

**AYRI ELEMANLAR MODELLEME YÖNTEMİNİN YERALTI
MADENCİLİĞİNE UYGULANMASI**

Application of Distinct Element Modelling to Underground Mining

Sina YAZICIⁿ

Anahtar Sözcükler: Ayrı Elemanlar İle Sayısal Modelleme, Kablo Tahkimat

ÖZET

Bu çalışmada süreksizlik içeren kaya kütlelerinin sayısal modellenmesinde kullanılan ayrı elemanlar yöntemi tanıtılmıştır. Bir yeraltı bakır madeninde kablo tahkimatla önceden destekli olan ayak kazısı sırasında gerçekleştirilen deformasyon ve gerilme değişimi ölçmeleri ile ayrı elemanlar modelleme sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçta modelin arazi ölçümlerine yakın deformasyon davranışı gösterdiği, fakat model iki boyutlu olduğundan, tam olarak üç boyutlu gerilme değişimi benzetiminin yapılamadığı anlaşılmıştır.

ABSTRACT

This paper introduces the distinct element numerical modelling technique used mostly for the simulation of the jointed rockmass. The deformation and stress change measurements during cable supported hangingwall excavation of an underground copper mine were compared with the results of the distinct element model. As a result, the model showed comparable behavior with the field measurements in respect of magnitude of the displacement. However, the stress change in the model was higher than the field measurements: This discrepancy occurred because the three dimensional stress change in the field was inevitably modeled in two dimensions.

⁽ⁿ⁾ Doç.Dr.İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

1. GİRİŞ

Günümüzde süreksizlik içeren kaya kütlelerinin sayısal modellemesinde ayn eleman esaslı yazılımlar endüstride en çok kullanılan modelleme araçları haline gelmiştir. Süreksizliklerle ayrılmış şevlerin ardışık yenilmelerinin modellenmesi amacıyla ilk defa 1971'de geliştirilen ayn elemanlar yönteminin önemli bir avantajı çelik, beton tahkimat, kaya civatası veya kablo civata gibi elemanları da sayısal modelleme işleminde doğrudan kullanabilmesidir. Böylece, bilhassa madencilik yapılarının, doğal bir malzeme olan kayanın yanında, tahkimat gibi yapay malzemeleri de içermeleri sayısal modellemenin doğruluğunu azaltmamaktadır.

Sayısal modelleme, madencilikte karşılaşılan yeralü ve yerüstü yapılarının davranışlarının tahmininde en ucuz yöntemdir. Hatta, bazen arazide hiçbir zaman deney yapılamayacağından problemlerin çözümünde tek çare olabilir. Arazi kontroiunda modellemenin ilk adımında, modelin arazinin hakiki davranışına uyarlanması, daha sonra modeli ihtiyaçlar gereğince değiştirerek tahminlerde bulunulması ile modellemenin başarısı artar. Fakat sayısal modellemenin önemli bir dezavantajı arazinin davranışını öğrenmek için arazi hareketlerinin izlenmesinin güçlüğüdür. Arazi ölçümlerini gerçekleştirmek madencilik gibi şartların hızlı değiştiği ortamlarda işi aksatmakta ve pahalı olmaktadır.

1990'ların başlarında Ontario'nun kuzey batısındaki bir yeraltı bakır madeninde açılan geniş ayaklarda oluşan duraysızlık problemleri ve önceden yerleştirilmiş kablo tahkimatın tayanın kontroiunda etkili olamaması, ayn elemanlar modelleme tekniğinin denenmesi için iyi

bir araç olmuştur. Bir seneden fazla süren arazi ölçmeleri ve paralelinde gerçekleştirilen modelleme hem uygulanan üretim yöntemi, hem de ayrı -elemanlar modellemesi hakkında birçok gerçeğin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Böylece, bu çalışmada modelden bulunan ve yeraltında ölçülen gerilme değişimleri, deformasyonları ve gözlemler karşılaştırılmış; hem kablo tahkimat uygulaması, hem de üretim yönteminin bir kritiğinin yapılması şansı doğmuştur.

2. AYRI ELEMANLAR İLE SAYISAL MODELLEME

1971'de Imperial College'de bloklu ortamlardaki yer değiştirme ve dönmelerin analizi için yazılmış olan ilk ayn elemanlar programları daha sonra UDEC (Universal Distinct Element Code) ticari ismi ile genel kullanıma sunulmuştur (Cundall 1971). Daha sonra UDEC süreksizlikler içeren ortamlarda aynı anda mekanik, ısı ve akış problemlerini incelemek üzere yeniden düzenlenmiştir. Aslında program ayrıntılı olarak kaya mekaniği problemlerine dönük olarak yazılmış fakat birçok özelliği ile genel jeoteknik problemlerinin çözümü için kullanılmıştır.

Ayn elemanlar yönteminde, sonlu elemanlar veya sınır elemanlarda olduğu gibi ortam sürekli değildir. Model birbirlerinden, aralanandan geçen süreksizlik düzlemleri ile ayrılmış bloklardan oluşur. Her blok rijit olabileceği gibi kendi içinde sonlu fark üçgenlerine de ayrılabilir, böylece elastik şekil değiştirilebilir. Bu nedenle, tüm model birkaç blok kabul edilerek ayrı elemanlarla da, klasik gerilme ve birim deformasyon problemleri çözülebilir. UDEC iki boyutta ve düzlemsel birim deformasyon (plane strain) koşullarında çalışır.

UDEC'de çözüm küçük bir zaman parçasında yapılır. Her bloğun yer değiştirmesi sadece o zaman parçasında komşu bloğu etkiler. Örneğin modelin bir köşesinden etkiyen kuvvetin tüm ortama yayılması için, her biri küçük bir zaman parçasında modeldeki yer değiştirmeleri yeniden hesaplayan birçok iterasyon gerekir. Modelci problemin çözüm zamanını deneyimleri ile saptar. Örneğin bir tavan bloğunun kaymaya başlaması modelci için yeter şart ise, modellemeyi durdurabilir (Yazıcı ve Nasuf, 1993).

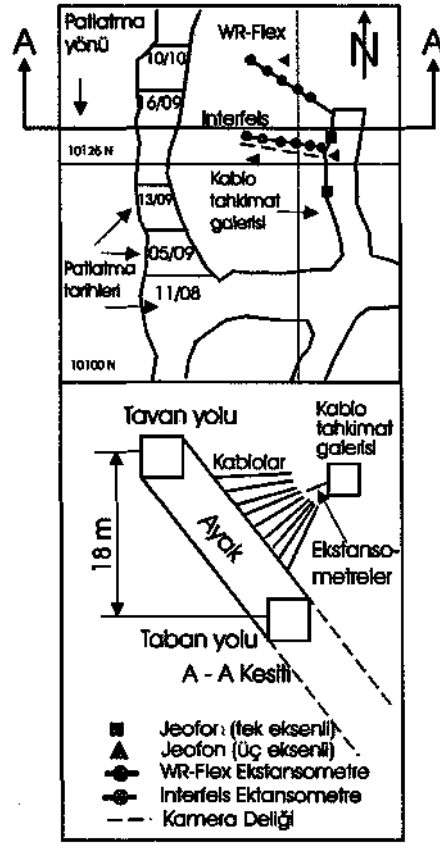
Ayrı elemanların diğer bir avantajı da karışık yükleme şartlarının modelde temsil edilebilmeleridir. Model yer çekimi altında deformasyona uğrayabildiği gibi, aynı zamanda modele arazi gerilmeleri de uygulanabilir. Bloklara noktasal veya yayılı kuvvet tatbik edilebildiği gibi blokların zaman içinde yer değiştirmeleri tanımlanabilir; yani bloklara hız değerleri atanabilir. Bloklar iptal edilebilir veya yerleri farklı malzeme özellikli bloklar tarafından doldurulabilir, böylece madencilik kazı aşamalarının (kazı ve dolgu) benzetimi gerçekleştirilir. Kablo tahkimat, kaya civatası ve yapısal elemanlar (çelik bağ, beton kaplama, püskürtme beton) gibi tahkimat elemanları da doğrudan model içerisine katılabilir. Bu çalışmada kullanılan kablo tahkimat sadece tek eksenli çekme ve basınç alabilen elemanlar olarak St. John ve Van Dillen'm (3), 1983'te ortaya koyduğu, tamamıyla çimentolanmış, düz yüzeyli civatalar için geliştirdikleri matematiksel modele göre UDEC'e katılmıştır (...1990). UDEC modelinde, kablo tahkimatın elemanları olan çelik kablo ve etrafındaki çimento, kırılıncaya kadar elastik davranış gösterirler. Kırılmadan sonra kablo veya çimento elemanları kırılma yükünü kaybetmezler. UDEC modelinde çelik kablo veya çimento elemanları kırılma yükünü kaybetmezler. UDEC modelinde çelik

kablo veya çimentonun bükülmeye karşı dirençleri yoktur. Kablo tahkimatın ayrıntılı olarak UDEC modellenmesi literatürde etraflıca incelenmiştir (Yazıcı ve ark., 1991).

3. ARAZİ ÇALIŞMASI

3.1. Maden Yatağı ve Madencilik-Yöntemi

Arazi çalışmaları kuzey batı Ontario'nun Schreiber kasabasının yakınında Bigblue Laki volkanizmasına bağlı masif sfalerit içeren Qinston Lake madeninde yapılmıştır. Cevher yüzünden 300 ile 600 metre derinlikte, 40 ile 60 °C doğuya yatımlıdır. Kalınlık 2'den 20 metreye (ortalama 7 metre) kadar değişmektedir. Tavan taşı gabro ve sık sık (% 60) 20 metreye kadar çörtlü tuf araya girmektedir; taban taşı altère olmuş riyolittir. Cevherde üç hakim çatlak doğrultusu ölçülmüştür (Milne ve Jacob, 1990). 1) Kuzey/Güney yönünde 43° doğu dalımlı, damara paralel, 2) Doğu/Batı yönünde yeryüzüne dik ve 3) Kuzey/Güney yönünde 45° Batı dalımlı, damara dik. Çört ve gabro da daha masif olmalarının yanında cevhere benzer süreksizlik düzlemleri taşımaktadırlar. Barton Q sınıflamasına göre, su ve gerilme etkisi gözönüne alınmadan Q değeri çört için 8 (orta), cevherde ve gabro için de 20-66'dır (iyi, çok iyi). Gabro ve çört benzer elastik özelliklere sahip olup, Young modülü 52.6 GPa ve Poisson oranı 0.15'dir. Gabronun tek eksenli basınç dayanımı yapraklanmaya dik 334 MPa ve paralel olarak 201 MPa dır ve benzer şekilde çört için bu değerler, sırasıyla 211 ve 173 Mpa'dır. Cevherde ise Young modülü 66 GPa ve Poisson oranı 0.25, basınç dayanımı ise 89-155 Mpa'dır.



Şekil 1- Ayağın plan, kesit görünümü ve yeraltındaki ölçüm noktaları (Maloney ve Kaiser, 1991).

Kazı en alt seviyeden başlayıp yeryüzüne doğru yükselmekte, her seviyede 18 metre yükseklikte büyük odalar açılmaktadır (Şekil 1). Ayakta delme patlatma ile kazı yapılmakta, her patlatmadan sonra cevher taban yolundan çekilmekte, arının 20 metre arkasında tavan yolundan ayak doldurulmaktadır.

Madenin ilk kazımından itibaren arazi kontrolü problemleri başlamış, çört tavan taşı koparak cevhere kanışmış, hatta yer yer tüm tavan göçmüştür. Bu sebeple daha kazı gerçekleşmeden, kazısı yapılacak ayağa paralel bir galeri sürülmüş, bu galeriden ayağa doğru, ayağın % 80'ini kapsayacak şekilde 2 metre aralık ile 5 cm çaplı delikler açılmıştır. Bu deliklere 7 kordonlu, 2 adet, 10 metre boyunca çelik kablo döşenerek, delik çimentolanmıştır. Kablo tahkimat tavanın çökmesini belli oranda

önlediği halde (dolgu için gerekli zamanı sağlamak için), cevhere çört karışmasını tamamiyle durdurmuştur (Maloney ve Kaiser, 1991).

3.2. Arazide Yapılan Ölçümler

Arazi kontrolü problemlerinin çözümlerine yönelik girişimler sonucu Wiston Lake bakır madeninde hem deformasyon, hem de gerilme değişimlerinin ölçülmesine, karar verilmiştir (Maloney ve Kaiser, 1991). Ayak deformasyonu, kablo tahkimat ile destekli tavanda, kablo galerisinden ayağa doğru tavana dik olarak gelecek şekilde ve orta kabloya paralel yerleştirilen ekstansometreler (WR-flex ve Interfels tipi) ile beş ay boyunca izlenmiştir (Şekil 1). Ayrıca, tabakaların durumu ekstansometrelere paralel bir delik içerisine sokulan delik kamerası ile

gözlenmiştir. Gerilme değişimleri, deformasyon ölçümü yapılan kablo galerisinin karşı tarafından ve tavan yolundan (Şekil 1'de gösterilmemiştir.) gerilme ölçerler (CSIRO) # 1, 12 hücreli ile yapılmış, gerilme değişimlerinin ölçüldüğü delikler iki adet tavana ve iki adet de kablo galerisi ile ayak arkasına doğru açılmıştır. Deformasyon sonuçları Şekil 2 ve gerilme değişim ölçümleri ise şematik olarak Şekil 3'te verilmiştir. En fazla deformasyon 4 cm ve gerilme değişimi ise 75 Mpa olmak üzere genelde 30 ile 40 Mpa arasında ölçülmüştür (Maloney ve Kaiser, 1991). 75 Mpa'lık değişim, aynanın CSIRA hücreleri önündeki pozitiften negatife düşmesi sırasında oluşmuştur.

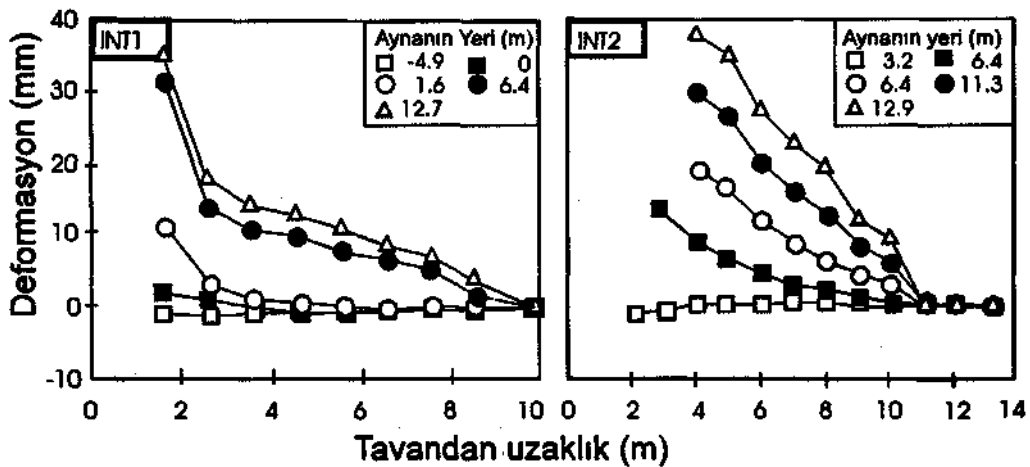
4. AYRI ELEMANLAR MODELİ

4.1. Model Geometrisi

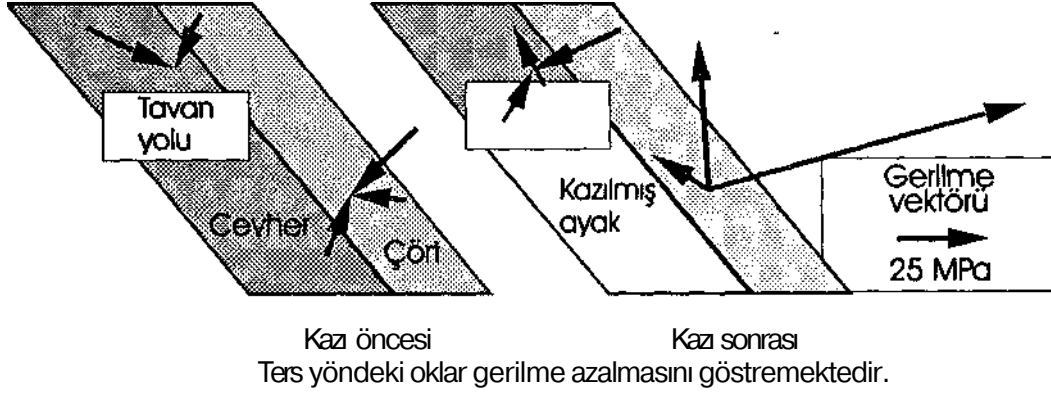
Aynı elemanlar modeli Şekil 4'teki kesite benzer şekilde Güney-Kuzey doğrultusuna dik olarak tavan, taban, cevher ve çört bloklarından meydana gelmiştir. Gabro tavan ve riyolit taban, model davranışını fazla etkilemeyeceği düşünüldüğü için masif olarak kabul edilmiştir. Çört 1x1.5 ve cevher 5x5 metrelik bloklara ayrılmıştır. Aynı elemanlar yönteminde kullanılan

bütün bloklardaki malzemelerin elastik davranış gösterdiği kabul edilmiş ve model her biri toplam olarak 663 sonlu fark üçgenine ayrılmış olan 280 adet bloktan meydana gelmiştir.

Cevherin ocağın tabanından itibaren kazısı doğal olarak üstteki ayakların gerilme dağılımını etkilemektedir. Fakat tüm madencilik faaliyetlerini modellemek mümkün olmadığından model sadece üst üste iki panonun birer ayağını içermektedir. Modelin sınırları, kenar etkisinden kaçınmak için damar kalınlığının 4-7 kat fazlası olarak alınmıştır. Model köşelerden mihlanmış, üst kenar yerçekiminin etkisini bozmamak için serbest bırakılmıştır. Kanada Kalkanı gerilme koşullarına göre düşey birincil gerilme 14 ve yatay birincil gerilme 21 Mpa kabul edilmiş, ayrıca bloklar yerçekimi altında harekete maruz bıkılmışlardır. Cevherin alt sınır serbest hale getirilmiş (vizkoz sınırlı-viscous boundary) böylece alttaki ayaklardan dolayı gelen gevşeme etkisi üstteki ayaklara iletilmiştir. Kablolar 11 adet her delikte iki tane, yelpaze şeklinde, 10 metre tavadan itibaren döşenmiş ve 22 elemana ayrılmıştır. Ayrıca tavan yolu tavanına gerçek madende olduğu gibi 5 adet kablo yerleştirilmiştir.



Şekil 2- Winston Lake Madeni'nde, ektansometre ile ölçülen deformasyonlar (Yazıcı vd., 1992)

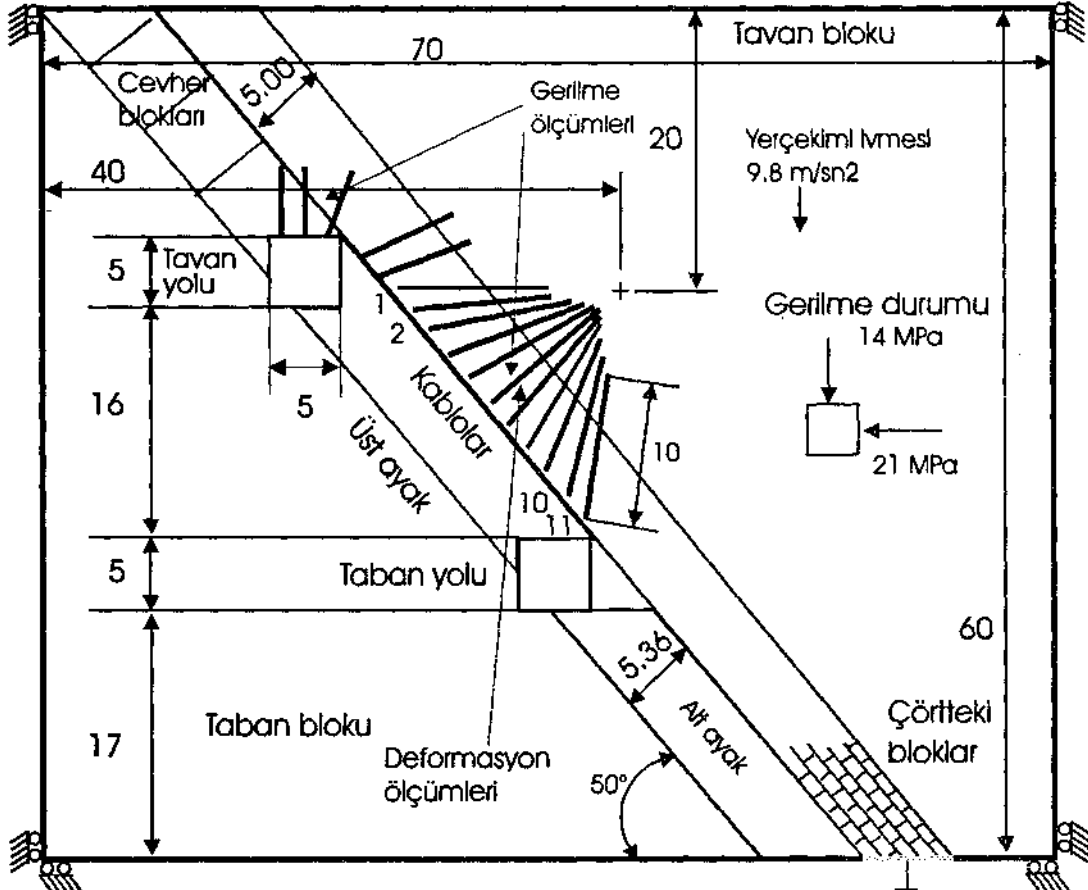


Şekil 3- Winston Lake Madeni 'nde, ölçmeler sonucu bulunan gerilme değişiminin (asal gerilmeler) şematik olarak gösterilişi (Maloney ve Kaiser, 1991).

4.2. Kayaç ve Malzeme Özellikleri

Modelde kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Kayaç özellikleri Noranda Teknoloji Merkezi ölçümlerinden aktarılmıştır (Milne ve Jacob, 1990). Eklem kesme (JKS) ve

normal (JKN) modülleri kayanın 10 katı alınmış, böylece tüm elastik deformasyonun kaya içerisinde olduğu kabul edilmiştir. Dolgu malzemesi Blight ve Clarke'ın (1983) değindikleri; dolgudan daha zayıf kabul edilerek elastik modülü 53 MPa olarak alınmıştır. Kablo



Şekil 4-Winston Lake Madeni'nin ayrı elemanlar modeli geometrisi (boyutlar metre cinsindedir.)

ve çimento özellikleri; Reichert'ın 1991'deki deneysel çalışmaları ile Yazıcı ve diğerlerinin (1991) kablo özellikleri üzerine olan raporundan Yazıcı ve Kaiser (1992) esas alınarak hesaplanmıştır. Model 3 boyuttan 2 boyuta indirildiğinden ve kablolar her iki metrede bir yerleştirildiğinden, UDEC modellemesinde ön görülen f katsayısı (burada $f=2$) ile ölçütlendirilmiştir (, 1990). Bu sebeple bazı kablo özellikleri Çizelge 1'de ikiye bölünerek gösterilmiş ve kullanılan değere etkin değer adı verilmiştir.

yaptırılmıştır. Arazide olduğu gibi, bu evrede kablo tahkimat yerleştirilmiş üst ayak kazılmış ve alt ayağa dolgu yapılmıştır. Sonuçlar modele 100000 iterasyon yaptırdıktan sonra alınmıştır.

5. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ İLE MODEL DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Arazide sadece belli yerlerde deformasyon ve gerilme değişimleri; ölçüldüğünden, bu çalışmada bu değerler ile modelin benzer bölümlerinden elde edilen deformasyon ve gerilmelerin

Çizelge 1. UDEC Modelinde Kayaç ve Kayaç Kütle Özellikleri.

Özellikler	Taban, Tavan: Gabro	Cevher: Masif Sülfür	Tavan: Çört	Dolgu Malzemesi
Young modülü (Mpa)	52600	66000	52600	53
Poisson oranı	0.13	0.25	0.15	0.10
Bulk modülü-K (Mpa)	23700	43900	25000	22
Kesme modülü- G (Mpa)	23300	26400	22900	24
Eklem kesme modülü-JKS (Mpa/m)	450000	450000	450000	25000
Eklem normal modülü-JKN (Mpa/m)	250000	250000	250000	25000
Eklem sürtünme katsayısı-JFric	0.47	0.47	0.47	0.47
Eklem çekme dayanımı- Jtensile	0.0	0.0	0.0	0.0
Eklem kohezyonu- JCh (Mpa)	0.0	0.0	0.0	0.0
Yoğunluk- D (kg/m ³ /10 ⁶)	0.0025	0.0030	0.0025	0.0025
Tek eksenli basınç dayanımı (Mpa)	200-300	90-150	170-210	-
Çekme dayanımı (MPa)	19.4	8.0	17.7	-

4.3. Modelleme Evreleri

Madenin kazısına başlanması sırasında olduğu gibi önce tahkimatsız ayak modellenmiştir. Bunun sonucu tavanın çört gabro sınırından ayrılıp ayak içerisine arazide birçok defa gözlendiği gibi göçtüğü görülmüştür (Yazıcı ve Nasuf, 1993). Bu davranışla malzeme özelliklerinin doğru olarak verilmiş olduğu kanısına varılmıştır. Daha sonraki aşamalı kazı modellemesi için önce alt ayak kazılmıştır. Gerilmelerin dağılması amacı ile modeli 5000 iterasyon

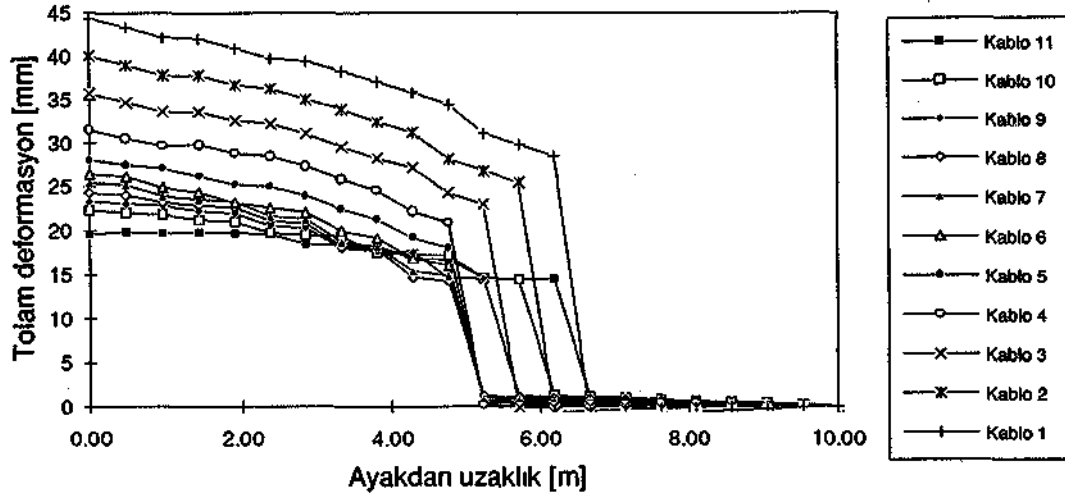
karşılaştırılması yapılacaktır. Modeldeki kablo tahkimat elemanlarının toplam deformasyonu Şekil 5'te ve kablonun eksenli üzerindeki yüklerin dağılımı Şekil 6'da verilmiştir. Bu şekilden sadece 10. ve 11. kablonun gabro-çört sınırında 0.25 MN'luk kopma dayanımına kadar yüklendiği görülmektedir. Buradan, kablo tahkimatta büyük bir kopma ve esneme olmadığı, kabloların ve çört bloklarının eşit yer değiştirmeye uğradığı ortaya çıkmaktadır. Böylece Şekil 2'deki ekstansometre okumaları ve Şekil 6'daki deformasyonlar karşılaştırılabilir. Arazide

maksimum deformasyon 40 mm civarındadır ve modelde ise orta kabloda (6. ve 7. kablo) 30 mm olduğundan büyüklük açısından deformasyonlar eşit sayılabilir. Şekil 6'da 4 ile 6. metre arasındaki ani deformasyon artışı

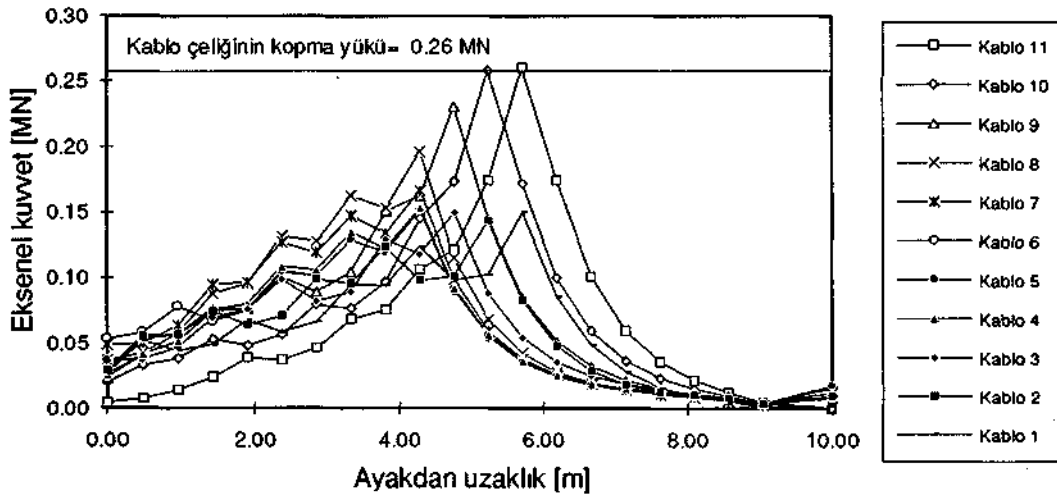
arazideki ölçümlerde görülmemiştir. Bu ani artış modelde çört ve gabronun kabloları asılı olarak kalmaları ile açıklanabilir. Aslında gabro modelde masif olarak kabul edildiğinden bu farkın ortaya çıktığı açıktır.

Çizelge 2. UDEC Modelinde Kablo Tahkimat Özellikleri

Kablo ve çimento özellikleri	Kablo galerisinden yerleştirilen kablolar	Tavan yoluna yerleştirilen kablolar
Young modülü E (Mpa)	168000	168000
Kesme modülü G (Mpa)	64600	64600
Etkin G (Mpa)	32300	32300
Bulk modülü K (Mpa)	140000	140000
Etkin K (MPa)	70000	70000
Poisson oram ν	0.3	0.3
Kablo kesit alanı (m ²)	0.000396	0.000198
Kablo çeliğinin çekme dirence (MN)	0.52	0.26
Etkin çekme dirence (MN)	0.26	0.13
Bir delikteki kablo sayısı	2	1
Kablo kordon sayısı	7	7
Kablonun çapı (m)	0.008	0.008
Delik çapı (m)		0.026
Kablo çimentosunun Young modülü (Gpa)		10.5
Kablo çimentosunun Poisson oram		0.18
Çimentonun basınç dayanımı (Mpa)		61.0
Çimentonun çekme dayanımı (Mpa)		4.0
Çimentonun su/katı oram		0.35-0.40
Kablolo çeliği ile çimentonun sürtünme açısı		28°
Çimento ile kablo arasındaki kesme direnci Jcoh (MN/m)		0.70
Etkin Jcoh (MN/m)		0.35
Çimentonun kesme direnci JKS (MN/m/m)		100
Etkin JKS (MN/m/m)		50



Şekil 5- Kablo tahkimat elemanlarının toplam deformasyonları.



Şekil 6. Kablo tahkimat elemanlarının aksel yükleri.

Arazide ölçülen gerilme değişimleri; (Şekil 3) kazı öncesinde hem tavan yolu üstünde (Şekil 4), hem de çörtte üç yönde artış olduğunu, fakat ayak boşluğu açıldıktan sonra gerilmelerin bilhassa çörtte çok fazla düştüğünü göstermektedir. Arazide gerilme değişimi ölçülen koordinatlar civarı esas alınarak, modelde 5000 ve 100000. iterasyonlardaki gerilmelerin farkı asal gerilmeler olarak Çizelge 3'te

verilmiştir. Burada model 2 boyutlu olduğunda kesin bir karşılaşurma yapmak olanaksızdır. Ancak arazideki 75 MPa'lık bir gerilme azalması göstermektedir. Değerlerin uyumsuzluğunun, modelin 3 boyuttan 2 boyuta indirilmesi sonucu ortaya çıktığı düşünülebilir. Bu da birçok yeraltı işletmesinde aslında 3. boyutta simetrik olmayan yapıların iki boyuta indirgenerek

modellenmesi nedeniyle oluşabilecek hatalardan birisidir. Modelin tavan yolu üzerindeki (Çizelge 3 ve Şekil 4) gerilme artışı ise arazideki gerilme artışı (Şekil 3) ile uyumluluk içerisinde.

Şekil 6'da' ayağın aşağısındaki kabloların (10 ve 11. kablo) en fazla yüklendikleri ortaya çıkmaktadır. Sadece modelleme sonucu anlaşılan ve madencilik açısından önemli olan bu sonuca göre alttaki deliklere daha fazla kablo yerleştirilmesi ve üstteki deliklere de sadece bir adet kablo atılmasının gereği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmadaki arazi ölçümleri ile modelin karşılaştırmasında, modelin arazi davranışına, deformasyonlarına ve gerilme değişimlerine büyük bir oranda uyduğu ortaya çıkmaktadır. Ancak modelin üç boyuttan iki boyuta indirilmesi, bilgisayar zamanı ve hafızası kazanmak için tam olarak madencilik işlerinin modellenememesi, tavan ve taban taşının masif kabul edilmesi gibi faktörler model ile arazi ölçümleri arasındaki farkları doğurmuştur. Arazide hiçbir zaman sağlıklı olarak belirlenemeyecek olan kabloların eksenel yük dağılımı ise en azından niteliksel olarak model sonuçlarından ortaya çıkarılmıştır. Bu gibi

Çizelge 3. Modeldeki Gerilme Değişimleri (5000 ve 100000. İterasyondaki Gerilmelerin Farkı) (Mpa)

Yer	Yatay Normal Gerilme	Kama Gerilmesi	Düşey Normal Gerilme	Yatay Normal Gerilme	Kayma Gerilmesi	Düşey Normal Gerilme	Yatay Normal Gerilme Farkı	Kayma Gerilmesi Farkı	Düşey Normal Gerilme Farkı
Çört içerisi, ayakta 1 metre	-19.61	-3.72	-15.73	-0.04	0.06	-0.16	19.57	3.78	15.57
Çört içerisi, ayakta 3 metre	-19.27	-3.07	-16.21	-0.09	0.19	-0.27	19.18	3.26	15.94
Çört içerisi, ayakta 3 metre	-19.32	-2.48	-15.59	-0.13	0.26	-0.37	19.19	2.74	15.22
Tavan yolu üstü	-17.75	-1.26	-13.71	-35.09	-19.72	-19.9	-17.34	-18.46	-6.19

NOT: Basınç gerilmesi eksi olarak alınmıştır.

6. SONUÇ

Ayrı elemanlarla modelleme, bundan önce jeoteknik yapılarda ve madencilikte arazi kontrolü için kullanılan sonlu ve sınırlı eleman modellemesine göre daha karmaşıktır ve fazla zaman gerektirmektedir. Buna rağmen ayrı elemanlar modellemesinden elde edilen bilgiler diğerlerine kıyasla daha gerçeğe yakın ve ayrıntılıdır. Aşamalı kazı, dolgu, tahkimatın modellemesi de madencilikte kullanılabilirliği açısından ayrı elemanların şansını arttırmaktadır.

arazi ve tahkimat davranışlarının araştırılması için sayısal modelleme şarttır.

Aslında günümüzde açılan yeraltı açıklıklarının maliyetlerinin çok az bir kısmını tutan sayısal modellerin her proje için yapılması ilerki madencilik faaliyetlerinin başarısını arttıracaktır.

KAYNAKLAR

CUNDALL, P.A., 1971; "Measurement and Analysis of Accelerations in Rock Slopes". Ph.D.Thesis, Imperial College, London.

YAZICI, S., ve NASUF, E., 1993 ;"Arazi Kontrolunda Sayısal Modelleleme", Madencilik, Cilt 32, Sayı 3-4, s. 5-14.

ST.JOHN, C.M., ve VAN DİLLEN, D. E., 1983 ;"Rockbolts: A New Numerical Representation and Its Application in Tunnel Design", Rock Mechanics DD Theory-Experiment-Practice, Proceedings of the 24th U.S.Symposium on Rock Mechanics, Texas A&M University, June 1983, pp. 13-26.

....., 1990; UDEC- "Universal Distinct Element CO~J", Version ICG 1.6 Manual, Itasca Consulting Group, Inc., May 1990.

YAZICI, S., WILES T., ve KAISER P.K., 1991; "Preliminary Studies on UDEC Cable Bolt Model", Internal Report, Geomechanics Research Centre, Laurentian University, Sudbury Ontario, 135 p.

MILNE. D., ve JACOB, D., 1990; "Winston Lake Mine Support Sutdy Data-Phase I-Geotechnical Mapping And Borehole Camera Logging", Internal Report Noranda Technology Centre, Pointe Claire, Canada.

MALONEY, S.M., ve KAISER, P.K., 1991; "Winston Lake Monitoring Project (Data Report) Support of a Hanging Wall by Cable Bolts", Geomechanics Research Centre, MRD Report. Laurentian University, Sudbury Ontario, Canada.

YAZICI, S., KAISER, P.K., ve MALONEY, S.M., 1992; "UDEC Modelling of Winston Lake Mine", Internal Report, Geomechanics Research Centre, Laurentian University, Sudbury Ontario Canada, 33 p.

MALONEY, S.M., ve KAISER, P.M., 1991; "Stress Change and Deformation Monitoring for Mine Design-A Case Saty", Proceedings of the 3 rd International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Oslo, 10 pp.

BLIGHT, G.E., ve CLARKE, I.E., 1983; "Design and Properties of Stiff Fill for Lateral Support of Pillars", Proceedings of the International Symposium on Mining with Backfill, Lulea, September 7-9, pp. 303-307.

REICHERT, R.D., 1991; "A Laboratory ve Field Investigation of the Major Factors Influencing Bond Capacity of Grouted Cable Bolts", Master of Science Thesis., Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 225 p.

YAZICI, S., ve KAISER, P.K., 1992; "Bond Strength of Grouted Bolts and Cables", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanical Abstarcts. 29,3, May, pp. 279-292.