

Madencilihte Şev Durayhh Analizi Ya Ulaşımlları

Approaches For Slope Stability Analysis in Mining

Abdurrahim ÖZGENOĞLU (*)

ÖZET

Şev duraylığına ilişkin çalışmalar genellikle iki tür ortam için yoğunluk kazanmıştır. Bunlar, ayrışmamış ve sağlam kayaç içeren kaya kütlesi ile zeminler (ayrık kayaç) dir. Kömür içeren formasyonlar davranış özellikleri bakımından bu iki ortam arasında yer alırlar ve çoğunlukla daha karmaşık bir yenilme mekanizması gösterirler.

Bu yazıda, önce kaya şevleri için yapılan duraylık analizlerine ilişkin genel bilgi verilmiş, daha sonra açık kömür ocaklarında yapılacak şev duraylık çalışmaları için ilk yaklaşımlar tartışılmıştır.

ABSTRACT

Slope stability investigations have been concentrated upon two types of medium generally. These are rock mass which is made up of strong and fresh rock material, and soils (disintegrated rock). Coal bearing formations, from the mode of behaviour standpoint, take place between these two medium, and in general, they show more complex failure mechanisms.

In this paper, first a general information about slope stability analysis for rocks is given, and then possible approaches for slope stability studies to be carried out in open pit coal mines are discussed.

(*) Öğretim Gör. Dr., Maden Yük. Müh., ODTÜ Maden Müh., Böl. ANKARA

1. GIRIŞ

Şev duraylılığına (stabilitesine) ilişkin kuramsal çalışmalar 300 yıl geriye götürmek mümkündür (Golder, 1972). Bu çalışmalar genellikle iki tür ortam için yoğunluk kazanmıştır. Bunlar, ayrışmamış, sağlam kayaç(lar)dan oluşan kaya kütlesi ile zeminlerdir.

Süreksizlikler içeren ve malzemesi daha sağlam olan kaya kütlesi ile ayrık, daneli kayaç olan zeminin mekanik davranışları birbirinden farklıdır. Yerkabuğunu oluşturan malzemeler yelpazesinin iki ucunu temsil eden bu ortamlar içinde açılan şevlerin duraylılığına ilişkin olarak yapılan kuramsal ve deneysel çalışmalar şev tasarımına yönelik sonuçlar vermiştir. Özellikle, zemin şevlerinin duraylık analizleri büyük bir hassasiyet ve doğrulukla yürütülebilmektedir. Kaya dolgu ve döküm alanlarının şevleri ite düzensiz ve çok sayıda süreksizlik içerdiği için yaklaşıklıkla sürekli ortam (quasicontinuum) mekaniği kuramlarının geçerli olduğu varsayılan çok çatlaklı kayaçlarda açılan şevlerde de yine zemin mekaniği prensipleri uygulanabilmektedir. Yelpazenin diğer ucunda bulunan kaya kütlesi süreksiz bir ortam olup, davranışı çok daha çeşitli ve karmaşıktır. Bu ortamlar için kullanılan duraylık analiz yöntemlerinin yetersiz kaldığı koşullarda, mühendisin deneyimlerine dayanarak karar vermesi gerekebilir.

Kömür içeren formasyonlar, davranış özellikleri bakımından, zemin ile sağlam kayaçların oluşturduğu kaya kütlesi arasında yer alırlar. Bu nedenle, yoğunlukla belirlenmesi daha güç olan yenilme mekanizmaları gösterirler. Hoek ve Bray (1977) bu mekanizmalardan birkaçına kısaca değinerek, bunlar için daha farklı analiz yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Literatürde, kömürlü seviyelerde yer alan şevlerin duraylılığına ilişkin çalışmaların nitelik ve nicelik bakımından yetersiz kaldığı görülür. Son yıllarda İngiltere'de başlatılan çalışmaların bu konuda yapılanların en kapsamlısı olduğu söylenebilir (Scoble ve Leigh, 1982; Singh, Denby ve Brown, 1985). 1978 yılında Vancouver'da (Kanada) yapılan ilk uluslararası "Kömür Madencilğinde Stabilité Sempozyumu"nda ("Stability in Coal Mining") Editors: CO. Brawner and I.P.F. Dorling, 1978) sunulan yedi bildiri de bu konu tartışılmıştır. Walton ve Atkinson (1978) da yerüstü kömür madencilığının tasarımında ve uygulamasında jeotek-

nik faktörlerin önemine değinmişler ve kömürlü formasyonlarda açılan şevlerdeki yenilme türlerini değişik kömür kazısı yöntemlerine bağlı olarak irdelemişlerdir.

2. ŞEV DURAYLIĞINA GENEL BAKIŞ

2.1. Giriş

Kaya kütlesinin sürekli bir ortam olmayıp faylar, eklem takımları ve tabakalanma düzlemleri gibi yapısal bozukluklar (süreksizlikler) içerdiği bilinmektedir. Kaya malzemesinin çok zayıf olmadığı durumlarda, şevin davranışını bu süreksizliklerin kontrol edeceği açıktır. Böyle ortamlarda karşılaşılabilecek duraysızlık, bu süreksizliklerden biri ya da birkaçı boyunca meydana gelecek yenilmeler sonucunda olacaktır.

Örtü tabakasını oluşturan toprak, zemin ya da ufalanmış - ayrışmış kayaçlarda ise belirgin bir yapısal süreksizlik görülmediğinden, yenilme kaymaya karşı direncin en az olduğu noktalar boyunca olur. Bu tür ortamlarda meydana gelen duraysızlıklara ilişkin gözlemlerde kayma yüzeyinin genellikle dairesel biçimde olduğu saptanmıştır. Zeminlere uygulanan duraylık analizlerinin büyük bir kısmında bu gözlem esas alınmıştır.

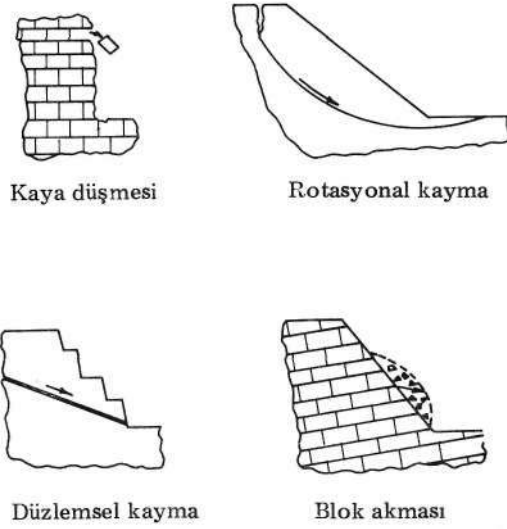
2.2. Yenilme Türleri

Şev yenilmelerinin mekaniği çok çeşitli olabilmektedir. Şev duraylık analizlerinin, özellikle denge sınırı yönteminin, sağlıklı olabilmesi yenilme mekanizmasının doğru olarak belirlenmesine bağlıdır. Ayrıca, duraysız şevlerde alınacak önlemler duraysızlığın nedeni ile yakından ilgilidir.

Knill (1967), Hutchinson (1968) ve Coates (1970) şev duraysızlıklarını yenilme mekanizmasına göre sınıflandıran araştırmacılar yalnızca birkaçıdır. Bunlardan Hutchinson'un "Şevlerde Kütle Hareketlerine Göre Jeomorfolojik Sınıflandırma" başlığını taşıyan sınıflandırması en kapsamlısı olup akma (krip), donmuş zemin olayı ve heyelanlar olmak üzere üç ana davranış gurubunu içermektedir. Knill'in sınıflandırması da üç ana kategori ile aynı doğrultudadır. Bunlar,

- a) Kaya düşmeleri
- b) Kaya kaymaları
- c) Akma dır.

Coates ise, kaya düşmesi, rotasyonel kayma, düzlemsel kayma ve blok kayması olmak üzere şev duraysızlıklarını dörde ayırmıştır. Bu duraysızlık türleri Şekil 1'de verilmiştir. Richards (1975), son 15 senedir araştırılan devrilme türü duraysızlığı da içine alan sınıflamasında altı tür yenilme mekanizması öngörmüştür. Bunlar Şekil 2'de görülmektedir. Jennings (1970), Piteau (1970), Goodman ve Bray (1976) gibi araştırmacılar bu duraysızlık türlerinden bazılarını kendi içlerinde alt sınıflara ayırmışlardır. Ulusay (1982), Sherman (1973) ve Smith (1974) kaynak göstererek, altı ayrı dairesel kayma tipi vermiştir.



Şekil 1. Coates'a (1970) göre şev duraysızlık türleri.

Literatür araştırmasından elde edilen bilgiler ışığında şevlerdeki duraysızlık türlerini aşağıdaki şekilde iki ana gruba daha sonra da alt gruplara ayırmak mümkündür.

2.2.1. Kayma Türü Yenilmeler

Bu tür yenilme, belirli yüzey ya da yüzeyler boyunca makaslama direncinin aşılmasından ortaya çıkar. Kayma, süreksizlik düzlemi ya da düzlemleri gibi belirgin bir yüzey boyunca olacağı gibi, dairesel kaymada ya da kaya malzemesinin yenilmesinde olduğu gibi daha önceden belirlenmemiş bir yüzey boyunca da olabilir. Buna göre kayma türü yenilmeleri aşağıdaki gibi alt gruplara ayırmak olasıdır.

- a- Belirgin düzlem ya da düzlemler tarafından sınırları çizilen kayma
 1. Düzlemsel kayma
 2. Kama tipi kayma
 Bunları ayrıca kendi içinde basit, basamaklı ve poligonal olmak üzere üçe ayırmak mümkündür.
- b- Dairesel kayma
- c- (a) ve (b) yi içeren kayma

2.2.2. Kayma Dışı Yenilmeler

Bu tür yenilmelerde, yenilme mekaniğinin gereği olarak kayma oluşuyorsa da edilgen niteliktedir. Bunları da üç gruba ayırmak mümkündür.

- a- Devrilme türü yenilmeler
- b- Kaya düşmeleri ve blok akması
- c- Kayanın alterasyonu sonucu dökümler.

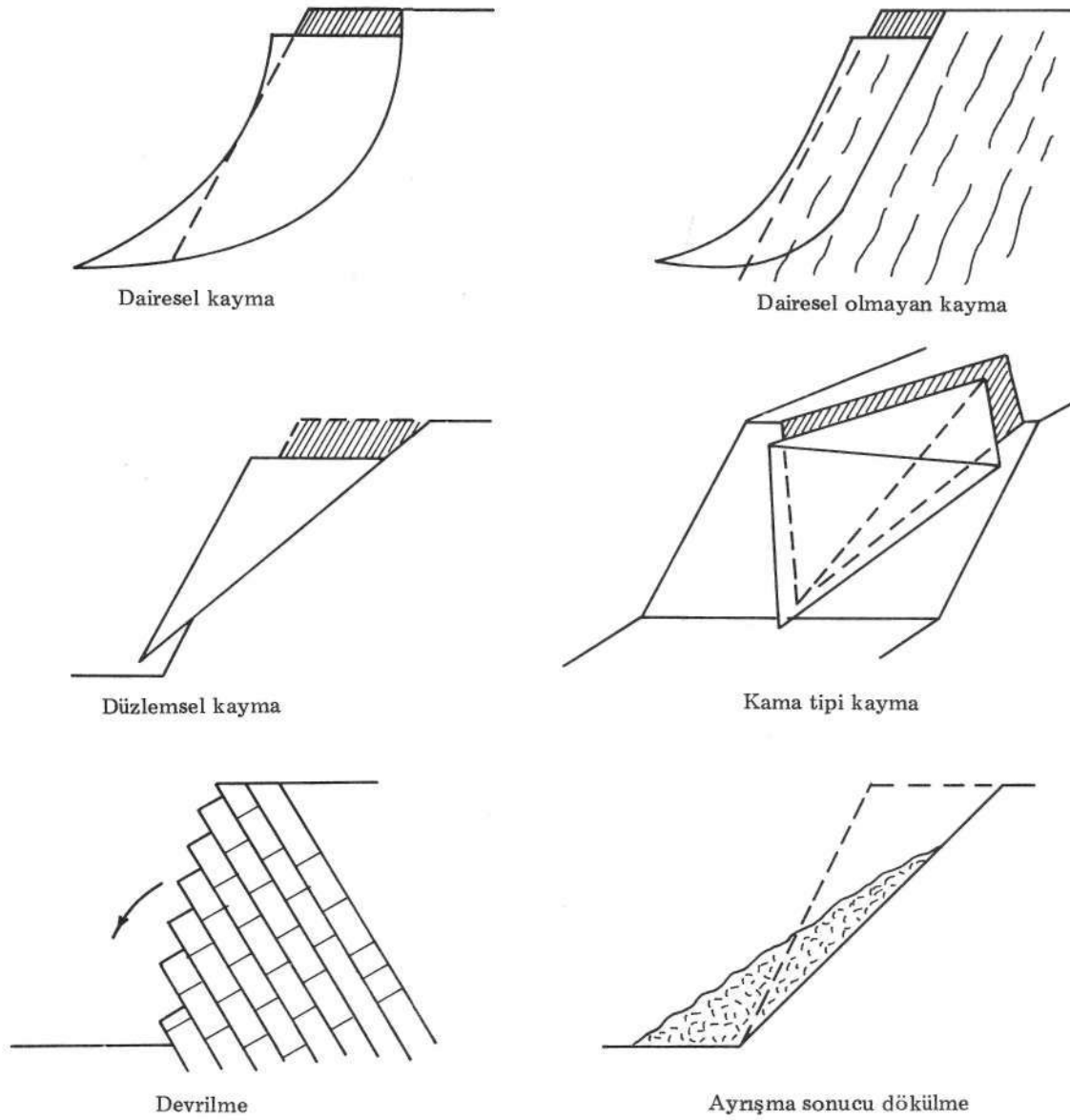
2.3. Analiz Yöntemleri

Şev duraylık analizleri üç değişik yöntemle yürütülebilir. Bunlar,

- a- Ampirik ve gözlemsel yaklaşım
- b- Denge sınırı yöntemi
- c- Gerilme analizi yöntemi

Ampirik yöntem daha önceki deneyimlerle model ve prototip üzerinde yapılan ölçümlere dayanır. Denge sınırı yöntemi zeminin ya da kaya kütlelerinin (özellikle süreksizliklerin) makaslama dayanımına dayandırılmış olup genellikle Coulomb-Navier yenilme kriterinden faydalanır. Gerilme analizi yöntemi kaya kütlelerinin deformasyon ve dayanım karakteristiklerinin çalışılmasını içerir. Gerilme analizini fotoelastik yöntem ya da Sonlu Elemanlar Yöntemi gibi nümerik bir teknik yapmak mümkündür. Bilgisayar kapasitelerindeki artışlar ve nümerik yöntemlerdeki gelişmeler nedeniyle fotoelastik yöntem günümüzde kullanılmamaktadır.

Şev duraylık analizlerinde en çok kullanılan yöntem denge sınırı yöntemidir. Çünkü, analiz "emniyet katsayısı" olarak adlandırılan kesin bir cevapla sonuçlanır. Denge sınırı yöntemi, özet olarak, önceden belirlenmiş olası kayma yüzeyindeki kaymayı oluşturan kuvvetlerle kaymaya karşı koyan kuvvetlerin karşılaştırmasını yapar. Uygulamada kolaylık ve çabukluk sağlamak için grafikler ya da tablolar geliştirilen hesaplamalar en aza indirilmiştir. Bu kapsar içinde, Hoek ve Bray



Şekil 2. Richards'a (1975) göre şev yenilme mekanizmaları.

(1977) tarafından dairesel kayma, düzlemsel ve kama tipi kayma analizleri, Zambak (1983) tarafından devrilme analizi için hazırlanan diyagramlar söylenebilir.

Hernekadar denge sınırı yöntemi şev duraylık analizleri için çok kullanışlı bir yöntem ise de kayma yüzeyinin önceden bilinmesi ya da tahmin edilmesi zorunluluğu vardır. Ayrıca, kayan kütle- nin rijit-tam plastik davrandığının varsayılması bu yöntemin kusurudur, çünkü yenilmenin progresif karakteri göz önüne alınmamaktadır. Düzlemsel

kayma analizinde olduğu gibi problemi iki boyuta indirgeyerek analiz basitleştirilirse de bu her zaman olası değildir. Problemin üç boyutlu ele alınması gerektiğinde Londe ve arkadaşları (1969 ve 1970) tarafından geliştirilen analitik, John (1968) tarafından kullanılan grafiksel yöntem (stereografik projeksiyon) başvurulabilir.

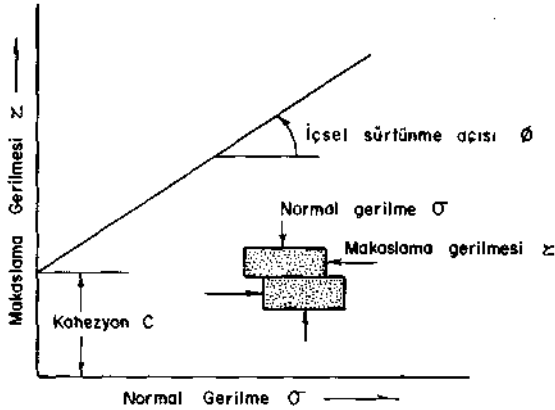
Bölüm 2.2'de verilen yenilme mekanizmalarından kayma türünde olanlar için denge sınırı yöntemi, kayma yüzeyinin doğru olarak belirlenmesi koşuluyla, güvenilir sonuçlar verecektir. Yöntemin

ayrıntılarını ve uygulamasını konuyla ilgili kitaplarda (Hoek ve Bray 1977), Lambe ve Whitman (1969) gibi bulmak mümkündür, öte yandan, Goodman ve Bray (1976), basit şev geometrileri için de olsa, denge sınır yöntemini devrilme türü yenilmeye uygulamışlardır.

2.4. Malzeme Özellikleri

Gerek kaya içinde gerekse de zeminde açılan şevlerin duraylık analizleri yukarıda belirtildiği gibi genellikle denge sınır yöntemiyle yürütülür. Bu yöntemin uygulamasında gerekli malzeme özellikleri kohezyon, içsel sürtünme açısı ve yoğunluktur.

Kohezyon ve içsel sürtünme açısı, en iyi şekilde, makaslama gerilmesi ile normal gerilme (kayma yüzeyine dik olarak etki eden kuvvetlerin yarattığı gerilme) arasındaki ilişkiyle açıklanabilir (Şekil 3). Bu ilişki matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.



Şekil 3. Kaymaya neden olan makaslama gerilmesi ile normal gerilme arasındaki ilişki.

$$r = C + a \tan \phi$$

Burada,

r	Makaslama gerilmesi
C	Kohezyon
a	Normal gerilme
φ	İçsel sürtünme açısı

dır.

Kohezyon ve içsel sürtünme açısını tayin etmek için kullanılan iki ana yöntem vardır.

- Makaslama deneyi
- Üç eksenli basınç deneyi

Makaslama deneyi süreksizliklerin makaslama dayanım parametrelerini (C ve φ) tesbit etmek üzere laboratuvarında ya da yerinde (in-situ) yapılabilir, özellikle arazide kullanılmak üzere geliştirilen ve Ross-Brown ve Walton (1975) tarafından ayrıntılı olarak tanımlanan "direkt makaslama aygıtı" ile çapı 10 cm'ye kadar olan karot numuneleri test etmek olasıdır.

Zemin, pası ya da çok kırıklı kayalarda üç-bo-yutlu deneyin uygulanması gerekir.

Eklem yüzeylerinin makaslama dayanımı Barton (1973) tarafından önerilen aşağıdaki ampirik bağıntıyla da bulunabilir.

$$r = a' \tan (\phi_j + JRC \log_{10} (JCS/a'))$$

Burada,

r : makaslama direnci

a' : etkin normal gerilme

φ_j : düz, pürüzsüz kaya yüzeyinin temel içsel sürtünme açısı

JRC: eklem pürüzlülük katsayısı

JCS : eklem duvarını oluşturan kayanın tek eksenli basınç dayanımıdır.

Hoek ve Bray (1977) kaya şev duraylık analizlerinde şev oluşturulan kaya kütesinin geometrisinden sonra gelen en önemli faktörün kayma yüzeyinin makaslama dayanımı olduğunu belirterek bunda olacak küçük değişikliklerin güvenli şev yüksekliği ya da şev açısından önemli değişikliklere neden olacağını vurgulamışlardır. Birçok süreksizlik düzlemini ve kaya malzemesi yenilmesini içeren karmaşık bir yenilme mekanizmasının beklendiği durumlarda makaslama deney sonuçları şev dizaynında direkt olarak kullanılmayıp kaya kütesinin arazide beklenen davranışına göre değiştirilmelidir. Ayrıca, süreksizlik yüzeyleri makaslama dayanımının, ayrışma etkisi, yüzey pürüzlülüğü, suyun varlığı ve basıncı ve ölçek ile değişeceği unutulmamalıdır.

2.5. Geriye Doğru Analiz Yöntemi

Süreksizlik yüzeylerinin makaslama dayanımının laboratuvarında ya da yerinde (in situ) yapılan deneylerle tayinindeki ve yorumlanmasındaki güçlükler nedeniyle "geriye doğru analiz" yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde; yenilme esnasında

kayma yüzeyindeki tüm makaslama direncinin aşıldığı varsayılarak, mevcut şev yenilmelerinin geriye doğru analizi yapılır, C ve 0 bulunur. Fakat, *T we o* arasındaki ilişkinin yüzey pürüzlülüğü nedeniyle doğrusal olmadığı unutulmamalıdır. Bu eksikliğine rağmen geriye doğru analiz yöntemi kayma yüzeyinin, yerindeki (in - situ) makaslama direnci hakkında fikir edinmek için önemli bir kaynaktır.

2.6. Şev Duraylığma Etki Eden Faktörler

Kaya ve zeminlerde açılan şevlerin davranışına ilişkin yürütülen ayrıntılı çalışmalar duraylılığı aşağıda özetlenen üç ana faktörün kontrol ettiğini ortaya koymuştur.

a) Şev geometrisi ve jeolojik yapısal özellikler: Kaya içinde açılan şevlerde herhangi bir duraysızlığın kinematik olasılığı ve türü şev geometrisi ve -konumu ile jeolojik yapı tarafından belirlenir. Bu bakımdan,

- Şev yüksekliği
- Şev açısı
- Süreksizliklerin eğimi ve eğim yönü
- Süreksizliklerin boyutu (sürekliliği), sıklığı
- Gerilme çatlağının derinliği (mevcutsa)

belirlenmelidir.

b) Yeraltı suyu koşulları: Yeraltı suyunun şev duraylığma etkisi çok yönlü olup en önemlisi, i) çatlak suyu basıncı olarak, ii) boşluk suyu basıncı olarak olası kayma yüzey(ler)indeki makaslama dayanımını azaltmasıdır. Şev duraylığındaki kritik önemine karşın en az araştırılan parametre yeraltı su basıncıdır. Bunun nedeni ise, kaya kütleindeki su basıncı dağılımı hakkında fikir verebilecek yöntemlerden ikisinin de (kaya kütleinin geçirgenliği ve yeraltı su kaynaklarının gözönüne alınarak yeraltı su akış yönlerinin saptanması ve sondaj kuyularındaki su seviyelerinin ya da piyezometrelerle su basıncının ölçülmesi) uygulama ve yorumlamada zorlukları içermesidir. Dolayısıyla, duraylılık analizleri ya gözlemlere dayanan su koşulları için ya da genellikle uygulandığı üzere değişik su durumları varsayılarak "hassasiyet analizi" şeklinde yürütülür.

Hoek ve Bray (1977) ve Brawner (1982) suyun duraylılığı azaltan diğer etkilerini ise şöyle sıralamışlardır:

- Şev tepesindeki ya da yüzeyindeki gerilim çatlaklarını doldurarak yarattığı yanıl itki ile kaymayı oluşturan kuvvetlerin artmasına neden olur.
- Patlatmanın yarattığı hidrodinamik şok boşluk su basıncında artmalara neden olarak makaslama dayanımını azaltır.
- Süreksizlikleri, boşlukları dolduran su (rutubet olarak) kayanın birim ağırlığını artırarak makaslama gerilmesinde az da olsa artışa neden olur ki, bu duraylılığı azaltır. Ayrıca, kıltaşı ve benzeri kayalarda nem oranının değişmesi ayrışmanın hızlanmasına ve böylece duraylığın bozulmasına neden olur.
- Kışın yeraltı suyunun donması çatlakların genişlemesine ve drenaj yollarının kapanarak su basıncının artmasına neden olabilir.
- Hem yüzey toprağının hem de çatlaklardaki dolgunun erozyona uğraması duraylılığı azaltır. Drenaj kanallarının tıkanmasına yol açabilir.
- örtü tabakasını oluşturan toprak ya da artık malzemenin "stvillaşmaya" uğramasına neden olabilir.

c) Malzeme özellikleri: Bölüm 2.4'de ifade edildiği gibi şev duraylılık analizinde kullanılan malzeme özellikleri,

- Kohezyon
- İçsel sürtünme açısı
- Kaya ya da zeminin yoğunluğudur.

Bu parametreler denge sınırı yöntemine göre güvenlik katsayısının hesaplanmasında kullanıldığından özellikle C ve ϕ deki küçük değişiklikler güvenli şev yüksekliği ve şev açısında önemli değişiklikler meydana getirmektedir.

Yukarıda bahsedilen üç ana faktöre ek olarak patlatmadan oluşan sismik ivmenin yarattığı kuvvetler, kaya kütleinin dayanımı, şevdeki gerilmeler ve deformasyonlar, şevin planda ve kesitte görülen bükeyliği, iklim koşulları ve zaman da ayrıntılı şev duraylılık analizlerinde dikkate alınmalıdır.

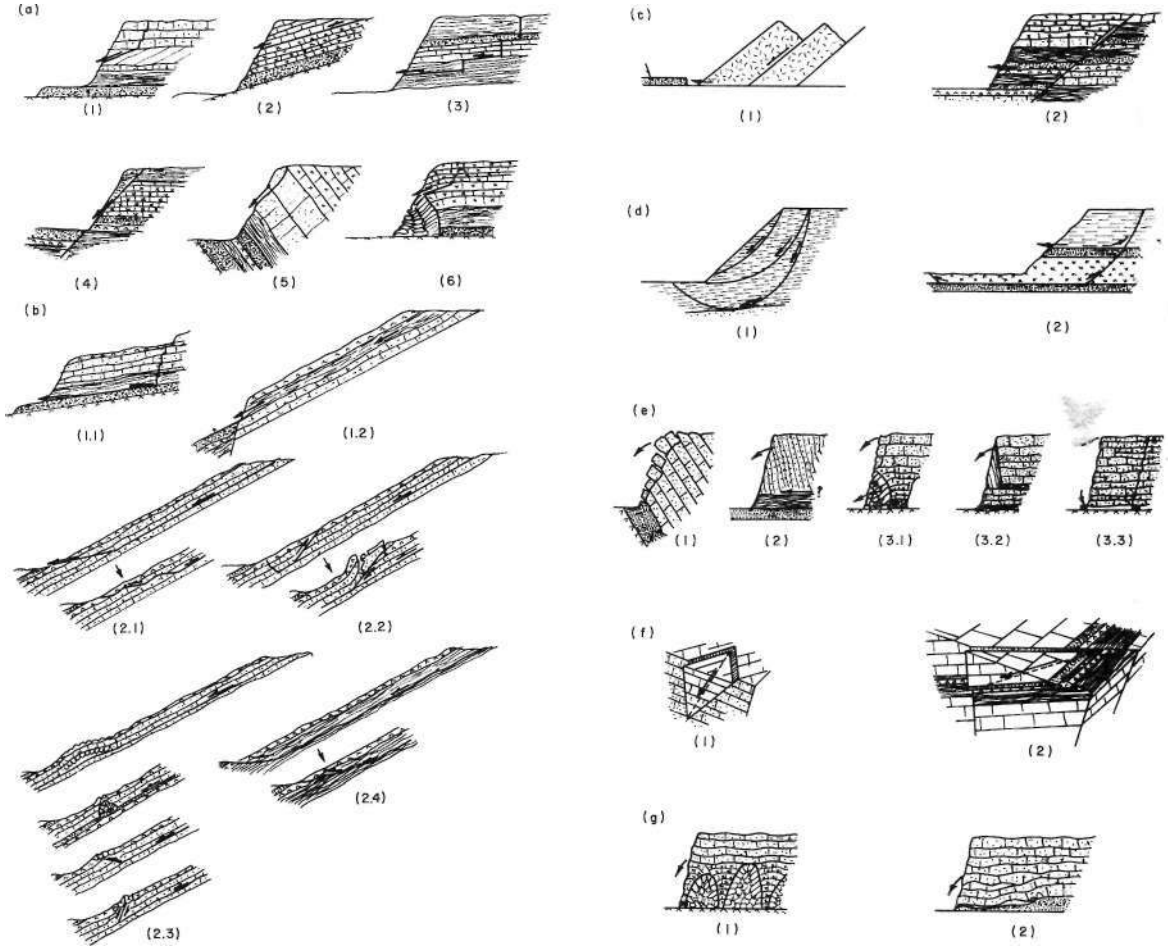
3. AÇIK KÖMÜR OCAKLARINDA ŞEV DURAYLIK SORUNLARI VE İLK YAKLAŞIMLAR

Dünyadaki gidişe paralel olarak ülkemizde de daha derinlerdeki linyit damarlarının açık işletme yöntemiyle alınması söz konusudur. Bunun sonucu olarak önümüzdeki yıllarda 140-150 m'ye varan şev yüksekliklerine ulaşılabilecektir (örneğin: Tavşanlı - Tunçbilek, Soma - Işıklar ocakları). Bu yüksek şevlerin duraylılığı önemli olup ayrıntılı olarak çalışılması gerekir. Ayrıca pano içinde oluşturulan toprak harmanlarındaki duraysızlıklar da üretimde aksamalara neden olabileceğinden önemlidir. Aşağıda, hem pano sınırlarındaki yüksek şevlerin duraylılığı hem de toprak harmanlarının duraylılığına ilişkin analizler için yaklaşımlar verilecektir.

3.1. Pano Sınır Şev Duraylılığı

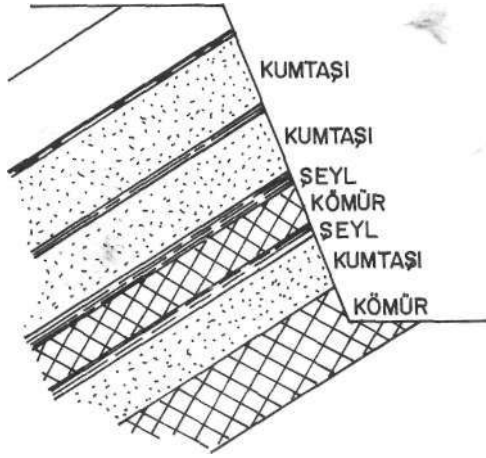
Kömürlü formasyonlarda jeolojik yapı karmaşık olacağından duraysızlık biçimleri aynı oranda karmaşık ve çok çeşitli olabilmektedir. Walton ve Atkinson (1978) açık kömür ocaklarındaki şev yenilme mekanizmalarını aşağıda sıralanan ve Şekil 4'de verilen yedi grupta toplamışlardır.

- Düzlemsel kaymalar
- Tabaka kaymaları
- İki düzlemlilik kaymalar
- Çok düzlemlilik, eğrisel ve dairesel kaymalar
- Devrilme türü yenilmeler
- Kama türü kaymalar
- Kaya düşmeleri



Şekil 4. Kömür açık ocaklarında yenilme mekanizmaları (Walton ve Atkinson, 1978)
(a) Düzlemsel kaymalar, (b) Tabaka kaymaları, (c) İki Düzlemlilik kaymalar,
(d) Çok düzlemlilik, eğrisel dairesel kaymalar, (e) Devrilme türü yenilmeler,
(f) Kama türü kaymalar (g) Kaya düşmeleri.

Bu yenilme mekanizmalarının büyük bir kısmı için Bölüm 2.3'de bahsedilen denge sınırı yöntemini uygulayarak duraylık analizi yapmak mümkündür. Ancak, Şekil 5'de görüldüğü gibi süreksizliklerin ocağa doğru değil de şev içine doğru yattığı durumlar için yapılacak analiz belirsizlikler içeren bir işlem niteliğindedir. Böyle bir şevin duraylık analizi konusundaki bilgi düzeyimiz çok sınırlıdır. Bu durumlar için halen, kayma yüzeyi boyunca yer alan kayaların malzeme özelliklerini tahmin ederek, dairesel kayma analizi yapılmaktadır.



Şekil 5. Süreksizliklerin şev içine yattığı durum.

Kaya kütlesi anizotropik bir yapıya sahip olduğundan kayma yüzeyi boyunca yer alan farklı kaya birimlerinin laboratuvarında saptanan malzeme özellikleri büyük bir anlam taşımamakta, fakat kaya kütlesinin dayanımı önemli olmaktadır. (Brawner, 1977). Süreksizliklerin şev içine yattığı durumların analizinde varsayılan dairesel kayma türü yenilmenin şevin gerçek davranışını yansıtmadığı hususu bir yana, kaya kütlesinin dayanımı konusunda da yeterli araştırma yapılmamıştır. Ancak, Hoek ve Brown (1980) tarafından önerilen ampirik yöntemle kaya kütlesinin dayanımını tahmin etmek ve bu tür ortamların analizinde kullanmak olasıdır.

Kömürlü formasyonlar için açılacak şevlerin duraylık analizinde, gerek karmaşık jeolojik yapıya bağlı olarak beklenen, fakat önceden tahmin edilmesi zor olan çok çeşitli davranış biçimlerinin varlığı, gerekse ortamın anizotropik dayanım özellikleri göstermesi, mevcut denge sınırı yöntemiyle bulunan sonuçların güvenilirliğini etkilemektedir.

İngiltere'de yürütülen araştırmalar sonucunda, soruna istatistiksel bir yaklaşımla çözüm bulunmağa çalışılmıştır (Singh, Denby ve Brown)(1985) Adı geçen araştırma programında, İngiltere'deki kömür açık ocaklarında duraysız şevlere ilişkin jeoteknik ve madencilik verileri toplanarak analize tabi tutulmuştur. Bu yaklaşımı, i) mevcut ocaklarda duraylı ve duraysız (varsa) şevlere ilişkin verilerin toplanması, ii) toplanan verilerin ışığı altında havzadaki formasyonlarda açılacak şevlerin davranış özelliklerinin belirlenmesi, çalışmalarında oluşmak üzere iki aşama içinde özetlemek mümkündür.

Duraylığa etki eden faktörlerin ortaya çıkarılması açısından özellikle duraysız şevlere ilişkin veriler büyük önem taşır. Dokümantasyonu yapılan duraysızlıklara geriye doğru analiz yapılarak, hem yenilme mekanizması hem de devinime geçen makaslama dayanımı hakkında fikir edinilebilir. Duraylık analizlerinin yürütülmesinde bu iki faktörün büyük ağırlık taşıdığı unutulmamalıdır.

Duraylı ve duraysız şevlere ilişkin toplanacak verilerden önemli olanlar şunlardır:

- Şev geometrisi (şevin yüksekliği, açısı, büyüklüğü)
- Yapısal jeoloji (süreksizliklerin; türü, yönelimi, yüzey özellikleri, sıklığı, devamlılığı)
- Yeraltı su durumu (yeraltı su seviyesi, basıncı)
- Kaya kütlesinin ve kömürün fiziksel ve mekanik özellikleri, süreksizliklerin makaslama dayanımı parametreleri.

Ayrıca, duraysız şevlerde yenilme yüzeylerinin karakteristikleri niteliksel ve niceliksel olarak incelenmelidir.

Scoble ve Leigh (1982), İngiltere'deki kömür ocaklarında yapılan araştırmaların bir bölümü olarak 120 duraysız şev üzerinde yaptıkları çalışmalarda şev geometrisi, yapısal jeoloji ve kaya kütlesi kalitesinin şev duraylığına olan etkisini incelemişler ve aşağıdaki bulgulara ulaşmışlardır:

- Duraysız şevlerin geometrik özellikleri (yükseklik, derinlik, uzunluk, şev açısı ve duraysız kütlenin hacmi) incelenerek duraysızlık tipini ve şev geometrisinin duraylığa yaptığı etkiyi saptamak olasıdır.

- Duraysız şevlerin büyük bir kısmında süreksizliklerin (tabakalanma) ocağa doğru yattığı görülmüştür. Dolayısıyla tabakalanmanın yönelimi (eğimi ve eğim yönü) çok önemlidir. Ayrıca faylanmanın da duraysızlıklartn yarısından çoğunda çeşitli biçimlerde katkıda bulunduğu görülmüştür. Eklemler ise kaya kütlelerinin kalitesini düşürerek duraystzlğa yardım etmişlerdir.
- Düzlemsel ve iki-düzlemlı duraysızlıkların çokluğu, zayıf seviyelerin özellikle formasyon içi makaslama zonları ve kil bantlarının kayma yüzeyleri olarak oynadığı önemli rolü yansıtmaktadır.
- Duraystzlğı en aza indirecek bir şev dizaynı için yeraltı suyu ayrıntılı olarak kesinlikle çalışılmalıdır.

3.2. Pano İçi Toprak Harmanlarının Şev Duraylığı

Pano içi toprak harmanlarındaki duraysızlıklar, a) kömür alımını engelleyebileceğinden, b) takip eden kazı için dökü hacmi azalacağından önemlidir.

Toprak harmanlarının stabilite analizlerinde de duraysız şevlerden elde edilecek veriler önem taşır. Böyle şevlere geriye doğru analiz yöntemi uygulayarak hem malzemenin makaslama parametreleri, hem de yenilme mekanizması hakkında bilgi edinilebilir. Toprak harmanı genellikle iri kaya parçaları içerdiğinden makaslama dayanımının deneysel olarak saptanması çok güçtür. Dolayısıyla duraysız şevlere uygulanacak geriye doğru analiz yönteminin önemi daha da artmaktadır. Ancak, Barton ve Kjaernsli (1981) tarafından kaya dolgu malzemesinin makaslama dayanımı için önerilen aşağıdaki ampirik kökenli eşitliğı kullanarak da bir yaklaşım elde edilebilir.

$$0' = R \cdot \text{Log}(S/a_n) + 0_b$$

Burada,

- 0' : maksimum içsel sürtünme açısı (drene olmuş şevde)
- R : pürüzlülük parametresi (kaya dolgu malzemesinin fiziksel özellikleri ve gözeneklilik tarafından belirlenen parametre)

- S : dayanım parametresi (d5Q tane büyüklüğü ve kayanın tek eksenli basma dayanımı tarafından belirlenen parametre)
- a : etkin normal gerilme
- 0. : temel içsel sürtünme açısı

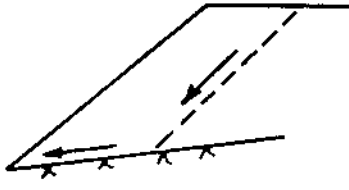
Walton ve Atkinson (1978) toprak harmanlarının duraylık analizlerinde genellikle dairesel kayma olasılığına yer verildiğini, fakat gözlemlerin birçok yenilmenin farklı geometriler içerdiği gerçeğini ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Adı geçen yazarlar düşük makaslama dayanımının birçok kömür damarı tabanının bir özelliğı olduğuna değinerek, harman-taban kontağı boyunca kaymalara sıkça rastlandığını vurgulamışlardır. Nitekim, Stead'in (1984) 56 toprak yenilmesi için yaptığı analizler Walton ve Atkinson'u doğrular niteliktedir. Stead'in bu tür malzemelerdeki yenilmeler için öngördüğü mekanizmalar Şekil 6'da verilmiştir.

Yeraltı su basınçlarının toprak harmanlarının stabilitesinde de önemli bir faktör olacağı kesindir. Bu bakımdan, kritik şevler için hem toprak harmanı içinde hem de harman-taban taşı kontağında piyezometre ölçümleri yapılması uygun olur.

4. SONUÇ

Şev duraylık analizlerinde kaya kütlelerinin davranışı önem taşır. Bu davranışı, şevin geometrisi yanında, ortamı oluşturan yapısal süreksizlikler ile bunlar arasında yer alan kaya malzemesinin özellikleri belirler. Kaya malzemesi sağlam ise, olası duraysızlık çoğunlukla süreksizliklerden biri ya da birkaçı boyunca gelişen yenilmeler şeklinde olur. Bu tür ortamlar için geliştirilen analiz yöntemleri güvenilir sonuçlar verecek düzeydedir.

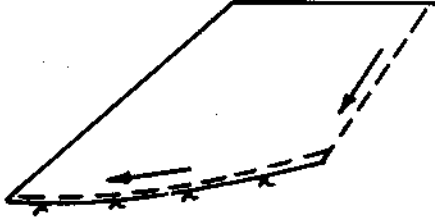
Kömür içeren formasyonlar gibi, kaya malzemesinin yeterince sağlam olmadığı ortamlarda açılan şevlerin duraylık analizinde süreksizliklerin yanı sıra kaya malzemesinin dayanımı" di önem kazanır. Ayrıca, bu formlarda jeolojik yapı da daha karmaşık olduğun için, bu ortamlarda açılacak şevlerin duraylık analizini yapmak üzere daha fazla parametreyi birarada inceleyen, özel yöntemler geliştirilmesi gerekmektedir.



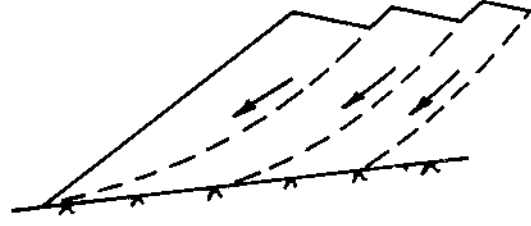
Sığ iki-düzlemli



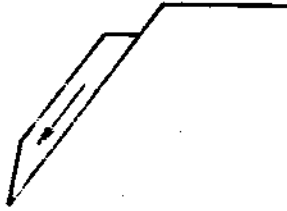
Dairesel



Derinde iki-düzlemli/çok düzlemli, muhtemelen suya doymuş taban harman zayıflık yüzeyi boyunca.



Geriye doğru giden yarı-dairesel



Dik toprak harmanı şevlerinde yüzeysel düzlemsel kayma.



Suya doymuş toprak harmanlarının sıvılaşması

Şekil 6. Toprak harmanlarında karakteristik yenilme mekanizmaları (Stead, 1984).

KAYNAKLAR

1. BARTON, N.R., Review of a New Shear Strength Criterion For Rock Joints, Engng. Geol. Vol. 7, 1973, pp. 287-332.
2. BARTON, N. & KJAERNSLI, B., Shear Strength of Rockfill, J. Geotech. Eng. Div., Proc. A.S.C.E., Vol. 107, 1981, pp. 873-891.
3. BRAWNER, CO., Open Pit Slope Stability Around the World, CIM Bulletin, 1977, pp. 83-99.
4. BRAWNER, CO., Control of Groundwater in Surface Mining, Int. Journal of Mine Water, No. 1, 1982 pp. 1-16.
5. BRAWNER, CO. & DORLING, I.P.E., Stability in Coal Mining (Proc. of the 1st Int. Symp. on Stability in Coal Mining), Vane cover, British Columbia (Canada), 1978, 496 p.
6. COATES, D.F., Rock Mechanics Principles, Dept. of Energy, Mines and Resources, Mines Branch Monograph 874, 1970.
7. GOLDRER, H.O., The Stability of Natural and Man-Made Slopes in Soil and Rock, Geotechnical Practice For Stability in Open Pit Mining (Editors: CO. Brawner and V. Milligan), AIME, New York, 1972, pp. 79-85.
8. GOODMAN, R.E. & BRAY, J.W., Toppling of Rock Slopes, Proc. Conf. on Rock Engineering For foundations and Slopes, ASCE, Boulder, Colo. (USA), Vol. 2, 1976, pp. 201-234.
9. HOEK, E. & BRAY, J.W., Rock Slope Engineering (2nd Edition), Institution of Mining and Metallurgy London, 1977, 402 p.
10. HOEK, E. & BRÜ, W, E.T., Underground Excavations In Rock, Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980, 527 p.
11. HUTCHINSON, J.N., Mass Movement, Encyclopedia of Geomorphology (Editor: R.E. Fairbridge), Reinhold, 1968, pp. 688-695.
12. JENNINGS, J.E., A Mathematical Theory For the Calculation of the Stability of Slopes in Open Cast Mines, Proc. Symp. on Open Pit Mine Planning, Johannesburg, 1970, pp. 87-102.
13. JOHN, K.W., Graphical Stability Analysis of Slopes in Jointed Rock, J. Soil Mech. and Found. Div., Proc. ASCE, Vol. 94/SM2, 1968, pp. 497-526.
14. KNILL, J.L., Types of Slope Failures in Rock, Geological Society of London, Engineering Group, Symp. on Rock Slopes, Imperial College, London, 1967.
15. LAMBE, W.T. & WHITMAN, R.V., Soil Mechanics, Wiley, New York, 1969.
16. LONDE, P., VIGIER, G. & VORMERINGER, R., Stability of Rock Slopes-A Three Dimensional Study, J. Soil Mech. and Found. Div., Proc. ASCE, Vol. 95/SM1, 1969, pp. 235-262.
17. LONDE, P., VIGIER, G. & VORMERINGER, R., Stability of Rock Slopes-Graphical Methods, J. Soil Mch. and Found. Div., Proc. ASCE, Vol. 96/SM4, 1970, pp. 1411-1434.
18. PITEAU, D.R., Engineering Geology Contribution to the Study of Stability of Slopes in Rock with Particular Reference to De Beers Mine, ph. D. Thesis Univ. of the Witwatersrand, Johannesburg, 1970.
19. RICHARDS, L.R., The Shear Strength of Joints in Weathered Rock, Ph. D. Thesis, Univ. of London (Imperial College), 1975.
20. ROSS-BROWN, D.M. & WALTON, G., A Portable Shear Box For testing Rock Joints, Rock Mechanics Vol. 7, No. 3, 1975, pp. 129-153.
21. SCOBLE, M.J. & LEIGH, W.J.P., Factors Governing the Stability of Rock Slopes in British Surface Coal Mines, Proc. 23rd. Symp. on Rock Mech., Berkeley, California, 1982, pp. 1091-1098.
22. SHERMAN, C.W., Elements of Soil Mechanics, SME Mining Engineering Handbook, AIME, Sect. 6, 1973, pp. 8-11.
23. SINGH, R.N., DENBY, B. & BROWN, D.J., The Characteristics of Coal Measures Slope Instability in British Surface Coal Mines, Proc. 26th U.S. Symp. on Rock Mech., Rapid City, South Dakota, 1985, pp. 41-48.
24. SMITH, G.N., Elements of Soil Mechanics For Civil and Mining Engineering, Crosby Lockwood Staples, Vol.5, 1974.
25. STEAD, D., An Evaluation of the Factors Governing the Stability of Surface Coal Mine Slopes, Ph. D. Thesis, Univ. of Nottingham, 1984.
26. ULUSAY, R., Şev Stabilité Analizlerinde Kullanılan Pratik Yöntemler ve Jeoteknik Çalışmalar, M.T.A. Enstitüsü Yayınlarından, Eğitim Serisi No. 25, 1982, 141 sayfa.
27. WALTON, G. & ATKINSON, T., Some Geotechnical Considerations in the Planning of Surface Coal Mines Trans., Sect. A, I.M.M., Vol. 87, 1978, pp. 147-171.
28. ZANBAK, C., Design Charts For Rock Slopes Susceptible to Toppling, J. of Geotech. Eng. Div., Proc. A.S.C.E., Vol. 109, No. 8, 1983, pp. 1039-1062.

