

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL MADENCİLİĞİNDE YERALTI AÇIKLIKLARININ TAHKİMATI VE
NÜMERİK YÖNTEMLER İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin Serhat MAMAT

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**METAL MADENCİLİĞİNDE YERALTI AÇIKLIKLARININ TAHKİMATI VE
NÜMERİK YÖNTEMLER İLE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hüseyin Serhat MAMAT
(505111005)**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. C. Atilla ÖZTÜRK

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505111005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hüseyin Serhat MAMAT**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **METAL MADENCİLİĞİNDE YERALTI AÇIKLIKLARININ İNCELENMESİNDE NÜMERİK MODELLEMENİN KULLANILMASI VE NÜMERİK MODELLEME İLE TAHKİMAT ANALİZİ** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yard. Doç. Dr. C. Atilla ÖZTÜRK**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Vural YAVUZ

İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **30 Mayıs 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yeraltı açıklıkları her mühendislik dalında olduğu gibi ekonomik sınırları aşmadan istenileni vermeli ve bunu yaparken doğaya zarar vermemelidir. Bu ekonomik sınırların mümkün olması ancak ayrıntılı etütler ve tutarlı modellemeler ile mümkün olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı jeolojik formasyonlarının özelliklerine göre analitik yöntemler ile tahkimat tasarımlarının oluşturulması ve bu tahkimat elemanlarının yoğunluğunun ne derece bu formasyona uygun olup olmadığının sayısal yöntemler ile analiz edilerek kontrol edilmesidir. Ayrıca yetersiz yapılan tahkimat sonucunda ortaya çıkan sonuçlar sayısal olarak analiz edilmiştir.

Çalışma boyunca benden yardımlarını esirgemeyen ve beni her konuda deneyimleri ile aydınlatan Sayın hocam Yard. Doç. Dr. C. Atilla ÖZTÜRK'e, Eczacıbaşı ESAN Yeraltı Üretim Yöneticisi Sayın Engin DOĞAN'a ve bana yardımları ile destek olan bütün iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mayıs 2014

Hüseyin Serhat MAMAT

Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Yöntem.....	2
2. ÇALIŞMA SAHASI HAKKINDA BİLGİLER.....	3
2.1. Eczacıbaşı Esan'a ait madencilik çalışmaları.....	3
2.2. Maden İşletmesi ile İlgili Genel Bilgiler	4
2.2.1. İşletmenin tanıtılması	4
2.3. Coğrafi Konum ve iklim	5
2.4. Hidrotermal Maden yatakları	5
2.5. Jeoloji ve Maden Yatağının Özellikleri.....	7
2.6. Rezerv Durumu	9
3. YERALTINDA YAPILAN İŞLER İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	11
3.1. Üretim Yöntemi.....	11
3.2. Yeraltı Açıklıkları Hakkında Genel Bilgi	12
3.3. Delme ve Patlatma İşleri	14
3.4. Yükleme ve Nakliye	18
3.5. Tahkimat İşleri	19
3.5.1. Püskürtme beton.....	19
3.5.2. Kaya saplaması.....	20
3.5.3. Dolgu.....	21
4. YERALTI AÇIKLIKLARININ TAHKİMATI	23
4.1. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri ile Tahkimat.....	23
4.1.1. Kaya kütle puanı (RMR) sistemi.....	24
4.1.2. Q sınıflama sistemi.....	28
4.2. Kaya Kütle Parametreleri	33
4.2.1. Kaya kütle dayanımı.....	33
4.3. Sayısal Yöntemlerin Tahkimat Tasarımında Kullanılması	34
5. Balya Yer Altı Madeni Kaya Kütle Ortamlarının Sınıflandırılması.....	37
5.1. Kaya Mekanik Çalışmaları.....	37
5.2. Kaya Kütle Sınıflama Çalışmaları.....	39
6. Balya Yeraltı İşletmesinde Kullanılan Tahkimat Türleri	41

6.1. Ana Nakliye Galerisi Üzerinde Kullanılan Tahkimat Türleri	41
6.2. Üretim Galerilerinde Kullanılan Tahkimat Türleri	42
6.3. Geniş Açıklıklarda ve Kavşaklarda Kullanılan Tahkimat Türleri.....	43
6.4. Dolgulu Çalışılan Bölgelerde Kullanılan Tahkimat Türleri.....	45
6.5. Tahkimat Elemanlarının Mühendislik Özellikleri.....	47
6.5.1. Püskürtme beton	47
6.5.2. Splitset	48
6.5.3. Dolgu	49
7. TAHKİMAT TASARIMLARI	53
7.1. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri ile Tahkimat Tasarımları	53
7.2. Sayısal Yöntemler ile Tahkimat Analizi	55
8. SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR

H	: Örtü kalınlığı
RQD	: Kaya kalite değeri
RMR	: Kaya Kalite Oranı
g	: Birim hacim ağırlık
S	: Gerilme faktörü (yatay gerilmelerin düşey gerilmelere oranı)
Jn	: Eklem takım sayısı
Jr	: Eklem pürüzlülük sayısı
Ja	: Eklem alterasyon sayısı
Jw	: Eklem suyu indirgeme sayısı
SRF	: Gerilme indirgeme faktörü
σ_n	: Kayanın basınç dayanımı
ν	: Poisson oranı
SF	: Dayanım faktörü
σ_1	: En büyük asal gerilme
σ_c	:Tek eksenli basınç dayanımı
σ_z	:Düşey gerilme
σ_h	:Yatay gerilme
E	:Elastisite modülü
B	:Tünel genişliği
SR	:Gerilme katsayısı
σ_w	:Galeri duvarındaki gerilme
σ_r	:Galeri tavanındaki gerilme
k	:Düşey gerilmenin yatay gerilmeye oranı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Hidrotermal yataklar	6
Tablo 2.2: Hidrotermal alterasyonlar	6
Tablo 4.1: Yeraltı açıklıklarında kullanılan sınıflama sistemleri	23
Tablo 4.2: Sınıflandırma parametreleri ve değer aralıkları	24
Tablo 4.3: Eklem yönleri ve puanlaması	25
Tablo 4.4: Kaya sınıflama puanına göre derecelendirme	25
Tablo 4.5: Kaya sınıflamasına göre yorumlamalar	25
Tablo 4.6: Geliştirilmiş RMR sınıflama sistemi	26
Tablo 4.7: RMR sistemine göre tahkimat tasarımı	28
Tablo 4.8: Eklem takım sayısı (J_n)	29
Tablo 4.9: Eklem pürüzlülük sayısı (J_r)	29
Tablo 4.10: Eklem alterasyon sayısı (J_a)	30
Tablo 4.11: Eklem suyu indirgeme faktörü (J_w)	30
Tablo 4.12: Gerilme indirgeme faktörü (SRF)	31
Tablo 4.13: Kazı tahkimat oranı değerleri	32
Tablo 5.1: Kayaç malzemelerinin laboratuarda bulunmuş fiziksel ve mekanik özellikleri	38
Tablo 5.2: Kaya formasyonlarının kaya kütle özellikleri	40
Tablo 6.1: $1m^3$ püskürtme beton karışımının içindeki malzemeler	48
Tablo 6.2: Püskürtme betona ait mühendislik özellikleri	48
Tablo 6.3: Splitset kaya saplamasının mühendislik özellikleri	49
Tablo 6.4: Dolgu malzemesinin mühendislik özellikleri	51
Tablo 7.1: Kaya kütle gruplarının Q değer aralıkları	53
Tablo 7.2: Tahkimat tasarımı	55
Tablo 7.3: Sayısal analiz sonuçları	58
Tablo 7.4: Sayısal analiz sonuçları	61
Tablo 7.5: Sayısal analiz sonuçları	62
Tablo 7.6: Sayısal analiz sonuçları	66
Tablo 7.7: Sayısal analiz sonuçları (dolgulu çalışan bölge)	67
Tablo 7.8: Sayısal analiz sonuçları	71
Tablo 7.9: Sayısal analiz sonuçları (dolgu altı ve üstü)	71
Tablo 7.10: Sayısal analiz sonuçları	75
Tablo 7.11: Sayısal analiz sonuçları	77
Tablo 8.1: Tahkimatsız açıklıkların ortalama sayısal analiz sonuçları	79
Tablo 8.2: Tahkimatlı açıklıkların ortalama sayısal analiz sonuçları	80
Tablo 8.3: 632 Doğu sayısal analiz sonuçları	80

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Akım şeması.....	2
Şekil 2.1: Balya ilçesi yer buldu haritası	5
Şekil 2.2: Balya ve çevresine ait litoloji sütun kesiti.....	7
Şekil 2.3: Balya jeoloji kesiti.....	8
Şekil 2.4: Balya Pb-Zn Madeni 3 boyutlu cevher modellemesi	9
Şekil 3.1: Yatay dilimli dolgulu yöntem	12
Şekil 3.2: Maden ocağının Kuzey – Güney kesit görünümü.....	13
Şekil 3.3: Ana nakliyat galerisi kesiti	14
Şekil 3.4: Sandvik marka DD320 – 40 model delici makine.	14
Şekil 3.5: Mine Master marka Face Master model delici makine.....	15
Şekil 3.6: Atlas Copco marka Boomer 282 model delici makine.....	15
Şekil 3.7: 5x5m ayna delik delme düzeni.....	16
Şekil 3.8: JCB marka TM310 model makine.	17
Şekil 3.9: 5x5m ayna deliklere konulan kapsül numaraları.....	17
Şekil 3.10: 5x5 m ayna deliklere doldurulan dinamit adedi	18
Şekil 3.11: Titan marka püskürtme beton makinası	19
Şekil 3.12: Püskürtme beton yapımında kullanılan agrega.	20
Şekil 3.13: Splitset.....	21
Şekil 3.14: Dolgu yapımında kullanılan agrega	21
Şekil 3.15: Beton santrali.....	22
Şekil 4.1: RMR abağı	27
Şekil 4.2: Q sistemi ile tahkimat tasarımı.....	32
Şekil 5.1: 2400. metreye kadar ana rampa üzerinde karşılaşılan formasyonlar	37
Şekil 5.2: Galeri tavan ve cidarlarına meydana gelen gerilmeler.....	37
Şekil 6.1: 5x5 m at nalı şeklindeki ana rampa yolunda tahkimat uygulaması.....	41
Şekil 6.2: Ana nakliye galerisi.....	42
Şekil 6.3: 5x5 m üretim galerisinde tahkimat uygulaması	43
Şekil 6.4: Geniş açıklıklarda tahkimat uygulaması (örn. su cebi)	44
Şekil 6.5: 677 su cebi.....	44
Şekil 6.6: Dolgu arası sürülen aynalarda tahkimat uygulaması.....	45
Şekil 6.7: Dolgu yanında sürülen iki galeri	46
Şekil 6.8: Splitset uygulaması plan görünümü.	46
Şekil 6.9: Püskürtme beton uygulanmış bir üretim aynası	47
Şekil 6.10: Splitset uygulaması yapılmış bir galeri.	49
Şekil 6.11: Dolgu yapılmış bir galerinin görüntüsü.....	50
Şekil 7.1: Kaya kütle gruplarının bulunduğu tahkimat bölgeleri	54
Şekil 7.2: Sayısal analiz yapılan kotların gösterimi.....	56
Şekil 7.3: 500.m genişleme cebi kesit görünüm.	57
Şekil 7.4: 500. m genişleme cebi sayısal analizi	58
Şekil 7.5: Toplam yer değiştirme grafiği.....	59
Şekil 7.6: 686-704 katları arası kesit görünüm.....	60

Şekil 7.7: 686-704 katları arası sayısal analizi	60
Şekil 7.8: 596 – 614 Üretim katları arası kesit görünüm	61
Şekil 7.9: 596 – 614 Üretim katları arası sayısal analizi	62
Şekil 7.10: Toplam yer değiştirme grafiği	63
Şekil 7.11: 740 – 760 – 775 katları arası kesit görünüm	63
Şekil 7.12: 740 – 760 – 775 katları arası sayısal analizi.....	64
Şekil 7.13: 740 – 760 – 775 katları arası sayısal analizi (dolgu arası)	65
Şekil 7.14: Toplam yer değiştirme grafiği	67
Şekil 7.15: 790 -795 -805 katları arası kesit görünüm.....	68
Şekil 7.16: 790 -795 -805 katları arası sayısal analizi	69
Şekil 7.17: 790 -795 -805 katları arası sayısal analizi (dolgu altı ve üstü).....	70
Şekil 7.18: Toplam yer değiştirme grafiği	72
Şekil 7.19: Toplam yer değiştirme grafiği (dolgulu çalışan bölgeler).....	72
Şekil 7.20: 632 Doğu aynasında tahkimatta meydana gelen yenilme	73
Şekil 7.21: 632 Doğu aynası tahkimatsız ve standart tahkimatlı durum analizi.....	74
Şekil 7.22: 632 Doğu aynası için önerilen tahkimat tasarımları.....	76
Şekil 7.23: Toplam yer değiştirme grafiği	77

METAL MADENCİLİĞİNDE YERALTI AÇIKLIKLARININ TAHKİMATI VE NÜMERİK YÖNTEMLER İLE ANALİZİ

ÖZET

Eczacıbaşı Esan Balya Kurşun – Çinko Yeraltı Maden İşletmesi, Türk metal madenleri sektöründe önemli çalışmalara imza atmış bir maden işletmesidir. Esan 2009 yılı itibarı ile Balya’da çalışmaya başlamıştır. Üretim miktarını her yıl katlayarak arttıran firma son yıllarda kurşun – çinko üretiminin en büyük söz sahibi haline gelmiştir. Esan Balya İşletmesi Türkiye’nin Ege Bölgesi, Balıkesir ilinde bulunmaktadır. Balya ilçesine yürüme mesafesinde bulunan işletmeye kadar toplu taşıma ile ulaşım sağlanabilmektedir. İşletmede genel olarak bölge halkı istihdam edilmektedir. Tecrübeli çalışanlar gözetiminde şantiyede sürekli yeni çalışanların yetiştirilmesi bölge halkına kattığı önemli katma değerlerden biridir.

Derinliği halen artmakta olan Balya İşletmesi, yatay dilimli dolgulu yöntem ile cevher üretimi yapmaktadır. Cevher, yeraltından kamyonlar ile taşınmaktadır. Yerüstüne çıkarılan tüvenan cevher kırıcı, değirmen ve flotasyon gibi zenginleştirme ünitelerinden geçerek konsantre haline getirilir. Ocağa hava gönderen fanların toplam kurulu gücü 1255 kW’dır. Havalandırma sistemi nakliye yoluna ters olarak havalandırma kuyularından girip ana rampa üzerinden ocağı terk etmektedir. Bir vardiyada yeraltında yaklaşık 80 personel ve 40 iş makinesi çalışmaktadır. İş yoğunluğuna göre bir vardiyada 3, 4 veya 5 ayna patlatması yapılmaktadır. Bir vardiyada ortalama 30 m³ püskürtme beton uygulanmaktadır.

Maden kazılarından sonra açılan boşluklara uygulanması gerekli tahkimat tasarımlarının deneye dayalı ve sayısal yöntemler ile gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan veriler, gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile aynaların devam etmesi sırasında bu bölgelerden alınan ayna haritalarından elde edilmiştir. Bu veriler analitik yöntemlerle analiz edilip tahkimat tasarımları ortaya çıkartılmıştır. Nümerik yöntemlerle ise ortaya çıkan bu tahkimat sistemlerinin uygun olup olmadığı incelenmiştir. Ayrıca geçmişte sorun yaşanan bölgeler incelenip bu bölgelerde kullanılması gereken tahkimat sistemleri nümerik modelleme yardımı ile belirlenmiştir. Yapılan deneylerin nizami olması ve nümerik modelleme programına mümkün olduğunca çok parametre girilmesi sayesinde analitik yöntemlere göre hazırlanan tahkimat tasarımları nümerik modellerle yüksek derecede uyum sağlamıştır. Bu uyum sayesinde fiziki olarak açılmamış bölgelerde simülasyon yardımıyla oluşabilecek problemlere önceden önlem almak mümkün olacaktır. Riskli bölgelerde çalışma yapmadan önce simülasyon ile analiz yapmak işin aksamasına sebep olacak faktörleri ortadan kaldıracaktır.

SUPPORT OF UNDERGROUND OPENINGS IN METAL MINING AND ANALYSIS WITH NUMERICAL METHODS

SUMMARY

Eczacıbaşı ESAN Balya Lead – Zinc Mine is an underground mine which has achieved good works as a metal producer in Turkey. ESAN is a company constructed under Eczacıbaşı which mainly interested only for the production of industrial minerals such as clay, bentonite, quartz, etc. Balıkesir Balya lead and zinc underground mine started to work in Balya at 2009 as a first example of the Company's underground mine in metal production industry. The company has become the largest exporter of lead-zinc among Turkish producers with an exponential increase for each year in terms of production number. Balya underground mine has been operated by cut and fill mining method and total depth of mine still keeps increasing. Esan Balya Mine field is located in Balıkesir which is in the Aegean region of Turkey. Local people are working both underground and flotation plant. The mine has a mineral processing plant that used flotation system to produce lead and zinc as a final product. The company is also very beneficial for the local people by employing and educating them about mining and the number of local people employed has been increasing under the supervision of experienced operators.

The underground mine is operated by cut and fill underground mine production method. Sublevels with 5 m intervals are developed for the production of ore. A main transport gallery nearly 2.4 km length connects to a ramp which is nearly 3 km length to reach the down of the ore deposit. The horizontal level and sublevel galleries are driven up to the ore and ore galleries are constructed for the excavation of ore material. Ore is transported by trucks from underground to surface up to the surface storage area. The excavation is applied by drilling and blasting methodology with drilling machines and blasting materials. The excavated and transport mine ore is being processed in mine plant by crushing, milling and flotation. The mine ventilation networks is also supplied by fans. The total installed capacity of the

ventilators which send air to the underground is 1255 kW. Fresh air comes from ventilation shaft and exhaust air is being sent out from mine by transportation roadway. There is about 80 staff and 40 machines working in one shift. Depending on the intensity of work, 3, 4 or 5 face blasting can be performed in underground. 30 m³shotcrete is being applied by shotcrete machines per shift. The main has a strict production policy to reach the daily and annual target as well as strict policy for mine and labors safety and health.

After opening of the tunnels, the initial support systems of the underground spans are designed with respect to the necessary data for application with empirical and quantitative methodologies. These data will be analyzed by analytical methods for support designs to be understood. Numerical models are being used for compatibility of these support designs. At the same time, the areas having support problems were examined by numerical modelling. According to the test results, numerical methods of support designs are impressively convenient with the analytical methods. This situation gives opportunity to examine problems before the excavation.

First of all existing data to put number on the geological structures of the underground was investigated and the underground rock mass materials are classified. When the geotechnical properties of each different rock mass environment are determined, the types of the underground openings are determined as well. The size and the shape of the underground openings as well as the influence of the existing galleries are investigated based on geotechnical properties of rock mass. Support designs of the underground openings were then carried out for the underground openings. Mainly shotcrete, fibrecrete, wire mesh and rock bolts are used as support systems in the underground. In very rare situation for the worst conditions of the underground, steel ribs are also used. The engineering properties of these support systems are also determined for the use in numerical analyses systems.

After determination of the all required data regarding rock masses, underground openings shapes, and support systems properties, the support systems are determined based on analytical methods by using rock mass classification systems such as rock mass rating (RMR) and quality (Q) classification. The determination of the support design from rock mass classification systems made possible to investigate the

suitability of the support system for each underground openings for different rock mass environment. Numerical methods carried out by Phase^{2.0} software were used to success of the proposed support system design. Hence, the suitability of the rock support systems designed by rock mass classification systems are tests and approved by numerical methods which is the main subject of this thesis. The results are then compared with the actual status of the mine by using the actual rock falling phenomena occurred in the underground mine. As a results of that a methodology is proposed for the design of support system for the underground mine by using empirical, analytical, and numerical methods.

Consequently, the thesis is a well-defined case study as well as proposing a methodology for the use of rock mass classification systems with numerical methods in order to propose a proper underground design system which is quite vital for the mine and people.

1. GİRİŞ

Yeraltı madenlerinde tahkimat ve sağlamlaştırma birincil olarak, işletmede çalışan personelin güvenliğini yüksek dereceli güvenlik katsayıları ile sağlamak için yapılır. Bu kıstas yerine getirildikten sonra kullanılan tahkimat ve sağlamlaştırma elemanlarının ekonomikliği, kullanılan farklı sistemlerin birbirine göre avantajları veya dezavantajlarının ortaya konulması gerekir. Bu aynı zamanda madencilikte çok yüksek mertebelerde olan yatırımın korunması açısından da önemlidir.

Yeraltı açıklıkları cevhere ulaşmak, cevherin sınırlarını belirlemek ve cevher kazısı yapmak amacıyla, kuyular, anayol galerileri, cevhere ulaşan tavan-taban yolları, ayak içi yolları gibi birçok değişik bölgelere ayrılırlar. Ayak içi tahkimatlar geçici tahkimat olarak nitelendirilirken, anayol galerilerinde yapılan tahkimat ve sağlamlaştırma çok uzun sürelerde görev yapacak şekilde tesis edilmelidir. Dolayısıyla çalışma bölgesine göre farklı analizler ve uygulamalar yapılarak hangi tahkimatın optimum kapasiteyle çalıştığını belirlemek gerekir.

Bu tez çalışmasında da bu amaçla değişik kaya kütle özelliklerine sahip 4 ayrı formasyonda açılan galeriler, öncelikle şu anda kullanılan mevcut tahkimat sistemleri açısından incelenmiştir. Bunu yapmadan önce de kaya kütle sınıflama sistemleri ile tahkimat tasarımının literatürde bulunan yöntemlerle nasıl yapılacağı ortaya konulmuş, daha sonra da çalışma sahasının kaya kütle ortamları sınıflandırılmıştır.

Bu aşamadan sonra mevcut tahkimat sistemlerinin boyutlandırılması hakkında da bilgiler verilmiştir. Son olarak tüm bu bilgileri verilen tahkimat, Rocscience Phase² yazılımı ile sayısal olarak modellenmiş ve değişik galerilerde oluşan toplam yer değiştirme (Deformasyon), güvenlik katsayısı ve normal gerilme ortaya konulmuştur. Tüm bu çalışmalar halihazırda kullanılan tahkimat sistemlerinin uygun bir şekilde çalıştığını doğrulamaktadır. Ancak tezdeki bölümlerde de görülebileceği gibi kaya ortam gerilme koşulları değiştiğinde (yanında yeni bir galeri açılması yada ortamda kaya kaması oluşturan süreksizliklerin varlığı sebebiyle) yeni nümerik analizler yapılarak, oluşan bu yeni durumların mevcut tahkimat sistemine etkilerini ortaya koymak; iyi bir mühendislik çalışması yapmanın yanında en başta bahsedilen

Çalışanların mutlak güvenliğinin sağlanması ltn yerine getirmek açısından önemlidir.

Bu alışma ile yeni gerilme koşulları da analiz edilerek tahkimat açısından etkileri belirlenmiştir.

1.1. Yöntem

Çalışmada öncelikle işletme hakkında bilgi verilmiş daha sonra kaya kütle sınıflama sistemleri irdelenmiş, işletmedeki tahkimat sistemi ortaya konulmuş, bu tahkimat sistemleri değişik çalışma koşulları ve formasyonlar açısından irdelenmiştir. Çalışmaya ek olan akım şeması şekil 1.1'deki gibidir.



şekil 1.1: Akım şeması.

2. ÇALIŞMA SAHASI HAKKINDA BİLGİLER

Bu tez çalışmasının konusu olan Eczacıbaşı ESAN Kurşun-Çinko İşletmesi 2009 yılı itibari ile çalışmaya başlamıştır. 2013 yılında 1.150.000 ton tüvenan cevher üretimi kapasitesine yükselen işletme ile ilgili bilgiler aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

2.1. Eczacıbaşı Esan'a ait madencilik çalışmaları

Eczacıbaşı Topluluğu'nun seramik fabrikalarına hammadde temini amacı ile 1979 yılında kurulan Eczacıbaşı Esan, 2004 yılı başında Yapı Ürünleri Grubu kuruluşlarından Eczacıbaşı Doğa Madencilik San. Ve Tic A.Ş. ile birleşmiştir. Bu birleşme ile birlikte feldspat, kil, kaolen, kuvars ve kum konularındaki üretim ve satış faaliyetine ek olarak, çeşitli sektörlere endüstriyel hammaddeler, kimyasallar, mineraller, ısı izolasyon malzemeleri, seramik fırın ve fırın ekipmanlarının pazarlama ve satışını da gerçekleştirmeye başlamıştır.

Milas bölgesinde sodyum feldspat rezervlerinden elde edilen ham cevher Milas zenginleştirme ve öğütme tesislerinde işlenmektedir. Ocaklardan çıkarılan feldspat harmanlanmış, flote edilmiş veya öğütülmüş halde pazara sunulmaktadır. Bölgede faaliyet gösteren tesisler; kuru öğütme tesisi, feldspat flotasyon tesisi ve kurutma olarak belirtilmektedir.

Balıkesir ve Çanakkale bölgesi ocaklarında üretilen ham kaolenin istenen kalite değerlerinde harmanlanması amacıyla Bandırma ve Çanakkale'de kırma harmanlama tesisleri faaliyetlerini sürdürmektedir. Bölgede ham kaolen, beyaz çimento kaoleni, düşük alkalili çimento kaolenini ve halloysit üretilmektedir.

Bozüyük bölgesinde Söğüt ve çevresinin kumlu kil yataklarını işleyerek süzölmüş kil üreten 50.000 ton/yıl kapasiteli kil süzme tesisleri bulunmaktadır. Bu tesislerin ürünleri karo ve saniter sanayiinde kullanılmaktadır.

Bozüyük bölgesinde kil süzme tesisi atığı olan kumların da işlenip tasnif edilmesi amacıyla kum yıkama ve zenginleştirme tesisi 2002 yılında faaliyete geçmiştir. Burada zenginleştirilip boyutlarına göre tasnif edilen kumlar boru, frit, izolasyon ve dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

Çine bölgesinde yurt içi pazarına ve İzmir limanından yüklemelere yönelik olarak Çine/Kapruzlu'da 600.000 ton/yıl kapasiteli bir kırma harmanlama tesisi 2004

yılında faaliyete geçmiştir. 2006 yazında Çine’de devreye giren 60.000 ton/yıl kapasiteli kuvars işleme tesisi Esan’ın bu bölgede sahip olduğu başka bir tesistir. Yeniköy tesisi 150 dönüm arazi üzerine kurulmuş ve 2008 yılında hizmete girmiştir. Kırma harmanlama tesisi 300 ton/saat kapasiteye sahiptir. Burada üretilen feldspatlar genellikle cam sektörüne yönelik kullanılan feldspatlardır. Tesiste kırma, harmanlama, flotasyon sistemi ve kurutma ünitesi bulunmaktadır (<http://www.esan.com.tr/page/hakkimizda/13>).

2.2. Maden İşletmesi ile İlgili Genel Bilgiler

Bu kısımda Eczacıbaşı Esan Kurşun-Çinko Yeraltı Maden İşletmesinin genel olarak tanıtımı, tarihçesi, coğrafi konumu, maden yataklanması ve ocağın rezerv durumu hakkında bilgiler verilmiştir.

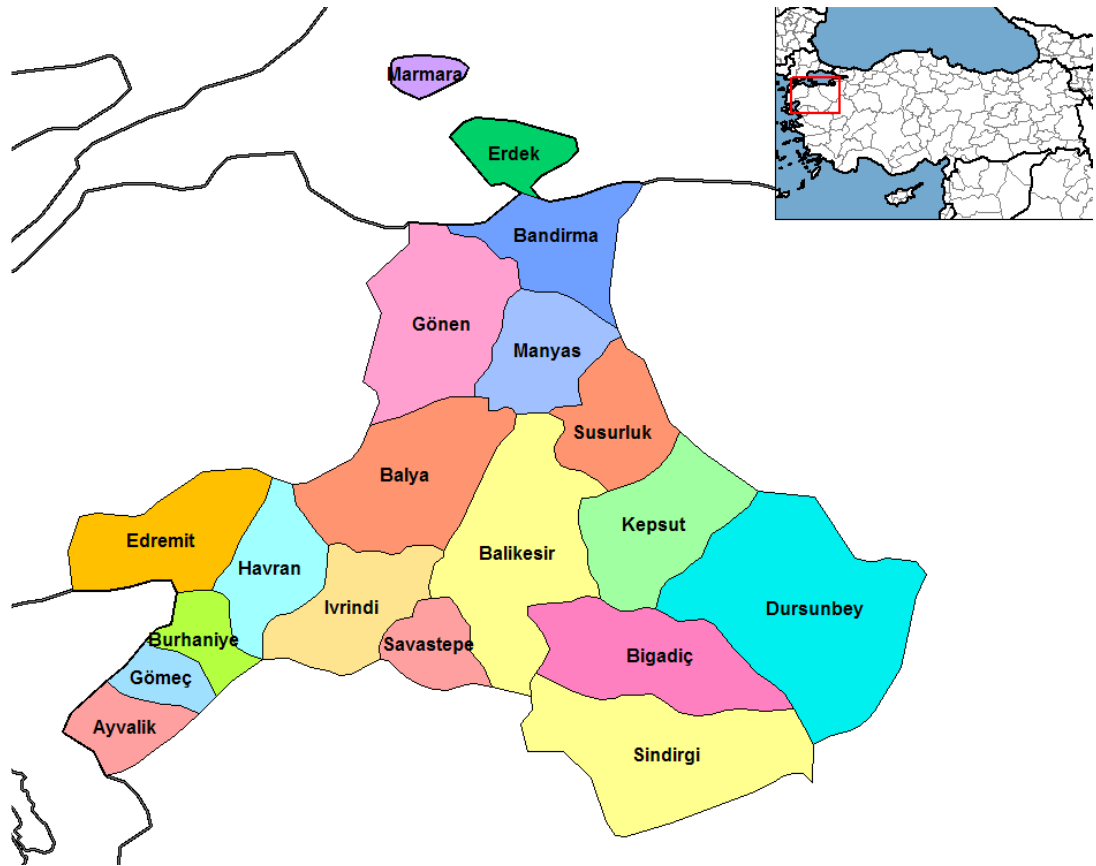
2.2.1. İşletmenin tanıtılması

Bölgede ilk kurulan işletme Balya Karaaydın madenidir. Karaaydın şirketi Türkiye’de yatırım yapan ilk yabancı şirketi olma özelliğini taşımaktadır. Ayrıca Karaydın madeni ile beraber ülkede İstanbul’dan sonra ilk elektrik Balya’ya gelmiş olup, Balya’nın nüfusu 40 binlere ulaşmıştır. Karaaydın madeni 1930 yılında en büyük üretimini gerçekleştirmiştir. Bu yıl üretimini 400 bin tona çıkarmıştır. 1960 yılında bir Türk şirketi olan “Rasih ve İhsan Madencilik Şirketi” sahada önce arama ruhsatı ve sonra 1970’te de 10 yıllık işletme ruhsatı ile faaliyet göstermiştir. Bu şirket, sahada Fransız şirketinden kalan ve ekonomik maden içeren pasaları değerlendirmek üzere işletme hakkını Mutlu Akü firmasının bir kuruluşu olan “Mutlu Türker İzabe Şirketi”ne vermiştir. Türker İzabe Şirketi bölgeye 50 ton/gün kapasiteli bir kurşun-çinko flotasyon tesisi kurmuştur. Daha sonra, Rasih ve İhsan Şirketi ruhsat hakkını yitirdiğinden 1979 yılında saha devletçe Etibank’a devredilmiştir. Esan Balya–Balıkesir bölgesinde 2009 yılında üretime geçen kurşun-çinko işletmesiyle metalik maden sektöründe de faaliyet göstermeye başlamıştır (Arslan, 2010).

2.3. Coğrafi Konum ve iklim

Balıkesir merkezi ile Edremit yolu arasında bulunan Balya, Balıkesir'in 45 metre kuzeybatısında bulunmaktadır. Balya'da tipik karasal iklim görülmektedir. Balya'nın deniz seviyesinden yüksekliği 240 metre olarak ölçülmektedir. Bulduğu konum itibari ile yazları merkez yerleşim yerlerine göre serin, kışları ise yağmur ve kar şeklinde yağışlıdır. Balya'nın coğrafik konumu Şekil 2.1'de gösterilmektedir.

Balya konum itibari ile yumuşak iklim şartlarına sahiptir. Yazları, sıcaklık tehlikeli seviyelere çıkmazken kışları ise birkaç gün olmak kaydıyla don olayları gözlemlenmektedir.



Şekil 2.1: Balya ilçesi yer buldu haritası.

2.4. Hidrotermal Maden yatakları

Kaynağı ve oluş biçiminde bazı farklı görüşlerin bulunduğu "hidrotermal eriyikler" in çeşitli hacimlerde çöktüğü cevher yataklarıdır. Hidrotermal eriyiklerin kaynağının magma olduğuna şüphe yoktur. Ancak bu eriyiklere yüzey sularının da katıldığı bir gerçektir. Maden ve mineral çökelten yüksek sıcaklıktaki eriyiklerin birçoğunun magmatik özelliklerinden şüpheye düşülmesine ilave olarak çevre

kayaçlardan metal çözünmesi ve metallerin yeniden çökelmelerinin ortaya konması, hidrotermal eriyiklerin yalnızca magmanın diferansiyasyonunu takiben oluşmuş eriyikler olmadığını işaret etmektedir. Çözücü etkenin derinlerde dolaşan ve volkanik ocakların tesiriyle sıcaklaşan kloritli sular olduğu kabul edilmektedir. Burada bir genelleştirme yapılırsa; hidrotermal solüsyonları oluşturan sular hem juvenil hemde vadoz sulardan oluşmaktadır. Ancak vadoz suların etkisi oldukça azdır.

Hidrotermal eriyikler bünyelerinde bulundurdukları metalleri plütonik kütlede uzaklara doğru taşıyabilirler. Plütondan uzaklaştıkça sıcaklıklarında azalma olacağından plütona yakın kesimlerde yüksek sıcaklık minerallerini daha sonrada orta ve düşük sıcaklık minerallerini oluştururlar. Hidrotermal eriyiklerin kaynağından çökmesine kadar bütün hareketler kayaçlardaki boşlukların durumuna göre seyredir. Kayaçların boşluklu yapısı kayaç oluşumuyla paralel şekillenebilir. Bu tip boşluklara örnek olarak gözenekler, kristal ağı boşlukları, gaz boşlukları, lav tünelleri, soğuma çatlakları, volkanik breş boşlukları ve katman yüzeyleri verilebilir. Kayaç oluştuktan sonra pek çok boşluk meydana gelebilir. Örneğin çeşitli çatlak ve kırıklar, kıvrımlanma boşlukları, erime ve ayrışma boşlukları ve volkan bacaları bu tip boşlulardandır.

Hidrotermal yataklar Tablo 2.1'deki gibi sınıflandırılabilir.

Tablo 2.1: Hidrotermal yataklar

	Lindgren	Schneidehöln	Fersman
Hipotermal	300-400 °C	350-400 °C	300-400 °C
Mesotermal	200-300 °C	200-350 °C	200-300 °C
Epitermal	50-200 °C	50-200 °C	100-200 °C

Hidrotermal damarların oluşum sıcaklıklarına göre yan kayaçta değişik alterasyonlar meydana gelir. Bunlar Tablo 2.2'de görülmektedir.

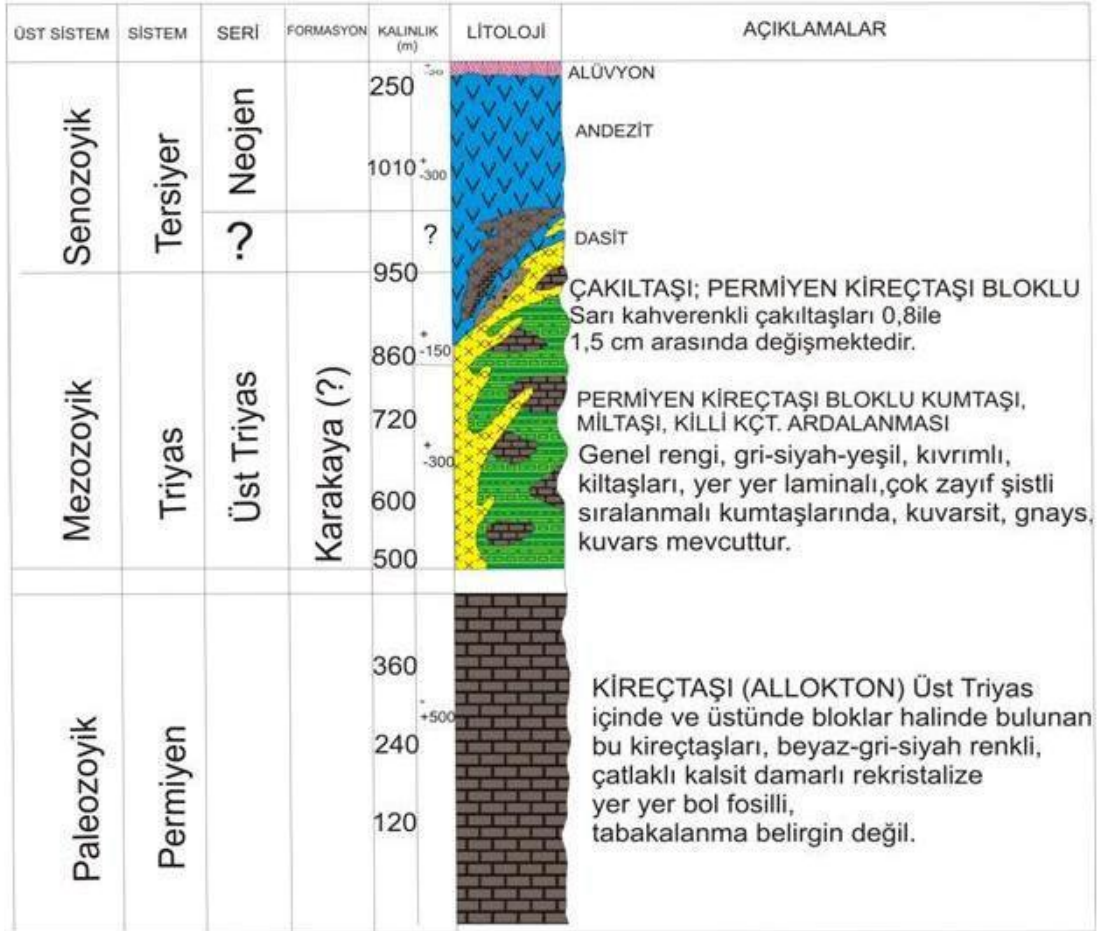
Tablo 2.2: Hidrotermal alterasyonlar

Hidrotermal Evreler	Kayaç	Alterasyon
Hipotermal	Granitler, şistler, lavlar	Greyzenleşme, topaz, mika, turmalin, piroksen, amfibol
Mesotermal	Kireçtaşı	Silisleşme, jasperoid, dolomit,

	Asidik derinlik kayacı Bazik derinlik kayacı Lavlar	siderit Serisit, kuvars, Serpantinleşme, epidot, klorit Silisleşme, killeşme
Epitermal	Kireçtaşı Lav	Silisleşme Alünit, klorit, pirit, serisit

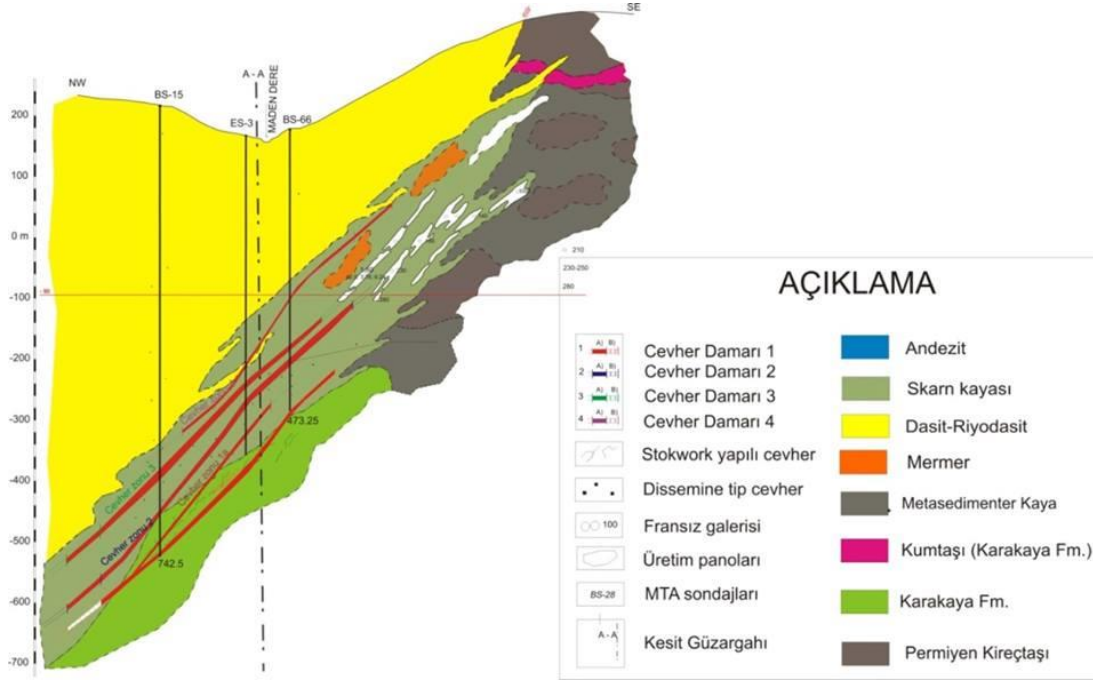
2.5. Jeoloji ve Maden Yatağının Özellikleri

Balya yöresinde, yabancı bloklar oluşturan permien yaşlı kireçtaşı, triyas yaşlı miltaşı – kumtaşı - çakıltaşı ardalanması ve tersiyer yaşlı volkanitlerden kurulu bir jeoloji yapısı bulunmaktadır. Kireçtaşları iki ayrı konumda görülmektedir. Bunların bir bölümü, kendilerinden daha genç triyas tortullarının içinde bloklar biçiminde yer alırken; bir bölümü de, triyas istifinin üzerine taşınarak yerleşmiş durumda durmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Balya ve çevresine ait litoloji sütun kesiti (Akyol, 1977).

Balya ilçesinin bulunduğu alanda, Darıderesi'nin güneyinde, volkanitler göstermelik (mostra) vermektedir. Sahanın dışında da yayılımı çok geniştir. Volkanitler, Permiyen, Triyas ve çalışma alanı dışında kuzeyde, Jura-Alt Kretase formasyonlarını kesmektedir. Özellikle Bahçeler Köyü ile Maden deresi arasında Üst Triyas formasyonlarını delerek çıkıp mostra verdiği saptanmıştır. Andezitler de dasitlerden daha gençtir ve dasitleri kesmektedir. Şekil 2.3'te balya bölgesine ait jeolojik kesit gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Balya jeoloji kesiti.

Volkanik etkinliklerin KD-GB doğrultusunda uzanan faylarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu kaya istifi Kırmızı Tepe'den geçen KD-GB uzanımlı "Büyük Fay" ile kesilmektedir.

Düşeye yakın duruşlu bu fayın cevherleşmeyi de yönlendirdiği düşünülmektedir.

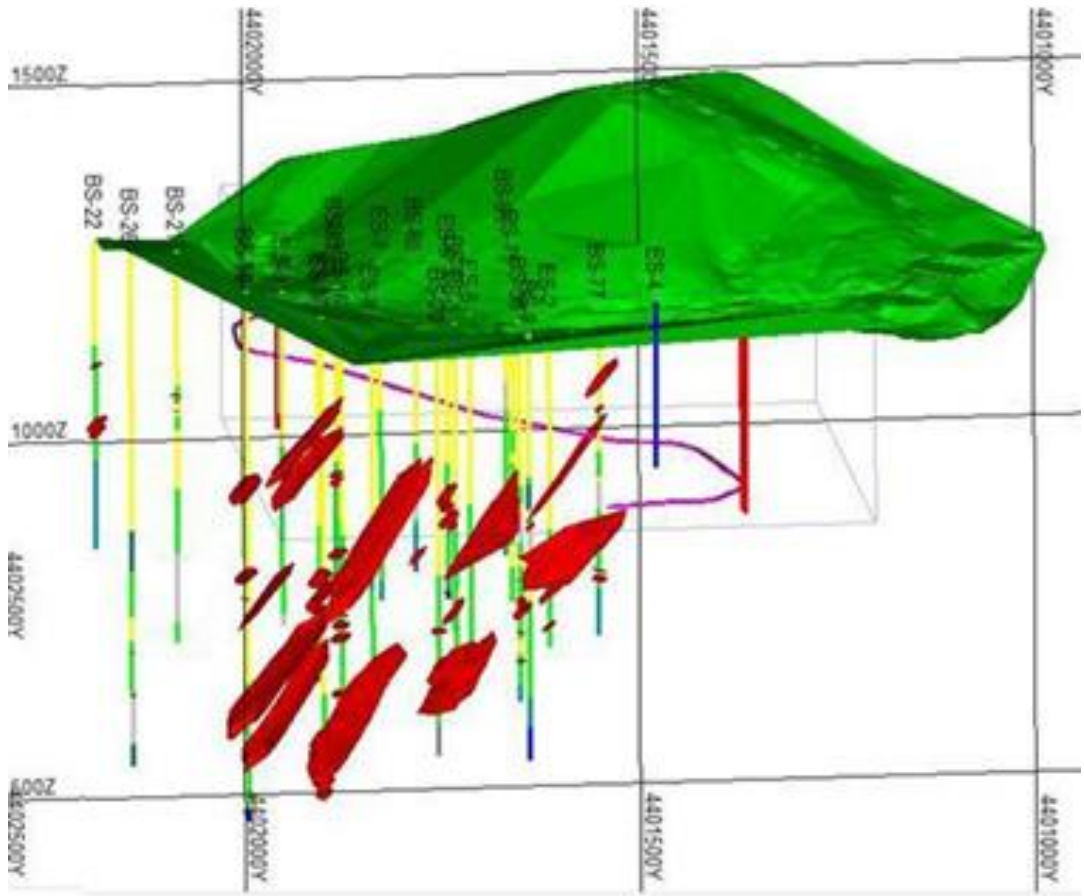
Cevher oluşumu genellikle dasit-kireçtaşı dokanağında kontakt pirometasomatik ve kireçtaşının çatlaklarında hidrotermal damar türünden olduğu belirtilmektedir. Damar türü cevher yataklarından, dasit çatlaklarında olanlar realgar, orpiment, galenit, sfalerit ve pirit; kireçtaşının çatlaklarına yerleşmiş olanlar galenit, sfalerit, antimonit, pirit, realgar ve orpiment birlikteliklerinden oluşmaktadır. Yalnızca pirit damarları, piritli sfaleritli galenitli damarlar, orpimentli realgarlı damarlar ve çok az da sfaleritli antimonit damarları ile karşılaşılabilir.

Skarnlardaki kontakt türü cevher daha zengin olarak gözlenmektedir. Bunlar, dasitle kireçtaşlarının dokanaklarında oluşmuştur. Dokanak zonlarında skarn minerallerinin

gelişmiş olduğu gözlenmektedir. Karşılaşılan başlıca cevher mineralleri magnetit, pirit, pirotin, arsenopirit, kalkopirit, markazit, tetrahedrit, galenit ve sfalerit olarak belirtilmektedir (Akyol, 1977).

2.6. Rezerv Durumu

Eczacıbaşı ESAN kurşun – çinko maden işletmesinde her yıl ortalama 35.000 metre sondaj yapılmaktadır. Bu sondajlardan elde edilen veriler ile, 2013 yılı içerisinde yeraltından 1.200.000 ton tüvenan cevher çıkartılmıştır. Üretim faaliyetleri devam ederken bir yandan da arama çalışmaları devam etmektedir. Daha derin kotlarda açılacak olan üretim katları için cevher aranmaktadır. Yapılan sondajlar doğrultusunda 3 boyutlu model analizine göre görünür rezerv 8 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Yapılan sondajlar doğrultusunda verilen planlara göre sürülen üretim galerileri bittiği zaman yeni üretim bölgeleri oluşturmak amacıyla bu galeriler sondaj için arama grubuna verilir. 760 sondaj katından halen devam etmekte olan sondajlar daha derinlerdeki cevher yataklarını aramaktadır. Şekil 2.4'te işletmeye ait cevher modellemesi gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Balya Pb-Zn Madeni 3 boyutlu cevher modellemesi.

3. YERALTINDA YAPILAN İŞLER İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

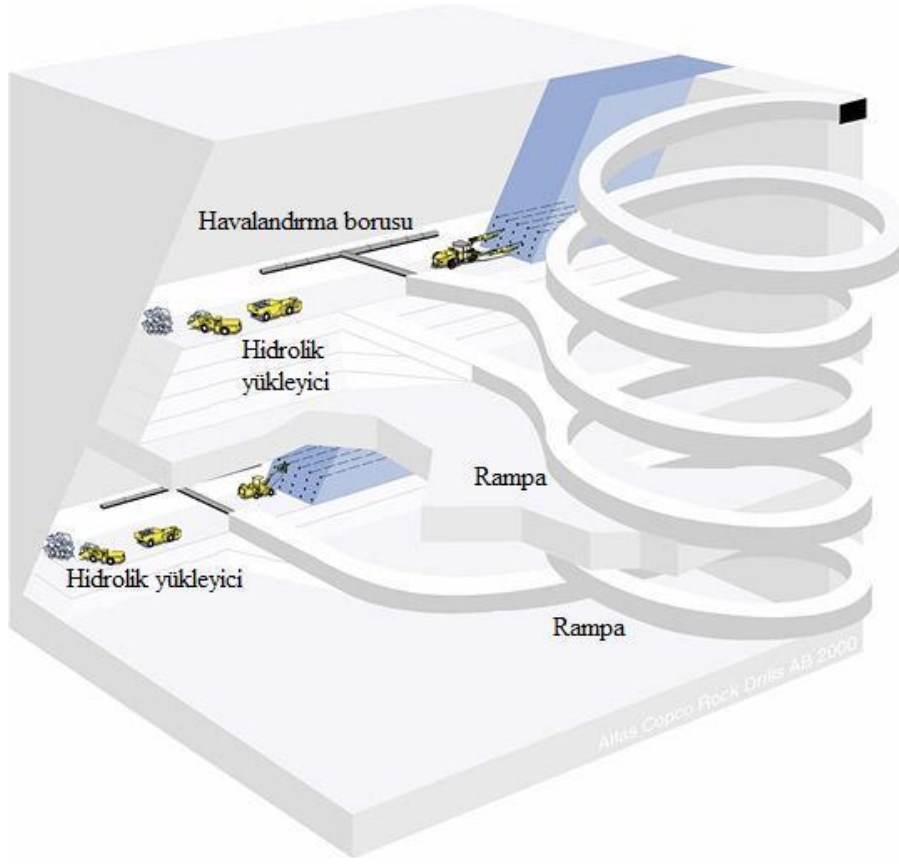
Çalışmanın üçüncü bölümünde, Eczacıbaşı Esan Kurşun-Çinko yeraltı madeninde kullanılan yatay dilimli dolgulu yöntemle ait üretim çalışmaları ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Cevher kazısı ve galeriler, delme ve patlatma işleri, yükleme ve nakliye işleri ve ayrıca tahkimat işleri detaylı olarak analiz edilmiştir.

3.1. Üretim Yöntemi

Balya Esan Kurşun-Çinko Yeraltı Madeni'nde yatay dilimli dolgulu madencilik yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntem ile cevher ilk önce yatay dilimlere ayrılmakta daha sonra ayrılan bu dilimler sırasıyla kazılmaktadır. Üretimi yapılan katlarda oluşan boşluklar beton ya da yerine göre pasa dolgu ile doldurulmaktadır. Yapılan bu dolgu hem iş ve işçi güvenliğini sağlamakta, hem de bir sonraki katın çalışması için zemin oluşturmaktadır.

Yatay dilimli dolgulu madencilik yönteminde kazılacak cevher yatağı planlı bir şekilde dilimlere ayrılmaktadır. Spiral şekilde sürülen rampadan kazılacak cevhere yatay yönde galeriler açılarak üretim katları oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu arakatlarda cevher üretimi için delme patlatma işleri yapılmaktadır.

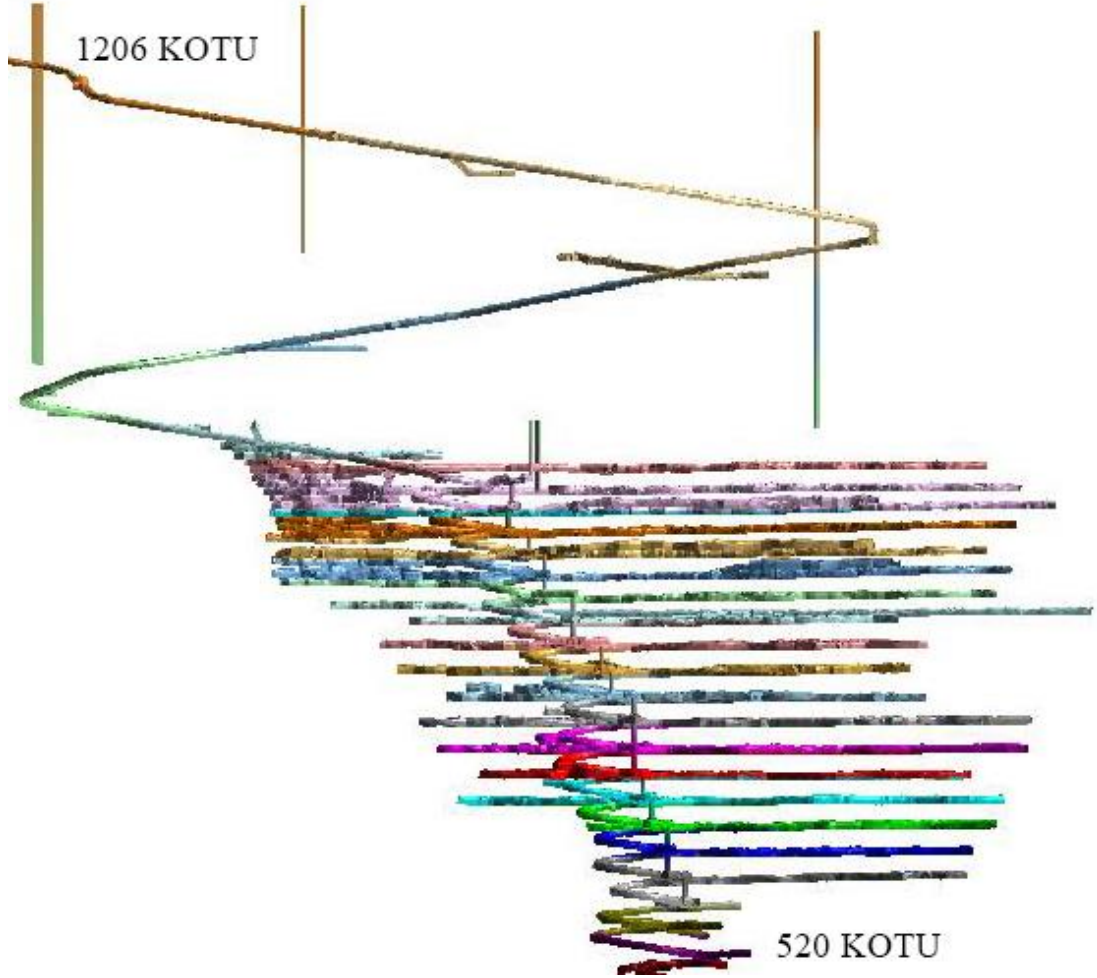
Arakatlı dolgulu madencilik yönteminin bazı faydalı ve sakıncalı yönleri bulunmaktadır. İşçiler kazı boşluğunda çalışmadıkları için emniyetli bir yöntem olması, kazı ve yükleme işlemini mekanize etmenin kolay olması, tahkimat malzemesinde malzeme sarfiyatının az olması, kazı ve yükleme işlemlerinin birbirlerini engellememesi bu yöntemin faydalı yönleri olarak gösterilmektedir. Cevherin jeolojik sınırlarının iyi tespit edilmiş olma zorunluluğu bu yöntemin sakıncalı yönü olarak gösterilmektedir. İşletmeye ait üretim yönteminin temsili çizimi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Yatay dilimli dolgulu yöntem (Smith, 2008).

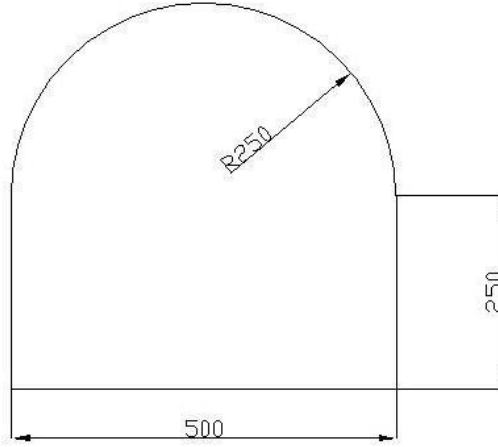
3.2. Yeraltı Açıklıkları Hakkında Genel Bilgi

Yatay dilimli dolgulu üretim yöntemi dik ve dike yakın damarlarda ve yan taşın sağlam olduğu cevherleşmelerde uygulanmaktadır. Cevher damarına dik sürülen ana nakliye galerisi, cevheri kestikten sonra cevhere dik olarak üretim katları açılır ve cevher doğrultusu boyunca doğu ve batı olmak üzere iki yönlü kazılarak üretim galerileri oluşturulur. 5 metre yüksekliğinde bir hazırlık galerisi için katlar arası mesafe 15 metre olmalıdır. Bu plan çalışma koşulları gereğince 722 katı ve aşağısında rahat çalışma mesafesi oluşturulması adına 6 metre ve üç kat toplamında 18 metreye çıkarılmıştır. Galeriler dışındaki bağlantılar ise havalandırmayı sağlamak amacıyla havalandırma kuyuları, cevherleşmeyi eğimi boyunca takip etmek için açılan üretim galerileridir. Maden ocağının genel görünümü Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Maden ocağının Kuzey – Güney görünümü.

Eczacıbaşı Esan Balya Kurşun–Çinko Yeraltı Ocağı 1206 kotunda açılan ana nakliyat galerisi girişi ile başlamaktadır. 5 metreye 5 metrelik at nalı şeklinde olan ana nakliyat galerisi yaklaşık 14 derece eğimle ilerlemektedir. At nalı şeklindeki ana nakliyat galerisinin kesit görünümü Şekil 3.3’te verilmiştir. Hafif kıvrımlarla ilerleyen ana nakliyat galerisi 1000 m’den sonra bir U şekli çizerek 1300 m’de eski Fransız galerisi ile birleşmektedir. İlerlemeye devam eden ana nakliyat galerisi yaklaşık 1780 m’de 950 katında tekrar eski Fransız galerisi ile birleşmektedir. 1800 metreden sonra tekrar U şeklinde devam eden galeri 2400. metrede spiral rampaya bağlanmaktadır.



Şekil 3.3:Ana nakliyat galerisi kesiti.

3.3. Delme ve Patlatma İşleri

Üretim galerilerinin açılmasında ilk iş olarak delme işlemi yapılmaktadır. Delme işleminde jumbo adı verilen delik deliciler kullanılmaktadır. Jumbo operatörü delme işlemini yaparken jumbo yardımcısı da makinenin gerekli bölgelerini yağlama, delici uç değiştirme, spli set takma ve tabana delinen deliklerin tıkanmaması için kullanılan taban borularını yerleştirme işleri ile ilgilenir.

Balya kurşun- çinko Madeni'nde delme işlemi, çift kola sahip üç adet Sandvik DD320-40, bir adet Mine Master Face Master ve bir adet Atlas CopcoBoomer 282 ile yapılmaktadır (Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6). Jumboların tümü çift kol ve elektrik enerjisi ile delme işlemini yapmaktadır. Ayrıca delim işleminde deliklerin temizlenmesi ve bitlerin soğutulması için su kullanılmaktadır.



Şekil 3.4:Sandvik marka DD320 – 40 model delici makine.



Şekil 3.5: Mine Master markaFace Master model delici makine(www.directindustry.com).

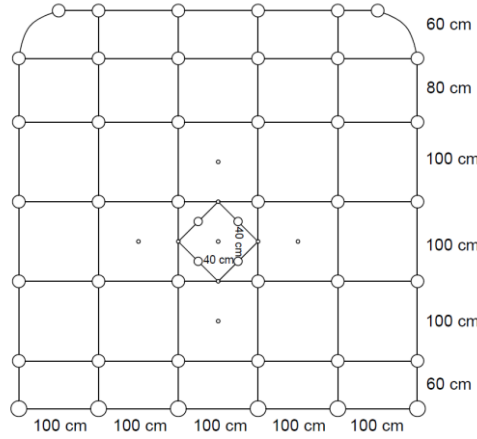


Şekil3.6: Atlas Copco marka Boomer 282 model delici makine.

Yürüyen aksama sahip jumbo aynaya ulaştırıldıktan sonra elektrik ve su kabloları bağlanmaktadır. Elektrik kablosunun suya temas etmemesi için kablo, her üretim galerisinde duvarlarda bulunan kancalara asılarak zeminden uzak tutulmaktadır. Kurulumu tamamlanan jumbo ile delme işlemine başlamadan önce mutlaka emniyet şeridi çekilmelidir, bu işlemin yapılmaması, aynaya gelen diğer araçlar tarafından kabloların zarar görmesine yol açmaktadır. Jumbo kullanımı sırasında yüksek şiddette çıkan sesin kulaklara zarar vermesini önlemek için kulak içi tıkaçlar kullanılmaktadır.

Jumbo ile galerilerde delik düzeninde 4 m uzunluğunda delikler 4,30 m'lik çelik çubuklar (Rodlar) ile delinmektedir. Beş metre genişliğinde ve beş metre

yüksekliğinde bir galeri açmak için ortalama 45-52 ayna deliği ve 4 adet çürütme deliği delinmektedir. Delme işlemi sırasında kullanılan bit çapları ayna tabanındaki 6 delikte 64 mm, Çürütme deliklerinde 102 mm ve kalan ayna deliklerinde ise 45 mm olmaktadır. Taban deliklerinin delme işlemi bittikten sonra deliklerinin temiz kalması için tabanlara her deliğin delme işleminin bittiği an 5 metre uzunluğunda plastik borular sokulmaktadır. Aynalardaki delik delme düzeni Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: 5x5m ayna delik delme düzeni.

Verimli bir patlatma için deliklerin düzgün delinmesi ve temizlenmesine özen gösterilmektedir. Düzgün delinmemiş ve temizlenmemiş deliklerde patlatma işlemi yapılmayacağından, bu işlemin düzgün yapılması iş kaybını büyük ölçüde engellemektedir.

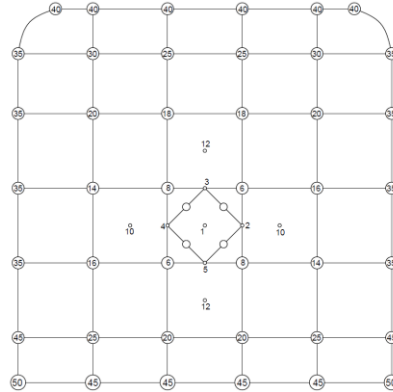
Delme işleminden sonra delik şarjı ve patlatma işlemine geçilmektedir. Aynada şarj işleminde dört kişilik ateşçi ekibi kullanılmaktadır. Şarj işlemi için bir adet JCB TM310, ayrıca dinamit ve kapsüllerin taşınması içinde bir adet Mercedes Axor 3340 kamyon kullanılmaktadır (Şekil 3.8). Şarj işlemine başlamadan güvenlik nedeni ile emniyet şeritlerinin çekilmesi işlemi yapılmaktadır.



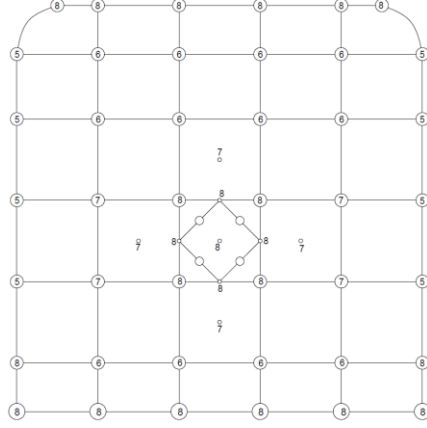
Şekil 3.8: JCB marka TM310 model makine.

Delikler kontrol edildikten sonra kazma ile kavlak kontrolü yapılır. Ayna kavlaklardan arındırıldıktan sonra sepetli TM310 ile şarj işlemine aynanın güvenlik sebebiyle en üstünde bulunan deliklerden başlanmaktadır. Ateşçilerden herhangi birinin, çalışan makinanın altına girmesi iş güvenliği açısından tehlikelidir ve yasaklanmıştır.

Ayna patlatılırken serbest yüzey oluşturmak için önce göbek delikleri daha sonra sırasıyla yan duvar, tavan ve son olarak da taban deliklerinin patlatılması yapılmaktadır. Ayna patlatma sırası, deliklere doldurulan dinamit sayısı ve gecikmeleri Şekil 3.9 ve 3.10'da gösterilmiştir (Şekildeki rakamlar x100 ms şeklindedir).



Şekil 3.9: 5x5m ayna deliklerine konulan kapsül numaraları.



Şekil 3.10: 5x5 m ayna deliklerine doldurulan dinamit adedi.

Şekildeki düzene göre 5x5 m boyutlarındaki bir galerinin patlaması yaklaşık 5 sn sürmektedir.

Bu verilere göre 5x5 m boyutlarında ve ayna yüzeyinde 54 delik bulunan bir aynaya ortalama 176 kilogram patlayıcı doldurulmaktadır.

Delik dibindeki patlayıcıya bağlanmış kapsüller birbirlerine 7000 m/sn infilaklı fitil ile bağlanmaktadır. Fitil ucu ise bir adet elektrikli kapsüle bağlanmaktadır. Bu işlem yapıldıktan sonra ayna, güvenli uzaklığa gitmek için terk edilir. Patlatma işlemine başlamadan önce haberci iki alttaki ve iki üstteki katı boşaltmak için gönderilmektedir.

Patlatma işlemi ateşçi tarafından manyeto ile yapılmaktadır. Elektrikli kapsül hatta bağlandıktan sonra güvenli mesafeden patlatma gerçekleştirilmektedir.

3.4. Yükleme ve Nakliye

Balya Esan Kurşun-Çinko Madeni'nde patlatma işlemi bittikten sonra çıkan malzemenin yüklenmesi ve taşınması işlemi gerçekleştirilmektedir. Malzemenin yüklenmesi işinde Volvo marka veL120F model lastikli kepçe kullanılmaktadır

Balya Esan Kurşun-Çinko Madeni'nde patlatılan malzemenin taşınması için 18 adet 25 ton güvenli çalışma kapasitesi bulunan damperli kamyonlar kullanılmaktadır. Kamyonların damperleri 5 metre yüksekliğe kalkabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kamyon malzeme alımı için yükleyiciye yanaşmakta, yükleyici kepçesini boşalttıktan sonra tekrar manevralar yapılmaktadır. 25 ton kapasiteli kamyon malzemenin durumuna göre 3-4 kepçe ile dolmaktadır. Patlatılmış malzemenin yüklenmesi ardından yeryüzüne taşınması, taşıma mesafesi ve manevra yapabilme durumuna bağlı olarak değişmektedir.

3.5. Tahkimat İşleri

3.5.1. Püskürtme beton

Nakliyesi bitmiş aynalarda kavlak temizleme işlemi gerçekleştikten sonra püskürtme beton uygulamasına geçilir. Bu uygulamanın amacı ayna duvarlarından gelebilecek ufak parçaları yüksek mukavemetli beton yardımıyla engellemek ve sağlam kayacın hava ile bağlantısını kesmektir. Bu işlem Titan marka püskürtme beton ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Titan marka püskürtme beton makinesi.

Püskürtme beton yerüstünde, beton santralinde hazırlanmaktadır. 5 m³ olarak hazırlanan püskürtme beton; mikser ile daha önce operatör ve yardımcısı tarafından elektrik ve su bağlantıları yapılmış püskürtme beton makinesinin kazanına dökülmektedir. Uzaktan kumanda ile kontrol edilen Titan kullanılarak galeri cidarına püskürtme beton uygulaması yapılmaktadır. Mikserin gelmesi beklenirken püskürtme betonun yapılacağı alan kavlaklardan arındırılmak ve tahkimat yapılacak bölgeyi temizlemek için basınçlı su ile yıkanmaktadır.

Püskürtme beton karışımı beton santralinde otomatik olarak hazırlanmakta ve buradan miksera aktarılmaktadır. Hazırlanan püskürtme beton karışımı beton makinesine dökülmek üzere yeraltına gönderilmektedir.

Püskürtme beton hazırlanmasına özen gösterilmesi büyük önem arz etmektedir. Benzer şekilde kullanılan agreganın boyut dağılımına dikkat edilmesi gerekmektedir (Şekil 3.12). Boyutları istenilen orandan iri olan taneler beton makinesinin borularını tıkamakta bu da iş kaybına yol açmaktadır.

İnce tanelerin fazla olması durumunda betonun kıvamı yumuşamaktadır. İnce tanelerin az olması durumunda betonda ayrışmalar oluşmakta ayrıca püskürtme sırasında geri sıçrama artmaktadır.



Şekil 3.12: Püskürtme beton yapımında kullanılan agrega.

Püskürtme betonun hazırlanmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer hususta su miktarının ayarlanması olarak belirtilmektedir. Su miktarının fazla olması püskürtme betonun kayaya yapışmasını zorlaştırmakta ve iş kaybına yol açmaktadır.

Püskürtme beton hazırlanmasında normal portland çimentosu kullanılmaktadır. Püskürtme beton hazırlanırken pompalanabilirliğini yükseltmek için akışkanlaştırıcı ilave edilmesi gerekmektedir. Ayrıca püskürtme betonun çabuk dayanım alması gerektiği için priz hızlandırıcı kullanılmaktadır.

3.5.2. Kaya saplaması

Balya Esan Kurşun-Çinko Madeni'nde tavandan ve ayna duvarlarından düşebilecek büyük boyutlu blokları sağlam zemine bağlamak amacıyla splitset olarak bilinen ve sürtünme prensibiyle çalışan kaya saplaması uygulaması yapılmaktadır (Şekil 3.13). Bu işlem ayna delme işlerinde de kullanılan jumbolar ile gerçekleştirilmektedir. Öncelikle 35 milimetrelik delici uç ile 2,80 metre uzunluğundaki çelik çubuğa (rod) takılmakta ve delikler delinmektedir. Delikler formasyona göre 1 veya 1,2 metre aralıklarla delinmektedir.



Şekil 3.13: Splitset.

Tam boy sürtünme prensibi ile yk sonucu oluşan yer değiştirmeleri sınırlayan splitsetler delik delme işlemi yapıldıktan sonra çakma aparatı takılarak önceden açılmış deliklere çakılıp sabitlenir. Splitsetler standart olarak 2,40 metre uzunluğunda, 39 milimetre çapında akılmaktadır. Delme ve çakma işlemi dzĐn yapılan splitsetler ortalama 3 ton yükü karŐılayabilmektedir.

3.5.3. Dolgu

Balya Esan Kurşun-inko Madeni'nde üretimi tamamlanan galeriler dolgu malzemesi ile doldurulmaktadır (Şekil 3.14). Doldurulan bölgelerde yapılacak üretim faaliyetine bağlı olarak dolgunun imento ve su miktarı değişmektedir. retimi tamamlanan galerinin bir alt katında üretim yapılacaksa, üretimi tamamlanmış galeri %8 imento içeren dolgu ile doldurulmaktadır. Doldurulacak galerinin alt katı daha önceden çalıŐılmış ve dolgu ile doldurulmuş ise bu galeri %6 imento içeren dolgu ile doldurulmaktadır. Dolgu reçeteleri ile ilgili bilgiler Bölüm 6'da sunulmuştur.

Hazırlanan dolgunun su miktarı, gelen agreganın durumuna göre (nemli veya çamurlu olması halinde) santralden sorumlu maden mühendisi tarafından incelenerek gerekli kıvamın ve dayanımın tutturulması için deĐiŐtirilebilmektedir.



Şekil 3.14: Dolgu yapımında kullanılan agrega.

Dolgu malzemesi yerüstünde beton santralinde hazırlanmaktadır (Şekil 3.15). Otomatik mikserde hazırlanan dolgu malzemesi kamyonlarla yeraltına gönderilmektedir.



Şekil 3.15:Beton santrali.

Malzeme ile dolan yüklü kamyon dolgu yapılacak yere malzemeyi boşaltmaktadır. Boşaltılan malzeme JCB TM310 iş makinesi yardımıyla sıkıştırılarak dolgu yapılmaktadır.

Dolgu malzemesi hazırlanırken konulan su miktarına dikkat edilmektedir. Suyun fazla konması malzemenin akışkan olmasına neden olmaktadır. akışkan malzeme itilirken büyük sorunlar çıkartmakta ve dolgunun sağlamlığını ve sıkıştırılabilirliğini etkilemektedir.

Çimento mikserde otomatik olarak silolardan dökülmektedir. Kullanılacak çimento miktarının ayarlanması beton santralindeki bilgisayar programından verilen dolgu reçetesine göre ayarlanmaktadır.

Püskürtme beton ve dolgu hazırlanmasında kullanılan agrega maden ocağı sahasından çıkarılan malzemenin ve yeraltından çıkarılan pasanın kırılması sonucunda elde edilmektedir.

4. YERALTI AÇIKLIKLARININ TAHKİMATI

Yeraltı açıklıklarının tahkimatı başlığı altında dünya genelinde kabul gören kaya kütle sınıflama sistemlerinden, Q ve RMR sistemlerine göre yapılan tasarımların esasları verilmiştir. Ayrıca kaya kütle parametrelerine göre kaya kütlelerinin dayanım parametrelerinin hesapları ve kaya patlama olgusu incelenmiştir.

4.1. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri ile Tahkimat

Yeraltı açıklıklarında tahkimat seçiminde kullanılan bu sistem; kaya kütlesi üzerinde yapılan ölçümler, arazi verileri ve mühendislik deneyimlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Dünya genelinde daha önceden uygulanmış olan tahkimat tipleri ve kaya deformasyon özellikleri bir araya getirilerek yeni uygulama alanlarının üzerinde yorum yapabilme şansı geliştirilmiştir. Bu yorumlama sayesinde değişik formasyonlarda farklı tahkimat tipleri bu sistemler sayesinde uygulanabilmektedir.

Kaya sınıflandırılmasının sebebi, ortamdaki kayaların sağlamlık ve deformasyon özelliklerinin karşılaştırılabilmesidir. Bu amaçla kayanın iki önemli mekanik özelliği incelenir. Basınç dayanımı σ_c ve elastisite modülü E'dir. Tablo 4.1'de yaygın olarak kullanılan sınıflama sistemleri özetlenmiştir (Karpuz ve Hindistan, 2006).

Tablo 4.1: Yeraltı açıklıklarında kullanılan sınıflama Sistemleri (Edelbro, 2004).

Sistem Adı	Geliştirenler	Uygulama Alanları
Kaya Yüğü	Terzaghi 1946	Çelik destekli tüneller
Desteksiz Durma Süresi	Lauffer, 1958	Tünelcilik
NATM	Rabcewicz, 1963	Tünelcilik
RQD	Deere v.d. , 1967	Karotloglama, Tünelcilik
RSR	Wickhamv.d. 1972	Tünelcilik
RMR	Bieniawski, 1973	Tüneller, madenler, şevler, temeller
Q	Barton, v.d. 1974	Tüneller, madenler
MRMR	Laubscher, 1975	Madenler
GSI	Hoek v.d, 1995	Madenler, tüneller
RMÍ	Palmström, 1995	Kaya mühendisliğı

4.1.1. Kaya kütle puanı (RMR) sistemi

Yeraltı açıklıklarının tahkimat tasarımlarına karar verme ihtiyacının artmasıyla ortaya çıkan kaya sınıflama sistemlerinden kaya kütle puanı (RMR) sistemi Bienawski tarafından 1973 – 1989 yılları arasında başlıca tüneller olmak üzere çeşitli projelerde kullanılan veriler toplanılarak geliştirilmiştir. Sistem ilk olarak 1972’de ortaya çıkmıştır. Bu ilk sistem; Tablo 4.2’de verilen parametreler gözlemlenerek verilen puanlara göre kaya sınıflaması yapılması esasına dayanmaktadır (Bieniawski, 1989).

Bu parametreler;

- RQD değeri
- Kayaç malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı
- Eklem durumu
- Yeraltı suyu
- Eklem sıklığı, olarak beş başlık altında toplanmaktadır.

Tablo 4.2: Sınıflandırma parametreleri ve değer aralıkları (Bieniawski,1989).

Parametre	Değer Aralıkları							
1 Sağlam kayanın dayanım ¹ (MPa)	Nokta yük indeksi	> 10	4-10	2-4	1-2	Tek eksenli basınç deneyini kullan		
	Tek eksenli basınç mukavemeti	> 250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
Derecelendirme	15	12	7	4	2	1	0	
2 RQD (%)	Derecelendirme	90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
	Derecelendirme	20	17	13	8	3		
3 Eklemleri sıkl. (m)	Derecelendirme	> 2	0,6-2	0,2-0.6	0,06-0,2	<0,06		
	Derecelendirme	20	15	10	8	5		
4 Eklemleri durumu	Çok kaba yüzler sürekli değil ayrılma yok eklemeli sert duvar kayası	Az kaba yüzler ayrım <1mm eklemli ser duvar kayası	Az kaba yüzler ayrım <1 mm eklemli yumuşak duvar kayası	Sürtünme izli yüzler veya fay kili <5mm veya 1-5mm açık eklemler sürekli eklemler	Yumuşak fay kili > 5 mm. kalınlık veya açık eklemler >5mm. sürekli eklemler			
	Derecelendirme	30	25	20	10	0		
5 Yeraltı su	Tünelin 10m.kısmında gelen su Lt/dk	Yok	< 10	10-25	25-125	> 125		

Oran	Eklemdenki su basıncı	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
	Asal gerilme					
Genel koşullar	Kuru			Nemli	Orta basınç	Önemli su prob.
Derecelendirme	15	10	7	4	0	

Bu kaya sınıflama sisteminde gözlemlenen parametreler Tablo 4.3'e göre puanlandırıldıktan sonra Tablo 4.4'e göre tekrar düzenlenir. Ortaya çıkan son puan ile Tablo 4.5 yardımıyla kayanın hangi sınıfa ait olduğu ortaya çıkarılır.

Tablo 4.3: Eklem yönleri ve puanlaması (Bieniawski, 1989).

Eklemlerin doğrultu eğim ve yönleri		Çok uygun	Uygun	Orta	Uygun değil	Hiç uygun değil
Derecelendirme	Tüneller	0	-2	-5	-10	-12
	Yamaçlar	0	-2	-7	-15	-25
	Şevler	0	-5	-25	-50	-60

Tablo 4.4: Kaya sınıflama puanına göre derecelendirme (Bieniawski, 1989).

Derecelendirme	100-81	80-61	60-41	40-21	< 21
Sınıflama no	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya

Ortaya çıkan kaya puanına göre Tablo 4.4'ten kayanın hangi sınıfa ait olduğu öğrenildikten sonra Tablo 4.5'e veriler yorumlanır.

Tablo 4.5: Kaya sınıflamasına göre yorumlamalar (Bieniawski, 1989).

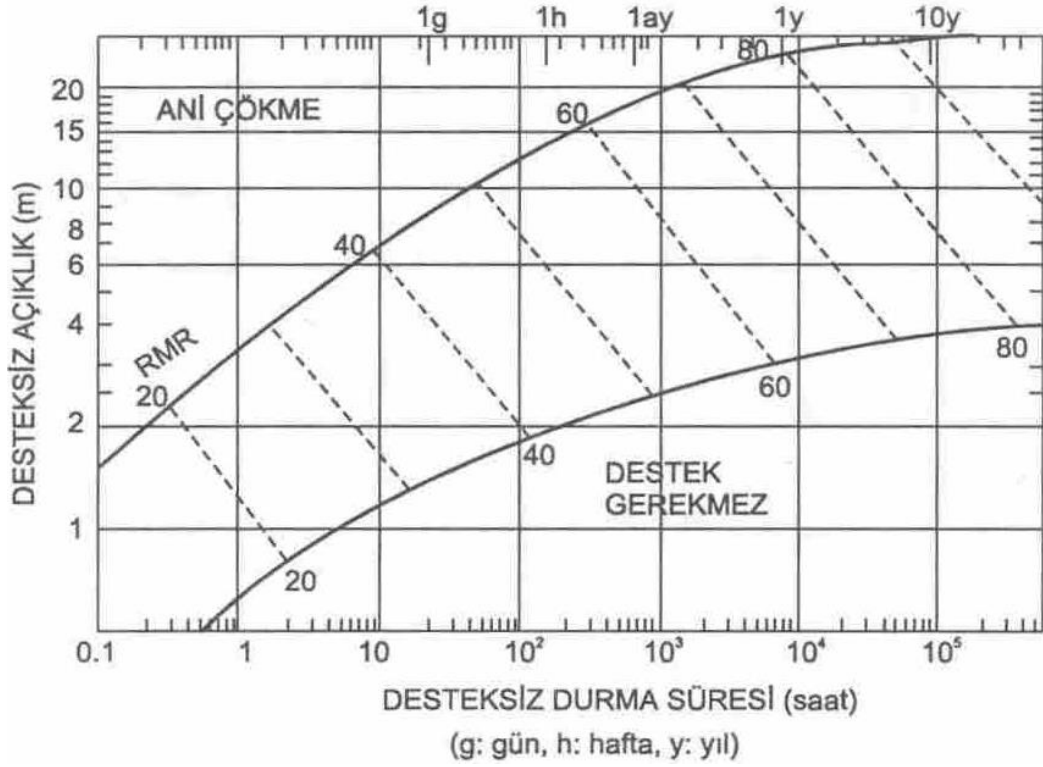
Sınıflama No	I	II	III	IV	V
Ortalama Dayanım süresi	15 m açıklık için 20 yıl	10 m açıklık	5 m açıklık için 1 hafta	2.5 m Açıklık için 10 saat	1 m açıklıkta 10 dakika
Kaya kütlelerinin kohezyonu (kPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	<100
Kaya kütlelerinin Sürtünme açısı	>45	35-45	25-35	15-25	<15
Malzemenin Kazılabilirliği	Çok zor	Kolaylıkla büyük parçalar Çıkmaz	Orta	Kolaylıkla Kazılır İyi parçalanma	Çok iyi

RMR, 1989 yılında zaman içinde toplanan veriler ve Bienawski tarafından devam eden çalışmalar sonucunda son haline gelmiştir. Gelişen sisteme göre kaya sınıflamasının yapıldığı parametreler ve değer aralıkları Tablo 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.6: Geliştirilmiş RMR sınıflama sistemi (Bieniawski, 1989).

Parametre		Değer Aralıkları								
1	Sağlam kayanın mukave-meti (MPa)	Nokta yük indeksi	> 8	4-8	2-4	1-2	Tek eksenli basınç deneyini kullan			
		Tek eksenli basınç mukavemeti	> 200	100-200	50-100	25-50	10-25	3-10	1-3	
	Derecelendirme		15	12	7	4	2	1	0	
2	Sondaj karot kalitesi RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25			
	Derecelendirme		20	17	13	8	3			
3	Eklemleri sıklığı (m)		> 3	1-3	0.1-1	0.05-0.3	<0.05			
	Derecelendirme		30	25	20	10	5			
4	Eklemleri durumu		*	**	***	****	*****			
	Derecelendirme		25	20	12	6	0			
5	Yeraltı suyu	Tünelin ilk 10m. kısmından gelen su lt/dk	Yok	<25	25-125		> 125			
		Oran			Eklemdeki su basıncı	0.2-0.5				
			0	0.0-0.2	>0.5					
	Genel koşullar	Tamamen kuru		Yalnızca Nemli	Orta basınç altında su	Önemli su problemleri				
	Derecelendirme		10		7	4	0			
Not	*	Çok kaba yüzler sürekli değil ayrılma yok eklemeli sert kaya								
	**	Az kaba yüzler <1mm açıklıklı eklemli sert kaya								
	***	Az kaba yüzler <1 mm açıklıklı eklemli yumuşak kaya								
***** Sürtünme izli yüzeyler veya fay kili <5mm veya 1-5mm açık eklemli sürekli eklemli										
*****Yumuşak fay kili > 5 mm. kalınlık veya açık eklemli > 5mm. sürekli eklemli										

Geliştirilmiş RMR sınıflama sistemine göre kayanın tahkimatsız durma süresi Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1: RMR abacı (Bieniawski, 1989).

RMR sınıflama sisteminden yararlanılarak tahkimat sistemine gelen basınç Eşitlik 4.1'den faydalanılarak hesaplanır. Bu eşitlikte;

P: Tahkimat sistemine gelen basıncı (kN/m^2)

γ : Kayacın birim hacim ağırlığını (kN/m^3) ve

B: Tünelin genişliğini (m) göstermektedir.

S_R : Gerilme faktörü (Yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı olarak belirlenmiştir (Bieniawski, 1989).

$$P = \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \cdot \gamma \cdot B \cdot S_R \quad (4.1)$$

RMR sınıfına göre at nalı tipli bir yeraltı kazı açıklığına ilişkin tahkimat tasarımı Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7: RMR sistemine göre tahkimat tasarımı (Bieniawski, 1989).

Kaya Kütle Sınıfı	Kazı	Tahkimat		
		Kaya Saplama	Püskürtme Beton	Çelik Bağlar
Çok iyi kaya	Tam cepheli, 3 m ilerleme	Genellikle rassal kaya saplamalarının dışında başka bir tahkimata gereksinim duymaz		
İyi kaya	Tam cepheli, 1,0-1,5 m ilerleme, Aynaya 20 m mesafede tam tahkimat	Tavan kemerinin 3 m gerisine 2,5 m aralıklarla tel örgü ile birlikte kaya saplama uygulanır	Gerektiğinde tavana 50 mm kalınlığında beton püskürtülür	Yok
Orta kaya	Tavan ve tabandan ilerleme, tavandan 1,5-3 m ilerleme, tam tahkimat aynaya 10 m mesafede tam tahkimat.	4 m uzunluğunda 1,5-2 m aralığında sistematik kaya saplama yerleştirilir ve tel örgü kullanılır	Tavana 50-100 mm duvarlara 30 mm kalınlığında	Yok
Zayıf kaya	Tavan ve tabandan ilerleme, tavandan 1,0-1,5 m ilerleme, tam tahkimat aynaya 10 m mesafede kazı ile uyumlu olarak yerleştirilmeli	4-5 m uzunluğunda 1-1,5 m aralıklarla sistematik saplama tavan ve duvarlara uygulanır yapilir. Tel örgü kullanılır.	100-150 mm tavanda 100 mm duvarda	Gerekli yerlere 1,5 m aralıklarla hafif orta profiller
Çok zayıf kaya	Tavan ve taban birlikte kazılır ve tavanda 0,5-1 m ilerleme sağlanır. Kazıyı müteakiben destek yerleştirilir ve derhal püskürtme beton uygulaması yapılır.	5-6 m uzunluğunda sistematik kaya bulonları tavan ve duvarda 1-1,5 m aralıklarla uygulanır ve tel örgü ile birlikte kullanılır.	150-200 mm tavanda 150 mm duvarda ve 50 mm aynada püskürtme yapilir.	Orta ağır profiller 0,75 m aralıklar ile birlikte yerleştirilir.

4.1.2. Q sınıflama sistemi

1973 yılında Barton ve arkadaşları tarafından tünel tahkimat tasarımı yapılması amacıyla Q kaya sınıflama sistemi ortaya çıkmıştır. Q kaya sınıflama sistemine göre kaya kütleinin 6 özelliği sayısallaştırılarak Q değeri ortaya çıkarılır. Eşitlik 4.2' ye göre Q;

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte kullanılan parametreler.

RQD: Kaya kalitesi,

J_n : Eklem takım sayısı,

J_r : Eklem pürüzlülük sayısı,

J_a : Eklem alterasyon sayısı,

J_w : Eklem suyu indirgeme sayısı,

SRF: Gerilme indirgeme faktörüdür

Ortaya çıkan Q değeri, kaya sınıflaması ve yeraltı yapılarında kullanılacak olan tahkimat tiplerinin seçimine imkan sağlamaktadır. Q değeri yaklaşık 1000 yeraltı açıklığı verisinin istatistiksel olarak incelenmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Q değeri 0,001 – 1000 değerleri arasında değişerek çok zayıf ortamlı kaya yapısından (Zemine yakın) süreksizlik içermeyen sağlam kaya yapısına kadar ortam niteliklerini tanımlayabilmektedir (Karpuz ve Hindistan, 2006).

J_n olarak tanımlanan eklem takımlarının sayısı belirlenirken genellikle tabakalanma ve yapraklanma göz önüne alınır. Belirgin bir şekilde birbirine paralel gelişen eklemler bir takım olarak kabul edilir. Yer yer çatlaklar ve az sayıda eklem var ise gelişigüzel eklemler olarak değerlendirilir. Eklem takımı sayısı ve eklem pürüzlülük sayısı Tablo4.8 ve 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.8:Eklem takım sayısı (J_n) (Karpuz ve Hindistan, 2006).

Tanım	Değerlendirme	Not
Masif, eklem çok az veya hiç yok	0,5-1	
Bir eklem takımı	2	
Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	3	i-Kesişme olan
İki eklem takımı	4	tüneller için $3 \times J_n$
İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	6	değeri kullanılır.
Üç eklem takımı	9	ii-Giriş ve çıkış
Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemler	12	portallarında
Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel çok sayıda eklemler, küp şeker görünümünde	15	($2 \times J_n$)
Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20	kullanılmalıdır.

Tablo 4.9: Eklem pürüzlülük sayısı (J_r) (Karpuz, C., Hindistan, M. A., 2006).

Tanım	Değerlendirme	Not
a) Kaya duvar dokanağı		* ilgili eklem
b) 10 cm’lik kesmeden önce duvar dokanağı		takımlarının
Süreksiz eklemler	4	ortalama ara
Pürüzlü ya da düzensiz dalgalı	3	mesafesi 3 metreden
Düz, dalgalı	2	büyük ise 1,0 ilave
Kaygan dalgalı	1,5	edilir.
Pürüzlü veya düzensiz düzlemsel	1,5	* lineasyon içeren
Düz, düzlemsel	1	düzlemsel fay aynalı
Kaygan düzlemsel	0,5	eklemler için,
c) Kesmeden sonra kaya duvar dokanağı yok		lineasyonların uygun
Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kil mineralleri içeren zon	1	olması koşulu ile
		$J_r=0,5$ alınabilir.

Kaya duvar kontağını önleyebilecek kalınlıktaki kumlu, çakıllı, ezilmiş zon 1

Eklem alterasyon sayısı (J_a) ve eklem suyu indirgeme faktörü (J_w) puanlaması Tablo 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.10: Eklem alterasyon sayısı (J_a) (Karpuz ve Hindistan, 2006).

Tanım	Değerlendirme		Not
	Değer	ϕ_r	
Kaya duvar kontağı	Değer	ϕ_r	
Sıkıca bağlanmış, sert, yumuşamamış geçirimsiz dolgu	0,75	-	
Altere olmamış eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları	1	25-35	
Hafif altere olmuş eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları	2	25-35	
Siltli veya kumlu kil kaplamaları, düşük kil oranı (yumuşamayan)	3	20-25	Φ_r değerleri, mevcut ise alterasyon ürünlerinin mineralojik özellikleri yaklaşık olarak göstermek için verilmiştir.
Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil mineral kaplamalı			
Ayrıca az miktarda şişen killeri (1-2mm) veya daha az kalınlıkta kesikli kaplamalar	4	8-16	
Kum taneleri, kil içermeyen kaya parçaları	4	25-30	
Aşırı konsolide olmuş yumuşamayan kil mineral dolguları (kesiksiz, kalınlık 5mm’den az)	6	16-24	
Orta ve yüksek derecede konsolide olmuş, yumuşamayan kil mineral dolgulu (kesiksiz, kalınlık 5mm’den az)	8	12-16	
Şişen kil dolgulu (kesiksiz, kalınlık 5mm’den az)	8-12	6-12	
Kaya duvar kontağı yok	-	-	
	6,8		
Dağılmış veya ezilmiş kaya kil zonları veya bantları	veya 12	6-24	
Siltli veya kumlu kil zonları veya bantları, küçük kil par.	5	-	
Sürekli, kalın kil zonları veya bantları	10,13- 20	6,24	

Tablo 4.11: Eklem suyu indirgeme faktörü (J_w) (Karpuz ve Hindistan, 2006)

Tanım	Değerlendirme		Not
	Değer	Su basıncı	
Kuru kazılar veya su gelişi 5 lt/dk’dan az	1	<1	
Orta dereceli su gelişi veya basıncı, genellikle eklem dolgularının yıkanması (5 lt/dk yerel)	0,66	1-1,25	
Dolgunsuz, dayanımlı ve eklemli kayada çok su gelişi veya yüksek su basıncı	0,5	2,5-10	Drenaj yapıldığında J_w artırılmalıdır
Çok miktarda su gelişi veya yüksek su basıncı ile eklem dolgularının fazlaca yıkanması	0,33	2,5-10	
Patlatma ile çok fazla su gelişi, zamanla azalma	0,2-0,1	<10	
Zamanla azalmayan çok fazla su gelişi veya basıncı	0,1- 0,05	>10	

Gerilme indirgeme faktörü (SRF) değeri puanlaması Tablo4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12: Gerilme indirgeme faktörü (SRF) (Karpuz ve Hindistan, 2006).

Tanım	Değerlendirme	Not
Kazıyı kesen ve tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilecek zayıflık zonları		
Kil veya kimyasal olarak ayrılmış kaya kapsayan birden fazla zayıflık zonu, çevre kaya çok gevşek (herhangi bir derinlikte)	10	
Kil ve kimyasal olarak ayrılmış kaya kapsayan tek bir zayıflık zonu (kazı derinliği <50m)	5	
Kil ve kimyasal olarak ayrılmış kaya kapsayan tek bir zayıflık zonu (kazı derinliği >50m)	2,5	
Sağlam kayada çoklu makaslama zonları kil yok çevre kaya çok gevşek (kazı derinliği <50m)	7,5	* Kazıyı etkileyen fakat kesmeyen zayıflık zonu var ise SRF değerlerini %25-50 azaltınız.
Sağlam kayada çoklu makaslama zonları kil yok çevre kaya çok gevşek (kazı derinliği >50m)	5	
Sağlam kayada çoklu makaslama zonları kil yok (kazı derinliği >50m)	2,5	
Gevşek, açık eklemler, çok fazla eklemler veya küp şeker görünümlü (herhangi bir derinlikte)	5	* kazı derinliğinin kazı genişliğinden az olduğu durumlarda SRF’yi 2,5’ten 5’e çıkartınız.
b) Sağlam kaya gerilme problemleri	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1
Yüzeye yakın düşük gerilme	2,5	
Orta gerilme	1	
Yüksek gerilme (çok sıkı gerilme)	0,5-2	
Orta şid. (masif) kaya patlaması	5-10	
Yüksek şid. (masif) kaya patlaması	10-20	
c) Sıkışan kaya, yüksek basınç altında sağlam olmayan kayanın plastik akışı		
Orta miktarda sıkışan kaya basıncı	5-10	
Yüksek miktarda sıkışan kaya basıncı	10-20	
d) Şişen kaya; suyun varlığına bağlı kimyasal şişme		
Orta miktarda şişen kaya basıncı	5-10	
Yüksek miktarda şişen kaya basıncı	10-15	

Bu parametrelere göre Q değeri hesaplandıktan sonra tahkimat tasarımı yapmak için gerekli olan bir diğer parametre De olarak adlandırılan eşdeğer boyut hesaplanır.

Eşdeğer boyut Eşitlik4.3’ e göre hesaplanır.

$$D_e = \frac{\text{Tünel çapı yada açıklığı (m)}}{\text{Kazı destek oranı (ESR)}} \quad (4.3)$$

Bu Eşitlikte ESR olarak gösterilen değer yeraltı açıklığının sağlam kalabilmesi için gerekli güvenlik katsayısıdır. Çalışma ortamına göre değişen ESR değerleri Tablo 4.13’te verilmiştir.

Tablo 4.13:Kazı tahkimat oranı değerleri (Karpuz ve Hindistan, 2006)

Kazı Türü	ESR 1994
Geçici maden kazıları	3 – 3,5
Uzun süreli kazılar, su tünelleri, pilot tüneller, geniş yeraltı kazıları	2,5 – 2
Geniş yeraltı depolama alanları, su arıtma tesisleri, küçük karayolu-demiryolu tünelleri yaklaşım tünelleri vb.	1,2 – 1,3
Santral binaları ana kara ve demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları giriş çıkış ağızları, kesişme bölgeleri	0,9 – 1,1
Yeraltı nükleer santralleri, metro istasyonları, fabrikalar ve sosyal tesisler	0 – 0,8

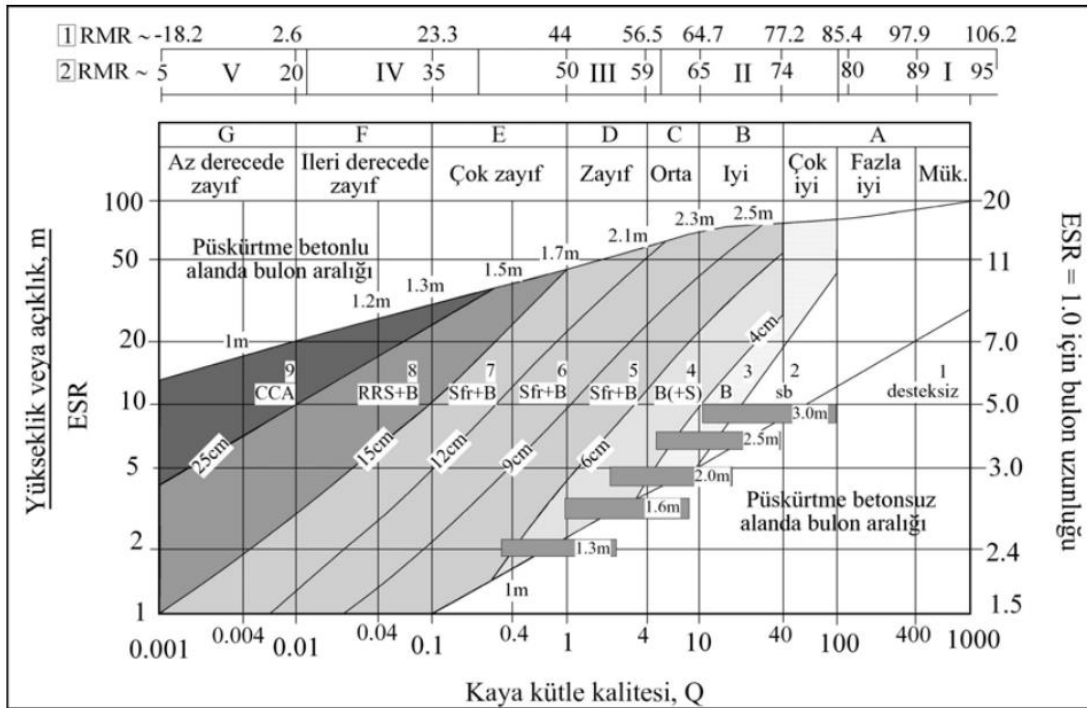
Q sistemine göre saplama uzunlukları Eşitlik 4.4 ve 4.5' e göre hesaplanabilir.

$$\text{Tavan} \quad ; L = 2 + 0.15B/ESR \quad (4.4)$$

$$\text{Duvarlar} \quad ; L = 2 + 0.15H/ESR \quad (4.5)$$

Bu eşitlikte L uzunluk (m), B kazı genişliği (m), H kazı yüksekliği (m), ESR kazı destek oranıdır.

Şekil 4.2'de eşdeğer boyut ve Q değerlerine bağlı tahkimat kategorileri abağı görülmektedir (Grimstad ve Barton, 1993).



Şekil 4.2: Q sistemi ile tahkimat tasarımı (Kılıç ve Ulaşım, 2009).

Bu şekilde uygulanması önerilen tahkimat sistemleri 1'den 9'a kadar sıralanmıştır.

Bu abağa göre;

1. Tahkimatsız çalışma alanı
2. Rastgele kaya saplaması
3. Sistemli kaya saplaması
4. Sitemli kaya saplaması ve 4 - 10 cm kalınlığında çelik veya plastik donatı içermeyen püskürtme beton
5. Kaya saplaması ve 5 - 9 cm kalınlığında donatılı püskürtme beton
6. Kaya saplaması ve 9 - 12 cm kalınlığında donatılı püskürtme beton
7. Kaya saplaması ve 12 - 15 cm kalınlığında donatılı püskürtme beton
8. >12 cm kalınlığında püskürtme beton ve kaya saplaması
9. Kalıp beton kaplama

4.2. Kaya Kütle Parametreleri

Kaya kütle parametrelerinin en önemlileri Hoek – Brown sabitleri, kaya kütlelerinin tek eksenli basınç dayanımı (σ_{cmass}) ve kaya deformasyon modülüdür (E_{mass}).

Laboratuvar testleri ile elde edilen kesme ve çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı birim hacim ağırlık, porozite, kaya kütlelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri güvenli açıklık oluşturmada etkin olan parametrelerdir.

4.2.1. Kaya kütle dayanımı

Kaya kütle davranışları ve yenilme olgusunun analiz edilip anlaşılması güvenli açıklık oluşturmada büyük önem teşkil etmektedir. Açılan bölgenin ayakta kalması için kaya kütle özelliklerinin iyi tayin edilmesi gerekmektedir. Açıklığın oluşturulacağı formasyonda zayıf yapıların bulunması güvenli açıklık olgusunun gerçekleşmesini zorlaştırmaktadır.

Güvenli açıklığın oluşturulabilmesi için ihtiyaç duyulan parametrelerin hesapları aşağıda belirtilmiştir.

(σ_{mass}) için;

($\sigma_{ci} > 100\text{MPa}$ ve $Q > 10$) olması durumunda Eşitlik 4.6 kullanılır.

Bhasin ve Grimstad (1996)'ya göre;

$$\sigma_{mass} = \left(\frac{\sigma_{ci}}{100} \right) 7\gamma Q^{\frac{1}{3}} \text{MPa} \quad (4.6)$$

γ : Kaya kütlelerinin birim hacim ağırlığı (t/m^3)

$Q < 10$ değeri için eşitlik yeniden düzenlenmiş ve Eşitlik 4.7' deki gibidir.

$$\sigma_{mass} = 7\gamma x Q^{\frac{1}{3}} \text{ MPa} \quad (4.7)$$

Q değeri Barton, (2000) tarafından düzenlenerek kaya kütle dayanımı Eşitlik 4.8'e göre şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{mass} = 5\gamma \left(Q \frac{\sigma_c}{100} \right)^{\frac{1}{3}} \text{ MPa} \quad (4.8)$$

RMR puanı kullanılan durumda Trueman (1998)'a göre σ_{mass} Eşitlik 4.9'daki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{mass} = 0.5e^{0.06RMR} \text{ MPa} \quad (4.9)$$

4.3. Sayısal Yöntemlerin Tahkimat Tasarımında Kullanılması

Sayısal yöntemler yer altı açıklıklarında tahkimat tasarımına yönelik olarak kullanılabilir. Sonlu eleman analizi yönteminde herhangi bir sürekli yapı sonlu eleman denilen parçalara bölünmektedir. Bu mantıkla çalışan analiz yöntemlerinde bölünen parçacıklar düğüm noktalarıyla birbirine bağlanmaktadır. Basit fonksiyonlar seçilerek, eleman için gerçekleşen deplasman değişimi düğüm noktalarındaki değerler cinsinden ifade edilirler. Düğüm noktalarındaki ve sonradan bulunması gereken deplasman bileşenlerine, serbestlik derecesi adı verilmektedir (Rasouli, 2009)

Birçok bilgisayar programı çeşitli mühendislik yapılarının analiz edilmesi için sonlu elemanlar metodunu kullanmaktadır. Bu analiz yöntemini kullanan programlar ile çeşitli elastik veya rijit sınır şartları ve çeşitli yükleme durumları altında, uzay ve düzlem çerçeveler, uzay ve düzlem kafes kirişler, plak kiriş sistemleri düz veya katlanmış plaklar ve kabuk tipi yapıların statik ve dinamik gerilme analizleri gerçekleştirilebilmektedir (Öztürk ve Şimdi, 2012).

Gerilme analizleri ve deplasmanların sonlu elemanlar metodu ile bulunmasında iki temel yöntem kullanılmaktadır. Birincisi deplasman yöntemidir. Bu yöntemin temel işleyiş prensibi minimum potansiyel enerji ilkesini esas alan ve yer değiştirmeleri ilk bilinmeyen olarak tanımlamaktır. İkinci yöntem ise denge yöntemidir. Bu yöntemde minimum tamamlayan enerji prensibi kullanılmaktadır. Yeraltı açıklıklarının analizinde minimum enerji prensibine dayalı deplasman yöntemi kullanılmaktadır (Desai, 1972).

Sonlu elemanlar yönteminde genel olarak dikey ve yatay sınırlar yer değiştirmeye açıktır. Kayıcı mesnetler sayesinde modelin alt bölümü yatay hareketleri alabilecek

şekilde sınırlandırılır. Kazı açıklığı çevresinde model tahkimat elemanları ile sınırlandırılmaktadır. Destek yapılarının modellenmesinde kafes elemanlar kaya saplamalarını, kiriş elemanlar ise iksa ve benzeri tahkimat araçlarının modellenmesinde kullanılır. İki ve üç boyutlu kabuk elemanlar beton kaplama ve çelik hasır gibi sürekli destek yapılarının modellenmesi için kullanılır (Desai, 1972).

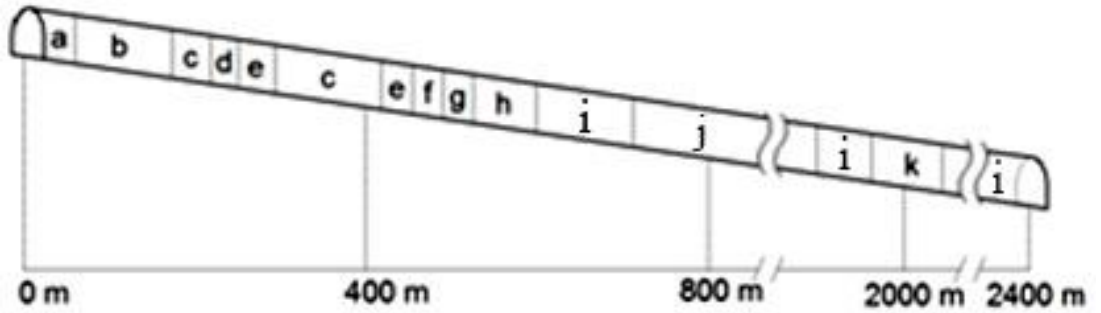
Elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), eleman kalınlığı (t), ve malzeme yoğunluğu sonlu elemanlar yönteminde özellikleri bilinen bir kaya formasyonunda modellenecek iki boyutlu bir yeraltı açıklığı modeli için tanımlanması gereken parametrelerdir.

5. BALYA YER ALTI MADENİ KAYA KÜTLE ORTAMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Eczacıbaşı ESAN Kurşun – Çinko Yeraltı Maden İşletmesi'nde oluşturulan açıklıklar üretim ve hazırlık aşamalarında çeşitli farklılıklar göstermektedir. Ana nakliyat yolu olarak kullanılan spiral rampa 5x5 m boyutlarında ve at nalı formunda açılmaktadır. Üretim aynaları ise derinliğe ve cevher miktarına bağlı olarak 4x5m, 5x5m, 6x5m ve 6x5m gibi kenarları yuvarlanmış dörtgen formlarda açılabilmektedir. Kullanılan nakliye metodu nedeniyle zamanla daha geniş açıklıklara ihtiyaç duyulmuş ve 740 üretim katı altındaki katlar tavan yüksekliği 6 metre olacak şekilde tasarımılandırılmıştır. Cevher kalınlığına göre ise, aynada beklenen cevher tenörü C kalite ise ayna genişliği 4 metre, tenör B veya A kalite ise ayna genişliği 5 veya 6 metre olarak tasarlanmaktadır.

5.1. Kaya Mekaniği Çalışmaları

Ana nakliyat galerisi devam ederken formasyon çeşitli süreksizlik takımlarında değişmeli olarak kireçtaşında devam etmektedir. Üretim galerileri genellikle cevherleşmenin olduğu skarn formasyonunda devam etmektedir. Ana nakliyat galerisi üzerinde karşılaşılan formasyonlar Şekil 5.1' de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: 2400. metreye kadar ana rampa üzerinde karşılaşılan Formasyonlar (Öztürk ve ark., 2011).

- | | |
|------------------------------|--|
| a: Kireçtaşı | g: Kumtaşı |
| b: Kireçtaşı – Dasit | h: Kumtaşı – Bitümlü Kireçtaşı |
| c: Kireçtaşı – Dasit – Skarn | i: Bitümlü Kireçtaşı |
| d: Skarn – Dasit | j: Bitümlü Kireçtaşı – Kireçtaşı – Dasit |
| e: Dasit | k: Bitümlü Kireçtaşı - Andezit |
| f: Dasit – Kumtaşı | |

İlerleme bölgelerinden alınan numuneler ile laboratuvar ortamlarında gerçekleşen deneyler sonucunda ortaya çıkan kaya kütlesi mekanik özellikleri Tablo 5.1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 5.1:Kayaç malzemelerinin laboratuvarda bulunmuş fiziksel ve mekanik özellikleri (Öztürk, 2011).

Mekanik ve Fiziksel Özellikler	Kireçtaşı	Dasit	Andezit	Skarn	Kumtaşı	Bitümlü Kireçtaşı
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	60,40	17,00	114,10	35,81	18,98	18,93
Kohezyon (MPa)	5,40	4,50	8,60	1,52	15,50	4,91
Elastisite Modülü (MPa)	11072,60	4806,90	10689,30	6118,15	2340,40	4422,65
Nokta Yük Dayanımı (MPa)	7,60	3,94	7,37	5,49	1,63	3,76
Çekme Dayanımı (MPa)	7,10	7,15	15,97	10,54	2,81	-
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	2,69	2,45	2,54	3,22	2,48	2,53
Su İçeriği (%)	0,70	0,72	1,97	0,37	0,76	0,44
Porozite (%)	3,36	7,69	4,45	4,17	6,42	2,83

Arazi gerilmelerinin hesaplanmasında yatay ve dikey gerilmeler (σ_h , σ_z) ; birim hacim ağırlık (γ), arazi gerilmesi (σ_z), derinlik (H) ve Poisson oranı (ν) kullanılarak Eşitlik 5.1, 5.2, ve 5.3’e göre hesaplanmaktadır (Hoek ve Brown, 1980).

$$\sigma_z = \gamma H \quad (5.1)$$

$$k = \frac{\sigma_h}{\sigma_z} \quad (5.2)$$

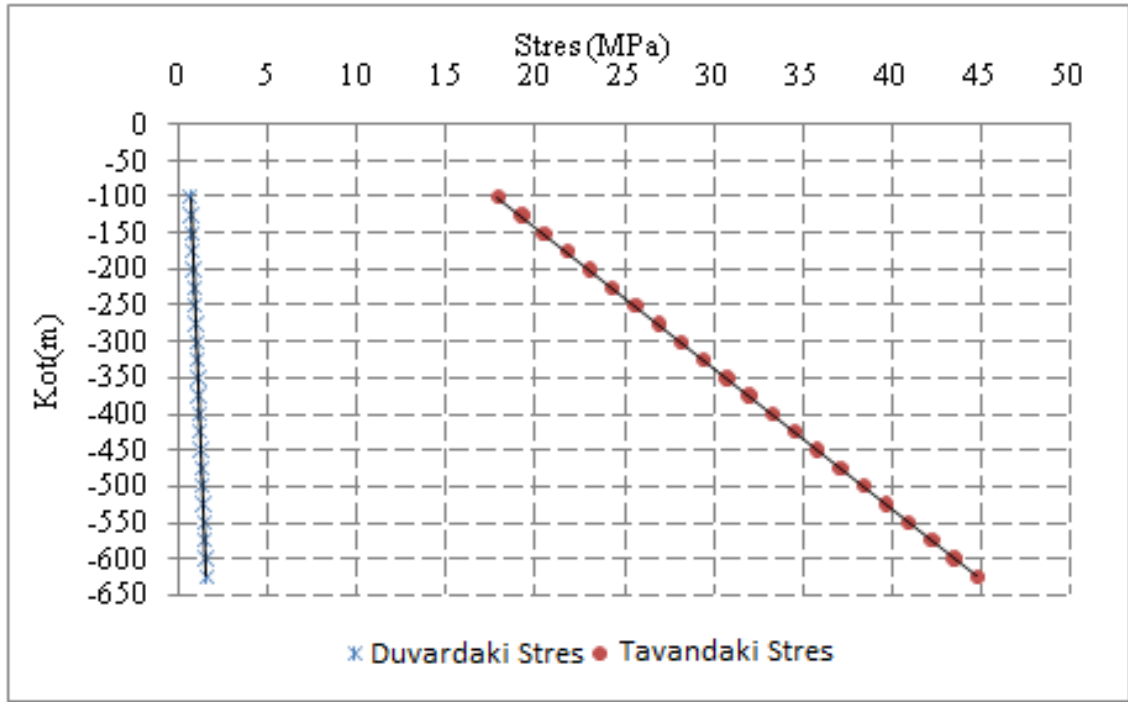
$$\sigma_h = \left[\frac{\nu}{(1-\nu)} \right] \sigma_z \quad (5.3)$$

Galeri açıklıklarına bağlı olarak (A ve B) galeri tavanı (σ_r) ve cidarlarında (σ_w) meydana gelen gerilmeler Eşitlik 5.4 ve 5.5’e göre hesaplanmaktadır (Hoek ve Brown, 1980).

$$\sigma_w = (Ak - 1)x\sigma_z \quad (5.4)$$

$$\sigma_r = (B - k)x\sigma_z \quad (5.5)$$

Bu eşitliklerden çıkarılan sonuçlar Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Galeri tavan ve cidarlarında meydana gelen gerilmeler

Şekil 5.2' ye göre derinliğe bağlı olarak galeri tavanındaki gerilme artış göstermektedir. Bu gerilme, tek eksenli basınç dayanımları düşük olan skarn, kumtaşı ve bitümlü kumtaşı formasyonlarında ortaya riskli durumlar çıkarabilmektedir. Bu bölgelerdeki porozitenin ve su gelininin fazla olması bu riski güçlendirmektedir.

Ocakta cevher üretiminde karşılaşılan jeolojik yapıların hepsi yukarıda özellikleri belirtilen formasyonlar veya birden fazla formasyonun kantağında devam eden galeriler şeklindedir.

5.2. Kaya Kütle Sınıflama Çalışmaları

Maden işletmesinde yapılan kaya mekaniği çalışmalarına göre kaya kütle özellikleri belirlenmiştir. Alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kayanın mekanik özellikleri belirlenmiş ve bir sonraki adımda tahkimat modellemesinde kullanılacak olan kaya kütle özellikleri tespit edilmiştir. Karşılaşılan formasyonlar boyunca Q değeri için gerekli parametreler elde edilmiş ve kayanın kalitesi ile ilgili bilgi almak amacıyla kullanılmıştır.

Daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere Q değerinin hesaplanması için gereken parametreler incelenerek Tablo 5.2'te özetlenmiştir.

Tablo 5.2:Kaya formasyonlarının kaya kütle özellikleri.

	Kaya Kütle Özellikleri						
	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
Kireçtaşı	45	2 eklem takımı	Pürüzlü veya düzensiz düzlemsel	Altere olmamış eklem yüzeyleri	Orta dereceli su gelişi	Orta Gerilim	
<i>Değer</i>	45	4	1,5	1	0,66	2,5	4,455
Kireçtaşı - Dasit	50	3 eklem takımı+Rastgele	Düz, düzlemsel	Orta ve yüksek derecede konsolide	Orta dereceli su gelişi	Orta Gerilim	
<i>Değer</i>	50	12	1	8	0,66	1,25	0,275
Kireçtaşı - Dasit - Skarn	45	3 eklem takımı+Rastgele	Düz, düzlemsel	Şişen kil dolgulu	Çok miktarda su gelişi	Orta Gerilim	
<i>Değer</i>	45	12	1	10	0,33	6	0,021
Skarn - Dasit	35	3 eklem takımı+Rastgele	Düz, düzlemsel	Şişen kil dolgulu	Çok miktarda su gelişi	Orta Gerilim	
<i>Değer</i>	35	12	1	10	0,33	6	0,016
Dasit - Kumtaşı	40	3 eklem takımı+Rastgele	Düz, düzlemsel	Şişen kil dolgulu	Çok miktarda su gelişi	Orta Gerilim	
<i>Değer</i>	40	12	1	10	0,33	6	0,018
Kumtaşı - Bitümlü Kireçtaşı	40	2 eklem takımı+Rastgele	Düz, düzlemsel	Orta derecede konsolide	Orta dereceli su gelişi	Orta Gerilim	
<i>Değer</i>	40	6	1	8	0,66	4	0,138
Bitümlü Kireçtaşı - Kireçtaşı - Dasit	60	3 eklem takımı+Rastgele	Pürüzlü veya düzensiz düzlemsel	Orta derecede konsolide	Orta dereceli su gelişi	Orta Gerilim	
<i>Değer</i>	60	12	1,5	8	0,66	4	0,155
Bitümlü Kireçtaşı - Andezit	40	2 eklem takımı+Rastgele	Kaygan düzlemsel	Şişen kil dolgulu	Kuru kazılar	Orta Gerilim	
<i>Değer</i>	40	6	0,5	10	1	6	0,056

Yukarıdaki tabloda hesaplanan verilere göre Kireçtaşı formasyonu Q sisteminde “iyi” sınıfına girerken diğer formasyonlardaki kaya kütleleri “çok kötü” ve “kötü” olarak sınıflandırılmaktadır.

Ortaya çıkan Q değerleri kaya kütlelerinin kalitesi hakkında bilgi verirken yapılacak olan tahkimat tasarımlarında parametre olarak kullanılacaktır.

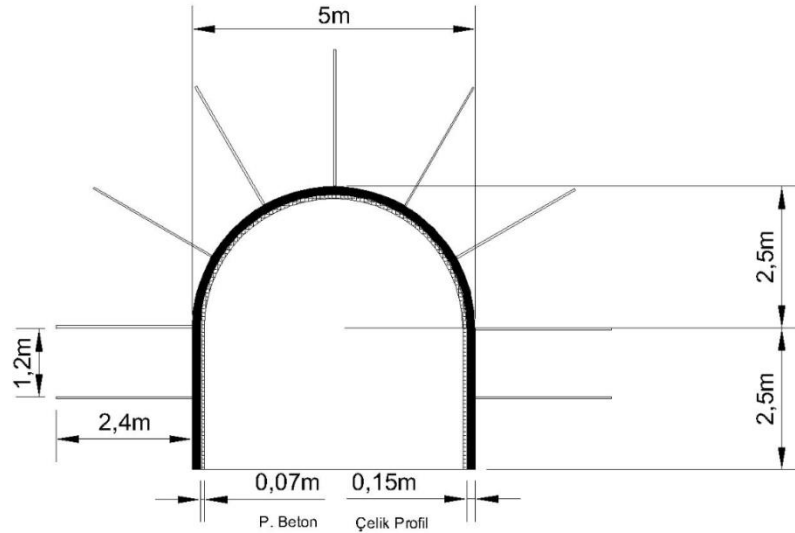
6. BALYA YERALTI İŞLETMESİNDE KULLANILAN TAHKİMAT TÜRLERİ

Bu bölümde maden ocağında çeşitli açıklıklarda uygulanan farklı tahkimat sistemleri ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

6.1. Ana Nakliye Galerisi Üzerinde Kullanılan Tahkimat Türleri

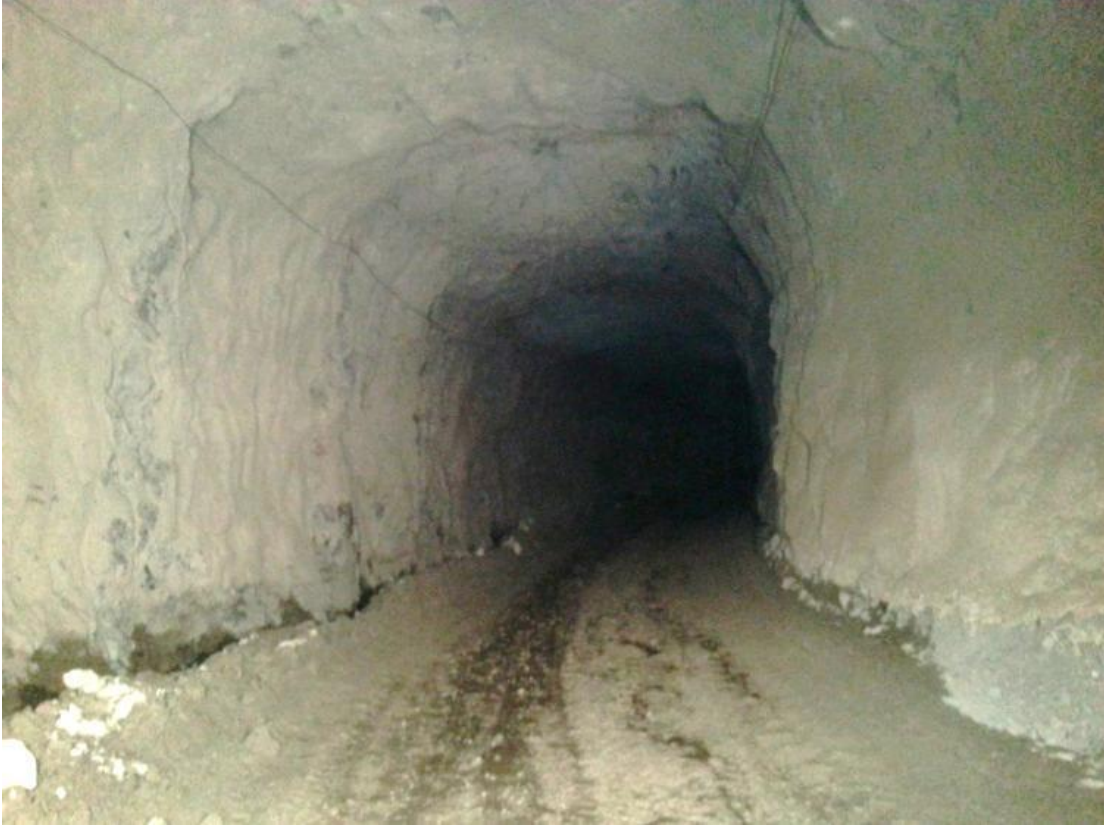
Ana nakliyat yolu üzerinde birden fazla tahkimat çeşidi uygulanmaktadır. Kumtaşı ve bitümlü kireçtaşı beraber görülen formasyonlarda özellikle süreksizlik sayısı takım halinde fazla ise 5x5 galeride GI 120 I profil çelik bağ üzerine püskürtme beton ve 1 metre aralıklar ile splitset uygulanmıştır. Kireçtaşı formasyonunda 5x5 m galeride sadece 5-7 cm püskürtme beton ile 1 metre aralıklarla splitset uygulanması gerçekleştirilmiştir. Süreksizlik içermeyen sağlam kaya formasyonlarında ise sadece çelik hasır ve 1 metre ara ile splitset uygulaması yapılmıştır.

Özellikle bitümlü kireçtaşı formasyonu görülen 500-600. metreler arası, 2000. m civarında ve 883 katında bulunan yemekhanenin hemen altında ağır tahkimat uygulaması gözlenmektedir. Bu bölgelerde 1 metre ara ile GI 120 I profil iksa uygulaması altına çelik hasır, püskürtme beton ve 1 metre aralıklarla splitset uygulaması yapılmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: 5x5 m at nalı şeklindeki ana rampa yolunda tahkimat uygulaması.

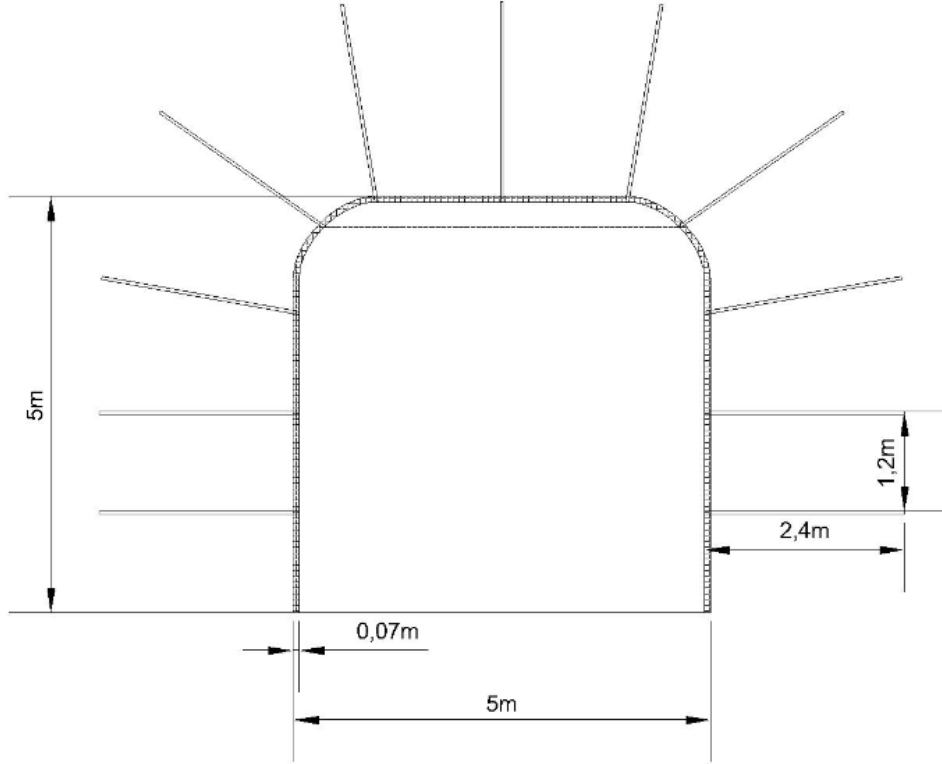
Ana rampa üzerinde kullanılan bütün kaya saplamaları galvaniz boya ile paslanmaya karşı direnç göstermesi için kaplanmıştır. Ana rampa yolu üzerinden bir görüntü Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2:Ana nakliye galerisi

6.2. Üretim Galerilerinde Kullanılan Tahkimat Türleri

Üretim galerilerinde kullanılan tahkimat uygulaması tek çeşittir. Bütün üretim aynalarında 7-10 cm arası püskürtme beton uygulaması yapıp 1,2 metre ara ile splitset uygulaması yapılmaktadır. Patlamadan sonra 3 metre ilerleme gerçekleşen bir ayna çevresinde oluşan tavan ve yan duvarlara 5 m³ beton uygulaması yapıldıktan sonra splitset yerleştirme işlemi jumbo iş makineleri tarafından gerçekleştirilmektedir (Şekil 6.3).

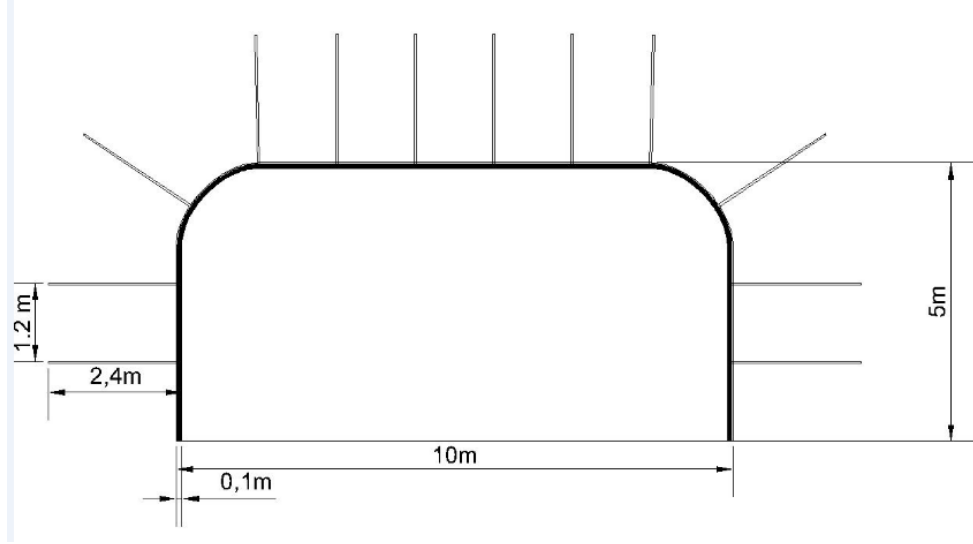


Şekil 6.3: 5x5 m üretim galerisinde tahkimat uygulaması.

Ayna cidarında püskürtme betonun kürlenmesini önleyici miktarda su geliri ve kil içerikli zemin olması halinde bölgeye püskürtme beton uygulamasından önce çelik hasır yerleştirilmektedir. Geçilen formasyonun çok miktarda süreksizlik takımı içeren volkanik kaya olması durumunda kavlak taraması tam olarak gerçekleştirilemediği için püskürtme beton miktarı artırılıp zayıf ayna cidarı sağlamlaştırılmaktadır.

6.3. Geniş Açıklıklarda ve Kavşaklarda Kullanılan Tahkimat Türleri

Yeraltı işletmesinde geniş açıklıklar; yemekhaneler, tamir bakım atölyesi, iş makinelerinin günlük hidrolik ihtiyaçlarının karşılandığı yağlamahane, malzeme cepleri ve su havuzları başlıkları altında toplanabilir. Bu tür açıklıklarda tam yüz çelik hasır uygulaması üzerine galvaniz boyalı 1 metre aralıklarla splitset ve 10 cm civarında püskürtme beton uygulaması gerçekleştirilmektedir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4: Geniş açıklıklarda tahkimat uygulaması (örn. su cebi).

Üretim aynaları haricinde meydana getirilen kavşaklarda ise çelik hasır kavşak bölge kenarlarından iki metre dışarıya taşacak şekilde püskürtme beton ve kaya saplamasıyla birlikte uygulanmaktadır. 677 su cebine ait böylesi bir görüntü Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

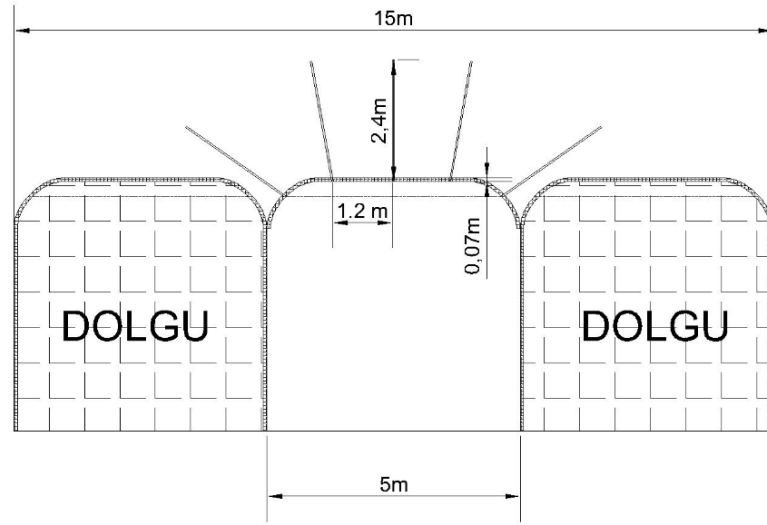


Şekil 6.5: 677 su cebi

6.4. Dolgulu Çalışılan Bölgelerde Kullanılan Tahkimat Türleri

Dolgulu çalışan bölgeler; dolgu altında ve dolgu yanında çalışan bölgeler olarak ikiye ayrılabilir.

Dolgu yanında veya iki dolgu galerisinin arasında çalışan bölgelerde tahkimat uygulaması dolgu bulunan cidar hariç 7-10 cm püskürtme beton ve 1,2 metre ara ile dolgu yüzeyi hariç splitset uygulaması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Dolgulu bölge üzerine hiçbir tahkimat uygulanmamaktadır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6: Dolgu arası sürülen aynalarda tahkimat uygulaması.

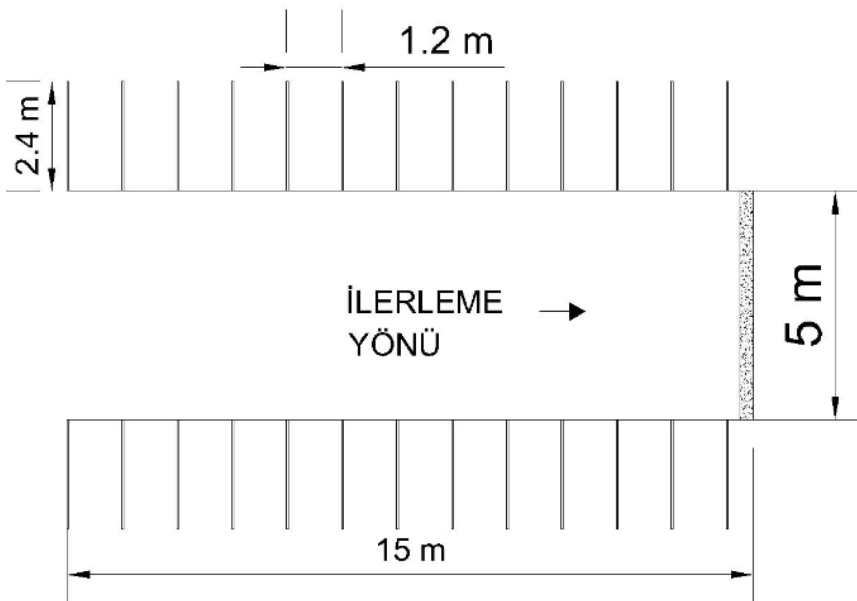
Dolgu altında çalışan bölgelerde ise ayna tavanı dolgu olduğu için kavlak taraması haricinde genellikle tahkimat uygulaması yapılmamaktadır. Üretilen galerinin yan duvarlarında dökülme ihtimali yüksek olan yerlere püskürtme beton uygulaması yapılmaktadır. Doldurulan bir galerinin iki yanından sürülen galeriler Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7: Dolgu yanında sürülen iki galeri

Şekil 6.7’de 1 ve 2 numaralı bölgeler dolgu yapıldıktan sonra dolgunun sağından ve solundan sürülen yeni galerileri göstermektedir.

Devam eden galeriler boyunca 1,2 m aralıklarla standart olarak splitset çakmaya devam edilir. Şekil 6.8’de düz bir galeride splitset uygulaması plan olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.8: Splitset uygulaması plan görünümü

6.5. Tahkimat Elemanlarının Mühendislik Özellikleri

Bu bölümde yeraltı maden işletmesinde kullanılan bütün tahkimat elemanlarının teknik özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Deneylerle elde edilen bu sonuçlar daha sonraki bölümlerde nümerik uygulamalarda veri olarak kullanılacaktır.

6.5.1. Püskürtme beton

Nakliyesi bitmiş üretim aynalarında kırıcı iş makinesi tarafından ayna duvarlarında ve tavanında bulunan iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından risk oluşturan bloklar temizlendikten ve su ile düşebilecek ufak parçalardan arındırıldıktan sonra püskürtme beton işlemi uygulanır. Bu işlemin amacı kaya formasyonunun oksijen ile olan bağlantısını kesip zamana bağlı dayanımı etkileyecek bozulmaların ortaya çıkmasını engellemek ve çalışanlara zarar verebilecek küçük çaplı blokların düşmesini engellemektir.

Bölüm 3'te bu işlemin nasıl ve hangi makineler tarafından uygulandığı detaylı olarak belirtilmiştir. Püskürtme beton uygulanmış bir aynanın son hali Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9: Püskürtme beton uygulanmış bir üretim aynası.

Püskürtme beton işlemi bittikten sonra jumbo splitset çakmak ve aynayı delmek için geçiş yapılabilir. Püskürtme betona ait karışım bilgileri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1: 1 m³ püskürtme beton karışımının içindeki malzemeler

Malzeme	Miktar(kg)
Agrega	1500
Çimento	450
Su	Maksimum: 225
Akışkanlaştırıcı	Çimento miktarının %1-%1,5’i arası
Priz Hızlandırıcı	Çimento miktarının maksimum %10’u
Su/Çimento Oranı	Maksimum %50

Tablo 6.1’de gösterilen verilerin bazılarının aralık halinde olmasının sebebi; hava koşullarının, agrega malzemesinin veya püskürtme beton uygulanacak aynanın durumuna göre değiştirilerek betonun püskürtülebilir kıvamda kalması ve ayna yüzeyine standart miktarda tutturulmak istenmesidir.

Püskürtme Beton’a ait mühendislik özellikleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2: Püskürtme betona ait mühendislik özellikleri

Parametre	Birim	Değer
Elastisite modülü	MPa	30000
Poisson oranı	-	0,15
Tek eksenli basınç dayanımı	MPa	30
Çekme dayanımı	MPa	3

6.5.2. Splitset

Püskürtme beton uygulaması yapıp oksijen bağlantısı kesilen ve küçük blokların düşmesi engellenen aynada kaya saplaması uygulaması yapılır. Yer altı ocağında, dünya genelinde birçok çeşidi bulunan kaya saplamalarından splitset kullanılır. Tam boy sürtünme prensibi ile çalışan splitsetin uygulaması Bölüm 3’te anlatılmıştır. Bu tahkimat elemanına ait mühendislik özellikleri Tablo 6.3’te verilmiştir.

Tablo 6.3: Splitset kaya saplamasının mühendislik özellikleri

Parametre	Birim	Değer
Çekme dayanımı	MN	0,1
Elastisite Modülü	MPa	200000
Sürtünme dayanımı	MN/m	0,17

Splitset uygulaması yapılmış 596 Doğu galerisinin görünümü Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10: Splitset uygulaması yapılmış bir galeri.

6.5.3. Dolgu

Yatay dilimli dolgulu yöntemde üretimi biten galeriler altında veya yanında çalışılacak olmak üzere iki gruba ayrılır ve bu ayrıma göre karışım oranı farklı dolgu ile doldurulur.

Dolgu malzemesinin içeriği ile ilgili bilgiler Bölüm 3'te verilmiştir. Dolgunun %6 ve %8 olarak ayrılması, dolgunun toplam malzeme miktarının %6 ve %8'i kadar çimento eklenmesinden gelmektedir. Ocakta yapılan dolgu uygulaması Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11: Dolgu yapılmış bir galerinin görüntüsü.

Dolgusu Şekil 6.7'deki gibi tamamlanan bir galerinin, üretim planları doğrultusunda sağından veya solundan girilerek dolgu takibi ile üretim yapılır. Üretime başlamadan önce yapılan dolgunun 7 günlük dayanımına ulaşması için beklenir. Dolgu malzemelerine ait reçeteler aşağıdaki gibidir.

1 m³ % 8'lik dolgu malzemesinde;

- 155 kg çimento
- 1700 kg 0-50 mm agrega (Şekil 3.17).
- 100 lt su

1 m³ % 6'lık dolgu malzemesinde

- 110 kg çimento
- 1700 kg 0-50 mm agrega
- 75 lt su

Beton santralinde hazırlanan dolgu malzemesinden alınan numuneler ile yapılan testler sonucunda bu malzemenin mühendislik özellikleri Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4: Dolgu malzemesinin mühendislik özellikleri

Kür Süresi	Ortalama Basınç Dayanımı (Mpa)	Ortalama Elastik Modül (Mpa)
7	4,52	2580
14	5,04	3340
28	5,91	4800
56	5,36	3320
90	6,21	3630
120	5,92	3260

7. TAHKİMAT TASARIMLARI

Bu bölümde maden işletmesinde kullanılması gerekli tahkimatlar kaya kütle sınıflama sistemlerine göre tasarlanmış ve daha sonra sayısal modelleme kullanılarak bu tasarımlarda kullanılan tahkimat elemanların yeterlilikleri analiz edilmiştir. Ayrıca, incelenen tahkimat tasarımları, desteksiz açıklıklarla görsel olarak karşılaştırılmış ve bölüm içerisinde sunulmuştur.

7.1. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri ile Tahkimat Tasarımları

Yukarıdaki bölümlerde detaylı olarak sunulan, kayaç malzemelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri Phase² nümerik modelleme programında girdi olarak kullanılarak tahkimat tasarımları gerçekleştirilmiştir.

5. Bölümde bulunan Tablo 5.1 ve 5.2’de kayaç malzemelerinin mühendislik özellikleri ve kaya kütlelerinin özellikleri deneylerle belirlenmiş olup bu değerlere göre Q değerleri hesaplanmıştır.

Q kaya sınıflama sistemine göre tahkimat tasarımı gerçekleştirilebilmek için Eşdeğer kazı açıklığı (D_e) ve kazı destek oranı (ESR) bilinmelidir. Kazı destek oranı kalıcı maden kazılarında 1,6 olarak kabul edilmektedir. Bu parametreler Eşitlik 7.1’de kullanılarak D_e belirlenir (Palmstrom ve Broch, 2006).

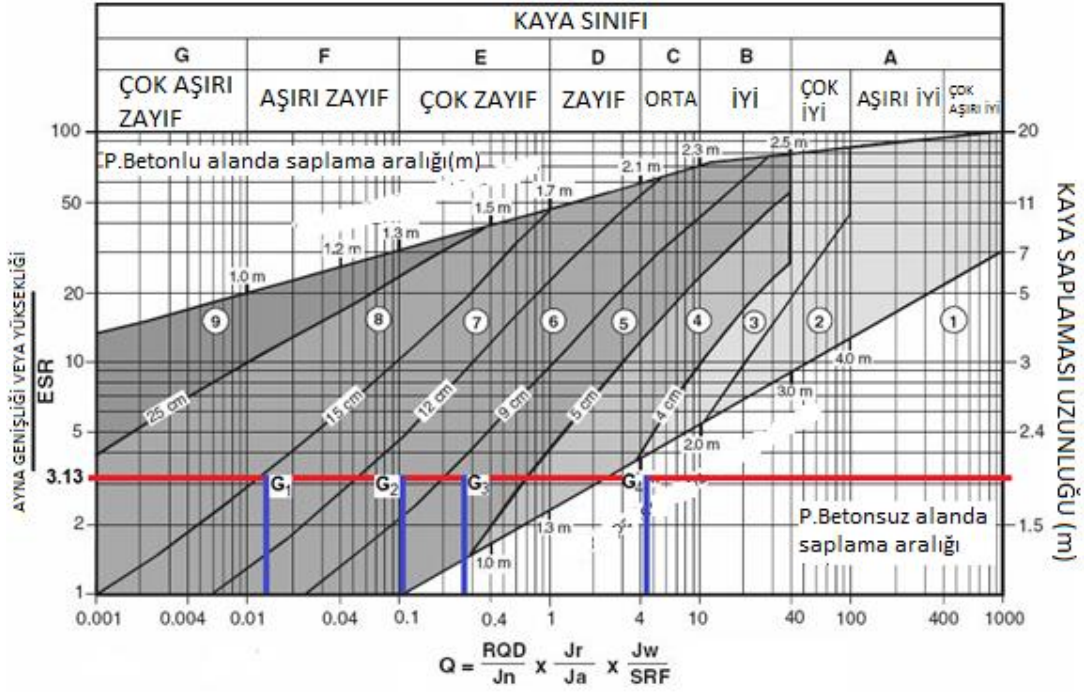
$$D_e = \frac{\text{Kazı açıklığı (m)}}{\text{ESR}} \quad (7.1)$$

Bu eşitliğe göre kazı genişliği 5 metre olarak alındığında D_e ana nakliyat yolu için 3,13 olarak hesaplanmıştır. Daha öncesinde hesaplanmış olan Q değerleri geçilen formasyonlara bağlı olarak aralıklara bölünmüş ve Tablo 7.1’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1: Kaya kütle gruplarının Q değer aralıkları.

Kaya Kütle Grupları	Kaya Kütle	Q Değeri	S_{\max}	L
G ₁	Kireçtaşı - Dasit - Skarn, Skarn - Dasit, Dasit - Kumtaşı	0,016 – 0,021	0,63	2,47
G ₂	Kumtaşı - Bitümlü Kireçtaşı, Bitümlü Kireçtaşı - Kireçtaşı - Dasit, Bitümlü Kireçtaşı - Andezit	0,056- 0,155	0,75	2,47
G ₃	Kireçtaşı - Dasit	0,275	1,91	2,47
G ₄	Kireçtaşı	4,455	5,82	2,47

Hesaplanan De ve Q değerlerine göre kaya kütle gruplarının bulunduğu tahkimat bölgeleri Şekil 7.1’de gösterilmiştir.



Şekil 7.1: Kaya kütle gruplarının bulunduğu tahkimat bölgeleri.

Bu sonuçlara göre ayrıca tahkimatsız ilerleme uzunluğu (S_{max}) ve kaya saplamalarının uzunlukları (L) Eşitlik 7.2 ve 7.3’e göre hesaplanır (Barton ve ark., 1980).

$$S_{max} = 2xESRxQ^{0.4} \quad (7.2)$$

$$L = 2 + 0.15xD_e \quad (7.3)$$

Q ve RMR sistemleri arasındaki ilişki ayrıca tahmini RMR (RMR*) değerinin hesaplanmasında kullanılır. Q sistemi ve RMR sistemi arasındaki bağıntı Eşitlik 7.4’te gösterilmiştir.

$$RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (7.4)$$

Hesaplanan bu RMR değerine göre ortaya çıkan tahkimat tasarımı Q değerine göre hesaplanan tasarımla birleştirilip son tasarım ortaya çıkacaktır.

Bütün bu aşamalardan sonra ilerlenen kazı boyunca kaya kütle özelliklerini sınıflandırmak ve bu sınıflandırmaya göre tahkimat tasarımı yapmak mümkün olmuştur. Ayrıca kaya patlama olgusu da hesaplanıp tahkimat analizi sırasında kullanılacaktır. Yapılan bütün hesaplamalar sonucunda Tablo 7.3’te bölgenin tahkimat tasarımı gösterilmiştir.

Tablo 7.2: Tahkimat tasarımı.

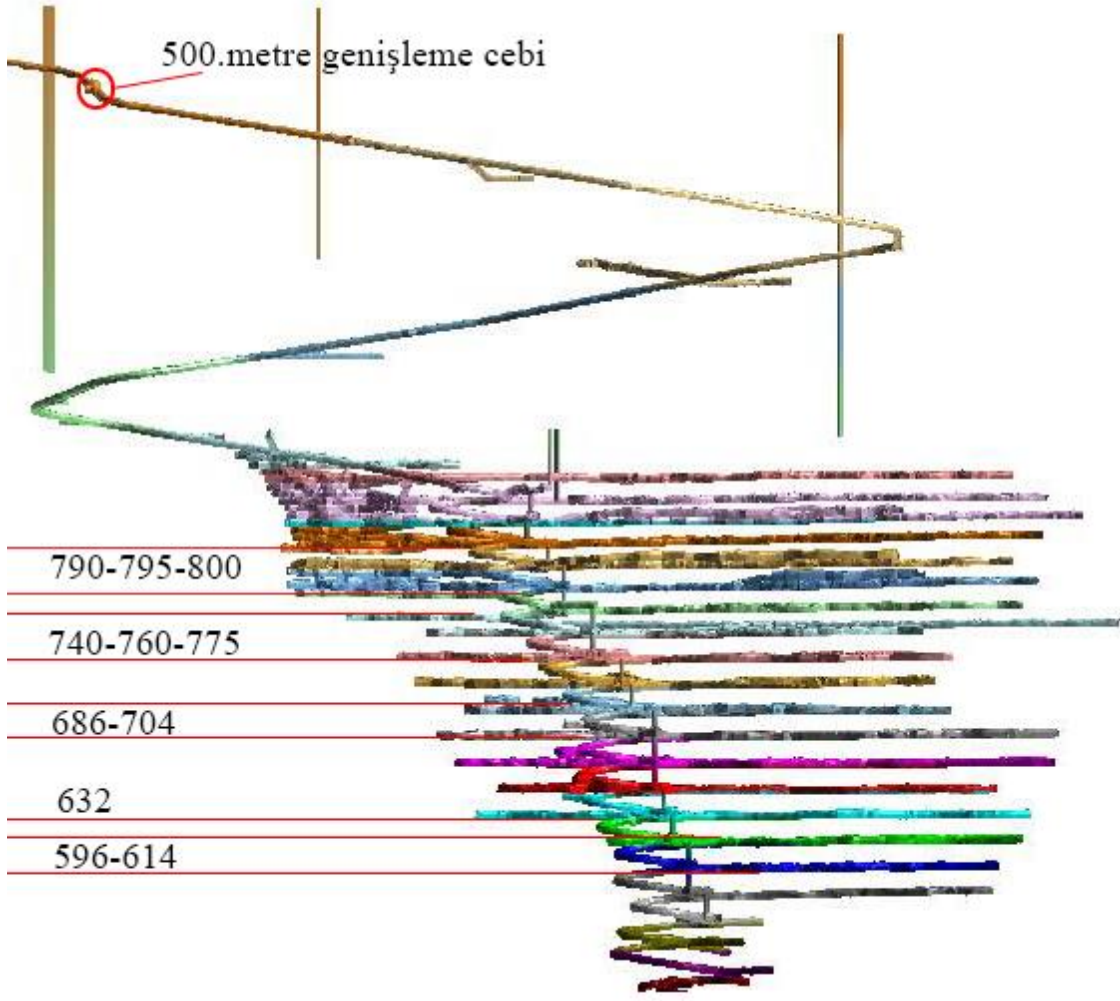
Kaya Kütle Grubu	Q	RMR*	P.Beton (Fiberli) (mm)	Saplama Aralığı (m)	Saplama Boyu (m)	Çelik Hasır	Kazı açıklığı (m)	σ_c / δ_0
G1	0,02	Çok kötü	150	1,0	2,5	Tavan	0,7	0,9
G2	0,106	kötü	120	1,3	2,5	Tavan ve Duvar	1,3	1,0
G3	0,275	kötü	90	1,4	2,5	Tavan ve Duvar	1,9	1,2
G4	4,455	iyi	-	1,5	2,5	Tavan ve Duvar	5,8	2,0

Tablo 7.2'ye göre 4. grup haricinde diğer 3 bölgeye fiber katkılı püskürtme beton uygulaması gerekmektedir. Uygulanacak olan betonun kalınlığı 9 cm ile 15 cm arasında değişmelidir. Kaya saplama uygulaması her bölgede gerekli görülmüş olup aralıkları 1 metre ile 1,5 metre arasında değişmektedir. Kaya saplaması uzunlukları 2,5 metre olarak belirlenmiştir. 4 bölgede de çelik hasır uygulaması gerekli görülmüş 1. Grupta sadece tavan bölgesinde uygulanması sonucu çıkmıştır. Tahkimatsız kazı açıklığı 0,7 m ile 5,8 metre arasında değişmektedir. Bu rakamlara göre 1, 2 ve 3. bölgelerde her atımdan sonra tahkimat yapılması gerekmektedir. Kayaç malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ve teğetsel gerilme değerinin oranına göre 1,2 ve 3. bölgelerde büyük çapta kaya patlama olgusu hesaplanırken 4. bölgede orta çapta kaya patlama olgusu hesaplanmıştır.

7.2. Sayısal Yöntemler ile Tahkimat Analizi

Laboratuvar ve arazi deneylerinden elde edilen veriler Phase² sayısal modelleme programında kullanılarak uygulanan tahkimat elemanlarının yeterliliğini ve bu bölgelerde risk oluşturan durumların olup olmadığı incelenmiştir. Bu bölümde yapılan incelemelerde galeri tabanına ait veriler dikkate alınmamıştır. Toplam yer değiştirme grafiklerinde yatay (x) eksenini tahkimatsız durumdaki yer değiştirmeleri, dikey (y) eksenini ise tahkimatlı durumdaki yer değiştirmeleri içermektedir. Bölüm içerisindeki tablolarda TD değerleri cm ve σ_1 değerleri MPa cinsindedir.

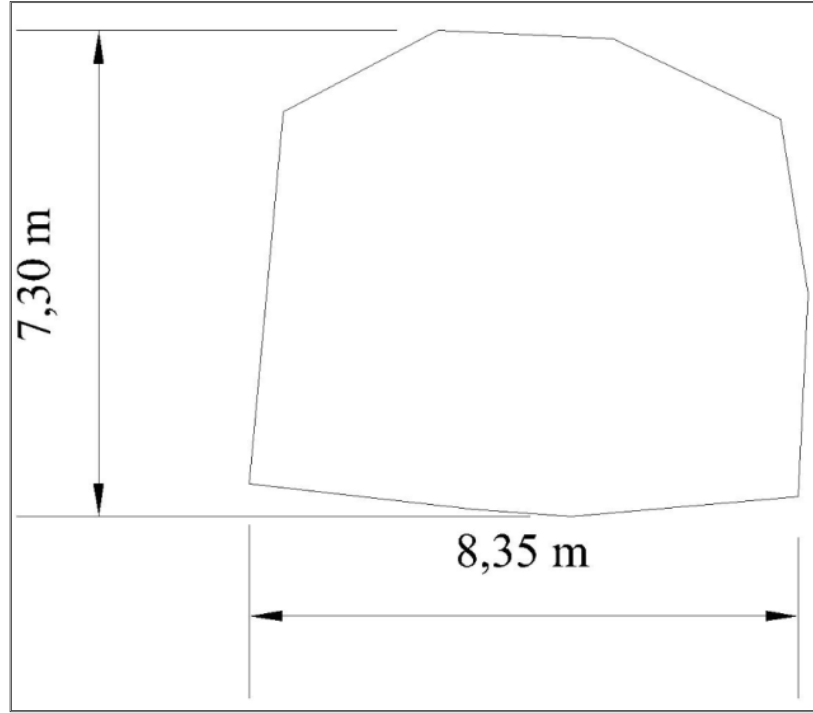
Analizlerin gerçekleştiği katlar, ocağın genel görünüş haritasında Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2: Sayısal analiz yapılan kotların gösterimi

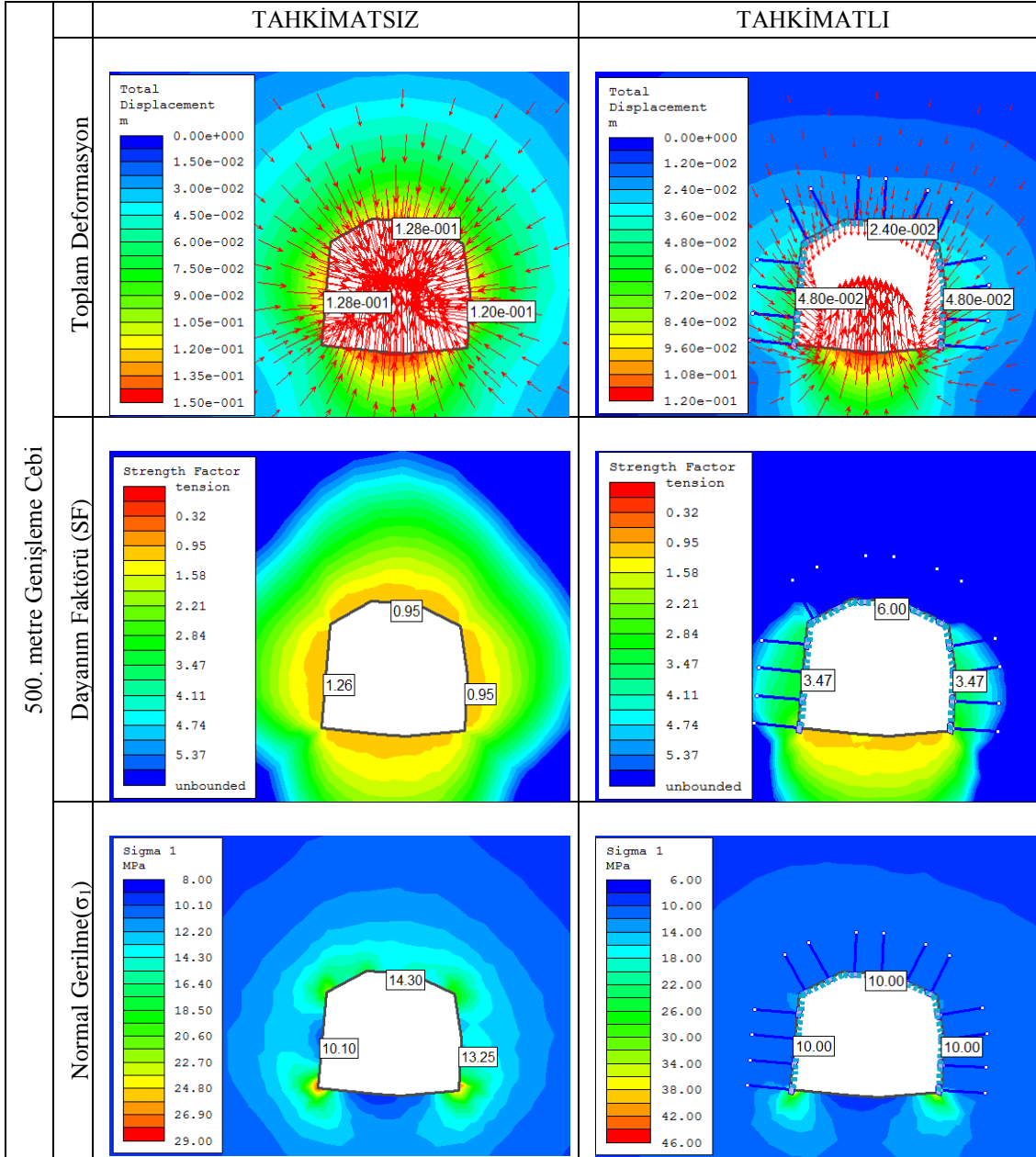
Yeraltında oluşturulan açıklıklar sayısal yöntemler yardımı ile modellenip incelenmiştir. Ana yol üzerinde 500. metrede bulunan genişleme cebi ve 704 – 686 katları arasındaki anayol üzerindeki bir kesitte bu galerilerin birbirine etkisi incelenmiştir. 740 – 760 – 775 Doğu üretim galerilerinde dolgu yanı çalışılan bölgelerdeki tahkimat tasarımları analiz edilmiştir. 790-795 katları arasında ise dolgu altı çalışan bölgelerdeki tasarımlar incelenmiştir.

İkiden fazla süreksizlik takımı içeren bitümlü kireçtaşında bulunan 500. metre genişleme cebinin harita grubu tarafından tünel cidarından 8 nokta alınarak çıkartılmış kesiti Şekil 7.3'te gösterilmiştir.



Şekil 7.3: 500. m genişleme cebi kesit görünüm

500. m'deki genişleme bölgesinde tahkimatsız durum ile tahkimatlı durumda yapılan sayısal analiz görsel olarak Şekil 7.4'te sunulmuştur.



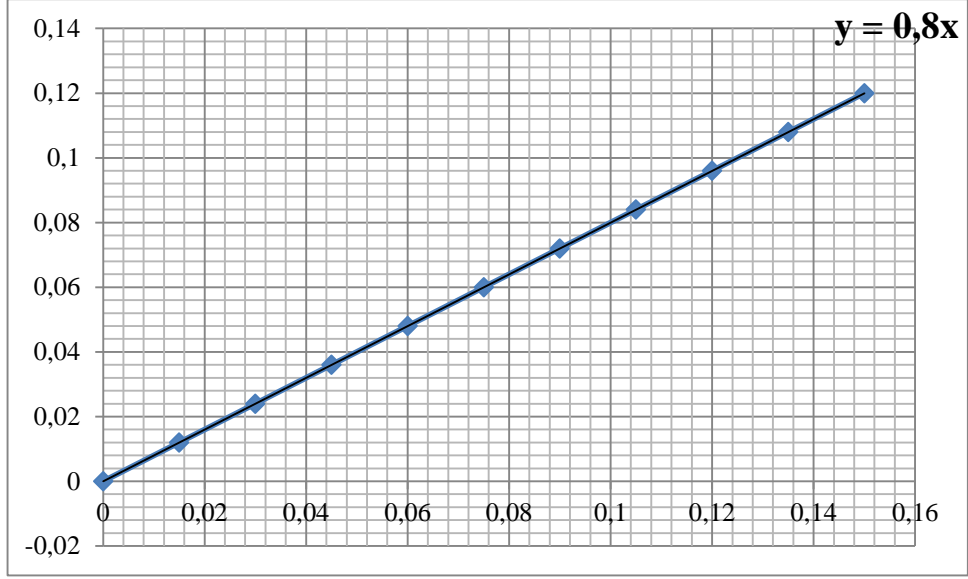
Şekil 7.4: 500. m genişleme cebi sayısal analizi.

Analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 7.3'te verilmiştir. Toplam yer değiştirme verileri tahkimatlı ve tahkimatsız olarak grafik haline getirilmiş ve Şekil 7.5'te gösterilmiştir.

Tablo 7.3: Sayısal analiz sonuçları

	Tavan		Sol Duvar		Sağ Duvar		Sol Üst Köşe		Sağ Üst Köşe	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
TD	12,8	2,4	12,8	5,4	12	4,8	9,8	3,6	9,8	3
SF	0,95	6	0,95	3,16	0,95	3,47	1,26	4,42	1,26	5,68
σ_1	18,5	10	15,35	10	13,25	10	21,65	12	19,55	12

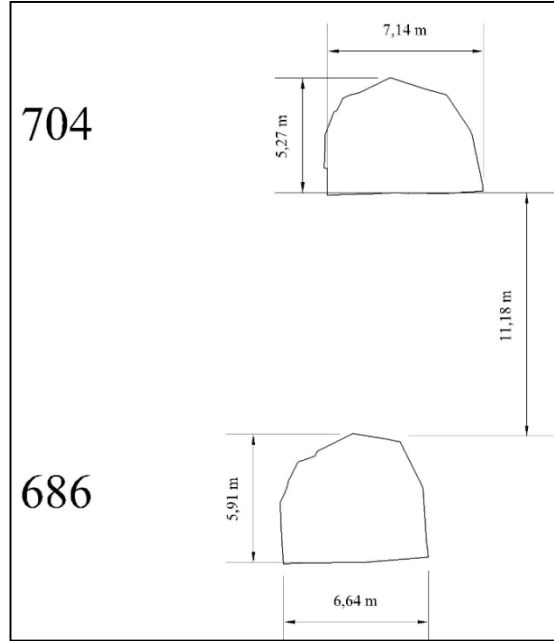
Not * :Tahkimatsız açıklık
** :Tahkimatlı açıklık



Şekil 7.5: Toplam yer değiştirme grafiği

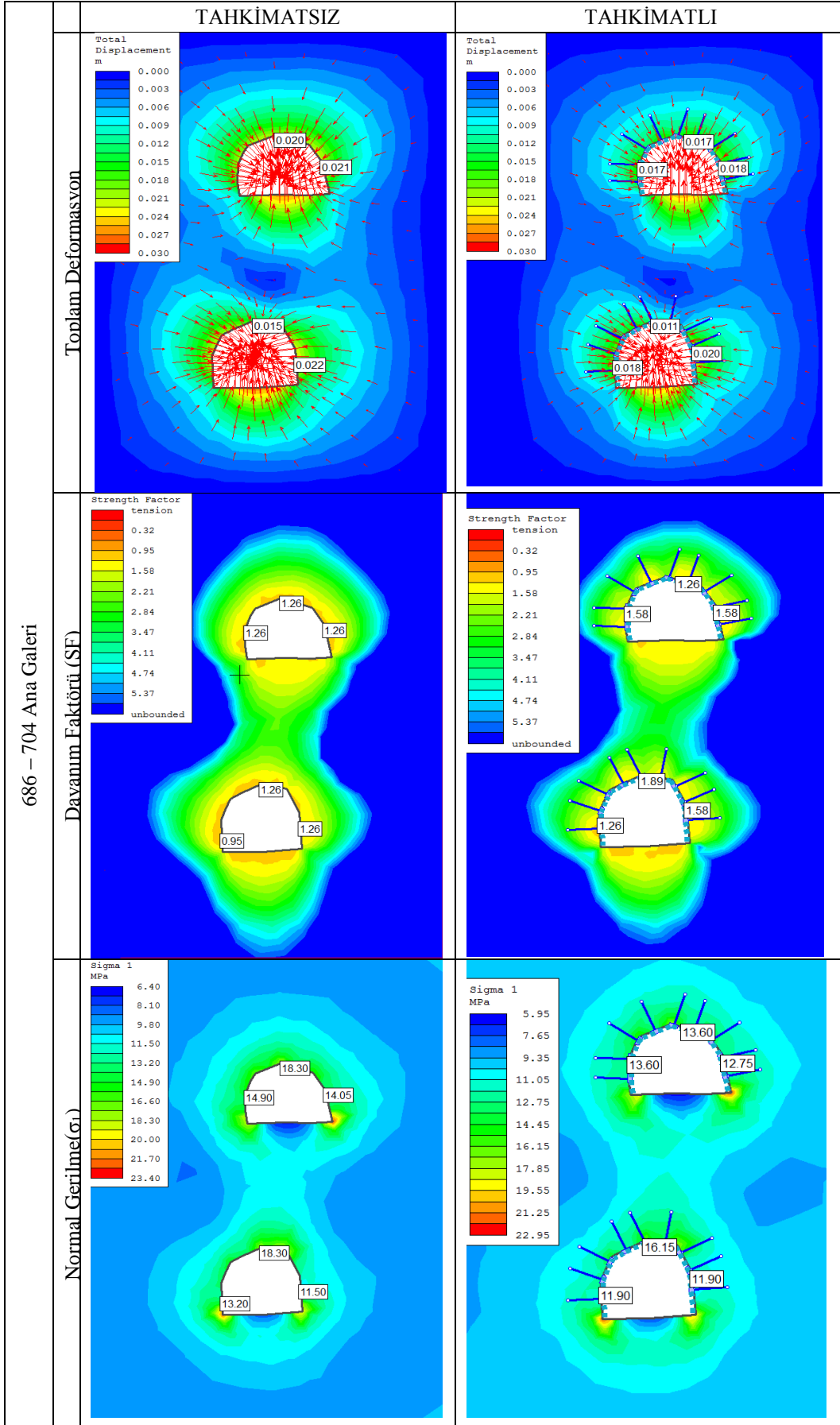
Çizilen grafiğin denklemine göre; tahkimat elemanları açıklıkta meydana gelen yer değiştirmeyi %20 oranında azaltmıştır.

686 – 704 katları arası alınan kesitte yapılan sayısal analize göre uygulanan tahkimat elemanları uygun bulunmuştur. Ufak kırık ve çatlaklar içeren, geneli kireçtaşında üretilip analiz yapılan bu bölgenin harita grubu tarafından tünel cidarından 8 nokta alınarak çıkartılmış kesiti Şekil 7.6' da gösterilmiştir.



Şekil 7.6: 686 -704 katları arası kesit görünüm

686-704 katları arasında tahkimatsız durum ile tahkimatlı durumda yapılan sayısal analiz görsel olarak Şekil 7.7'de sunulmuştur.



Şekil 7.7: 686-704 katları arası sayısal analizi.

Analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 7.4'te verilmiştir.

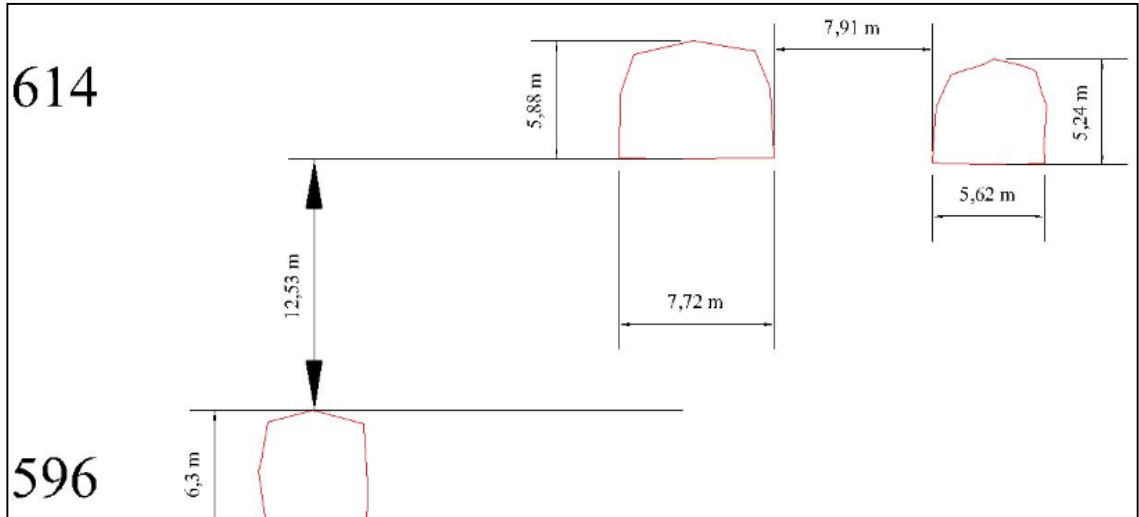
Tablo 7.4: Sayısal analiz sonuçları

		Tavan		Sol Duvar		Sağ Duvar		Sol Üst Köşe		Sağ Üst Köşe	
		*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
704	TD	2	1,4	2	1,7	2,2	1,8	2	1,4	2,1	1,7
	SF	1,26	1,89	1,26	1,58	1,26	1,26	1,26	1,89	1,26	1,26
	σ_1	18,3	17	14,9	12,75	14,05	11,05	16,6	15,3	15,75	13,6
686	TD	1,5	0,9	2,1	1,8	2,2	2,1	2	1,4	1,4	0,6
	SF	1,26	1,89	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,89	1,26	1,89
	σ_1	18,3	17	14,05	11,9	12,35	10,2	15,75	14,45	18,3	17

Not * :Tahkimatsız açıklık
 ** :Tahkimatlı açıklık

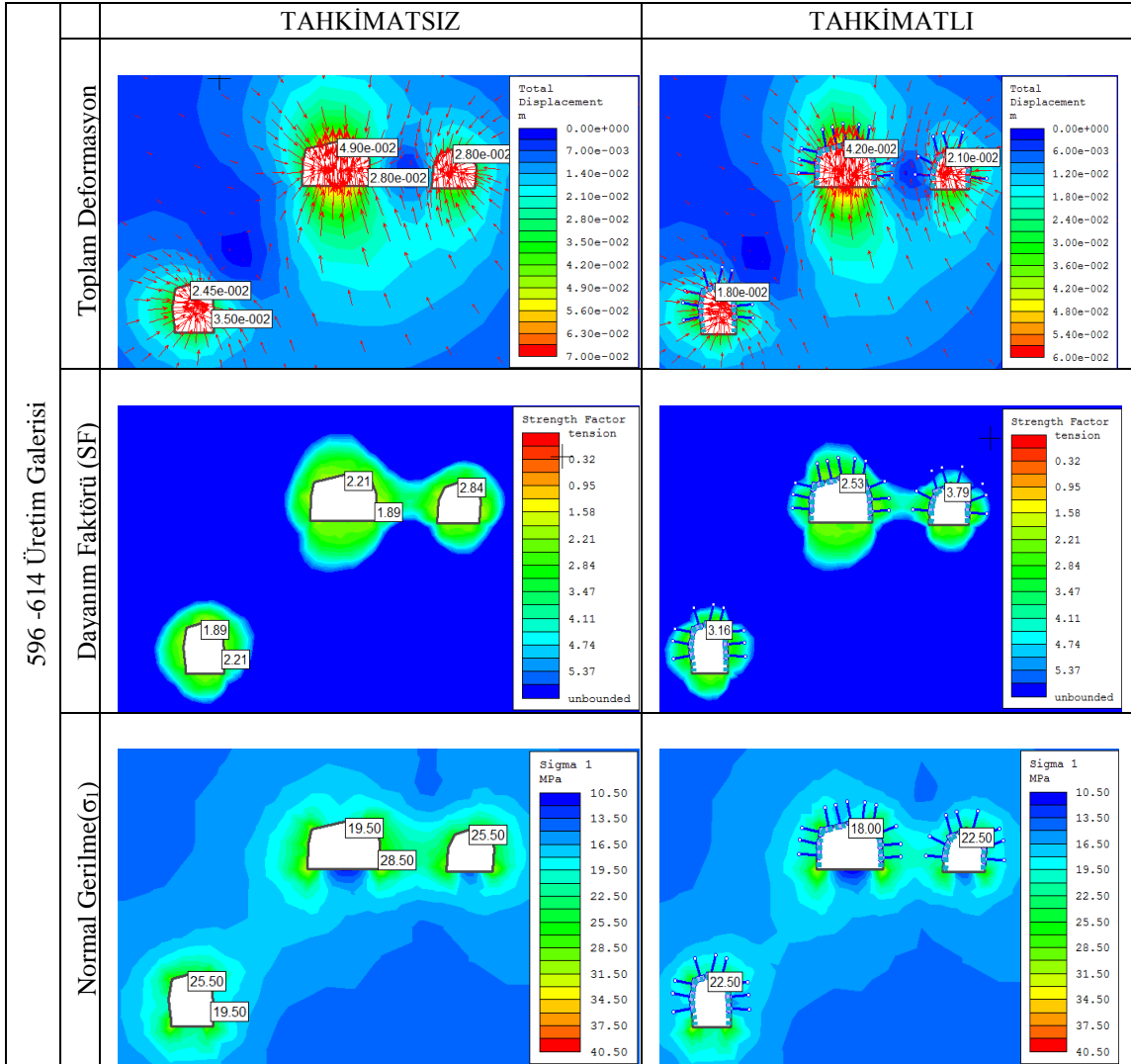
Bu bölge yerinde incelendiğinde tahkimatta bir problem olmadığı gözlemlenmiş ve sayısal analiz ile doğrulanmıştır.

Skarn tipi kaya kütlelerinin içerisinde bulunan 596 – 614 doğu aynaları harita grubu tarafından 8 noktalı kesit olarak alınmış ve Şekil 7.8' de gösterilmiştir.



Şekil 7.8: 596 -614 katları arası kesit görünüm

596-614 katları arasında tahkimatsız durum ile tahkimatlı durumda yapılan sayısal analiz görsel olarak Şekil 7.9'da sunulmuştur.



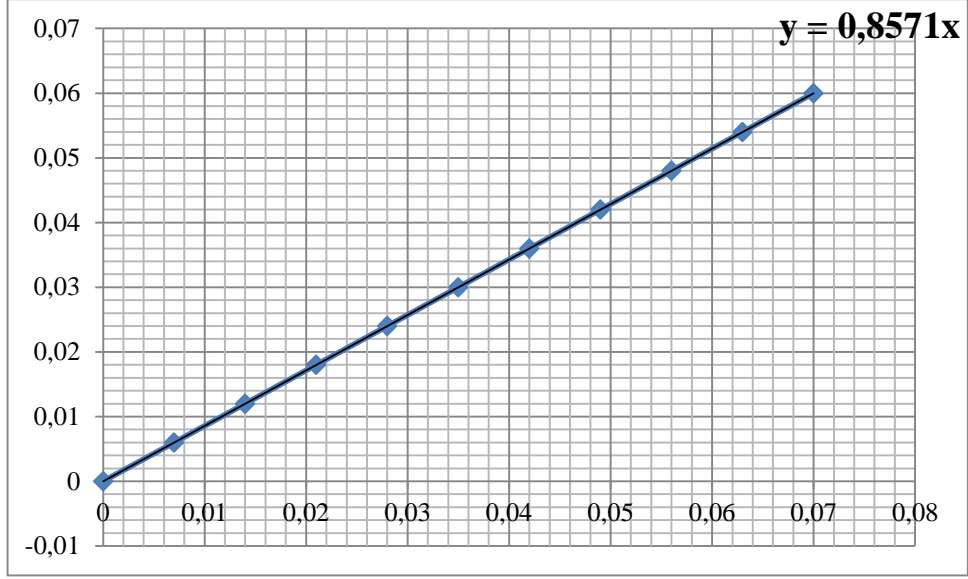
Şekil 7.9: 596 – 614 katları arası sayısal analizi.

Analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 7.5’te verilmiştir. Toplam yer değiştirme verileri tahkimatlı ve tahkimatsız olarak grafik haline getirilmiş ve Şekil 7.10’da gösterilmiştir.

Tablo 7.5: Sayısal analiz sonuçları

614 SOL		Tavan		Sol Duvar		Sağ Duvar		Sol Üst Köşe		Sağ Üst Köşe	
		*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
TD		4,9	4,5	3,2	3	2,8	2,7	3,5	2,1	3,5	2,4
SF		2,21	2,21	2,21	2,53	1,89	2,53	2,21	3,16	1,58	2,84
σ ₁		19,5	18	27	22,5	27	22,5	30	30	39	37,5
596	TD	2,5	1,8	3,9	3,3	3,5	3,3	2,8	1,5	1,8	0,6
	SF	1,89	3,16	2,21	2,84	2,21	2,53	2,53	3,47	2,53	3,79
	σ ₁	25,5	22,5	21	18	19,5	16,5	28,5	28,5	30	28,5

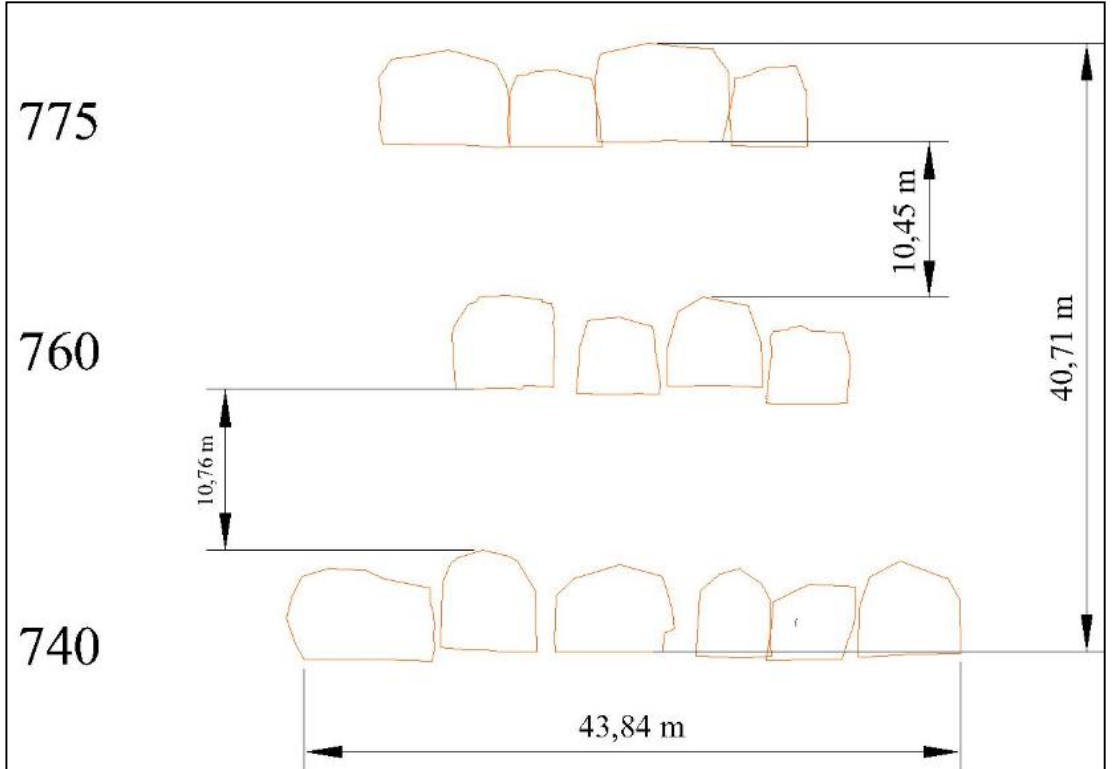
Not * :Tahkimatsız açıklık
** :Tahkimatlı açıklık



Şekil 7.10: Toplam yer değiştirme grafiği

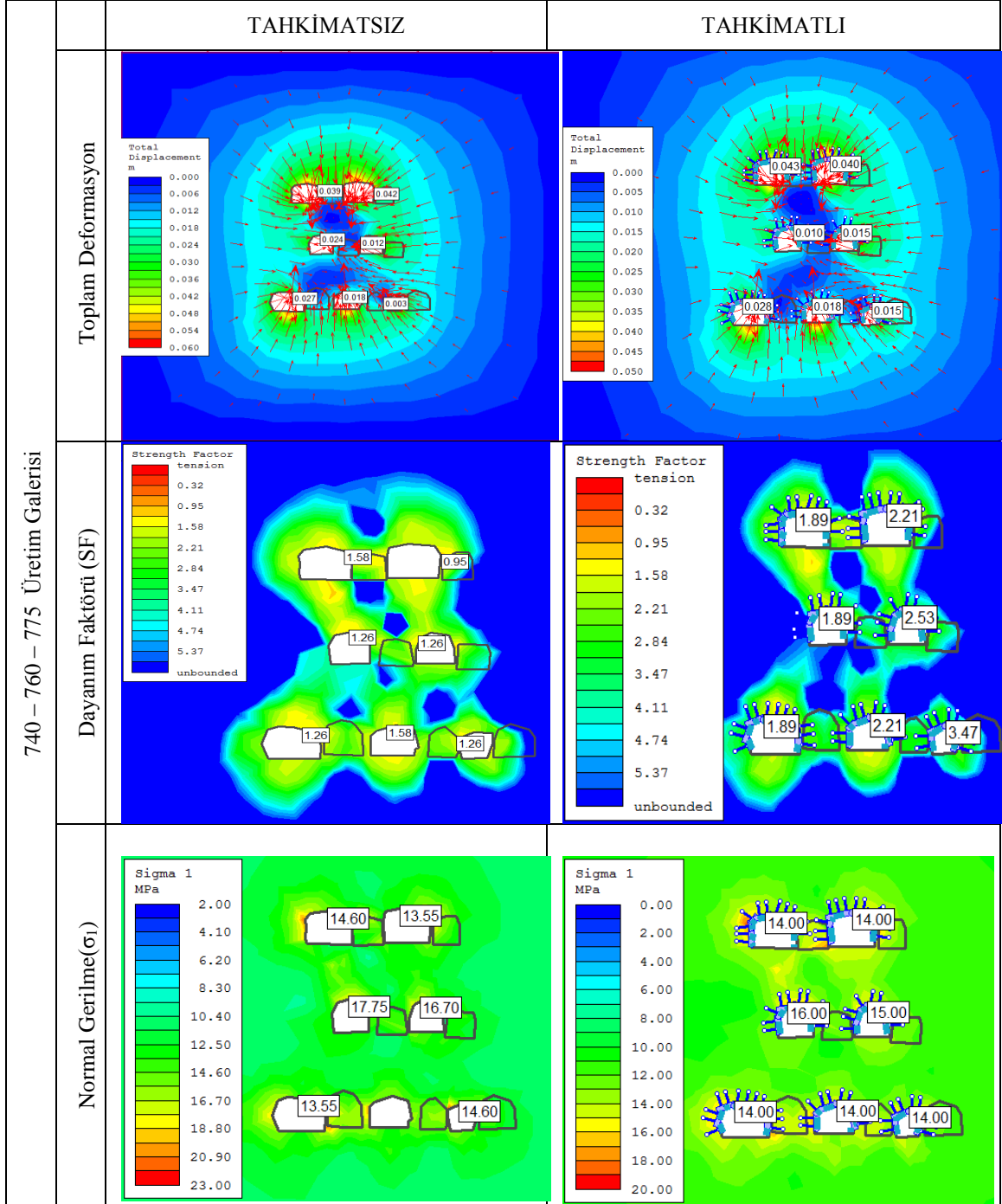
Çizilen grafiğin denklemine göre; tahkimat elemanları açıklıkta meydana gelen yer değiştirmeyi %15 oranında azaltmıştır.

Skarn içi cevherleşmenin görüldüğü 740 – 760 – 775 doğu aynalarında topuk bırakılarak yapılan üretim şekli incelenmiştir. Analiz yapılan bu bölgenin kesit görünümü Şekil 7.11’de verilmiştir.

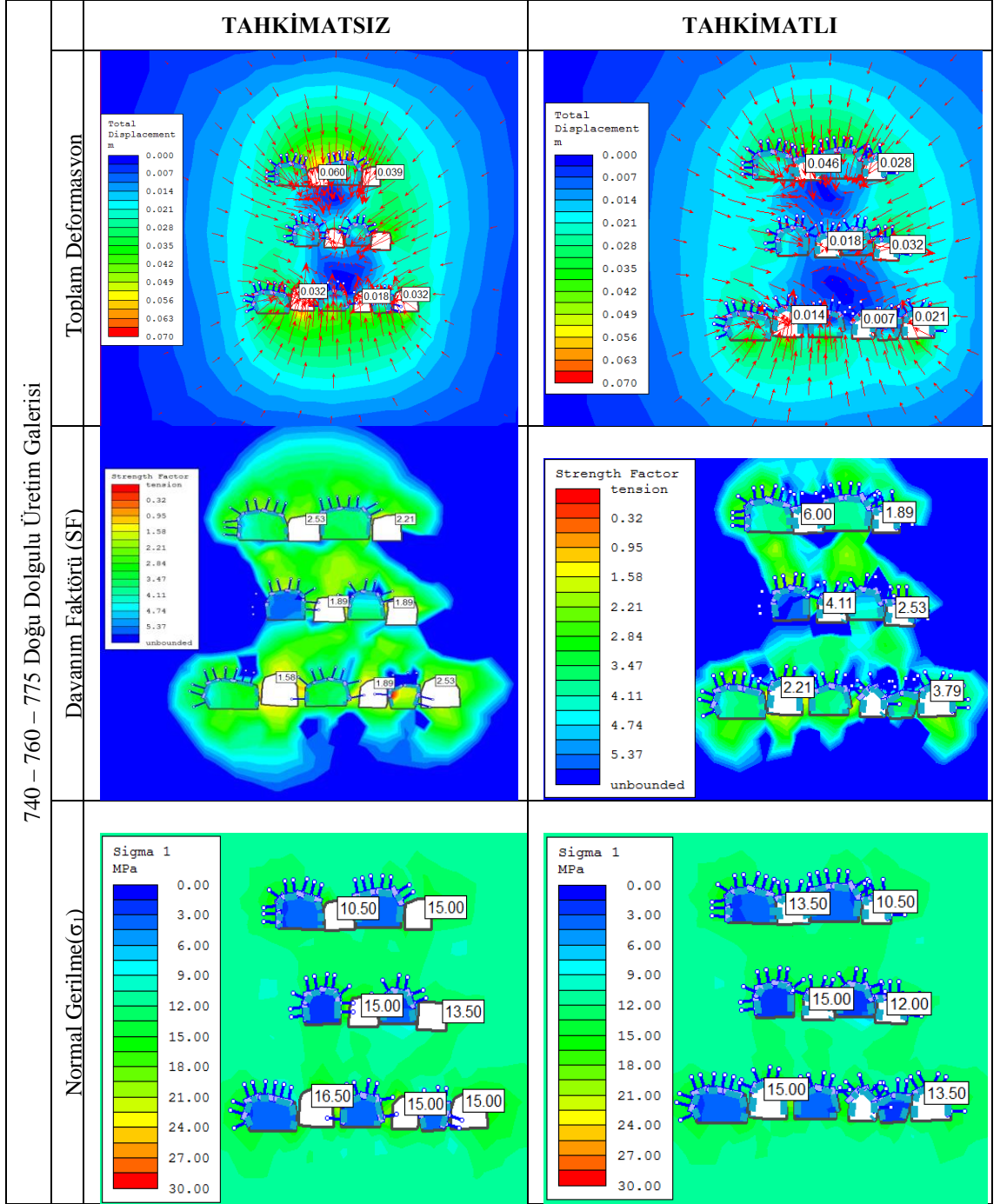


Şekil 7.11: 740 – 760 – 775 katları arası kesit görünüm

Cevherin bulunduğu bu bölgede galerilerin birbirine tehlikeli boyutta bir etkisi tespit edilememiştir. Dolgu numuneleri üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Phase² programı yardımı ile modellenmiş ve dolgu nizami şekilde yapıldığında doldurulan açıklıkların aradaki topuklar üretime geçtiğinde bu topukların yerine duraylı bir şekilde çalıştığı görülmüştür (Şekil 7.12 ve 7.13).



Şekil 7.12: 740 – 760 – 775 katları arası sayısal analizi.



Şekil 7.13:740– 760 – 775 katları arası sayısal analizi (dolgu arası).

Analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 7.6 ve 7.7’de verilmiştir. Toplam yer değiştirme verileri tahkimatlı ve tahkimatsız olarak grafik haline getirilmiş ve Şekil 7.14’te gösterilmiştir.

Tablo 7.6: Sayısal analiz sonuçları

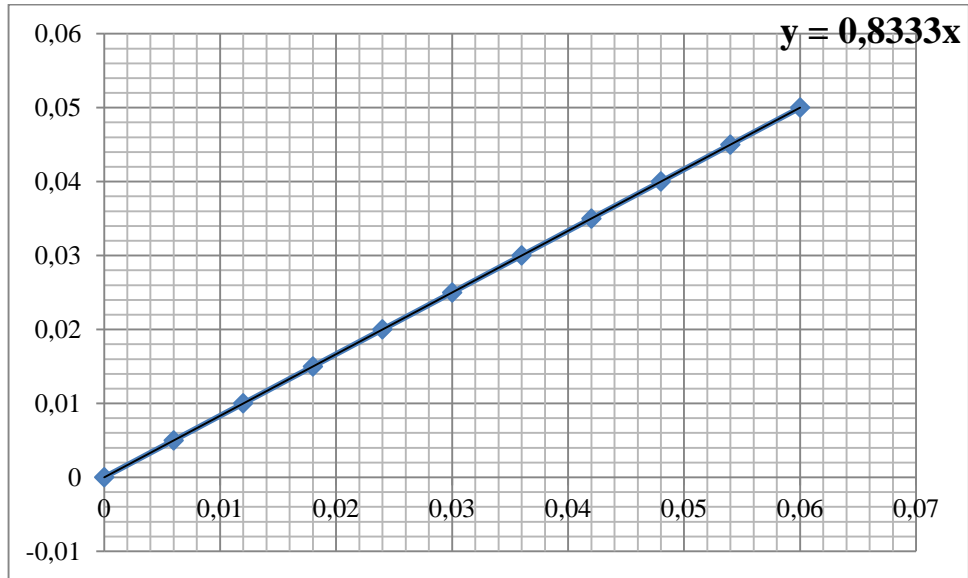
		Tavan		Sol Duvar		Sağ Duvar		Sol Üst Köşe		Sağ Üst Köşe	
		*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
775 SOL	TD	5,4	4,3	3,9	2,8	2,21	2	3,39	2,8	3,39	2,8
	SF	1,26	1,58	1,58	2,21	2,21	6	1,89	2,53	1,58	2,21
	σ_1	14,6	14	19,85	19	13,55	6	17,75	16	14,6	15
775 SAĞ	TD	5,7	4,3	1,8	2	3,3	3,3	3,39	2,5	4,2	3
	SF	1,58	2,21	1,26	1,26	1,58	1,58	1,89	2,84	1,58	2,21
	σ_1	13,55	13	14,6	11	17,75	17	12,5	12	16,7	15
760 SOL	TD	2,4	1,8	3,3	2,2	2,1	1,3	2,27	2	2,1	1,3
	SF	1,26	1,58	4,11	5,68	3,16	4,11	1,58	1,89	1,89	2,53
	σ_1	17,75	16	12,5	13	14,6	13	16,7	16	15,65	15
760 SAĞ	TD	2,1	1,3	0,9	0,7	4,8	3,3	1,2	0,7	3	2,5
	SF	1,89	2,53	1,89	2,53	0,95	1,58	1,26	2,21	2,21	2,53
	σ_1	16,7	15	15,65	13	9	12	17,75	16	13,55	13
740 SOL	TD	3,6	3,3	3,3	2,2	1,8	1,5	2,4	1,8	1,2	0,7
	SF	1,26	1,58	2,21	2,84	1,26	2,21	2,53	3,16	1,26	2,21
	σ_1	13,55	13	18,8	16	19,85	17	16,7	16	17,75	16
740 ORTA	TD	2,1	1,8	2,1	1,5	2,4	1,8	1,5	1,3	1,8	1,3
	SF	1,58	1,89	1,58	2,21	2,21	2,53	1,89	2,53	3,16	4,11
	σ_1	15,65	15	18,8	16	15,65	15	15,65	16	14,6	14

Not * :Tahkimatsız açıklık
** :Tahkimatlı açıklık

Tablo 7.7: Sayısal analiz sonuçları (Dolgu arası çalışılan bölge)

	Tavan		Sol Duvar		Sağ Duvar		Sol Üst Köşe		Sağ Üst Köşe		
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	
775 SOL	TD	6,3	4,6	3,2	2,1	2,1	1,8	4,9	3,5	5,3	3,2
	SF	2,21	6	2,53	2,21	0,95	0,95	1,89	3,79	1,26	1,58
	σ_1	10,5	12	16,5	16,5	9	13,5	16,5	15	15	18
775 SAĞ	TD	4,9	3,5	2,1	1,8	3,9	3,5	4,2	2,8	3,9	2,8
	SF	1,26	1,89	2,21	3,16	4,42	3,16	1,26	1,58	2,21	2,53
	σ_1	9	10,5	16,5	16,5	15	13,5	16,5	25,5	15	13,5
760 SOL	TD	2,8	2,1	1,8	1,4	2,5	1,4	2,1	1,1	2,8	1,4
	SF	1,89	3,79	1,89	3,79	2,21	2,53	2,53	4,42	2,84	3,79
	σ_1	15	13,5	19,5	16,5	10,5	13,5	16,5	15	12	13,5
760 SAĞ	TD	4,2	3,5	2,4	3,2	4,2	3,2	3,5	2,8	3,9	3,2
	SF	2,21	2,53	3,79	5,05	1,58	2,84	2,21	3,16	2,84	3,16
	σ_1	13,5	12	6	6	18	15	12	15	13,5	13,5
740 SOL	TD	3,2	1,8	3,5	3,2	3,2	0,7	3,5	2,1	2,1	1,1
	SF	1,58	2,21	0,95	6	1,58	1,26	2,21	3,79	1,26	2,21
	σ_1	16,5	15	6	9	16,5	19,5	12	12	19,5	16,5
740 ORTA	TD	1,8	0,7	2,5	1,1	4,6	1,8	1,4	0,7	3,5	1,4
	SF	1,89	6	2,21	2,53	1,58	1,89	1,26	1,89	1,58	1,89
	σ_1	15	13,5	16,5	15	12	18	21	16,5	10,5	16,5

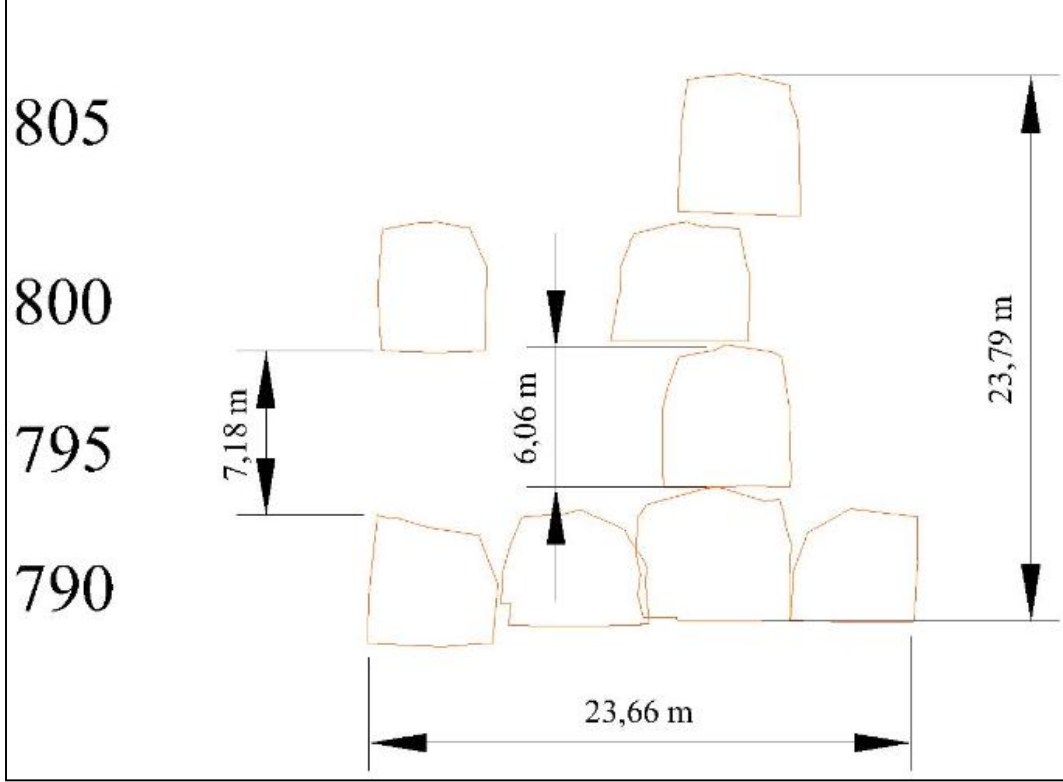
Not * :Tahkimatsız açıklık
** :Tahkimatlı açıklık



Şekil 7.14: Toplam yer değiştirme grafiği

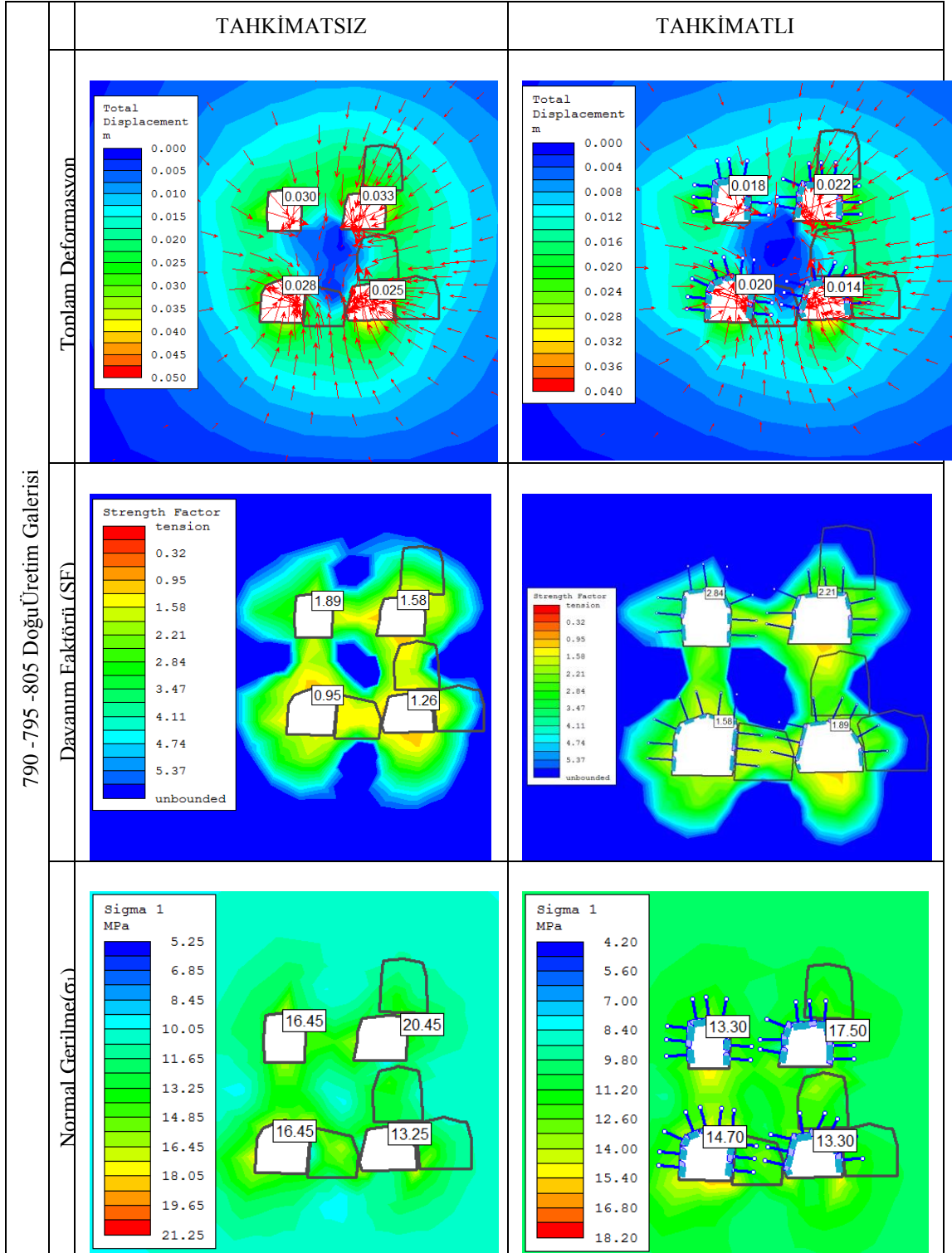
Çizilen grafiğin denklemine göre; dolgu arası çalışılan bölgelerde tahkimat elemanları açıklıkta meydana gelen yer değiştirmeyi %17 oranında azaltmıştır.

Andezit ve kireçtaşı kantağında oluşan ve cevherin en yüksek tenörüne sahip olduğu 790 – 795 doğu katları arasında yapılan çalışmada %8 imento katkılı dolgunun altındaki çalışma bölgeleri incelenmiştir. Çalışılan bu bölgenin kesit görünüşü şekil 7.15'te verilmiştir.

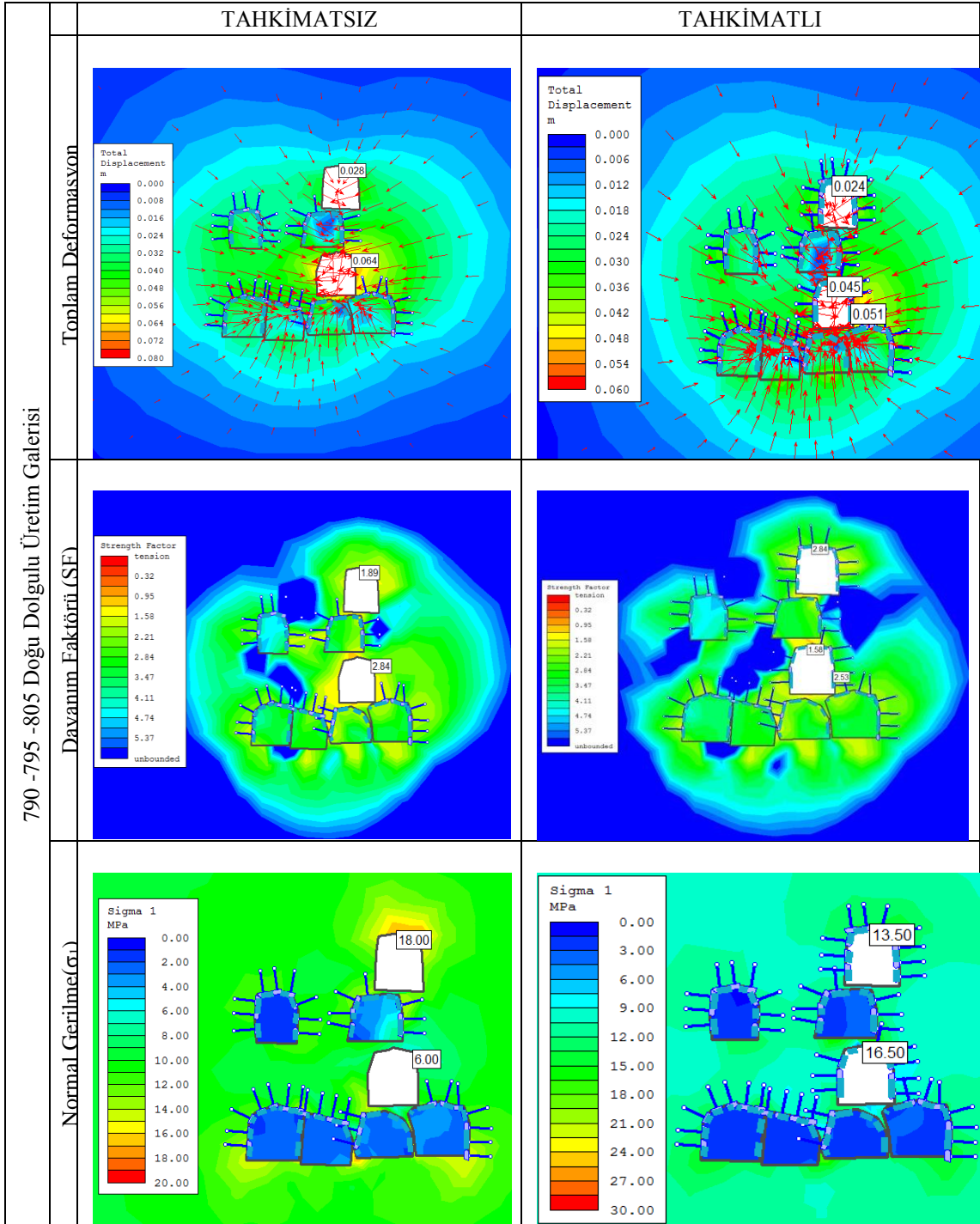


şekil 7.15: 790-795-800 katları arası kesit görünüm

790-795 ve 800 katları arasında tahkimatsız durum ile tahkimatlı durumda yapılan sayısal analiz görsel olarak şekil 7.16'da sunulmuştur. Ayrıca dolgulu bölgenin altında yapılan çalışmaya ait sayısal analiz de şekil 7.17'da verilmiştir.



Şekil 7.16: 790 -795 -800 katları arası sayısal analizi.



Şekil 7.17:790 -795 -805 katları arası sayısal analizi (Dolgu üstü ve altı).

Analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 7.8 ve 7.9'da verilmiştir. Toplam yer değiştirme verileri tahkimatlı ve tahkimatsız olarak grafik haline getirilmiş ve Şekil 7.18 ve 7.19'da gösterilmiştir.

Tablo 7.8: Sayısal analiz sonuçları

	Tavan		Sol Duvar		Sağ Duvar		Sol Üst Köşe		Sağ Üst Köşe		
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	
800 SOL	TD	3	1,8	3,3	2,6	2,5	1,6	2,2	1,4	2,5	1,2
	SF	1,89	2,84	2,84	3,47	1,58	2,21	3,16	3,79	3,16	4,42
	σ_1	16,45	13,3	12,45	11,2	14,85	11,9	12,45	11,9	12,45	11,9
800 SAĞ	TD	4	2,8	2,8	2,2	3,7	2,8	3	1,8	3	1,6
	SF	1,58	2,53	1,26	1,26	1,58	2,21	1,89	2,84	1,26	2,21
	σ_1	14,05	11,2	14,05	9,1	14,05	11,9	12,45	11,9	20,45	17,5
790 SOL	TD	2,8	1,8	3	2,4	3,3	2,2	2,8	1,8	2,2	0,4
	SF	0,95	1,58	1,26	1,89	0,95	1,26	1,58	2,53	1,58	2,21
	σ_1	16,45	15,4	16,45	12,6	6,05	5,6	16,45	14	6,85	15,4
790 SAĞ	TD	2,5	1,4	2	1,2	3,5	2,4	1,5	0,4	3,3	2,2
	SF	1,26	1,89	1,26	1,26	1,58	2,53	1,26	3,16	1,26	2,21
	σ_1	13,25	13,3	10,85	9,8	14,05	11,9	14,05	13,3	12,45	13,3

Not * :Tahkimatsız açıklık

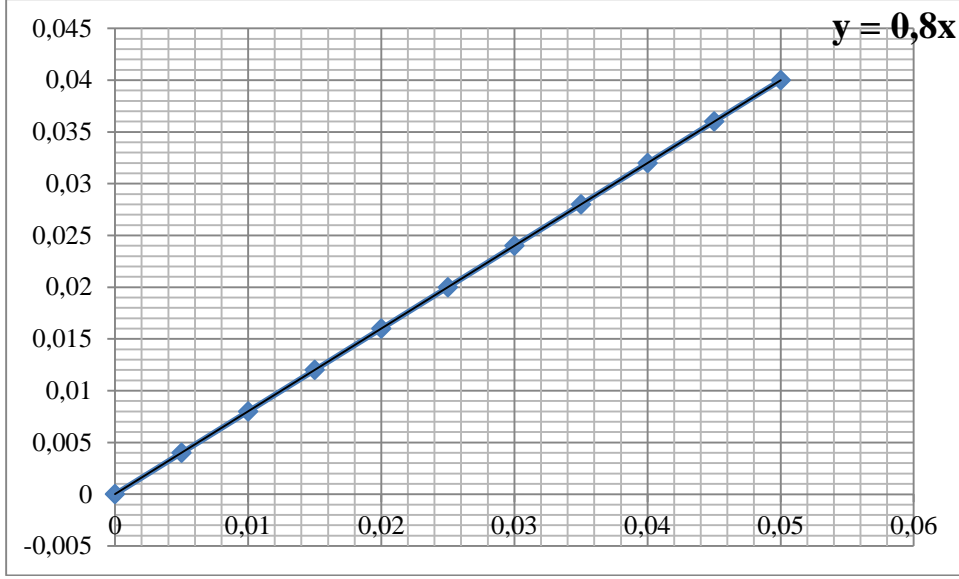
** :Tahkimatlı açıklık

Tablo 7.9: Sayısal analiz sonuçları (Dolgu altı ve üstü)

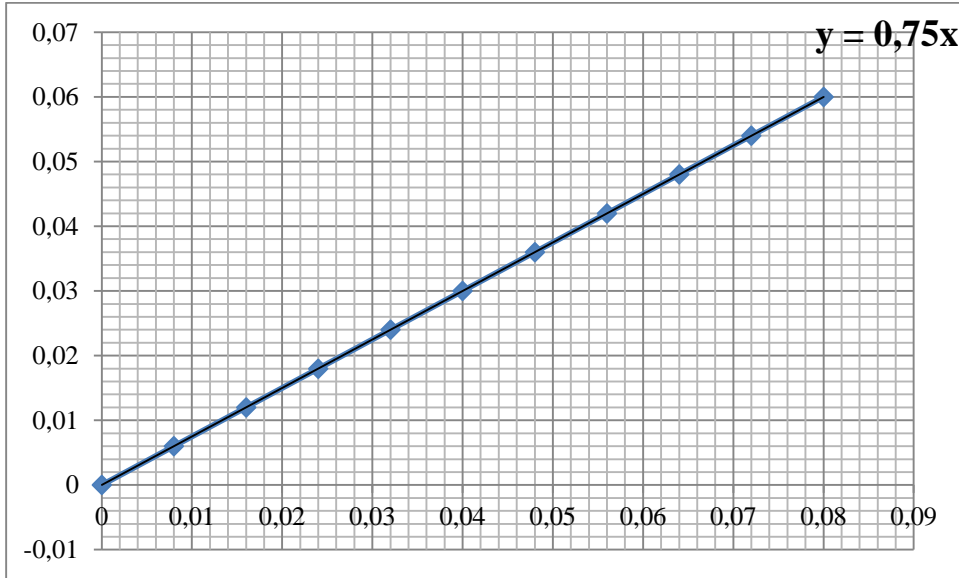
	Tavan		Sol Duvar		Sağ Duvar		Sol Üst Köşe		Sağ Üst Köşe		
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**	
800 SOL	TD	2,8	2,4	4	3,6	4,4	3	2,8	2,4	3,2	2,1
	SF	1,89	2,84	1,89	1,58	1,89	1,89	2,21	2,21	1,58	2,21
	σ_1	18	13,5	12	12	13	15	15	13,5	18	16,5
795	TD	4,4	2,1	6,4	3,9	6,8	5,1	5,2	0,9	6,4	3,6
	SF	0,95	1,26	1,26	3,16	1,26	2,84	1,58	1,58	2,84	2,53
	σ_1	7	16,5	10	9	9	7,5	9	12	6	12

Not * :Tahkimatsız açıklık

** :Tahkimatlı açıklık



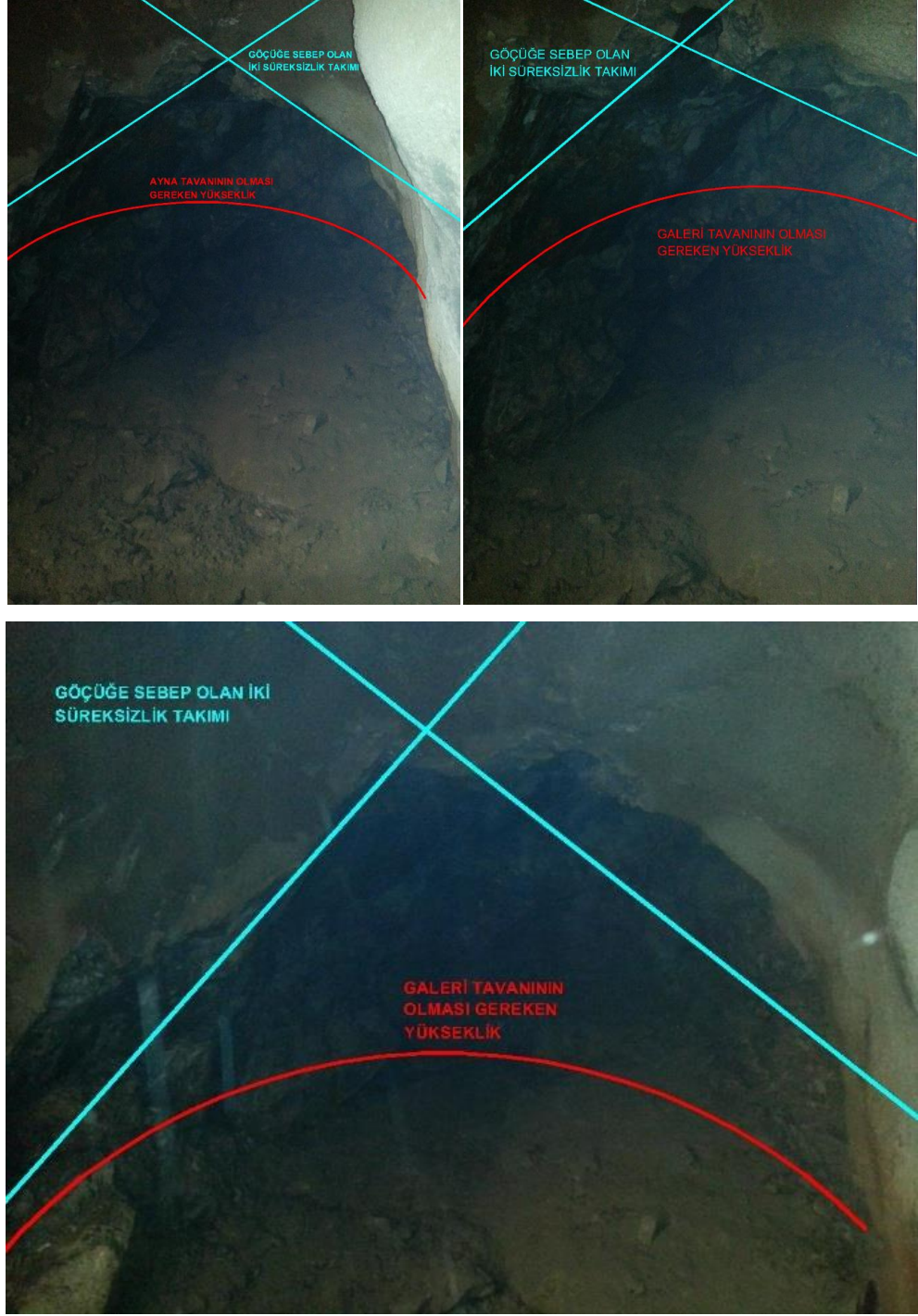
Şekil 7.18: Toplam yer değiştirme grafiği



Şekil 7.19: Toplam yer değiştirme grafiği (dolgu yapışan bölgeler)

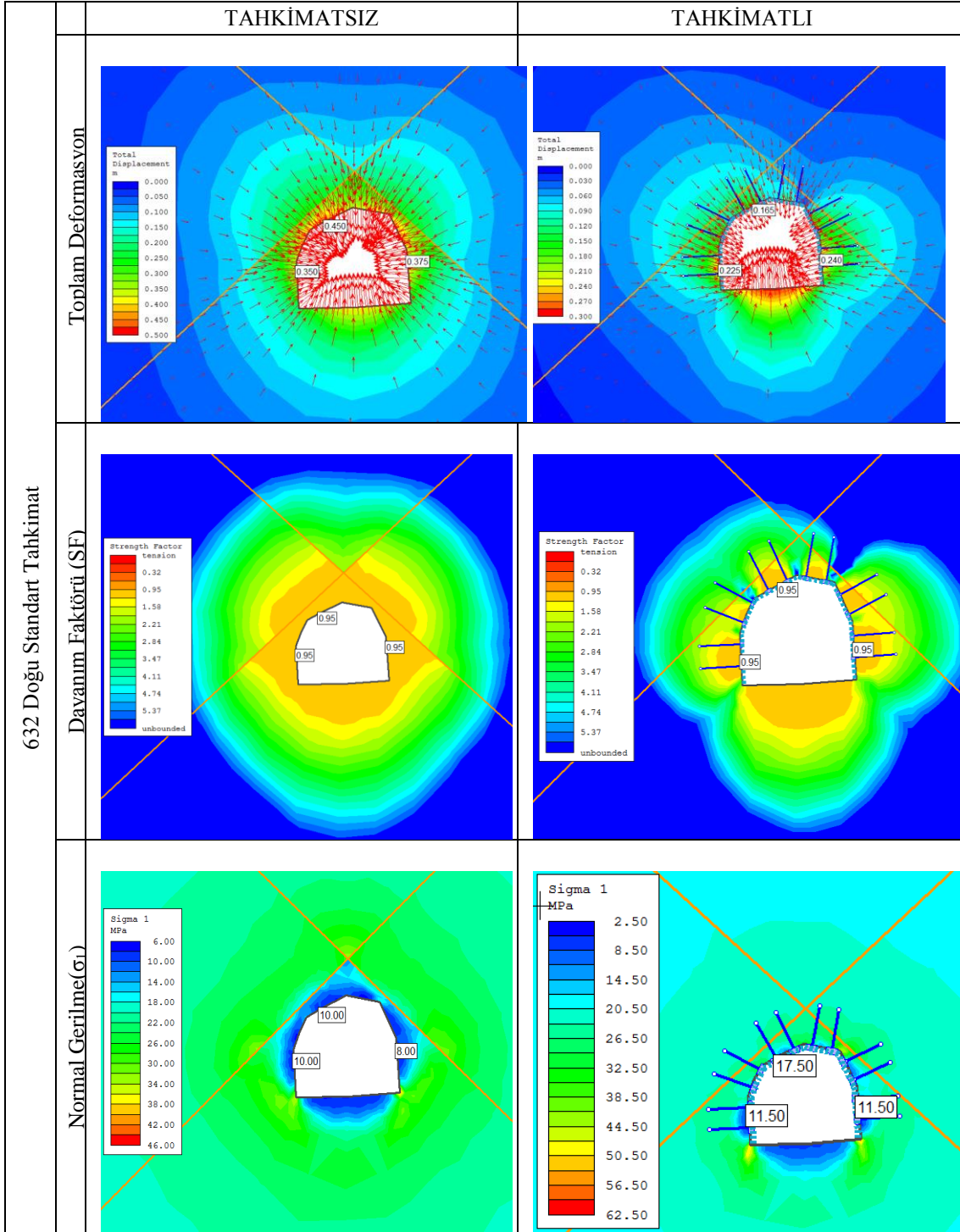
Çizilen grafiklerin denklemlerine göre; dolgu yapılmadan önce çalışılan bölgelerde tahkimat elemanları açıklıkta meydana gelen yer değiştirmeyi %20 oranında azaltırken, aynı bölgede dolgu yapıldıktan sonra dolgunun altında ve üstünde çalışılan galerilerde tahkimat elemanları toplam yer değiştirmeyi %25 oranında azaltmıştır.

Sahadaki uygulamalar incelendiğinde sonuçların sayısal analizlerden elde edilen verilerle çok uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Standart bölgelerde iki durumun birbiri ile tutarlı olması durumundan sonra 632 Doğu aynasında tahkimatta yaşanan bozulma Phase² ile görsel olarak incelenmiştir. Bu bölgede yaşanan sorun Şekil 7.19'da gösterilmiştir.



Şekil 7.20: 632 Doğu aynasında tahkimatta meydana gelen yenilme.

Geneli skarn kaya kütleli içerisinde açılan galerinin tahkimatsız durumu ve ocağın genelinde standart olarak uygulanan 5-7 cm püskürtme beton ve 1 m aralıklar ile splitset uygulaması nümerik yöntemler ile analiz edilerek görsel sonuçlar Şekil 7.21’de verilmiştir.



Şekil 7.21: 632 Doğu aynası tahkimatsız ve standart tahkimatlı durum analizi.

Analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 7.10'da verilmiştir.

Tablo 7.10: Sayısal analiz sonuçları

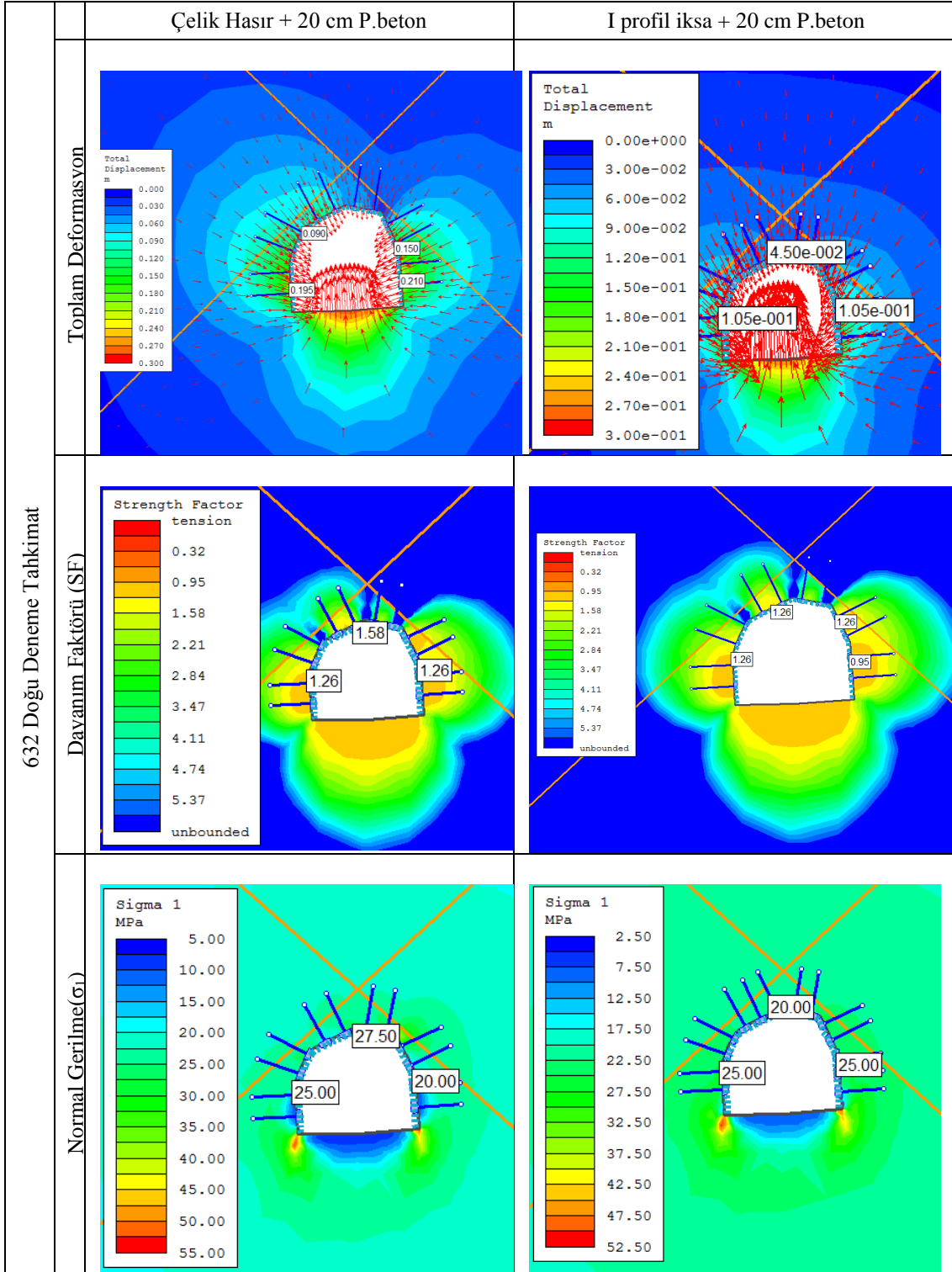
632		Tavan		Sol Duvar		Sağ Duvar		Sol Üst Köşe		Sağ Üst Köşe	
		*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
	TD	45	12	35	22,5	37,5	24	40	16,5	35	14
	SF	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
	σ_1	12	19	10	13	10	13	14	20	18	22

Not * :Tahkimatsız açıklık

** :Tahkimatlı açıklık

Tablo 17'deki verilere bakarak, dayanım faktörü değerinin uygulanan tahkimat tasarımı ile istenilen seviyelere çıkamadığı görülmüştür.

Bölge sağlamlığını arttırmak için Phase² programı ile iki farklı tahkimat tasarımı denenmiştir. Birinci olarak püskürtme betonun altına çelik hasır yerleştirilmiş ve püskürtme beton kalınlığı 20 cm'ye çıkartılmıştır. Splitset uygulaması standart olarak eklenmiştir. İkinci olarak bu bölgenin çok uzun zaman ayakta tutulmak istendiği varsayılarak 20 cm'lik püskürtme betonun altına I profil çelik iksa yerleştirilmiştir. Yine splitset uygulaması standart olarak uygulanmıştır. Deneme sonuçları Şekil 7.22'de karşılaştırma yapılarak incelenmiştir.



Şekil 7.22: 632 Doğu aynası için önerilen tahkimat tasarımları.

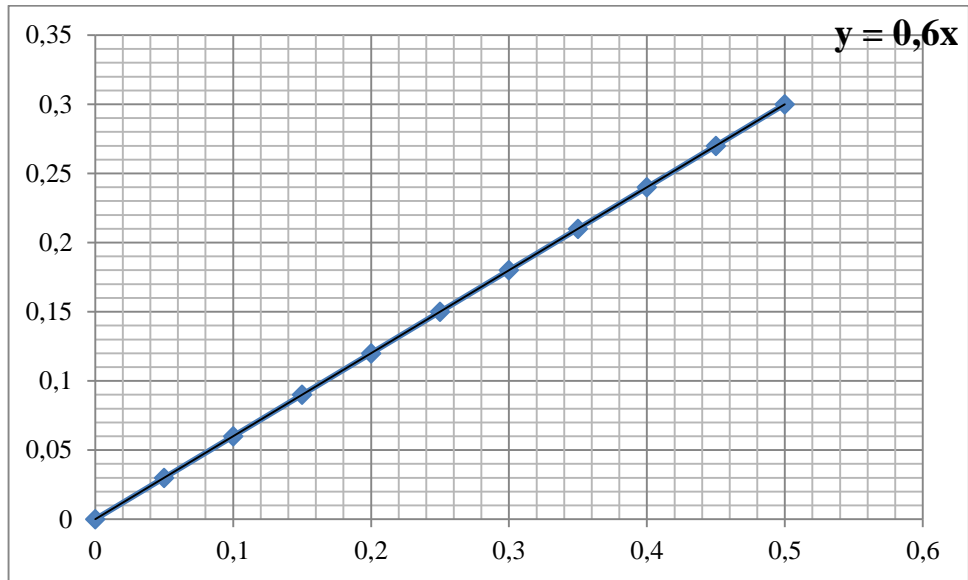
Analiz sonucunda elde edilen veriler Tablo 7.11 'de verilmiştir.

Tablo 7.11: Sayısal analiz sonuçları

632 ÖNERİ	Tavan		Sol Duvar		Sağ Duvar		Sol Üst Köşe		Sağ Üst Köşe	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
	TD	6	4,5	19,5	12	21	10	12	7,5	7,5
SF	1,58	6	0,95	1,26	0,95	1,58	1,89	2,84	1,58	3,16
σ_1	27,5	20	20	25	22	25	17,5	22,5	27,5	25

Not * :Çelik hasır + 20 cm p.beton uygulaması
 ** :I profil iksa + 20 cm p.beton uygulaması

Önerilen tahkimatlara ait veriler incelendiğinde en güvenli sonuç ikinci tahkimat tasarımı önerisi olduğu görülmektedir. Tablo 7.11'deki toplam yer değiştirme verileri grafik haline getirilip Şekil 7.23'de sunulmuştur.



Şekil 7.23: Toplam yer değiştirme grafiği

Bu tahkimat tasarımında toplam yer değiştirme grafiğine göre, tahkimat elemanları açıklıkta meydana gelen deformasyonu %40 oranında azaltmıştır. Önerilen tahkimat elemanları, bu büyüklükte bir deformasyonu dayanım faktörünü 6,00 değerine kadar çıkartarak %40 oranında azaltmış ve güvenli bir çalışma ortamı sunmuştur.

8. SONUÇLAR

Eczacıbaşı ESAN Kurşun – Çinko yeraltı maden işletmesi Türkiye Kurşun – Çinko ihracatında büyük söz sahibi bir maden işletmesidir. Tüvenan halde yeraltından çıkarılan cevher, cevher hazırlama tesisinde işlenilmektedir. 2013 yılı içerisinde yeraltından çıkarılan tüvenan cevher 1.200.000 ton civarındadır. Ortalama yılda 35.000 metre sondaj yapılarak damar takipli sistem ile cevher üretimi yapılmaktadır. Yatay dilimli dolgulu yöntem ile üretim yapılan maden ocağında delme patlatma döngüsü ile ilerleme yapılmaktadır.

Ocağın derinliği 2014 Nisan ayı itibarı ile 700 metre ve toplam yeraltı yol uzunluğu üretim galerileri ile beraber 25 km'dir. Doğu ve batı toplamda 30 üretim galerisi sürülmekte ve cevher kamyonlarla yerüstüne taşınmaktadır.

Ocak tahkimatının büyük çoğunluğu püskürtme beton ve kaya saplamaları yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Üretim aynalarında püskürtme beton kalınlığı 5-7 cm arası değişirken splitsetler 1 m ara ile çakılmaktadır. İşletmenin anayolu uzun yıllar hizmet vereceği için değişken formasyonlarda zayıflık göstermemesi için bozuk zeminlerde çelik iksa ve çelik hasır gibi güçlendirmeler yapılmıştır.

Analitik ve sayısal yöntemlerle incelenen tahkimat elemanlarının standardın dışında bir kaya formasyonu olmadığında yeterli olduklarını göstermişlerdir. Ocakta yerinde yapılan incelemeler ve sayısal modellemenin sonuçları birbirini doğrular niteliktedir. Tahkimatsız alanlarda eğer büyük süreksizlikler yok ise uygulanan standart püskürtme beton ve kaya saplamaları açıklığın güvenliğini sağlamaktadır.

Dolgu arası ve dolgu altında yapılan çalışmalar incelendiğinde nizami dolgu yapılan bölgelerde açıklığın istenilen boyutlarda tutulması sayesinde sayısal modellerde tahkimat elemanlarının istenildiği gibi çalıştığı gözlemlenmiştir.

Sayısal modelleme kullanılan bölgelere ait ortalama sonuçlar Tablo 8.1 ve 8.2 de verilmiştir.

Tablo 8.1: Tahkimatsız açıklıkların ortalama sayısal analiz sonuçları

	Q	TD	SF	σ_1
G1	0,016 – 0,021	11,4	1,1	18,0
G2	0,056- 0,155	3,3	2,0	14,1
G3	0,275	2,8	1,9	15,7
G4	4,455	2,0	1,3	15,8

Tablo 8.2: Tahkimatlı açıklıkların ortalama sayısal analiz sonuçları

	Q	TD	SF	σ_1
G1	0,016 – 0,021	3,8	4,5	18,0
G2	0,056- 0,155	2,3	3,1	14,7
G3	0,275	2,1	2,6	14,5
G4	4,455	1,5	1,6	14

Ocak açıklıklarında tahkimat uygulanmadan önce ayna formasyonunun iyi analiz edilmediği durumlarda tahkimat yenilerek kısmı göçükler meydana getirmiştir.

632 Doğu aynasında tavan kısmında oluşan makas şeklinde birbirini kesen iki süreksizlik içeren bölgeye uygulanan standart tahkimat elemanlarını yenerek bu bölgede problem oluşturmuştur.

Sayısal modelleme ile tahkimat tasarımının en pratik yanı veriler iyi kalibre edildiği zaman tahkimat elemanları ile oynayarak istenilen sonucu simülasyon üzerinde göstermesidir. Bu özellikten yararlanarak püskürtme beton kalınlığı 20 cm'ye çıkarılmış ve betonun altına çelik hasır uygulaması yapılmıştır. Bu bölgenin uzun yıllar hizmet edeceği kabul edilerek bir sonraki aşamada 20 cm'lik püskürtme betonun altına I profil çelik iksa yerleştirilip bölge incelenmiştir. Bu uygulamalara ait veri sonuçları Tablo 8.3'te verilmiştir.

Tablo 8.3: 632 Doğu sayısal analiz sonuçları

	TD	SF	σ_1
Tahkimatsız açıklık	38,5	0,95	12,8
5cm p. beton + splitset	17,8	0,95	17,4
20cm p. beton + çelik hasır + splitset	13,2	1,39	22,9
20cm p. beton + çelik iksa + splitset	8,0	3,0	23,5

Sonuç olarak, işletmede yapılan analitik çalışmalar ile ortaya çıkan tahkimat tasarımları sayısal olarak modellendiğinde gerçekte gözlemlenen veriler ile son derece tutarlı olduğu ortaya konmuştur. Sayısal simülasyonun tutarlı olması sonucunda işletmede henüz fiziki olarak gerçekleşmemiş açıklıklar; derinlik, geometri ve formasyon bilgileri ile sayısal olarak modellenebilir ve olası olumsuzlukları önceden görerek işletmeye önlem alma fırsatı sunabilir.

KAYNAKLAR

- Akyol Z.**, (1977). Balya madeni civarının jeolojisi. Maden Tetkik Arama Enstitüsü. *Jeoloji Mühendisliği yayınları Ekim s. 21-27.*
- Arslan İ.**, (2010) Tanzimat'tan cumhuriyet'e bir maden şehri: Balya, *The Journal of an Academic Social Science Studies*, 3. Cilt, 2.baskı, s. 41 – 54
- Aydan, Ö., Geniş, M.** (2010). Yeraltı açıklıklarında kaya patlaması olgusu ve önlemleri üzerine değerlendirme, *Türk Kaya Mekaniği Dergisi*, Sayı 17.
- Barton, N.**, (2000). TBM Tunneling in Jointed and Faulted Rock, Balkema, Rotterdam. s. 169.
- Barton, N., F. Løset, R. Lien, and J. Lunde.**(1980). Application of the Q-system in design decisions. In *Subsurface space*, ed. M. Bergman, 2: 553-561. New York: Pergamon.
- Bhasin, R., Grimstad, E.** (1996).The use of stress –strength relationships in the assessment of tunnel stability. *Tunn. Undergr. Space Tech.*,11(1), s.93-98
- Bieniawski, Z.T.**(1989). Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.
- Desai, C.S.**, (1972). Theory and application of the finite element method in geotechnical engineering, *Symposium on the applications of the finite element method in geotechnical engineering*.s. 3-8. Mississippi.
- Edelbro, C.** (2004). Evaluation of rock mass strength criteria. Lulea University of Technology, Department of civil and Environmental Engineering, Division of Rock Mechanics. 2004:72, ISSN:1402-1757
- Grimstad, E., Barton, N.** (1993).Updating of Q-system for NMT. *International Symposium on Sprayed Concrete*, s.46-66
- Hoek, E.,Brown E.T.**, (1980). *Underground excavations in rock*, London: Institution of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E., Kaiser, P.K and Bawden, W.F (1995). *Support of underground excavations in hard rock*. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Karpuz, C., Hindistan, M. A.** (2006). Kaya Mekaniği İlkeleri, Uygulamaları, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.

- Kılıç, R., Ulaş K.** (2009). Mühendislik jeolojisi uygulama notları , Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Laubscher, D. H. ve Taylor, H.W.** (1976). The importance of geomechanics classification of jointed rock masses in mining operations, In: Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, A.A Balkema, 1,119-128.
- Mahtab, M., Grasso, P.,** (1992). Geomechanics Principles in the Design of Tunnels and Caverns in Rock, *Elsevier Publications*, Tokyo.
- Ozturk, C.A., Onsel, I.E., Fisne, A., ve Nasuf, S.E.** (2011) Support Design of an Underground Pb-Zn Mine in Turkey, In Proc. 45th U.S.Rock Mechanics/Geomechanics Symposium (ARMA 2012), San Francisco, USA.
- Ozturk, C.A.,** (2012) Support design of underground openings in an asphaltite mine, *Tunnelling and Underground Space Technology* 38, 288-305
- Ozturk, C.A., Simdi, E.** (2012). Subway project in Istanbul , Turkey. In Proc. 46th 18 U.S.Rock Mechanics/Geomechanics Symposium (ARMA 2012), Chicago, USA.
- Palmstrom, A. and E. Broch.** (2006). Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system. *Tunnels and Underground Space Technology*. 21: 575-593.
- Palmström, A.** (1995). *RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes*. PhD Thesis. Norway: Oslo Uni.
- Rasouli M.,** (2009) Engineering geological studies of the diversion tunnel, focusing on stabilization analysis and support design, *Engineering Geology* 108, 208-224
- Rusnes, B.F.,** (1974). Analysis of Rock Spalling for Tunnels in Steep Valley Sides.M.Sc. Thesis. Norwegian Institute of Technology, Dept. Of Geology, 247pp (in Norwegian).
- Smith, M.,** (2008). *Mining Methods in Underground Mining*. Atlas CopcoRockDrills AB, Sweden, s. 150.

Şimdi, E., (2013). Kadıköy – Kartal Metro İnşaatında Formasyon Ve Açıklık Geometrisine Göre Geçici Tahkimat Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Trueman, R., (1998). An evaluation of strata support techniques in dual life gate roads, *Phd Thesis*, University of Wales. Cardiff. Read.

Ulusay, R., Sönmez, H. (2007). Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.

Url-1 <<http://www.directindustry.com/prod/mine-master/underground-mining-wheeled-drilling-rigs-59182-460134.html>>, 03.05.2014.

Url-2 <<http://www.esan.com.tr/page/hakkimizda/13>>, 03.05.2014.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Hüseyin Serhat MAMAT

Doğum Yeri ve Tarihi: 06.09.1989/Rize

Adres: Reşadiye mah. Kutlukent Sit. B Blok Kat:9 No:38

Merkez/RİZE

E-Posta: serhatmamat@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- 2012- 2014; Eczacıbaşı ESAN Balya Kurşun – Çinko Yeraltı Maden işletmesi
Üretim Uzman Yardımcısı
- 2014 – Devam; Rize İl Özel İdaresi –Ruhsat ve Denetim Müdürlüğü
Maden Mühendisi