Yerbilimleri, 22 (2000), 247-259
Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni
Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Tamburlu kesici-yükleyicilerde kesme verimliliğinin ve kesme titreşimlerinin bilgisayarda benzetişimi

Computer simulation of cutting efficiency and cutting vibrations in drum shearer-loaders

Bülent TİRYAKİ
Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 06532, Beytepe, ANKARA

ÖZ

Dünyanın önde gelen mekanik kazı makinası ve kesici kafa (tambur) üreticilerinin, kesme verimliliği ve kesme titreşimi analizi için çeşitli bilgisayar programları kullandıkları bilinmektedir. Ancak, ticari sır oldukları için bu programlarla ilgili ayrıntılar literatüre yeterince yansımamıştır. Bu çalışmada, tamburlu kesici-yükleyicilerde kesme verimliliğinin ve kesme titreşimlerinin değerlendirmesi amacıyla, yazar tarafından geliştirilen bilgisayar programları tanıtılmıştır. Bilgisayar programları, AutoLISP ve Quick BASIC programlama dilleri kullanılarak yazılmıştır. Sözkonusu bilgisayar programları kullanılarak, bir tambura kazı sırasında etkiyen yatay, dikey, eksenel reaksiyon kuvvetleri ve tork gibi bazı titreşim parametrelerinin değişimi ile tambur üzerindeki keskilerin kazı sırasında yaptıkları bağıl işler analiz edilebilmektedir. Çalışma kapsamında, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ)'ne bağlı Orta Anadolu Linyitleri (OAL) İşletmesi Bölge Müdürlüğü (Çayırhan) yeraltı ocağında kullanılan tamburlu kesici-yükleyicilerin kesme verimlilikleri ve titreşimleri fiili üretim çalışmaları sırasında izlenmiş ve geliştirilen bilgisayar programları yardımıyla hesaplanan değerlerin, ölçülen değerlerle uyumlu oldukları anlaşılmıştır. Bu konu esas alınarak, Anderson Strathclyde (şimdiki adıyla Long Airdox) ve Eickhoff firmaları tarafından üretilen, farklı keski dizilim düzenlemelerine sahip tamburlara da bilgisayar analizi uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli tambur tasarımı, kesme titreşimi, kesme verimliliği, tamburlu kesici-yükleyiciler

ABSTRACT

World's leading manufacturers of mechanical excavators and cutting heads (drums) are known to use computer programs to analyse cutting efficiency and cutting vibrations. Nevertheless, details of these programs have not been disclosed through any documentation due to commercial secreacy. This paper describes new computer programs developed by the author to analyse cutting efficiency and cutting vibrations in drum shearer-loaders. The computer programs were developed by using AutoLISP and Quick BASIC programming languages, respectively. These computer programs allow the user to analyse the vibration parameters such as horizontal, vertical, axial reaction forces and torque along with the relative duties of picks on the drum during the cutting operation. In the extent of this study, cutting efficiency parameters and vibrations of drum shearer-loaders employed in Middle Anatolian Lignite (OAL) Mine, operated by Turkish Coal Enterprises (TKI), were monitored during actual production operations and it was realised that, there was a good agreement between the results of in-situ measurements and the calculated values by means of computer programs. Therefore, further computer analysis was carried out for two drums with different pick lacing arrangements, each were produced by Anderson Strathclyde (now known as Long Airdox) and Eickhoff, respectively.

Key Words: *Computer aided shearer drum design, cutting vibrations, cutting efficiency, drum shearer-loaders*

GİRİŞ

Düşük kazı maliyetlerine sahip makinaların ve tekniklerin rekabet edebilir olduğu günümüz madencilik ve tünelcilik sektörlerinde, yüksek üretkenlikte verimli olarak kazı yapma özelliğine sahip olan mekanik kazı makinaları bu anlamda önemli avantajlara sahiptirler. Ancak, bu makinalardan beklenen yararların sağlanması, bunların üretim süreci içinde kullanılabilir halde tutulmalarına bağlıdır. Mekanik kazı süreçlerinde, makina arızaları nedeniyle oluşan üretim aksamalarının kazı maliyetlerini önemli ölçüde arttırdığı iyi bilinen bir gerçektir. Bu bağlamda, kazı sırasında makina elemanlarının ciddi zararlara uğramasına neden olan aşırı titreşimlerin önlenmesi konusu, bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Üretimde aksamalara neden olan bu zararlar, daha sonraki aşamalarda makinanın yararlı çalışma ömrünün sona ermesine yol açmaktadır (Tiryaki, 1998; Tiryaki ve Hekimoğlu, 1998).

Kazı sırasında, kesici kafa veya tambur aracılığıyla kazı makinasına etkiyen reaksiyon kuvvetleri ile torktaki değişimler, kesme titreşimlerini ifade etmektedir. Kesme titreşimleri, önemli ölçüde kesici kafanın veya tamburun tasarım özelliklerine bağlıdır. Keskiler, keskitutucular ve kesici kafa geometrisi kazı koşullarına uygun olarak seçildiğinde, keskilerin kesici kafa üzerine doğru konumlarda yerleştirilmeleri halinde kesme verimliliği artmakta ve kesme titreşimlerinin düzeyi kontrol edilebilmektedir.

Seçilen kesici kafa veya tambur tasarımına bağlı olarak, bir kazı makinasına üretim çalışmaları sırasında etkiyebilecek kesme titreşimlerinin düzeyi ve kesme verimliliği önceden hesaplamalar yoluyla tahmin edilebilmektedir. Bu hesaplamalar bilgisayar kullanılmaksızın yapıldığında çok zahmetli olmakta ve hatalı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada tambur(lar) kullanarak kazı yapan tamburlu kesici-yükleyiciler ve tambur tipli kollu kazı makinalarında (continuous miner) kesme titreşimlerinin ve kesme verimliliğinin bilgisayar ortamında benzetişimini oluşturmak amacıyla yazar tarafından geliştirilen bilgisayar programları tanıtılmıştır. Ayrıca, bu bilgisayar programları kullanılarak gerçekleştirilen analiz uygulamalarının sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır.

BİLGİSAYAR DESTEKLİ KESİCİ KAFA (TAMBUR) TASARIMI

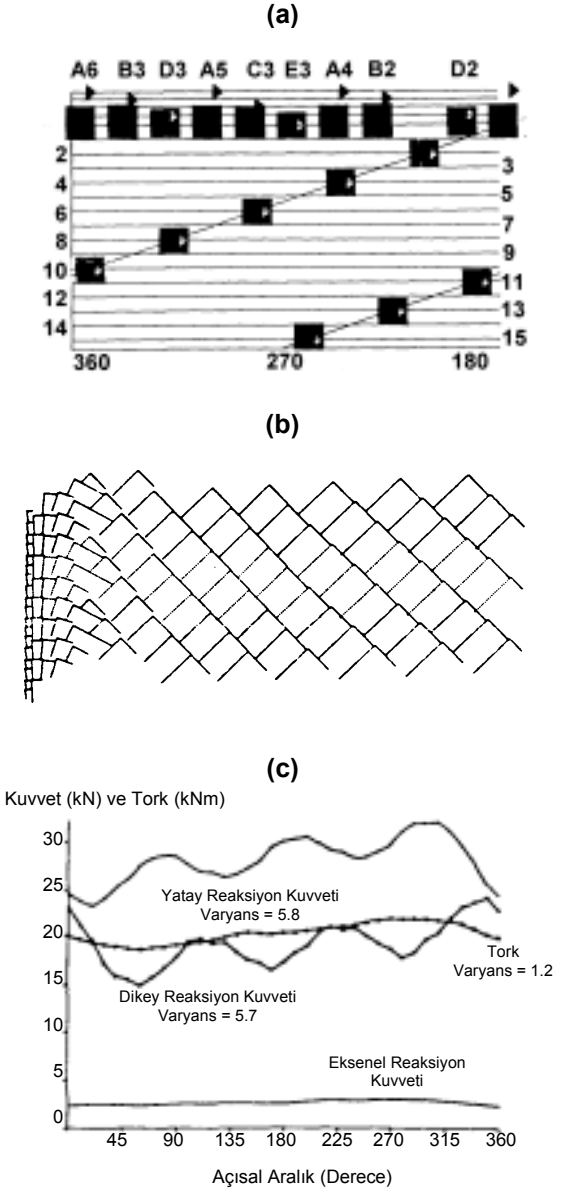
Bilgisayar destekli kesici kafa tasarımı programları genel olarak, tasarım mühendisine çeşitli tasarım alternatifleri sunar ve seçilen tasarımın, üretime uygunluğu, kesme verimliliği ve kesme titreşimleri konularında hızlı ve güvenilir bir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlarlar (Şekil 1 a, b ve c). Bu ölçütlerin ayrıntıları aşağıda verilmiştir (Holt vd., 1984; Hurt vd., 1986).

1. Üretime uygunluk: Keskitutucuların, varsa, su jetlerinin yerleştirilme koşullarının kesici kafa boyutları ile uyumu, keski dizilim düzenlemesinin bilgisayar ortamında çizilen diyagram şeklindeki görüntüsü üzerinde kontrol edilir (bkz. Şekil 1a).

2. Kesme verimliliği: Her bir keskinin kestiği kaya alanının, özgül enerji, solunabilir toz ve tane boyu dağılımı gibi kesme verimliliği ölçütlerinin, seçilen keski dizilim düzenlemesinin özelliklerine göre değişimi değerlendirilir. Bu değerlendirme, kesici kafa üzerindeki keskilerin, konumlarına bağlı olarak süpürdükleri kaya alanının diyagram şeklindeki gösterimini ifade eden kesme diyagramı yardımıyla yapılır (bkz. Şekil 1b). Bu diyagramdan, aşırı kuvvetlere maruz kalan, yeterince yararlanılamayan, açtığı kanalın bir tarafında verimsiz olarak kesme yapan veya efektif kırılmayı başlatmak yerine açılan bir kanalı derinleştiren keskiler belirlenebilmektedir.

3. Kesme titreşimi: Kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetleri ile torkun, kesici kafanın bir tam devri sırasındaki değişim düzeyleri kontrol edilir. Bileşke reaksiyon kuvvetinin değeri ve doğrultusu saptanır. Kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler istatistiksel değerlendirmeler sonucunda varyans değeri cinsinden hesaplanarak titreşim miktarı belirlenir (bkz. Şekil 1c). Bunlara ek olarak, kazı sırasında her bir açısal aralıkta aktif olarak kesme yapan keski sayısındaki değişimin varyans cinsinden ifadesi de bir kesme titreşimi ölçütü olarak dikkate alınır. Yüksek varyans değerleri, sözkonusu parametrelerdeki yüksek dereceli değişimleri gösterdiğinden, kesici kafanın kesme

titreşimleri açısından duraysızlığını ifade eder.



Şekil 1. Bilgisayar destekli kesici kafa tasarımı programlarının genel kapsamları: (a) üretime uygunluk, (b) kesme verimliliği ve (c) kesme titreşimi düzeyi

Figure 1. General contents of computer aided cutting head design programs: (a) manufacturing feasibility, (b) pick loading and (c) cutting vibration level

Bir çok araştırmacı, tamburların tasarımında bilgisayar programlarının kullanılması ile tamburlu kesici-yükleyicilerin ve tambur tipli kollu kazı makinalarının performanslarının

önemli ölçüde arttırılabileceğini bildirmiştir (Holt vd., 1984; Hurt ve Morris, 1985; Hurt vd., 1986; Kadiu, 1995). Tambur tasarımında dikkate alınan parametreler uygun olarak seçildiğinde ve üretimde gereken hassasiyet gösterildiğinde, tamburların bilgisayar destekli olarak tasarımlanmasıyla aşağıda belirtilen bazı yararlar sağlanabilmektedir.

1. Keskilerin aşırı veya çok az iş yapmaları durumu, bilgisayarda oluşturulan kesme diyagramlarının yardımıyla kontrol edilebilmekte ve buna göre oluşturulacak yeni tambur tasarımı ile bu durum ortadan kaldırılabilmektedir. Bunun sonucunda da keski tüketimi, ince kömür ve toz oluşumu çok önemli ölçülerde azaltılabilmektedir.
2. Keskilerin konumlarının titreşime neden olup olmayacağı önceden denetlenebilmekte ve bu alandaki hatalar düzeltilebilmektedir. Dolayısıyla makinanın aşınması önlenebilmekte ve çalışma sınırı daha yukarılara çekilebilmektedir.
3. Yatay reaksiyon kuvvetinin yüksek olması ve makinanın duraylılığının sağlanamaması gibi sorunlarla karşılaşılmaksızın, daha yüksek kesme hızlarında kazı yapılabilmektedir.
4. Kazı makinasının güç tüketimi önemli oranda azaltılabilmektedir.
5. Özellikle arın keskilerinin yaptıkları işler orantılı hale getirilebilmektedir.
6. Çeşitli keski dizilim düzenlemelerinin çeşitli kaya birimlerinde benzetişiminin sağlanabilmesi ile optimum keski dizilim düzenlemeleri oluşturulabilmektedir.

Uygulamada Kullanılan Tasarım Programları

Krampe & Co. GmbH ve Eickhoff gibi bir çok makina ve kesici kafa üreticisi firma ile bazı bilimsel kuruluşların, kesici kafa tasarımında karşılaşılan sorunların aşılmasında tasarım mühendisine yardımcı olabilecek özellikte bilgisayar programları kullandıkları bilinmektedir.

Kesici kafa tasarımı süreçlerinde bilgisayar uygulamaları ile ilgili ilk örnekler, İngiliz Kömür İşletmeleri'ne bağlı Madencilik Araştırma ve Geliştirme Merkezi (MRDE)'nde gerçekleştirilen çalışmalarla verilmiştir. MRDE'de tamburlu kesici-yükleyicilerle yapılan çalışmalar sonucunda, tamburların yükleme işlevleri ile ilgili

olarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir (Morris, 1980). MRDE'de bu programa ek olarak, makinaya etkiyen bileşke kuvvetin hesaplanması amacıyla, keskilere etkiyen kesme kuvvetlerini çözümleyen bir program daha yazılmıştır. Daha sonra, yine MRDE tarafından kesici kafaların ve tamburların titreşim analizi ve tasarımı için iki ayrı bilgisayar programı geliştirilmiştir (Holt vd., 1984). Bu bilgisayar programları, seçilen keski dizilim düzenlemesini, yukarıda belirtilen üç temel konu kapsamında değerlendirmektedir.

Kadiu vd. (1991), tamburlu kesici-yükleyiciler ve tambur tipli kollu kazı makinalarının tamburları için bir model oluşturmuşlar ve bu modelden hareketle, "PC DRUM" isimli bir yazılım paketi geliştirmişlerdir. Cordelier ve Kadiu (1991), bu yazılım paketini esas alarak, tüm kesici kafalar için geçerli olmak üzere "SIMHEAD" isimli bir kesici kafa benzetişimi programı üretmişlerdir.

Price ve Jeffrey (1992), farklı kömür damarları içinde açılmış olan farklı uzunayaklardaki çift tamburlu kesici-yükleyicilerin tek tamburları ile yaptıkları denetimli kömür kesme çalışmalarında, tamburun farklı gömülme derinliklerinde, makinanın farklı kesme hızlarındaki güç tüketimini ölçmüşlerdir. Price ve Jeffrey (1992), bu ölçümlerden yararlanarak, tamburlu kesici-yükleyicilerin yeraltındaki kazı işlemleri sırasındaki güç tüketimlerinin ölçülmesi ve makinanın kesme hızlarına karşılık özgül enerji eğrilerinin oluşturulması için bir yöntem geliştirmişlerdir. Aynı araştırmacılar, daha sonra, laboratuvarda kömür örnekleri üzerinde yaptıkları doğrusal kesme ve diğer laboratuvar deneylerinden yararlanarak tamburların kazı sırasındaki hareketlerinin benzetişimini oluşturan bir bilgisayar programı da üretmişlerdir.

Rostami vd. (1993), Microsoft Excel'in makro yazım ortamında, çapraz tipli kesici kafaların aşırı titreşim olasılığını ve performansını değerlendiren iki bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Programlar, bazı küçük değişikliklerle eksenel tipli kesici kafalar için de kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Birinci program parçası, kesici kafa ve keski dizilim düzenlemesi ile ilgili verileri değerlendirirken, ikinci program parçası kesici kafanın bir tam devri sırasında, kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetlerinin ve diğer bazı kesme parametrelerinin değişimini hesaplamaktadır.

Kadiu (1995), tamburlu kesici-yükleyicilerin tamburlarının bilgisayar destekli tasarımında yeni bir bilgi tabanı (knowledge base) organizasyonu kullanmıştır. Araştırmacı, tamburların spiral ve arın keskileri için ayrı ayrı oluşturduğu bilgi tabanlarından hareketle iki ayrı algoritma üretmiş ve bu algoritmaları ARCHD (Automatic Rock Cutting Head Design) adını verdiği bir yazılım paketinde tamburların tasarımı ve performans hesaplamaları için kullanmıştır.

GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMLARININ BAŞLICA ÖZELLİKLERİ

Bu çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programları, MRDE tarafından üretilen bilgisayar programının esaslarına göre yazılmıştır. Bilgisayar programlarının çalışabilmesi için, en az 486-DX tabanlı bir mikroişlemci, uygun kapasitede bir sabit disk, 8 MB RAM, 1 MB'lık ekran kartına sahip bir bilgisayar ile bu bilgisayarda, tercihen Windows95 veya daha üst sürüm Windows işletim sistemi üzerinde kurulu AutoCAD R13 ile Excel paket programları ve Quick BASIC yorumlayıcısı yeterli olmaktadır (Tiryaki, 1998).

Kesme Diyagramı Yazılımı

Çeşitli geometrilere ve tasarım özelliklerine sahip olan tamburlar üzerindeki keskilerin kazı sırasındaki hareketlerinin bilgisayarda benzetişimini oluşturmak amacıyla, AutoLISP programlama dili kullanılarak, Kesme Diyagramı Yazılımı (KDY) olarak adlandırılan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. KDY, tamburların kesme diyagramlarının, tambur tasarımına ve makinanın kesme hızına bağlı olarak, bilgisayarda AutoCAD grafik arayüzeyinde otomatik olarak çizilmesini sağlamaktadır. KDY'nin akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

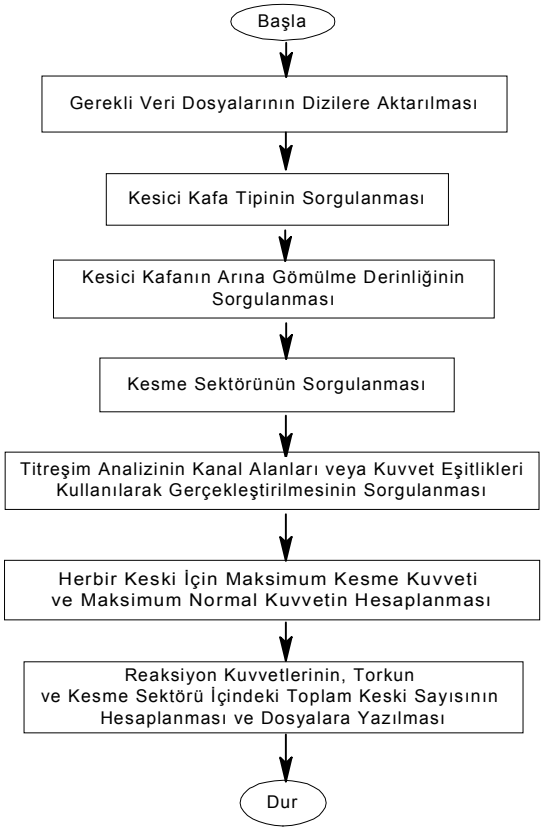
KDY kullanılarak üretilen kesme diyagramlarının doğruluğunun, programın çalışması sırasındaki herhangi bir aşamada kontrolü mümkündür. KDY, veri dosyaları kullanarak çalışan bir programlama tekniği (batch programming) ile üretildiği için, veri dosyaları incelenerek, tambur tasarımı ile ilgili ayrıntıların programa doğru olarak girilip giril-

Şekil 2. Kesme diyagramı yazılımının (KDY) akış şeması
Figure 2. Flow chart of the breakout pattern drawing program (KDY)

mediği denetlenebilmektedir. Veri dosyalarındaki herhangi bir yanlışlık veya eksiklik giderildikten sonra kesme diyagramı hemen yeniden üretilebilmektedir. Programın işleyişi sırasında herbir kanala, kendisini oluşturan keskinin kazı sırasındaki kesme sıra (cutting sequence) numarası verildiği için keski konumları doğrulanabilmektedir. Kesme diyagramının çizilmesi sürecinin bilgisayar ekranından izlenebilmesi de, keski konumlarının programa doğru olarak girilip girilmediğinin belirlenmesi açısından kolaylık sağlamaktadır.

Titreşim Değerlendirme Yazılımı

Kazı sırasında tamburlara etkiyen reaksiyon kuvvetleri ile torkun bilgisayarda benzetişiminin oluşturulması ve aktif olarak kesme yapan keskilerin toplam sayısının belirlenmesi amacıyla, Quick BASIC programlama dili kullanılarak, Titreşim Değerlendirme Yazılımı (TDY) olarak adlandırılan bir bilgisayar programı üretilmiştir. TDY, tamburlar için, tambur tasarımlarını, tamburların arına gömülme derinliklerini ve makinanın kesme hızını dikkate alarak, 180° ve 90° kesme sektörlerinde yapılan kazı için titreşim verileri üretmektedir. TDY'nin akış şeması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3 Titreşim değerlendirme yazılımının (TDY) akış şeması
Figure 3. Flow chart of the cutting vibration analysis program (TDY)

TDY, bir tambur için çizilen kesme diyagramındaki kanal alanlarından ve/veya programa girilen kuvvet eşitliklerinden yararlanarak, tambura kazı sırasında etkiyen yatay, dikey ve eksenel reaksiyon kuvvetleri ile tork miktarlarını ve değişimlerini hesaplamak-

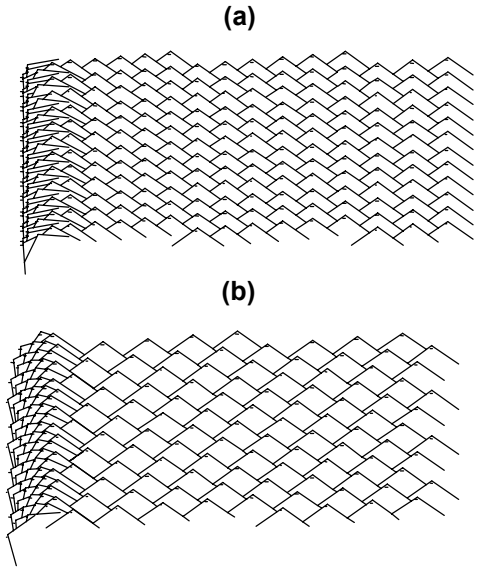
tadır. Bu hesaplamalar, 1°'lik açısal aralıklarla, tamburun 360°'lik bir tam devri için yapılmaktadır. Kazı sırasında her bir açısal aralıkta, kesme sektörü içinde bulunması gereken keski sayısı da, program çıktısı olarak alınmaktadır. Daha sonra, reaksiyon kuvvetleri, tork ve kesme sektörü içindeki toplam keski sayısı değerlerinin değişimi, titreşimi ifade edecek şekilde bir istatistiksel değerlendirmeye de tabi tutulmaktadır.

ORİJİNAL VE YENİ TAMBURLARIN BİLGİSAYAR ANALİZİ

OAL Bölge Müdürlüğü'nde halen kullanılmakta olan orijinal tamburlarla, bunlara alternatif olarak geliştirilen ve yeraltında denenen yeni tamburlar, KDY ve TDY kullanılarak bilgisayar destekli titreşim analizine tabi tutulmuşlardır. Sözkonusu tamburların tasarım özellikleri ile ilgili bilgiler daha önceki çalışmada ayrıntılı olarak verilmiştir (Tiryaki, 2000). Yeraltı deneyleri sırasında ölçülen 3.3 m/dk'lık kesme hızı değeri, orijinal ve yeni tamburlar için yapılan bilgisayar destekli analizde kullanılmıştır.

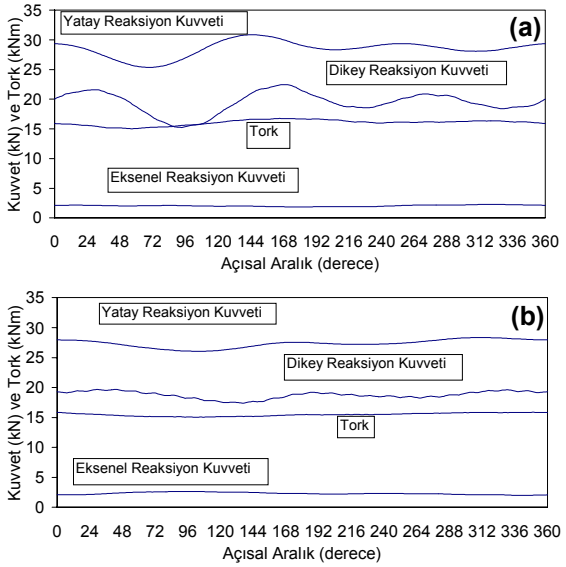
Orijinal ve yeni tamburların, KDY kullanılarak bilgisayarda çizilen kesme diyagramı Şekil 4`te verilmiştir. Kesme diyagramında, orijinal tamburlar üzerinde, özellikle arın keskilerinin kesmekle sorumlu oldukları kömür alanları arasında belirgin farklılıkların olduğu gözlenmektedir. Spiral keskileri ise, verimsiz olduğu laboratuvarda yapılan çalışmalarla kanıtlanan kanal derinleştirme şeklinde kesme yapmak eğilimindedirler. Yeni tamburlar üzerindeki spiral keskilerinin ve arın keskilerinin ise ayrı ayrı kendi aralarında kesmekle sorumlu oldukları kömür alanlarının birbirine yakın olduğu gözlenmekte ve daha verimli kesme yaptıkları görülmektedir.

Orijinal ve yeni tamburlar için ayrı ayrı olmak üzere, TDY kullanılarak hesaplanan ve kazı sırasında bu tamburlara etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimlere karşılık gelen benzetişim verilerinin grafiksel sunumları 180° kesme sektöründe yapılan kazı için Şekil 5'te, 90° kesme sektöründe yapılan kazı için ise Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 5 ve 6'daki verilerin



Şekil 4. KDY tarafından çizilen kesme diyagramları: (a) orijinal tamburlar ve (b) yeni tamburlar

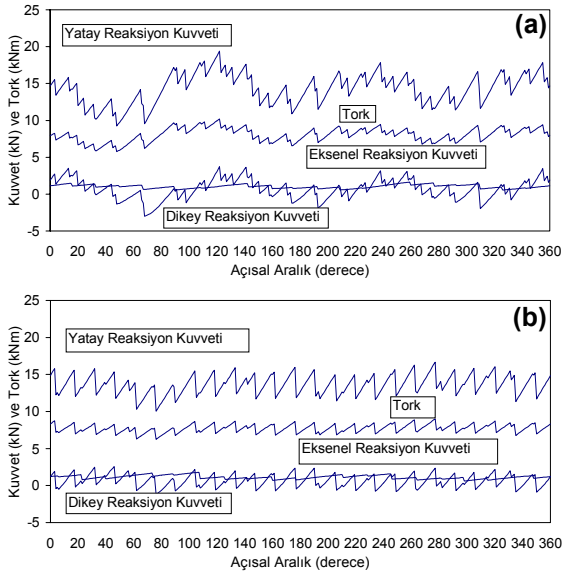
Figure 4. Breakout patterns produced by KDY: (a) original drums and (b) new drums



Şekil 5. Tamburlara 180° kesme sektöründe (kapalı kesme) etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler: (a) orijinal tamburlar ve (b) yeni tamburlar

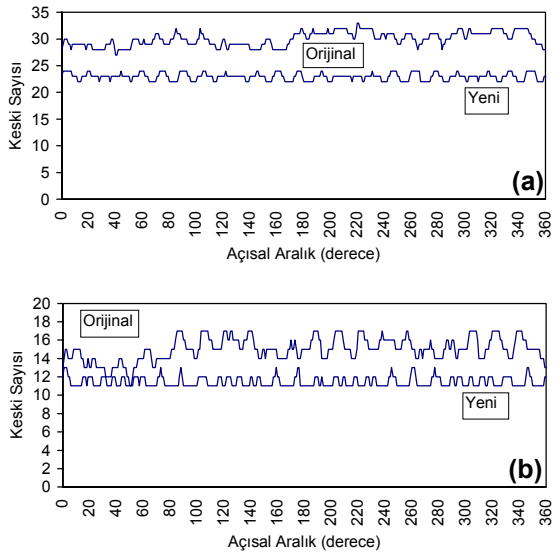
Figure 5. Variations in reaction forces and torque for drums at 180° cut sector (slot milling mode): (a) original drums and (b) new drums

değerlendirilmesi amacıyla yapılan istatistiksel analizin sonuçları Çizelge 1a'da sunulmuştur. Orijinal ve yeni tamburların 180° ve 90° kesme



Şekil 6. Tamburlara 90° kesme sektöründe (yukarı kesme) etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler: (a) orijinal tamburlar ve (b) yeni tamburlar

Figure 6. Variations in reaction forces and torque for drums at 90° cut sector (upmilling mode): (a) original drums and (b) new drums



Şekil 7. Orijinal ve yeni tamburlar için kesme sırasında toplam aktif keski sayısının değişimi: (a) 180° kesme sektörü (kapalı kesme) ve (b) 90° kesme sektörü (yukarı kesme)

Figure 7. Variations in total number of active picks during cutting for the original and the new drums: (a) at 180° cut sector (slot milling mode) and (b) at 90° cut sector (upmilling mode)

sektörleri içinde aktif olarak kesme yapan keskilerinin toplam sayılarındaki değişimler Şekil 7'de verilmiş olup, bunlara ait istatistiksel analizin sonuçları Çizelge 1b'de görülmektedir.

Orijinal ve yeni tamburlar için Çizelge 1a ve b'deki varyans değerleri gözönüne alındığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Yeni tamburlara 180° ve 90° kesme sektörlerinde etkiyen yatay reaksiyon kuvvetlerindeki değişim, orijinal tamburlara oranla yaklaşık olarak %74 ve %61 daha azdır.
2. Yeni tamburlara 180° ve 90° kesme sektörlerinde etkiyen dikey reaksiyon kuvvetlerindeki değişim, orijinal tamburlara oranla yaklaşık olarak %88 ve %59 daha azdır.
3. Orijinal ve yeni 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, bilgisayar analizinde gözönüne alınmamıştır.
4. Yeni tamburların 180° ve 90° kesme sektörlerinde ürettikleri torktaki değişim, orijinal tamburlara oranla yaklaşık olarak %68 ve %67 daha azdır.
5. Yeni tamburların 180° ve 90° kesme sektörlerinde aktif olarak kesme yapan toplam keski sayılarındaki değişim, orijinal tamburlara oranla yaklaşık olarak %72 ve %81 daha azdır.

Bilgisayar destekli analiz uygulaması sonuçlarına göre, yeni tamburların kesme titreşimi açısından orijinal tamburlara oranla daha duraylı oldukları ve kazıda daha verimli kesme yapacakları tahmin edilebilmektedir. OAL İşletmesi yeraltı ocağında, Eickhoff EDW-230 L tipi çift tamburlu kesici-yükleyiciler üzerinde orijinal ve yeni tamburlar kullanılarak gerçekleştirilen yeraltı denemeleri sonucunda, yeni tamburların kesme verimliliği ve kesme titreşimleri açılarından orijinal tamburlara oranla daha verimli ve daha duraylı oldukları görülmüştür (Tiryaki, 2000). Bu sonuçlar, bilgisayar analizi sonuçları ile uyum sağlamaktadır.

Çizelge 1. Kesme titreşimi analizinin istatistiksel değerlendirme sonuçları: (a) reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler ve (b) kazı sırasında aktif olarak kesme yapan keskilerin toplam sayısındaki değişimler

Table 1. Results of the statistical evaluation of cutting vibration analysis: (a) variations in reaction forces and torque and (b) variations in total number of active picks during cutting

(a)

Tamburlar	Kesme sektörü	Yatay reaksiyon kuvveti			Dikey reaksiyon kuvveti			Eksenel reaksiyon kuvveti			Tork		
		Ortalama (kN)	Varyans	En yüksek (kN)	Ortalama (kN)	Varyans	En yüksek (kN)	Ortalama (kN)	Varyans	En yüksek (kN)	Ortalama (kNm)	Varyans	En yüksek (kNm)
Yeni	180°	27.3	0.5	28.3	18.8	0.4	19.7	2.3	0.04	2.6	15.5	0.07	15.9
	90°	13.6	1.6	16.7	0.6	0.7	2.6	1.1	0.06	1.8	7.7	0.28	9
Orijinal	180°	28.5	1.9	30.9	19.4	3.2	22.5	2.1	0.01	2.3	16	0.22	16.8
	90°	14.3	4.1	19.4	0.7	1.7	3.7	1	0.06	1.6	8	0.85	10.2
Anderson	180°	28	4	31.5	19.1	7	23.2	2.5	0.08	3	15.7	0.48	16.8
	90°	14	9.2	21.6	0.7	3.6	5	1.3	0.09	2.3	7.9	1.89	11.3
Eickhoff1	180°	25.9	3.2	28.2	17.8	4.8	21.9	2.3	0.001	2.3	14.7	0.56	15.6
	90°	12.9	12.4	22.1	0.7	7.4	7.9	1.1	0.05	1.7	7.3	1.98	11.2

(b)

Tamburlar	Kesme sektörü	Varyans	Standart sapma	Mod	Ortanca	En yüksek (adet)	En düşük (adet)	Ortalama
Yeni	180°	0.5	0.7	23	23	24	22	22.9
	90°	0.3	0.6	11	11	13	11	11.4
Orijinal	180°	1.8	1.3	31	30	33	27	30
	90°	1.6	1.3	15	15	17	11	15
Anderson	180°	1.4	1.2	22	22	24	20	22
	90°	1	1	11	11	13	9	11
Eickhoff-1	180°	0.8	0.9	17	17	19	15	17
	90°	0.6	0.8	8	8	11	7	8.5

DİĞER BİLGİSAYAR ANALİZİ UYGULAMALARI

Orijinal ve yeni tamburlar için gerçekleştirilen bilgisayar destekli analiz sonuçlarının, yeraltında bu tamburlarla yapılan kesme deneyleri sonucunda elde edilen verilerle örtüştüğünün belirlenmesi üzerine, dünyada mekanik kazı konusunda önder olan bazı firmalar tarafından geliştirilen tamburlara da bilgisayar analizi uygulanmıştır. Bu bölümde, Anderson Strathclyde ve Eickhoff gibi dünyanın belli başlı kesici kafa üretici firmaları tarafından geliştirilen bazı tamburlar için gerçekleştirilen bilgisayar destekli analiz uygulamaları verilmiştir. Analizlerde, sözkonusu tamburların geliştirildikleri dönemlerde, üzerine monte edildikleri tamburlu kesici-yükleyicilerin kazı sırasında ulaştıkları kesme hızları dikkate alınmıştır. Bu anlamda, analize konu olan Anderson Strathclyde tamburlarının üzerine monte edildikleri tamburlu kesici-yükleyicinin ulaştığı kesme hızlarının (en fazla 6-8 m/dk), OAL'de kullanılan çift tamburlu kesici-yükleyicinin ulaştığı kesme hızları ile benzer olduğu belirlenmiştir. Anderson Strathclyde tamburlarını kullanan makina, OAL'de kullanılan makina ile aynı kapasitelere sahiptir. Eickhoff-1 kodlu tamburlar ise, halen OAL'de kullanılmakta olan orijinal tamburlarla birlikte, Eickhoff EDW-230 L tipi tamburlu kesici-yükleyici için Eickhoff firması tarafından geliştirilen farklı keski dizilim düzenlemelerine sahip olan tamburlardır.

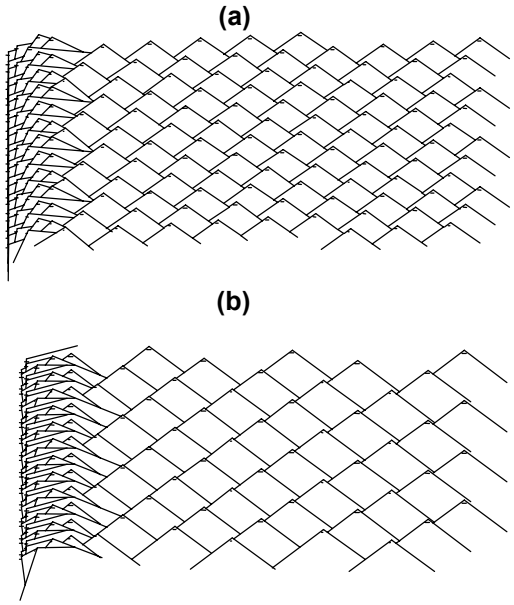
Bilgisayar destekli analize konu olan bu tamburların, spiral sayısı, spiral açısı, sarma açısı, tambur çapı vb. gibi temel yapısal özellikleri, OAL'de halen kullanılmakta olan tamburların özellikleri ile aynıdır. Dolayısıyla, Anderson Strathclyde ve Eickhoff-1 tamburlarının keski dizilim düzenlemelerinin, OAL'de kullanılan tamburların üzerine tümüyle uygulanabilmeleri mümkündür. Bu tamburların, sadece üzerlerine yerleştirilen keskilerin toplam sayıları ve dizilim düzenlemeleri farklıdır. Keskiler arası çevresel uzaklık parametresi dikkate alınmaksızın geliştirilen keski dizilim düzenlemelerine sahip olan Anderson Strathclyde ve Eickhoff-1 tamburlarının tasarım özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Bu belirlemelerden hareketle, keskiler arası çevresel uzaklık parametresi dikkate alınmaksızın geliştirilen keski dizilim düzenlemelerine sahip olan bu tamburlar, bu parametreyi dikkate alarak geliştirilen bir keski dizilim düzenlemesine sahip olan yeni tamburlar ile de karşılaştırılmışlardır. Bu nedenle, sözkonusu tamburların bilgisayar analizlerinde de 3.3 m/dk'lık kesme hızı temel alınmıştır.

Anderson Strathclyde ve Eickhoff-1 tamburlarının, KDY kullanılarak bilgisayarda çizilen kesme diyagramı Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'den, tamburların spiral keskilerinin, her bir keski hattında tek keski bulunması nedeniyle verimli kesme yapmak eğiliminde oldukları görülmektedir. Arın keskilerinin yapmış oldukları işler arasında ise, belirgin farklılıklar bulunmaktadır.

Çizelge 2. Anderson Strathclyde tamburları ile Eickhoff-1 tamburlarının tasarım özellikleri
Table 2. Design specifications of Anderson Strathclyde and Eickhoff-1 drums

Tasarım parametreleri	Anderson	Eickhoff-1
Spiral sayısı	3	3
Tambur üzerindeki toplam keski sayısı	44	34
Keskiler arası çevresel uzaklık	Dikkate alınmamış	Dikkate alınmamış
Spiral Keskileri		
Toplam keski sayısı	25	13
Her bir keski hattı üzerindeki keski sayısı	1	1
Arın Keskileri		
Toplam keski sayısı	19	21
Her bir keski hattı üzerindeki keski sayısı	>1	>1
Köşe keskisinin eğim açısı	55°	62°



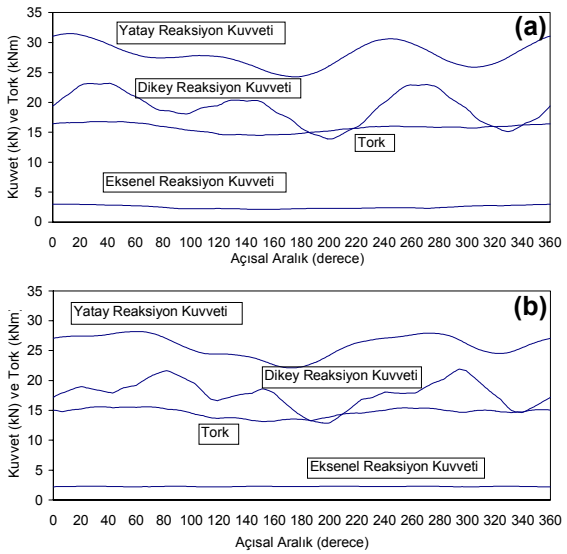
Şekil 8. KDY tarafından çizilen kesme diyagramları: (a) Anderson Strathclyde tamburları ve (b) Eickhoff-1 tamburları

Figure 8. Breakout patterns produced by KDY: (a) Anderson Strathclyde drums and (b) Eickhoff-1 drums

Anderson Strathclyde ve Eickhoff-1 tamburları için ayrı ayrı olmak üzere TDY kullanılarak hesaplanan reaksiyon kuvvetleri ve tork verilerinin grafiksel sunumları 180° kesme sektörü için Şekil 9'da, 90° kesme sektörü için ise Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 9 ve 10'daki verilerin değerlendirilmesi amacıyla yapılan istatistiksel analizin sonuçları Çizelge 1a'da verilmiştir. Anderson Strathclyde ve Eickhoff-1 tamburları için aktif olarak kesme yapan keskilerinin toplam sayılarındaki değişimler, 180° kesme sektörü için Şekil 11'de, 90° kesme sektörü için Şekil 12'de verilmiştir. Şekil 11 ve 12'deki verilerin değerlendirilmesi amacıyla yapılan istatistiksel analizin sonuçları Çizelge 1b'de verilmiştir.

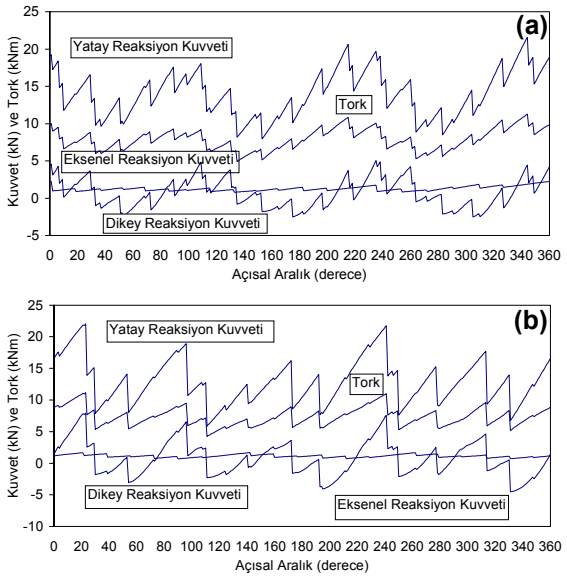
Anderson Strathclyde ve Eickhoff-1 tamburları için Çizelge 1a ve b'deki varyans değerleri gözönüne alındığında, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yeni tamburlara 180° ve 90° kesme sektörlerinde etkiyen yatay reaksiyon kuvvetlerindeki değişim, Anderson Strathclyde tamburlarına oranla yaklaşık olarak %88 ve %83, Eickhoff-1 tamburlarına



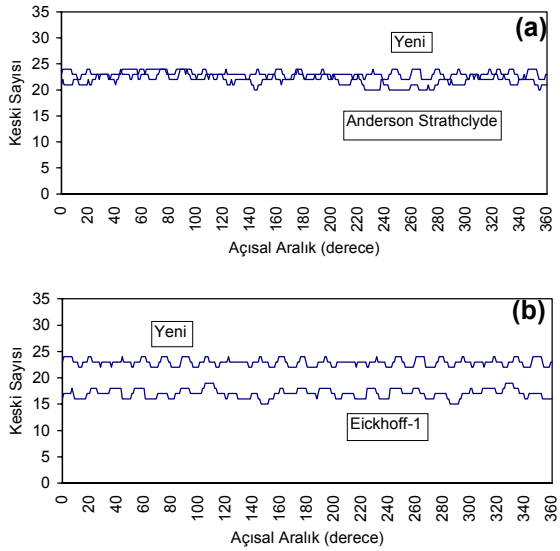
Şekil 9. Tamburlara 180° kesme sektöründe (kapalı kesme) etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler: (a) Anderson Strathclyde tamburları ve (b) Eickhoff-1 tamburları

Figure 9. Variations in reaction forces and torque for drums at 180° cut sector (slot milling mode): (a) Anderson Strathclyde drums and (b) Eickhoff-1 drums



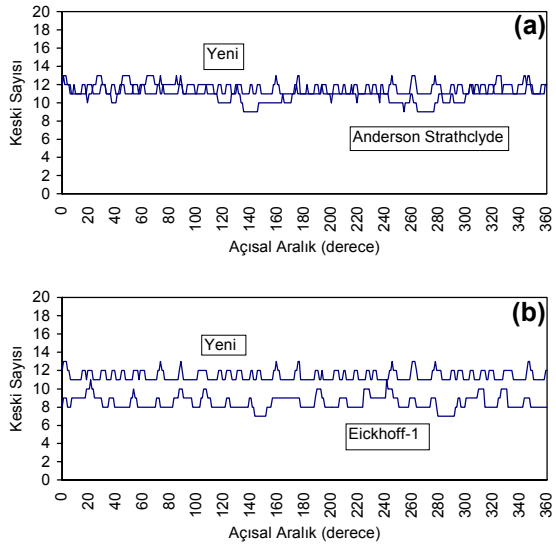
Şekil 10. Tamburlara 90° kesme sektöründe (yukarı kesme) etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler: (a) Anderson Strathclyde tamburları ve (b) Eickhoff-1 tamburları

Figure 10. Variations in reaction forces and torque for drums at 90° cut sector (upmilling mode): (a) Anderson Strathclyde drums and (b) Eickhoff-1 drums



Şekil 11. Yeni tamburlar ile diğer tamburların 180° kesme sektöründeki (kapalı kesme) kazı sırasında toplam aktif keski sayısındaki değişimler temelinde karşılaştırılması: (a) Anderson Strathclyde tamburları ve (b) Eickhoff-1 tamburları ile karşılaştırma

Figure 11. Comparison of the new drums with others on the basis of variations in total number of active picks during cutting at 180° cut sector (slot milling mode): (a) with Anderson Strathclyde drums and (b) with Eickhoff-1 drums



Şekil 12. Yeni tamburlar ile diğer tamburların 90° kesme sektöründeki (yukarı kesme) kazı sırasında toplam aktif keski sayısındaki değişimler temelinde karşılaştırılması: (a) Anderson Strathclyde tamburları ve, (b) Eickhoff-1 tamburları ile karşılaştırma

Figure 12. Comparison of the new drums with others on the basis of variations in total number of active picks during cutting at 90° cut sector (upmilling mode): (a) with Anderson Strathclyde drums and (b) with Eickhoff-1 drums

oranla yaklaşık olarak %84 ve %87 daha azdır.

2. Yeni tamburlara 180° ve 90° kesme sektörlerinde etkiyen dikey reaksiyon kuvvetlerindeki değişim, Anderson Strathclyde tamburlarına oranla yaklaşık olarak %94 ve %81, Eickhoff-1 tamburlarına oranla yaklaşık olarak %92 ve %91 daha azdır.
3. Anderson Strathclyde ve Eickhoff-1 tamburlarına, 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 bilgisayar analizinde gözönüne alınmamıştır.
4. Yeni tamburların 180° ve 90° kesme sektörlerinde ürettikleri torktaki değişim, Anderson Strathclyde tamburlarına oranla yaklaşık olarak %85 ve %85, Eickhoff-1 tamburlarına oranla yaklaşık olarak %88 ve %86 daha azdır.
5. Yeni tamburların 180° ve 90° kesme sektörlerinde aktif olarak kesme yapan toplam keski sayılarındaki değişim, Anderson Strathclyde tamburlarına oranla yaklaşık olarak %64 ve %70, Eickhoff-1 tamburlarına oranla yaklaşık olarak %38 ve %50 daha azdır.

Bilgisayar destekli analizin sonuçlarına göre, yeni tamburların Anderson Strathclyde ve Eickhoff-1 tamburlarına oranla kesme titreşimleri açısından daha duraylı oldukları görülmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

OAL yeraltı ocağında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, tamburlu kesici-yükleyiciler ve tambur tipli kollu kazı makinalarının (continuous miners) kesme verimliliklerini ve kesme titreşimlerini değerlendirmek amacıyla bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu programlar kullanılarak gerçekleştirilen kesme verimliliği ve kesme titreşimi analizlerinin sonuçlarının,

uygulamada elde edilen verilerle iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Bu şekilde, bilgisayar programlarının geçerliliği doğrulanmıştır. Bu uygulamayla, üretici firmalardan satın alınan tamburlar, daha henüz kazıda kullanım aşamasına gelinmeden test edilebilecek ve değerlendirme sonucunda tambur tasarımı açısından karşılaşılabilecek sorunlar giderile-bilecektir. Analiz sonucuna bağlı olarak uygun tambur tasarımının seçilmesi ile de, kazı makinasının yararlı üretim ömrünün ve performansının artması, aşırı titreşimler nedeniyle oluşan makina arızaları sonucunda üretimdeki aksamaların ve yedek parça tüketiminin azalması gibi yararlar sağlanabilecektir.

Bilgisayar destekli analiz uygulamalarının sonuçlarına göre, keskiler arası çevresel uzaklık parametresinin tamburların tasarımında dikkate alınması ile kesme verimliliği ve kesme titreşimleri açılarından önemli yararların sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca, her bir keski hattı üzerine birden çok keski yerleştirilerek oluşturulan dizilim düzenleme-lerinin, kesme verimliliği ve kesme titreşimleri açılarından zararlı sonuçlar oluşturabileceği, bunun yerine her bir keski hattı üzerinde tek keski bulunan dizilim düzenlemelerinin kullanılması gerektiği görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen bilgisayar programları, keski kuvvetlerini kesici kafanın bir tam devri boyunca ulaşılan ilerleme miktarına göre hesaplamaktadır. Bilgisayar program-larında, bir ilerleme/devir değeri için sadece en yüksek kesme derinliği dikkate alındığında, her bir keski hattı üzerinde tek keski bulunan dizilim düzenlemeleri ile her bir keski hattı üzerinde birden çok keski bulunan dizilim düzenlemeleri arasındaki kesme titreşimi farkları ortaya çıkmasına rağmen, hesaplanan ortalama reaksiyon kuvvetleri ve tork düzeyleri benzer değerlere karşılık gelmektedir. Bu durum, her bir keski hattı üzerinde tek keski bulunan, ancak diğer keski dizilim parametreleri farklı olan iki dizilim düzenlemesi bilgisayar analizi ile karşılaştırıldıklarında beklenen bir olgudur. Ancak, uygulamada her bir keski hattı üzerine birden fazla keski yerleştirildiğinde, kesici kafanın bir tam devri sırasında her bir keskiye etkiyen kesme kuvvetleri, her bir keski hattı üzerinde tek keski bulunan dizilim düzenlemesindeki bir keskiye etkiyen kesme kuvvetlerinden daha fazla olmaktadır. Çünkü, kesici kafa üzerindeki bir keskinin kazı sırasında oluşturduğu kanalın her bir açısal aralıkta komşu kanallarla etkileşimi ve dolayısıyla oluşan kesme kuvveti düzeyleri her bir keski hattı üzerinde bulunan keski sayısına bağlı olarak farklı olmaktadır. Bu durum, her bir keski hattı üzerinde birden çok keski bulunan dizilim düzenlemelerinin kesme titreşimi düzeylerinin uygulamada gerçekleşen-den daha düşük olarak tahmin edilmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, her bir keski hattı üzerinde birden çok keski bulunan dizilim düzenlemelerinin kesme titreşimleri açısından duraysız oldukları açıkça ortaya konabilmektedir. Sözkonusu bilgisayar programları, her bir keski hattı üzerinde tek keski bulunan, ancak diğer keski dizilimi parametreleri farklı olan dizilim düzenlemeleri arasındaki kesme titreşimi farklılığını ise, daha net olarak ortaya koymaktadır. Bilgisayar programlarında yukarıda belirtilen konuların gözönüne alınması ile kesme titreşimi analizinin kesinlik derecesinin artacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde mekanik kazı makinalarının metro, tünelcilik ve madencilik sektörlerinde kullanımı son yıllarda yaygınlaşmaktadır. Özellikle metro çalışmalarının kentlerde hızla artan nüfus nedeniyle sürekli olarak geliştirilmesi ve ülkemizin enerji ihtiyacı gözönüne alındığında kömür madenlerinden daha yüksek kapasitelerde verim almak zorunluluğu, mekanik kazının önemini ortaya çıkarmaktadır. Ancak, makina ve yedek parça konusunda hemen tümüyle dışa bağımlı olduğumuz bu konuda elde varolan bilgi birikiminin hayata geçirilmesi ile mekanik kazının sağladığı ekonomik yararlara ulaşmak mümkün olacaktır.

KATKI BELİRTME

Yazar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasındaki yardımları nedeniyle TKİ-OAL Bölge Müdürlüğü'ne, proje destekleri nedeniyle TÜBİTAK MİSAG Başkanlığı'na ve Hacettepe Üniversitesi Araştırma Fonu Başkanlığı'na teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

Cordelier, Ph., and Kadiu, M., 1991. Roadheaders and continuous miners behavior modelling with regards to inclined pick-Evolution towards hard rock cutting. Proceedings of International Symposium on Mine Mechanization and Automation, L. Özdemir, R. King and K. Hanna (eds.), Colorado School of Mines, 1, Golden, Colorado, 1-21/1-58.

Holt, P.B., Morris, C.J., and Owen, R.J., 1984. Desk-top computers for design work. The Mining Engineer, 143(271), 485-489.

Hurt, K.G., and Morris, C.J., 1985. Computer designed cutting heads improve roadheader performance. Tunnels and Tunnelling, March, 37-38.

Hurt, K.G., Morris, C.J., and Mullins, R., 1986. Developments in coal cutting techniques. The Mining Engineer,145(296), 467-477.

Kadiu, M., 1995. Organization of knowledge base in automatic design of drum cutting machines. Proceedings of International Symposium on Mine Mechanization and Automation, L. Özdemir and K. Hanna (eds.), Colorado School of Mines, 1, Golden, Colorado, 10-21/10-30.

Kadiu, M., Sellami, H., and Demoulin, J., 1991. A new conception of clearance ring based on the study of inclined pick behavior. Proceedings of International Symposium on Mine Mechanization and Automation, L. Özdemir, R. King and K. Hanna (eds.), Colorado School of Mines, 1, Golden, Colorado, 1-1/1-10.

Morris, C.J., 1980. The design of shearer drums with the aid of a computer. The Mining Engineer, 140(230), 289-295.

Price, D.L., and Jeffrey, I.C., 1992. Prediction of shearer cutting performance. Proceedings of the 11th International Conference On Ground Control in Mining, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Wollongong, New South Wales, July, 660-666.

Rostami, J, Neil, D.M., and Özdemir, L., 1993. Roadheader application for the Yucca Mountain experimental study facility. Final report for Raytheon Services, Nevada U.S.A., Earth Mechanics Institute, Colorado School of Mines, 122 p.

Tiryaki, B., 1998. Tamburlu kesicilerde keski dizilim parametrelerinin optimizasyonu. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 264 s (yayımlanmamış).

Tiryaki, B., 2000. Keski dizilim parametrelerinin tamburlu kesici-yükleyicilerin performansına etkilerinin incelenmesi. Yerbilimleri, 22.237-246.

Tiryaki, B. ve Hekimoğlu, O.Z., 1998. Mekanik kazı makinalarında kesme titreşimi analizi. Madencilik, 37 (3), 3-18.