

Bomlu kazı makinalarının stabilite analizi için geliştirilen yeni bir yöntem

Ömür ACAROĞLU*, Hasan ERGİN

İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bomlu kazı makinalarının stabilite durumlarının belirlenmesi verimli bir kazı açısından önemlidir. Bu nedenle bu makinaların stabilite durumlarını ortaya koyan sayısal verilerin elde edilmesi ve bunların seçim kriteri olarak kullanılması için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem, BEP ve BED tipli bomlu kazı makinaları için bütün kesme modlarında, dört farklı stabilite durumu için denge eşitlikleri kurularak geliştirilmiş ve bu eşitliklere dayanan bir bilgisayar programı C++ programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Geliştirilen bu yöntem BEP tipli hafif ağırlıkta bir bomlu kazı makinasının stabilite analizinde kullanılarak elde edilen değerler bu çalışmada sunulmuştur. Geliştirilen yöntem ile makinaların stabilite durumları incelendiği gibi, makina ve tünel parametrelerinin stabilite durumlarına etkisi de incelenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bomlu kazı makinaları, kesme modları, stabilite analizi.

A new stability analysis method of boom type tunneling machines

Abstract

Boom type tunnelling machines, one of the mechanized excavation equipment, has an exceptional place among those other excavation methods. Determination of the stability states of the boom type tunneling machines is an important matter for the efficiency of excavation. For this reason, a new method has been developed to obtain numerical values that indicate stability states of such machines and to use them as selection criteria. The method has been developed for both BEP and BED type machines by establishing stability equations for states of turning around vertical axis, turning the side direction, turning back direction and sliding in all cutting modes and a computer program that is founded on these equations has been written in C++. Using this program, stability analysis can be made only one point on the excavation face or whole face. Stability analysis of a BEP type machine has been made by using this method in overcutting, undercutting, lowering and lifting modes and the obtained results is given in this study. According to the results, the stability state of turning around the vertical axis of the BEP type machine is the most critical state especially in overcutting and undercutting modes. With using this developed method, the effect of the machine and tunnel parameters on the stability of the boom type tunneling machines can be investigated as well as determining the stability state of these machines.

Keywords: Boom type tunneling machines, cutting modes, stability analysis.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ömür ACAROĞLU, acaroglu@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 61 76.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Maden Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Bomlu kazı makinalarının stabilite analizi ve optimum seçimi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 27.01.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 18.03.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Günümüzde her yıl madencilik ve inşaat amaçlı yüzlerce kilometre galeri/tünel açılmaktadır. Son yıllarda şehirleşmenin hızla artmasıyla birlikte ulaşım ve alt yapı amaçlı tünellere ihtiyaç artmıştır. 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.

Delme-patlatma yöntemi ile mekanize kazı sistemleri arasındaki farka bakıldığında, delme-patlatma yönteminin ilk yatırım maliyeti daha düşüktür; ama bu tek başına yöntem seçimini belirlememektedir. Mekanize kazı yöntemlerinin birim maliyeti tünel uzunluğu arttıkça azalmakta ve klasik yöntemle 2000 metre dolaylarında yaklaşmaktadır (Pakes, 1991). Patlayıcı madde kullanılmadığı için mekanize kazı sistemleri daha güvenilir, daha az işçi gerektiren dolayısıyla daha az işçi maliyeti ve daha düşük kaza oranının olduğu bir yöntem niteliğindedir (Eskikaya, 1981). Patlayıcı madde kullanılmaması aşırı sökülmeleri engellemekte, bu da tahkimat ve havalandırma maliyetlerini azaltmaktadır. Fakat delme-patlatma yöntemi her türlü eğimde, boyutta ve virajda uygulanabilen daha esnek bir yöntemdir.

Mekanize kazı sistemlerinden biri olan bomlu kazı makinalarının (BKM), diğer kazı makinaları arasında özel bir yeri vardır. Galeri/tünel sürümünün yanında yeraltı madenlerinde üretim amaçlı, özellikle kömür, evaporitik kayalar, endüstriyel mineraller ve metal cevher kazısında kullanımı yaygınlaşmaktadır (Breitrick, 1998). Bu makinalarının ilk yatırım maliyetleri tam cepheli kazı makinalarına göre daha düşüktür. Ayrıca değişik şekilli galerileri açabilecek esnekliğe sahiptirler. Ancak sert kesme koşulları için uygun olmayıp, düşükten orta sertliğe doğru stabil kayalar ortamlarının kazısı için uygundur (Matti, 1999). Günümüzde BKM'nin seçiminde ve performans tahmininde kullanılan birçok

yöntem vardır (Bilgin, 1989; Breeds ve Conway, 1992).

Bomlu kazı makinalarının kullanım aralığını artırabilmek için dizayn ve yapılarında değişiklikler yapılarak güç ve ağırlıkları artırılmaya çalışılmaktadır. Böylece daha yüksek tork ve kuvvet değerlerine yanıt verebilen, daha sert formasyonlarda kullanılabilen makinalar üretilenilecektir. Makinaların güç ve ağırlıkları artırılırken, dengeli kazı yapmalarını sağlayacak yapısal özelliklerin de sağlanması gerekmektedir. Aksi takdirde kazı sırasında stabilite problemleri ortaya çıkabilecek ve kazı verimi azalacaktır. Makina seçiminde stabilite kriterlerinin de göz önüne alınması zorunluluk arz etmektedir. Bu nedenlerden dolayı, bomlu kazı makinalarının stabilite analizlerinin yapılabileceği bir yöntemin geliştirilerek, makina ve galeri parametrelerinin stabiliteye nasıl etki ettiğinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca makina seçimi sırasında BKM'nin stabilite durumlarının seçim kriterleri olarak kullanılabilmesi için sayısallaştırılması gerekmektedir.

Literatürde BKM'nin stabilitesinin öneminden bahsedilmekle birlikte, bu konuda yapılan detaylı çalışmalara pek rastlanamamaktadır. Çalışmalarda daha çok BEP (kesici kafa dönme eksenine bom eksenine paralel olan) ve BED tipli (kesici kafa dönme eksenine bom eksenine dik olan) makinaların kıyaslaması yapılmıştır. Bu çalışmalardan birinde bir BKM'nin paletleri ile zemin arasındaki sürtünme momentinin makinanın özellikle yatay yönde uygulayacağı kuvveti sınırlandırıcı bir faktör olduğu ve bu moment değerinin boyutları belirli bir makinada, makinanın ağırlığı ile orantılı olduğu; ancak ağırlık artırıldığı takdirde kesme kuvvetlerin artırılabilmesi belirtilmiştir (Gehring, 1989). BEP tipli bir BKM'nde kısa zamanlı ani artışların makinayı kaydırabileceği ifade edilmiştir (Gehring, 1989). Eşit niteliklere sahip BEP ve BED tipli BKM'nin eşit kesme kuvveti oluşturacağını, fakat BEP tipli kafaya sahip olanda, yatay kuvvetlerin, BED tipli makinaya göre daha fazla olacağı belirtilmektedir (Menzel ve Frenyo, 1981; Kleinert, 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 kayalarla 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) 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 ve Lange, 1994). Matematiksel olarak, yatay kuvveti absorbe etmek için, BEP tipli kafaya sahip makinaların ağırlıklarının yaklaşık %20 daha fazla olması gerekmektedir (Menzel ve Frenyo, 1981).

Bomlu kazı makinalarının stabilite analizi için geliştirilen yöntem

Bu çalışmada, BEP ve BED tipli kesici kafaya sahip bomlu kazı makinaları için stabilite analizi yapan bir yöntem geliştirilmiştir. Analiz için aşağıdaki dört işlem gerçekleştirilmektedir. Kullanılan parametreler Şekil 1’de gösterilmiştir.

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

Çalışmada; yukarıda belirtilen dört stabilite durumunu ifade eden eşitlikler BEP tipli kafalar için arına (kazı aynası) girme, üstten kesme, alttan kesme, aşağıya doğru kesme ve yukarıya doğru kesme modları için; BED tipli kafalar için ise arına girme, yanlara doğru kesme, aşağıya doğru kesme ve yukarıya doğru kesme modları için ayrı ayrı kurulmuş ve burada örnek olarak BEP tipli kafaların alttan kesme modu için kurulan eşitlikler (1–4) gösterilmiştir.

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

$$C1=(W*\mu*\cos(\beta)*p)-((VR*\cos(\alpha1)+AR*\cos(\alpha2)*\sin(\alpha1))*((u*\cos(\alpha2)*\cos(\alpha1)+s*\cos(\alpha1)+m))+ (SR*\sin(\alpha2)-AR*\cos(\alpha2)*\cos(\alpha1)+VR*\sin(\alpha1))*((u*\cos(\alpha2)*\sin(\alpha1)+s*\sin(\alpha1))) \quad (1)$$

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

$$C2=(W*\cos(\beta)*e/2)-((VR*\cos(\alpha1)+AR*\cos(\alpha2)*\sin(\alpha1))*((u*\cos(\alpha1)*\sin(\alpha2)+f)+(-SR*\cos(\alpha2)-AR*\cos(\alpha1)*\sin(\alpha2))*((u*\cos(\alpha2)*\sin(\alpha1)+s*\sin(\alpha1)+e/2)) \quad (2)$$

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

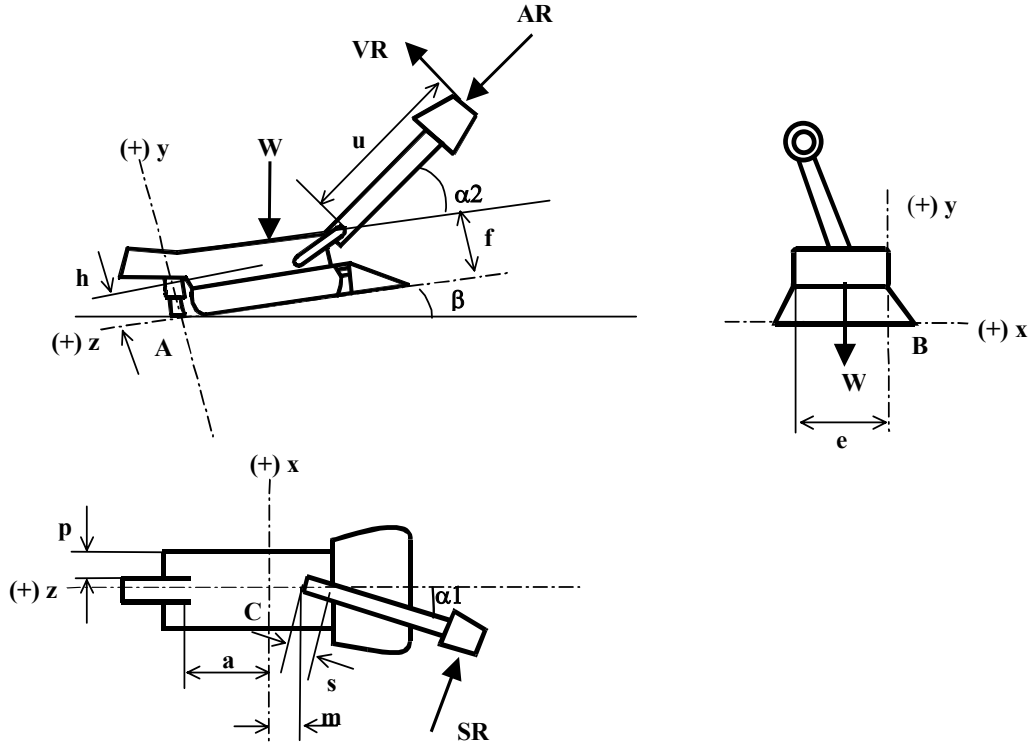
$$C3=(W*\cos(\beta)*a-w*\sin(\beta)*h)-((AR*\cos(\alpha1)*\cos(\alpha2)-SR*\sin(\alpha2)-VR*\sin(\alpha1))*((f+u*\cos(\alpha1)*\sin(\alpha2))+(-SR*\cos(\alpha2)-AR*\cos(\alpha1)*\sin(\alpha2))*((u*\cos(\alpha1)*\cos(\alpha2)+s*\cos(\alpha1)+m+a)) \quad (3)$$

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

$$C4=(W*\cos(\beta)*\mu)-(-SR*\sin(\alpha2)+AR*\cos(\alpha1)*\cos(\alpha2)-VR*\sin(\alpha1)) \quad (4)$$

Stabilite analizi programı

Yukarıda açıklanan yöntem kullanılarak, BKM’nın stabilite analizini yapan bir bilgisayar programı C++ bilgisayar dili kullanılarak geliştirilmiştir. 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



Şekil 1. Bomlu kazı makinalarının stabilite analizinde kullanılan parametreler

kesme modunda ya arının tamamında ya da istenilen noktada belirlenebilmektedir. Şekil 2 ve Şekil 3’de iki kısım olarak verilen akım şemasında görüldüğü üzere; ilk olarak kullanıcı tarafından kesici kafa tipi ve kesme modu seçilir. Bu işlemden sonra analizin arının tamamı için mi, yoksa sadece bir noktası için mi yapılacağı sorulmaktadır. Bütün arın boyunca analiz yapılacaksa, bomun zemine paralel olduğu konuma göre yatay ve dikey düzlemlerde yapabileceği maksimum açılar (α_1 , α_2 , α_3) istenmektedir. Programda bom açıları 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 tünele ait parametreler programa girilmektedir.

Program tarafından; stabilite analiz sonuçları ve analizi yapılan makineye ait parametreler, kafa tipi ve tünel parametreleri bir çıkış dosyasına yazılmaktadır.

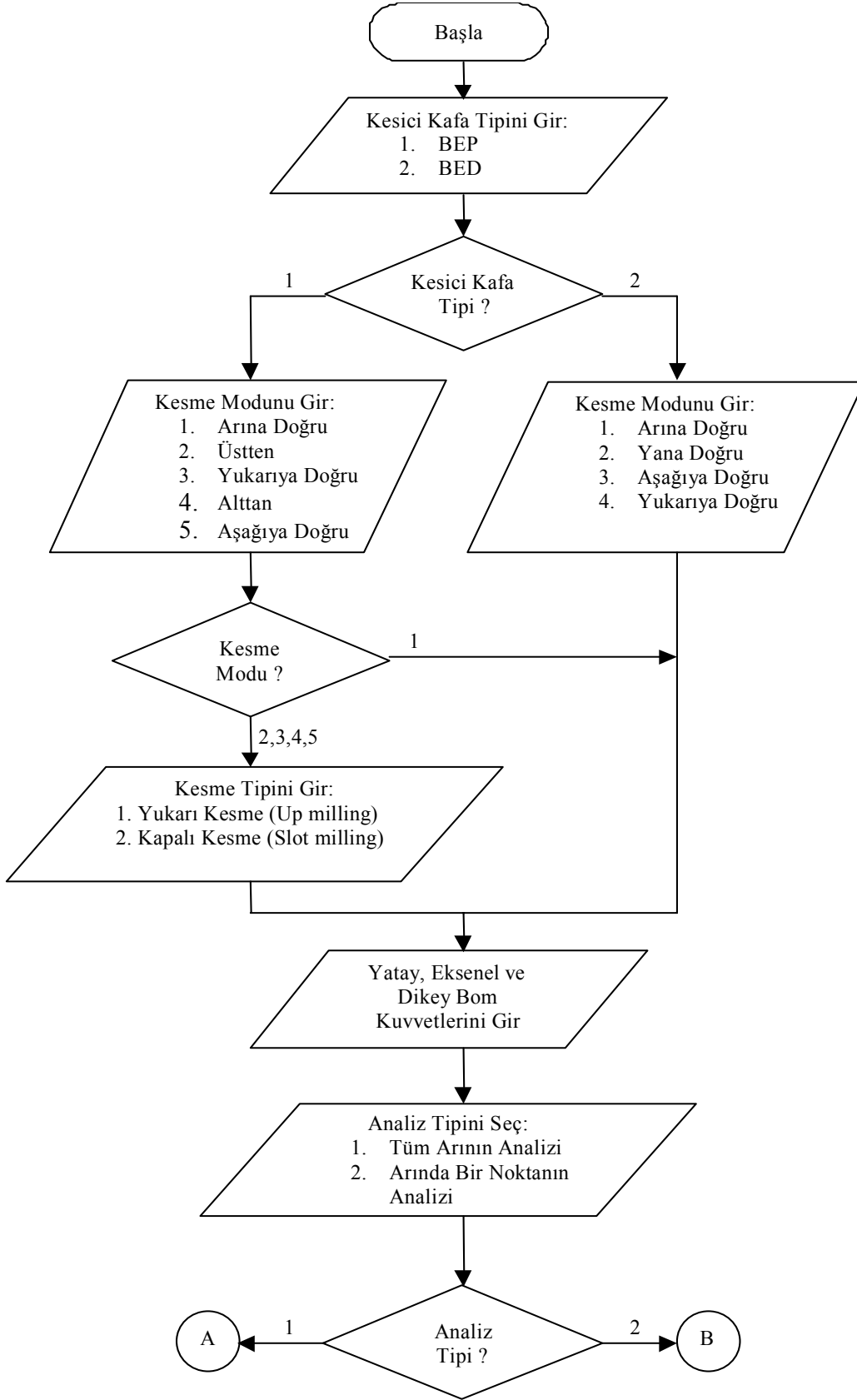
Programda ayrıca; analiz edilen makinenin bom uzunluğu, bomun yatay ve dikey dönme noktaları arasındaki mesafe ve bomun yatay düzlemde yanlara, dikey düzlemde yukarıya ve aşağıya doğru yapacağı bom açıları kullanılarak, makinenin keseceği profilin değerleri elde edilmektedir. Profil değerleri X (tünel genişliği) (m) ve Y (tünel yüksekliği) (m) koordinatları olarak programın verdiği çıkış dosyasında yer almaktadır.

Makinaların kesebilecekleri tünel profili dikey eksene göre simetrik olduğu için, programdan elde edilen değerler sadece tünelin 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 arın boyunca değişimini gözlemek mümkündür.

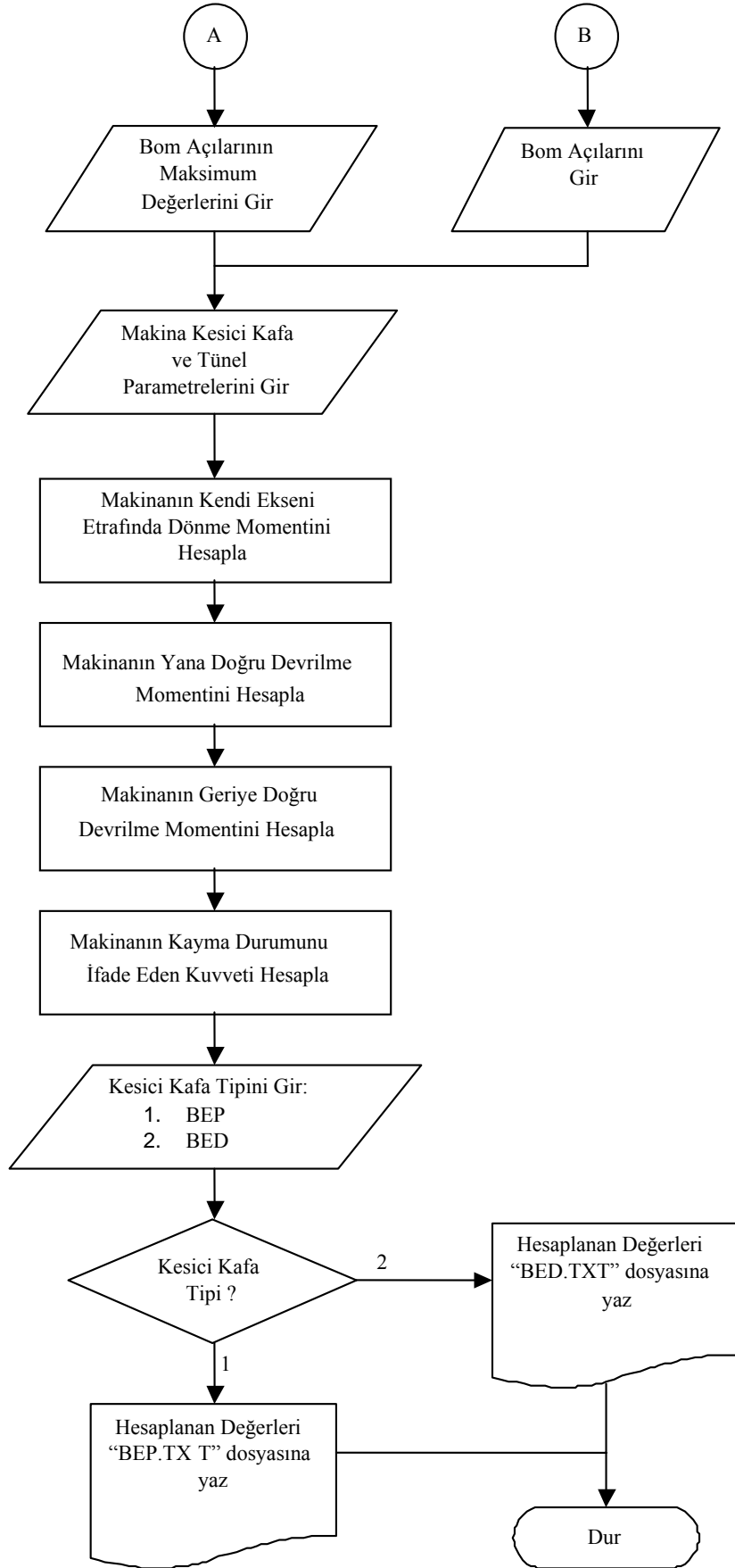
BEP tipli bir bomlu kazı makinasının stabilite analizi

Yukarıda açıklanan stabilite programı kullanılarak, bir BEP tipli BKM’nın kesebileceği maksimum kesit boyunca stabilite analizi yapılmıştır.

Bomlu kazı makinalarının stabilite analizi



Şekil 2. BKM stabilite analizi programının akış diyagramı (I.kısım)



Şekil 3. BKM stabilite analizi programının akış diyagramı (II.kısım)

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; Hekimoğlu, 1986). Verileri kullanılan kesici kafa küresel şekilli olup, 69° köşe kesici eğim açısına ve 16 keskiye sahiptir. 43 MPa basınç dayanımına sahip bir kumtaşında keskilere etki eden kuvvet değerleri stabilite analizi için kullanılmıştır.

Keski kuvveti verileriyle, kesici kafaya ilerleme, dikey ve eksenel yönde etki eden bom kuvvetleri bir bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır (Acaroğlu, 2002). Elde edilen değerler, makinanın karşılayabileceği sınırlar dahilindedir. Bom reaksiyon kuvvetleri ve analizde kullanılan diğer makina ve galeri parametrelerinin değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Stabilite programı kullanılarak, bu bomlu kazı makinasının 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. Bu değerler, programda bom açılarının yatay ve düşey yönde 5° 'er derece aralıklarla değiştirilmesiyle bütün arın kesiti için elde edilmiştir. Arının dikey eksene göre simetrik olduğu kabul edilerek, dataların arın genişliğinin yarısına tekabül eden kısmı burada sunulmaktadır.

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 Tablo 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 kalacağı belirtilmektedir. Elde edilen değer büyüdükçe makinanın kayma açısından stabilitesinin artacağı ifade edilmektedir.

Tablo 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.

Tablo 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 yatay konumdayken zemin ile arasındaki mesafe (f) | 1.7 m |
| Bomun yatay dönme noktası ile dikey dönme noktası arasındaki mesafe (s) | 0.5 m |
| Bomun yatay düzlemde yapabildiği maksimum açı (α_1) | 50° |
| Bomun dikey düzlemde yukarı doğru yapabildiği maksimum açı (α_2) | 50° |
| Bomun dikey düzlemde aşağı doğru yapabildiği maksimum açı (α_3) | 35° |
| Yatay 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 (μ) | 0.8 |

Tablo 2. Bir BKM'nin stabilite analizi sonucu elde edilen en küçük moment değerleri ve bu değerlerin elde edildiği bom açıları

| Stabilite Durumu | Kesme Modları | Moment (kNm)* | $\alpha 1$ (derece) | $\alpha 2$ (derece) |
|---------------------------|----------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| Dik eksen etrafında dönme | Üstten kesme | 74.32 | 0 | 0 |
| | Yukarıya doğru kesme | 83.44 | 50 | 40 |
| | Alttan 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 |
| | Alttan kesme | 292.27 | 0 | 50 |
| | Aşağıya doğru kesme | 281.78 | 50 | 0 |
| Geriye Devrilme | Üstten kesme | 514.04 | 0 | 0 |
| | Yukarıya doğru kesme | 552.84 | 50 | 0 |
| | Alttan kesme | 530.2 | 0 | 0 |
| | Aşağıya doğru kesme | 487.54 | 0 | 0 |
| Kayma | Üstten kesme | 188.28 | 0 | 20 |
| | Yukarıya doğru kesme | 188.54 | 0 | 0 |
| | Alttan kesme | 188.54 | 0 | 0 |
| | Aşağıya doğru kesme | 185.29 | 0 | 50 |

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

Yana devrilme durumunda ise kesme modlarında değerler birbirine daha yakın çıkmıştır. Bu stabilite durumunda 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.

Programdan elde edilen kesme profili dataları ve arın boyunca hesaplanan moment ve kayma durumunu ifade eden kuvvet değerleri kullanılarak, Surfer Programıyla izohips eğrileri çizilmiş ve bunlardan dört stabilite durumu için en küçük değerlerin elde edildiği kesme modlarına ait izohips eğrileri Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekillerde galerinin ortası, bomun zemine paralel olduğu konum olarak (zeminden yukarıya doğru 1.7 m yüksekliğinde) kabul edilmiştir.

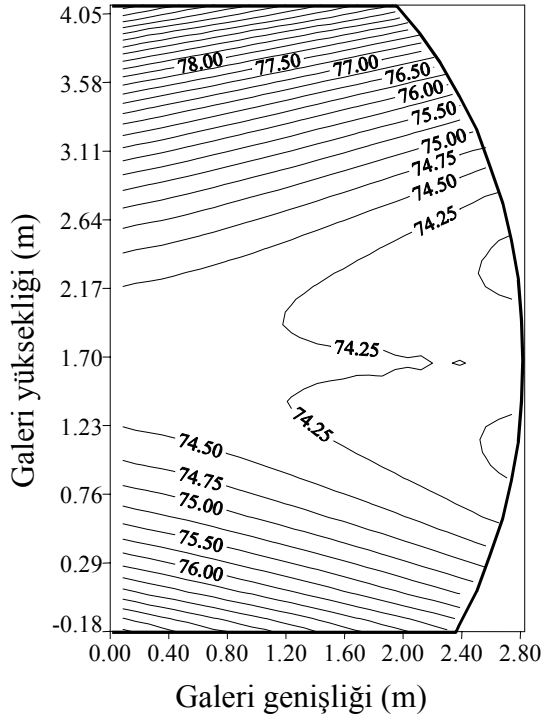
Şekil 4a'dan görüleceği gibi, analiz edilen makinanın dik eksen etrafında dönme durumu alttan kesme modunda, galerinin orta kısmında moment değerleri küçük değerler almakta ve galeri kenarlarına doğru daha da küçülmektedir.

Yana devrilme durumunu aşağıya doğru kesme modunda ifade eden moment değerleri, galeri merkezinin alt ve üst kısımlarında yüksek iken yanlara doğru küçülmektedir (Şekil 4b).

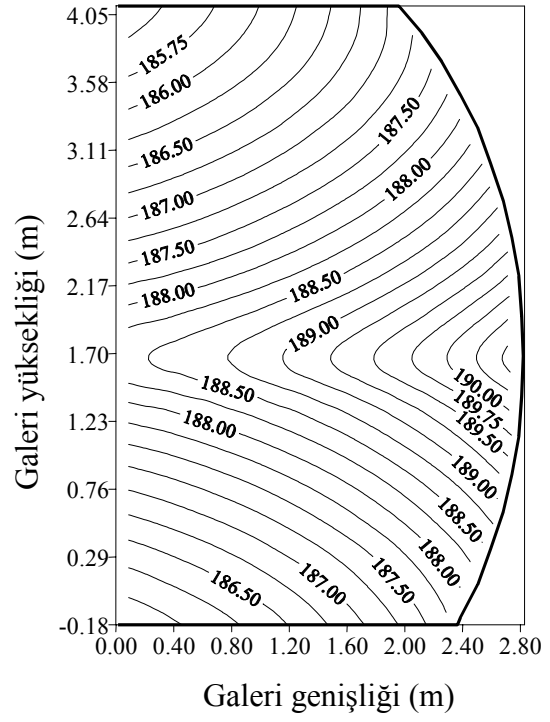
Şekil 5a'dan görüleceği gibi, aşağıya doğru kesme modunda geriye devrilme durumunu gösteren moment değerleri galeri merkezinde küçük iken, alt kısımlara, üst kısımlara ve kenarlara doğru artmaktadır.

Kayma durumunu ifade eden kuvvet değerleri aşağıya doğru kesme modunda, galeri ortasının kenar kısmında nispeten büyük iken, iç kısımlara yaklaştıkça değerler küçülmektedir. Kritik kuvvet değerleri galeri ortasının alt ve üst kısımlarında elde edilmiştir (Şekil 5b).

Bomlu kazı makinalarının stabilite analizi

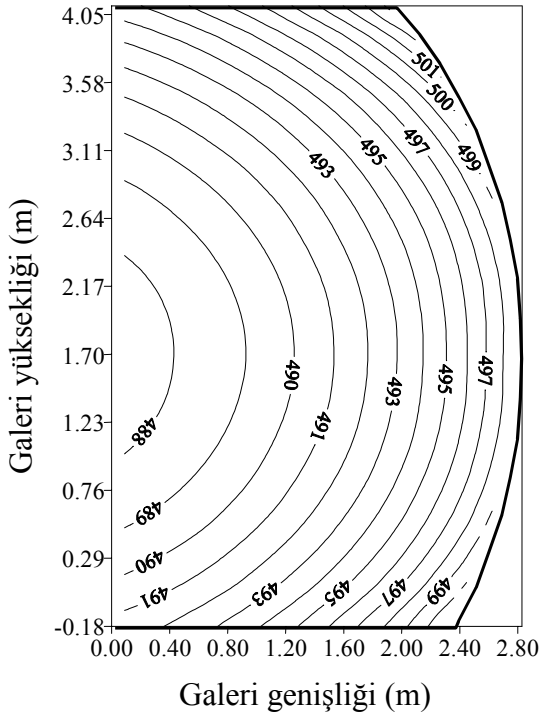


(a)

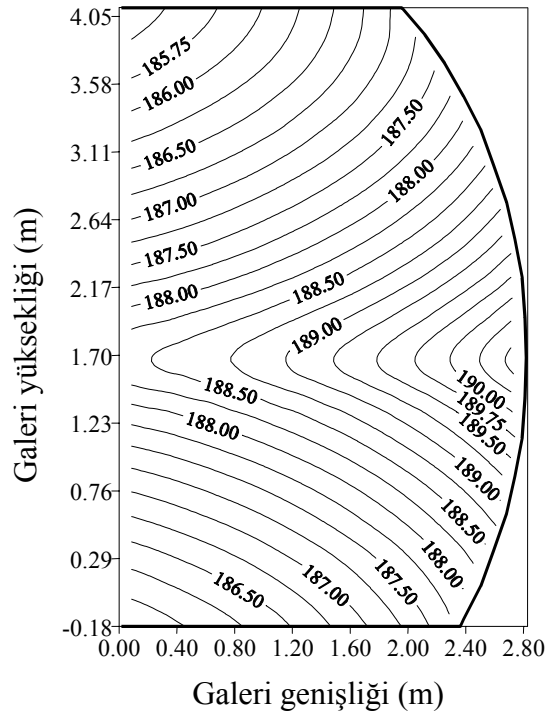


(b)

Şekil 4. Bir BKM'nin (a) altan kesme modunda dik eksen etrafında dönme durumunu (b) aşağıya doğru kesme modunda yana devrilme durumunu gösteren moment izohipleri



(a)



(b)

Şekil 5. Bir BKM'nin aşağıya kesme modunda (a) geriye devrilme moment izohipleri (b) kayma durumunu gösteren kuvvet izohipleri

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 kullanılabilmesi için stabilite durumlarının iyileştirilebilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, makina tasarım parametreleri dikkate alınarak stabilite analizi yapan yeni bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemle dayanılarak bir bilgisayar programı yazılmıştır.

Geliştirilen stabilite analizi yöntemi kullanılarak, bir BEP tipli makinanın analizi için yapılan uygulamada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Dik eksen etrafında dönme durumu en kritik durum olup; en küçük moment değeri, alttan kesme modunda ve bom açıları yatayda 50° , dikeyde ise 10° iken elde edilmiştir.

2. Yana devrilme durumu en küçük moment değeri, aşağıya doğru kesme modunda ve bom açıları yatayda 50° , dikeyde ise 0° iken elde edilmiştir.

3. Geriye devrilme durumunu gösteren en küçük moment değeri, diğer bir ifadeyle en kritik stabilite durumu da aşağıya doğru kesme modunda bom zemine paralel iken, yani yatay ve dikey düzlemde 0° açılı olduğu durumda elde edilmiştir.

4. Kayma durumunda ise en küçük kuvvet değeri; aşağıya doğru kesme modunda, bom yatayda 0° , dikeyde ise 50° olduğu durumda elde edilmiştir. Alttan kesme modunda ise, galerinin merkezinde kuvvet değerleri küçükken yanlara doğru gidildikçe artmaktadır.

Geliştirilen stabilite analizi yöntemi kullanılarak BEP ve BED tipli bir BKM'nın stabilite analizi yapılabileceği gibi makina stabilitesine; makina tasarım parametreleri, kesici kafa ve tünel parametrelerinin nasıl etki ettiği de belirlenmektedir. Ayrıca açılacak tünel veya galeri için optimum BKM seçiminde elde edilen stabilite durumu değerlerinin kullanılması söz konusu olacaktır.

Semboller

| | |
|------------|---|
| W | : Makina ağırlığı |
| e | : Makina genişliği |
| p | : Palet genişliği |
| u | : Bom uzunluğu |
| m | : Makinanın ağırlık merkezi ile bomun başlangıç noktası arasındaki mesafe |
| a | : Makinanın ağırlık merkezi ile arka ayağı arasındaki mesafe |
| f | : Bom yatay konumda iken zemin ile arasındaki mesafe |
| d | : Makinanın ağırlık merkezi ile zemin arasındaki mesafe |
| s | : Bomun yatay dönme noktası ile dikey dönme noktası arasındaki mesafe |
| $\alpha 1$ | : Bomun yatay düzlemde yana doğru yapabildiği maksimum açı |
| $\alpha 2$ | : Bomun dikey düzlemde yukarı doğru yapabildiği maksimum açı |
| $\alpha 3$ | : Bomun dikey düzlemde aşağı doğru yapabildiği maksimum açı |
| SR | : Boma etki eden yatay kuvvet |
| AR | : Boma etki eden eksenel kuvvet |
| VR | : Boma etki eden dikey kuvvet |
| μ | : Makina ile zemin arasında sürtünme katsayısı |
| β | : Tünel/galeri eğimi |

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.
- Bilgin, N., (1989). İnşaat ve Maden Mühendisleri için Uygulamalı Kazı Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Breeds, C. D. ve Convay, J. J., (1992). Rapid Excavation, *Mining Engineering Handbook*, 1871-1907, Eds: H.L. Hartman, 2. Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Colorado.
- 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. ve 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*, 21, 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.
- Kleinert, H. W., (1982). New Test-bed Results for Cutting 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.
- Matti, H., (1999). Sandvick Rock Excavation Handbook.
- Menzel, W. ve Frenyo, P., (1981). Selective-cut Roadheading Machines with Longitudinal and Transverse Cutting Heads, *Glückauf*, **117**, 5, 284-287.
- McDermott, J., (1988). Roadheaders Characteristics 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.