5	45,9	51,6	47,9	50,9	52,5	49,1	48,4	49,5	45,8
	10000	50,8	38,9	41,0	42,3	47,4	45,3	46,6	47,9	44,0	43,4	44,7	40,9
	12500	47,6	37,2	36,2	39,4	42,9	43,6	42,3	46,1	39,1	38,4	39,5	36,8
	16000	41,9	35,8	30,5	29,6	36,0	40,0	36,3	39,8	33,6	32,5	33,5	31,5
	20000	<b>34,6</b>	<b>30,9</b>	<b>21,9</b>	<b>19,2</b>	<b>27,9</b>	<b>30,1</b>	<b>27,9</b>	<b>31,0</b>	<b>24,1</b>	<b>24,4</b>	<b>24,0</b>	<b>24,0</b>

Çizelge 3. Maden makinesi gruplarının frekans-eşdeğer gürültü düzeyi ilişkisi

Table 3. Frequency-equivalent noise level of mining machinery groups

İş makineleri		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
Frekans (Hz)		Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)	Leq (dBA)
Düşük frekans aralığı	20	43,7	42,6	43,8	39,0	40,1	48,3	33,4	49,4	38,2	40,0	39,6	26,6
	25	48,7	47,6	49,9	45,3	48,2	49,4	37,5	52,7	41,5	43,9	42,2	25,7
	31,5	52,9	50,9	57,9	48,8	56,1	59,2	43,5	60,2	37,6	47,9	50,7	29,3
	40	50,9	53,0	63,5	48,4	59,5	58,7	49,2	63,4	40,8	50,6	51,4	29,3
	50	49,1	56,3	64,0	50,4	52,9	52,0	52,6	62,2	50,9	49,0	50,6	36,9
	63	52,4	56,8	62,3	51,0	54,0	58,0	48,3	61,4	53,3	50,5	49,8	37,2
	80	56,2	60,4	64,6	62,2	60,0	54,7	49,4	64,6	52,1	51,9	53,6	40,2
	100	56,8	65,4	70,8	<b>70,3</b>	68,4	64,2	62,8	72,6	55,8	56,0	57,4	39,8
	125	59,8	62,1	74,6	63,5	67,8	65,9	62,3	65,9	53,7	56,2	56,9	43,2
	160	63,8	64,7	78,4	63,5	67,1	61,7	60,9	69,5	56,8	56,6	60,4	52,9
	200	63,8	65,1	76,2	61,7	66,6	65,1	64,6	72,1	59,2	58,8	62,9	52,5
250	64,7	66,3	77,3	60,6	67,5	62,2	69,2	71,6	61,9	59,5	64,4	55,7	
Orta frekans aralığı	315	65,4	67,4	77,4	58,2	<b>70,9</b>	66,4	<b>73,7</b>	<b>73,0</b>	66,1	64,5	67,3	59,7
	400	65,2	67,5	<b>79,0</b>	58,5	69,0	67,9	70,0	72,4	67,9	69,8	70,1	62,7
	500	65,5	<b>67,9</b>	78,6	63,0	68,5	67,5	71,0	71,6	<b>70,1</b>	<b>71,8</b>	71,7	65,6
	630	<b>66,3</b>	67,6	76,3	64,4	69,0	67,7	66,2	72,3	70,0	71,1	<b>72,8</b>	<b>66,5</b>
	800	64,4	67,1	76,1	62,5	68,8	<b>69,1</b>	65,8	71,0	67,8	68,9	72,0	64,3
	1000	62,3	64,6	76,4	59,9	67,5	64,0	64,7	71,5	65,5	66,6	69,8	61,8
	1250	61,7	63,2	75,4	60,6	66,1	65,4	64,2	70,1	64,8	67,3	69,4	63,1
	1600	60,1	62,4	73,2	58,0	64,6	61,9	64,8	68,9	64,1	63,4	65,4	59,4
	2000	57,4	61,0	71,0	56,2	64,4	57,4	63,1	66,4	62,2	61,2	62,8	57,0
Yüksek frekans aralığı	2500	57,3	61,0	68,5	55,9	61,8	56,6	60,4	66,5	62,4	60,8	62,4	56,2
	3150	55,7	59,6	66,6	56,3	60,5	56,8	58,4	64,3	60,1	60,1	61,2	56,0
	4000	54,3	56,6	64,5	52,8	58,7	55,9	56,7	61,7	58,2	57,1	58,1	56,0
	5000	50,0	53,9	61,4	50,0	56,8	52,1	55,6	58,5	54,3	53,4	54,2	54,5
	6300	48,2	51,3	59,8	48,2	55,7	49,6	53,1	56,1	53,4	52,2	53,4	51,1
	8000	44,8	47,7	55,2	46,4	49,8	45,6	49,1	51,9	49,1	48,4	49,5	45,8
	10000	40,2	42,9	50,4	42,0	47,8	41,4	46,0	47,4	44,0	43,4	44,7	40,9
	12500	36,1	39,5	47,2	36,7	45,0	37,2	43,3	44,8	39,1	38,4	39,5	36,8
	16000	29,9	34,5	42,3	31,8	40,4	30,2	38,7	38,6	33,6	32,5	33,5	31,5
	20000	<b>22,6</b>	<b>27,0</b>	<b>33,3</b>	<b>24,8</b>	<b>33,7</b>	<b>21,0</b>	<b>29,3</b>	<b>30,0</b>	<b>24,1</b>	<b>24,4</b>	<b>24,0</b>	<b>24,0</b>

① Hafriyat kamyonu

② Hidrolik terskepçe ekskavatör

③ Paletli dozer

④ Lastik tekerlekli yükleyici

⑤ Greyder

⑥ Lastik tekerlekli titreşimli silindir

⑦ Delici

⑧ Hidrolik kırıcı

⑨ Döner kepçeli ekskavatör

⑩ Bant aktarma aracı

⑪ Dökücü

⑫ Kömür yükleyici/dökücü