

Bomlu Kazı Makinalarının Stabilité Analizi ve Kesici Kafa Geometrisinin Stabiliteye Etkisi

Ö. Acaroğlu & H. Ergin
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET: Bomlu kazı makinalarının stabilité durumlarını belirlemek kazı verimliliği açısından önemli olduğundan, bu makinaların stabilité durumlarını ifade eden sayısal değerlerinin elde edilebileceği bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem, BEP ve BED tipli makinaların dik eksen etrafında dönme, geriye ve yana devrilme ve kayma durumlarını belirleyen eşitliklerin bütün kesme modları için kurulması ile geliştirilmiş ve bir bilgisayar programı yazılmıştır. Geliştirilen program kullanılarak, bütün bir arın boyunca veya arında tek bir nokta için analiz yapılabileceği gibi makina, kesici kafa ve galeri parametrelerinin stabiliteye nasıl etki edeceği de belirlenebilmektedir. Çalışmada, geliştirilen stabilité analizi yöntemi ve bilgisayar programı tanıtılmış ve kesici kafa geometrisi değiştikçe bir BEP tipli kafaya sahip makinanın bütün kesme modlarında stabilité durumlarının nasıl etkileneceği detaylı bir şekilde incelenmiştir. Dik eksen etrafında dönme özellikle küresel kafalar için en kritik stabilité durumu olup, köşe keski eğim açısı düşdükçe stabilité değerleri de düşmektedir. Yüksek koniklik açılı konik ve kombine kafaların kayma stabilitesine etkisi ise olumsuz yönde olmaktadır.

ABSTRACT: Since determination of the stability states of the boom type tunneling machines is an important matter for the efficiency of excavation, a new method has been developed to obtain numerical values that indicate stability states of such machines. The method has been developed for both longitudinal and transverse type machines by establishing stability equations for states of turning around vertical axis, turning the side and back directions and sliding in all cutting modes and a computer program has been written. With using this method, the effect of the machine, cutting head and tunnel parameters on the stability of these machines can be investigated as well as determining the stability states. In this study, stability analysis method and computer program were introduced and the effects of variations of the cutting head shape on stability of longitudinal type roadheader were investigated for a roadheader. The stability of turning of the machine around the vertical axis is the most critical state especially for the spherical heads. While decreasing the till angle of the corner tool for these heads, the moment values also decrease. Conical and combine heads having high conical angle affect the sliding state of the machine negatively.

1 GİRİŐ

Günümüzde şehirleşmenin hızla artmasıyla birlikte ulaşım ve alt yapı amaçlı tünellere ihtiyaç artmaktadır. Bu tünellerin hızlı ve güvenli bir şekilde açılması gerekmektedir. Madencilikte ise çevre ile ilgili kısıtlamalardan ve yeryüzüne yakın maden kaynaklarının azalmasından dolayı yeraltı üretim yöntemlerine doğru bir yönelim söz konusudur. Yeraltı maden işletmeciliğinde üretime erken başlamak için galeri açma işleminin hızlı olması istenmektedir.

Bu nedenle kazı işleminde mekanize yöntemler daha fazla tercih edilir duruma gelmiştir.

Bomlu kazı makinaları (BKM) mekanize kazı sistemlerinden biri olup, diğer kazı makinaları arasında özel bir yere sahiptir. BKM'nın ilk yatırım maliyetleri tam cepheli kazı makinalarına göre daha düşük olup, değişik şekilli galerileri açabilecek esnekliğe sahiptirler. Galeri sürümünün yanında, BKM'nın üretim amaçlı, özellikle kömür, evaporitik kayalar, endüstriyel mineraller ve metallerin kazısında kullanımı da yaygınlaşmaktadır (Breitrick, 1998). Ancak sen

kesme koşulları için uygun olmayıp, düşükten orta sertliğe doğru stabil kayaç ortamlarının kazısı için uygundur (Matti, 1999).

Daha yüksek tork ve kuvvet değerlerine yanıt verebilen, daha sert formasyonlarda kullanılabilen BKM üretmek için, makinaların gücü ve ağırlıktan artırılmaya çalışılmaktadır. Makinaların ağırlık ve güçleri arttıkça maliyetleri artmakta esneklikleri azalmaktadır. Bu nedenle dengeli kazı yapmalarını sağlayacak yapısal değişiklikler yapılarak da makinaların verimlilikleri artırılabilir. Ayrıca makina seçimi sırasında makinanın stabilite durumunun da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenlerden dolayı, borulu kazı makinalarının stabilite analizlerinin yapılabileceği bir yöntemin geliştirilerek, kesici kafa, makina ve galeri parametrelerinin stabilizeye nasıl etki ettiğinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde BKM'nın stabilitesinin öneminden bahsedilmekle birlikte, bu konuda yapılan detaylı çalışmalara pek rastlanmamaktadır. Çalışmalardan birinde bir BKM'nın paletleri ile zemin arasındaki sürtünme momentinin makinanın özellikle yatay yönde uygulayacağı kuvveti sınırlandırıcı bir faktör olduğu ve bu moment değerinin boyutları belirli bir makinanada, makinanın ağırlığı ile orantılı olduğu; ancak ağırlık artırıldığı taktirde kesme kuvvetlerin artırılacağı belirtilmiştir (Gehring, 1989). BEP tipli (kesici kafa dönme eksenine bom eksenine paralel olan) bir BKM'nda kısa zamanlı ani artışların makinayı kaydırabileceği ifade edilmiştir (Gehring, 1989). Eşit niteliklere sahip BEP ve BED tipli (kesici kafa dönme eksenine bom eksenine dik olan) BKM'nın eşit kesme kuvveti oluşturacağını, fakat BEP tipli kafaya sahip olanda, yatay kuvvetlerin, BED tipli makinaya göre daha fazla olacağı belirtilmektedir (Menzel & Frenyo, 1981; Kleinen, 1982; Hekimoğlu, 1991). BEP tipli kafalarda yatay yönde stabilitenin daha olumsuz olmasından dolayı, yan mahmuzlar kullanılmak zorunda kalınmasının zaman kaybına neden olduğunu; geniş tünellerde ise, yan mahmuzların tünel duvarlarına ulaşamadığı ifade edilmektedir (Kogelman, 1982). Sadece stabilite açısından bakıldığında; BED tipli makinaların daha sert kayaçları kesebileceği teorisinin. BED ve BEP tipli kafaların her ikisinin de yatay yönde kesme durumunda geçerli olduğunu, oysa BEP tipli makinaların aynı zamanda dikey yönlerde de (yukarıya doğru ve aşağıya doğru) kesme yapabildiği belirtilmektedir (McDermott, 1988). Fakat BEP tipli makinalarda ağırlık merkezinin daha ön tarafta olması ve yükleme tablası ile zemine basınç yapılması nedeniyle, bu şekilde kazının nadir kullanıldığı ifade edilmektedir (Frenyo & Lange, 1994). Matematiksel olarak, yatay kuvveti absorbe

etmek için, BEP tipli kafaya sahip makinaların ağırlıklarının yaklaşık %20 daha fazla olması gerekmektedir (Menzel & Frenyo, 1981).

Yukarıdaki çalışmalar pratik gözlemlere ve niteliksel değerlendirmelere dayanmaktadır. BKM'ların stabilite durumlarını analiz ederek sayısal olarak değerlendirilebilmesini sağlayacak bir yöntem ihtiyacı vardır. Bu amaçla yeni bir stabilite analizi yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntemi baz alan bir bilgisayar programı yazılmıştır (Acaroglu, 2004). Bu yöntem kullanılarak makina, kesici kafa ve galeri parametrelerinin bu makinaların stabilite durumlarına nasıl etki ettiği incelenebilir. BKM'larda kesme işlemi, kesici kafa üzerindeki bir grup keskinin kesme hareketi sonucu gerçekleştiğinden, kesici kafa tasarım parametreleri BKM'nın performansına etki etmektedir (Hekimoğlu 1984, 1986, 1991, Hekimoğlu & Fowell 1991, Hurt & MacAndrew 1981, Hurt & Morris 1985). Bir kesici kafanın geometrisini keskinlerin kafa üzerindeki pozisyonları belirlemektedir. Dolayısıyla kesici kafa geometrisi değişikçe; tork, bom kuvvetleri ve spesifik enerji değerleri de değişmektedir (Hekimoğlu 1984, 1986, 1991). Kesici kafa geometrisi değişikçe bom kuvvetleri değişeceğinden BKM'larının stabilite durumları da değişmektedir. Bu çalışmada geliştirilen BKM stabilite analizi yöntemi ve bilgisayar programı tanıtılmış ve bu program kullanılarak kesici kafa geometrisi değişirken, stabilite durumlarının nasıl etkileneceği bütün kesme modlarında detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

2 BOMLU KAZI MAKİNALARI STABİLİTE ANALİZİ VE BİLGİSAYAR PROGRAMI

BEP ve BED tipli kesici kalaya sahip bomlu kazı makinalarının stabilite analizinde aşağıdaki dört işlem gerçekleştirilmektedir. Kullanılan parametreler Şekil 1'de gösterilmiştir.

- 1) Makinanın merkezinden geçtiği farzedilen dikey düzlemde y eksenine üzerindeki C noktasına göre momenti. Böylece, makinanın kendi etrafında dönmesi durumu ifade edilmektedir.
- 2) Makinanın tabanından geçtiği farzedilen yatay düzlemde x eksenine üzerindeki B noktasına göre momenti. Bu işlem ile makinanın yana devrilmesi durumu hakkında bilgi edinilmektedir.
- 3) Makinanın tabanından geçtiği farzedilen yatay düzlemde z eksenine üzerinde bulunan A noktasına göre moment. Bu işlemin sonucu, makinanın geriye devrilmesi durumunu ifade etmektedir.

4) Makinanın tabanından geçtiği farzedilen düzlem üzerindeki z eksenı boyunca kayması.

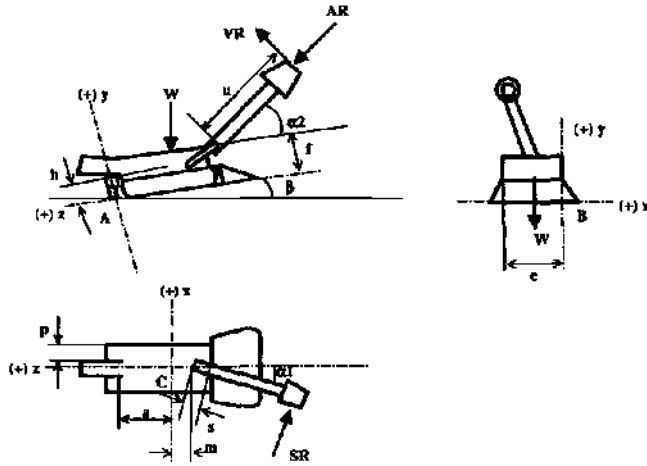
Bu dört stabilite durumunu ifade eden eşitlikler BEP tipli kafalar için arına (kazı aynası) ginne. Şekil 2'de gösterilen üstten kesme, alttan kesme, aşağıya doğru kesme ve yukarıya doğru kesme modları için; BED tipli kafalar için ise arına girme, yanlara doğru

3) Makinanın geriye devrilme durumu (A noktasına göre momenti):

$$C3 = (W * \cos(\beta) * a - w * \sin(\beta) * h) - ((AR * \cos(\alpha 1) * \cos(\alpha 2) - SR * \sin(\alpha 2) - VR * \sin(\alpha 1)) * (f + u * \cos(\alpha 1) * \sin(\alpha 2)) + (-SR * \cos(\alpha 2) - AR * \cos(\alpha 1) * \sin(\alpha 2)) * (u * \cos(\alpha 1) * \cos(\alpha 2) + s * \cos(\alpha 1) + m + a)) \quad (3)$$

4) Makinanın kayma durumu (z eksenı boyunca denge durumu):

$$C4 = (W * \cos(p) * n) - (-SR * \sin(a 2) * \cos(\alpha) * \cos(a 2) - VR * \sin(\alpha 1)) \quad (4)$$



Şekil 1. Bomlu kazı makinalarının stabilite analizinde kullanılan parametreler

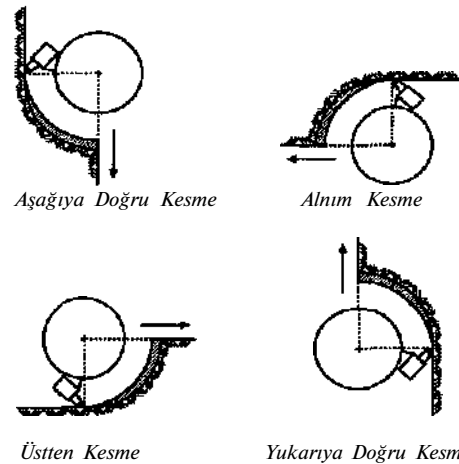
kesme, aşağıya doğru kesme ve yukarıya doğru kesme modları için ayrı ayrı kurulmuş (Acaroğlu, 2004) ve örnek olarak BEP tipli kafalar için alttan kesme modunda kurulan eşitlikler eşitlik 1- 4'de gösterilmiştir.

1) Makinanın dik eksen etrafında dönme durumu (C noktasına göre momenti):

$$C1 = (W * u * \cos(\beta) * p * H (VR * \cos(\delta 1) + AR * \cos(a 2) * Mn(\alpha)) * ((u * \cos(a 2) * \cos(a 1) * H * \cos(\alpha) + m) + (SR * \sin(a 2) - AR * \cos(a 2) * \cos(\alpha 1) + VR * \sin(\alpha 1)) * (u * \cos(\alpha 2) * \sin(\alpha) + s * Mn(\alpha 1))) \quad (1)$$

2) Makinanın yana devrilme durumu (B noktasına göre momenti):

$$C2 = (W * \cos(\beta) * e / 2H (VR * \cos(\alpha) + AR * \cos(a 2) * \sin(\alpha)) * (u * \cos(\alpha) * \sin(a 2) + 0 + (-SR * \cos(a 2) - AR * \cos(a 2) * \sin(\alpha 1) * s * \ln(a 2) * (u * \cos(a 2) * \sin(\alpha) + s * \sin(\alpha) + e / 2)) \quad (2)$$



Şekil 2. BEP tipli BKM'ında kullanılan kesme modları

Yukarıda açıklanan yöntem, C++ bilgisayar dili kullanılarak, BKM'nın stabilite analizini yapan

Bilgisayar programı haline getirilmiştir. Program ile BEP veya BED tipli bir makinanın dört stabilite durumu (dik eksen etrafında dönme durumu, yana devrilme durumu, geriye devrilme durumu ve kayma durumu), istenilen kesme modunda ya arının tamamında ya da istenilen noktada belirlenebilmektedir. Şekil 3* de verilen akım şemasından görüldüğü gibi ilk olarak kullanıcı tarafından kesici kafa tipi ve kesme modu seçilir. Ardından kesici kafaya etki eden yatay, dikey ve eksenel bom kuvvetleri girilir. Bu işlemde sonra analiz tipi yani analizin arının tamamı için mi, yoksa sadece bir noktaya için mi yapılacağı sorulmaktadır. Bütün arın boyunca analiz yapılacaksa, bomun zemine paralel olduğu konuma göre yatay ve dikey düzlemlerde yapabileceği maksimum açılar (GC, 0.2. et) istenmektedir. Programda bom açılan 5'er derece aralıklarla değiştirilerek, arının tamamı için analiz yapılmaktadır. Sadece bir noktada analiz sonuçları isteniyorsa, bomun zemine paralel olduğu konuma göre yatay ve dikey düzlemlerde bu nokta ile yaptığı açılar istenmekte ve dört stabilite durumu değerleri bu nokta için bulunmaktadır. Analiz tipinin ardından; makina, kesici kafa ve galeriye ait parametreler programa girilmektedir. Program tarafından; stabilite analiz sonuçları ve analizi yapılan makina için parametreler, kafa tipi ve galeri parametreleri bir çıkış dosyasına yazılmaktadır.

Analiz edilen makinanın bom uzunluğu, bomun yatay ve dikey dönme noktaları arasındaki mesafe ve bomun yatay düzlemde yanlara, dikey düzlemde yukarıya ve aşağıya doğru yapacağı bom açıları kullanılarak, programdan makinanın keseceği profilin değerleri de elde edilmektedir. Profil değerleri X (galeri genişliği) (m) ve Y (galeri yüksekliği) (m) koordinatları olarak programın verdiği çıkış dosyasında yer almaktadır. Makinaların kesebilecekleri galeri profili dikey eksene göre simetrik olduğu için, programdan elde edilen değerler sadece galerinin sağ yarısı içindir. Profil dataları, çıkış dosyasına Surfer ve benzeri bilgisayar programları kullanılarak çizilebilmesi için gerekli datalar ile birlikte yazılmaktadır. Bu profilin içine yine analiz sonucu elde edilen değerlerin izohipsleri çizilip, stabilite durumlarının arm boyunca değişimini gözlemek mümkündür.

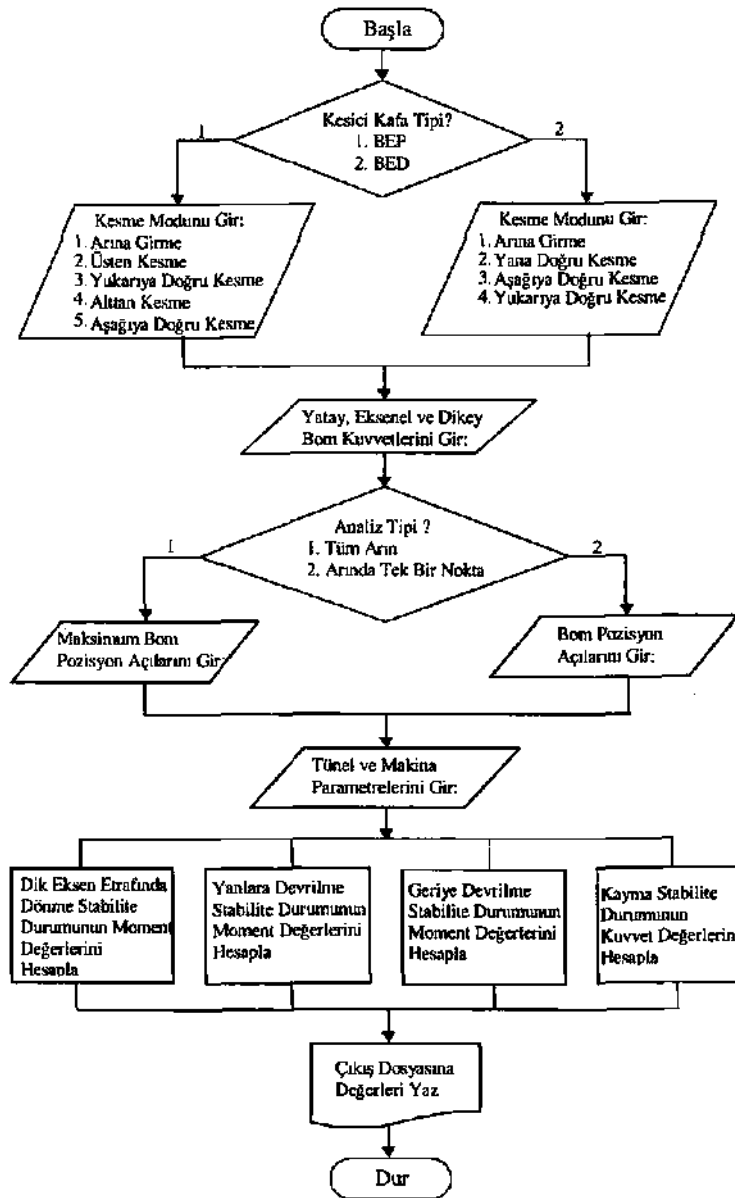
BKM stabilite programı kullanılarak, bir BEP tipli BKM'nın kesebileceği maksimum kesit boyunca stabilite analizi yapılmıştır. Kullanılan makina parametreleri piyasada kullanılan BEP tipli bir kesici kafaya sahip yaklaşık 24 ton ağırlığında hafif tipte bir makinanın parametrelerine benzerdir. Analiz edilecek makina için, pratikte kullanılan bir kesici kafaya ait bom kuvvetlerine ihtiyaç duyulmuştur.

Bunun için yapılan bir çalışmada yer alan ve uygulamalarda kullanılanlara benzer bir kesici kafaya ait değerler kullanılmıştır (Hekimoğlu, 1984, 1986). Verileri kullanılan kesici kafa küresel şekilli olup, 69" köşe kesici eğim açısına ve 16 keskiye sahiptir ve 43 MPa basınç dayanımına sahip kumtaşı bloklarında kesme deneyleri yapılmıştır. Bu keski kuvvet değerleri stabilite analizi için kullanılmıştır.

Keski kuvveti verileriyle, kesici kafaya ilerleme yönünde (SR), dikey (VR) ve eksene! (AR) yönde etki eden bom kuvvetleri bir bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır (Acaroğlu, 2002). Elde edilen değerler, makinanın karşılayabileceği sınırlar dahilindedir. Bom kuvvetleri değerlerine kesme tipi de etki etmektedir. Kesici kafaların kinematik özellikleri göz önüne alınarak. Şekil 4'den görülebileceği gibi kesme hareketi yukarı kesme, aşağı kesme ve kapalı kesme olarak gerçekleş t irilebilmektedir (Mellor, 1975). U ilerleme yönü olup, f dönme yönünü göstermektedir. Aşağı kesme tipi bomun yatay silindirlere bükülmesine ve keskin kesme sektörüne ani girişlerinden dolayı kırılmalarına neden olabileceğinden dolayı tercih edilmez. Kapalı kesmede ise titreşim az, fakat güç ihtiyacı fazladır (Hekimoğlu 1986; Mellor 1975). Genellikle kesme işlemi yukarı kesme tipinde olup, kesme sektörü birkaç dereceden 180" kadar çıkabilmektedir. Bu analiz için yukarı kesme tipi ve 90" kesme sektörü kullanılmıştır.

Bom reaksiyon kuvvetleri ve analizde kullanılan diğer makina ve galeri parametrelerinin değerleri Çizelge i'de verilmiştir. Stabilite programı kullanılarak, bu bomlu kazı makinasının Şekil 2'de gösterilen üstten kesme, yukarıya doğru kesme, alttan kesme ve aşağıya doğru kesme modlarında stabilite analizi yapılmıştır. Bu kesme modlarının hepsinde, makinanın dik eksen etrafında dönme, yana devrilme, geriye devrilme ve kayma durumlarına ait sayısal değerler elde edilmiştir. Programdan elde edilen sonuçlara göre; dört stabilite durumunun herbir kesme modunda elde edilen en küçük moment değerleri ve bu değerlerin hangi bom açılarında elde edildiği Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Elde edilen moment değerleri küçüldükçe makinanın stabilite durumunun bozulduğu ve sıfır değerinden küçük olması durumunda da makinanın stabil olamayacağı ifade edilmektedir. Keza, kayma durumunun analiz edildiği kesme modlarında da sıfırdan küçük kuvvet değerlerinin bulunması durumunda makinanın kayma problemiyle karşı karşıya katacağı belirtilmektedir. Elde edilen değer büyüdükçe makinanın kayma açısından stabilitesinin artacağı ifade edilmektedir.



Şekil 3. BKM stabilite analizi programı akış diyagramı



Şekil 4 BKM'nın kesme tipleri

Çizelge 2'den görüldüğü gibi dik eksen etrafında dönme durumu en kritik stabilite durumudur. Özellikle alttan ve üstten kesme modlarında diğer modlara göre moment değerleri daha küçük çıkmıştır. Yana devrilme durumunda ise kesme modlarında değerler birbirine daha yakın çıkmıştır. En küçük değer aşağıya doğru kesme modunda elde edilmiştir. Geriye devrilme durumunda, moment

değerleri dik eksen etrafında dönme ve yana devrilme durumuna göre daha yüksek çıkmıştır. Aşağıya doğru kesme modunda değerler diğer kesme modlarına göre daha düşük çıkmıştır. Kayma durumuna ait kuvvet değerleri bütün kesme modlarında benzer çıkmış olup, en küçük değer yine aşağıya doğru kesme modunda elde edilmiştir.

Kesme profili dataları ve arın boyunca hesaplanan moment ve kayma durumunu ifade eden kuvvet değerleri kullanılarak izohips eğrileri çizilmiştir. Burada, dik eksen etrafında dönme durumu için en küçük değerlerin elde edildiği kesme moduna ait izohips eğrileri örnek olarak Şekil 5'de gösterilmiştir. Galerinin ortası, bomun zemine paralel olduğu konum olarak (zeminden yukarıya doğru 1.7 m yüksekliğinde) kabul edilmiştir.

Çizelge 1. Stabilite analizinde kullanılan makina ve galeri parametreleri

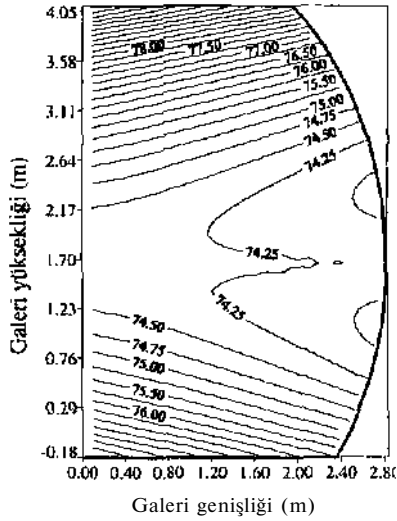
Makina ve galeri parametreleri	Değerler
Makina ağırlığı (w)	240 kN
Makina genişliği (e)	2.6 m
Palet genişliği (p)	0.5 m
Bom uzunluğu (u)	3.2 m
Makinanın ağırlık merkezi ile arka ayağı arasındaki mesafe (a)	2.2 m
Bom yayıy konumdayken zemin ile arasındaki mesafe (f)	1.7 m
Bomun yatay dönme noktası ile dikey dönme noktası arasındaki mesafe (s)	
Bomun yatay düzlemde yapabildiği maksimum açı (a1)	50"
Bomun dikey düzlemde yukarı doğru yapabildiği maksimum açı (a2)	50"
Bomun dikey düzlemde aşağı doğru yapabildiği maksimum açı (a3)	35"
Yayıy bom reaksiyon kuvveti (SR)	5.86 kN
Eksenel bom reaksiyon kuvveti (AR)	3.46 kN
Dikey bom reaksiyon kuvveti (VR)	1.37 kN
Galeri eğimi (β)	0"
Makina ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı (ji)	0.1f

Çizelge 2. BEP tipli bir BKM'nın stabilite analizi sonucu elde edilen en küçük moment değerleri ve bu değerlerin elde edildiği bom açılan

Stabilite Duruma	Kesme Modları	Moment (kNm)	a1 (derece)	a2 (derece)
Dik eksen etrafında dönme	Üstten kesme	74.32	0	0
	Altan kesme	73.94	50	10
	Aşağıya doğru kesme	90.93	0	0
Yana Devrilme	Üstten kesme	289.69	10	50
	Yukarıya doğru kesme	314.66	0	50
	Altan kesme	292.27	0	50
Geriye Devrilme	Aşağıya doğru kesme	281.78	50	0
	Üstten kesme	514.04	0	0
	Yukarıya doğru kesme	552.84	50	0
Kayma*	Altan kesme	530.2	0	0
	Aşağıya doğru kesme	487.54	0	0
	Üstten kesme	188.28	0	20 ve -20
	Yukarıya doğru kesme	188.54	0	0
	Altan kesme	188.54	0	0
	Aşağıya doğru kesme	185.29	0	0

* Kayma için elde edilen değerler kuvvet (kN) cinsinden ifade edilmektedir.

Şekil 5'den görüleceği gibi, analiz edilen makinanın dik eksen etrafında dönme durumuna ait moment değerleri galeri ortasında küçük değerler almakta ve galeri kenarlarına doğru daha da küçülmektedir (Acaroğlu, 2004).



Şekil 5. Bir BKM'nin aluan kesme madunda dik eksen etrafında dönme durumunu gösteren moment izohipsleri

3 KESİCİ KAFA GEOMETRİSİNİN BOMLU KAZI MAKİNALARI STABİLİTESİNE ETKİSİ

BKM'ların kesici kafa geometrileri değiştiğinde, keski kuvvetleri değişeceğinden bom kuvvetleri de değişmektedir. Bom kuvvetleri değişiminden makinanın stabilite durumları da etkilenecektir. Bu nedenle değişik kafa şekillerinin stabiliteye etkisini inceleyebilmek için kesici kafa şekli değişikliğe geçen bom kuvveti değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Kesici kafa geometrileri genel olarak küresel, konik, silindirik ve bunların kombinasyonu şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bom kuvvetlerini hesaplamak için farklı kesici kafa şekillerine ait keski kuvveti değerleri daha önce yapılmış çalışmalardan alınmıştır (Hekimoğlu, 1984, 1986). Bu çalışmalarda öncelikle küresel kafalar mode iletilmiş, konik ve ikisinin kombinasyonundan oluşan kafalar ise bunlardan türetilmiştir. Bütün kesici kafalar benzer tasarım parametrelerine sahip olup, kesme deneyleri 43 MPa basınç dayanımına sahip kumlasında

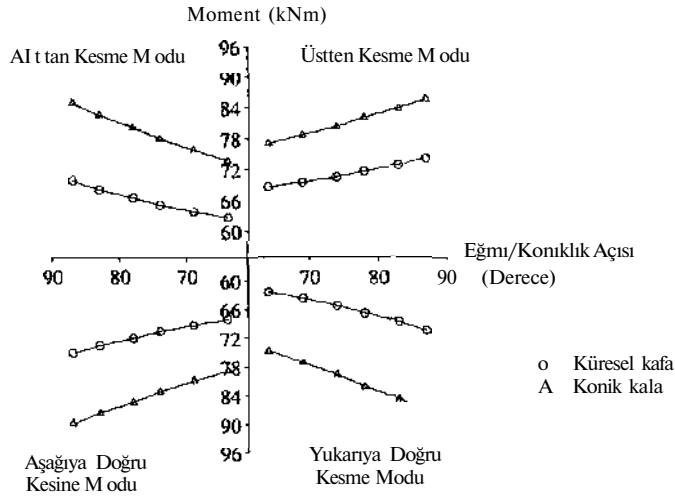
gerçekleştirilmiştir. 6 adet yarı küresel kafanın köşe keski eğim açısı 87° den 64° ye kadar 4'er derece aralıklarla düşürülerek dizayn edilmiştir. 6 adet konik kafanın koniklik açısı da 87° den 64° e kadar 4'er derece aralıklarla değişmektedir. Kombine kafalar ise küresel ve konik kısımların kombinasyonundan oluşmaktadır. Bu kafalarda köşe keski eğim açısı 87° ile 64° arasında ve koniklik açıları ise 4° ile 87° arasındadır (Hekimoğlu, 1984, 1986).

Keski kuvvetleri kullanılarak, bütün kafalar için bom kuvveti değerleri (SR, AR, VR) bir bilgisayar programı (Acaroğlu, 2002) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar yukarı kesme tipi ve 180° lik kesme sektörü için yapılmıştır. Bu kesici kafaların kullanıldığı kabul edilen makina ve galeri parametreleri Çizelge 1 de verilmiştir. Bütün kafalar, geliştirilen stabilite analizi programı ile bütün kesme mod I arında analiz edilmiştir. Stabilite analizi sonucunda; en küçük moment değerleri makinanın dik eksen etrafında dönme durumunda elde edilmiştir. Diğer bir deyişle en kritik stabilite durumu makinanın dik eksen etrafında dönme durumudur. Bu nedenle, burada pratikte de en çok karşılaşılan stabilite problemlerinden olan dik eksen etrafında dönme ve kayma stabilite durumlarına ait sonuçlar sayısal olarak sunulmuştur.

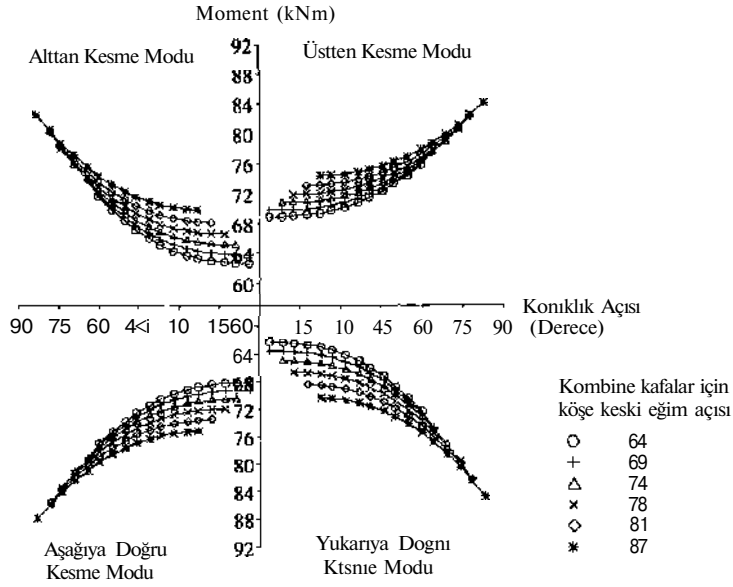
Şekil 6a'da gösterildiği gibi dik eksen etrafında dönme durumunda küresel kafalara ait moment değerleri konik kafalara ait değerlerden daha küçük çıkmıştır. Küresel kafalarda köşe keski eğim açısı, konik kafalarda ise koniklik açısı arttıkça moment değerleri de artmaktadır. Bu stabilite modunda kombine kafalara ait değerler Şekil 6b'de verilmiştir. Küresel ve konik kafaların ortak etkisi kombine kafalarda görülmekle, köşe keski eğim açıları ve koniklik açısı arttıkça moment değerleri yükselmektedir. Benzer eğilim bütün kesme modlarında görülmektedir. En düşük moment değerleri yukarıya doğru ve alttan kesme modlarında elde edilmiştir.

Kesici kafa geometrilerinin kayma durumuna etkisi Şekil 7'de verilmiştir. Kuvvet değerleri küresel kafaların köşe keski eğim açısı ve konik kafaların koniklik açısı arttıkça azalmaktadır (Şek. 7a). Benzer eğilim kombine kafalarda da elde edilmiştir (Şek. 7b). Kuvvet değerlerinin düşüşü, 83° ve 87° koniklik açısına sahip yüksek koniklik açılı konik ve kombine kafalarda aniden artmaktadır.

"V" uyarındaki sonuçlar 180° lik kesme sektörüne ait olup, benzer sonuçlar 90° lik kesme sektöründe biraz daha yüksek değerlerde elde edilmiştir (Acaroğlu, 2004).

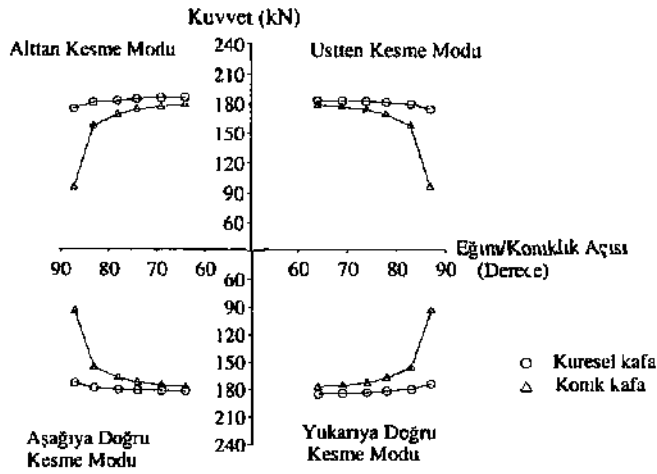


a) Küresel ve konik katalar

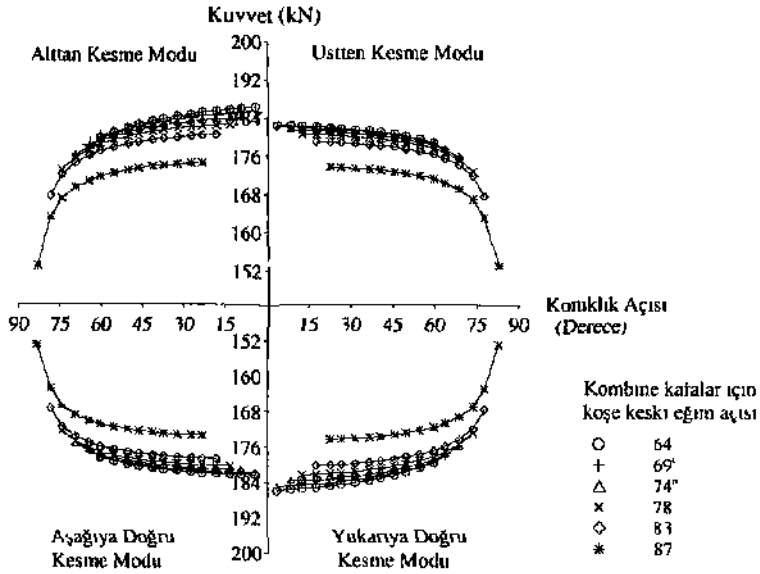


b) Kombine kafalar

Şekil 6 Kesici kafalarda köşe keski eğim açısı ve koniklık açısının BKM nın dik eksen etrafında dönme durumuna etkisi (180° kesme sektörü)



a) Küresel ve konik kafalar



b) Kombine kafalar

Şekil 7 Kesici kafalarda köşe keski eğim açısı ve koniklik açısının BKM'nın kayma durumuna etkisi (180 kesme sektörü)

4 SONUÇLAR

Bomlu kazı makinalarının ağırlık, güç ve boyut açısından bir bütünlüğe sahip olmaları, stabil ve dolayısıyla verimli kazı yapmaları için şarttır. Bu makinaların daha sert formasyonlarda da kullanılabilmeleri için stabilite durumlarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, makina tasarım parametreleri dikkate alınarak stabilite analizi yapan yeni bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemle dayanılarak bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu program kullanılarak analiz edilen BEP tipli bir BKM'nin stabilite analiz sonucunda en düşük moment değerleri dik eksen etrafında dönme durumunda elde edilmiştir.

Geliştirilen stabilite analizi yöntemi kullanılarak BEP ve BED tipli bir BKM'nin stabilite analizi yapılabileceği gibi, açılacak bir galeri için optimum BKM seçiminde elde edilen stabilite durumu değerlerinin kullanılması mümkün olacaktır. Ayrıca makina stabilesine; makina tasarım parametreleri, kesici kafa ve galeri parametrelerinin nasıl etki ettiği de belirlenebilmektedir. Kesici kafa tasarım parametrelerinden biri olan kala geometrisi makinaların dinamik, kinematik özelliklerini ve performanslarını etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada küresel, konik ve bunların kombinasyonundan oluşan kafaların makina stabilitesine nasıl etki ettiği araştırılmış ve dik eksen etrafında dönme ve kayma durumlarından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Küresel kafalarda köşe keski eğim açısı, konik kafalarda koniklik açısı arttıkça dik eksen etrafında dönme durumu olumlu etkilenmektedir. Bu stabilite durumuna konik kafaların etkisi daha olumludur. Kayma durumu ise köşe kesici eğim açısı ve kemiklik açısının anlısından özellikle yüksek koniklik açılarında olumsuz etkilenmiştir.

SEMBOLLER

<i>W</i>	<i>Makina ağırlığı</i>
<i>e</i>	<i>Makina genişliği</i>
<i>j)</i>	<i>Palet genişliği</i>
<i>u</i>	<i>Boni uzunluğu</i>
<i>m</i>	<i>Makinanın ağırlık merkezi ile bottum başlangıç noktası arasındaki mesafe</i>
<i>a</i>	<i>Makinanın ağırlık merkezi ile arkı ayağı arasındaki mesafe</i>
<i>I</i>	<i>Boni yatay konumda iken zemin ile arasındaki mesafe</i>
<i>d</i>	<i>Makinanın ağırlık merkezi ile zemin arasındaki mesafe</i>
<i>s</i>	<i>Bonunun yatay dönme noktası ile dikey dönme noktası arasındaki mesafe</i>

<i>al</i>	<i>Bonun yatay düzlemde yana doğru yapabil-diği maksimum açı</i>
<i>ö2</i>	<i>Bonun dikey düzlemde yukarı doğru yapılabil-diği maksimum açı</i>
<i>Od</i>	<i>Bonun dikey düzlemde aşağı doğru yapabil-diği maksimum açı</i>
<i>SR</i>	<i>Borna etki eden yatay kuvvet</i>
<i>AR</i>	<i>Borna etki eden eksetel kuvvet</i>
<i>VR</i>	<i>Borna etki eden dikey kuvvet</i>
<i>fi</i>	<i>Makina ile zemin arasında sürtünme katsayısı</i>
<i>β</i>	<i>Galeri eğimi</i>

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, Ö., 2002; Bomlu kazı makinaları kesici kafalarının performans ve dinamik analizlerinde kullanılan bir bilgisayar programı, 6. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu. Konya, 371-378.
- Acaroğlu, Ö., 2004; Bomlu Kazı Makinaları Stabilite Analizi ve Optimum Seçimi, Doktora Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Breitrick, M. E., 1998; Using a roadheader for underground gold mining. Mining Engineering, March. 43-46.
- Eskikaya, Ş., 1981; Ereğli Kömür İşletmesi Kozlu ve Armutçuk Bölgelerinde Hazırlık Galerilerinin Galeri Açma Makinaları ile Açılması ve En Uygun Makina Tiplerinin Tespiti. TÜBİTAK Projesi. Proje No: 542.
- Frenyo, P. & Lange W., 1994; Design of cutting heads for optimal cutting performance, Glückauf Mining Reporter 1,4-7.
- Gehring, K. H., 1989; A cutting comparison. Tunnels and Tunneling, 2J. 27-30.
- Hekimoğlu, O. Z., 1984; Studies in the Excavation of Selected Rock Materials with Mechanical Tools. PhD Thesis. University of Newcastle Upon Tyne.
- Hekimoğlu, O. Z., 1986; Galeri açma makinalarının kesici kafa geometrisinin makina performansına olan etkileri, Türkiye 5. Kömür Kongresi. 111-140.
- Hekimoğlu, O. Z., 1991; Comparison of longitudinal and transverse cutting heads on a dynamic and kinematic basis. Mining Science and Technology, 13. 243-255.
- Hekimoğlu, O.Z. & Fowell, R.J. 1991; Theoretical and practical aspects of circumferential pick spacing on boom tunnelling machine cutting heads. Mining Science and Technology. 13.257-270.
- Hurl, K.G. & MacAndrew K.M. 1981; Designing roadheader culling heads. The Mining Engineer, September. 167-170.
- Hurt K.G, & Morris C.J. 1985; Computer designed cutting heads improve roadheader performance. Tunnels and Tunneling. 1985. March. 37-38.
- Kleiner, H. W., 1982; New Test-bed Results for Culling Headings on Selective-cut Heading Machines. Glückauf, 118,9.459-464.
- Kogelman, W. J., 1982; Increased Productivity through boom-type continuous miners. South African Mining World. August. 63-80.
- Maui, H., 1999; Sandvick Rock Excavation Handbook.

- MellorM 1975. Mechanics of cutting and bonng. Pan I
kinematics of transverse rotation machines, CRREL
Special Report
- Menzel. W & Frenyo, P, 1981. Selective cut
roadheading machines with longitudinal and
transverse cutting heads. Gluckauf. 117. 5,284-287
- McDemott J, 1988. Koadheaders charactenstics and
capabilities, Proceedings of 6th Coal Congress of
Turkey. Zonguldak, 2, 119-139
- Pakes. G. 1991. Selection of Methods. World
Tunnelling. 9. November. 399-403

