

**MEKANİK KAZI MAKİNALARINDA KESME TİTREŞİMİ ANALİZİ**

Cutting Vibration Analysis for Mechanical Cutting Machines

Bülent TIRYAKI<sup>^</sup>  
Osman Z. HEKİMOĞLU\*\*\*\*

Anahtar Sözcükler : Kesme Titreşimi, Kesici Kafa Tasarımı, Kesici Tambur Tasarımı, Keski Dizilim Düzenlemesi, Tamburlu Kesici-Yükleyiciler, Galéri Açma Makinaları

**ÖZET**

Bu makalede, keski kullanarak kaya ve kömür kazısı yapan mekanik kazı makinalarındaki kesme titreşimi anlatılmaktadır. Kesme titreşimi ve titreşim analizi yöntemi ayrıntılı olarak verilmiştir. Kesme titreşimlerinin makina performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için Orta Anadolu Linyitleri (OAL) İşletmesi Bölge Müdürlüğü'ndeki tamburlu kesici-yükleyicilerle bir dizi yeraltı denemeleri yapılmıştır. Yine OAL'deki tamburlu kesici-yükleyicilerin kesme karakteristikleri bir bilgisayar programı ile incelenerek bunun sonuçları yeraltı denemelerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, OAL'deki tamburlu kesici-yükleyicilerde oluşan kesme titreşimlerinin en aza indirilmesi için kesici tambur tasarımının değiştirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

**ABSTRACT**

This paper describes the aspects of cutting vibration related to mechanically rock and coal cutting machines with drag picks. Definition of cutting vibration and the methodology for vibration analysis are explained in details. A series of practical trials were conducted on the coal shearers in OAL Mine to investigate the effects of cutting vibration on machine performance. Furthermore the vibration characteristics of the shearer drums employed in OAL Mine were analysed through a computer programme and the results were compared to those of the underground trials. The results showed that the shearer drum lacing pattern of the coal shearers currently operating in OAL Mine should be changed in order to minimize the cutting vibration.

<sup>^</sup> Dr., Maden Yüksek Müh. Hacettepe Üniversitesi Müh. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü Beytepe 06532 Ankara

<sup>(M)</sup> Prof. Dr., Hacettepe Üniversitesi Müh. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü Beytepe 06532 Ankara

## 1. GİRİŞ

Kesme titreşimi, mekanik kazı makinalarının verimliliğini ve faydalı çalışma ömrünü belirleyen önemli bir kesme parametresi olarak, kazı sırasında kesici kafa aracılığıyla kazı makinasına etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki yüksek dereceli değişimleri ifade etmektedir. Kazı sırasında oluşan titreşimin, mekanik kazı makinalarına bir çok ciddi zararlar verdiği bilinmektedir. Titreşimin galeri açma makinalarına (GAM) verdiği zararlar üç ana grupta toplanmaktadır (Hurt vd., 1988):

- a) Bağlantı elemanlarının işlevlerini yitirmeleri veya kopmaları, (uygun olmayan tasarım ve/veya işletim koşullarında çalışan tüm mekanik kazı makinalarında gözlenen bu temel sorun; makina elemanlarının kademeli olarak, aşınmalarına, parçalanmalarına ve kopmalarına neden olmaktadır).
- b) Titreşimin metal yorulmasını artırması nedeniyle, yapısal bileşenlerin ve kaynaklanmış elemanların yenilmesi,
- c) Çeşitli makaria parçalarının yatakları ile keçe ve bileziklerdeki deformasyonlar nedeniyle, dişli kurulan ve elektrik motorlarının erken yenilmesi.

Mekanik kazı makinalarındaki kesme titreşimi, büyük ölçüde makina-kaya arayüzeyini oluşturan kesici kafanın tasarımı ve kazı sırasındaki hareketine bağlıdır. Kesme titreşimi önceden tahmin edilebildiği gibi, ivmeölçer ve titreşimölçer gibi özel cihazlar kullanılarak doğrudan da ölçülebilmektedir. Titreşim ivmesinin, makina titreşimi nedeniyle oluşan ve makinaya zarar veren dinamik kuvvetlerle doğru orantılı olduğu bildirilmiştir (Maten, 1972).

GAM'larda titreşimi önleyebilmek için kesici kafa tasarımı bağlamında yapılması gereken en önemli işin, kazı sırasında her bir keskinin eşit miktarda yüke maruz kalmasını sağlayacak

keski dizilim düzenlemelerinin kullanılması olduğu öne sürülmektedir. Buna göre, kazı sırasında her bir keskinin yaptığı işi kabul edilebilir bir düzeyde eşitleyebilmek, aşağıda belirtilen bir kaç temel yarar getirmektedir (Hurt, 1980a):

- Keskinlerin simetrik açısal dağılımlarının sağlanması ile, kazı sırasında reaksiyon kuvvetleri ve torkta oluşan değişim miktarları en aza indirilebilmektedir. Herhangi bir keskiye veya keskitutucuya orantısız aşın miktarlardaki kuvvetlerin etkimesi önlenmektedir.
- Keskitutucuların ortam kayası ile teması sorunu oluşmaksızın, en yüksek potansiyel ilerleme hızına erişilebilmektedir.
- Her bir keski, kendisinden önce kesme yapan keskinden yardım alacak şekilde düzenlendiğinde, her bir keskiye etkiyecek kesme kuvvetleri de en aza indirilebilmektedir.

İdeal olarak titreşimsiz kesme yapabilmek için, kesici kafa üzerindeki keskilere etkiyen kesme kuvvetlerinin ve torkun eşit olarak dağıtılması gerekmekte ve bu da keskinler arasındaki çevresel uzaklık kavramının uygun olarak seçilmesini gerektirmektedir (Hekimoğlu, 1991a). Bir kesici kafa üzerindeki keskinler arasında uygun konumda bir çevresel uzaklık değeri kullanılmadığında ve her bir keskiye etkiyen kesme kuvvetleri tüm kesici kafa çevresi boyunca eşit olarak dağıtılamadığında, aşağıdaki nedenlerle kesici kafa dengesi bozulmaktadır (Hekimoğlu ve Fowell, 1991):

- Verilen bir kesme sektöründe kesme yapan aktif keskinlerin sayısı, her bir açısal aralıkta eşit olmayacak, dolayısıyla keskinler kesme sektörüne, son keski kesme sektöründen çıktıktan sonra veya çıkmadan önce gireceklerdir. Bu durum, kesici kafaya etkiyen kesme kuvvetlerinin ani olarak düşmesine ve artmasına neden olacaktır. Keskinlerin bağlı kesme konumları ve

kesme derinlikleri değişecek, dolayısıyla, her bir keski tarafından süpürülen kaya kesit alanları ve keskilere etkiyen kesme kuvvetleri de farklı olacaktır.

## 2. KESİCİ KAFA VEYA KESİCİ TAMBURLARIN KESME TİTREŐİMİNDEKİ ROLÜ

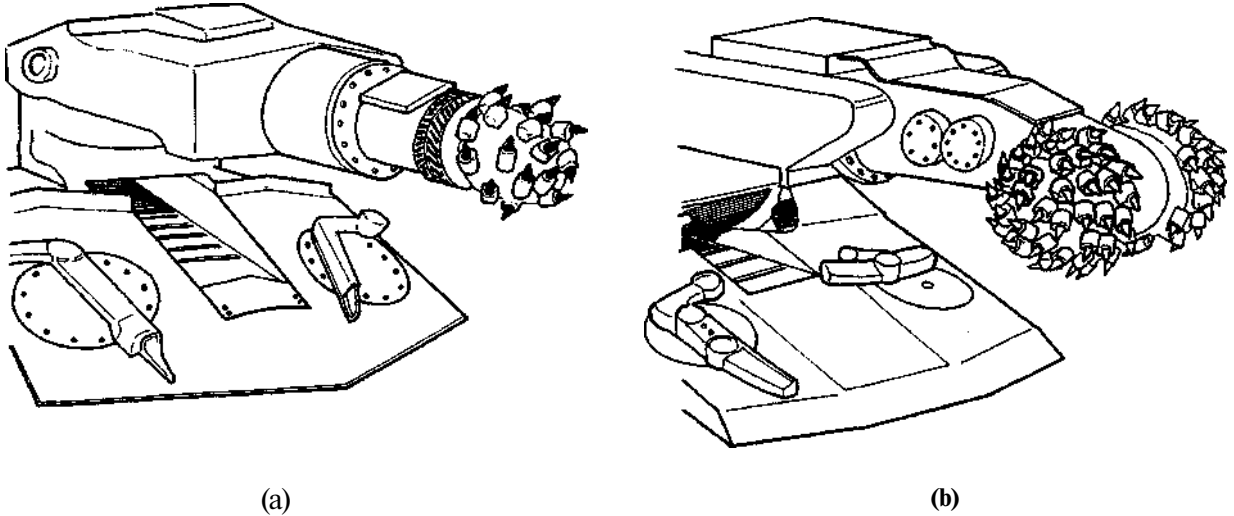
Mekanik kazı makinalarında oluşan titreşiminin büyük lde bu makinalar üzerindeki kesici kafalara etkiyen reaksiyon kuvvetlerindeki ve torktaki değişimlere bağlı olması nedeniyle, bu makinalarda kullanılan keskilerin kazı sırasındaki hareketlerinin kinematik ve dinamik özelliklerinin irdelenmesi gerekmektedir.

### 2.1. Kinematik zellikler

Kesici kafalar, dönme eksenlerinin, kendilerini taşıyan kolun (boom) eksenine göre olan konumları ile tanımlanmaktadır. Pratikte

dönme eksenini, taşıyıcı kol eksenine paralel (eksenel, axial, in-line, longitudinal, milling) ve dönme eksenini, taşıyıcı kol eksenine dik (apraz, transverse, drum-type) olmak üzere iki tip kesici kafa bulunmaktadır (Şekil 1). Kesici kafa üzerindeki bir keski, kesici kafa tipine ve kesici kafa hareketine bağlı olarak kazı sırasında, saykloidal (cycloidal) veya helisel (helical) olarak adlandırılan hareketlerden birini yapar. Eksenel tipli kesici kafalar ile, sağ-sol ve aşağı-yukarı doğrultularda yapılan kazılarda, kesici kafa üzerindeki bir keski sürekli olarak saykloidal hareket yapar (Şekil 2). Eksenel tipli kesici kafalar üzerindeki keskilerin, baskın olarak saykloidal hareket yaptıkları düşünülürse, bu kesici kafalar üzerindeki bir keskinin kesme derinliği ve bu keskiye etkiyen kesme kuvvetlerinin sürekli olarak değiştiği söylenebilir.

Çapraz tipli bir kesici kafa üzerindeki bir keski ise, kesici kafanın alışma Şekline bağlı olarak her iki hareketi de yapar (Şekil 3). Çapraz tipli

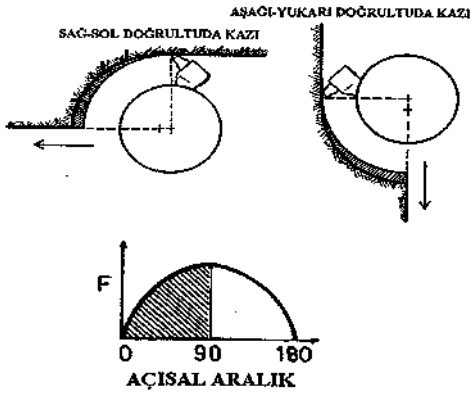


Şekil 1. İki farklı tip kesici kafaya sahip galeri açma makinası (Hekimoğlu, 1991a)

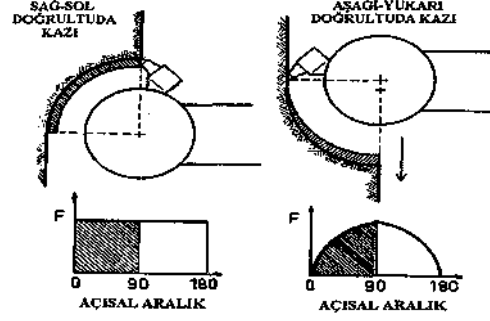
- a) Eksenel tipli
- b) apraz tipli

kesici kafalarda bir keskinin kesme hareketi, sağ ve sol doğrultularda yapılan kazıda helisel iken, aşağı ve yukarı doğrultularda yapılan kazılarda saykloidaldır. Dolayısıyla, çapraz tipli kesici kafa üzerindeki bir keskinin kesme derinliği ve bu keskiye etkiyen kesme kuvvetleri; sağ-sol doğrultularda yapılan kazıda sabitken, aşağı-yukarı doğrultularda yapılan kazıda sürekli olarak değişmektedir.

Kesici tamburlar ise, taşıyıcı kol eksenine dik dönme eksenlerine sahiptirler. Tamburlu kesici-yükleyiciler ve tambur tipli kollu kazı makinaları (continuous miners) üzerinde kullanılan kesici tamburlar, Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



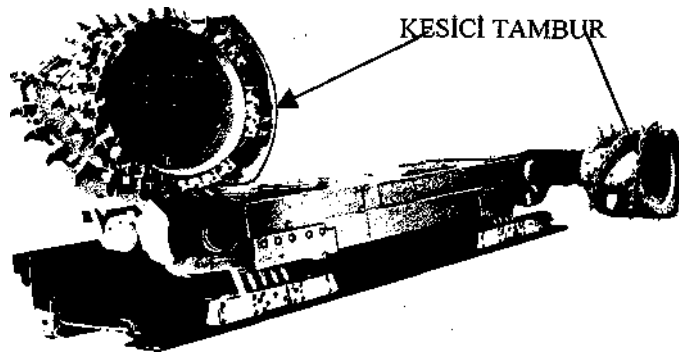
Şekil 2. Aksenal tipli kesici kafa üzerindeki bir keskinin hareketleri ve bu keskiye etkiyen kesme kuvvetlerinin değişim eğilimi (Hekimoğlu, 1991a)



Şekil 3. Çapraz tipli kesici kafa üzerindeki bir keskinin hareketleri ve bu keskiye etkiyen kesme kuvvetlerinin değişim eğilimi (Hekimoğlu, 1991a)

Kesici tambur üzerindeki bir keski, çapraz tipli GAM kesici kafası üzerindeki bir keskidenden farklı olarak, kazı sırasında sadece saykoidal hareket yapar. Dolayısıyla, kazı sırasında sabit kesme hızında, her bir keski kömüre teğetsel olarak girer ve en yüksek bir kesme derinliğine ulaşana kadar kesme derinliğini artırarak kesme yapar. Kesme sektörünün 90° değerinde en yüksek kesme derinliğine ulaşıldıktan sonra, kesici tambur dönmeye devam ettikçe keskinin kesme derinlikleri, kömürü teğetsel olarak terk ettikleri duruma kadar azalır (Şekil 6).

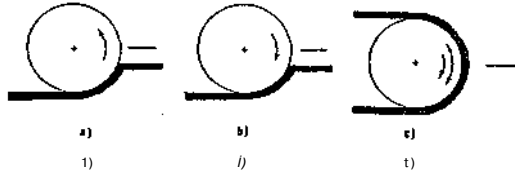
Kesici tambur üzerindeki bir keskiye etkiyen kesme kuvvetleri, kesme derinliğinin bu şekildeki değişimi nedeniyle sıfırdan en yüksek bir değere kadar artar ve tekrar sıfıra doğru azalır (Şekil 2).



Şekil 4. Çift tamburlu kesici-yükleyici



sırasında her bir keski, kesme sektörüne teğetsel olarak girer ve kesme sektöründen, kesme sektörü içinde ulaşabileceği en yüksek kesme derinliğinde çıkar. Dolayısıyla, yukarı kesme şeklinde her bir keskiye etkiyen kesme kuvvetleri kademeli bir artış gösterirler. Aşağı kesme (down-cut milling) kesme şeklinde kesici kafa, çapından daha küçük bir derinlikte kesme sektörüne girer (Şekil 7 b). Kesici kafanın aşağı kesme şeklinde çalışması sırasında her bir keski, kesme sektörüne, kesme sektörü içinde ulaşabileceği en yüksek kesme derinliğinde girer. Kesici kafa dönmeye devam ederken, keskinin kesme derinliği kademeli olarak azalır. Keski, kesme sektörü içinde kendisine etkiyecek olan en yüksek kesme kuvvetlerine, kesme sektörünün girişinde maruz kalacağından, ani olarak yüklenir (Mellor, 1975).



Şekil 7. Kesici kafaların (kesici tamburların) kesme şekilleri (Mellor, 1975)  
a) Yukarı kesme  
b) Aşağı kesme  
c) Kapalı kesme

Kesici kafa tasarımı ile ilgili olarak yapılan çalışmaların çoğunda, kesici kafa üzerindeki bir keskinin kazı sırasında ulaştığı kesme derinliğinin belirlenmesi, bir sorun olarak öne sürülmektedir.

Kesme sektörü içindeki bir keskinin herhangi bir zamandaki kesme derinliği ( $d_e$ ), aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır (Hurt ve McAndrew, 1981a; Hurt vd., 1982):

$$d_e = j \cdot J \cdot S \cdot \dot{\theta} \cdot n \quad (1)$$

Burada; D: Kesici tamburun, bir tam devir sonunda sağladığı ilerleme miktarı,

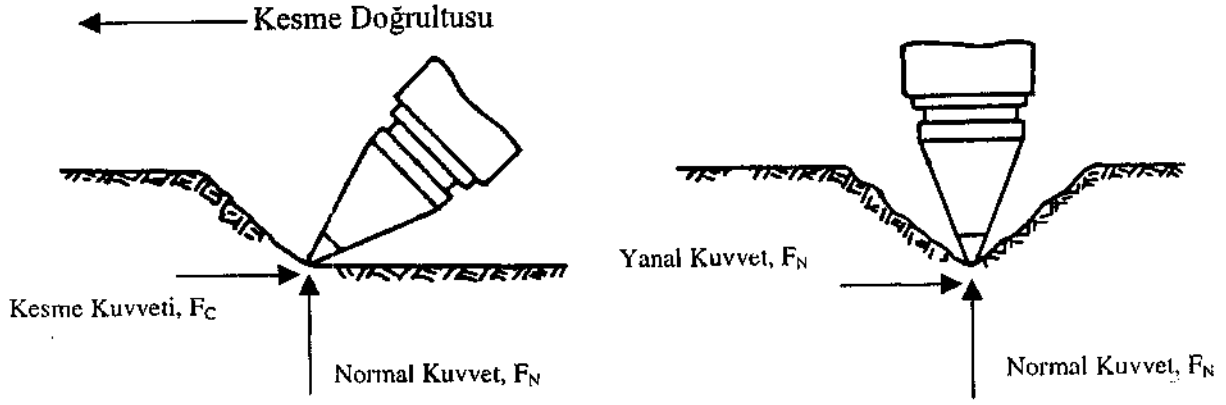
n: Keski dizisi sayısı,  
6: Keskinin kesme sektörü içindeki açılal konumudur.

Bu eşitlik, D parametresi, kesici kafa yarıçapının yaklaşık 1/4'ünden daha küçük ise doğrudur.

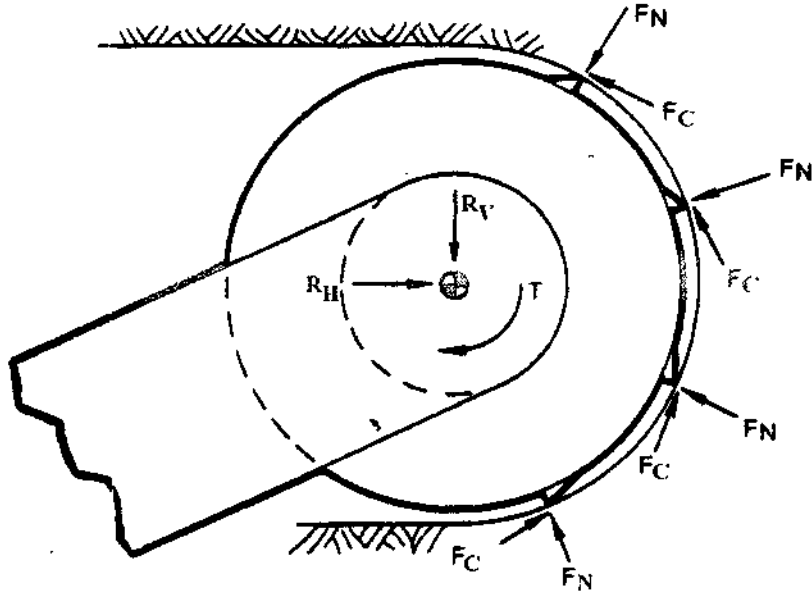
## 2.2. Dinamik Özellikler

Kesici kafa üzerindeki bir keskiye kazı sırasında etkiyen bileşke kuvvet, birbirine dik üç adet bileşene sahiptir (Şekil 8). Bunlar, kesme doğrultusunda etkiyen kesme kuvveti ( $F_c$ ), kesme doğrultusuna dik yönde etkiyen normal kuvvet ( $F_N$ ) ve  $F_c$  ile  $F_N$ 'nin bulunduğu düzleme dik olarak etkiyen yanal kuvvettir ( $F_s$ ). Yanal kuvvetin, genellikle ihmal edilebilir bir büyüklükte olmasına rağmen, küçük keski yanal uzaklığı / kesme derinliği oranlarında keskiyi yana doğru itecek şekilde geliştiği bildirilmiştir (Hurt, 1980b). Her bir keskiye etkiyen tork ise, bu bileşenlerden, kesme kuvvetine bağlıdır. Keskilere etkiyen kuvvetlerin ve torkun birlikte etkisi sonucu kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetleri ile torkun miktarları ve değişimleri, genel olarak, keskinin hareket şekline (saykoidal, helisel), kesme sektörüne ( $180^\circ$ ,  $90^\circ$  vb. gibi), kesici kafanın kesme şekline ve kesici kafa tasarıma bağlıdır.

Keskilere etkiyen kesme kuvvetleri nedeniyle kesici kafaya veya kesici tambura etkiyen yatay, dikey ve aksenal reaksiyon kuvvetleri ve tork Şekil 9'da gösterilmiştir. Burada, aksenal reaksiyon kuvveti, dönme eksenine paralel ve şekil düzlemine dik olacak şekilde kesici tamburun merkezine etkimektedir. Yatay, dikey ve aksenal reaksiyon kuvvetleri ile tork; referans olarak seçilen bir keskinin, kesici kafanın bir tam devri sırasında her bir açılal aralıktaki hareketi için, kesme sektörü içindeki aktif keskilere etkiyen kesme kuvvetlerinden hareketle hesaplanmaktadır. Kesme titreşimi analizi, reaksiyon kuvvetleri ile tork değerlerindeki değişimin varyans



Şekil 8. Keskilere etkiyen kuvvetin bileşenleri



Şekil 9. Kesici tamburlara etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve tork (Ludlow ve Jankowski, 1984)

değeri olarak ayrı ayrı hesaplanması temeline dayanmaktadır. Söz konusu reaksiyon kuvvetleri ve tork için daha düşük varyans değerlerine sahip olan kesici kafalar veya kesici tamburların kesme titreşimi açısından daha dengeli oldukları kabul edilmekte ve daha verimli kazı yapımları beklenmektedir. Eksenel tipli GAM kesici kafaları ve kesici

tamburlar için kesme sektörü içinde kesme yapan her bir keskiye etkiyen kesme kuvveti ( $F_c$ ) ve normal kuvvet ( $F_N$ ) aşağıdaki eşitliklerle tanımlanmıştır (Hurt vd., 1988):

$$F_c = 2,41 + 0,0064 \times A_x \times \sin 9 \quad (2)$$

$$F_N = 1,5 \times F_c \quad (3)$$

Burada; G: Keskinin kesme sektörü içindeki açısal konumu

A: Keskinin kazı sırasında kesmekle yükümlü olduğu kaya alanıdır.

Reaksiyon kuvvetleri ve tork ise aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmaktadır (Hurt vd., 1988):

$$R^H = X^F_c \cdot \cos(\theta) + X^F_N \cdot \sin(\theta) - \cos(\theta) \quad (4)$$

$$R^V = S^F_c - S^F_e - X^F_N \cdot \cos(\theta) - \cos(\theta) \quad (5)$$

$$R^A = 2 \cdot N - S^F_c \cdot \sin(\theta) \quad (6)$$

$$T = E^F_c - r \quad (7)$$

Bu eşitliklerde; RH: Yatay reaksiyon kuvveti  
Rv: Dikey reaksiyon kuvveti  
RA: Eksenel reaksiyon kuvveti  
T: Tork  
( $\theta$ ): Keskinin eğim açısı  
r: Keskinin kesme yarıçapıdır.

Yatay hareket sırasında, yatay ve dikey reaksiyonlar düzlemlerindeki efektif normal kuvvet bileşeni  $F_n \cdot \cos(\theta)$ 'ye eşittir. Çapraz tipli GAM kesici kafaları söz konusu olduğunda ise Eşitlik 2'deki SinS parametresi göz ardı edilmekte, RH ve RA eşitlikleri yer değiştirmektedir.

Yukarı kesme şeklinde kesme sektörü  $90^\circ$  olduğunda, kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetlerindeki düzenli artışı, ani düşmeler izlemektedir. Bunun nedeni, kesici kafa dönerken, bir grup keski veya tek bir keski, kesme sektörü içinde ulaştığı en yüksek kesme derinliğinde kesme sektöründen çıkarken, kesme sektörüne giren keskinin kesme derinliğinin düzenli olarak artmasıdır. Kesme sektörü  $180^\circ$  olduğunda reaksiyon kuvvetlerinde ve torkta oransal olarak daha düşük değişimlerin görülmesi, her bir keskinin bir diğerine yardım etmesi sonucunda, kesme sektörü içinde kuvvet ve tork düzeylerinde

kademeli bir artış ve kademeli bir düşüşün gerçekleşmesi nedeniyledir. Bu değişim, kesici kafanın dengesini göstermektedir (Hurt, 1980a). Mekanik kazı makinalarına kesici kafa aracılığı ile etkiyen bileşke reaksiyon kuvvetinin değerinin ve doğrultusunun, kesici kafa tasarımına bağlı olduğu bildirilmiştir (Hekimoğlu, 1991a).

### 3. YERALTI DENEMELERİ

Kesme titreşimi ile ilgili çalışmalar, Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne (TKİ) bağlı OAL Bölge Müdürlüğü yeraltı ocağında gerçekleştirilen yeraltı denemeleri ile pratikte incelenmiştir. OAL'de gerçekleştirilen kömür kazısında, Eickhoff EDW 230-L tipi çift tamburlu kesici-yükleyiciler kullanılmaktadır. Yapılan incelemelerde, bu makinalarda kullanılan orijinal kesici tamburlar üzerindeki keskinin dizilim düzenlemelerinden kaynaklanan yüksek keski tüketimi, aşırı titreşim ve kesici tambur çalışma ömrünün azlığı gibi sorunların yaşandığı belirlenmiştir (Hekimoğlu, 1991b). Bunun üzerine, orijinal kesici tamburlara alternatif olarak yeni bir keski dizilim düzenlemesi geliştirilmiştir (Hekimoğlu ve Tiryaki, 1997; Hekimoğlu ve Tiryaki, 1998). Yeni keski dizilim düzenlemesine sahip olan kesici tamburlar OAL Merkez Atölyesi'nde üretilmişlerdir. Orijinal ve yeni kesici tamburlar, farklı üretim dönemlerinde OAL yeraltı ocağı A-06 panosu tabanayağında kullanılan tamburlu kesici-yükleyiciye monte edilerek aynı kazı koşullarında denenmişlerdir. Söz konusu kesici tamburların çalışma ömürleri sırasında sahip oldukları genel üretim performansı değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Bu tür kazı makinalarında oluşan bazı temel arızaların ve makina duruşlarının, kazı sırasında oluşan titreşimlerden geniş ölçüde kaynaklandığı iyi bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, orijinal ve yeni kesici tamburların makina titreşimi açısından karşılaştırılması ilk



Çizelge 1. Makinanın Genel Üretim Performansı ile İlgili Bazı Veriler (Tiryaki, 1994)

	Kesici Tamburlar	
	Orijinal	Yeni
Üretim Süresi	5 Ay	6 Ay
Toplam Üretim (toni)	77676	133120
Efektif Kazı Süresi (dak)	33048	51150
Vardiya Ortalama Üretimi (ton/vardiya)	215	286
Keski Tüketim Oranı (adet/1000 ton)	11	6
Keski Başına Üretim (ton kömür/1 keski)	94,611	155,878
Toplam Üretim Vardiyası (adet)	361	465
Toplam Ayak İlerlemesi (m)	139,85	213,61
Ortalama Ayak İlerlemesi (cm/vardiya)	39	46
Kesme Performansı (m3/dak)	Eğim Aşağı Kazı	2,741
	Eğim Yukarı Kazı	1,645
		4,243
		3,646

Çizelge 2. Makina Kaynaklı Kayıp Üretim Sürelerinin Eşit Kömür Üretim Miktarı Temelinde Karşılaştırılması (Tiryaki, 1998)

	Kesici Tamburlar	
	Orijinal	Yeni
Mekanik Arıza Nedenli Durma Süresi Toplamı (dak)	2384	2309
Elektriksel Arıza Nedenli Durma Süresi Toplamı (dak)	2420	1219
Hidrolik Arıza Nedenli Durma Süresi Toplamı (dak)	365	268
Arıza Nedeniyle Durma Süreleri Toplamı (dak)	5169	3796
Üretilen Toplam Kömür Miktarı (ton)	77 676	78 166
Efektif Kazı Süresi (dak)	33 048	30 159
Üretilen Kömür Miktarı Başına Durma Süresi (dak/ton)	0,0665	0,0485
Efektif Kazı Süresi Başına Durma Süresi	0,1564	0,1258

önce, makinanın mekanik, elektrik, hidrolik sistemlerinde temelde titreşim nedeniyle oluşan arızalar sonucunda üretimin durma süresi (kayıp üretim süresi) temelinde gerçekleştirilmiştir. Burada, tamburlu kesici-yükleyicinin 10 dakikadan fazla durmasına neden olan arıza süreleri (uzun duruşlar) dikkate alınmıştır. Çizelge 2'de, orijinal ve yeni kesici tamburların yaklaşık olarak 78 bin ton kömür üretimi temelinde karşılaştırılmasına ilişkin değerler verilmiştir. Çizelge 1 ve Çizelge 2'ye göre, yeni kesici tamburların kullanılması ile;

- . Tamburlu kesici-yükleyicinin mekanik, elektrik, hidrolik sistemlerinde oluşan arızalar sonucunda kömür üretiminin durma süresi (kayıp üretim süresi) yaklaşık olarak %30 oranında azalmış,
- Keski tüketim oranı yaklaşık %45 azalmış,

Kesme performansında % 122'ye varan artışlar kaydedilmiş ve

Kesici tamburların çalışma ömürleri, toplam kömür üretimi temelinde yaklaşık olarak %71 oranında artmıştır.

Tamburlu kesici-yükleyicinin orijinal ve yeni kesici tamburlarla donatıldığı durumlarda makinada oluşan titreşimlerin karşılaştırılması daha sonra; bu kesici tamburların 40 cm'lik gömülme derinliğinde ve yaklaşık 1 m/dak kesme hızında yapılan kontrollü kömür kesme deneylerinde, kesici tambur merkezlerinde dikey doğrultuda ölçülen titreşim ivmeleri temelinde yapılmıştır. Söz konusu ölçümler, OAL yeraltı ocağı F-02 panosunda gerçekleştirilmiştir. Makina titreşimi ölçümlerinde, Rion Portable Vibrationmeter Model VM-61 kullanılmıştır. Bu cihaz, geniş sınırlar içindeki makina titreşimini ölçmek ve

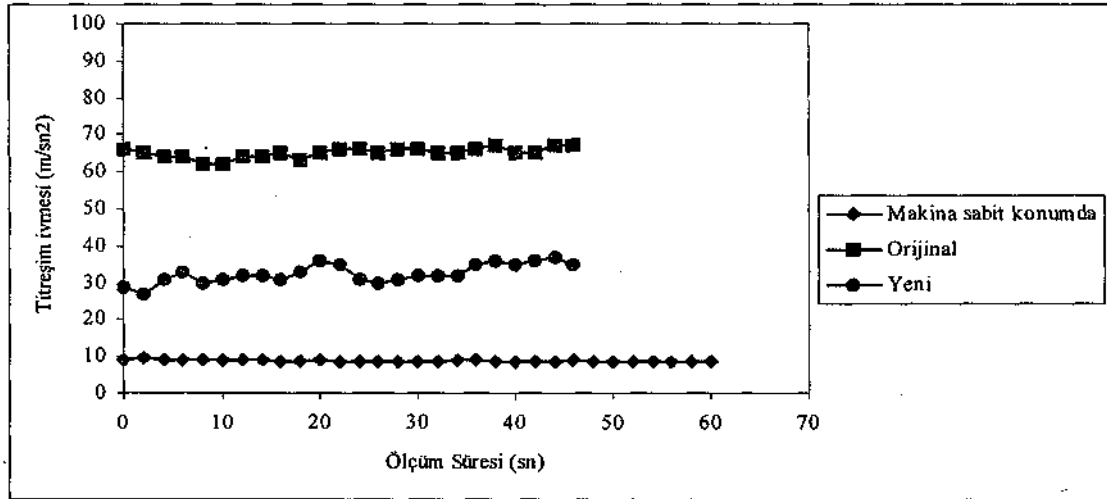
değerlendirmek için gerekli olan temel işlevlerle donatılmıştır. Tamburlu kesici-yükleyicinin orijinal ve yeni kesici tamburlarla donatıldığı durumlar için ayrı ayrı olmak üzere yukarıda belirtilen koşullarda ölçülen titreşim ivmesi değerleri, makinanın boşa ve sabit konumda çalıştığı durumda kesici tambur merkezinde dikey doğrultuda ölçülen titreşim ivmesi değerleri ile birlikte Şekil 10'da verilmiştir. Buna göre, tamburlu kesici-yükleyici yeni kesici tamburlarla donatıldığında makina titreşiminin, titreşim ivmesi temelinde yaklaşık olarak yarıya düştüğü görülmektedir.

#### 4. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TİTREŞİM ANALİZİ UYGULAMASI

Kesme titreşimi analizi ve kesici kafa tasarımı el ile yapıldığında zaman alıcı olmakta ve hata yapma olasılığı artmaktadır. Bu nedenlerle, kesici kafa tasarımında karşılaşılan sorunların aşılmasında tasarım mühendisine yardımcı olabilecek özelliklerde bazı bilgisayar programlarının geliştirildiği bilinmektedir. Ancak, ticari sır oldukları için bu programlar ile ilgili ayrıntılar literatüre yeterince

yansımamıştır. Bu bilgisayar programları genellikle, verilen bir keski dizilim düzenlemesi için keskinin kazı sırasında yaptıkları bağıl işlerin ve kesme verimliliğinin değerlendirilmesi ile başlar. Bu değerlendirme, kesme diyagramının çizilmesi ile yapılır. Tasarım mühendisi, istenilen keski dizilim düzenlemesini ve kesici kafanın fiziksel boyutları gibi verileri bilgisayar programına veri olarak girer ve bilgisayar programı, kesici kafanın istenilen kesme hızı değerinde kesme diyagramını oluşturur. Daha sonra, kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve tork hesaplanarak, aşırı titreşim olasılığı kontrol edilir.

Titreşim analizi ve kesici kafa tasarımı süreçlerinde bilgisayar uygulamaları ile ilgili ilk örnekler, İngiliz Kömür İşletmeleri'ne bağlı Madencilik Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MRDE)'nde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda oluşturulmuştur. Bu merkezde tamburlu kesici-yükleyicilerle yapılan çalışmalar sonucu, kesici tamburların yükleme işlevleri ile makinaya etkiyen bileşke kuvveti hesaplamak amacıyla, keskinlere etkiyen kesme kuvvetlerini çözümlen bilgisayar



Şekil 10. Kesici tamburların 40 cm gömülme derinliğinde ve yaklaşık 1 m/dak kesme hızında ölçülen titreşim ivmesi değerleri temelinde karşılaştırılması (Tiryaki, 1998)

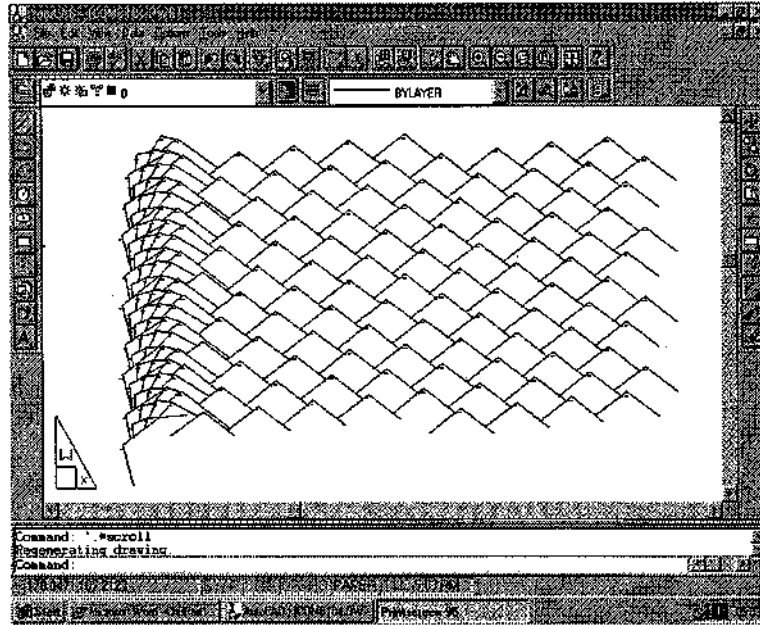
programları geliştirilmiştir (Morris, 1980). Daha sonra, yine Madencilik Araştırma ve Geliştirme Merkezi tarafından, kesici kafaların ve kesici tamburların titreşim analizi ve tasarımı için geniş kapsamlı bir bilgisayar programı paketi geliştirilmiştir (Holt vd., 1984). Bu program paketi, halen dünyanın önde gelen makina üreticileri tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çeşitli geometrilere ve tasarım özelliklerine sahip olan aksenal ve çapraz tipli kesici kafalar ile kesici tamburlar üzerindeki keskinin kazı sırasındaki hareketlerinin bilgisayar ortamında benzetişimini oluşturmak amacıyla, bu çalışma kapsamında LISP programlama dilini kullanarak Kesme Diyagramı Yazılımı (KDY) olarak adlandırılan bir bilgisayar programı üretilmiştir. Bu bilgisayar programı, İngiltere'de üretilen bilgisayar programının temellerine göre yazılmıştır. KDY, sözü edilen kesici kafalar ile kesici tamburların kesme diyagramlarının, kesici kafa geometrilerine, kesici kafa tasarımlarına ve kazı makinasının kesme hızına bağlı olarak bilgisayarda

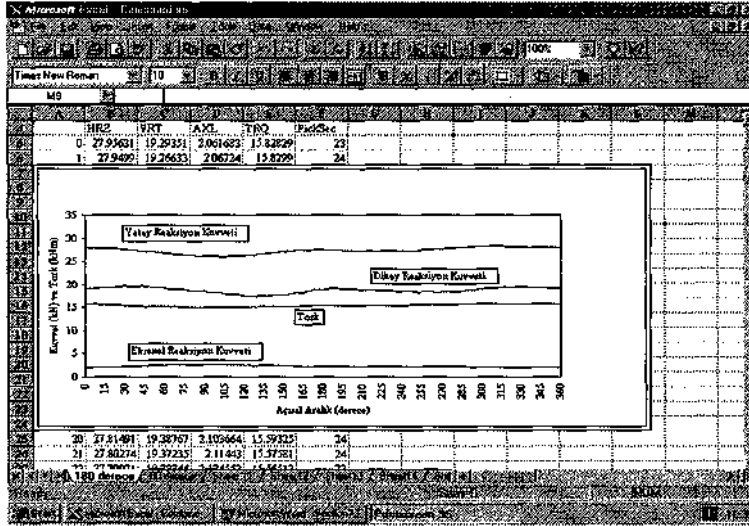
otomatik olarak çizilmesini sağlamaktadır. KDY'nin ilk sürümü, herhangi bir kesici kafa üzerindeki keskinin, kazı sırasında kesmekle yükümlü oldukları kaya alanlarının benzetişimini oluşturacak şekilde, boyutları program içine katılmış olan kesme (breakout) şekillerinin bilgisayar ekranında çizilmesini sağlamaktadır. KDY kullanılarak çizilen bir kesme diyagramının bilgisayar ekranındaki görüntüsü Şekil 11.'de verilmiştir

Kesici kafalar ile kesici tamburlara kazı sırasında etkiyen reaksiyon kuvvetleri ile torkun bilgisayarda benzetişiminin oluşturulması ve aktif olarak kesme yapan keskinin toplam sayısının hesaplanması ise Titreşim Değerlendirme Yazılımı (TDY) olarak adlandırılan bir bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. TDY kullanılarak gerçekleştirilen bir titreşim analizinin, bilgisayar ekranındaki son hali Şekil 12'de verilmiştir.

Orijinal ve yeni olarak adlandırılan iki farklı tasarıma sahip kesici tambur, bilgisayar



Şekil 11. KDY kullanılarak çizilen bir kesme diyagramının bilgisayar ekranındaki görüntüsü



Şekil 12. TDY kullanılarak gerçekleştirilen bir titreşim analizi uygulamasının bilgisayar ekranındaki görüntüsü

destekli titreşim analizine tabi tutulmuşlardır. Orijinal kesici tamburlarla yapılan yeraltı deneyleri sırasında, eğim aşağı doğrultuda ölçülen 3,3 m/dak'lık kesme hızı değeri, orijinal ve yeni kesici tamburlar için yapılan bilgisayar destekli titreşim analizlerinde kullanılmıştır.

Orijinal ve yeni kesici tamburlar için ayrı ayrı olmak üzere; 180° ve 90° kesme sektörlerinde yapılan kazı için TDY kullanılarak hesaplanan ve kazı sırasında bu kesici tamburlara etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimlere karşılık gelen benzetişim verilerinin grafiksel sunumları Şekil 13 ve Şekil 14'te verilmiştir. Şekil 13 ve Şekil 14'te grafiksel olarak sunulan benzetişim verilerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan istatistiksel

analizin sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

Orijinal ve yeni kesici tamburlar için gerçekleştirilen bilgisayar destekli titreşim analizi sonucunda hesaplanan varyans değerleri gözönüne alındığında aşağıdaki sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir:

1. Yeni kesici tamburlara 180° ve 90° kesme sektörlerinde etkiyen yatay reaksiyon

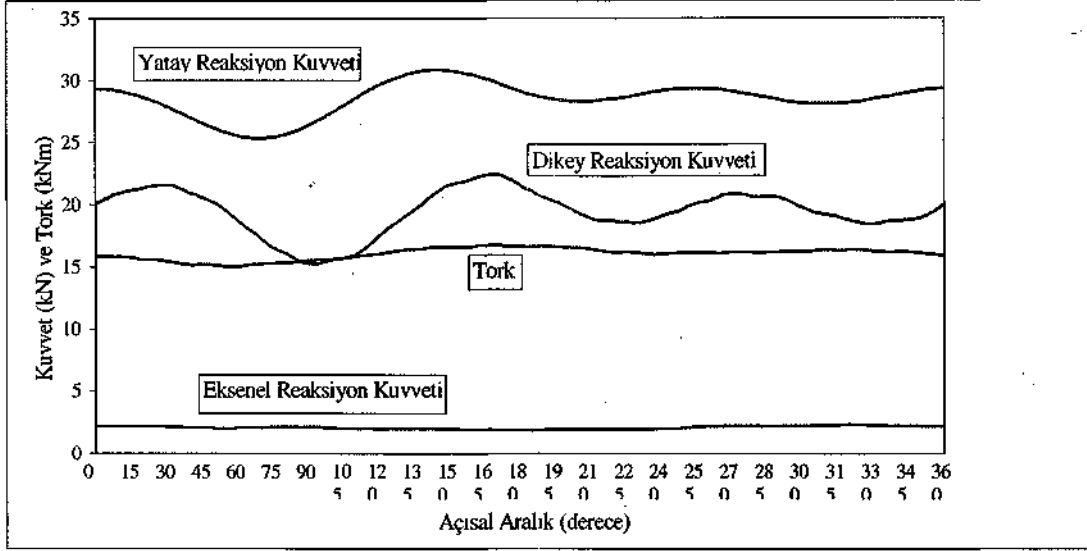
kuvvetlerindeki değişimin, orijinal kesici tamburlara 180° ve 90° kesme sektörlerinde etkiyen yatay reaksiyon kuvvetlerindeki değişimden %75,67 ve %61,21 oranlarında daha az olduğu görülmektedir.

2. Yeni kesici tamburlara 180° ve 90° kesme sektörlerinde etkiyen dikey reaksiyon kuvvetlerindeki değişimin, orijinal kesici tamburlara 180° ve 90° kesme sektörlerinde etkiyen dikey reaksiyon kuvvetlerindeki değişimden %88,47 ve %60,69 oranlarında daha az olduğu görülmektedir.
3. Orijinal ve yeni kesici tamburlara, kazı sırasında 180° ve 90° kesme sektörlerinde etkiyen eksenel reaksiyon kuvvetlerinin, miktar ve değişim olarak çok küçük değerlere karşılık geldikleri anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, bu kuvvetlerin miktarları ve değişimleri, orijinal ve yeni kesici tamburların titreşim karakteristiklerinin değerlendirilmesinde gözönüne alınmamışlardır.
4. Yeni kesici tamburların 180° ve 90° kesme sektörlerinde ürettikleri torktaki değişimin, orijinal kesici tamburların 180° ve 90° kesme sektörlerinde ürettikleri torktaki

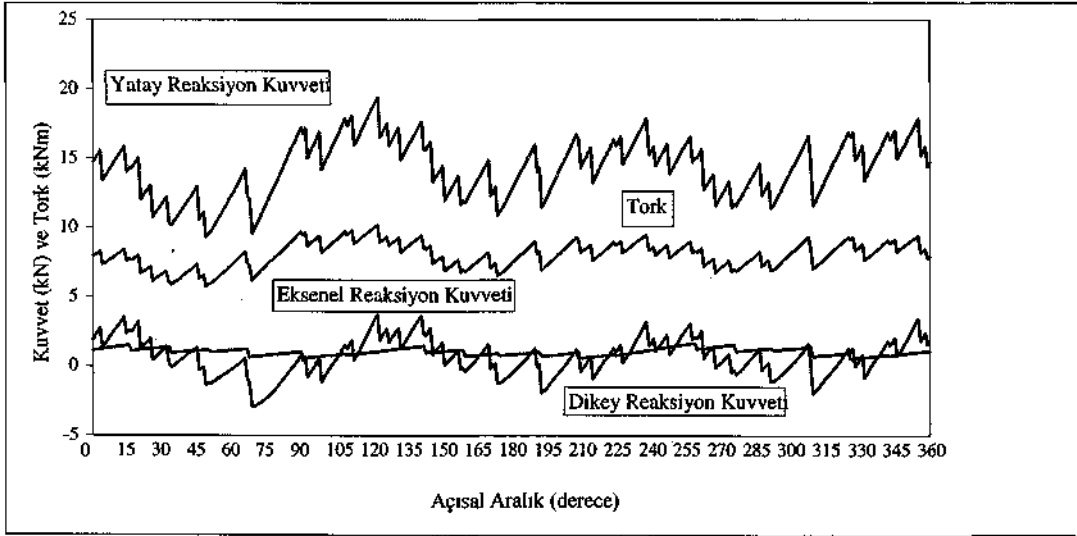
değişimden %69,09 ve %67,28 oranlarında daha az olduğu görülmektedir.

Hesaplanan reaksiyon kuvvetleri ve tork değerlerinin, orijinal kesici tamburlar için hesaplanan dikey reaksiyon kuvveti hariç olmak üzere, 180° kesme sektöründeki değişimlerinin, 90° kesme sektöründeki değişime oranla çok daha az olduğu görülmektedir.

Bilgisayar destekli titreşim analizi uygulaması sonuçlarına göre, yeni kesici tamburlar kesme titreşimi açısından orijinal kesici tamburlara oranla daha duraylıdır. Bu durum, bilgisayar destekli titreşim analizi sonuçlarının, pratikte elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermektedir.



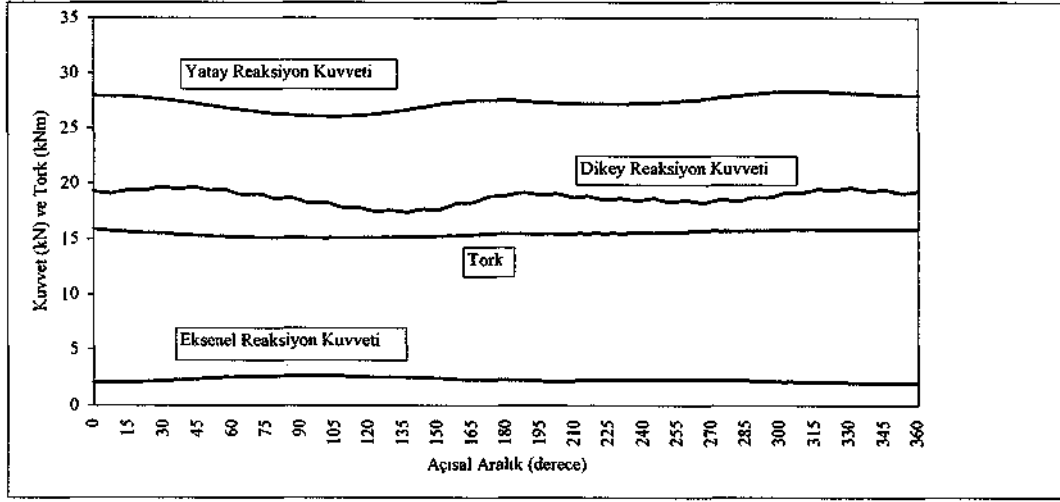
a)



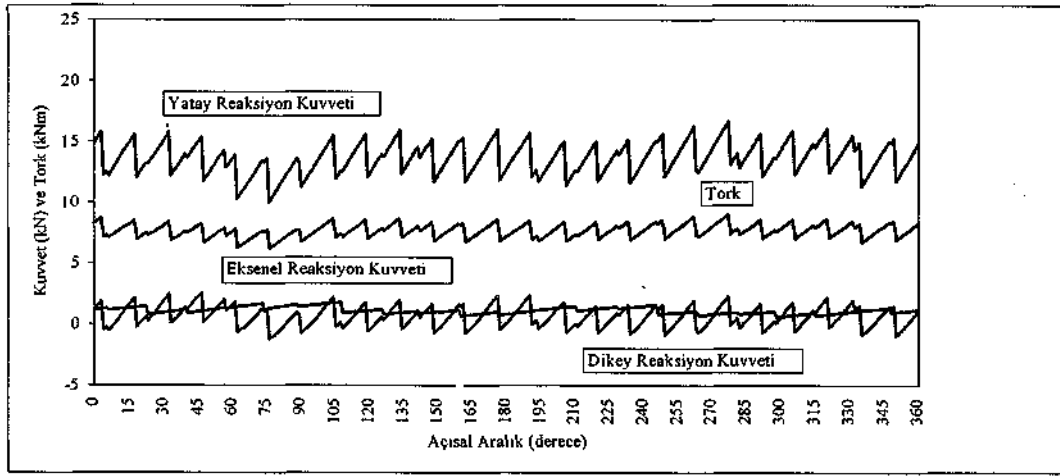
(b)

Şekil 13. Orijinal kesici tamburlara 3,3 m/dak kesme hızında etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler

- 180° kesme sektörü (kapalı kesme)
- 90° kesme sektörü (yukarı kesme)



(a)



(b)

Şekil 14. Yeni kesici tamburlara 3,3 m/dak kesme hızında etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler

- a) 180° kesme sektörü (kapalı kesme)  
b) 90° kesme sektörü (yukarı kesme)

Çizelge 3. Orijinal ve Yeni Kesici Tamburlar için Hesaplanan Reaksiyon Kuvvetleri ve Torkun İstatistiksel Analiz Sonuçları

	Kesme Sektörü	Yatay Reaksiyon Kuvveti		Dikey Reaksiyon Kuvveti		Eksenel Reaksiyon Kuvveti		Tork	
		Ortalama Değer (kN)	Varyans	Ortalama Değer (kN)	Varyans	Ortalama Değer (kN)	Varyans	Ortalama Değer (kNm)	Varyans
Orijinal Kesici Tambur	180°	28,50	1,85	19,44	3,21	2,051	0,01467	16,04	0,22
	90°	14,27	4,10	0,67	1,73	1,0252	0,05986	8,0319	0,8498
Yeni Kesici Tambur	180°	27,34	0,45	18,76	0,37	2,300749	0,03524	15,47	0,068
	90°	13,62	1,59	0,64	0,68	1,141335	0,06331	7,71	0,278

## 5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen yeraltı denemelerinin ve bilgisayar destekli titreşim analizi uygulamalarının sonucunda, mekanik kazı makinalarının kesici kafaları veya kesici tamburları üzerinde uygun keski dizilim düzenlemeleri kullanıldığında kesme titreşiminin en aza indirilebileceği ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, dünyada kullanılmakta olan kesici kafaların ve kesici tamburların tasarımında halen önemli eksikliklerin var olduğu anlaşılmaktadır. Bu eksiklikler, kesme verimliliği ve kesme titreşimi açısından makina performansının düşmesine, makinanın faydalı çalışma ömrünün azalmasına yol açmaktadır. Bu durum, ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksek olan bu makinalardan beklenen yararları ortadan kaldırmaktadır.

Ülkemizde özellikle yeraltı kömür işletmeciliğinde mekanik kazı makinalarının kullanımı artmaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, sadece kesici kafa veya kesici tambur üzerindeki keskinliklerin dizilim düzenlemelerinde yapılacak değişiklikler sayesinde makina performansında ve makinanın faydalı çalışma ömründe önemli artışlar sağlanabilecektir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasındaki yardımları nedeniyle TKİ-OAL Bölge Müdürlüğü'ne; titreşimölçerinin kullanılmasındaki yardımları nedeniyle Prof. Dr. Şinasi ESKİKAYA (İTÜ Maden Müh. Böl.), Prof. Dr. Nuh BİLGİN (İTÜ Maden Müh. Böl.) ve Araş Gör. Ömür ACAROĞLU'na (İTÜ Maden Müh. Böl.) teşekkürlerini sunarlar.

## KAYNAKLAR

Cheng, L., Liebman, L., Furno, A.L. ve Watson, R.W., 1983; "Novel Coal-Cutting

Bits and Their Wear Resistances", Bureau of Mines Report of Investigations No:8791, United States Department of the Interior, 15 s.

Hekimoğlu, O.Z., 1991a; "Comparison of Longitudinal and Transverse Cutting Heads on a Dynamic and Kinematic Basis", Min. Sci. and Tech., 13, s. 243-255.

Hekimoğlu, O.Z., 1991b; "OAL Müessesesi ndeki Tamburlu Kesiciler ve Karşılaşılan Sorunlar", Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 12. Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 133-147.

Hekimoğlu, O.Z. ve Fowell, R.J., 1991; "Theoretical and Practical Aspects of Circumferential Pick Spacing on Boom Tunnelling Machine Cutting Heads". Min. Sci. and Tech., 13, s. 257-270.

Hekimoğlu, O.Z. ve Tiryaki, B., 1997; "Effects of Drum Vibration on Performance of Coal Shearers", Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A, Vol.106, May- August, s. A91-A94.

Hekimoğlu, O.Z. ve Tiryaki, B., 1998; "In-situ Investigations on Shearer Drum Design", Bulletin of Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Vol.91. No. 1018, March, s. 225-227.

Holt, P.B., Morris, C.J., Owen, R.J., 1984; "Desk-top Computers for Design Work", The Mining Engineer, 143, 271, 485-489.

Hurt, K.G., 1980a, Roadheader Cutting Heads: A Study of the Layout of Cutting Tools and a Rational Procedure for Design, MRDE Report No: 90, s. 28 Unpublished.

Hurt, K.G., 1980b; "Laboratory Studies of Rock Cutting: A Comparison of the Performance in Sandstone at Various Rock and Coal Cutting Tools, Part 2: Relieved Cutting", MRDE Report No:91, September, s. 15 Unpublished.

Hurt, K.G. ve McAndrew, K.M., 1981a; "Roadheader Cutting Heads: How Many Tools per Line?", MRDE Report No:96, s. 10 Unpublished.

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 264 s.

Hurt K.G., Morris, C.J. ve McAndrew, K.M., 1982; "The Design and Operation of Boom Tunnelling Machine Cutting Heads", Proceedings of the 14<sup>th</sup> Canadian Rock Mechanics Conference (Vancouver), Can. Inst. Min. Metali., s. 54-58.

Hurt, K.G., McAndrew, K.M. ve Morris, C.J., 1988; "Boom Roadheader Cutting Vibration: Measurement and Prediction", Proceedings of Conf. Applied Rock Engineering, The University of Newcastle Upon Tyne, s. 89-97.

Ludlow, J. ve Jankowski, R.A., 1984; "Use Lower Shearer Drum Speeds to Achieve Deeper Coal Cutting", Mining Engineering, 36, 3, March, s. 251-255.

Maten. S., 1972; "Velocity Criteria for Machine Vibration", Vibration and Acoustic Measurement Handbook, Editors: Michael P. Blake and William S. Mitchell, Spartan Books, New York-Washington, s. 267-277.

Mellor, M., 1975; "Mechanics of Cutting and Boring, Part I: Kinematics of Transverse Rotation Machines" CRREL Special Report No:226, May, s. 27 Unpublished.

Morris, C.J., 1980; "The Design of Shearer Drums with the Aid of a Computer", The Mining Engineer, November, s. 289-295.

Tiryaki, B., 1994; "Mekanik Kazıcılarda Kesici Kafa Dizaynının Optimizasyonu", Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 108 s.

Tiryaki, B., 1998; "Tamburlu Kesicilerde Keski Dizilim Parametrelerinin Optimizasyonu", Doktora Tezi, Hacettepe