

GALERİ AÇMA MAKİNALARINDA KESİCİ KAFA GEOMETRİSİNİN MAKİNANIN PERFORMANSLARINA OLAN ETKİLERİ

Osman Zeki HEKİMOĞLU (*)

ÖZET

Bu tebliğde galeri açma makinalarının kesici kafa geometrilerinin kinematik, dinamik ve enerjik açıdan makinanın performansına olan etkilerinden söz edilmektedir. Sabit koşullar altında yapılan kesme deneylerinin sonuçları hazırlanan bir bilgisayar programı ile çeşitli şekillerdeki kesici kafalara uygulanmış ve elde edilen değerler bazı pratik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Konik şekilli kesici kafalarda tork, yatay itme kuvveti ve bunlara ait titreşimler daha az oluşmakta ise de düşük koniktik açısına sahip kombine şekilli kesici kafalar toz oluşumu ve keskinin omru açısından daha avantajlı olmaktadır. Bu sonuçlar bu tebliğde tanımlanan dizayn koşulları içerisinde geçerlidir. Herhangi bir kesici kafanın kinematik özellikleri normal olarak kafa üzerindeki keskinin sıralanışlarından etkilenmektedir.

ABSTRACT

This paper deals with the influence of cutting head geometry on the performance of roadheader machines with reference to kinematics, dynamics and energetics considerations. Results from a series of cutting trials were applied to a certain number of cutting head geometry with the aid of a computer program and were further related to some practical conditions.

Conical cutting heads were found to exhibit lower torque and slewing force and their associated fluctuations, combined cutting heads with lower cone angles, however, emerge to be more advantageous in terms of respirable dust generation and tool durability. It should be noted that these results are only pertaining to the cutting head conditions defined in this paper. Normally the fluctuations in torque and slewing force are dominated by the lacing pattern employed.

(*) Dr. Maden Yuk. Muh., OAL Müessesesi, Çayırhan - ANKARA.

1. GİRİŞ

Artan enerji gereksinimi karşısında doğal kaynaklardan yararlanma eğilimi tüneller ve kazı teknolojisinin maden ve yapı sektöründeki gelişimini hızlandırmıştır. Yeraltı kömür madenlerinin işletilmesinde çağdaş standartlara uygun olarak üretim kapasitesinin artırılmasına doğru bir eğilim vardır. Bu da mekanize edilmiş yeraltı madencilik sistemlerinin gerçekçi bir şekilde uygulanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Yeni gelişmeler kaydeden kayaç kazı makineleri hem üretim ayaklarında ve hem de galerilerin açılmasında etkin olarak kullanılmaktadırlar. Normal kesme koşullarında makina ile yapılan kazı, geleneksel delme-patlatma yöntemine oranla daha iyi sonuçlar vermiştir.

Nüfus artışı ve yeni yerleşim alanlarının kurulması karşısında ulaşım sorunları da artmıştır. Hızlı ulaşımın sağlanması, özellikle büyük şehirlerde yeraltı ulaşım (metro) sisteminin oluşturulmasıyla mümkün olmaktadır. Bu tür ulaşım sistemleri için gerekli olan tüneller çeşitli kazı makineleriyle açılmaktadır. Delme patlatma yönteminde tünel çevresinde oluşan zayıf zonlar tünel duyarlılığını azaltır ve aynı zamanda istenilen tünel kesitinin elde edilmesini de güçleştirir. Kazı makineleri kullanıldığında bu tür sorunlar pek söz konusu olmamaktadır.

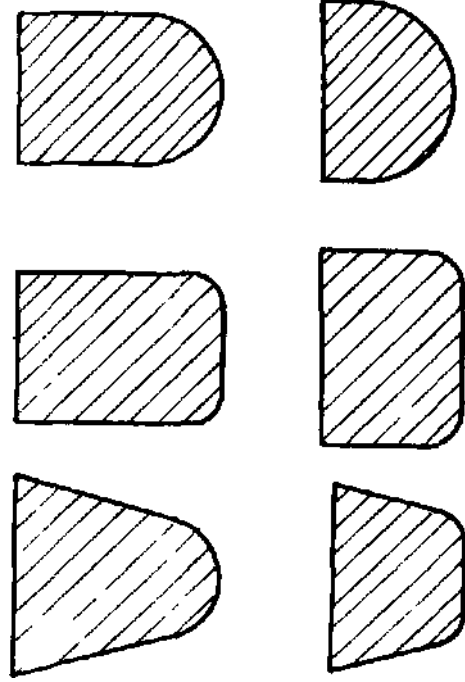
Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji sorununun çözümünde varolan kömür kaynaklarından yararlanmak ve akarsularımız üzerinde yeni barajların yapılması ile birlikte etkin ve hızlı bir ulaşımın sağlanması için gerekli olan tünellerin açılmasında mekanizasyona doğru bir eğilim vardır.

Çağdaş tünel açma makinelerinin daha sert ve çetin kesme koşullarında çalışabilmesi için ağırlıkları ve güçleri arttırılmaktadır. Makinada varolan bu güç artışından verimli olarak yararlanmak için makinanın diğer aksamalarının yanısıra iyi bir kesici kafa dizaynının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. İyi dizayn edilmiş bir kesici kafada enerji verimli olarak kullanıldığı gibi kesme sırasında oluşan titreşimlerde elimine edilerek, makinanın ömrü artar ve zararlı toz oranı da düşer.

Bu tebliğde galeri açma makinelerinde kesici kafa şekillerinin makinanın performanslarına olan etkisi anlatılmaktadır. Belirli koşullar altında bir grup kesici kafanın pratikteki kesme hareketi laboratuvarında incelenerek elde edilen sonuçlar bir bilgisayar programıyla değerlendirilmiş ve bu bilgisayarların ışığında optimum bir kesici kafa şeklinin tanımı yapılmıştır.

2. PRATİKTE RASTLANAN KESİCİ KAFA TİPLERİ

Galeri açma makinalarında pratikte rastlanan kesici kafa tipleri silindirik, konik, küresel ve bu şekillerin kombinasyonu şeklinde olmaktadır (Şekil 1). Bu tebliğde dönme eksenine paralel olan kesici kafalar (Longitudinal cutting heads) dikkate alınmışlardır. Dönme eksenine dik olan kesici kafalara (Transverse cutting heads) bu tebliğde yer verilmemiştir.



Şekil 1. Uygulamada rastlanan kesici kafa geometrileri.

Kesici kafa seçiminde etken olan öğelerden biri de kesme hareketi sırasında düzgün bir tünel duvarının elde edilmesidir. Tünelcilik alanında özellikle beton tahkimat gerektiren kalıcı tünellerde tahkimat maliyetinin düşürülmesi açısından tünel duvarlarının düzgün yüzeyli olması istenir. Şekil 2a'da görüldüğü gibi tünel kesiti ve makina boyutları dikkate alındığında makul ölçüde düzgün tünel yüzeyi oluşturan kesici kafaların dizaynı yapılabilmektedir.

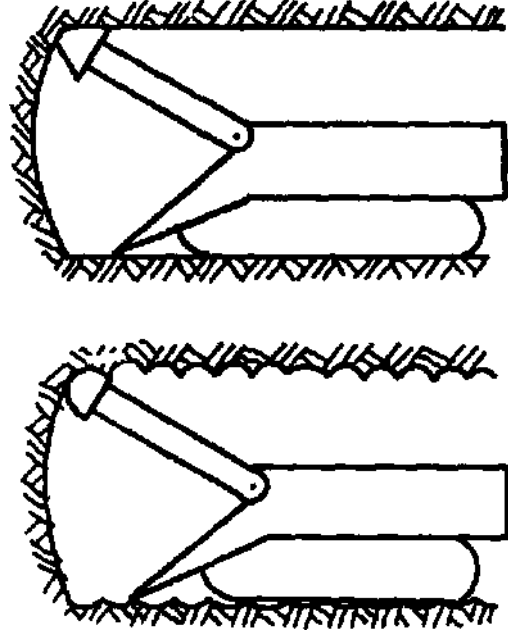
Kesici kafaların profilleri keskinlerin (Kesici bıçakların) uç kısımlarından geçen bir düzlem ile belirlenir. Kafa gövdesi şekil açısından genelde önemli bir rol oynamamaktadır. Bu tebliğde anlatılan kesici kafa şekilleri de bu tanıma uygun olarak verilmiştir.

3. KESİCİ KAFALARIN PERFORMANSLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

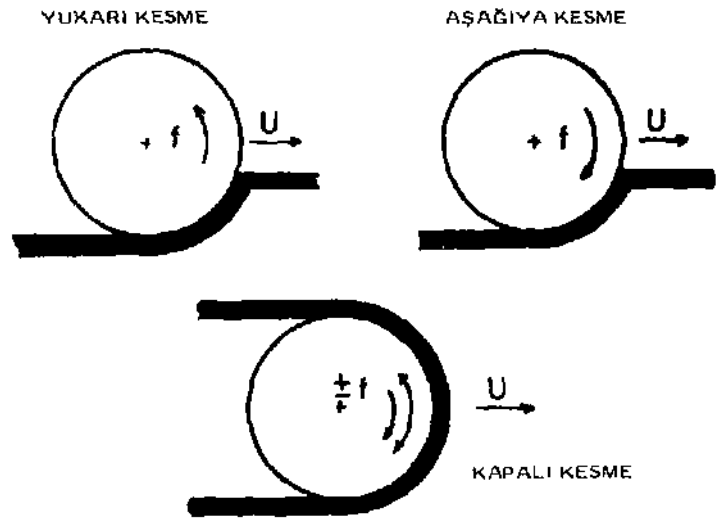
3.1. Kinematik Açıdan

3.1.1. Kesme Derinliği

Kesici kafalar bir ana gövde üzerinde çeşitli konumlarda sıralanan keskinlerden oluşup tüm kafanın hareketi ile kesme işlemini gerçekleştirirler. Söz konusu hareket kesici kafanın kendi eksenine etrafında ve eksenine dik olacak şekilde ileriye



Şekil 2a Kesici kafa şeklinin tunel yüzeyine olan etkisi



Şekil 2b Kesici kafaların kesme şekilleri

doğru olan (Arcing/Traversing) hareketi olmak üzere iki şekildedir. Bu iki hareketin ortak etkileri sonucu kesici kafa bir dönü sırasında değişik düzeyli kinematik ve dinamik etkilerle karşılaşır.

Şekil 3'de görüldüğü gibi dönme hareketi sırasında keski kesme derinliği sürekli olarak bir değişim göstermek edir. Bu derinlik değişimi aşığıdaki gibi tanımlanabilir (1):

$$\ell = \frac{U}{fn} \sin \theta \quad [i]$$

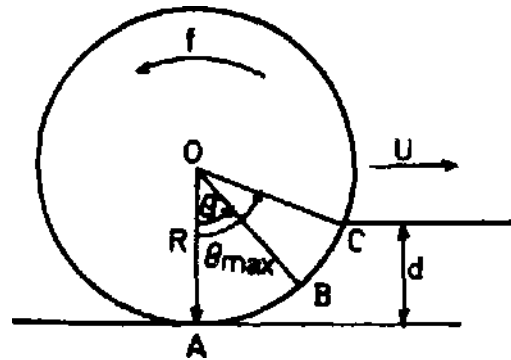
Kesici kafanın kesilen malzeme içersinde olan derinliği dikkate alınırsa,

$$\ell = \frac{U}{fn} \frac{d}{R} \left(\frac{2R}{d} - 1 \right)^{1/2} \quad [2]$$

Burada;

- ℓ : Herhangi bir dönü konumuna (0) karşı gelen kesme derinliği (mm)
- θ : Keski açısal konumu (°)
- U : Kesici kafanın doğrusal hızı (mm/sn)
- f : Kesici kafanın birim zamandaki dönü hızı ya da frekansı (Dönü/sn)
- n : Kafa etrafındaki keski sayısı (adet)
- R : Keski kafanın merkezden keski ucuna dek olan yarıçapı (mm)
- d : Kesici kafanın kesilen malzeme içersinde olan kesme derinliği (mm)

Keski derinliği $\theta = 90^\circ$ deki konumunda en yüksek değerine ulaşır. Herhangibir keskinin etkili kesme uzunluğu h olursa, iyi bir kesme için $h \geq \ell$ olmalıdır.



Şekil 3. kinematik açıdan keski kesme derinliği (Mellor 1975).

Tersi durumunda keski yuvalarının kesilen malzemeye sürtünerek tahrip olması söz konusu olur ve kafa da devre dışı kalır.

Yukarıda sözü edilen değer aşağıdaki şekilde de tanımlanabilir (2):

$$l = D \sin \theta \quad [3]$$

D : Kafanın bir dönü sırasında aldığı yol.

Anılan bu [1, 2 ve 3] eşitlikler, $R \gg D$ olması koşulu ile geçerlidir. Bunun yanı sıra bu tanımlarla verilen keski derinliği itibari olup, kesici kafa dizaynına bağımlı olarak net değerleri de (Şişir '4, 5). Herhangi bir kesici kafa üzerindeki kesimler düzenli spiraller halinde yerleştirilmiş ise 1 ve 2 no'lu ifadelerle belirtilen n değışkeni toplam spiral sayısını veren bir değışkene dönüşür ve sözkonusu keski kesme derinliği aşağıdaki gibi tanımlanır (3, 5):

$$l_{\max} = \frac{D}{n} \quad [4]$$

3.1.2. Keskinin Kesme Sırasında İzledikleri Yol

Kesici kafa yalnızca kendi etrafında döndüğünde keskin kesilen malzemeye göre tam bir daire çizerken kesme yönüne doğru olan ileriye hareketinde ise bir doğruyu izler. Bu iki hareket aynı anda yapıldığı zaman ise keskinin izlediği yol her iki hareketin birbirlerine olan büyüklüklerine göre değışik şekillerde ortaya çıkar. Şekil 3'de görülen kesici kafanın konumu gözönüne alındığında keskinin tarafından izlenen yol daha açık olarak tanımlanabilir. Söz konusu kafa üzerinde bulunan bir keskinin kesmeye başlama hareketi A noktasından itibaren başladığı varsayılırsa bu başlangıç noktasına göre olan ilerleme (Arcing/Traversing) x ekseninde olup buna dik olan hareketi ise y ekseninde gerçekleşir. Kesici kafanın θ açısı değerinde olan bir dönüş sırasında keski, x ekseninde $(U_0/W + R \sin \theta)$ ve y ekseninde $R(1 - \cos \theta)$ kadar bir yol almış olur. Böylece 'yukarıya kesme' (Şekil 2b) hareketiyle kesme yapan bir keskinin koordinatları aşağıdaki gibi tanımlanabilir (1).

$$x = \frac{U_0}{W} + R \sin \theta \quad [5]$$

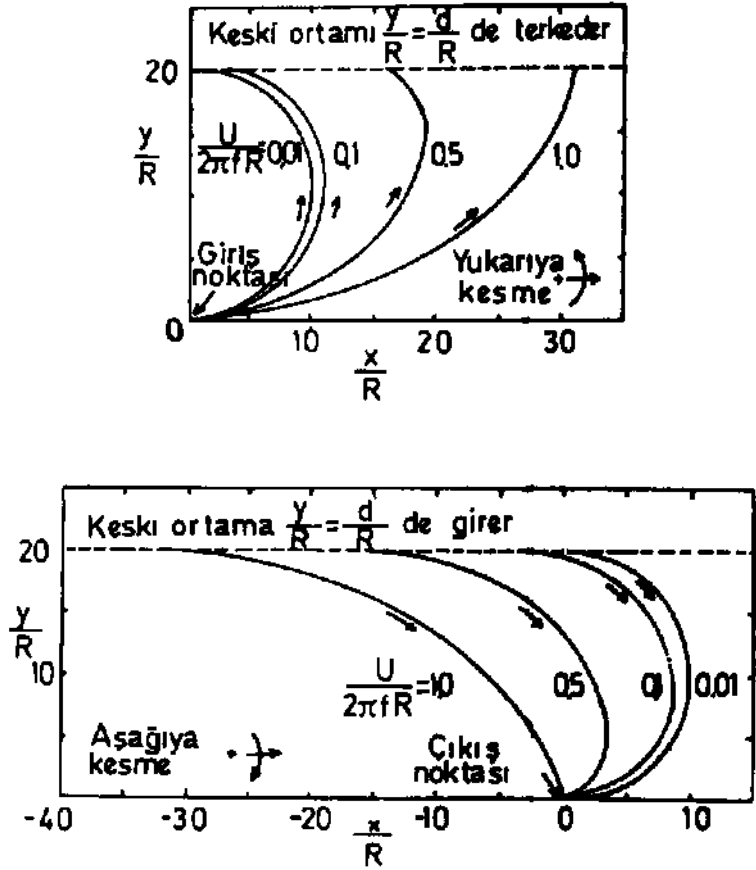
$$y = R(1 - \cos \theta)$$

Burada verilen w açısal hız olup $2\pi f$ değerine eşittir. Benzer şekilde aynı durum 'aşağıya kesme' konumuna göre aşağıdaki gibi verilir:

$$x = -\frac{U_0}{W} + R \sin \theta \quad y = R(1 - \cos \theta) \quad [6]$$

yukarıdaki bağıntılarla verilen kesicilerin x ve y eksenleri boyunca izlediği yolların çeşitli konumları Şekil 4'te verilmiştir. Görüldüğü gibi kesici kafa çapı sabit olduğundan $U/2$ Trf değeri küçük ise izlenen yol ileriye doğru bir hareket şeklindedir. Ters durumda ise keski, dairesel bir yol çizme eğilimindedir. $U/27rf R$ 'nin 1'e yaklaşan değerleri pratikte kullanılan makineler için olanaksızdır. Günümüzde kullanılan makineler için $U/2$ Trf R değeri 0,05 ile 0,005 kapsamı içersindedir.

Keskilerin kesme sırasında çizdikleri yol keski kesme özelliğini önemli ölçüde etkiler. Özellikle konik uçlu keskinin (Point attack picks) dizaynlarında ve kesici kafa üzerine yerleştirilmelerinde bu konular titizlikle gözetilmelidir. Ters durumda keskilere çeşitli konumlarda verilmiş olan açların itibari değerleri etkin değerlerinden oldukça farklılık gösterebilirler.



Şekil 4. Keskilerin kesme sırasında izledikleri yollar (Mellor 1975).

3.2. Dinamik Açıdan

3.2.1. Keskilere Etkiyen Kuvvetler

Kesme hareketi sırasında keskiller bazı kuvvetlerin etkisi altında kalırlar. Etkiyen bileşke kuvvet genel olarak birbirine dik üç ortak bileşene ayrılır. Bunlar, kesme yönünde etkiyen kesme kuvveti (F_c), buna dik normal kuvvet (F_n) ve kesme ile normal kuvvetlerin bulunduğu düzleme dik olan yanıl kuvvettir (F_j). Kesme kuvveti genelde Tork'u belirlerken normal kuvvet ise daha çok kesme kuvveti ile birlikte makinanın genel dizaynında etkinlik gösterir- Yanıl kuvvet genel olarak diğer iki bileşene oranla küçük olup birçok hesaplamalarda gözetilmez. Bu tebliğde de yanıl kuvvet değeri dikkate alınmamıştır.

Keskilere etkiyen kuvvetlerin büyüklüğü kesilen malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri, keskinin dizayn şekli ve kesici kafa üzerindeki dizilimleri gibi faktörlere bağlıdır. Belirli bir kesme işlemi süresince keskiller aşınır ve bu aşınmadan dolayı söz konusu kuvvetler artarak kesme verimini önemli ölçüde düşürürler. Keskinin körelme derecesi F_n/F_c oranı ile tanımlanabilir. Bu oranın büyümesi körelmenin arttığını belirler.

3.2.2. Kesici Kafa ve Makinaya Etkiyen Kuvvetler

Bu tür kuvvetler ve bunların büyüklük dereceleri bireysel keski kuvvetlerinin ortak etkisi sonucu belirlenirler. Kazı sırasında kesici kafanın yemek zorunda olduğu tork (T) kesme kuvvetleri ile ortaya çıkar ve aşağıdaki gibi tanımlanır-

$$T = \sum F_c \cdot r \quad [7]$$

Burada r = Keski ucundan tambur ya da kafanın merkezine olan kesme uzaklığıdır.

Kazı makinalarında kesici kafa ya da tamburu taşıyan elemanlara etkiyen kuvvetler "Dingil kuvvetleri (Axle forces)" olarak bilinir ve bunlar kafanın dönme eksenini üzerinde etkin olurlar (Şekil 5). Yatay (H) ve düşey (V) olmak üzere iki bileşenine ayrılan bu kuvvetler aşağıdaki gibi verilirler :

a) Yukarıya kesme konumunda

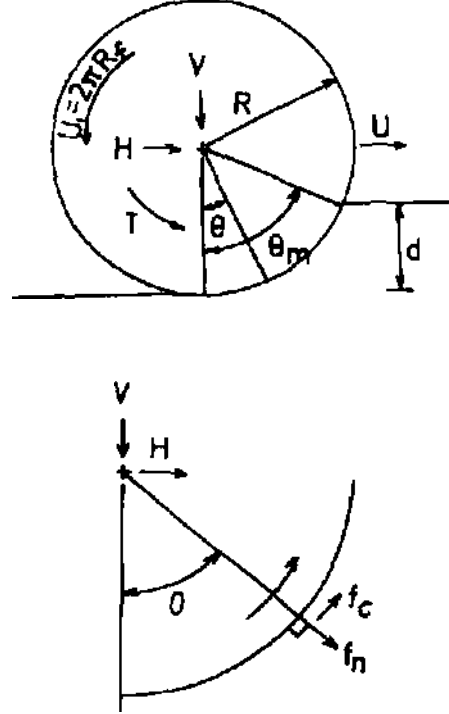
$$H = F_n \sin \theta \cdot \cos \alpha + F_c \cos \theta \quad [8]$$

$$V = F_n \cos \theta \cdot \cos \alpha - F_c \sin \theta \quad [9]$$

b) Aşağıya kesme konumunda

$$H = F_n \sin \theta \cdot \cos \alpha - F_c \cos \theta \quad [10]$$

$$V = F_n \cos \theta \cdot \cos \alpha + F_c \sin \theta \quad [11]$$



Şekil 5. Keski ve dingil kuvvetleri (Mellor 1977)

Burada;

- H** Kesici kafaya kesme yönünde etkiyen yatay dingil kuvveti,
- V** Yatay dingil kuvvetinin yönüne dik olarak etkiyen düşey dingil kuvveti,
- α** Keski eğim açısı

Kesme kuvvetleri (F_c) tegetsel olarak etki ettiklerinden yukarıda tanımlanan açılarından bağımsızdırlar. Normal kuvvetler [F_n] ise radyal yönde etkin olmalarından ötürü bu açığa bağlı olarak değişirler.

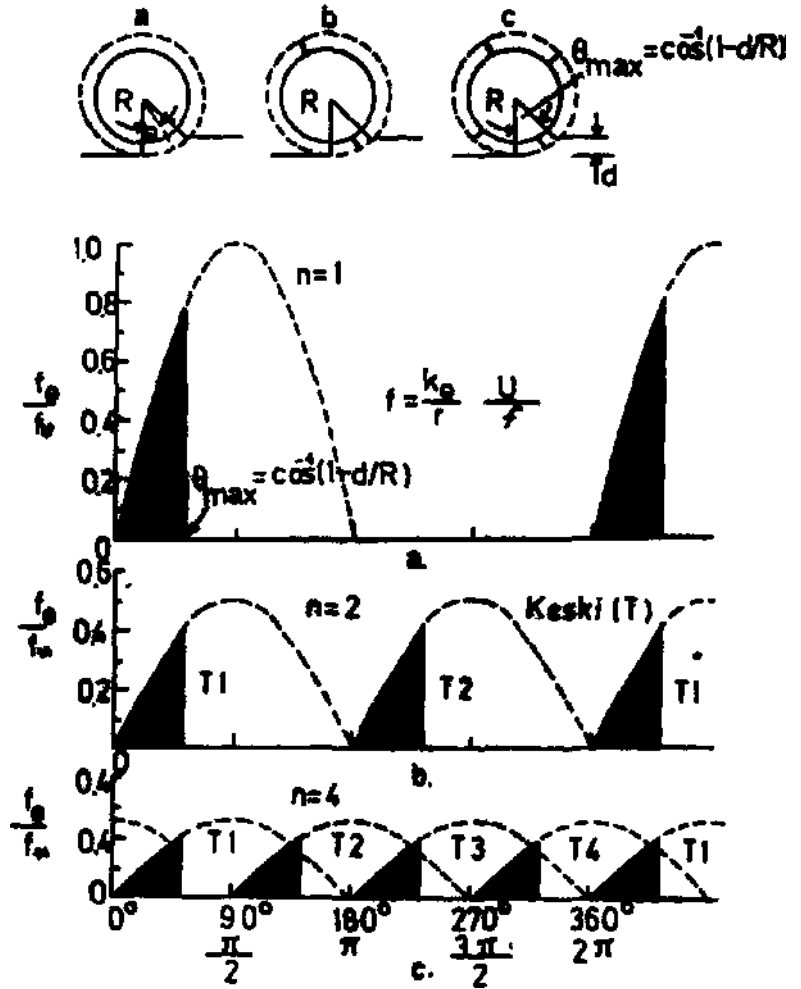
Makina tasarımında dingil kuvvetlerinin değeri büyük bir önem taşır. K'nin büyüklüğü makinanın kazabilme kapasitesini tayin eder. V ise kesici kafanın kesilen malzeme içerisinde kalabilmesini belirler ve makinanın ağırlığı ile dengelenir-

3.23. Kesme Hareketi İle Oluşan Titreşimler

Bir kazı makinasının ömrünü olumsuz yönde etkileyen en önemli faktörlerden biri de kesme sırasında oluşan titreşimlerdir. Kayaçlar genelde homojen bir yapıya sahip olmadıklarından ötürü kesme sırasında metaller gibi bir sürekli kesilme

özelliği göstermezler. Bu nedenle kesme sırasında keski kuvvetleri devamlı alçalma ve yükselmelere maruz kalır. Bunların yanı sıra kafa üzerindeki keski düzenli bir şekilde yerleştirilmedikleri zaman kesme sırasında oldukça yüksek titreşimler oluşur.

Şekil 6'da eni küçük olan ince bir tambur üzerinde çeşitli konumlarda bulunan keskilere etkiyen kuvvetlerin, tamburun 360°'lik bir dönüşü sırasındaki değişimleri görülmektedir (6). Tamburun yukarıya kesme hareketi ile kesme yaptığı varsayılıyor. Eğer tambur üzerinde bir keski bulunuyorsa $F_n = 0$ konumunda kesmeye tam başlamadığından ötürü sıfır değerindedir. F_n 'in V orantılı olduğu varsayılırsa, δ açısı arttıkça kuvvetin değeri de artar ve sonunda keski, ortamda $\delta = \cos^{-1}[1 - (d/R)]$ değerinde iken ayrılır. Bu ana değin artmış olan kuvvet değeri böylece



Şekil 6. Keski kuvvetlerinin bit dönü şurasında keski sayısı ile olan değişimi (Mellor 1977)

aniden tekrar sıfıra düşer ve istenmeyen titreşimlere neden olur. Eğer aynı kesme koşullarında tambur üzerinde simetrik konumlu iki adet keski bulunuyorsa (Şekil 6b, herbir keski derinliği toplam derinliğin (Bir dönü sırasında tamburun aldığı yolun) yarısına düşerek daha küçük keski kuvvetleri oluştururlar. Kesme ortamına giren ve çıkan keski sayısının artmasıyla bom ve kesici kafaya etkiyen dingil kuvvetleriyle tork titreşimleri de azalır. Ancak keski sayısının artmasıyla kesme derinliği azalacağından, kesme verimliliğinin de düşeceği her zaman gözönüne alınmalıdır.

Kafanın kesilen malzeme içerisine olan gömülme derinliği (Kesme sektörü) kesme sırasında oluşan titreşimleri etkileyen başka bir önemli faktördür.

Kazı işlemi 180°'lik kesme sektöründe yapıldığı zaman, aynı koşullarda 90°'lik kesme sektöründe yapılan kazıya oranla daha az ve seyrek titreşimler oluşur. Bu nedenlerden birisi 180°'lik kesme sektöründe kazı ortamında bulunan keski sayısının fazlalığı ve birbirlerine ardışık olarak dengelemeleridir. Diğer bir neden ise aynı 180°'lik kesme sektöründe keski kuvvetlerinin ortama firiş ve çıkışta sıfır değerinde olmalarıdır. 90°'lik kesme sektöründe ise keski kuvvetleri ortama girerken sıfır değerinde olup çıkışta ise en yüksek değerini alırlar ve böylece ani düşüşlerden ötürü yüksek titreşimler oluşur.

Kesme hareketinin aşağıya ya da yukarıya doğru olması da titreşimleri etkiler. 90°'lik kesme sektöründe aşağıya doğru kesme hareketinde her ne kadar yatay dingil kuvvetinin değeri düşük ise de pratikte pek tercih edilmez (6). Çünkü bu konumda kesimler ortama en yüksek kuvvet değerleriyle girip oluşagelen darbe etkileriyle kısa sürede tahrip olabilmektedirler.

3.3. Kesme Enerjileri Açısından

Uygulamada kesme veriminin ölçüsü Özgül enerji (Specific Energy) ile tanımlanır, özgül enerji (Bundan böyle S.E. ile belirtilecektir.) birim hacim ya da ağırlıktaki malzemeyi kesmek için gerekli olan enerji olarak bilinir. Pratikteki makinalar için toplam özgül enerji makinanın toplam güç çıkışının kazılan malzemenin hacmine bölünmesiyle elde edilir. Ancak bu toplam güç çıkışı kafayı döndüren güç (P_R), yatay itme gücü (P_H) ve güç kayıplarının (P_L) toplamına eşittir (6). Ancak, toplam Özgül enerji kesme işlemi ile ilgili olduğundan ve P_L 'nin kesme işlemine herhangi bir katkısının olmamasından ötürü P_U dikkate alınmaz. Bunun yanı sıra birçok koşullarda genel olarak P_H , P_R 'den çok daha küçüktür. Bu nedenle uygulamada P_H de gözletilmez. S.E. böylece aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$S.E. \approx \frac{P_R}{V} \approx \frac{2 \pi f T}{V} \quad [12]$$

$$S.E. \approx \frac{2 \pi f R F_c}{V} \quad [13]$$

Burada;

V : Kazılan malzeme miktarı olup çeşitli kafa şekillerine göre olan hesaplanma şekli Herki bölümlerde verilmiştir.

S.E. kesici kafa dizaynı sırasında kullanılan önemli parametrelerden birisidir. Kesikler arasındaki belli bir mesafe kapsamında S.E. optimum bir değer alır. Ancak bu optimum değerın saptanmasında kinematik özelliklerin kesinlikle gözönüne alınmaları gerekir.

4. KESİCİ KAFA GEOMETRİLERİNDE YAPILAN DEĞİŞİKLİKLERİN MAKİNA VE KESİCİ KAFA ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ

Herhangi bir kesici kafanın dizayn özellikleri kesilecek malzeme ve makinanın kesme kapasitesine göre değişebilir- Uygulamada, kullanma amacına göre birçok kafa dizaynı şekli bulunmaktadır. Kesici kafa geometrilerinin çeşitli dizayn şekillerine göre incelenmesi oldukça uzun ve karmaşık işlemleri gerektirir. Bu nedenle bu tebliğde anlatılan araştırma ve incelemeler belli bir dizayn özelliğine sahip olan kesici kafaların sabit çalışma koşulları altındaki özelliklerini kapsamaktadır.

4.1. İncelenen Kesici Kafaların Teknik ve İşlemsel Özellikleri

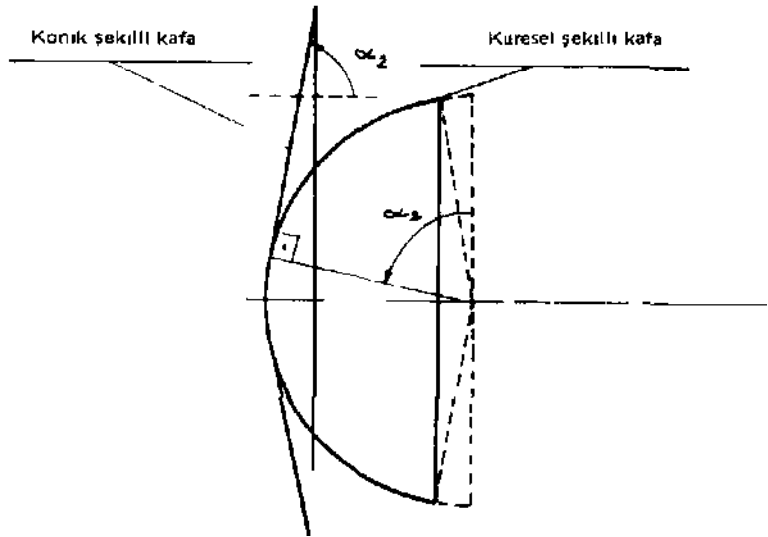
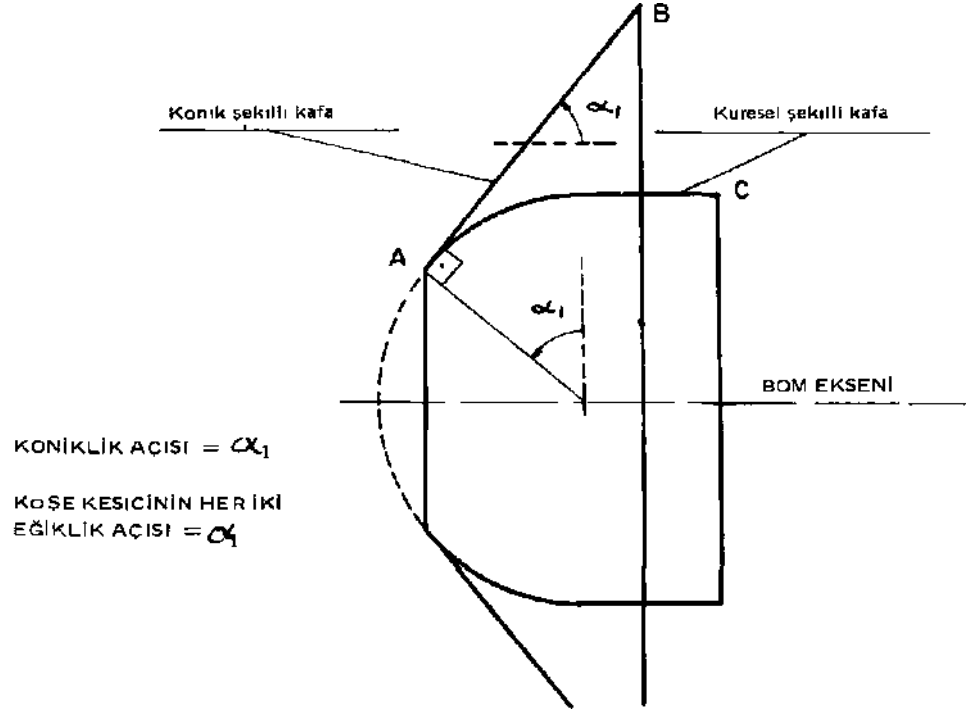
Çalışmalara esas olmak üzere ilk aşamada küresel ve silindirik şekilli kesici kafalar üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu kafalardan elde edilen sonuçlar çeşitli geometrik kombinasyonlardan oluşan diğer kesici kafalara uygulanarak araştırma kapsamının daha geniş boyutlara varması sağlanmıştır, İlk kesici kafaya ait teknik ve çalışma Özellikleri saptanırken uygulamada varolan bazı kesici kafaların özellikleri dikkate alınmıştır.

İlk aşamada incelenen kesici kafalar silindirik ve küresel şekilli olup 16 adet konik uçlu kesiklerin iki spiral halindeki dizilimi ile oluşmuşlardır. Bir halkadaki keski sayısı (Number of pick per line) 1 olarak alınmıştır. Kesme yarıçapı maksimum 44 cm olup kesme işlemi bom tarafından arına doğru olmaktadır. Ayrıca söz konusu kafaların 1 devir/saniyelik bir frekansla 12 mm/devirlik bir ilerleme oranına sahip olduğu varsayılmıştır.

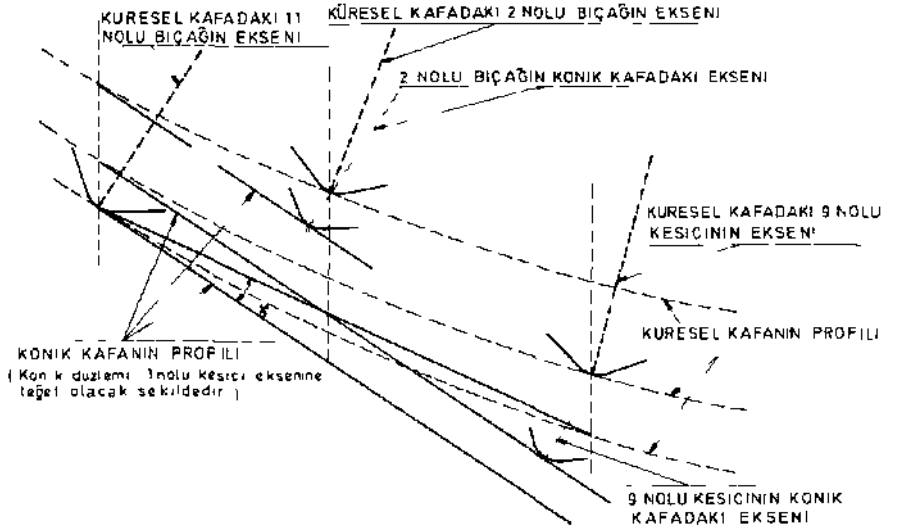
Kesme malzemesi olarak ince taneli, açık renkli ve homojen olan bir kumtaşı (Springwell Sandstone) kullanılmıştır. Söz konusu kayacın tek eksenli basma dayanımı 43 MPa 'dır.

4.2. Küresel Şekilli Kesici Kafalar

Bu tür geometride kesikler 44 cm çaplı bir yarımküre üzerinde çeşitli konumlarda yerleştirilmişlerdir. Burundaki en son keskinin (köşe kesicinin) eğiklik açısı 87° olup bu değerlerden başlayarak keski sayısını ve diğer özellikleri sabit tu-



Şekil 7. Konik şekilli kafaların turedüş şekli,



Şekil 9. Kesici bıçak konumlarının küresel ve konik kafalardaki durumu.

Yani 2 no'lu keski küresel kafada iken aldığı konumun biraz daha altına karşı gelen bir pozisyona gelmiş olur. Bu değişikliğin etkenliği, keski arasındaki uzaklık ile keski kafanın küresellik yarıçapı arasındaki orana bağlıdır (5). Keski kafa çapının büyük ve bıçaklar arasındaki eşit uzaklığın burada küçük alınması nedeniyle bu konum değişikliği ihmal edebilir. Böylece 2 no'lu keski daha Önceki kesme konumuna ait özelliklerini korumuş olur. Bu durumda küresel kafalardan elde edilen kuvvetli değerleri, yukarıda anlatılan tarzda türetilen konik şekilli kesici kafalara uygulanabilir.

Anılan bu konik şekilli kafalarda bulunan keski eşit aralıklarda ve «şit eğim açıları ile dizildiklerinden aynı konumda kesme yaparlar. Bu durumda bunlara etkiyen kuvvet değerleri aynıdır. Bunun yansıması bu tip İdeal konik kafalar uygulamada pek yaygın değildir. Ancak bir karşılaştırma yapma amacıyla değinilmiştir.

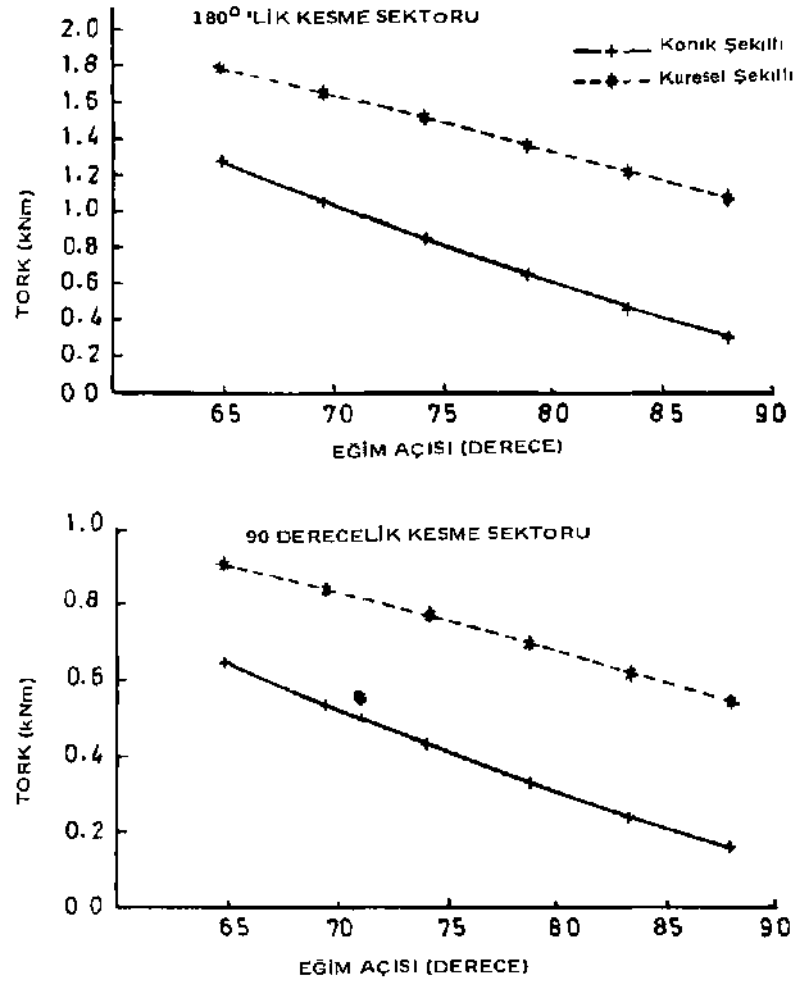
4.4. Küresel ve Konik Şekillerin Kombinasyonu ile Elde Edilen Kesici Kafalar

Bu tür kesici kafalar küresel ve konik şekillerin kombinasyonu ile oluşup bu İki geometrinin ortak kesme özelliklerini taşır. Yani kafanın küresel kısmı normal bir küresel şekilli kafa gibi keserken, konik kısmı da normal bir konik kafa gibi davranır. Bu tür kafa geometrileri pratikte en çok rastlanan tipler olup, kafanın

şekli konik ya da silindirik bir şekilde başlayıp buruna doğru gidildikçe küresel bir şekil alır. Şekil 8'de görüldüğü gibi herhangi bir sabit köşe açısında çeşitli kombinasyonlar oluşmaktadır. Bütün bu işlemler sırasında kesici kafanın çevre uzunluğu (KL) sabit kalmaktadır.

4.5. Gözetilen Parametreler ve Bunların Hesaplanma Yöntemleri

Kesici kafaların karşılaştırılmalarında tork, yatay itme kuvveti (Slewing force) ve bunların titreşimleri, kazılan kayaç miktarı ve Özgül enerji gibi parametreler gözetilmiştir. Bunların sunulan değerleri ise kafanın bir dönü sırasında elde edilen değerleridir. Hesaplamalar uzun işlemler gerektiğinden Fortran IV diliyle yazıl-



Şekil 10. Köşe kesicinin eğim açısı ile tork'un değişimi.

miş bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Verilen sonuçlar bu programdan elde edilen değerlerdir. Keski kuvvetleri ise laboratuvarından elde edilen sonuçlara dayanmaktadır.

Hesaplamalar genel bir karşılaştırma amacına dayandığından bazı karmaşık konular yapılan varsayımlarla basite indirgenmiştir, örneğin keski kuvvetlerindeki tepe değerler (Peak values) dikkate alınmayıp yalnızca ortalama kuvvet değerleri gözletilmiştir. Herhangibir andaki kesme derinliğine eşdeğer olan eski kuvvetleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır :

$$F = F_m \ell / D \quad [14]$$

Burada;

- F** : Maksimum kesme derinliğindeki keski kuvveti,
 ℓ : Herhangi bir θ açısı konumundaki kesme derinliği,
D : Kafanın bir dönü sırasında aldığı ve maksimum kesme derinliğine eşit olduğu varsayılan yol.

özgül enerjinin hesaplanması için gerekli olan kesilen kayaç miktarı kafanın bir dönü sırasındaki süpürdüğü hacim olarak tanımlanır.

Bu tebliğde incelenen kesici kafalara ait söz konusu hacim aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

a) Küresel şekillü kafalar için

$$V_s = D R^2 \left[\frac{n (\alpha_2 - \alpha_1)}{360} \right] + \frac{(\sin 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_1)}{4} \quad [15]$$

b) Konik şekilli kesici kafalar için

$$V_c = D S \cos \alpha \left(R_L + \frac{S \sin \alpha}{2} \right) \quad [16]$$

c) Kombine şekilli kesici kafalar için

$$V_{co} = V_s + V_c \quad [17]$$

Burada;

- R** : Küresel şekilli kafalardaki maksimum çap (m)
 α_2 : Küresel şekilli kafalardaki en son keskinin eğiklik açısı (Derece)
 α_1 : Küresel şekilli kafalardaki ilk keskinin eğiklik açısı (Derece)
S : Konik şekilli kafanın ilk ve son keski uçları arasındaki uzaklığı (m)
R : Konik şekilli kafadaki en son bıçağın kesme yarıçapı (m)

Yukardaki bağıntılar, hazırlanan bilgisayar programına uygun olarak verilmiştir. Söz konusu program herbir kesici kafaya ait keski kuvvetleri ve kesme yarıçapları ile keskinin eğiklik açılarını bir liste halinde yazmaktadır. Bunun yanı sıra herbir kesici kafaya ait özgül enerji, tork, yatay itme kuvveti ve kazılan malzeme miktarını 90 ve 180 derecelik kesme sektörlerine göre standart sapma değerleri ile birlikte vermektedir (Ek - 1). Tork ve yatay itme kuvvetlerindeki titreşim-

DETAILS OF THE CUTTING HEAD INVESTIGATION

HEAD GEOMETRY : 90 DEGREE
 TILT ANGLE OF THE CHAMFER CUTTING TOOL : 78 DEGREE
 CUTTING RADIUS AND FORCE LEVELS AT EACH CUTTING TOOL

TOOL NO	TILT ANGLE (DEGREE)	CUTTING RADIUS (MM)	FCP (MM)	WFP (MM)
1	78.84	0.0611	0.87	1.05
2	69.43	0.0782	1.02	1.18
3	61.42	0.0940	1.16	1.27
4	58.18	0.1108	1.30	1.37
5	51.38	0.1241	1.43	1.44
6	50.83	0.1405	1.55	1.57
7	48.38	0.1586	1.67	1.64
8	44.47	0.1883	1.79	1.74
9	37.04	0.1728	1.82	1.82
10	32.41	0.1682	2.98	1.89
11	27.78	0.1572	2.04	1.85
12	23.35	0.1388	2.10	2.00
13	18.82	0.1214	2.38	2.00
14	13.49	0.1164	2.30	2.07
15	9.28	0.2200	2.23	2.10
16	4.83	0.2222	2.25	2.14

CALCULATED PARAMETERS
 TORQUE = 0.0 (MM) : 1.52815 + 0.12818 + 0.76000
 SLIDING FORCE = 0.0 (MM) : 1.68133 + 0.8985 + 0.11655 + 0.86228 + 0.67650
 VOLUME SHEAR (CMM) : 0.000330
 SPECIFIC ENERGY (MJ/CMM) : 11.8392

DETAILS OF THE CUTTING HEAD INVESTIGATION

HEAD GEOMETRY : 90 DEGREE
 TILT ANGLE OF THE CHAMFER CUTTING TOOL : 81 DEGREE
 CUTTING RADIUS AND FORCE LEVELS AT EACH CUTTING TOOL

TOOL NO	TILT ANGLE (DEGREE)	CUTTING RADIUS (MM)	FCP (MM)	WFP (MM)
1	81.82	0.0948	1.16	1.27
2	74.82	0.1274	1.18	1.27
3	64.82	0.1437	1.18	1.27
4	58.82	0.1388	1.18	1.27
5	54.82	0.1382	1.18	1.27
6	54.82	0.2000	1.18	1.27
7	54.82	0.2000	1.18	1.27
8	54.82	0.2000	1.18	1.27
9	54.82	0.2000	1.18	1.27
10	54.82	0.2000	1.18	1.27
11	54.82	0.2000	1.18	1.27
12	54.82	0.2000	1.18	1.27
13	54.82	0.2000	1.18	1.27
14	54.82	0.2000	1.18	1.27
15	54.82	0.2000	1.18	1.27
16	54.82	0.2000	1.18	1.27

CALCULATED PARAMETERS
 TORQUE = 0.0 (MM) : 1.12021 + 0.80139 + 0.84001 + 0.11665
 SLIDING FORCE = 0.0 (MM) : 0.83124 + 0.89989 + 0.83081 + 0.56022
 VOLUME SHEAR (CMM) : 0.000391
 SPECIFIC ENERGY (MJ/CMM) : 11.8913

DETAILS OF THE CUTTING HEAD INVESTIGATION

HEAD GEOMETRY : 90 DEGREE
 TILT ANGLE OF THE CHAMFER CUTTING TOOL : 87 DEGREE
 CUTTING RADIUS AND FORCE LEVELS AT EACH CUTTING TOOL

TOOL NO	TILT ANGLE (DEGREE)	CUTTING RADIUS (MM)	FCP (MM)	WFP (MM)
1	83.81	0.0079	0.82	0.89
2	83.34	0.0218	0.87	0.91
3	78.71	0.0816	0.73	0.83
4	76.08	0.0811	0.87	1.05
5	68.86	0.0182	1.02	1.16
6	64.82	0.0948	1.16	1.27
7	60.17	0.1108	1.30	1.27
8	55.54	0.1242	1.43	1.48
9	50.93	0.1405	1.55	1.57
10	46.30	0.1548	1.67	1.64
11	41.67	0.1685	1.79	1.74
12	37.04	0.1728	1.82	1.82
13	32.41	0.1892	2.98	1.89
14	27.78	0.1922	2.04	1.85
15	23.15	0.2038	2.04	1.85
16	18.52	0.2100	2.04	1.85

CALCULATED PARAMETERS
 TORQUE = 0.0 (MM) : 1.04473 + 0.12158 + 0.53485 + 0.12826
 SLIDING FORCE = 0.0 (MM) : 0.38954 + 0.48731 + 0.71145 + 0.67640
 VOLUME SHEAR (CMM) : 0.000380
 SPECIFIC ENERGY (MJ/CMM) : 11.8688

DETAILS OF THE CUTTING HEAD INVESTIGATION

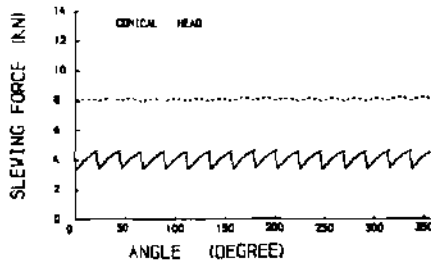
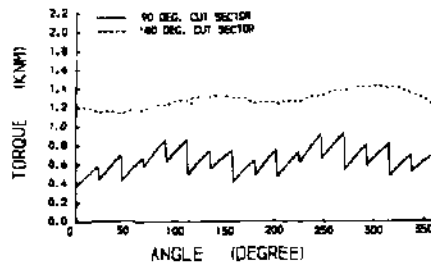
HEAD GEOMETRY : 90 DEGREE
 TILT ANGLE OF THE CHAMFER CUTTING TOOL : 84 DEGREE
 CUTTING RADIUS AND FORCE LEVELS AT EACH CUTTING TOOL

TOOL NO	TILT ANGLE (DEGREE)	CUTTING RADIUS (MM)	FCP (MM)	WFP (MM)
1	84.82	0.0948	1.16	1.27
2	80.18	0.1108	1.30	1.27
3	76.54	0.1388	1.43	1.48
4	70.93	0.1465	1.55	1.57
5	66.30	0.1580	1.67	1.64
6	61.67	0.1665	1.79	1.74
7	57.04	0.1779	1.82	1.82
8	52.41	0.2002	1.80	1.89
9	47.78	0.2072	2.04	1.85
10	43.15	0.2050	2.10	2.00
11	38.52	0.2184	2.10	2.00
12	33.89	0.2184	2.28	2.07
13	29.26	0.2127	2.25	2.10
14	24.63	0.2232	2.25	2.14
15	20.00	0.2232	2.25	2.14
16	15.37	0.2251	2.25	2.14

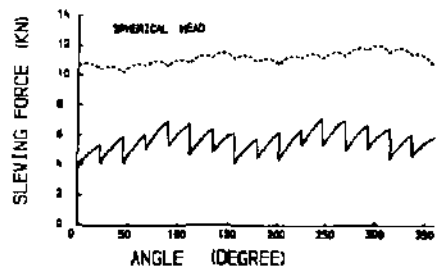
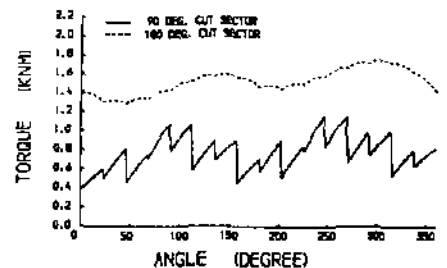
CALCULATED PARAMETERS
 TORQUE = 0.0 (MM) : 1.00500 + 0.11257 + 0.09061 + 0.12656
 SLIDING FORCE = 0.0 (MM) : 1.15012 + 0.13884 + 0.08583 + 0.04863
 VOLUME SHEAR (CMM) : 0.000396
 SPECIFIC ENERGY (MJ/CMM) : 11.8654

Ek 1

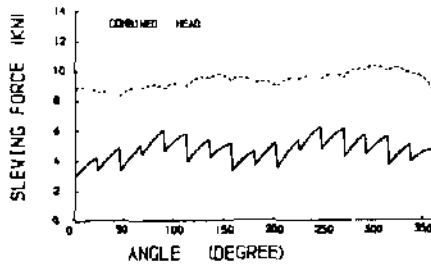
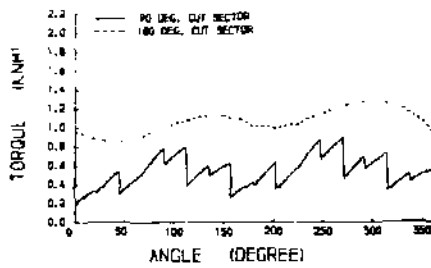
1er ise kafanın bir dönü sırasındaki ve birer derecelik aralıklara karşı gelen değerlerin standart sapmasıdır. Bu bir derecelik aralıklara ait titreşimler çeşitli kafalara göre ayrıca grafiğe geçirilmiştir (Ek - 2),



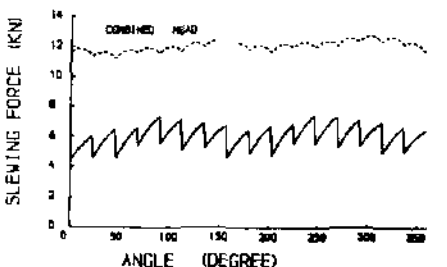
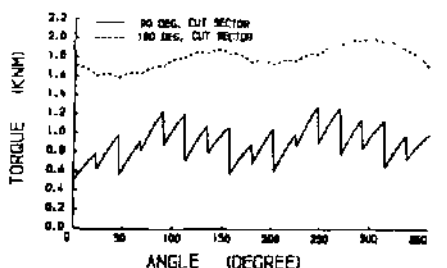
FLUCTUATIONS IN TORQUE AND SLEWING FORCE,
TILT ANGLE OF THE CORNER CUT. TOOL, 64.82 DEG.
CONE ANGLE OF THE CUT. HEAD , 64.82 DEG.



FLUCTUATIONS IN TORQUE AND SLEWING FORCE,
TILT ANGLE OF THE CORNER CUT. TOOL, 74.08 DEG.
TILT ANGLE OF THE FIRST TOOL , 64.65 DEG.



FLUCTUATIONS IN TORQUE AND SLEWING FORCE,
TILT ANGLE OF THE CORNER CUT. TOOL, 87.97 DEG.
CONE ANGLE OF THE CUT. HEAD , 27.78 DEG.



FLUCTUATIONS IN TORQUE AND SLEWING FORCE,
TILT ANGLE OF THE CORNER CUT. TOOL, 64.82 DEG.
CONE ANGLE OF THE CUT. HEAD , 64.65 DEG.

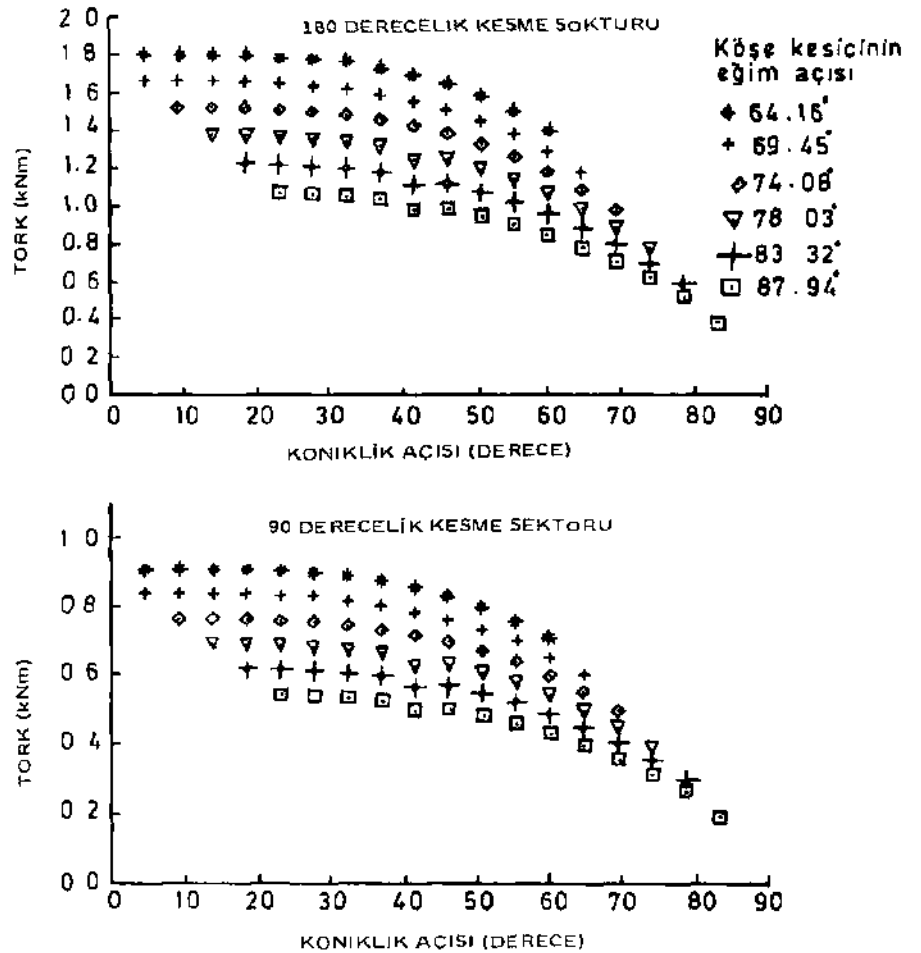
Ek-2.

4.6. İncelemelerden Elde Edilen Sonuçlar

4.6.1. Kesici Kafa Geometrisinin Tork Üzerinde Olan Etkileri

Küresel ve konik şekilli kesici kafalarda Şekil 10'da görüldüğü gibi köşe kesicinin eğiklik açısı arttıkça tork düşmektedir. Konik şekilli kesici kafaların tork değeri küresel şekillere oranla daha küçük olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum kuşkusuz, her iki tip kafadaki kesici kuvvetleri ve bunlara karşı gelen kesme yarıçaplarının farklı değerlerinden kaynaklanmaktadır. Konik şekilli kafalarda keski kuvvetleri hep aynı kalırken kesme yarıçapları ise küresel kafalara oranla biraz daha büyüktür. Küresel kafalarda ise keski kuvvetleri daha büyüktür.

Kombine şekilli kafalarda ise küresel şekilden konik şekle doğru gidildikçe tork değerlerinde kademeli bir düşüş gözlenmektedir (Şekil 11). Bu durum küresel ve konik şekilli kesici kafaların yukarıda açıklanan özelliklerinin ortak etkisinden ileri gelmektedir.

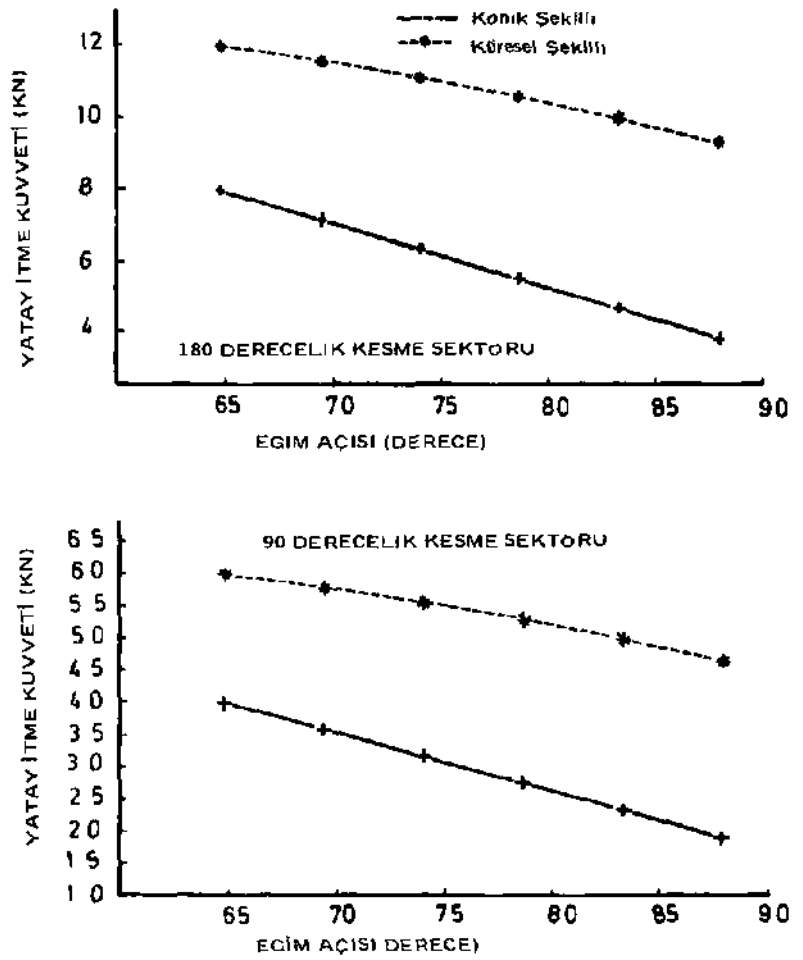


Şekil 11 Kombine şekilli kesici kafalarda tork'un koniklik açıları'ile değişimi.

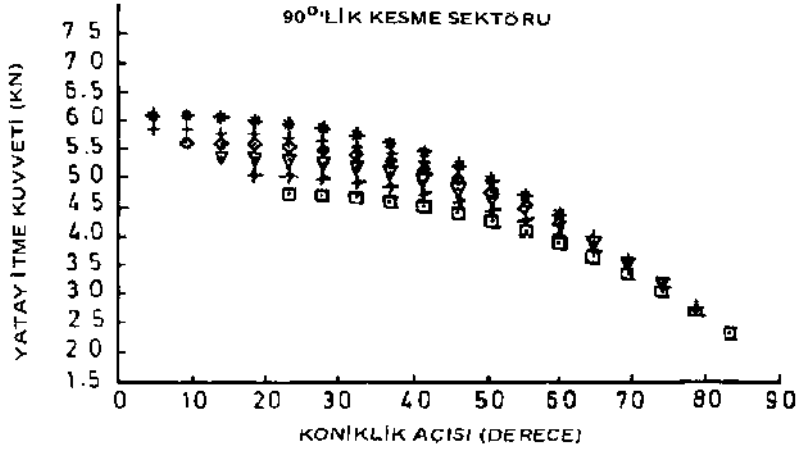
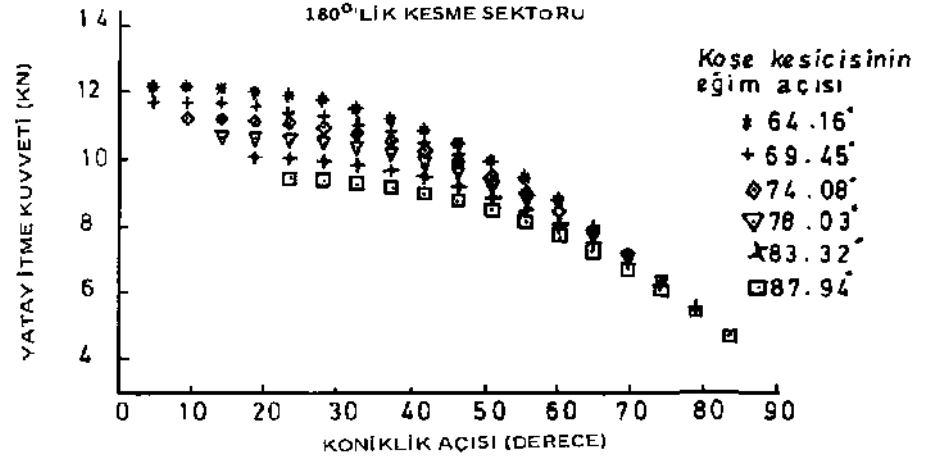
4.6.2. Kesici Kafa Geometrilerinin Yatay İtme Kuvvetine Olan Etkileri

Yatay itme kuvveti küresel ve konik şekilli kesici kafalarda, köşe kesicinin eğiklik açısı arttıkça bir azalma göstermektedir. Konik şekilli kesici kafalardaki yatay itme kuvveti daha düşük olup aynı zamanda daha hızlı bir azalma göstermektedirler (Şekil 12) Bu durum, konik şekilli kesici kafalardaki keski kuvvetlerinin daha az olmasından kaynaklanmaktadır

Kombine şekilli kesici kafalarda ise küresel ve konik şekillerin ortak etkisiyle, kafanın koniklik açısı ve köşe kesicinin eğiklik açısı arttıkça yatay itme kuvveti azalmaktadır (Şekil 13).



Şekil 12 Yatay itme kuvvetinin köşe kesicinin eğim açısı ile olan değişimi

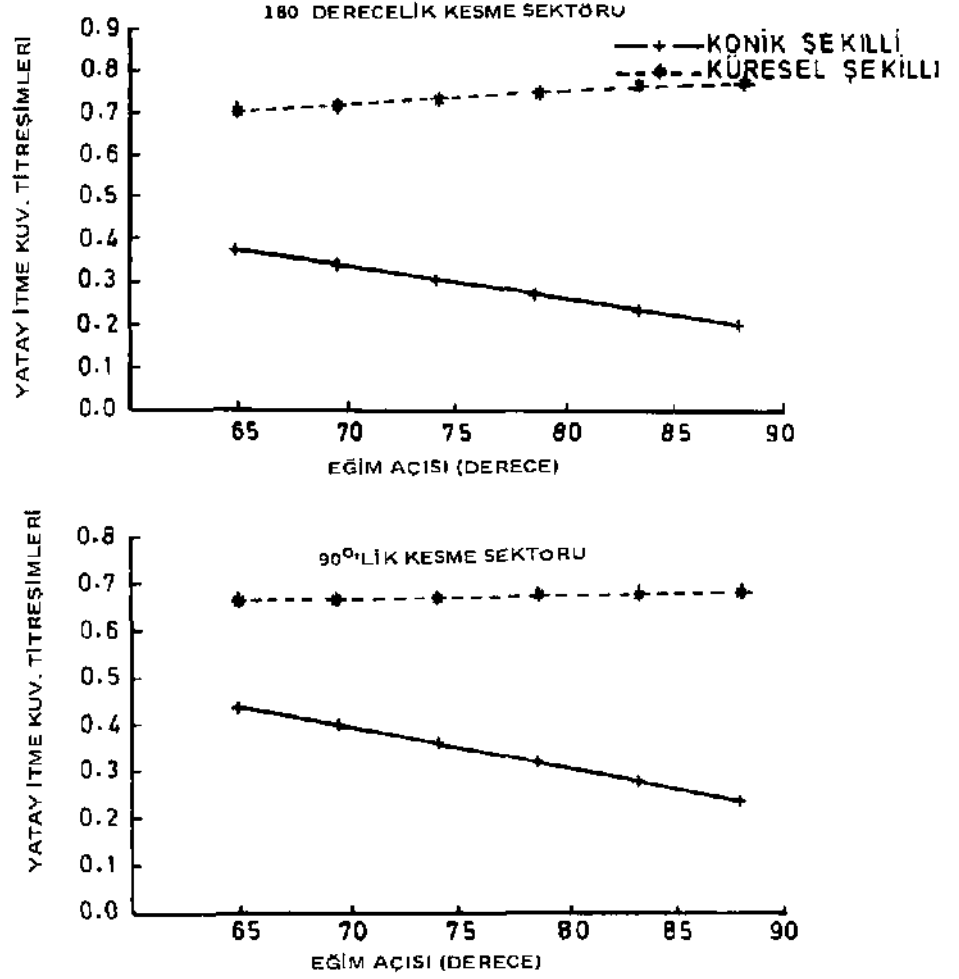


Şekil 13. Kombine şekilli kesici kafalarda yatay itme kuvvetinin koniklik açılan ile değişimi.

4.6.3. Tork ve Yatay İtme Kuvvetiyle Oluşan Titreşimler

4.6.3.1 Yatay İtme Kuvvetindeki Titreşimler

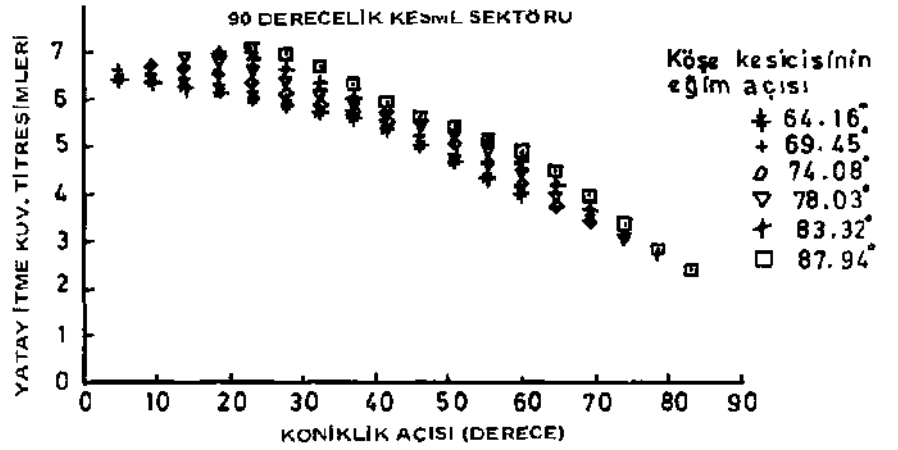
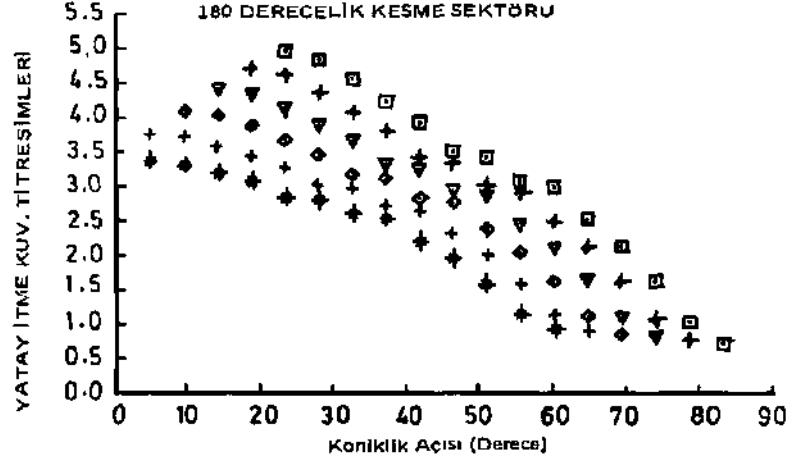
Şekil 14'te görüldüğü gibi küresel şekilli kesici kafalardaki titreşimler köşe kesicinin eğim açısı arttıkça sabit denilebilecek bir eğilim göstermektedirler. Yatay İtme kuvveti bu tür kafalar için köşe kesicilerin eğim açıları ile azalırken titreşimler bu durumdan pek etkilenmemektedir. Bu durum keski kuvvetlerindeki net farklılıklardan ilert gelmektedir. Küresel kafalar ile yapılan laboratuvar çalışmalarında keski kuvvetlerin, köşe kesicilerin eğim açılarının artışıyla düştüğü ve yüksek açı değerlerinde ise bu düşüşün daha hızlı olduğu görülmüştür (5). Bu nedenle yüksek eğim açısı değerlerinde keski kuvvetleri arasındaki net farklılık daha fazladır ve bu durum titreşimlerin artmasına neden olmaktadır.



Şekil 14. Yatay itme kuv. titreşimlerinin köşe kesicinin eğim açısı ile olan değişimleri.

Konik şekilli kesici kafalarda yatay itme kuvvetindeki titreşimler kafanın koniktik açısına bağlı olarak azalmaktadır (Şekil 14). Bu durum bu tür kafalardaki keski kuvvetlerinin birbirine eşit olmalarından kaynaklanmaktadır. Kafanın koniktik açısı arttıkça keski kuvvetleri de aynı ölçüde birlikte azalmaktadır. Bu düşüş, yatay itme kuvvetindeki azalma ile orantılı olarak olmaktadır.

Kombine şekilli kesici kafalarda ise, koniklik açısı ve köşe kesicinin eğim açısı arttıkça titreşimlerde düşmektedir (Şekil 15). Söz konusu açıların düşük değerlerinde genel olarak silindirik - küresel şekiller hakimdir. Bu açı değerlerinin artışıyla küresel - konik şekiller daha belirgin olmaktadır. Bu titreşimlerin davranırını anılan şekillerin ortak etkileri sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 15. Kombine şekilli kesici kafalarda yatay itme kuvveti titreşimlerinin kafanın koniklik açılan ile değişimi.

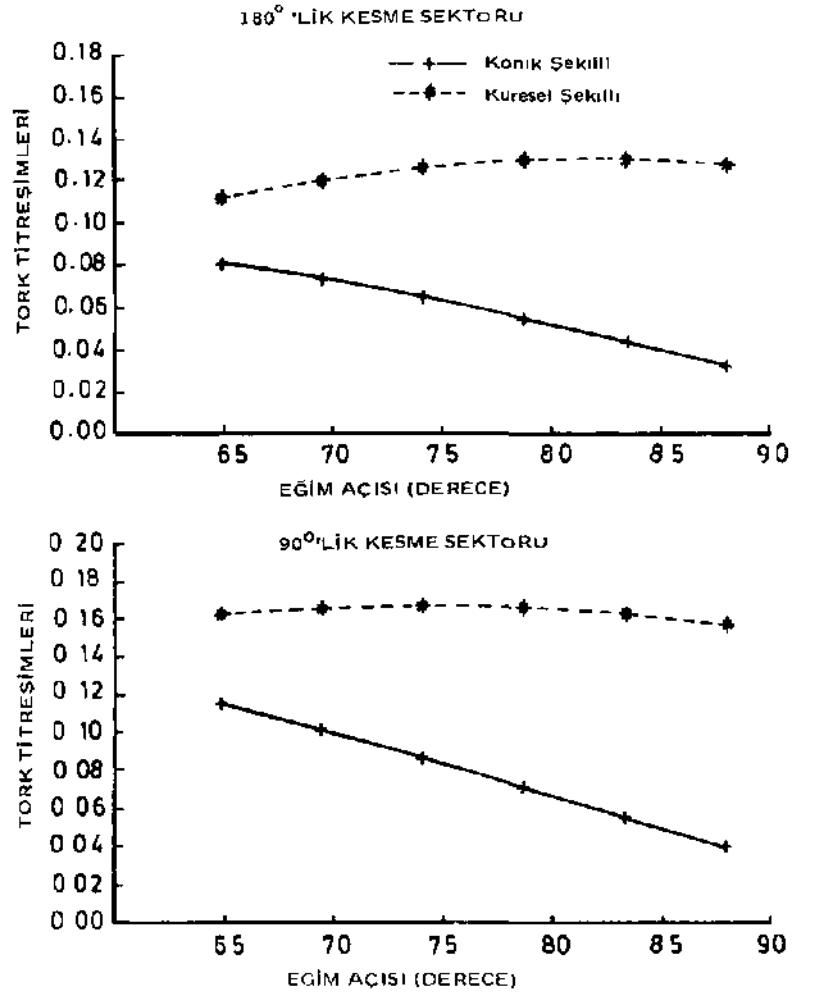
Burada anlatılan titreşimlerin değeri 90 derecelik kesme sektöründe daha fazladır. Böylece, kesici kafanın kayaç içersinde olan kesme derinliği arttıkça titreşimlerin düşüşü daha belirgin olarak görülmektedir. Bu kafalara ait titreşimler Ek-2'1 de verilmiştir.

4.63.2. Tork Titreşimleri

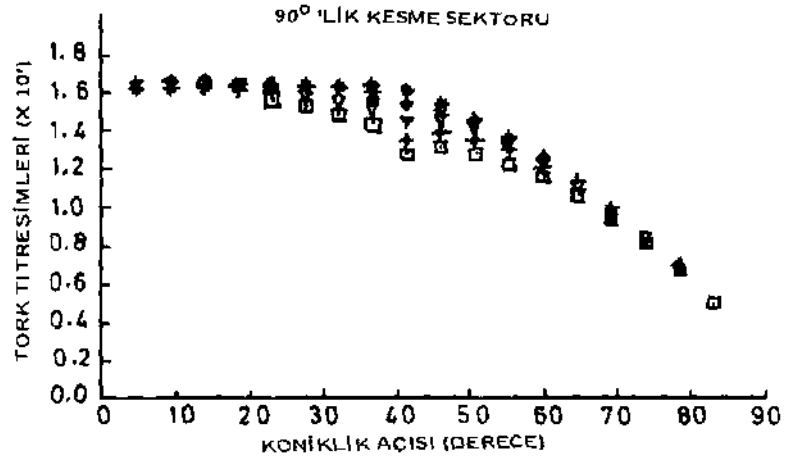
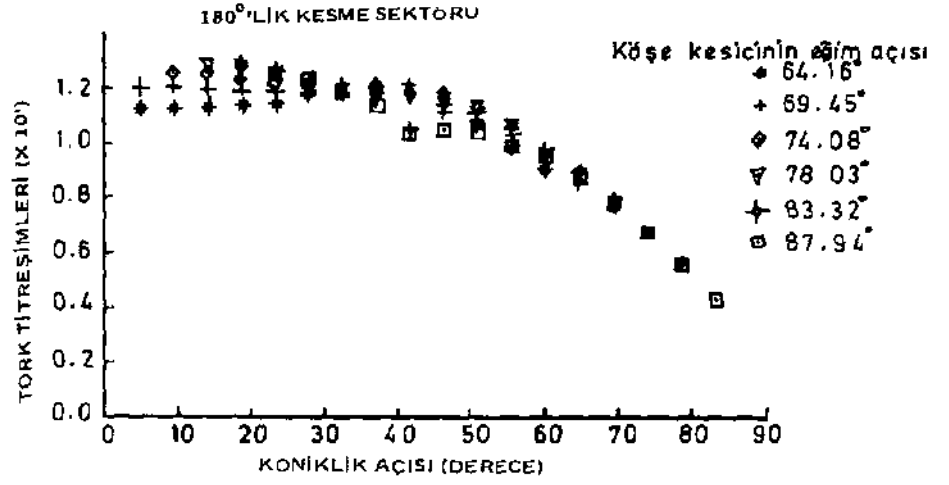
Herhangi bir kesici kafa için tork değerleri, keski kuvvetleri ve bunlara karşı gelen kesme yarıçapları ile belirlendiğinden, yatay itme kuvvetlerinde etkin olan keski kuvvetlerine ek olarak burada kesme yarıçapıda önemli rol oynamaktadır.

Küresel şekilli kesici kafalarda, köşe kesicinin eğim açısı arttıkça tork değerlerinde hafif bir yükselme ortaya çıkmaktadır (Şekil 16). Bu tür kesici kafalarda kesme yarıçapları, keski eğim açılarının artmasına bağlı olarak azalmaktadır. Benzer şekildeki azalma keski kuvvetlerinde daha yavaştır. Bu farklı azalmalar ile keskilere etkileyen net tork değerleri de farklılaşır ve böylece tork titreşimleri hafif bir artış gösterir ya da sabit kalır.

Konik şekilli kesici kafalarda ise tork titreşimleri, kafadaki toplam tork değerinin büyüklüğü ile orantılı olarak azalmaktadır (Şekil 16). Yani kesme yarıçaplarının farklı olmasından ileriye gelen olumsuz etkiler kafa üzerinde eşit olarak dağılan keski kuvvetleriyle makul derecede dengelenmektedir.



Şekil 16. Tork titreşimlerinin köşe kesicinin eğim açısı ile değişimleri.



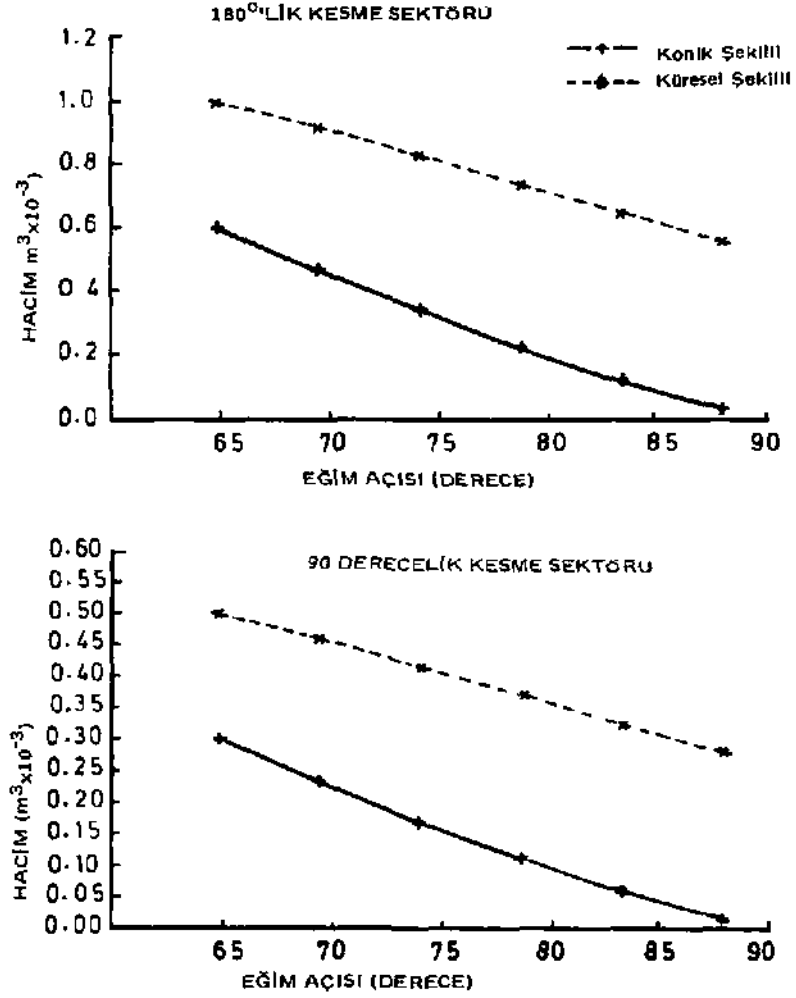
Şekil 17. Kombine şekilli kesici kafalarda tork titreşimlerinin kafanın koniklik açısı ile olan değişimi.

Kombine şekilli kesici kafalar için ise tork titreşimlerinde genel olarak bir azalma görülmektedir (Şekil 17). Bu azalma derecesi, kombine edilen şekillerin ortak etkisinden ötürü, yüksek koniklik açısı değerlerinde daha hızlı olmaktadır.

Yukarda anılan kesici kafalara ait bir dönü sırasındaki tork ve yatay itme kuvvetlerinde oluşan titreşimler Ek-2'de verilmiştir.

4.6.4. Özgül Enerji

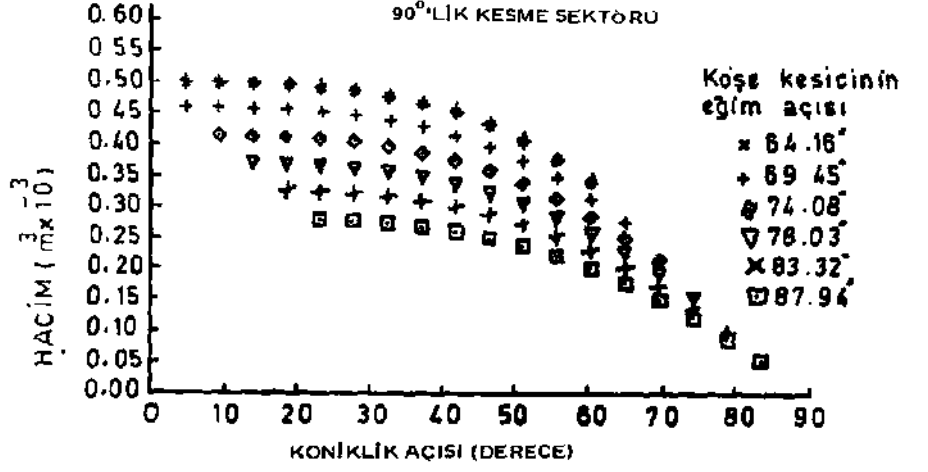
özümlenen enerjinin hesaplanması için gerekli olan kazılan malzemenin hacmi bütün kesici kafalar için köşe kesicinin eğim açısı ile azalmaktadır (Şekil 18 ve 19).



Şekil 18. Kazılan malzeme hacminin köşe kesicinin eğim açılan ile olan değişimi.

Küresel şekilli kafalarda, köşe kesicinin eğim açısı arttıkça, S.E. de durgun bir yükselme görülmektedir (Şekil 20). Bu durum, tork değerlerindeki azalma ile kazılan malzeme hacmindeki azalma oranları arasındaki farkın pek büyük olmadığını ifade etmektedir.

Konik şekilli kafalarda ise kazılan malzemenin hacmi tork değerlerine oranla köşe kesicinin eğim açısı ile daha hızlı azalmaktadır. Böylece özellikle yüksek eğim açısı değerlerinde S.E. ani bir artış göstermektedir (Şekil 20).



Şekil 19. Kombine şekilli kesici kafalarda kazılan malzeme hacminin koniklik açısı ile değişimi.

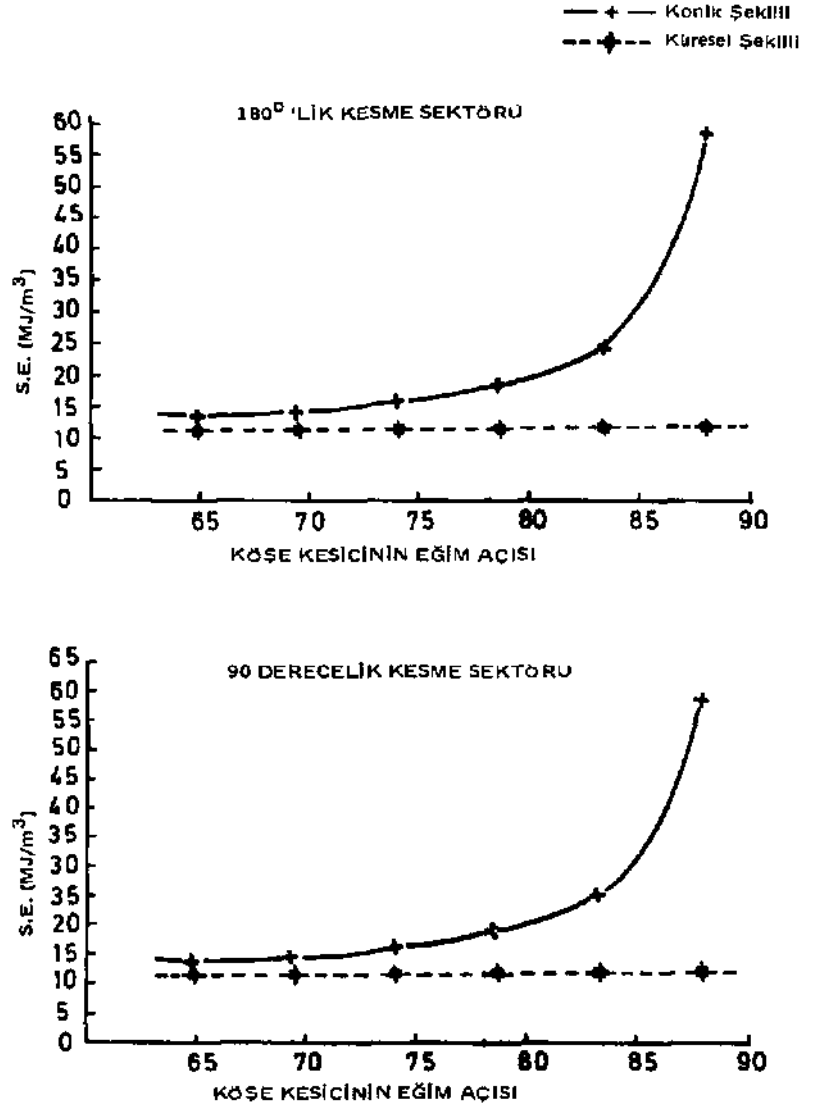
Kombine şekilli kesici kafalarda, yukarıda anlatılan durumların ortak etkisinden ötürü köşe kesicinin eğim açısı ile koniklik açısının yüksek değerlerinde S.E. daha da yüksek bir artış göstermektedir (Şekil 21).

5. GENEL SONUÇLAR

Gerek galeri açma ma kınalarında ve gerekse tamburlu kesicilerde kesici kafanın dizayn açısından bütün dinamik ve kinematik Özellikleri yalnızca keskinin kafa üzerindeki dizilimlerine bağlıdır. Bu nedenle bu araştırmadan elde edilen sonuçlar burada tanımları yapılan kesici kafa dizaynları ile ilintilidir.

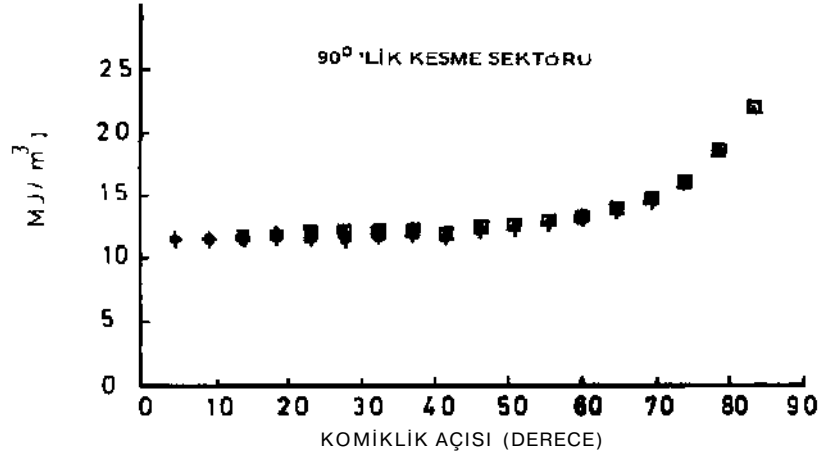
Uygulamada, galeri açma nukinalarının hareketinin engellenmesi kesici kafanın dönü hareketinden çok, çeşitli yönlerde olan ilerlemesi sırasında oluşmaktadır. Bu nedenle yatay itme kuvvetinin yeterliliği çok Önemlidir. Bu yazıda tanımlanan konik şekilli kafalarda keski kuvvetlerindeki düşüğe bağlı olarak tork ve yatay itme kuvvetlerinde de azalmalar görülmektedir. Bu azalmalar özellikle yüksek koniklik açısı değerlerinde oluşmaktadır. Ancak bu tork ve yatay itme kuvvetindeki azalmaların yanı sıra konik şekilli kafalarda bir seri dezavantajlar oluşmaktadır. Bunlar şöyle açıklanabilir:

- Kazı ma kınaların da en önemli unsurlardan biri, kullanılan keskinin çabuk aşınıp yıpranmasını önlemek ve böylece makinanın çalışma ömrünü arttırmaktır. Bu nedenle Özgül enerji kavramı bir çok durumlarda, (Özellikle çetin kesme koşullarında) ikinci derecede kalmaktadır.



Şekil 20. özgül enerji değerlerinin köşe kesicinin eğim açılan ile değişimleri.

Yüksek koniklik açısına sahip olan bir kesici kafada, kafanın başlangıcında yer alan keskinlerin kesme yarıçapları burundakilerden çok daha büyük olup kesme sırasında oldukça fazla yol katederler. Alınan bu yolun uzunluğu arttıkça keskinlerin aşınması da artar. Ülkemizde OAL Müessesesinde ki Pk9r galeri açma makinalarının kesici kafaları üzerinde yapılan incelemelerde burundaki keskinlerin kafanın başlangıcındaki keskinlere oranla daha uzun ömürlü oldukları saptanmıştır (7). Bu nedenle keskinlerin aşınması açısından bu bir dezavantajdır.



Şekil 21. Kombine şekilli kesici kafalarda özgül enerjinin koniklik açısı ile değişimi

- b. Konik şekilli kesici kafalarda koniklik açısının büyümesi ile oluşan kuvvet azalmaları her bir keskiye karşı gelen kesit alanındaki azalmalar ile ilgilidir (5). Bu kesit alanının düşüşü ile kesme verimi azalarak solunabilir zararlı toz miktarı da artar. Koniklik açısının yüksek değerlerinde görülen özgül enerji artışı bunu açıkça kanıtlamaktadır. Yani kesme için gerekli olan enerjinin çoğu toz oluşumunda harcanmaktadır.

Yukardaki açıklamalardan, yüksek koniklik açısına sahip olan kesici kafaların avantajlı olmadıkları anlaşılmaktadır. Ülkemizde Orta Anadolu Linyitlerindeki Sovyet yapısı Pk9r galeri açma makinelerinin kesici kafalarında yapılan dizayn değişikliklerinde, düşük koniklik açısında kombine şekilli kesici kafalardan oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Böylece bu dizayn ile makinenin performansı yükselerek daha düzgün tünel yüzeyleri elde edilmiştir (8).

KAYNAKLAR

1. MELLOR, M., "Mechanics of cutting and Boring, Part I: Kinematics of Transverse Rotation Machines", CRREL, Special Report 226, May 1975.
2. HURT, K.G., MORRIS, C.J. ve Mac ANDREW, K., "The Design and Operation of Boom Tunnelling Machine Cutting Heads", 14 th. Canadian Rock Mechanics Conference, May 1982.
3. HURT, K.G. ve MacANDREW, K., "Designing Roadheader Cutting Heads", The Mining Engineer, Vol. 141, No. 240, 1981.
4. BROOKER, CM., "Theoretical and Practical Aspect of Cutting and Loading by Shearer Drums", Colliery Guardian Coal International Jan. and Apr. 1979.
5. HEKİMOĞLU, O.Z., "Studies in the Excavation of Selected Rock Materials with Mechanical Tools, "Ph.D. Thesis, University of Newcastle Upon Tyne, 1984.
6. MELLOR, M., "Mechanics of Cutting and Boring, Part VI: Dynamics and Energetics of Transverse Rotation Machines", CRREL Report 77-1Ş, June 1977.
7. HEKİMOĞLU, O.Z., "OAL de çalışan Pk9r GAM'nın Kesici Kafa Dizaynlarının Değiştirilmesi Üzerine Rapor" TKİ, OAL Müessesesi Ağustos 1985.
8. HEKİMOĞLU, O.Z. ve ÇULTU, Ç., "OAL de Damar İçi Galerilerinin Açılması ve Karşılaşılan Sorunlar" Madencilik Semineri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Ekim 1985.