

1 *Kaya mühendisliği*

Adana - Gaziantep Otoyolu Kızlaç Tünellerinde Kazı ve Tahkimat Uygulamaları

A.Kııç

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

ÖZET: Bu çalışmada, Adana - Gaziantep Otoyolu'nun Bahçe (Osmaniye) yöresi Orta Amanoslar (Nur Dağı) kesiminde bulunan ve toplam uzunluğu 2750 m olan T3-A ve T3-B tünellerinde kaya sınıflarına bağlı olarak uygulanan kazı yöntemi ve tahkimat sistemleri incelenmiştir. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemine göre tünel güzergahında Sınıf 3, Sınıf 4, Sınıf 5 ve Sınıf 6 kaya kütlelerine rastlanmıştır. Sınıf 3, Sınıf 4 ve Sınıf 5 kaya kütlelerinde delme - patlatma yöntemi ile kazı yapılırken, Sınıf 6 kaya kütlelerinde mekanik kazı makineleri kullanılmaktadır. Tünelin sağlamlaştırılması ve tahkimatı amacı ile 21010 m³ püskürtme beton, 486 t çelik hasır, 132 t tavan bağı, 840 t kavisli çelik bağ, 130000 m kaya saplaması, 816890 kg enjeksiyon ve 4000 m boyunda önsüren borusu kullanılmıştır.

ABSTRACT: Excavation and support systems based on rock classification in T 3-A and T 3-B tunnels located at the Middle Amanos (Nur Mountain) region of Adana - Gaziantep motorway, were investigated. Total length of the tunnels is 2750 m. According to New Austrian Tunnelling Method (NATM) in the tunnel route, four classes of rock masses were encountered: Drilling and blasting method in rock mass classes 3, 4 and 5 were applied for excavation, whereas mechanical excavating machines were used in class 6. With the purpose for reinforcement and support, purposes 21010 m³ shotcrete, 486 t wire mesh, 132 t roof ties, 840 t steel arch, 130000 m rock bolt, 816890 kg cement injection and 4000 m forepoles were used in tunnels.

1 GİRİŞ

Pozantı (Adana) - Gaziantep Otoyolu, Türkiye'nin en önemli alt yapı ve ulaşım projelerinden birisi olup toplam uzunluğu 258 km'dir. Tünel 3-A ve Tünel 3-B; otoyolun 208 ve 212 nci kilometreleri arasında Osmaniye ili, Bahçe yöresi Orta Amanos dağları üzerinde inşa edilmiştir.

Proje aşamasında Nur dağı geçidinin (E - 24 karayolu) kuzey yamacında ve 2750 m uzunluğunda tek bir tünel planlanmıştır. Ancak araştırmalar sırasında bölgede heyelan ve yeraltı suyunun varlığı tespit edildiği için bu tünelin geçidin güney yamacında ve iki ayrı tünel olarak (Tünel 3-A ve Tünel 3-B) inşasına karar verilmiştir. Tünel 3-A ve Tünel 3-B, gerçek anlamda birbirinden ayrı olmayan, yalnızca, Kızlaç vadisinde bir giriş galerisi ve bir kuyu ile birbirlerinden ayrılmış olan bir tüneldir. Tünel 3-A 1200 m ve Tünel 3-B 1550 m uzunluklarında ve her biri 3 şeritli olan çift geçişli tünellerdir. Tünel kesitinin kazı genişliği ortalama 16 m ve kazı yüksekliği de 8 m olup, bu değerler kaya sınıfı ve buna bağlı püskürtme betonu

kalınlığının değişmesine bağlı olarak 20 cm kadar değişmektedir.

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) temel olarak inşa edilen tünelde Sınıf 3 (%47), Sınıf 4 (%38), Sınıf 5 (%6,8), Sınıf 6 (%7,1) ve göçük (%0,4) türü kaya kütlelerine rastlanmıştır. Toplam 644818 m³ kaya kazısı yapılmıştır. Kazı yöntemi olarak Sınıf 3, Sınıf 4 ve Sınıf 5 kaya kütlelerinde delme-patlatma yöntemi, Sınıf 6 ve göçük bölgesinde mekanik kazı yöntemi uygulanmıştır. Tahkimat elemanı olarak püskürtme beton, çelik hasır, tavan bağı, kaya saplamaları, kavisli çelik bağ, enjeksiyon ve önsürenler kullanılmıştır.

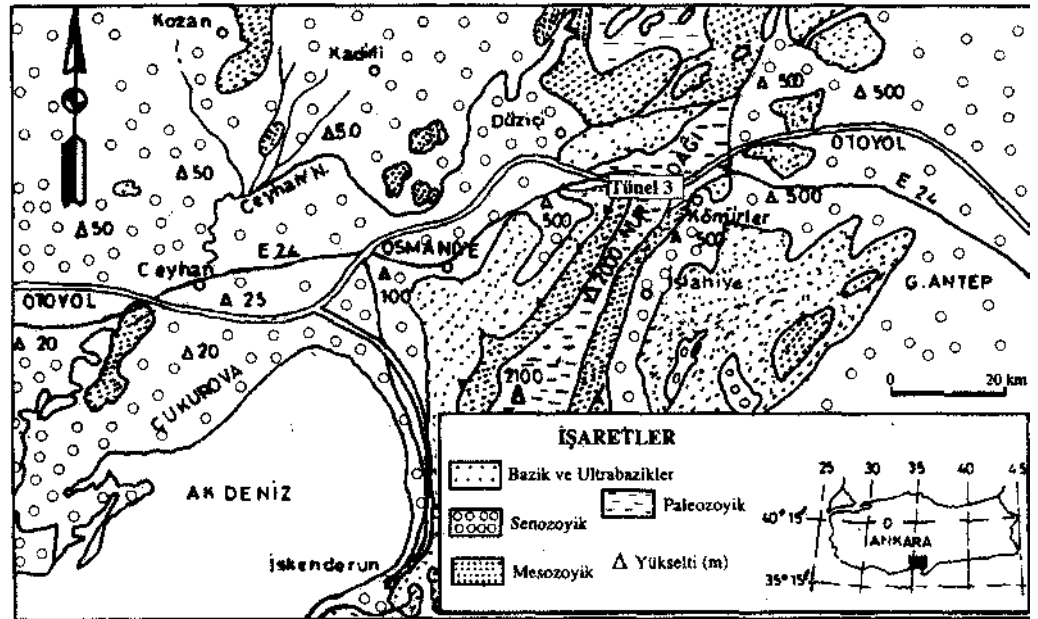
İki kez göçük olayının meydana gelmesi ve 2700 m kadar zemin malzemesinin tünel içerisine dolması çalışmaların bir yıl süre ile durdurulmasına neden olmuştur. Yaklaşık 4 yıl kadar süren çalışmalar sonunda inşası tamamlanmış olan tünel 1999 yılından beri ulaşım hizmeti vermektedir.

2 TÜNELLERİN JEOLojİSİ

2.1 Genel Jeoloji

Adana - Gaziantep otoyolu Kızılçak tünellerinin geçtiği güzergâhı içerisinde bulunduran Orta Amanoslar (Nur Dağı), metamorfik, tortul, ofiyolitik ve volkanik kayalar içermektedir (Şek. 1).

Bölgedeki temel litolojiye Paleozoyik yaşlı ve meta kırıntılı kayalar, dolomitik kireçtaşları ve silisleşmiş dolomitik kireçtaşları hakimdir. Çalışma alanının batısında ofiyolitik birimler yer alırken, ofiyolitik birimlerin üzerinde Üst Miyosen yaşlı, fi İliş karakterli tortul birimler uyumsuz olarak bulunmaktadır. Bu birimin esas bileşenleri ise; serpantin, splitik bazalt, radyolerit, rekristalize kireçtaşı ve tortul seviyelerdir.



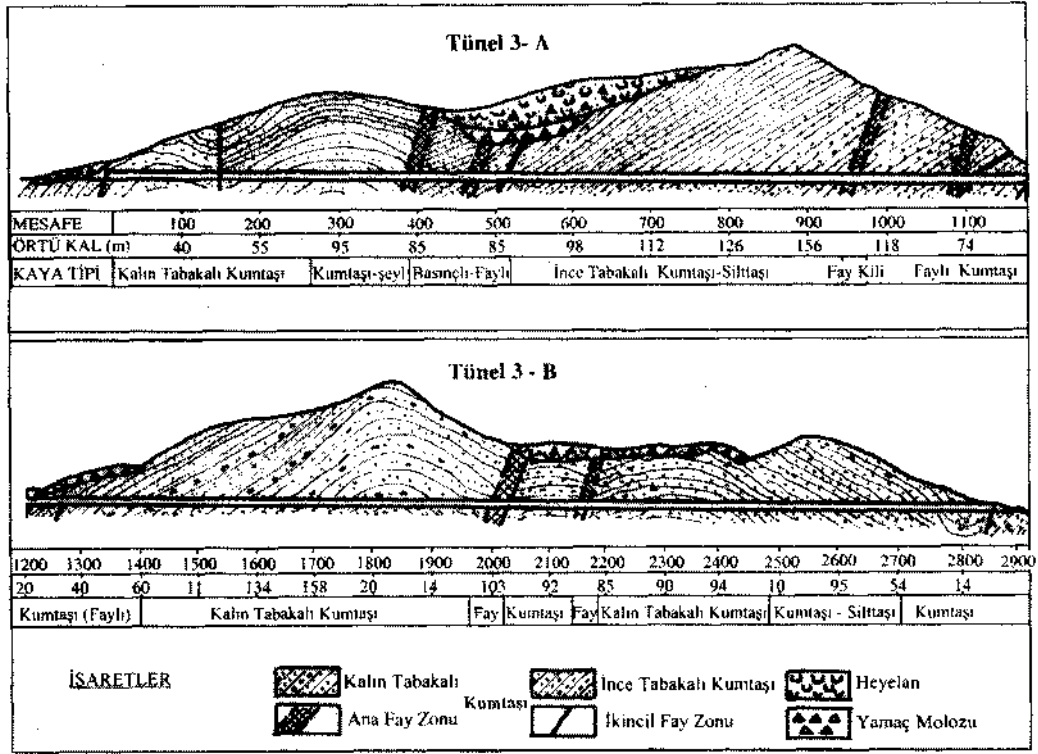
Şekil 1. Bölgenin genel jeoloji haritası (M.T.A.,1989).

2.2 Mühendislik Jeolojisi

Jeolojik olarak oldukça karmaşık ve problemleri bir bölge olan tünel güzergahında mühendislik açısından çok farklı özelliklere sahip kaya ortamlarına rastlanmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı 120 MPa olan yüksek dayanımlı, orta derecede sık-bloklı, kalın tabakalı (Deere & Miller 1966), katı-elastik (Judd & Huber 1962) kumtaşları, tek eksenli basınç dayanımı 90 MPa olan orta dayanımlı, sık eklemlili-çatlaklı, orta elastik ince tabakalı kumtaşları, tek eksenli basınç dayanımı 40 MPa olan düşük dayanımlı, sık eklemlili-çatlaklı,

Yapısal açıdan; Amanos dağları dünya çapında bilinen tektonik zonların kesişim yerlerinde veya etki alanlarında bulunmaktadır. Nur dağında kıvrımlanma ve faylanmaların karakteristik özellikleri gözlenebilmektedir. Değişik ölçekte devrik, sürüklenme ve yatık kıvrımlanma mevcuttur. (Duman 1993). Kaynak ve sızıntı suları batı tarafında yoğunlaşmakta ve yapısal jeolojiye bağlı olarak süreksizlik zonlarında gözlenmektedir (Yılmaz 1995). Bu kaynak ve sızıntılar ana kayada önemli ölçüde ayrışmaya yol açmıştır. Jeolojik birimlerin mühendislik özellikleri yapısal ve hidrojeolojiye ve kaya türlerine bağlı olarak bir bölgeden diğerine çok büyük farklılıklar göstermektedir (Yılmaz vd. 1992).

elastik olmayan kahve rengi silttaşları ile tamamen ayrılmış ve zemin görünümü şeyller tüneli çevreleyen kaya külesini oluşturan kaya türleridir (Şek. 2). Kalın tabakalı kumtaşlarında eklemler; sık - dalgalı veya dolguludur. İnce tabakalı kumtaşları ve silttaşlarında eklemler; dolgulu, açık (1 - 2 cm) veya yer yer dolgusuz ve çok açık (4 - 5 cm) olup, bloklar tamamen serbest haldedir. Şeyi malzemesi ise; standart karot alınmayacak kadar parçalanmış ve ufalanmış durumdadır.



Şekil 2. Kızlaç tünellerinin kesit görüntüleri.

3 KAZI VE TAHKİMAT

3.1 Kazı

Tünellerin kazısı sırasında Sınıf 3, Sınıf 4 ve Sınıf 5 kaya kütlelerinde delme - patlatma yöntemi, Sınıf 6 ve göçük bölgelerinde mekanik kazı yöntemi uygulanmaktadır. Tünel 3-A ve Tünel 3-B ye ait kaya sınıfları ve kazı miktarı Çizelge 1'de topluca verilmektedir.

Sınıf 3 kaya kütlelerinde, tünel, üst yarı ve alt yarı kazısı olarak ayrı ayrı ilerletilmektedir. Have boyu; üst yarı kazısında 2,0 - 3,0 m arasında, alt yarı için üst yarı have uzunluğunun en çok 2 katı kadardır. Kazı yumuşak patlatma ile yapılmaktadır. Patlatma sonucu tahkimat elemanlarının hasar görmemesi ve düzgün bir tünel kesitinin sağlanabilmesi için kazı çevresinde sık aralıklarla delinen deliklere daha küçük çaplı patlayıcı madde kartuşları konularak patlatma yapılmaktadır. Bir metre küp kayacın yerinden sökülebilmesi için kullanılan patlayıcı madde miktarı 650 - 700 gr kadardır. Patlatma sonucu, genellikle, taze ve düzgün yüzeyler ortaya çıkmaktadır.

Sınıf 4 kaya kütlelerinde tünel kazısı üst yarı ve alt yarı olarak ayrı ayrı yapılmaktadır. İlerleme boyu;

üst yarı için 1,5 - 2,5 m arasında, alt yarı için bu değer en çok 2 katı kadardır. Kazı yumuşak patlatma yöntemi ile yapılmakta, patlatma sonucu, genellikle, taze yüzeyler ortaya çıkmaktadır. Bir metreküp kayacın kazısı için kullanılan patlayıcı madde miktarı 500 - 550 gr kadardır. Kazı çevresinde ortaya çıkan çıkıntılar kazı makineleri yardımı ile düzeltilmektedir.

Sınıf 5 kaya kütlelerinde tünel kazısı üst yarı ve alt yarı kazısı olarak ayrı ayrı yapılmaktadır. Kazı yumuşak patlatma yöntemi ile yapılırken, kazı aynasının ortasında ve kazı çevresinde bulunan deliklere patlayıcı madde konulmamaktadır. Bu grup kaya kütlelerinde bir metreküp kayacın kazısı için 150 - 200 gr patlayıcı madde kullanılmaktadır. Patlatma, nakliyat ve tahkimat arasında geçen süre içerisinde oluşabilecek aşırı deformasyonların önlenmesi ve tünel tavanında bulunan serbest blokların düşerek kazı çevresinde girintiler oluşturmasının önlenmesi amacı ile önsürenler kullanılır. Tavan kısmı boyunca, tünel eksenine paralel olarak yerleştirilen önsürenlerin boylan 6 m, çapları 32 mm ve aralıkları da ortalama 60 cm dir. Üst yarı kazısı için ilerleme boyu 1,0 - 1,7 m ve alt yarı kazısı için bu değer en çok 2 katı kadardır.

Patlatma sonucu, kayaç, süreksizlik düzlemleri boyunca kırıldığından taze olmayan ve girintili - çıkıntılı yüzeyler ortaya çıkmaktadır. Bu çıkıntılar kazı makineleri yardımıyla düzeltilirken, girintiler de püskürtmebeton ile doldurulmaktadır.

Sınıf 6 kaya kütesinde tünel kesiti önce alt yarı ve üst yarı olarak iki kısma ayrılmakta, yine üst yarı da kendi içinde; üst kazı bölgesi, sağ ve sol galeriler ve çekirdek bölgesi olmak üzere 4 farklı kazı kısmına ayrılmaktadır, ilerleme boyu üst yarı kazısı için 1,0 - 1,2 m kadardır. Kazının büyük bir kısmı kazı makineleri ile gerçekleştirilirken, sağ ve sol galerilerin alt kısımlarında gevşetme amaçlı olarak patlatma yapılmaktadır. Bu grup kaya kütesinde

kazıyı müteakip kazı aynası dahil olmak üzere tüm açık yüzeyler tahkim edilmektedir. Ayrıca deformasyonların önlenmesi amacı ile üst yarının orta kısmında 4 - 5 m uzunluğunda bir destek çekirdeği bırakılmaktadır. Bu grup kaya kütesinde kazı ve tahkimat işlemleri eş zamanlı olarak yapılmaktadır.

3-A tünelinin batı girişi yönündeki sağ geçidinin 275 - 300'üncü metreleri arasında oluşan ve 1450 m³ civarında zemin malzemesinin tünel içerisine boşalmasına neden olan göçük ve bu bölgenin yeniden sağlamlaştırılması ve kazısı sırasında kazıdan önce zeminin sağlamlaştırılması amacı ile enjeksiyon ve önsürenler kullanılmıştır.

Çizelge 1 Kızlaç tünellerinde kaya sınıflarına bağlı kazı miktarı.

Kaya sınıfı	Kazı miktarı (m ³)		Toplam kazı miktarı (m ³)	Toplam kazı miktarı (%)
	Tünel 3-A	Tünel 3-B		
Sınıf3	7345	299146	306491	47,5
Sınıf 4	191672	54136	245808	38,1
Sınıf5	44126	-	44126	6,8
Sınıf 6	338097	7601	45698	7,1
Göçük bölgesi	2695	-	2695	0,4
Toplam. kazı miktarı (m ³)	283935	360883	644818	100

3.2 Tahkimat

Sınıf 3 kaya kütesinde kazıyı müteakip üst yarı ve yan duvarlarda düzenli olarak tahkimat elemanları kullanılmaktadır. Tahkimat elemanı olarak; 100 mm kalınlığında püskürtme beton, bir kat çelik hasır ve tavan bağlan kazı aynasından 1 have geriden olacak şekilde yerleştirilmektedir. 2.5 m aralıklı (have boyu kadar), 4 m boyunda, 28 mm çapında, nervürlü kaya saplamaları kullanılmaktadır. Kullanılan tavan bağları saplamalarla aynı hizadadır. Sınıf 3'te kullanılan tahkimat elemanları ve düzeni Şekil 3'te verilmektedir.

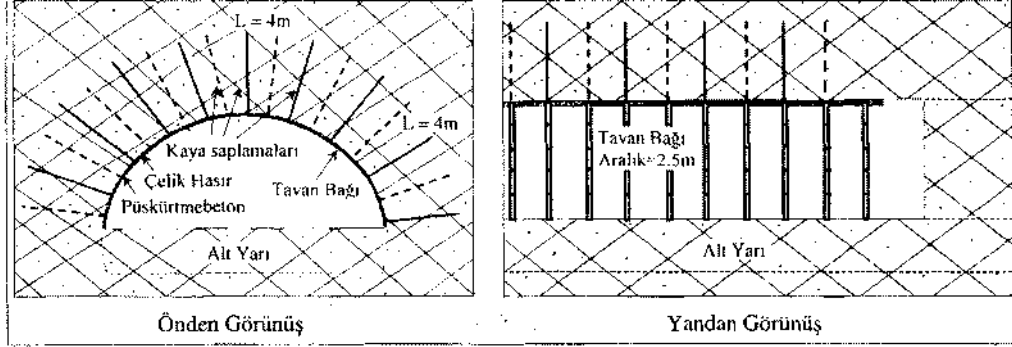
Sınıf 4 kaya grubunda, üst ve alt yarıdaki tahkimat elemanları kazı aynasının ilerletilmesinden önce ve düzenli olarak yerleştirilmektedir. Tünelin yan duvarlarında 100 mm ve tavan kısmında 150 mm kalınlığındaki püskürtme beton, bir kat çelik hasır, 2 m aralıklı (have boyu kadar) kavisli çelik bağ ve düzenli olarak 2 m aralığında, 28 mm çapında ve 4 m uzunluğunda, ardışık kavisli çelik bağların ortasında olacak şekilde ve bir sonraki havede şaş beş düzeninde yerleştirilen kaya saplamaları bu sınıfta kullanılan tahkimat sistemini oluşturmaktadır.

Şekil 4'te bu grup kaya kütesinde kullanılan tahkimat düzeni verilmektedir.

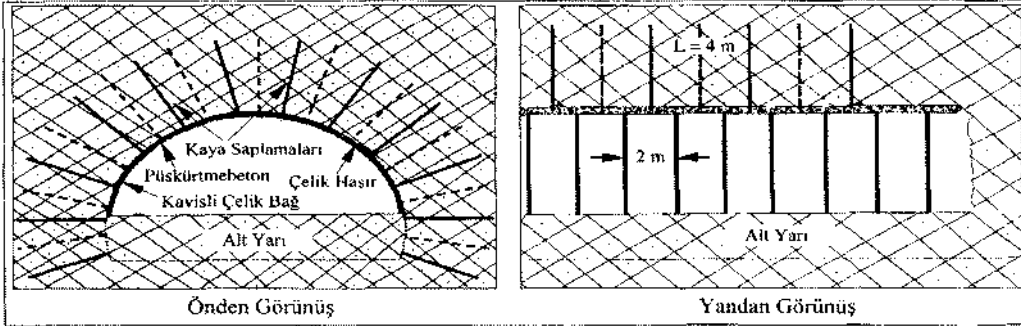
Sınıf 5 kaya kütesinde tünel tahkimatı kazı aynasına kadar ve patlatma yapılmadan önce tamamlanmaktadır. Patlatma sonrası kazı boşluğunun tavan kısmındaki serbest blokların düşmesinin önlenmesi için tavan kemeri boyunca 32 mm çapında, 6 m boyunda ve 60 cm aralıklarla önsürenler yerleştirilir. Her 4 metrelik ilerlemeden sonra yeni bir önsüren kemeri oluşturulur. Jeoteknik şartlar da göz önünde bulundurularak üst yarı kazı aynasının 100 - 150 m gerisinde alt yarı kazısı yapılır ve gerekirse ters kemer betonu ile tünel kaplama halkası tamamlanır. Tahkimat elemanı olarak; kavisli çelik bağ, iki kat püskürtmebeton (yanlarda 150 mm ve üst yarıda 200 mm kalınlığında), iki kat çelik hasır ve omuzlarda 6 m, diğer kısımlarda 4 m boyunda 1,5 m aralıklarla düzenli kaya saplamaları kullanılmaktadır. Kaya saplamaları ardışık kavisli bağların ortasına ve bir sonraki sıra ile şaş beş düzeni oluşturacak şekilde tesis edilmektedir. Bu grup kaya kütesi için kullanılan tahkimat düzeni Şekil 5'te verilmektedir.

Sınıf 6 kaya kütlesinde tünel kazısı yapılırken kazı aynası dahil tüm açık yüzeyler kazıdan önce ve düzenli olarak tahkim edilmektedir. Şekil 6'da da görüldüğü gibi; tünel çevresine 0 - 5° eğimli olarak birinci sıra, 25° eğimli olarak ikinci sıra ve 50° eğimli olarak üçüncü sıra önsüren boruları yerleştirilmektedir. Bu borular; 51 mm çapında, 6 m boyunda ve çevresi delikli şeklindedir. Çevre delikleri tünel çevresine bu borular yardımı ile uygulanan enjeksiyon sıvısının homojen bir şekilde

dağılmasını ve kazı çevresinde bir önsüren ve enjeksiyon kemerinin oluşmasını sağlamaktadır. Kazıdan önce aynaya yerleştirilen drenaj boruları yer altı sularının drenajını sağlarken, yine aynaya yerleştirilen 25 mm çapında ve 8 m boyundaki Ibo saplamalar da kazı aynasından tünel boşluğuna doğru gelişebilecek defonnasyonları önlemektedir. Nihai tahkimat elemanları olarak; kavisli çelik bağ, iki kat püskürtme beton (yanlarda 250 mm, omuz ve tavan kemerinde 250 - 300 mm kalınlıkta), iki kat



Şekil 3. Sınıf 3 kaya kütlesinde kullanılan tahkimat düzeni.



Şekil 4. Sınıf 4 kaya kütlesinde uygulanan tahkimat düzeni.

çelik hasır ve düzenli olarak kaya saplamaları (tavanda 4 m, omuzlarda 6 m ve yanlarda 9 m boyunda) kullanılmaktadır. Yapılan ölçümler sonucunda deformasyonların emniyetli değerlerin üzerine çıktığı yerlerde ilave saplamalar kullanılmaktadır. Bu sınıf kaya kütlesinde, jeoteknik şartlar da göz önünde bulundurularak, üst yarı kazı aynasının 20 - 25 m gerisinden alt yarı kazısı ve ters kemer betonu yapılmaktadır.

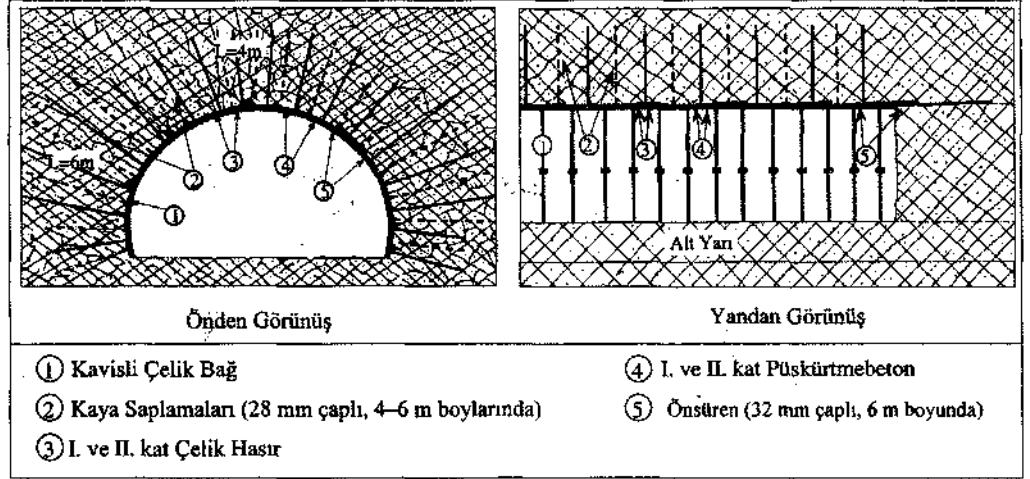
Kızlaç tünellerinde kullanılan önsürelendirme ve tahkimat elemanları ve miktarları Çizelge 2'de verilmektedir.

Önsürelendirme elemanlarından olan enjeksiyon ve çelik boru şeklindeki önsürenler, yalnızca, Tünel 3-A da ve sınıf 6 kaya ortamı ile göçük bölgesinde kullanılmıştır.

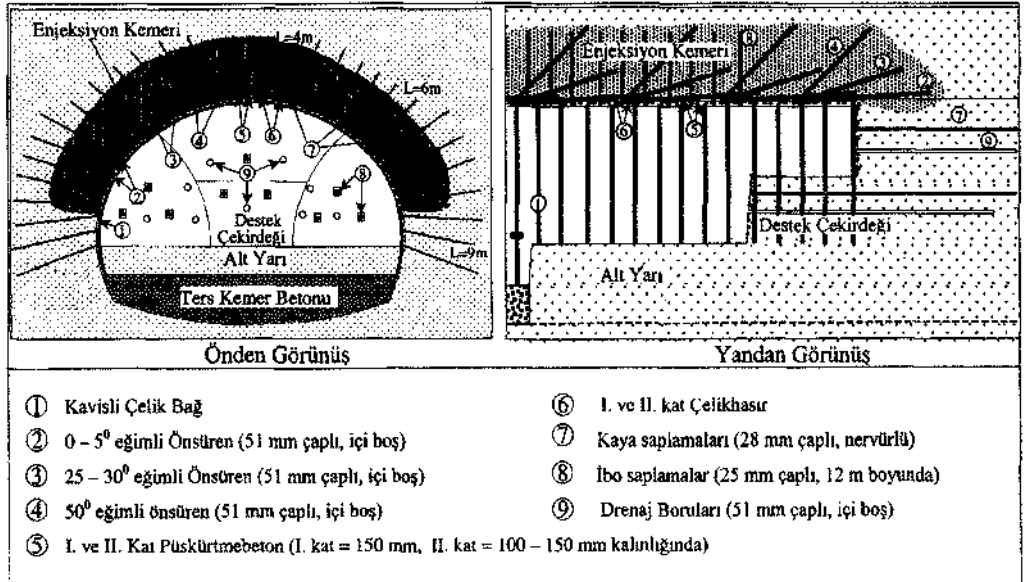
Tünellerin kazısı ve tahkimatı sırasında gelişen deformasyonların ölçülmesi için WILD marka ölçme seti ve üç boyutlu ölçme sistemi (optik ve elektronik) kullanılmıştır. Bu sistem yardımı ile tünel güzergahı boyunca belli noktalara yerleştirilen sabit reflektörlerin kot ve koordinatları 0,01 mm hassasiyetle ölçülerek deformasyonların hızları belirlenebilmektedir. Aynı nokta için deformasyon ölçme aralıkları; kazıyı müteakip ilk hafta için

günde bir, ikinci hafta için 2 günde bir, daha sonraki iki hafta için yalnızca bir ve müteakip zamanlar için 4 haftada bir ölçüm yapılmakla birlikte defomasyonlarda âni ve düzensiz artışların belirlenmesi halinde ölçme süreleri

sıklaştırılmaktadır. Tünel iç kaplaması olan nihai beton kaplamanın yerleştirilebilmesi için defomasyon hızlarının 15 gün için 1 mm nin altına inmesi beklenmektedir.



Şekil 5. Sınıf 5 kaya kütlesinde uygulanan tahkimat düzeni.



Şekil 6. Sınıf 6 kaya kütlesinde uygulanan tahkimat düzeni.

Çizelge 2. Kızıaç tünellerinde kullanılan tahkimat elemanları ve miktarları.

Kullanılan tahkimat elemanının adı	Kullanılan tahkimat elemanının miktarı		Toplam miktar
	Tünel 3-A	Tünel 3-B	
İskürtmebetöt(Tön?)	11592	9418	21010
Çelik Hasır (kg)	252000	234000	486000
Tavan Bağı (kg)	4000	128000	132000
Kavisli Çelik Bağ (kg)	700000	140000	840000
Kaya Saplama (m)	70000	60000	130000
Ibo Saplama (m)	25000	-	25000
Enjeksiyon (kg)	816890	-	816890
Önsüren (m)	40C4	-	4004

4 SONUÇLAR

Adana - Gaziantep otoyolu Kızıaç tünellerinde yapılan incelemelerden şu sonuçlar elde edilmiştir:

1 - Tünel kazı çalışmalarında have boyları, kazı hızı, delik düzeni ve patlayıcı madde miktarı ile kazıyı müteakip tahkimat elemanlarının yerleştirilme zamanı kaya kütesinin mühendislik özellikleri dikkate alınarak ve her bir kaya sınıfı için değişik şekil ve miktarlarda olmalıdır,

2 - Aynı kaya sınıfı için dahi, jeoteknik şartlara bağlı olarak, kazı hızı ve birim tünel uzunluğu için kullanılan tahkimat elemanlarının cins ve miktarında bazı değişiklikler olabilir.

3 - Tünelcilik çalışmalarında yer altı sularının çok büyük önemi olup, bu sular kazı çalışmalarının zorlaşmasına, kullanılan tahkimat elemanları miktarlarının ve dolayısı ile maliyetlerin artmasına neden olur. Bu tür yer altı sularının kazıdan önce veya kazı sırasında ortamdaki uzaklaştırılarak zeminin drenajı sağlanmalıdır.

4 - Tünel kazısı ve tahkimatı sırasında kazı çevresinde bir önsüren ve enjeksiyon kemeri oluşturulması deformasyonların kontrol edilmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Enjeksiyon işlemi sonucunda kaya kütesi içerisinde bulunan boşluklar kapandığı için kazı çevresindeki gerilmeler daha düzenli bir dağılım göstermekte, yer altı suları uzaklaştırıldığı için kaya kütesinin mukavemeti artmaktadır.

Ayrıca, enjeksiyonlu ortamda kaya saplama daha etkin bir şekilde çalışmaktadır.

5 - Deformasyon ölçme işlemleri düzenli olarak yapılmalı ve sonuçlar en kısa süre içerisinde değerlendirilerek ilave tahkimat elemanlarının gerekli olup olmadığı belirlenmeli eğer gerekli ise bu tahkimat elemanlarının zaman kaybedilmeden yerleştirilmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Deere, D. U. & Miller, R. • P., 1966; "Engineering classification and index properties for intact rock", Air Force Weapon Lab. Tec. Rep. AFWL-TR-65-116, Kirkland Base, New Mexico.
- Duman, T.Y.,1993, *Tarsus Ayrımı-Adana-Gaziantep Otoyolu (TAG) Tünel 2 Timet 4 Arasının Mühendislik Jeolojisi*. Yüksek Lisans Tezi. Ç.Ü. Fen. Bil. Ens. Adana.
- Judd, W. R. & H über C, 1962; Correlation of rock properties by statistical methods, Int., Symp. On Mining Res. (Ed. G, Clarke), Pergamon, Oxford, Vol. 2, pp. 621-648.
- M.T.A., 1989, *Türkiye jeoloji haritası, ölçek 1/500.000. Hatay paftası*. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.
- Yılmazcı I.; Ertunç A. & Erhan, F., 1992, *Engineering geology of the Dıaıçi - Kömürler Region*. L' Int. Sym. Eastern Mediterranean Geology. Çukurova University, Turkey, pp. 77-89.
- Yılmazcı I. , 1995, *Significanee of discontinuity surveying in motorway alignment selection, southern Turkey*. Engineering Geology. Vol. 40, pp. 41-48.

Afşin-Elbistan Linyitleri (A.E.L) Açık İşletmesi İç Döküm Sahası Dinamik Duraylılık Analizi

A.M.Kıhç

Çukurova Üniversitesi. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

A.H.Onur

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

ÖZET: Açık işletmelerde, üretim çalışmalarının yanı sıra dekapaj malzemelerinin nasıl depolanacağı önemli bir sorun oluşturmaktadır. Stoklama işinin düzenli ve emniyetli bir biçimde yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada Afşin-Elbistan Linyitleri Açık İşletmesinin iç döküm sahası ile ilgili dinamik duraylılık analizleri, bölgenin deprem tehlikesi açısından önemi de dikkate alınarak, gerçekleştirilmiştir. Kullanılan veriler sahada ayrıntılı olarak incelenmiş ve hesaplamalar Fransa (Ecole des Mines Paris)'da geliştirilen dinamik duraylılık hesaplama programları ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda üç değişik su durumu ve deprem etkisi göz önüne alınmıştır. Analizler, "Bishop, Carter ve Sarma" yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

ABSTRACT: In open pit mines, besides production operations, proper planning of spoil piles is an important problem. In this study, the dynamic stability analysis of the inner dump in Afşin-Elbistan Lignite Open Cast Mine has been performed by taking possible effects of an earthquake in the region into consideration. The data used for the stability analysis were inspected by the dynamic stability program developed in France (Ecole des Mines Paris). In the calculations, three different water conditions and the earthquake effect were considered. The analysis were performed by using Bishop, Carter and Sarma methods.

1 GİRİŞ

Günümüzde, açık işletmelerde işletme faaliyetleri sırasında ortaya çıkan döküm malzemesi çeşitli problemler yaratmakta, bu malzemelerin düzenli ve emniyetli bir şekilde işletme açısından en uygun bir yere stoklanması önemli bir sorun olmaktadır. Bu noktadan hareketle döküm malzemesinin jeoteknik özellikleri belirlenerek sahasının hangi yükseklik, genişlik ve açı değerinde düzenleneceği şev duraylılık analizleri yapılarak hassas bir biçimde belirlenmelidir.

Türkiye'nin içinde yer aldığı bölgenin sismik olarak aktif bir zonda bulunması nedeniyle deprem etkisi de hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

Afşin-Elbistan havzasındaki ilk çalışmalar, 1966 yılında bir Alman firması ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) işbirliği ile başlamış ve 1967 yılında ise linyit yataklanmaları ortaya çıkarılmıştır. Havza K. Maraş İli'nin, Kuzey doğusunda, Elbistan ve Afşin ilçeleri arasında 900 km Tık bir alanı kapsamaktadır, deniz seviyesinden 1150 metre yükseklikte, 3.4 milyar ton linyit rezervi ile Türkiye'nin bilinen en büyük kömür havzasıdır.

Ülkemizin en büyük ve en modern açık işletme özelliği gösteren Afşin-Elbistan Linyitleri (A.E.L)

Kışlaköy Linyit İşletmesi, bölgede yer alan 1376 MW gücündeki termik santrali ve bölgenin yakıt ihtiyacını karşılamasıyla da önem kazanmaktadır. İşletme aynı zamanda Türkiye'de ilk döner keçeli ekskavatörlerle (DKE) üretim yapan entegre bir açık işletmedir.

Bu çalışmada, işletmenin mevcut döküm sahasının ve alternatif olarak önerilen döküm sahasının şev duraylılık analizleri üç farklı su durumu ve deprem etkisi göz önüne alınarak Bishop, Carter ve Sarma yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

2 DÖKÜM SAHASI HAKKINDA BİLGİLER

Afşin-Elbistan Linyitleri Açık İşletmesinde, biri işletmenin içinde (iç döküm) ve diğeri de işletmenin dışında (dış döküm) olmak üzere iki adet döküm sahası bulunmaktadır. Bu çalışmada iç döküm sahasıyla ilgili dinamik duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

Proje verilerine bağlı olarak, işletme faaliyetleri sona erinceye kadar bu döküm sahalarına toplam 1.56 milyar m³'lük bir malzeme dökülecek olup, bu malzemenin 300 milyon m³'i dış ve 1.26 milyar m³'ü ise iç döküm sahasına yapılacaktır, iç döküm sahası altı basamaktan oluşmuş olup yüksekliği 113 m'dir. İşletme faaliyetleri sona erince basamak sayısının 10 ve yüksekliğin ise 184 metre olması planlanmaktadır.

Döküm işlemi, iç döküm sahasında üç ve dış döküm sahasında iki olmak üzere toplam beş adet dökücü ile gerçekleştirilmektedir.

Kazı sonucunda ortaya çıkan malzeme 55 km uzunluğunda, 1,8 m genişliğinde bant konvoyör ile döküm sahalarına taşınmaktadır.

2.1 Döküm malzemesinin jeoteknik özellikleri

İşletmenin iç döküm sahasında döküm işlemi, doğrudan daha önce linyiti alınmış olan kil tabakası üzerine yapılmaktadır. Malzemenin emniyetli ve kaymadan duraylı bir biçimde kalabilmesi için 60 metre uzunluğunda ve 15 metre yüksekliğinde bir linyit tabakası emniyet topuğu olarak bırakılmaktadır. Döküm malzemesi zeminlerin karışması sonucunda oluşmuş taneli bir malzeme olup, malzemenin kırılma açısının tespiti için 15-20 metre yüksekliğinde koniler oluşturulmuş bu koniler belli bir süre bekletilerek örnekler alınmış ve sonuç olarak F (kırılma açısı) değeri derece cinsinden tespit edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan jeoteknik parametreler, sahanın fizibilite çalışmalarını yapan Rheinbraun firması tarafından belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Hesaplamalarda kullanılan jeoteknik parametreler (Rheinbraun Consulting, 1984 a).

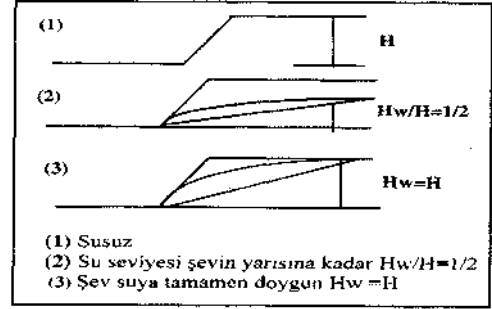
Malzeme	Kohezyon (C)	p* (derece)	Özgül Ağırlık (kN/m ³)
Karışık			
Malzeme	0.00	26.00	16.00
Kil	38.90	15.00	16.70
Linyit	210.30	30.30	10.90

*F: Kırılma açısı

2.2 Hidrojeolojik koşullar

Soğuk kara ikliminin egemen olduğu bölgede yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı geçmektedir.

İşletmede yapılan çalışmalar sonucunda beş tip akifer tabakasının varlığı tespit edilmiş ve bu akiferlerin varlığı gözönüne alınarak döküm sahası dinamik şev duraylılık analizleri Şekil 1'de görülen yeraltı su seviyeleri dikkate alınarak yapılmıştır.

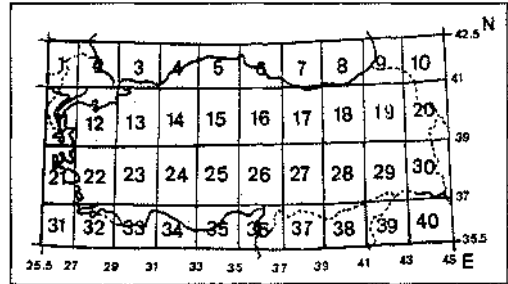


Şekil 1. A.E.L İşletmesi iç döküm sahasında dinamik duraylılık analizlerinde kullanılan su seviyesi durumları.

3 A.E.L İŞLETMESİ İÇ DÖKÜM SAHASI İÇİN DİNAMİK DURAYLI LIK HESAPLAMALARI

3.1 Bölge için deprem katsayısı hesabı

İç döküm sahası duraylılık analizlerinde kullandığımız deprem katsayısını hesaplamak amacıyla Bath (1978)'in deprem katsayısı hesabıyla ilgili olarak yapmış olduğu çalışmalardan faydalanılmıştır. Bu çalışmalarda Türkiye, deprem riski bakımından 40 bölgeye ayrılmış (Şekil 2) ve 58 yıl (1913-1970) boyunca bu bölgelerde meydana gelen depremlerin etkileri istatistiksel olarak kayıt edilmiştir (Bath 1978).



Şekil 2. Deprem parametresi hesaplamalarında kullanılan farklı bölgeler (Bath 1978).

Şekil 2'den işletmenin 27. bölgede olduğu anlaşılmış ve 27. bölge için deprem katsayısı hesaplamalarda kullanılmak üzere $a=4.84$, $b=0.82$, ve $S=0.84$ regresyon katsayı değerleri alınarak, hesaplamalar aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir (Bath, 1978).

$$a' = \frac{(a + \log S - \log t)}{0.43} \quad (1)$$

$$b' = \frac{b}{0.43} \quad (2)$$

Burada;

- a : Regrasyon katsayısı, olup kullanılan örneğin yer ve zamanına bağlı bir sabit,
 b Regrasyon katsayısı, olup bölgenin özelliklerine bağlı bir sabit,
 S : Deprem katsayısı hesaplamalarının yapıldığı bölge için alınan düzeltme faktörü,
 τ : Depremlerle ilgili ölçümlerin alındığı süre (yıl),
 \hat{a} : Deprem katsayısının hesaplandığı bölgede bir yıl için hesaplanan regrasyon katsayısı,
 b' : Deprem katsayısının hesaplandığı bölgede bir yıl için hesaplanan regrasyon katsayısı,
1 ve 2 nolu eşitliklerinden yararlanarak ve işletme ömrü 58 yıl alınarak işletme için \hat{a} ve b' hesaplanmıştır.

$$b' = \frac{0,82}{0,4343} = 1,89 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Sonraki aşamada ise deprem riski üç nolu eşitlikle

$$d = \frac{(4,84 + \log 0,84 - \log 58)}{0,4343} = 6,90$$

hesaplanmıştır (Bath 1979),

$$R = 1 - \exp[-\exp(a' - b' M)] \quad (3)$$

3 nolu eşitlikte deprem riski bir yıl için hesaplanmıştır. Bizim için gerekli olan ise işletmenin faaliyetlerinin devam edeceği 58 yıl için bu riskin hesaplanmasıdır. Bu da dört nolu eşitlikle yapılmıştır.

$$R = 1 - \exp[-\exp(a'' - b' M)] \quad (4)$$

$$a'' = a' + \ln \tau \quad (5)$$

$a'' = 6,90 + \ln 40 = 10,59$ a'' değeri yukarıdaki eşitlikten 10,59 olarak bulunmuştur.

Burada;

- R : Deprem riski,
 A_f : Manyitüt (Rihter ölçeğine göre deprem şiddeti),
 a'' : Deprem katsayısının hesaplandığı bölgenin, işletme süresi için bulunan regresyon katsayısı,
 T : İşletmenin faaliyetini sürdüreceği süre (yıl),

Bu değer 4 nolu eşitlikte yerine konulduğunda;

$$R = 1 - \exp[-\exp(10,59 - 1,89 \cdot 4,0)] = 0,93 \text{ Olarak bulunmuştur (buradaki hesaplamada } M \text{ (manyitüt) bölgede meydana gelen deprem istatistiklerine göre 4,0 alınmıştır).}$$

Sonraki aşamada ise işletmenin bulunduğu bölgede manyitüt şiddetinin işletme faaliyetleri (58

yıl) boyunca ulaşabileceği en yüksek değer (M') bulunmaktadır (Bath 1979):

$$M' = \frac{\left\{ a' + \ln \left[\frac{\tau}{- \ln(1 - R)} \right] \right\}}{b'} \quad (6)$$

Bu eşitliği işletmenin bulunduğu 27. bölge için uyguladığımızda;

$$M' = \frac{\left\{ 6,90 + \ln \left[\frac{40}{- \ln(1 - 0,93)} \right] \right\}}{1,89} = 5,07 \text{ olarak}$$

bulunmaktadır. Yani işletmenin bulunduğu bölgede, işletme faaliyetleri sona erene kadar %93 olasılıkla, manyitüt şiddeti 5.07 olan depremler meydana gelme olasılığı bulunmaktadır.

Bu aşamadan sonra aşağıdaki eşitlik ile hareket ivmesi (A) hesaplanmaktadır.

$$A = \frac{1,03 h^{0,6} 10^{0,54 M}}{(r^2 + h^2)^{3/4}} \quad (7)$$

Burada;

- A : Hareket ivmesi,
 \hat{r} : Deprem etki derinliği,
 r : En aktif fayın, deprem katsayısının hesaplandığı bölgeye olan uzaklığı,
İşletmenin bulunduğu bölge için A değeri,

$$A = \frac{1,03 10^{0,6} 10^{0,54 \cdot 5,07}}{(5^2 + 10^2)^{3/4}} = 58 \text{ cm. s}^{-2} \text{ dir.}$$

Son aşamada deprem katsayısı sekiz nolu eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$K_c = \frac{A}{980} \quad (8)$$

$$K_c = \frac{58}{980} = 0,06$$

Burada K_c değeri 0.06 olarak bulunmuş olmasına rağmen, Türkiye'nin sismik bakımdan aktivitesi, son yıllarda meydana gelen depremler de dikkate alınarak daha büyük şiddette depremlerin olabileceği gözönüne alınarak hesaplamalarda 0.07 olarak alınmıştır.

3.2 Genel hesaplama tekniği

Deprem bölgelerinde, bulunan açık işletmeler birer dış kütle kuvvetleri olan sismik hareketlerin etkisi altında kalmakta ve işletmeler açısından oldukça tehlikeli durumlarla karşılaşmaktadır.

Açık işletmelerde ve döküm sahalarında meydana gelen kaymanın dairesel silindirik veya düzlemsel kayma yüzeyi boyunca olabileceği kabul edilerek, sismik kuvvetlerin, şevler üzerindeki etkilerinin duraylılık analizlerinde dikkate alınması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Yapılan hesaplamalarda döküm sahasının homojen ve kohezyonlu zeminden meydana geldiği varsayılarak duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan hesaplamalarda, birim sismik kuvvetlerin yatay yönde hareket ettiği kabul edilmiş ve bunların şiddeti :

$$\gamma_c = K_c \times \gamma \quad (9)$$

- olarak alınmıştır. Burada ;
 γ_c : Her birim hacim toprak veya kayacın yatay sismik kuvvetleri,
 γ : Toprak veya kayacın birim hacim ağırlığı,
 K_c : Depremlerin şiddetine bağlı olarak bulunan sismik katsayıdır.

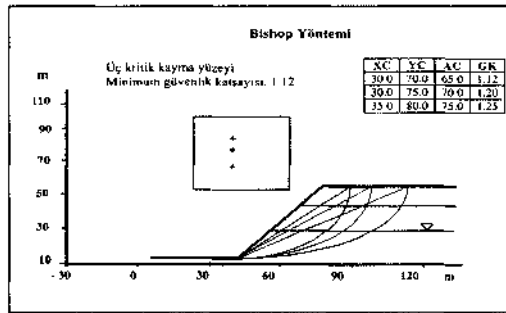
3.3 Analizlerde kullanılan bilgisayar programları

3.3.1 Bishop yöntemi

Bishop yöntemi dairesel kayma analizlerinde kullanılmakta olup, yöntemin esasını dilimlere ayırma metodu oluşturmaktadır. Yöntemde, bilgisayar tarafından istenilen sayıda kayma yüzeyi oluşturulmakta ve bunlardan en kritik (en düşük) güvenlik katsayısı (F) değerini veren kayma dairesi otomatik olarak seçilmektedir. Ayrıca, burada deprem etkisi de göz önüne alındığından, düşey kuvvet etkilerinin yanı sıra, yatay kuvvet etkileri de dikkate alınmaktadır.

Bishop yöntemi kullanılarak elde edilen grafik Şekil 3'de detaylı olarak verilmektedir.

- Ayrıca Şekil 3'de;
- Şev geometrisi,
 - İstenilen sayıdaki kayma dairesi,
 - Kayma dairelerini gösteren çizgiler ve işaretler (işaretler "+" ile gösterilmektedir),



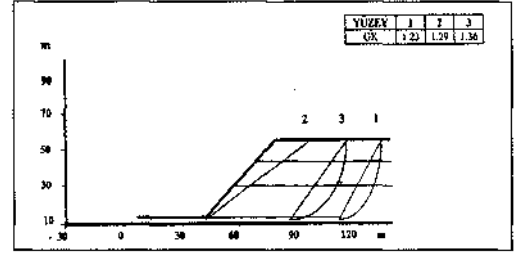
Şekil 3. Bishop metoduyla hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi.

- En kritik kayma dairesini gösteren kesikli çizgi ve işaret (işaret "*" ile gösterilmektedir), durumları da gösterilmektedir.

3.3.2 Carter yöntemi

Carter yöntemi, düzlemsel ve kompleks kayma yüzeyleri için uygulanmaktadır. Bu metodun esası Bishop metodunda olduğu gibi dilimlere ayırma yöntemidir. Bu yöntemde de deprem etkisi göz önüne alınarak duraylılık hesaplaması yapılmaktadır. Bu metod kayma düzlemleri otomatik olarak X ve Y koordinatları verilerek suretiyle seçilmektedir. Bu nedenle bu metotta kritik kayma yüzeyi olabilecek kayma yüzeyleri (istenilen sayıda) X ve Y koordinatları bilgisayara verilmekte ve bilgisayar bu kayma yüzeylerinden en kritik güvenlik katsayısı (F) değerini veren kayma yüzeyini seçmektedir. Carter yöntemi kullanılarak bilgisayardaki hesaplamalar sonucunda elde edilen grafik Şekil 4'de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 4'de;

- Şev geometrisi,
- İstenilen sayıdaki kayma yüzeyi,
- Kayma yüzeylerini gösteren çizgiler (en kritik kayma yüzeyi kesikli çizgi ile gösterilmektedir),
- Sonuçları veren bir çizelge, durumları da verilmektedir.

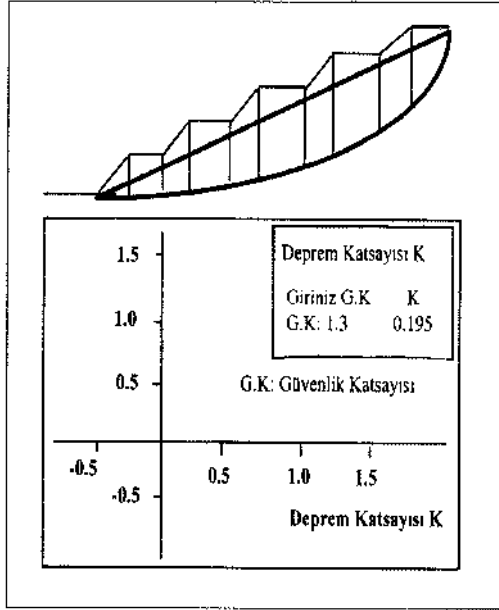


Şekil 4. Carter metoduyla hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi.

3.3.3 Sarma yöntemi

Sarıya yöntemi dairesel, düzlemsel ve kompleks kayma düzlemleri için uygulanmaktadır. Yöntemin esasını dilimlere ayırma ile hesaplama oluşturmaktadır. Bu metoda hesaplama tek bir kayma yüzeyi için X ve Y koordinatlarının verilmesi suretiyle yapılmaktadır. Bu yöntemde de deprem katsayısına bağlı olarak güvenlik katsayısı değeri tespit edilmektedir. Sarıya yöntemi kullanılmak yoluyla elde edilen grafik Şekil 5'de verilmektedir.

- Şekilde;
- Şev geometrisi,
 - Kayma yüzeyi,
 - Deprem katsayısına bağlı olarak elde edilen güvenlik katsayısı, durumları da gösterilmektedir.



Şekil 5. Sarma metoduyla hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi.

4 ELDE EDİLEN VERİLERİN SENTEZİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, Afşin-Elbistan Linyitleri İşletmesi'ndeki iç döküm sahasıyla ilgili hesaplamalar, iki farklı geometri için üç değişik dinamik duraylılık hesaplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Fleaplamlarda kullanılan birinci döküm sahası geometrisi, işletmenin proje aşamasında belirlenen ve halen uygulanan geometri olup, çözüm 1 (Ç 1) olarak adlandırılmış, ikinci döküm sahası geometrisi ise alternatif olarak sunulan geometri olup ve çözüm 2 (Ç 2) olarak isimlendirilmiştir.

Analizler incelendiğinde, uygulanan üç yöntem (Bishop, Carter ve Sarma) arasında sonuçlar açısından farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu farklılıklar yöntemlerden ileri gelmektedir. Yapılan çalışmalar ve incelemeler sonucunda döküm sahasında oluşabilecek kaymanın kompleks kayma tipinde olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak ortaya çıkan değişik güvenlik katsayısı değerleri, yöntem farklılıkları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yani, Bishop sadece, dairesel kayma analizlerinde iyi sonuçlar verdiği için, kompleks kayma durumu olan döküm sahasında diğer iki yöntemle oranla daha farklı (büyük güvenlik katsayısı) sonuçlar elde edilmiştir. Carter ve Sarma yöntemleri ise kompleks kayma analizlerine daha yatkın olduğu için daha gerçekçi ve Bishop

metodundan daha farklı sonuçlar (daha küçük güvenlik katsayısı) alınmasına neden olmuştur. Carter ve Sarma yöntemlerinden Sarma yönteminde daha küçük güvenlik katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bunun nedeni ise mekanik parametrelerden ileri gelmektedir. Şöyle ki Carter metodunda her bir tabaka için ayrı ayrı mekanik parametreler alınırken, Sarma yönteminde ise şev tek bir tabaka olarak düşünülüp, tek tabaka için mekanik parametrelerin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Bunun sonucu olarak Carter yönteminde birden fazla tabaka için yapılan duraylılık (kompleks kayma durumunda) analizleri Sarma'ya oranla daha iyi sonuçlar (A.E.L iç döküm sahası hesaplamalarında olduğu gibi) vermiştir.

Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de detaylı olarak gösterilmiştir. Ayrıca analizler neticesinde değişik yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçların grafiksel açıdan yorumlaması da Şekil 6'da ayrıntılı olarak verilmiştir (Kılıç 1996).

Çizelge 2. Dinamik duraylılık hesaplamaları sonucunda elde edilen güvenlik katsayısı değerleri.

Su Seviyeleri	Güvenlik Katsayısı Değerleri					
	Bishop		Carter		Sarma	
	*Ç.1	Ç. 2	Ç. 1	Ç. 2	Ç. 1	Ç. 2
Susuz	2.35	2.11	2.16	1.96	1.81	1.63
*Hw/H=1/2	1.52	1.32	1.44	1.25	1.25	1.18
* Hw=H	1.43	1.15	1.35	1.10	1.12	1.07

*Ç: Çözüm, *Hw/H=1/2: Su seviyesi şevin yarısına kadar, *Hw=H: Şev suya tamamen doygun

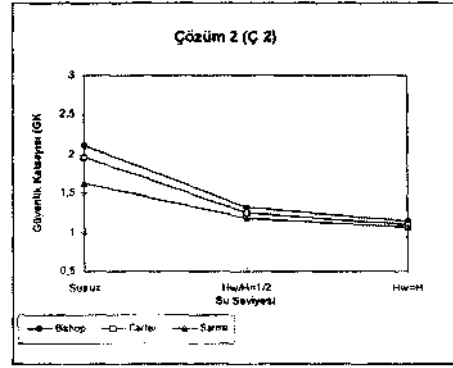
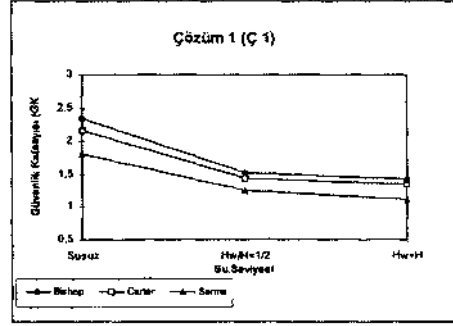
5 SONUÇLAR

Afşin-Elbistan Linyitleri İşletmesi'nde iç döküm sahasında üç değişik yöntem ile, üç ayrı su durumu değerlendirilerek, iki ayrı alternatif için dinamik duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda aşağıda belirtilen durumlar ortaya çıkmıştır.

Gözlemler sonucunda, su seviyesinin maksimum, Hw/H=1/2 olabileceği belirlenmiş ve sonuçlar buna göre değerlendirilmiştir. Buna göre de çözüm 1 ve çözüm 2 için Hw/H=1/2 su durumunda elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Burada, çözüm 1 için ortalama şev açısı 12°, su seviyesi Hw/H=1/2 olması durumunda, güvenlik katsayısı (F) Bishop için 1.52, Carter için 1.44 ve Sarma için ise 1.25 olarak elde edilmiştir. Çözüm 2 için ise şev açısı 14°, su seviyesi Hw/H=1/2 olması durumunda, Bishop için 1.32, Carter için 1.25 ve Sarma için ise 1.18 güvenlik katsayısı (F) değerleri elde edilmiştir. Buradaki sonuçlarda da görüldüğü gibi su seviyesinin Hw/H=1/2 olması ve deprem katsayısının da hesaba katılması durumunda bile döküm sahası şevinde gerek çözüm 1 ve gerekse çözüm 2 için herhangi bir kayma tehlikesi yoktur.



Şekil 6. Hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçların metotlara (Bishop, Carter ve Sarma) ve su seviyelerine bağlı olarak grafikler üzerinde gösterilişi.

Burada alternatif olarak sunulan hesaplamalarda 11.5 milyon m³ daha fazla döküm malzemesi depolanması olanağı da ortaya çıkmaktadır.

Şu anda işletmede güncel olarak uygulanmakta olan proje için iç döküm sahası hesaplamalarında, her üç yöntemde de su seviyelerinin yükselmesine bağlı olarak güvenlik katsayısı değerlerinin bir düşüş gösterdiği görülmüştür. Ayrıca alternatif olarak yapılan hesaplamalarda da aynı durum tekrarlanmıştır. Yani her iki çözüm ve kullanılan bütün dinamik hesaplama yöntemlerinde su seviyesi

ile güvenlik katsayısı arasında net bir ilişkinin varlığı ortaya çıkarılmıştır. Burada su seviyesi ile güvenlik katsayısı arasında ters bir ilişkinin varlığı saptanmıştır. Yani su seviyesi yükseldikçe güvenlik katsayısı düşmekte ve tersi durumda ise yükselmektedir. Burada çıkarılan ana sonuç işletmede drenaj faaliyetlerinin yapılması su seviyesinin düşmesini sağlayacak ve bunun doğal bir sonucu olarak da şev açısı daha dik bir konuma gelecektir. Bu ise daha fazla malzemenin depolanması anlamını taşıyacaktır.

KAYNAKLAR

- Abrazeys, N.N. & Sarma, S.K. 1977. The response of earth to strong earthquakes. *Geotechnie* 17, N° 3. S. 181-2B.
- Bath, M. 1978 Seismic risk in Turkey-a preliminary approach. Elsevier Scientific publishing company, Amsterdam. Printed in the Netherlands. *Tectonophysics*, N° 57. S. 285-295.
- Bath, M. 1979. Seismic stability of earth dams and embankments. *Géotechnique* 25, N° 4. S. 743-761.
- Chugaev, R.R. 1972. Şevlerin duraylılık analizi. Çevirenler Alpman, B. Tanyaş C. T.C., t.T.O, Kütüphanesi, Sayı 896, İstanbul.
- Graham, J. 1984. Methods of stability analysis, slope instability Edit by. Brunsten D.&Prior D.B. 1984 John Wiley&Sons Ltd. S. 171-215.
- Kılıç, A.M. 1996. Analyse de la stabilité des talus de la mine de lignite d'Afsin - Elbistan (Turquie). *Thèse de l'Ecole des Mines de Paris en Géologie de l'Ingénieur*. 165 S.
- Otto Gold 1969. Lignite deposit Afsin - Elbistan Feasibility Report Vol. 1, Köln.
- Sarma, S. K. 1975. Stability analysis of embankments and slopes. *Journal. Geotechnie Eng. Div. A. S.*
- Seed, H.B. 1967. Earthquake resilient design of earth dam. *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. IV, N° 1. S. 1-28.
- Rheinbraun Consulting, 1984 a. Model study on the exposure of hard rock layers in the Opencast Mine Elbistan for the Optimization of the BWE operations. Tagebau Frimmersdorf.
- Rheinbraun Consulüing, 1984 a. Sanierungsmaßnahmen an der Rutschun in der nordwestlichen Endböschung. Köln.