

Yeraltısu Seviyesinin Açık Ocaklarda Şev Duraylılığına Etkilerinin Araştırılması

Investigation of the Effects of Groundwater Level on Slope Stability in Open Pits

S. Eren^{1*}, C. O. Aksoy¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

*Sorumlu Yazar: eren.sibel0092@gmail.com

ÖZET

Sanayinin büyümesi ve teknolojinin gelişmesiyle, günümüzde hammaddeye olan ihtiyaç artmıştır. Bu hammadde talebinin karşılanması için cevherin, açık işletmeden en verimli şekilde alınabilmesi gerekmektedir. Dekapaj miktarının az, şev açılarının ise yüksek tutulduğu bir açık işletme basitçe en verimli şartlar altında çalışıyor demektir. Ancak yüksek şev açıları, şev stabilitesi problemlerini de beraberinde getirmektedir. Madenin ekonomik şartlar altında işletilmesi için şev duraylılığı etütleri ve tasarım planlama için toplanan veriler, bu aşamada büyük bir öneme sahiptir. Uygun tasarım ve boyutlandırma için işletme sahasının jeolojik-jeofizik özellikleri tanımlanmalı, süreksizlikleri belirlenmeli ve yeraltı suyu durumu iyi bir şekilde ortaya koyulmalıdır. Bu çalışma kapsamında yeraltısu seviyesindeki değişimlerin şev duraylılığına etkileri sayısal modelleme yöntemleri ile zamana bağlı akış çözümleri yapılarak araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Şev duraylılığı, Yeraltı suyu, Nümerik modelleme, Zamana bağlı analiz, Akış analizi

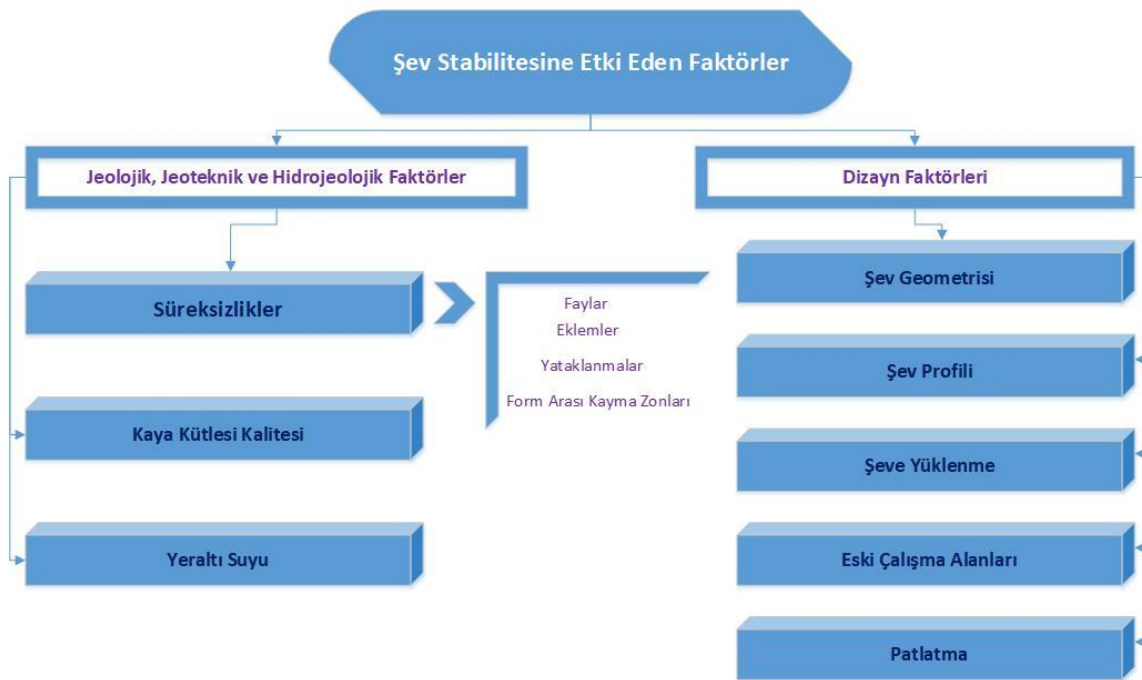
ABSTRACT

With the growth of industry and the development of technology, the need for raw materials has increased. In order to meet this raw material demand, the ore must be taken from the open pits in the most efficient way. An open pit operation in which the excavation amount is low and the slope angles are kept high is simply working under the most efficient conditions. However, high slope angles bring about slope stability problems. The data collected for slope stability studies and design planning for the operation of the mine under economic conditions is of great importance at this stage. The geological-geophysical characteristics of the operation area should be defined for proper design and dimensioning, discontinuities should be determined and the groundwater situation should be well established. In this study, the effects of changes in groundwater level on slope stability were investigated by using time dependent flow analysis with numerical modeling methods.

Keywords: *Slope stability, Groundwater, Numerical modeling, Time-dependent analysis, Flow analysis*

1. Giriş

Bir açık işletmenin ekonomik olarak işletilebilmesi için dekapaj miktarının en az seviyede, buna karşın basamak şev açılarının ise en yüksek seviyede tutulması gerekir. Ancak emniyetli bir çalışma ortamı yaratmak için genellikle bu açılar düşük olur. Artan hammadde talebi açık ocak maden işletmelerinin gittikçe derinleşerek, büyümesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu aşamada şev stabilite kontrolü önem kazanır. Açık ocağın bulunduğu sahanın jeolojik ve jeofizik özelliklerinin belirlenmesi, süreksizliklerinin saptanması ve yeraltı suyu dinamiğinin ortaya koyulması şev duraylılığı için yapılacak olan mühendislik çalışmalarına temel oluşturur. Şev stabilitesine etki eden faktörleri Şekil 1’den de görülebileceği üzere iki başlık altında toplamak mümkündür (Atkinson, 1977).



Şekil 1. Şev stabilitesine etki eden faktörler (Atkinson, 1977).

Bu çalışma kapsamında özel olarak yeraltı su dinamiğinin, şev duraylılığı üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır. Yüzeysel su birikintileri, yağmur ve sel suları, ıslak dekapaj, kapalı işletmelere dolan sular ve yeraltı suları ocağa giren suyun çeşitli kaynaklarını oluşturmaktadır (Kızıllı ve Köse, 1995).

Singh ve Denby (1989)'nin belirttiği üzere yeraltı suları kayacın efektif dayanımını azaltarak, kayaç içinde bir su basıncı oluşturur. Bunun yanı sıra yeraltı suları kaya kütlelerinin kesme dayanımını azaltır ve kayacın bozulmasına neden olur.

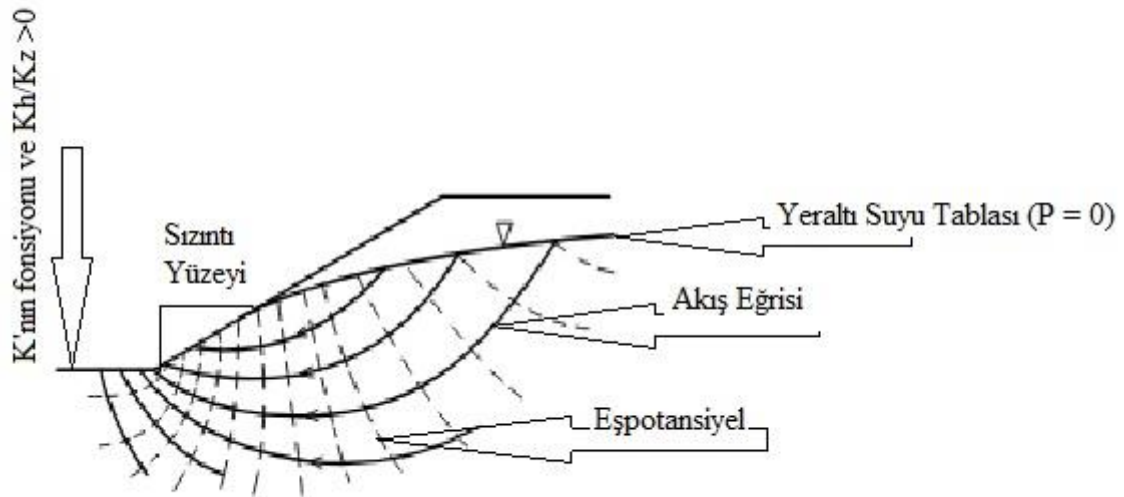
Singh ve Ghose (2006) ise bir kayma düzlemi boyunca kaymaya karşı direncin, sadece kaya kütlelerinin kesme dayanımına değil, aynı zamanda kayma yüzeyi boyunca etkiyen normal gerilmelere de bağlı olduğunu belirtmiştir. Buradan yola çıkarak yeraltı sularının, şev stabilitesi üzerine etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- Su, kil ve şeyl yüzeylerini kayganlaştırarak kohezyon dayanımını azaltır ve içsel sürtünme açısını (ϕ) düşürür.
- Kayma yüzeyi boyunca etkiyen normal gerilmeleri azaltır.
- Şev üzerine gelen ölü ağırlığı arttırır.
- Kazı yönünde basınç kuvveti oluşturur
- Patlatmada, hidromekanik şok dalgalarına sebep olur.

Yataklanma, foliasyon ve iki kayacın ayrılma-birleşme noktalarında ise su basıncı etkileri daha fazla çıkmaktadır. Su problemlerine sahip bir şev olduğu yoksayılarak, düzleştirilebilse de, şev drenajı (susuzlaştırma) yöntemi daha çok tercih edilen ve ekonomik bir yöntemdir (Atkinson, 2000).

1.1 Yeraltı Sularının Temel Hidrolik Prensipleri

Yeraltı suyu hidroliği üzerinde bir anlayış geliştirmek için öncelikle Şekil 2’de gösterilen, şevdeki yeraltı suyu akış sistemini anlamak önemlidir. Gözeneklerdeki basıncın, atmosferik basınca göre sıfır ($P=0$) olduğu doymuş ve doymamış kaya kütlesi arasındaki sınır ‘‘yeraltı suyu tablası’’ olarak adlandırılır. Su tablası ile kesişen veya şev üzerinde mostra veren ve aynı zamanda $P = 0$ olan yüzey, sızıntı aynasının tepesidir. Sızıntı yüzeyinin yüksekliği, hidrolik iletkenliğin ve eğimi oluşturan malzemelerin yatay-dikey anizotropisinin bir fonksiyonudur. Düşük hidrolik iletkenliğe ve geniş yanaldan-dikeye hidrolik iletkenlik oranına sahip malzeme, daha geçirgen ve izotropik kaya kütlelerinde olduğundan daha yüksek sızıntı yüzeyine sahip olacaktır. Sızıntı yüzeyinin yüksekliği her zaman sıfırdan büyüktür (Atkinson, 2000). Şekil 2’de ayrıca eşpotansiyel çizgileri ve teorik akış çizgilerine dair bir ağ gösterilmektedir.



Şekil 2. Bir şevdeki yeraltı suyu akışının sistematığı (Singh ve Atkins, 1984).

Kayada yapılan her madencilik işlemi akmayan yeraltı sularından ‘akan artezyen’ koşulları yaratır. Bir kayacın, yeraltı suyu akışına göre en önemli özelliği hidrolik iletkenliğidir. Homojen ve izotropik bir kaya malzemesi için hidrolik iletkenlik (K), Darcy yasasından türetilmiştir. Hidrolik iletkenlik, bir birim alandaki akış hızı olarak tanımlanır.

$$K = Q / A \quad (1)$$

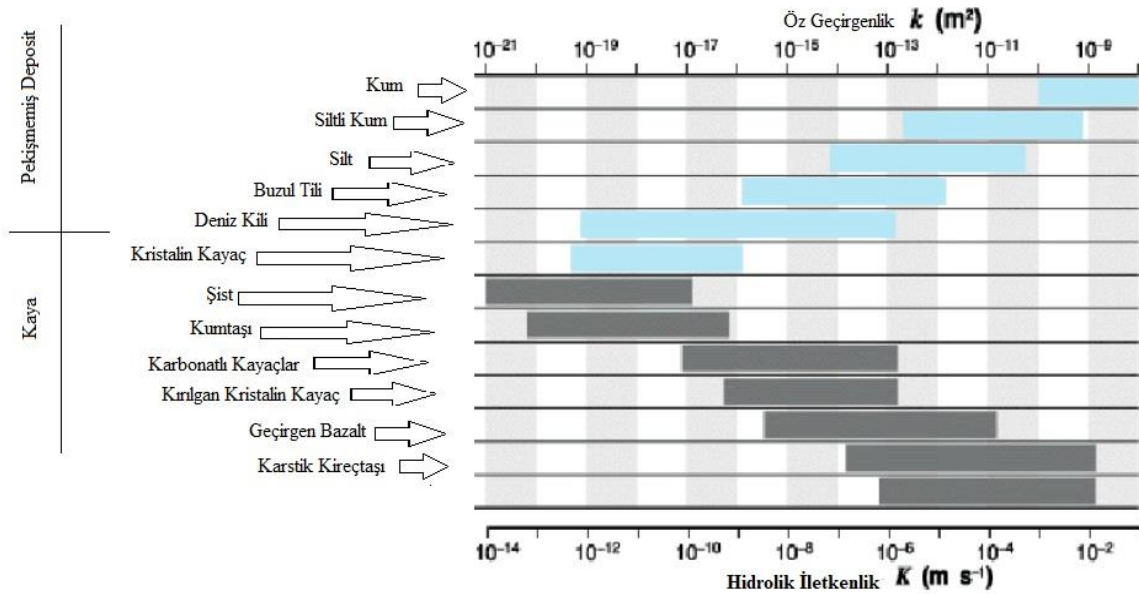
Burada;

K = Hidrolik iletkenlik [L/T]

Q = Debi [L³/T]

A = Kesit alanı [L²] dır.

Kaya malzemeleri için literatürde on üç farklı aralıkta (K) değeri belirlenmiştir (Şekil 3). Bir maden sahasında farklı (K) değerine sahip birden fazla malzeme olması beklenen bir durumdur. Bu tarz bölgelerde analizler için değerlendirme yapılırken hidrolik iletkenliğin yanı sıra kaya malzemesinin jeolojik özellikleri ve süreksizlikleri de göz önünde bulundurulur.



Şekil 3. Farklı jeolojik malzemelerin Hidrolik İletkenlik (K) değerleri (Atkinson, 2000)

1.2 Yeraltı Sularının Duraysızlığa Neden Olduğu Şevlerde Sağlama Yöntemleri

Bir şev üzerinde kaymanın ne zaman olacağını öngörmek çoğu zaman pek mümkün olmamaktadır. Ancak ufak kaymalar ve çökmeler, yer yer belirginleşen oturmalar ve topoğrafyada meydana gelen değişimler bir şev kayması olayının yaşanabileceğini gösteren durumlardır. Kesin bilgilere ise sahada yapılan uzun süreli gözlem ve ölçümler sonucunda ulaşılabilir ve kaymanın asıl nedeni belirlendikten sonra gerekli tedbirler alınabilir.

Şevin duraylılığını bozan sebepler şu şekilde özetlenebilir (Kızıl ve Köse, 1995):

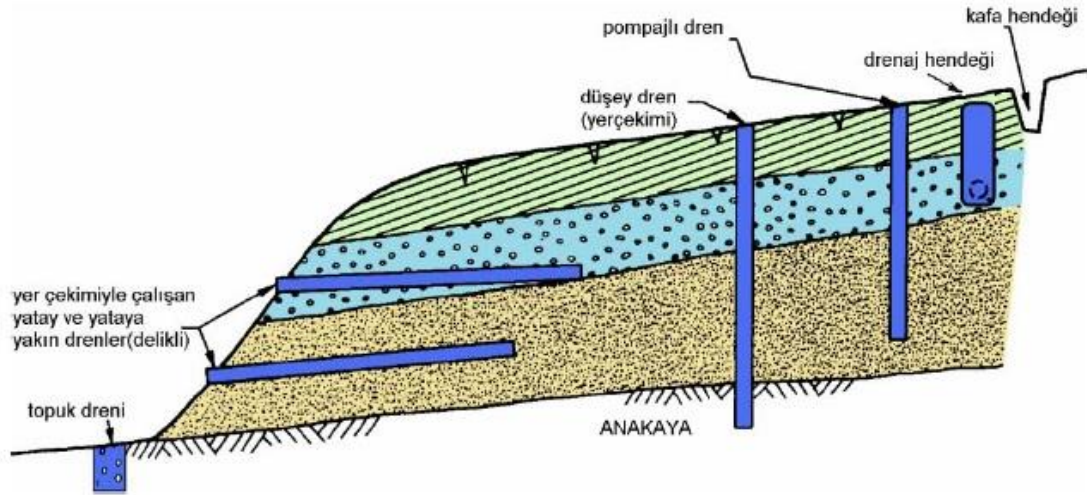
- Şev çok yüksek veya çok dik olabilir.
- Şevin kaya kütlesi özellikleri, mevcut şevi taşıyabilecek özelliklere sahip olmayabilir.
- Yeraltı suyu seviyesi ve su basıncı çok yüksek olup, kayacın dayanımını azaltıyor olabilir.
- Şev aşırı yağmur ve sel sularına maruz kalmış olabilir.
- Makineler ve dekapaj tarafından aşırı yüklenmiş olabilir.

1.2.1 Şevlerin Drenajı

Şev dengesini bozan su basıncının ortadan kaldırılmasına yönelik olarak şevler drene edilir. Şev drenajı, dengeyi koruyucu ve arttırıcı bir etkiye sahiptir. Bir şeve drenaj yapılacaksa şu noktalarda dikkatli olunması gerekmektedir:

- Yüzeysel suların, gerilim çatlaklarından veya eklem yerlerinden şeve akmasının önlenmesi,
- Olası kayma yüzeyi çevresinde seçimli temel drenaj ile su basıncının düşürülmesi,
- Drenaj konumunun şevin yakın çevresinde drenaj sağlayacak şekilde saptanması.

Bir maden ocağında, şevlerin drene edilmesi için farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemler kısaca şöyledir; yüzey drenajı, yatay drenaj galerileri, toplayıcı drenajlar, düşey drenaj kuyuları, drenaj galerileri (Kızıl ve Köse, 1995). Şekil 4’de genel olarak drenaj yöntemlerine dair bir görüntü verilmektedir.



Şekil 4. Şev drenaj yöntemleri (Paşamehmetoğlu vd.,1977)

2. Materyal ve Metod

Yeraltı sularının açık ocaklarda duraylılığa etkilerinin araştırılması konusu kapsamında öncelikle bir şevin duraylılığına etki eden parametreler ortaya konulmuştur. Şev stabilitesine etki eden parametreler ‘‘Jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik’’ ve ‘‘Dizayn faktörleri’’ olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik faktörlerden biri olan yeraltı suyu koşullarının bir şevin duraylılığına nasıl etki ettiği ise bu çalışmanın ana konusunu

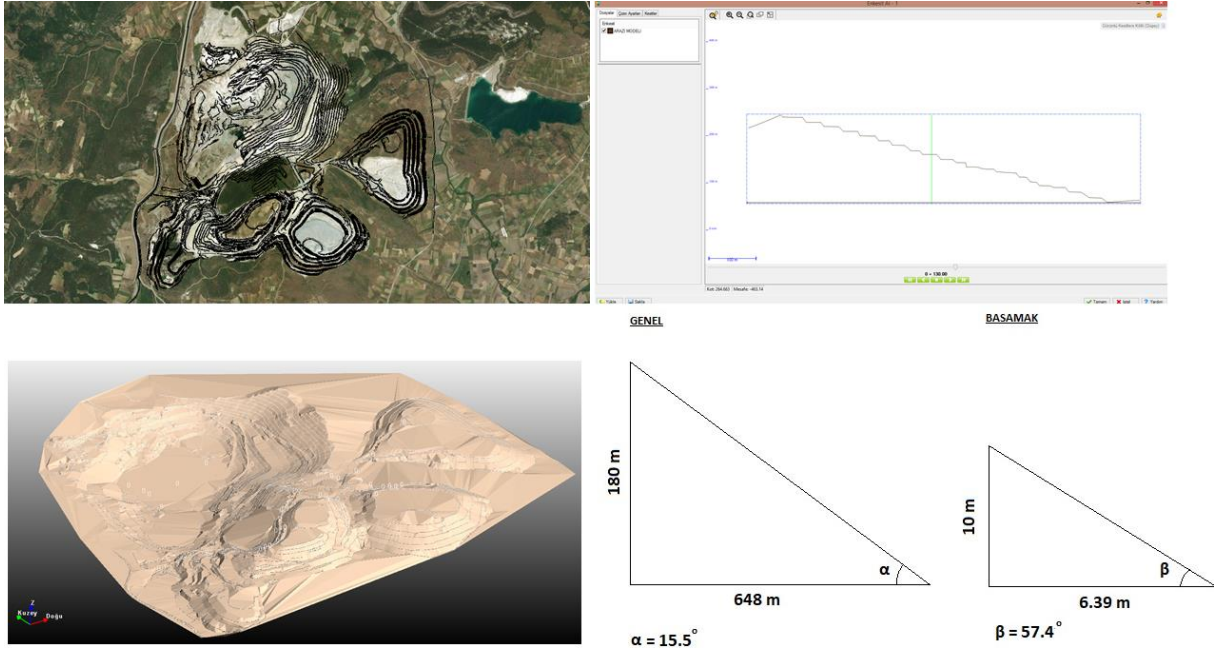
oluşturmuştur. Aksoy vd. (2016) farklı modeller ile derin açık işletmelerdeki şev duraylılığı üzerine yaptıkları statik analizlerde Mohr-Coulomb yenilme kriterinin daha hassas sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Yeraltı suları, şevde su basıncını arttırarak dayanımını azaltır. Başka bir deyişle yeraltı sularının varlığı kaya kütlelerinde kohezyonu, içsel sürtünme açısını ve yüzey boyunca etkiyen normal gerilme kuvvetlerini düşürmektedir. Şev duraysızlığı, çalışma şartlarında tehlike yarattığından çalışılan saha kontrol altında tutulmalıdır. Bunun için çeşitli ön uyarılar sahada görülebilse de daha karmaşık mühendislik çalışmaları gereklidir. Öncelikle sahanın jeolojik ve jeoteknik özellikleri çok iyi bir şekilde bilinmelidir. Daha sonra ise saha gözlemlenerek, analizler yapılmalı ve gereken tedbirler probleme yönelik olarak alınmalıdır.

Şevde duraysızlık sebebinin yeraltı suları olduğu saptandığı takdirde, yapılacak tedbir çalışmalarında sahadaki kaya malzemesinin hidrolik iletkenlik değeri (K), en az kayacın jeolojik özellikleri ve içerdiği süreksizlikler kadar önem taşımaktadır. Hidrolik iletkenlik değeri basitçe Darcy kanunundan türemiş bir eşitliğe sahip olup, birim alana düşen debi miktarı olarak tanımlanmaktadır. Hidrolik iletkenlik değeri homojen ve izotropik özellikler içeren on üç farklı değerde tanımlanmıştır. Fakat bu değerlerin tek bir tanesini bir maden sahası için kullanmak çok mümkün değildir. Pratikte en az dört farklı kaya malzemesi veya toprak için birleştirilmiş değerlere ihtiyaç duyulur.

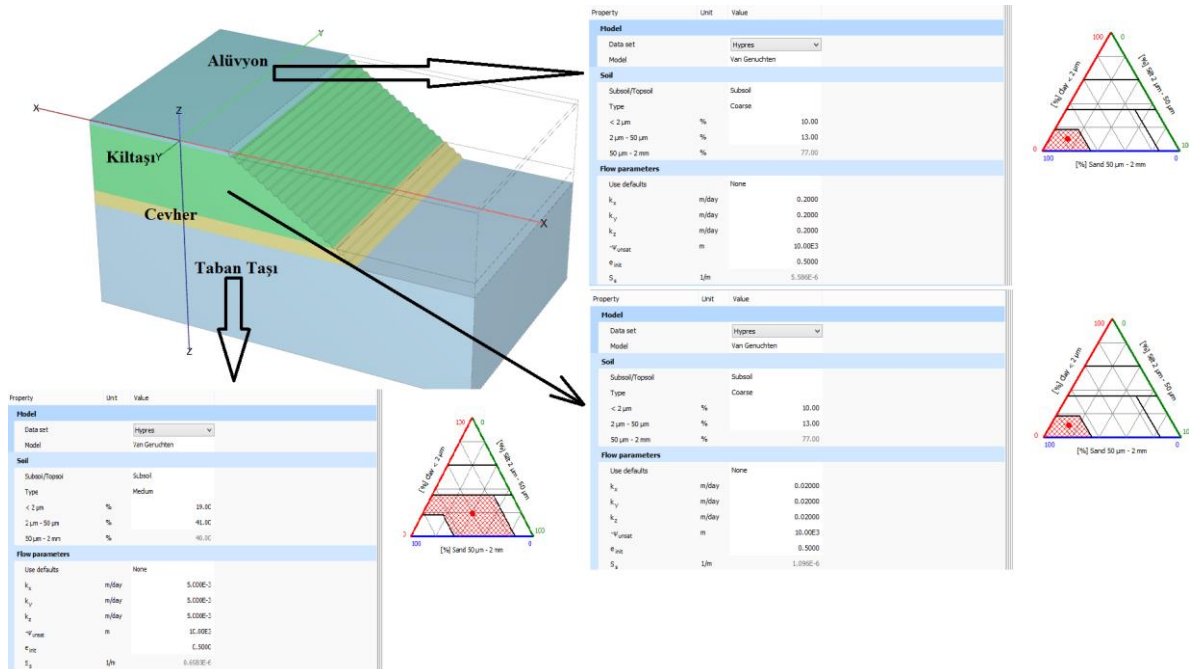
Duraysızlığın kaynağının tespit edildiği şevlerde, nedenin yeraltı sularına bağlı olduğu bulunmuşsa çözüm olarak susuzlaştırma (drenaj) yöntemlerinden biri uygulanabilir. Bu susuzlaştırma yöntemleri arasında yüzey drenajı, toplayıcı drenaj, yatay drenaj galerileri, düşey drenaj kuyuları ve drenaj galeri yöntemleri vardır. Bu drenaj yöntemlerinin uygulandığı ocaklarda suların izlenmesi ve gerekli ölçümlere devam edilmesi ve ayrıca sahanın gözlemlenmeye devam etmesi de emniyet şartları açısından önemlidir. Bu çalışmada, yeraltı su seviyesinde uzun süreç içerisinde oluşan değişimlerin şev duraylılığı üzerine etkileri sayısal modelleme yöntemi ile gerçekleştirilen zamana bağlı akış analizleri ile incelenmiştir. Modeli oluşturabilmek için Bigadiç'te bulunan bir açık işletmenin işletme boyut parametreleri kullanılarak yeraltı su seviyesinin farklı seviyelerde olması durumunda şevlerde oluşan deformasyonlar, gerilmeler ve yeraltı suyu akışları ile güvenlik faktörleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Modelin boyutları 650×700×500 m olarak oluşturulmuştur. Modelde, Mohr-Coulomb yenilme kriteri kullanılmıştır.

Açık işletmenin ocak plan görünümü, 3B görünümü, genel şev geometrisi ve basamak geometrisi Şekil 5'de verilmektedir. Şekil 5'ten de görüleceği üzere genel şev açısı 15.5° ve basamak şev açısı ise 57.4° 'dir.



Şekil 5. Araştırmaya konu olan açık işletmenin geometrik bilgileri

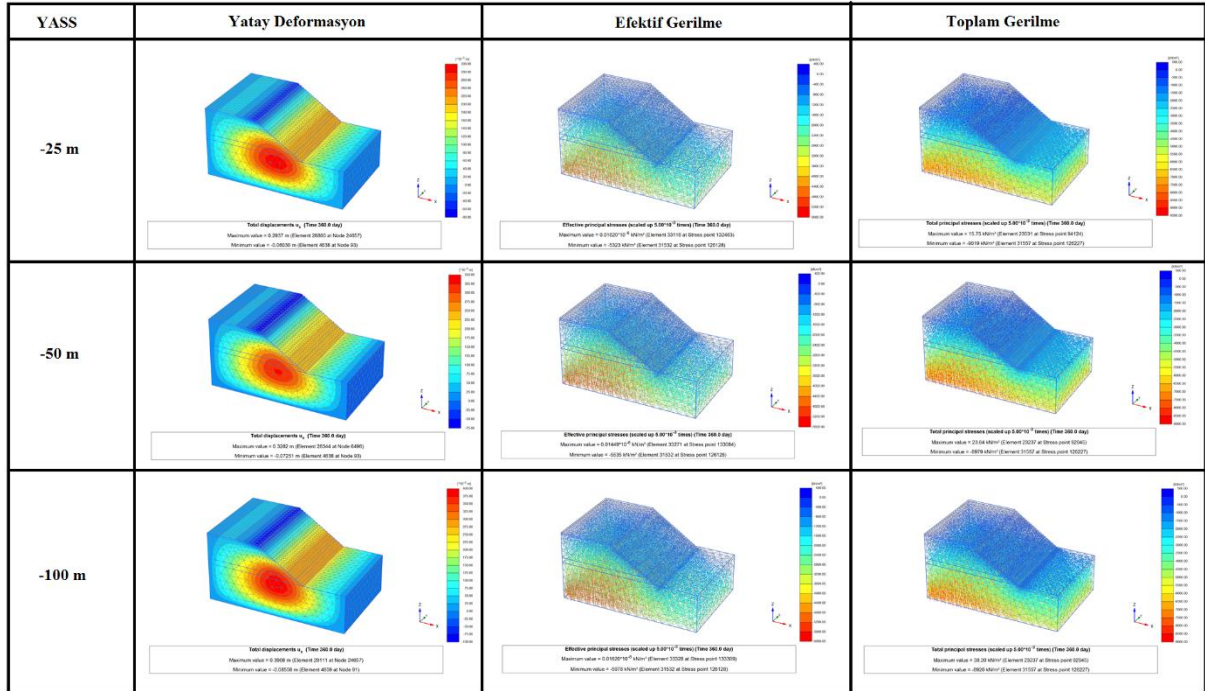
Bu kapsamda gerçekleştirilen sayısal modelleme ana modeli ve birimlere ait bazı bilgiler Şekil 6'da verilmektedir.



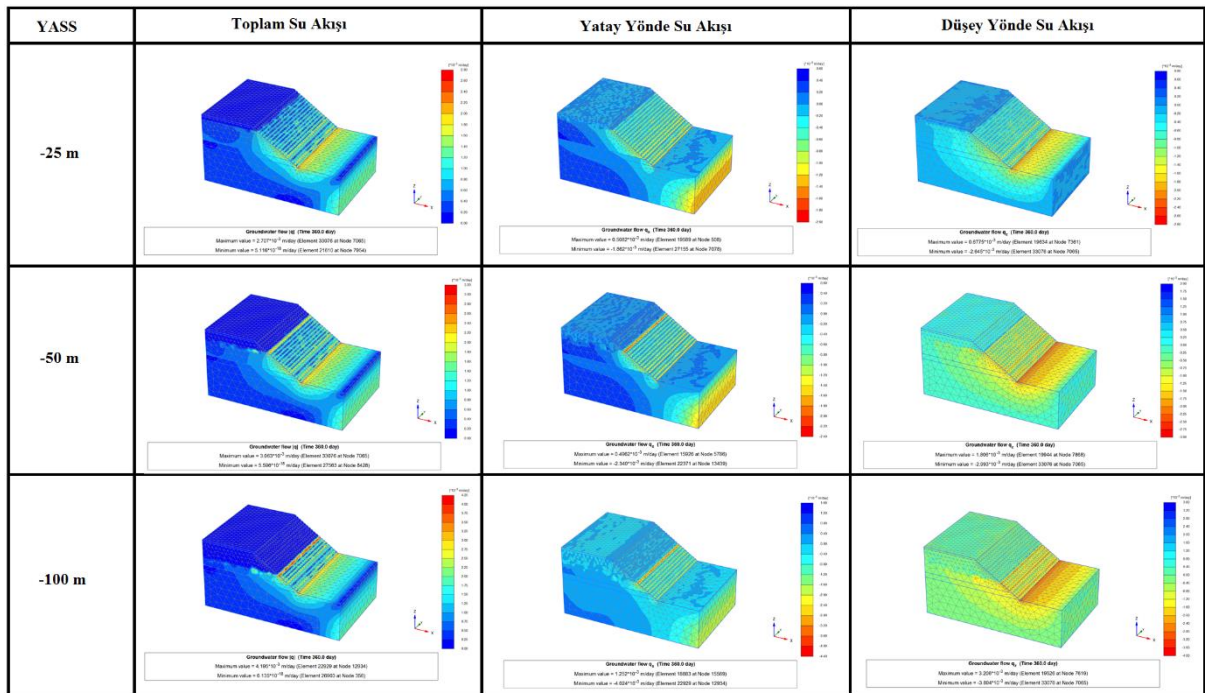
Şekil 6. Sayısal analizde kullanılan geometri ve kaya kütlesi özellikleri

Sayısal modellemede zamana bağlı akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde süre olarak 360 gün kullanılmıştır. Bu aşamada, farklı senaryolar oluşturmak için yeraltı su seviyesinin -25, -50 ve -100 m'de olduğu düşünülmüştür. Her bir su seviyesinde 360 günlük analizler gerçekleştirilmiş olup, bu analizlerde akış modeli olarak Van Genuchten Modeli kullanılmıştır. Aşağıda Şekil 7'de bu analizler sonucu elde edilen yatay deformasyon, efektif gerilme ve

toplam gerilmeler özetlenmektedir. Şekil 8’de ise 360 günlük analiz sonucunda 3 boyutlu toplam su akışı, yatay ve düşey su akışları görülmektedir.



Şekil 7. Farklı yeraltı su seviyelerinde yatay deformasyon, efektif ve toplam gerilmeler



Şekil 8. Zamana bağlı akış analizi yeraltı suyu akış miktarları

3. Sonuçlar ve Tartışma

Yeraltı su seviyesinin -25 m’de olduğu durum için yatay deformasyon miktarı 29 cm iken, bu modelde oluşan efektif gerilme miktarı 5.3 MPa ve toplam gerilme miktarı 9.02 MPa olarak

tahmin edilmektedir. Bu modeldeki su akışlarına bakıldığında sırasıyla toplam, yatay ve düşey su seviyesi değişimleri 0.027 m/gün (şev topuğunda), 0.017 m/gün ve 0.026 m/gün olarak gerçekleşmiştir. Bu modelin hesaplanan güvenlik faktörü 1.842'dir.

Yeraltı su seviyesinin -50'de m olduğu durum için yatay deformasyon 32 cm iken, efektif ve toplam gerilmeler sırasıyla 5.53 MPA ve 8.98 MPa olarak belirlenmiştir. Yeraltı su seviyesinin -50 m'de olduğu durum için sırasıyla toplam, yatay ve düşey su seviyesi değişimleri 0.03 m/gün (şev topuğunda ve 50. m'de), 0.02 m/gün ve 0.029 m/gün (şev topuğunda) olarak gerçekleşmiş ve bu modelde hesaplanan güvenlik faktörü 1.844 olmuştur.

(-100) m'de yeraltı su seviyesi için yapılan zamana bağlı akış analizinde yatay deformasyon miktarı 39 cm iken, efektif gerilme 5.97 MPa ve toplam gerilme 8.92 MPa olarak tahmin edilmiştir. Sırasıyla toplam, yatay ve düşey su seviyesi değişimleri 0.042 m/gün (şev topuğunda 100 m'de), 4.02 m/gün (100 m'de) ve 3.6 m/gün olarak belirlenmiştir. Bu modelde hesaplanan güvenlik faktörü 1.852 olmuştur.

Bütün bu sonuçlar incelendiğinde, açık işletmenin içinde bulunduğu jeolojik birimlerin geçirimsizliklerinin önemli etkisi olduğu görülmüştür. Yeraltı su seviyesi azaldıkça yatay deformasyonların ve efektif gerilmelerin arttığı ancak toplam gerilmelerin ise düştüğü görülmektedir. Bunlara ek olarak, yeraltı suyunun akışları incelendiğinde, genel şev topuğunda ve yeraltı suyu seviyesinde en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Yeraltı su seviyesindeki düşüş ile güvenlik faktöründe artış olmaktadır. Güvenlik faktöründeki bu artış, birimlerin geçirimsizlikleri ile ilgilidir. Daha fazla geçirimsizliğe sahip jeolojik birimlerde su seviyesindeki değişiklik güvenlik faktörünü daha çok etkileyecektir.

KAYNAKLAR

Aksoy C.O., Uyar G.G., Ozcelik Y., "Comparison of Hoek-Brown and Mohr-Coulomb failure criterion for deep open coal mine slope stability", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 60, No. 5 (2016) 809- 828.

Atkinson, L.C., 2000. *Slope Stability in Surface Mining. The role and Mitigation of Groundwater in Slope Stability*, Colorado, USA.

Atkinson, T., 1977. *Surface Mining. De ingénieur*, jrg 89, nr 28/29.

Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications. A Complete Manual For Engineers and Geologist in Mining, Civil and Petroleum Engineering*, John Wiley & Sons.

Kızıl, M. ve Köse, H., 1995. *Açık İşletmelerde Şev Stabilitesi*. DEU Mühendislik Fakültesi Yayını, İzmir.

Paşaahmetoğlu, A.G. ve Karpuz, C., 1991. *Kaya Şev Stabilitesi*. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

Singh, R. H. Ve Atkins, A.S., 1984. Application of analytical solutions to simulate some mine inflow problems in underground coal mining. *International Journal of Mine Water*. 3:4:1-27.

Singh, R. N. ve Denby, B., 1989. *Geotechnical Engineering Course. Part I, II, III, and IV*, Held at The University of Nottingham, England.

Singh, R.N. ve Ghose, A.K., 2006. *Engineered Rock Structures in Mining and Civil Construction. Stability Analysis of Surface Mining Slope*. Taylor & Francis, England.