

SAYISAL MODELLEME İLE G.L.İ. DERİN LİNYİT SAHASI İÇİN KUYU KAPLAMA KALINLIĞININ BELİRLENMESİ

**The Determination of the Shaft Lining Thickness of the G.L.I. Deep Coal Zone
by Using Numerical Modelling**

Ercan EMİR *
Güner ÖNCE^(w)

ÖZET

Son yıllarda, yeraltı maden açıklıkları ile ilgili tahkimat tasarımlarında yaygın bir şekilde sayısal modelleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, G.L.İ. derin linyit sahasında yüzeyden 540 metre derinlikte açılması düşünülen kuyunun kaplama kalınlığının sayısal modelleme ile tasarlanmasıdır. Kuyu kaplama kalınlığı modelleme çalışmaları Phases sayısal modelleme programı kullanılarak yürütülmüştür. G.L.İ. derin linyit sahası için, kuyu duraylılığı ve kayaç özellikleri dikkate alındığında, en uygun kuyu kaplama kalınlığının 80 cm olması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Sayısal Modelleme, Kuyu Kaplaması

ABSTRACT

in recent years, in support design concerning underground mine openings, numerical modelling techniques were used widely. The aim of this study is to design the thickness of the shaft which is planned to sink at the GLI deep coal zone to a depth of 540 meters below surface, using numerical modelling. The numerical modelling program Phases was used to carry out shaft lining thickness modelling studies." it is determined that when shaft stability and rock properties are considered, the shaft lining thickness for the GLI deep coal zone should be 80 cm.

Keywords : Numerical Modelling, Shaft Lining

(*)Yrd. Doç. Dr., Osmangazi Üniversitesi, Maden Müh. Böl., Meşelik, 26030 Eskişehir
^Prof. Dr., Osmangazi Üniversitesi, Maden Müh. Böl., Meşelik, 26030 Eskişehir

1. GİRİŞ

T.K.İ. Garp Linyitleri İşletmesi (G.L.İ.) Türkiye linyit üretiminin % 12'sini karşılamaktadır. Bu üretimin % 80'i açık ocaklardan sağlanmaktadır, ancak azalan açık ocak rezervi "derin sahalar" olarak adlandırılan linyit rezervinin üretimini işletme için zorunlu hale getirmektedir.

G.L.İ. derin sahalar linyit rezervinin üretimine yönelik olarak 1991 yılında İ.T.Ü. tarafından bir işletme projesi hazırlanmıştır (Eskikaya vd., 1991). Bu proje, 1993 yılında G.L.İ. tarafından tekrar ele alınmış ve düzenlenmiştir (Esmek vd., 1993). Bu projelere göre, adam-malzeme naklinin kuyudan ve kömür ihracının desandreden yapılması öngörülmüştür.

Maden ocaklarının yeryüzüyle bağlantısını sağlayan kuyular, ocakların en önemli kısımlarıdır. Kuyu açma ve tahkimat masrafları, yeni bir maden hazırlık maliyetinin %25-40'ını oluşturmaktadır. Maden ocağının ömrü boyunca sağlam kalması gereken kuyunun maliyetinin de en alt düzeyde tutulması gerekmektedir. Bu ise, titizlikle yapılmış bir kuyu kaplama tasarımına bağlıdır.

Bu çalışmada, derin sahalarla ilgili projelerde 540 m derinliğinde ve 6,5 m. çapında olması öngörülen derin maden kuyusunun önce analitik yöntemlerle kuyu kaplama kalınlığı belirlenmiş ve sonrasında sayısal modelleme yöntemiyle kuyu kaplama tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2. G.L.İ. DERİN LİNYİT SAHASI KUYU KAPLAMA KALINLIĞININ ANALİTİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Kuyu kaplama kalınlığının analitik yöntemlerle belirlenebilmesi için öncelikle kuyu kaplamasına gelen yanıl basıncın bulunması gerekmektedir. Belirli şartlarda açılan maden kuyularının kaplamaya gelen yanıl basınç değeri, literatürde yer alan çeşitli teori ve hipotezlerle hesaplanabilmektedir.

G.L.İ. derin linyit sahası için projelendirilen kuyunun kaplamasına gelen yanıl basınç Roesner yöntemine (Aghai, 1991) ve Labasse

yaklaşımına (Arioğlu, 1981) göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Kuyu kaplamasına gelen yanıl basınç Roesner yöntemine göre 24,61 kg/cm ve Labasse yaklaşımına göre 18,59 kg/cm² olarak bulunmuştur (Emir, 2000).

G.L.İ. derin linyit sahası kuyu kaplama kalınlığı Lame formülü (Arioğlu, 1981), Arioğlu-Auld yaklaşımı (Arioğlu, 1981) ve Heber bağıntısı kullanılarak ve de elde edilen iki farklı yanıl basınç değeri için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Emir, 2000). Bu hesaplamalarda, G.L.İ. derin sahalar projesinden (Esmek vd., 1993) ve kuyu yeri sondaj jeoteknik etüdünden (Çekilmez, 1988) yararlanılarak, kuyu derinliği 540 m., kuyu iç yarıçapı 3,25 m., sahanın temel birimi olan marnın kohezyonu 5 MPa ve içsel sürtünme açısı 31° olarak alınmıştır. Marnın özellikleri havada kuru numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş deney sonuçlarıdır (Çekilmez, 1988). Ayrıca, kuyu kaplamasında kullanılan betonun 28 günlük tek eksenli basınç dayanımı 300 kg/cm² ve kuyu emniyet katsayısı 2 olarak seçilmiştir. Analitik yöntemlere göre hesaplanmış olan G.L.İ. derin linyit sahası kuyu kaplama kalınlıkları Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Analitik Yöntemlere Göre Hesaplanmış Olan G.L.İ. Derin Linyit Sahası Kuyu Kaplama Kalınlıkları (Emir, 2000)

| | Kuyu Kaplamasına Gelen Yanıl Basınç (kg/cm ²) | |
|--------------|---|---------|
| | Labasse | Roesner |
| | 18.59 | 24.61 |
| Yöntem | Kuyu Kaplama Kalınlığı (cm) | |
| Lame | 49.75 | 71.50 |
| Arioğlu-Auld | 43.79 | 59.20 |
| Heber | 41.74 | 59.13 |

Çizelge 1 incelendiğinde en düşük kuyu kaplama kalınlığının yaklaşık 40 cm ve en yüksek değerinde 70 cm olduğu görülmektedir. Kuyu kaplamasına gelen yanıl basınç Labasse yaklaşımı ile hesaplandığında 40-50 cm arasında değişen kuyu kaplama kalınlıkları elde edilirken Roesner yöntemiyle 60-70 cm arasında değişen değerler elde edilmiştir. Ayrıca, Arioğlu-Auld

yaklaşımı ile Heber bağıntısının birbirine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

3. PHASES SAYISAL MODELLEME PAKET PROGRAMININ TANITILMASI

Phases Version 1.0, diferansiyel (sonlu elemanlar) ve integral (sınır elemanlar) sayısal modelleme yöntemlerinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş melez yöntemle göre modelleme yapan bir paket programdır.

Phases paket programında önce iki boyutlu modelin oluşturulması gerekmektedir. Model programa girildikten sonra, kazı açıklıkları çevresinde üçgen elemanlardan oluşan ağ (mesh) otomatik olarak program tarafından oluşturulur. Daha sonra, oluşturulan modelde arazi gerilmelerinin derinlikle değişmesi veya değişmemesi durumuna göre programa girişi yapılır. Modelleme iki farklı yenilme ölçütüne göre gerçekleştirilebildiğinden, kaya birimlerinin yoğunlukları ve elastik özellikleri ile birlikte Mohr-Coulomb veya Hoek-Brown parametreleri programa girilerek kaya birimleri tanımlanmış olur.

Mohr-Coulomb ölçütüne göre, kesme gerilmeleri nedeniyle malzemelerde kesme kırılmalarının oluşması malzemelerin kohezyon, içsel sürtünme açısı ve kırılma yüzeyine etkiyen normal gerilme değerleriyle ilişkilidir. Mohr-Coulomb yenilme ölçütü aşağıda verilmiştir (Herget, 1988):

$$T = c + \tau \cdot \sigma_n \quad (1)$$

τ = Kesme dayanımı

c = Kohezyon

τ = $\tan \phi$ = İçsel sürtünme katsayısı

ϕ = İçsel sürtünme açısı

σ_n = Normal gerilme

Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre, rastgele süreksizlikler içeren gevrek kayalarda kırılmaya neden olan birincil gerilmeler arasında aşağıda verilen ilişki bulunmaktadır (Hoek, 1995):

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_c \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^m \quad (2)$$

σ_1 = Numuneye uygulanan en büyük asal gerilme

σ_3 = Numuneye uygulanan en küçük asal gerilme

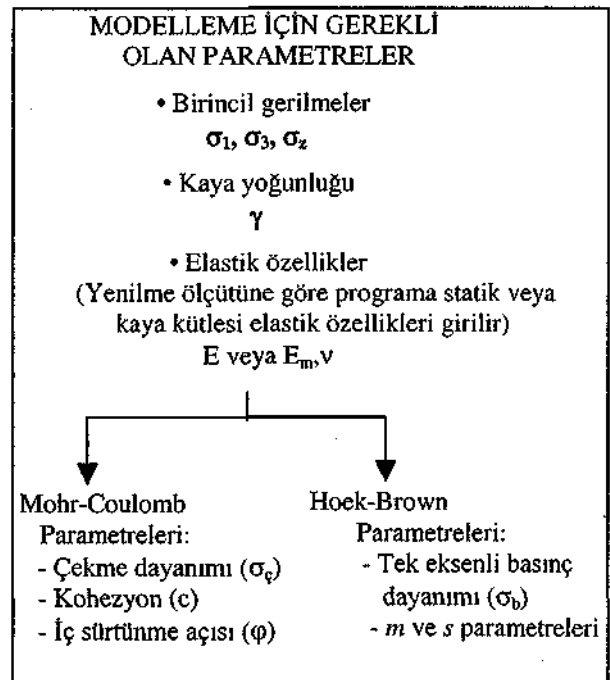
σ_b = Sağlam kayacın tek eksenli basınç dayanımı

m = Mohr zarfının eğriliğini yansıtır ve kaya içindeki parçacıkların iç içe kenetlenme derecesinin bir ölçütüdür

s = Kayanın asal gerilmeler altında kırılmadan önceki eklemlilik derecesini gösterir katsayı

a = Kaya kütlelerinin özelliklerine bağlı bir katsayı

Phases paket programında Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre modelleme için, malzemenin kohezyon ve iç sürtünme açısı ile birlikte çekme dayanımı programa girilir. Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre ise, malzemenin m ve s parametreleri ile tek eksenli basınç dayanımının programa girilmesi gerekmektedir. Elastik çözümlerinde programa girilmesi gerekli olan veriler Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



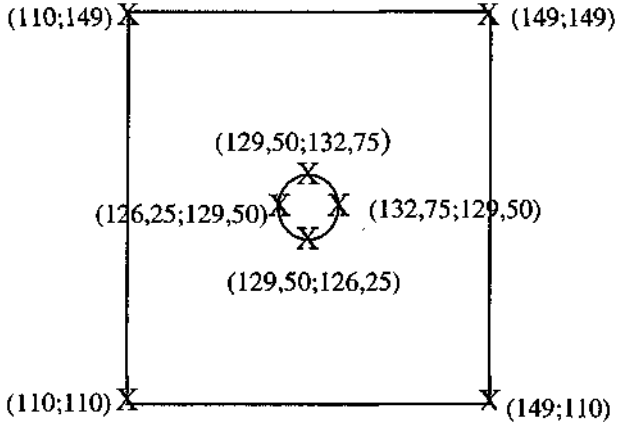
Şekil 1. Phases programı ile elastik çözümlerinde gerekli olan veriler

Phases paket programında kaya birimlerinin anizotropik olarak da tanımlanması mümkün olabilmektedir. Ayrıca, program ile elastik ve elasto-plastik olmak üzere iki türlü çözümleme yapılabilmektedir.

Phases paket programı ile gerçekleştirilen modellemeler sonucunda, kazı açıklıkları çevresindeki gerilme dağılımları ve yer değiştirmeler elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, açıklık çevresinde oluşan yenilmeler de görülebilmektedir (Hoek vd., 1992).

4. MODELLERİN OLUŞTURULMASI

G.L.İ. Hazırlık Panosu kuyu kaplama kalınlığı tasarımı için modeller kuyu eksenine dik kesit gözönüne alınarak oluşturulmuştur. Model hesap alanının bir kenarı kuyu çapının 6 katı olacak şekilde seçilmiş ve bu alanın tam ortasına çapı 6.5 m olan kuyu açıklığı yerleştirilmiştir. Bu model, kaplamasız kuyu açıklığı için hazırlanmıştır. Şekil 2'de, tasarlanan bu model ve Phases programında bu modelin oluşturulabilmesi için belirlenen nokta koordinatları gösterilmiştir.



Şekil 2. Kaplamasız kuyu açıklığı modeli için programa girilen nokta koordinatları

Kazı açıklıkları çevresi için yeraltı gerilme şartlarına göre gerekli tahkimat Phases programı ile direkt olarak belirlenmemektedir. Bu nedenle, tahkimat elemanlarının modele eklenmesi ve tahkimat özelliklerinin programa

girilmesi gerekmektedir. Model hesaplamaları sonrasında, seçilen tahkimatın kazı açıklığı için uygun olup olmayacağına tasarımcının kendisi karar vermektedir.

G.L.İ. Hazırlık Panosu kuyu kaplama tasarımı için programa girilebilen en küçük kaplama kalınlığı 30 cm olabilmektedir. Türkiye'deki mevcut derin kuyular (derinliği 200 m'den fazla olan kuyular) Türkiye Taşkömürü ocaklarına ait olanlardır. T.T.K. derin kuyularında kuyu kaplama kalınlıkları için alt sınır 40 cm olarak uygulanmaktadır. Pratikteki bu uygulama gözönüne alındığında, kuyu kaplama kalınlıklarının 30 cm'den başlatılmasının tasarım açısından bir sakıncası olmayacaktır. 10'ar cm'lik arttırmalarla 120 cm'e kadar kaplama kalınlıkları (t) için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur.

5. MODELLEME VERİLERİ

Arazi gözlemleri, kuyu yeri karotlu sondaj verileri (Çekilmez, 1988) ve sahanın temel birimi olan marnın elastik özelliklerini belirlemeye yönelik deneysel çalışmalar sonucu, Mohr-Coulomb ve Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre sayısal model analizleri için gerekli olan veriler ayrı ayrı elde edilmiştir (Emir, 2000).

G.L.İ. linyit havzasından alınan taze marn numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucu, yataya yakın tabakanma gösteren marnın tabakanmaya dik statik elastisite modülü 5613 MPa ve Poisson oranı 0,25; tabakanmaya paralel statik elastisite modülü 8509 MPa ve Poisson oranı 0,16 olarak belirlenmiştir. Buna göre, sahanın temel birimi olan marn zayıf anizotropi göstermektedir (Emir, 2000). Bu nedenle, sayısal modellemede kuyu açıklığını çevreleyen kayalar izotropik ve homojen olarak kabul edilmiştir.

M.T.A. tarafından kuyu yerinde gerçekleştirilmiş olan karotlu sondaja 390 m'de son verilmiştir. Bu ise, 540 m derinliğe kadar olan kısım için bir kabul yapılmasını gerektirmiştir. Bu kısmın, sahanın temel birimi olan ve Bieniavski'nin 1979 yılındaki jeomekanik sınıflandırmasına göre (Bieniawski, 1979) zayıf kaya sınıfında yer

alan marn olarak kabul edilmesi, emniyetli bir kuyu kaplama tasarımı için uygun görülmüştür.

Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre sayısal model analizlerinde marn için kohezyon değeri 5 MPa, içsel sürtünme açısı 31° ve elastisite modülü 5613 MPa olarak programa girilmiştir.

Kuyu derinliği boyunca belirli derinlikler (H) için ayrı ayrı belirlenmiş olan diğer modelleme verileri ile birlikte Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre programa girilen modelleme verileri Çizelge 2'de bir arada verilmiştir (Emir, 2000).

Çizelge 2. G.L.İ. Hazırlık Panosu Kuyu Kaplama Tasarımı Modelleme Verileri (Emir, 2000)

| H (m) | Kaya Birimi | σ_1 (MPa) | CT_z (MPa) | γ (MN/m ³) | ν | Hoek-Brown | | | |
|----------|----------------|---------------------|-----------------|----------------------------------|-------|----------------|------|--------|------------|
| | | | | | | c_r (MPa) | m | s | F (MPa) |
| 35 | Kireçtaşı | 0.32 | 0.75 | 0.025 | 0.30 | 59.8 | 1.40 | 0.0022 | 2985 |
| 36 | Kiltaşı | 0.33 | 0.77 | 0.021 | 0.30 | 12.6 | 1.17 | 0.0013 | 2239 |
| 50 | Kiltaşı | 0.46 | 1.08 | 0.021 | 0.30 | 12.6 | 1.17 | 0.0013 | 2239 |
| 62 | Kiltaşı | 0.45 | 1.35 | 0.021 | 0.25 | 12.6 | 1.56 | 0.0031 | 3548 |
| 90 | Kiltaşı | 0.65 | 1.94 | 0.021 | 0.25 | 12.6 | 1.87 | 0.0054 | 4732 |
| 120 | Kireçtaşı | 0.88 | 2.65 | 0.025 | 0.25 | 59.8 | 1.87 | 0.0054 | 4732 |
| 124 | Marn | 0.92 | 2.75 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.56 | 0.0031 | 3548 |
| 147 | Marn | 1.08 | 3.23 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.56 | 0.0031 | 3548 |
| 200 | Marn | 1.45 | 4.34 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.56 | 0.0031 | 3548 |
| 250 | Marn | 1.80 | 5.41 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.87 | 0.0054 | 4732 |
| 300 | Marn | 2.15 | 6.46 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.87 | 0.0054 | 4732 |
| 350 | Marn | 2.51 | 7.52 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.87 | 0.0054 | 4732 |
| 390 | Marn | 2.79 | 8.38 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.87 | 0.0054 | 4732 |
| 450 | Marn | 3.21 | 9.64 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.87 | 0.0054 | 4732 |
| 500 | Marn | 3.56 | 10.69 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.87 | 0.0054 | 4732 |
| 540 | Marn | 3.84 | 11.53 | 0.021 | 0.25 | 11.2 | 1.87 | 0.0054 | 4732 |

Sayısal model lemede kuyu kaplaması için BS 30 sınıfı beton özelliklerinden yararlanılmıştır. Bu değerler, Çizelge 3'de görülmektedir.

Çizelge 3. BS 30 Sınıfı Beton Özellikleri (TS 500, 1984)

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Yoğunluk | 2.2 t/m ^a |
| Basınç dayanımı (silindir) | 30 MPa |
| Çekme dayanımı | 1.9 MPa |
| Elastisite modülü | 31800 MPa |
| Poisson oranı | 0.2 |
| Kohezyon | 8 MPa |
| İçsel sürtünme açısı | 37° |

6. KAPLAMASIZ KUYU AÇIKLIĞI MODEL ANALİZLERİ

G.L.İ. Derin Sahalar kaplamasız kuyu açıklığının Mohr-Coulomb ve Hoek-Brown kaya yenilme ölçütlerine göre model analizleri ayrı ayrı gerçekleştirmiştir.

Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre yapılan model hesaplamalarında marn için kohezyon değeri 5 MPa ve içsel sürtünme açısı 31° (Çekilmez, 1988) olarak alınmıştır. Bu değerler, havada kuru numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olan üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarıdır. Marnın suda dağıldığı ve G.L.İ. linyit havzasında yeraltı su seviyesinin 80-90 m derinde olduğu gözönüne alındığında, laboratuvar değerlerinin yerinde kaya

özelliklerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir.

Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre gerçekleştirilen sayısal model analizleri sonucunda kuyu açıklığı çevresinde beklenildiği gibi herhangi bir yenilme oluşmadığı görülmüştür.

Hoek-Brown ile Mohr-Coulomb parametrelerinin birbirine dönüşüm formülleri kullanıldığında (Hoek, 1995) marn için kohezyon değeri 0,3 MPa ve iç sürtünme açısı 38° olarak bulunmuştur. G.L.İ. Derin Sahalar yeraltı açıklıklarının tasarımında bu değerlerin dikkate alınması yerinde olacaktır.

Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre gerçekleştirilen sayısal model analizleri sonucunda Çizelge 4'te verilen yenilme durumları ve en büyük yer değiştirmeler elde edilmiştir. Kireçtaşı hariç kuyu derinliği boyunca kuyu açıklığını çevreleyen kayacda yenilmeler meydana geldiği ve artan derinlikle birlikte yer değiştirmenin de arttığı çizelgeden görülmektedir. Bu ise, kuyunun tahkimatsız duraylı kalamayacağını göstermektedir.

Çizelge 4. Hoek-Brown Yenilme Ölçütüne Göre Kaplamasız Kuyu Açıklığı Sayısal Modelleme Sonuçları

| Derinlik (m) | Kaya Türü | Yenilme | En Büyük Yerd. (mm) |
|--------------|-----------|---------|---------------------|
| 35 | Kireçtaşı | YOK | 0.4471 |
| 36 | Ki İtası | VAR | 0.6226 |
| 50 | Ki İtası | VAR | 0.8887 |
| 62 | Kiltaşı | VAR | 0.5294 |
| 90 | Ki İtası | VAR | 0.5853 |
| 120 | Kireçtaşı | YOK | 0.7465 |
| 124 | Marn | VAR | 1.3450 |
| 147 | Marn | VAR | 1.6880 |
| 200 | Marn | VAR | 1.7630 |
| 250 | Marn | VAR | 2.4540 |
| 300 | Marn | VAR | 3.2500 |
| 350 | Marn | VAR | 4.1960 |
| 390 | Marn | VAR | 5.0530 |
| 450 | Marn | VAR | 6.5160 |
| 500 | Marn | VAR | 7.8610 |
| 540 | Marn | VAR | 9.0660 |

7. KUYU KAPLAMA KALINLIĞININ SAYISAL MODELLEME İLE BELİRLENMESİ

Kuyu kaplama kalınlığı model hesaplamalarında, 30 cm'den 120 cm'ye kadar farklı kaplama kalınlıklarına göre oluşturulmuş olan modellerden yararlanılmıştır. Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre kaya özellikleri ve kuyu kaplaması için BS 30 sınıfı beton özellikleri programa girilmiştir.

Kuyu derinliği boyunca belirli derinlikler (Çizelge 5) için farklı kuyu kaplama kalınlıklarına (t) göre model hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Model hesaplamaları sonrası, kuyu açıklığı çevresindeki teğetsel gerilmelerin dağılımlarından yararlanılarak, kuyu kaplamasındaki en büyük teğetsel gerilmeler bulunmuştur. Buradan da, en büyük teğetsel gerilmenin, betonun basınç dayanımı olan 30 MPa değerinin yarısına eşit bir değer aldığı kaplama kalınlıkları belirlenerek, emniyet katsayısı 2 için kuyu kaplama tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kuyu derinliği boyunca farklı derinlikler için elde edilen kuyu kaplama kalınlıkları Çizelge 5'te birarada verilmiştir.

Çizelge 5. Kuyu Derinliği Boyunca Emniyet Katsayısı 2 Koşulunu Sağlayan Kaplama Kalınlıkları

| Derinlik (m) | Kaya Türü | t (cm) |
|--------------|-----------|--------|
| 36 | Kiltaşı | 30 |
| 50 | Kiltaşı | 30 |
| 62 | Kiltaşı | 30 |
| 90 | Kiltaşı | 30 |
| 124 | Marn | 30 |
| 147 | Marn | 30 |
| 200 | Marn | 30 |
| 250 | Marn | 30 |
| 300 | Marn | 30 |
| 350 | Marn | 30 |
| 390 | Marn | 40 |
| 450 | Marn | 50 |
| 500 | Marn | 60 |
| 540 | Marn | 80 |

540 m derinlikte kuyu kaplama kalınlığı 80 cm seçildiğinde, sayısal model analizi sonucu Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre elde edilmiş olan kuyu açıklığı çevresi gerilme dağılımı ve yer değiştirmeler Şekil 3'te ve teğetse gerilmeler Şekil 4'te verilmiştir.

8. SONUÇ

Sayısal modelleme yöntemleri yeraltı maden açıklıklarının tasarımlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Burada, daha çok galeri gibi yatay yeraltı açıklıklarının tasarımlarında yararlanılan sayısal modellemelerden farklı olarak, düşey bir yeraltı açıklığının modellemesi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan Phases sayısal modelleme programında arazi gerilmelerinin derinlikle değişen ya da değişmeyen şekilde programa girilebilmesi, düşey bir yeraltı açıklığının yatay kesitinin modellenmesi olanağını sağlamıştır. Arazi gerilmeleri programa sabit değer olarak girilmiş, bu şekilde yatay bir açıklık çevresindeki gerilme dağılımları elde edilebilmiştir.

Sayısal modelleme yöntemleri, açıklığı çevreleyen kaya kütlesi ile ilgili daha fazla özelliğin dikkate alınmasına olanak tanımaktadır. Sayısal modelleme ile analitik yöntemler birbiriyle karşılaştırıldığında, açıklığı çevreleyen kaya ile ilgili özellikle elastik özelliklerin sayısal modelleme verileri arasında yer aldığı görülmektedir, bu da sayısal analizlerin güvenilirliğini arttırmaktadır.

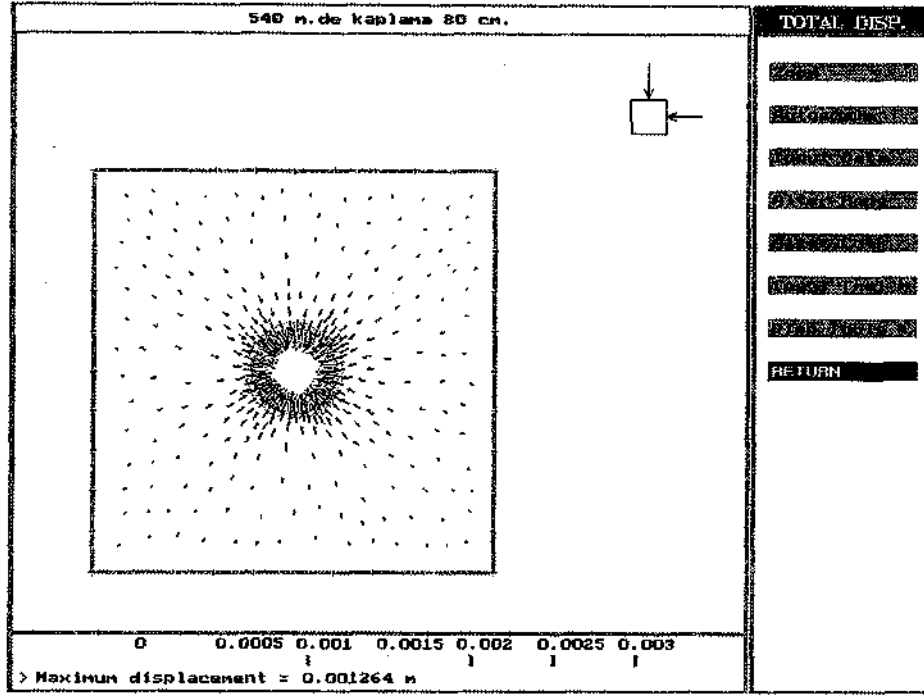
Analitik yöntemlerle elde edilmiş olan G.L.İ. Derin Sahalar kuyu kaplama kalınlıkları yaklaşık 40-70 cm arasında değişen değerler taşımaktadır. Kaplama kalınlıklarının bu derece geniş bir aralıkta yer almasının nedeni kaplamaya gelen yanal basıncın iki farklı yöntemle hesaplanmış olmasıdır. Bu iki yöntemden birine göre tercih yapılabildiğinde, değerler arasında sadece 10

em'lik bir fark bulunmaktadır. Bu aradaki farkın küçük oluşu, tasarımcının kuyu kaplama kalınlığında ekonomik veya emniyetli bir seçim yapabilmesine olanak tanımaktadır ve alt ya da üst değer seçilebilir. Bir diğer ifadeyle, analitik yöntemlerden Lamé formülü ile emniyetli, Arıoğlu-Auld yaklaşımı ya da Heber bağıntısı ile ekonomik kuyu kaplama kalınlığı değerleri elde edilmektedir. Ancak, kuyu kaplamasına gelen yanal basınç değerleri arasındaki farklılık tasarımcıyı belirli bir seçim yapamayacağı bir durumla karşı karşıya getirmektedir.

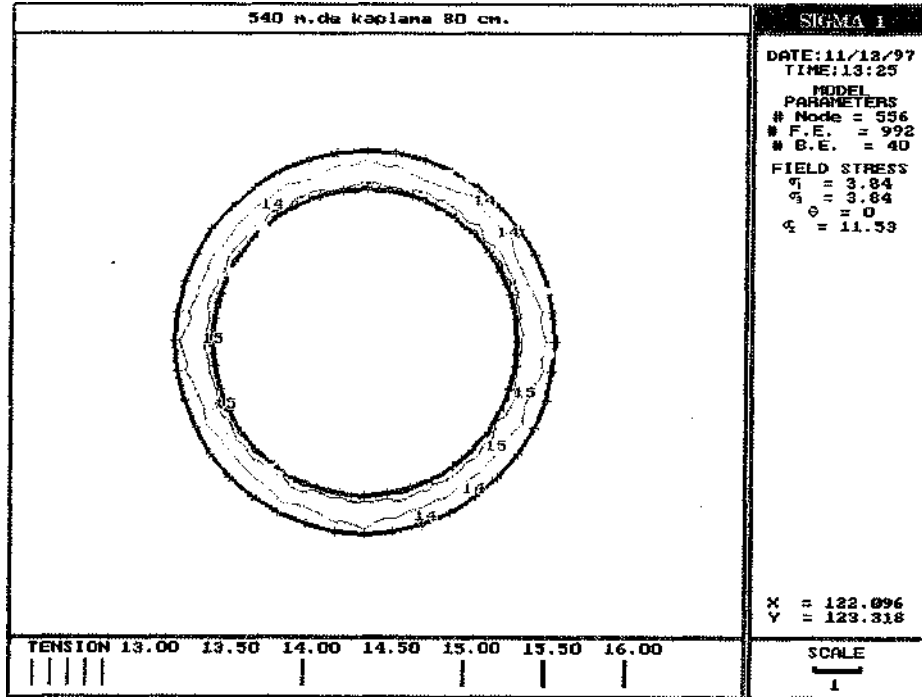
Phases sayısal modelleme programı ile gerçekleştirilen G.L.İ. Derin Sahalar kuyu kaplama tasarımı ile, BS 30 sınıfı beton kullanıldığında kuyu duraylılığı için 80 em'lik bir kaplama kalınlığının uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonucun analitik yöntemlerle elde edilen değerlerin de üzerinde olması, gerçekleştirilen sayısal model analizlerinde kuyu emniyetinin ön planda tutulmuş olmasındandır.

Phases programı ile, Mohr-Coulomb ya da Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre model hesaplamalarının yapılabilmesi tasarımcı açısından seçenek oluşturmaktadır. Bu çalışmada, kaya kütle özellikleri kullanılarak Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre modelleme yapılması tercih edilmiştir.

Phases sayısal modelleme programı ile yalnızca iki boyutlu model hesaplamaları gerçekleştiriliyor olmasına karşın, farklı derinlikler için de sayısal model analizlerinin yapılmış olması tasarıma üçüncü boyutu katmıştır. Bu şekilde, kuyu derinliği boyunca geçilen farklı kaya türlerinin ve kaya özelliklerindeki değişimin kuyunun en derin noktasına göre kaplama kalınlığını değiştirmeyeceği görülmüştür.



Şekil 3. G.L.İ. Derin Sahalar 540 m derinlikte ve kuyu kaplama kalınlığı 80 cm olduğunda kuyu açıklığı çevresindeki gerilme dağılımı



Şekil 4. G.L.İ. Derin Sahalar 540 m derinlikte ve kuyu kaplama kalınlığı 80 cm olduğunda kaplamadaki teğetsel gerilme dağılımı

KAYNAKLAR

Aghai, N., 1991; "A Model for Shaft Location Selection and Ground Control Approach to Shaft Design", O.D.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Arioğlu, E., 1981; "Maden Kuyusu Kaplama Kalınlığının Boyutlandırılmasına Rasyonel Bir Yaklaşım", 7. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, TMMOB, Ankara, s.367-383.

Bieniawski, Z. T., 1979; "The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications", Proc. Xth. Congress Int. Soc. Rock Mech. Montreux, Cilt 2, s. 41-48.

Çekilmez, V., 1988; "Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek Bölgesi JT4 Sondajı Jeoteknik Etüdü", MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Emir, E., 2000; "G.L.İ. Ömerler Ocağı Hazırlık Panosu Kuyu Kaplama Tasarımı", O.G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Eskişehir.

Eskikaya, Ş., Birön, C. ve Uğur, t., 1991; "G.L.İ. Derin Sahalar Yeraltı İşletme Projesi", İ.T.Ü., İstanbul.

Esmek, H., Şenkal, S. ve Atakuru, N., 1993; "Ömerler-Domaniç Derin Sahalar Yeraltı İşletme Projesi", G.L.İ. Tunçbilek, Kütahya.

Herget, G., 1988; "Stresses in Rock", A.A. Balkema, Rotterdam., Netherlands.

Hoek, E., 1995; "Strength of Rock and Rock Masses", International Society for Rock Mechanics News Journal, Cilt 2, Sayı 2, Portugal, s. 4-16.

Hoek, E., Carvalho, J.L. ve Corkum, B.T., 1992; "Plastic Hybrid Analysis of Stress for Estimation of Support", University of Toronto, Canada.

....., 1984; "TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", TSE, Ankara.