PARK TERMİK ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR OCAĞINDA KAYA SAPLAMALARININ UYGULANABİLİRLİĞİNİN NÜMERİK OLARAK MODELLENMESİ

NUMERICAL MODELLING OF APPLICABILITY OF THE ROCK BOLTS IN PARK TERMIK UNDERGROUND COAL MINE

NEJAT OZAN GÜNGÖR

PROF. DR. GÜZİN GÜLSEV UYAR

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEKLİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2018

NEJAT OZAN GÜNGÖR' ün hazırladığı "**Park Termik Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kaya Saplamalarının Uygulanabilirliğinin Nümerik Olarak Modellenmesi**" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEKLİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Melih GENİŞ

Başkan .....

Prof. Dr. Güzin Gülsev UYAR

Danışman .....

Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

Üye .....

Bu Tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEKLİSANS TEZİ OLARAK** onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

☒ **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**
(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etseniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

☐ **Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**
(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım taktirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

☐ **Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

☐ **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

12 / 06 / 2018

(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

Nejat Ozan GÜNGÖR

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinde yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

30/05/2018

NEJAT OZAN GÜNGÖR

ÖZET

PARK TERMİK ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR OCAĞINDA KAYA SAPLAMALARININ UYGULANABİLİRLİĞİNİN NÜMERİK OLARAK MODELLENMESİ

Nejat Ozan Güngör

Yükseklisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Güzin Gülsev UYAR

Mayıs 2018

Kaya saplamaları, kaya kazısı yapılan açıklıklarda ve tahkim edilmesi gereken tünellerde, ortamda oluşan duraysızlıkların kontrolünü ve stabilizasyonu sağlamak amacıyla uzun yıllardır sıkça tercih edilen tahkimat elemanlarıdır. Bu uygulamalar diğer tahkimat sistemlerine göre uygulaması kolay, hızlı ve ucuzdur. Kazının yapıldığı kesit alanını daraltmaz ve diğer tahkimat sistemleriyle uyum içerisinde kullanılabilmektedir. Yeraltı kömür madenciliğinde, özellikle geri dönümlü uzunayak yöntemi ile üretim yapılan madenlerde, dünya çapında kaya saplamaları tahkimat elemanları olarak kullanılmaktadır. Saplama uygulamalarıyla birlikte, oluşan ikincil gerilme bazlı yüklerin bir bölümünün kayanın kendisine taşıttırılması amaçlanmaktadır. Böylece, uzun süre servis hizmeti verecek taban yollarındaki deformasyon miktarları azaltılarak, deformasyon süreçleri uzatılmaktadır. Tarama işlemlerindeki sıklık miktarı azalarak (mümkünse tarama yapılmayarak), çalışma ortamları daha güvenli hale getirilerek ve işçilik maliyetleri azaltılarak daha ekonomik ve hızlı bir süreç gerçekleşmektedir. ABD, Avrupa, Güney Afrika ve Avustralya gibi bölgelerde yeraltı kömür madenlerinin bu yöntemle tahkim edilmesi yaklaşımı son 20 yılda büyük önem kazanmıştır. Fakat ne yazık ki Türkiye'de yeraltı kömür madenlerinde, akademik ve küçük ölçekli yerel çalışmalar dışında, endüstriyel boyutta bir kaya saplaması uygulaması bulunmamaktadır. Genel olarak çelik rijit bağlar pasif tahkimat uygulamaları

olarak tercih edilmektedir. Pasif tahkimatla birlikte, yükler tamamen çelik tahkimatın üzerine binmekte ve özellikle taban yollarında ciddi deformasyonlar meydana gelmektedir. Çalışma kapsamında Park Termik Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında güncel tahkimat sistemleri olarak kullanılan çelik bağların yerine, kaya saplamalarının uygulanabilirliği, sonlu elemanlar metodu (FEM) ile modellenerek en olumlu sonucu verecek tahkimat sistemi belirlenmiş ve aynı zamanda iki tahkimat sisteminin (kaya saplamaları ve çelik bağlar) maliyet ve diğer faktörler açısından birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: yeraltı kömür madeni, uzunayak, kaya saplaması, tahkimat

ABSTRACT

NUMERICAL MODELLING OF APPLICABILITY OF THE ROCK BOLTS IN PARK TERMIK UNDERGROUND COAL MINE

Nejat Ozan GÜNGÖR

Master's Degree, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Güzin Gülsev UYAR

May 2018

Rock bolts are widely preferred reinforcement equipments through long ages in rock excavation cavities and tunnels which entail support of opening in terms of stabilising excavations and controlling environmentlly induced instabilities. These applications, in contrast to other reinforcement systems, are simple, quick and dramatically inexpensive to apply. Additionally, rock bolts do not bring about any contraction or shrink around cross-sectional area, in which excavation is carried out, and can be combined with diverse reinforcing elements in a harmony. Underground coal mines, particularly where pertinent production methods are longwall mining, bolts are vastly employed as reinforcing elements all around the world. With bolting applications, a proportion of induced secondary stress based loads are intended to be carried by rock itself. Thus, by reducing deformation amounts around tailgates providing service in long terms, deformation periods are extended. Accordingly, needs for gallery smoothing scrape operations will be reduced (or will be utterly removed if possible), by making work environments safer and reducing labour costs, more economic and faster process takes place. Approach of reinforcing underground coal mines with rock bolts has prominently gained importance in regions like USA, Europe,

South Africa and Australia over last two decades. However, there is no such industrial applications of rock bolts in coal mines of Turkey apart from academic or small scaled local studies. Instead, passive support systems by steel rigid beams are preferred. Associated with passive supporting, forces stemming from surronding geology loaded directly on steel beams, hence, serious deformations originate around tailgates. Within the context of study, applicability of rock bolts instead of steel beams, which are currently used as reinforcement systems, is tested along with determination of the most versatile reinforcement technique amongst possibilities by modelling with finite element method. Also advantages and disadvantages of two reinforcement systems, which are steel beams and rock bolts, over each other are exhibited in terms of costs and other operational parameters.

Keywords: underground coal mine, longwall mining, rock bolt, reinforcement, support

TEŞEKKÜR

2016-2018 yılları arasında yükseklisans yaptığım Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda "**Park Termik Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Kaya Saplamalarının Uygulanabilirliğinin Nümerik Olarak Modellenmesi**" başlıklı yükseklisans tezim, bu süreçte hem hocalarımın destekleri, hem de çalışmanın yürütüldüğü maden sahası personelinin işbirlikçi tutumu doğrultusunda tamamlanmıştır. Yeraltı kömür madenciliği tahkimat yöntemleri arasında ülkemizde endüstriyel bir uygulaması olmayan, fakat dünyada sıkça tercih edilen bir yöntem olan kaya saplamalarının, Türkiye'de ilk kez nümerik modelleme yöntemiyle avantajlarını ortaya koyduğum tezimin, ileride endüstriyel ölçekli uygulamalara katkı sağlamak amacıyla literatüre girmesinin mutluluğu içerisindeyim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, Hacettepe Üniversitesi'ndeki lisans - yükseklisans yıllarım boyunca değerli ve engin bilgilerini benimle paylaşan, yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen, kendisinden edindiğim her bilginin hayatıma kattığı önemi asla unutmayacağım, bana mesleği sevdiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Güzin Gülsev Uyar'a, nümerik modelleme konusunda bilgi ve tecrübelerini, değerli zamanını esirgemeden benimle paylaşan Prof. Dr. C. Okay Aksoy'a, çalışmanın jeoteknik açıdan ilerlemesindeki değerli tecrübelerinden ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Yılmaz Özçelik'e, maden sahası çalışmalarındaki iş birlikçi yaklaşımları, anlayışlı tutumları ve her türlü teknik destekleri için Park Termik A.Ş. Maden Genel Koordinatörü Sayın Selim Şenkal ve personeline, hayatımın her aşamasında yanımda olan ve beni destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nejat Ozan GÜNGÖR

Ankara 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ÇİZELGELER DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
SEMBOLLER DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 1
1.1. Tezin Amacı 2
2. LİTERATÜR ÖZETİ 3
2.1. Tahkimat Elemanları Olarak Kaya Saplamaları 3
2.2. Kaya Saplamalarının Zemin Güçlendirme Mekanizmaları 5
2.2.1. Askıya Alma (Suspension) Etkisi 6
2.2.2. Kiriş Oluşturma (Beam Building) Etkisi 6
2.2.3. Kilitleme (Keying) Etkisi 7
2.2.4. Kemerleme (Natural Arch Forming) Etkisi 8
2.3. Kaya Saplaması Türleri 10
2.3.1. Sürtünmeli Kaya Saplamaları 11
2.3.2. Mekanik Ankrajlı Saplamalar 14
2.3.3. Öngermesiz dolgulu ribar türü kaya saplamaları 15
2.3.4. Delici Bitli Kaya Saplamaları 16
2.3.5. Yüksek Enerji Emici Özellikteki Kaya Saplamaları 16
2.3.6. Kablo Saplamalar 18
2.3.7. Polimer Kompozit Saplamalar 19
2.3.8. Kaya Saplamalarıyla Birlikte Kullanılan Yardımcı Tahkimat Elemanları 21
2.4. Dünyadaki Kömür Madenlerinde Kaya Saplaması Uygulamaları 21
2.4.1. Almanya Kömür Madenciliğinde Kaya Saplaması Uygulamaları 23
2.4.2. ABD Kömür Madenciliğinde Kaya Saplaması Uygulamaları 25
2.4.3. Avustralya Kömür Madenciliğinde Kaya Saplaması Uygulamaları 27
2.5. Kaya Mekaniğinde Nümerik Modelleme 29

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR 33
3.1. Çalışma Sahası 34
3.2. Çalışma Alanı Jeolojisi 36
3.3. Yerinde Yapılan Ekstansometre Deneyleri 39
3.4. Jeoteknik Çalışmalar 44
3.4.1. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyi 48
3.4.2. Nokta Yükleme Dayanım İndeksi 49
3.4.3. Statik Elastik Sabitler Deneyi 50
3.4.4. Yoğunluk Tayini 52
3.4.5. Kaya Kütlesi Jeolojik Dayanım İndeksi (Geological Strenght Index, GSI) 53
3.4.6. Kaya Kütlelerinin Dayanım ve Deformasyon Özellikleri 57
3.4.7. Kaya Kütle Puanı (Rock Mass Rating, RMR) 62
3.5. Nümerik Modelleme Analizleri 72
3.5.1. Birinci Model: Tavan Saplaması Olarak Çelik Halat 82
3.5.2. İkinci Model: Tavan Saplaması Olarak Nervürlü Demir (Model 2) 93
3.6. Çelik Rijit Bağlar ve Kaya Saplamalarının Maliyetlerinin Karşılaştırması 105
3.6.1. Rijit Çelik Bağların Maliyet Hesaplaması 106
3.6.2. Kaya Saplamalarının Maliyet Hesaplaması 107
4. SONUÇLAR 108
KAYNAKLAR 113
EKLER 122
ÖZGEÇMİŞ 128

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1. Birinci istasyon tavan ölçüm sonuçları 41
Çizelge 2. İkinci istasyon tavan ölçüm sonuçları 41
Çizelge 3. Üçüncü istasyon tavan ölçüm sonuçları 42
Çizelge 4. Üçüncü istasyon yan duvar ölçüm sonuçları 42
Çizelge 5. H410 taban yolunda yapılan sondajlara ait bilgiler [49] 45
Çizelge 6. Kaya türlerine göre mi parametresi alabileceği değerler [12] 56
Çizelge 7. Çayırhan kömür havzası H sektörüne ait bu çalışma kapsamında incelenen dikey sondajlara aiat (H410-1, H410-3 ve H410-4) kaya kütlesi jeoteknik parametrelerinin ortalaması 58
Çizelge 8. Süreksizliklere ait özelliklerin ölçüm ve/veya tanımlama kalitesinin yüzeyde ve sondaj karotlarında uygulanan yöntemler esas alınarak karşılaştırılması [61][66] 62
Çizelge 9. Temel RMR puanı parametreleri ve puanları [61][65] 64
Çizelge 10. Süreksizliklerin durumuna ilişkin puanlama tablosu [61][65] 65
Çizelge 11. H410-1 sondajında en düşük, ortalama ve en yüksek girdi parametreleri için RMR puanı değerlendirmesi 66
Çizelge 12. H410-3 sondajında en düşük, ortalama ve en yüksek girdi parametreleri için RMR puanı değerlendirmesi 67
Çizelge 13. H410-4 sondajında en düşük, ortalama ve en yüksek girdi parametreleri için RMR puanı değerlendirmesi 68
Çizelge 14. Çalışmada oluşturulan jeolojik kesit ve kesitine yer alan birimlere ait ortalama malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametre değerleri 71
Çizelge 15. Çelik halat ve nervürlü demir modelleri nümerik analiz sonuçları 104
Çizelge 16. Çelik rijit bağların birim ilerlemedeki maliyetleri 106
Çizelge 17. Çelik halat saplamaların birim ilerlemedeki maliyetleri 107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Avustralya Cannington Madeni [4] 4
Şekil 2.2.ABD'de kömür madeni tavan tahkimatı - reçine püskürtmeli kablo saplaması uygulaması [5] 5
Şekil 2.3. Askıya alma etkisi [8] 6
Şekil 2.4. Kiriş oluşturma etkisi [8] 7
Şekil 2.5. Kilitleme etkisi [8] 7
Şekil 2.6. Kemerleme etkisi [10] 8
Şekil 2.7. Saplama tahkimat sisteminin 4 temel bileşeni [13] 9
Şekil 2.8. Tavan saplamaları,kablo saplamalar ve zemin ankrajları için geliştirilen uzunluk-kapasite ilişkisi [15] 11
Şekil 2.9. Split Set kaya saplaması etki mekanizması [18] 12
Şekil 2.10. Jumbo ve delici tabancayla Split Set uygulamaları [20] 13
Şekil 2.11. Swellex uygulaması etki mekanizması [10] 13
Şekil 2.12. Farklı formlardaki mekanik ankraj başları [10] 14
Şekil 2.13. Çimento dolgulu ribar türü kaya saplaması [10] 15
Şekil 2.14. Reçine dolgulu ribar türü kaya saplaması [10] 16
Şekil 2.15. Delici bitli kaya saplaması [10] 16
Şekil 2.16. Roofex saplaması ve izin verilen deformasyonlar [10] 17
Şekil 2.17. Çekme etkisine maruz kalan farklı saplamaların performansları [22] 17
Şekil 2.18. Yeraltı madenlerinde kullanılan kablo saplama tipleri ve kafes türü kablo (Birdcage) [25] 18
Şekil 2.19. Dolgusuz ve dolgulu fiberglass ribar saplamalar [31] 20
Şekil 2.20. Bir kömür madeni taban yolunda uygulanan fiberglass saplamaların kesilmesi [32] 20
Şekil 2.21. Almanya kömür madenlerinde çelik rijit bağ-kaya saplaması uygulamaları [35] 23
Şekil 2.22. Çimentoyla aradolgu yapılmış çelik bağlar [35] 24
Şekil 2.23. **a)** Saplama sonrası çelik bağ+aradolgu uygulaması **b)** Çelik bağ+aradolgu sonrası saplama uygulaması [35] 24
Şekil 2.24. Kömür Madeni Tavan Sınıflandırma (CMRR) sistemi örnek veri kağıdı[37] 26

Şekil 2.25. ABD-Illinois bölgesinde bulunan bir kömür madeninde kaya saplaması düzeni [39] 26
Şekil 2.26. Avustralya'da bir kömür madeni galerilerinde kablo saplama uygulama düzeni [41] 27
Şekil 2.27. Çin Xinzuang kömür madeninde taban saplaması uygulaması [43] 28
Şekil 2.28. Zemin karakterizasyonu ve kaya mekaniği tasarımlarındaki temel prensipler [44] 30
Şekil 2.29. Kaya mekaniği uygulamalarında kullanılan sürekli metodlarla nümerik modelleme teknikleri [45] 32
Şekil 3.1. **a)** Çayırhan yer bulduru haritası **b)** Park Termik A.Ş. Çayırhan kömür sahaları **c)** H-sektörü'nde çalışmanın yapıldığı H410 alt taban yolu 35
Şekil 3.2. İnceleme alanının genel jeoloji haritası [50] 37
Şekil 3.3. Bölgenin genel stratigrafik kesiti [50] 37
Şekil 3.4. Bölgenin genel jolojik yapısını gösteren kesit [53] 38
Şekil 3.5. Üretim yapılan jeolojik birimlerin stampı [53] 38
Şekil 3.6. Çift ankrajlı bir sırtutmaz (telltale) ve bağlantı elemanları [55] 39
Şekil 3.7. H410 alt taban yolundaki çubuk ekstansometre uygulaması 40
Şekil 3.8. Birinci istasyon tavan ve yan duvar ölçümlerindeki değişimin grafiksel gösterimi 42
Şekil 3.9. İkinci istasyon tavan ve yan duvar ölçümlerindeki değişimin grafiksel gösterimi 43
Şekil 3.10. Üçüncü istasyon tavan ve yan duvar ölçümlerindeki değişimin grafiksel gösterimi 43
Şekil 3.11. a) Ekstansometre deneyi tavan ölçüm çubukları b) Yan duvar ölçüm çubukları 44
Şekil 3.12. HS-410-1 sondajına ilişkin karot örnekleri 46
Şekil 3.13. Deneylerde kullanılacak örneklerin hazırlanması 46
Şekil 3.14. HSJ-2 sondajının yeri [67] 47
Şekil 3.15. Tek eksenli basma dayanımı deneyleri 48
Şekil 3.16. Nokta yükü dayanım indeksi deneyi 49
Şekil 3.17. Eksenel birim deformasyon-gerilme eğrisinin değişik elastisite modülü değerlerinin hesaplanması 51
Şekil 3.18. Yoğunluk tayini deneyi 52

Şekil 3.19. Dinç vd. tarafından önerilen Jv, RQD, süreksizlik aralığı (S) kullanılarak yapısal özellik puanını (SR) belirleme abağı ve kömür ve marn kaya kütlesinin SR puanı değerlendirmesi [63] 54
Şekil 3.20. Sönmez ve Ulusay tarafından modifiye edilen GSI abağı üzerinde ilgili kaya kütlelerinin GSI puanları ve genel dağılım bölgeleri [61] 55
Şekil 3.21. Hoek vd. tarafından önerilen örselenme faktörü (D) seçiminde bu çalışmada dikkate alınan koşul [58] 57
Şekil 3.22. H410-1 sondajına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler 59
Şekil 3.23. H410-1 sondajına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri 59
Şekil 3.24. H410-2 sondajına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler 59
Şekil 3.25. H410-2 sondajına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri 60
Şekil 3.26. H410-3 sondajına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler 60
Şekil 3.27. H410-3 sondajına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri 60
Şekil 3.28. H410-4 sondajına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler 61
Şekil 3.29. H410-4 sondajına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri 61
Şekil 3.30. Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Müh. Bölümü'nün yaptığı projeye ait HS2 sondajının 134i5-142,3 metreleri arasına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler 61
Şekil 3.31. Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Müh. Bölümü'nün yaptığı projeye ait HS2 sondajının 134,5-142,3 metreleri arasına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri 61
Şekil 3.32. RMR sisteminin 1989 versiyonunda tek eksenli basma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanların belirlenmesinde kullanılan grafikler [61][65] 65
Şekil 3.33. Tanımlanan kaya kütlesindeki tabakalar ve formasyon içerisindeki kalınlıkları 73
Şekil 3.34. Modele ait ağ yapısı ve tahkimat düzenleri 74
Şekil 3.35. Modelin ağ yapısı 75
Şekil 3.36. Tavan ve yan duvarlardaki saplamaların uygulama düzenleri 76
Şekil 3.37. Püskürtme beton+çelik hasırın uygulanma şekli 77
Şekil 3.38. Modelin kazı alanının genel görünümü 77
Şekil 3.39. 1. Aşama kazısı ve tahkimat (ilk 20 m'lik kazı ve tahkimatın yapıldığı durum) 78
Şekil 3.40. 2. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi) 78

Şekil 3.41. 2. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)..... 78
Şekil 3.42. 3. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi) 79
Şekil 3.43. 3. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)..... 79
Şekil 3.44. 4. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi) 79
Şekil 3.45. 4. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)..... 80
Şekil 3.46. 5. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi) 80
Şekil 3.47. 5. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)..... 80
Şekil 3.48. 6. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi) 81
Şekil 3.49. 6. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)..... 81
Şekil 3.50. Çelik halat modeli deforme olmuş hali (Model 1) 82
Şekil 3.51. Deformasyon sonrası H410 galeri görünümü (Model 1) 83
Şekil 3.52. Yapısal elemanlarda oluşan toplam deplasmanlar (Model 1) 83
Şekil 3.53. Yapısal elemanlarda oluşan yatay yöndeki deplasmanlar (Model 1)..... 84
Şekil 3.54. Yapısal elemanlarda oluşan düşey yöndeki deplasmanlar (Model 1) 84
Şekil 3.55. Modelde oluşan efektif gerilmeler (Model 1) 85
Şekil 3.56. Modelde oluşan toplam gerilmeler (Model 1)..... 85
Şekil 3.57. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan toplam deplasmanların görünümü (Model 1) 86
Şekil 3.58. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan yatay deplasmanların görünümü (Model 1)..... 87
Şekil 3.59. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan düşey deplasmanların görünümü (Model 1)..... 87
Şekil 3.60. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eksenel kuvvetler (Model 1)..... 88
Şekil 3.61. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan kesme kuvvetleri (Model 1) 88
Şekil 3.62.Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eğilme momenti (Model 1)..... 89
Şekil 3.63. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan burulma momenti (Model 1) 89
Şekil 3.64. Kaya saplamalarında oluşan toplam deplasmanlar (Model 1) 90
Şekil 3.65. Kaya saplamalarında oluşan yatay deplasmanlar (Model 1)..... 90
Şekil 3.66. Kaya saplamalarında oluşan düşey deplasmanlar (Model 1) 91
Şekil 3.67. Kaya saplamalarında oluşan eksenel kuvvetler (cable bolts)..... 91
Şekil 3.68. Kaya saplamalarında oluşan kesme kuvvetleri (Model 1) 92
Şekil 3.69. Kaya saplamalarında oluşan eğilme momenti (Model 1)..... 92
Şekil 3.70. Nervürlü demir modeli deforme olmuş hali (Model 2)..... 93

Şekil 3.71. Deformasyon sonrası H410 galeri görünümü (Model 2) 94
Şekil 3.72. Yapısal elemanlarda oluşan toplam deplasmanlar (Model 2) 94
Şekil 3.73. Yapısal elemanlarda oluşan yatay yöndeki deplasmanlar (Model 2)..... 95
Şekil 3.74. Yapısal elemanlarda oluşan düşey yöndeki deplasmanlar (Model 2) 95
Şekil 3.75. Modelde oluşan efektif gerilmeler (Model 2) 96
Şekil 3.76. Modelde oluşan toplam gerilmeler (Model 2)..... 96
Şekil 3.77. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan toplam deplasmanların görünümü (Model 2) 97
Şekil 3.78. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan yatay deplasmanların görünümü (Model 2)..... 98
Şekil 3.79. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan düşey deplasmanların görünümü (Model 2)..... 98
Şekil 3.80. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eksenel kuvvetler (Model 2)..... 99
Şekil 3.81. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan kesme kuvvetleri (Model 2) 99
Şekil 3.82. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eğilme momenti (Model 2)..... 100
Şekil 3.83. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan burulma momenti (Model 2) 100
Şekil 3.84. Kaya saplamalarında oluşan toplam deplasmanlar (Model 2) 101
Şekil 3.85. Kapa saplamalarında oluşan yatay deplasmanlar (Model 2)..... 101
Şekil 3.86. Kaya saplamalarında oluşan düşey deplasmanlar (Model 2) 102
Şekil 3.87. Kaya saplamalarında oluşan eksenel kuvvetler (Model 2)..... 102
Şekil 3.88. Kaya saplamalarında oluşan kesme kuvvetleri (Model 2) 103
Şekil 3.89. Kaya saplamalarında oluşan eğilme momenti (Model 2)..... 103
Şekil 3.90. H310 galeri tavanında uygulanan kaya saplamaları..... 105
Şekil 4.1.H410 önerilen dolgulu ve öngermeli saplama montajı düzeni..... 112

SEMBOLLER DİZİNİ

F: Numune kırılma yükü (N)

A: Numune kesit alanı (mm^2)

D_e: Eşdeğer karot çapı (mm)

σ_{ci}: Kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

c: Kohezyon (MPa)

y: kayaç birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

ϕ: İçsel sürtünme açısı (°)

I_s: Nokta yükü dayanım indeksi (KPa)

RQD: Kaya Kalite Değeri

GSI: Jeolojik dayanım indeksi

RMR: Kaya kütle puanı

SR: Yapısal özellik puanı

SCR: Süreksizlik yüzey koşulu

SA: Süreksizlik aralığı

SD: Süreksizlik durumu

SK: Su koşulu

E: Elastisite (Young) modülü (N/m^2)

v: Poisson oranı

σ_h : Yanal gerilme (MPa)

σ_v : Düşey gerilme (MPa)

z: Derinlik (m)

k: Kaya malzemelerinin düşey gerilmeleri yanal olarak aktarma oranı

m_b, s: Kaya kütlesi sabitleri

J_v: Hacimsel eklem katsayısı

1.GİRİŞ

Yeraltı madenciliğinde madencilik döngüsünün en önemli operasyonlarından biri tahkimat uygulamalarıdır. Kazılan yeraltı açıklıklarında duraylı ve güvenli çalışma ortamları sağlanması açısından doğru tahkimat sistemlerinin uygulanması oldukça önemlidir.

Kömür madenciliği alanında yeraltı galerilerinin tahkim edilmesinde kaya saplamaları dünyada yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Kaya saplamalarıyla tahkimat anlayışında amaç, kaya kütlesine aktif bir müdahelede bulunarak kütlenin kendi kendini taşıyabilme potansiyelini açığa çıkarmaktır. Kaya saplamalarının maliyetleri düşük olduğu gibi, uygulamaları kolay ve galerilerde daha az engel teşkil etmektedir. Aynı zamanda ciddi duraysızlık sorunları olan, büyük deformasyonlara uğrayan açıklıklarda kaya saplamalarını rijit tahkimat sistemleriyle birlikte uygulama anlayışı, zemin duraylılığını kontrol altına almak açısından oldukça başarılı bir yöntemdir. Tez kapsamında dünyada kömür madenlerinde gerçekleştirilen kaya saplaması uygulamalarına değinilmiş, çalışma sırasında uygulanabilecek alternatif yöntemler irdelenmiştir.

Türkiye'deki yeraltı kömür madenlerinde çelik rijit bağlar kullanılarak formasyondaki yükleri taşıyan pasif tahkimat uygulamaları yapılmaktadır. Lakin pasif tahkimat yöntemlerinin kullanımı, beraberinde pek çok olumsuz sonucu doğurmaktadır. Türkiye yeraltı kömür madenlerinde endüstriyel bir kaya saplaması uygulaması olmaması sebebiyle, çalışma kapsamında Park Termik Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında kaya saplamalarının taban yollarında uygulanabilirliği gerçeğe en yakın modelleme yöntemiyle test edilmiş, en uygun saplama türü ve düzeni belirlenmiştir. Modelleme aşamasında sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış (FEM) ve alternatif uygulamalar için ortaya çıkabilecek olası deformasyonlar, yük dağılımları ve nihai galeri durumları ortaya konmuştur. Tahkimat elemanlarında çelik rijit bağlardan kaya saplamalarına geçmek, kesit daralmalarının önüne geçecek, meydana gelen büyük deformasyonlara erken müdahele ederek tarama operasyonlarında ciddi bir azalmaya gidilecektir. Bunları takiben maliyetler düşecek ve gerekli yerlerde, kombineli uygulamalar sayesinde daha güvenli çalışma ortamları oluşacaktır.

1.1. Tezin Amacı

Çalışmada, Park Termik Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında uygulanan tahkimat sistemlerini geliştirmek için kaya saplaması olanakları irdelenerek, bu amaçla yerinde deneyler sonucu elde edilen veriler ışığında sonlu elemanlar metoduyla yapılan nümerik modellemede tahkimat elemanı olarak kaya saplamalarının performansının modellenmesi amaçlanmıştır.

Saplama uzunluklarının belirlenmesi ve kurulan sistemden etkili sonuçlar alabilmek açısından, çalışılacak açıklıklarda plastik zonun saptanması en önemli basamaklardan biridir. Bu amaçla uygulamanın yapılacağı devam eden kazının olduğu galeriye ilk aşamada, tabaka hareketini izlemek için belirli aralıklarla ölçüm istasyonları kurularak plastik zon belirlenmeye çalışılmıştır.

Sonraki aşamada formasyonda tavanda uygulanabilecek iki farklı saplama olarak çelik halat ve nervürlü demirler için iki farklı model çözümlenerek, sonuçlar karşılaştırılmış ve en uygun düzenin belirlenmesi hedeflenmiştir. Aynı zamanda ocakta güncel olarak uygulanan tahkimat sistemleri olan çelik rijit bağların ve kaya saplamalarının maliyetleri karşılaştırılmıştır.

Daha önce Türkiye'de bu alanda yürütülen çalışmalardan farklı olarak, ilk kez nümerik olarak, sonlu elemanlar metoduyla bir kömür ocağında kaya saplamalarının performansı gerçeğe en yakın şekilde modellenmiştir. Elde edilen bilgiler ve tecrübeler ışığında dünyada yeraltı kömür madenlerinde sıklıkla uygulanan kaya saplamalarının, ülkemizdeki diğer yeraltı kömür madenlerinde de bir alternatif olarak tercih edilebileceğinin, gerekirse daha kontrollü açıklıklarda çalışabilmek açısından, tahkimat sistemlerini geliştirerek diğer sistemlerle kombineli olarak uygulanabileceğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışmanın ileride kömür madenlerinde yapılacak bu alanda yürütülecek endüstriyel ya da yerel uygulamalar için de oldukça önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

Dünyadaki kömür madenlerinde başarıyla uygulanan kaya saplamalarının yeraltı kömür ocaklarında ülkemizde de tercih edilmeye başlanması, hem düşük maliyetler, hızlı galeri ilerlemesi gibi avantajlarla milli ekonomiye katkı sağlayacak, hem de ciddi duraysızlık sorunu olan yerlerde diğer tahkimat sistemleriyle uyum içerisinde uygulanarak daha güvenli çalışma ortamları sunacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Tahkimat Elemanları Olarak Kaya Saplamaları

Tünelcilik ve madencilik operasyonlarında kaya saplamaları 19. yüzyılın sonlarından beri halen günümüzde yaygın bir şekilde tahkimat elemanları olarak uygulanmaktadır. İlk olarak 1872 yılında, Kuzey Galler'de bir şist taş ocağında kullanılmışlardır [1]. Bunu takip eden 1910'lu yıllarda Almanya'da kömür ocaklarında uygulanan konsept için, Alman yetkililer 1913 yılında patent talebinde bulunmuşlar, böylece kaya saplaması uygulamaları madencilik terminolojisinde yer edinmeye başlamıştır [2].

ABD'de 1927 yılında kaya saplaması çalışmaları ilk olarak metal madenlerinde gerçekleştirilmiştir. 1950-1960'lı yıllar arasında bir tahkimat elemanı olarak kaya saplamalarının kullanılmasına dair farklı teorilerin ortaya çıkması ile maden endüstrisinde yapılan uygulamalar ve araştırmalar hız kazanmıştır. Aynı dönemlerde Avrupa'da, kaya saplaması tekniğine dayandırılan, yeni bir konstrüksiyon metodu olan, saplamaların püskürtme betonla birlikte uygulanması yaklaşımı ortaya çıkmıştır ve Avustralya'da günümüzde gerçekleştirilen uygulamalardan bir görsel Şekil 2.1'de verilmiştir. Püskürtme beton yaklaşımından önce var olan, kaya saplamaları arasında bağlantıyı sağlamak için uzun plakaların kullanılması tekniği yerini bu çağdaş yönteme bırakmıştır. Bu gelişim, yeraltı madenciliğinde kullanılan yapılar için bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir [3].

Yıllardan beri süregelen metotlardaki ve saplama teknolojilerindeki yenilenmeler sonucunda, günümüzde de araştırmacılar kaya saplamalarının etkilerini ve tahkim etme mekanizmalarını sıkça çalışmaktadır.

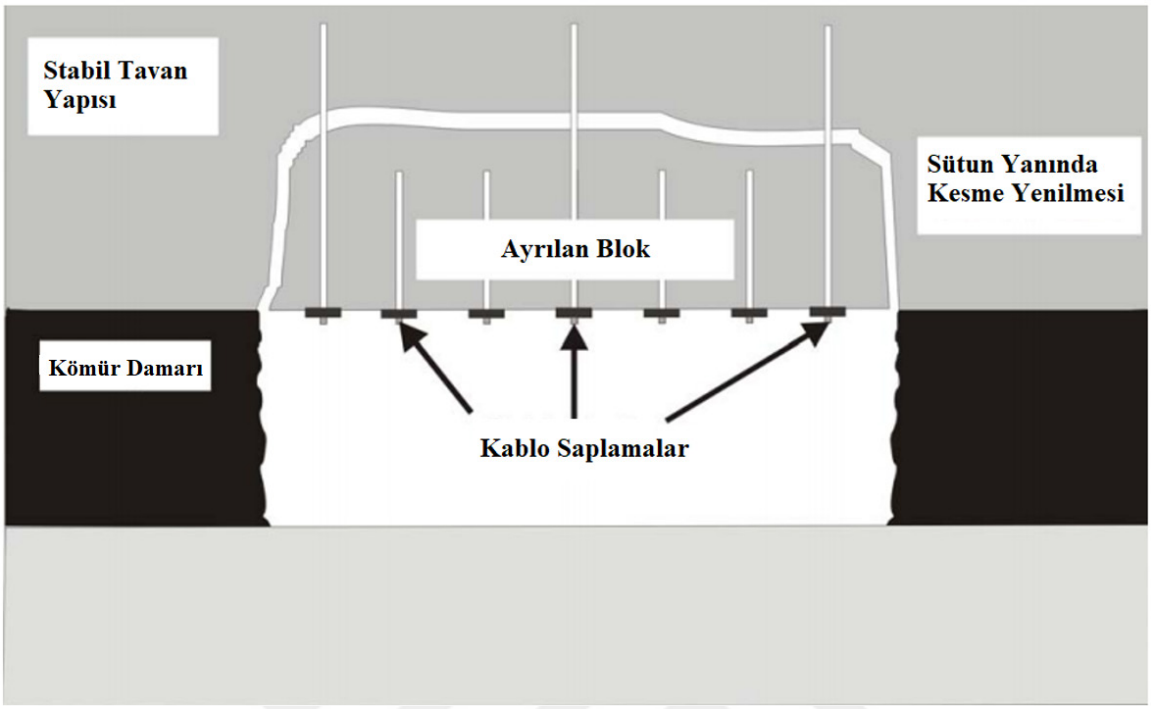
Tavan saplamaları dünya genelinde son yıllarda kömür madenciliğinde birincil tahkimat sistemleri haline gelmiştir. İstenilen seviyelerde kömür üretimlerine ulaşabilmek için özellikle uzun ayak kömür madenciliğinde, taban yollarında ilerlemeyi olumsuz etkileyecek herhangi bir engel bulunmaması gerekir. Almanya, İngiltere, ABD, Güney Afrika, Çin, Avustralya gibi ülkelerde kaya saplamaları, taban yollarının duraylılığını sağlayabilmek için en çok tercih edilen tahkimat sistemleridir.

Şekil 2.1. Avustralya Cannington Madeni [4]

Saplamaların günümüzde son derece yaygın kullanılan tahkimat elemanları olmasının başlıca nedenleri aşağıda verilmiştir:

- Çeşitli kazı geometrilerinde kolaylıkla uygulanabilirler.
- Kaya saplamalarının uygulamaları kolaydır ve diğer tahkimat sistemleri ile uyum içerisinde çalışabilirler.
- Yeni kazılan açıklıklar, kaya saplamaları ile tahkimatsız bölgeye işçi sokmadan tahkim edilebilir.
- Uygulamada mekanizasyonları sistematik bir şekilde gerçekleştirilebilir.
- Hem kalıcı hem de geçici tahkimat olarak kullanılabilirler.
- Kazı yapılan kesit alanında daralmaya neden olmadıklarından, havalandırma ve nakliye sistemlerini olumsuz etkilemezler.
- Kazı açıklığı saplamalar ile kısa süre içerisinde güvenli bir şekilde tahkim edilebildiği için, kazı çalışmalarının hızlanmasına olanak sağlarlar.
- Nem ve ocak yangınlarından etkilenmezler.
- Teminleri ve nakliyeleri oldukça kolaydır.
- Maliyetleri diğer tahkimat sistemlerine göre daha düşüktür.

ABD'de tavan taşını tahkim etmek için kablo saplama uygulaması yapılmış bir kömür madeninin taban yolundan bir kesidin görseli Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2.ABD'de kömür madeni tavan tahkimatı - reçine püskürtmeli kablo saplaması uygulaması [5]

2.2. Kaya Saplamalarının Zemin Güçlendirme Mekanizmaları

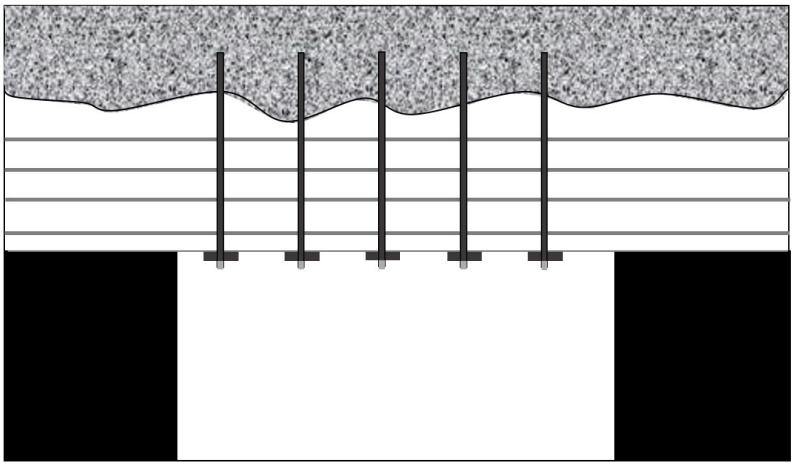
Galeri ve tünellerde kullanılan ahşap ve çelik bağ tahkimat sistemleri pasif tahkimat sistemleri olarak adlandırılırken, kaya saplamaları aktif tahkimat sistemleri olarak bilinir. Diğer tahkimat elemanları kaya kütlesinin bir parçası olmadan dışarıdan destek sağlarken, kaya saplamaları kayaçla bir bütün olarak açıklığın ayakta durmasını sağlar. Kaya kütlesinin bir parçası olan kaya saplaması zayıf kaya kütlesini kuvvetlendirir, sağlamlaştırır ve askıya alıp iyi bir tavan kemeri oluşmasını sağlar. Bu elemanlar, kuvvetlendirme ve destekleme etkilerinin bileşiminden oluşur [6].

Kaya saplamalarıyla tavan ankrajlamanın ana fonksiyonu, çok tabakalı ya da kırıklı zonları birbirine bağlayarak tavan göçmelerinin önüne geçmektir. Uzun yıllar boyunca farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ışığında, saplamaların zemin güçlendirme mekanizmaları hakkında pek çok farklı yaklaşım ortaya konulmuştur. Bazı araştırmacılar özellikle çatlaklı zonlardaki karmaşık davranışların ve kaya saplamarının zeminle olan etkileşim mekanizmalarının, jeolojideki doğrusal olmayan davranışlar sebebiyle halen tam anlamıyla anlaşılamadığını savunmuştur [7]. Sürekli güncellenen yaklaşımlar içinden, en

çok kabul gören saplama zemin etkileşim mekanizmaları: askıya alma, kiriş oluşturma, kilitleme ve kemerleme olarak bilinmektedir.

2.2.1. Askıya Alma (Suspension) Etkisi

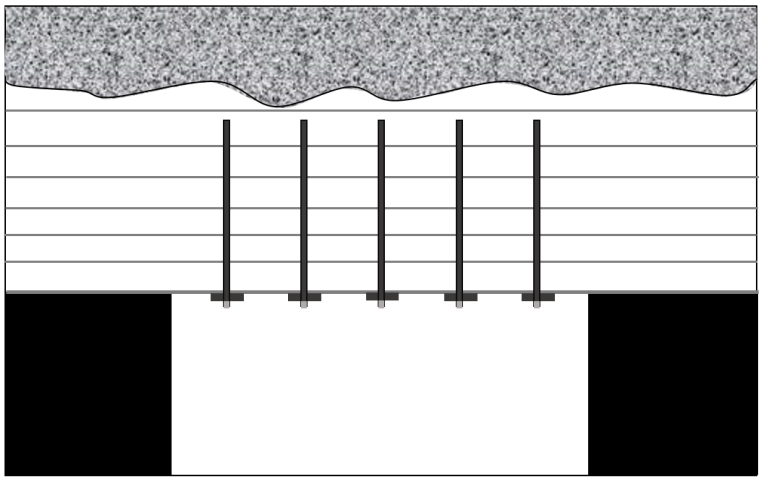
Yeraltı madenlerindeki kazılar esnasında galeriler açılırken, laminalı anlık tavanlar ana kayaçtan ayrılmaya eğilimlidir. Askıya alma etkisinde, ayrılmaya meyilli olan zayıf tabakalar üzerlerindeki formasyonlara ya da bloklu, laminalı kütle sağlam kayaca bağlanarak tavan ayrılmaları ve duraysızlıklar önlenir. Bu aşamadaki en önemli faktör saplamanın sağlam kayaca ankrajı sağlayabilecek uzunlukta yerleştirilebilmesi ve çekme gerilmelerinin zayıf kayacın ölü yükünü stabil tutabilecek yeterlilikte olmasıdır. Şekil 2.3.'te laminalı zayıf formasyonun kaya saplamalarıyla üzerindeki sağlam kayaya bağlanması gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Askıya alma etkisi [8]

2.2.2. Kiriş Oluşturma (Beam Building) Etkisi

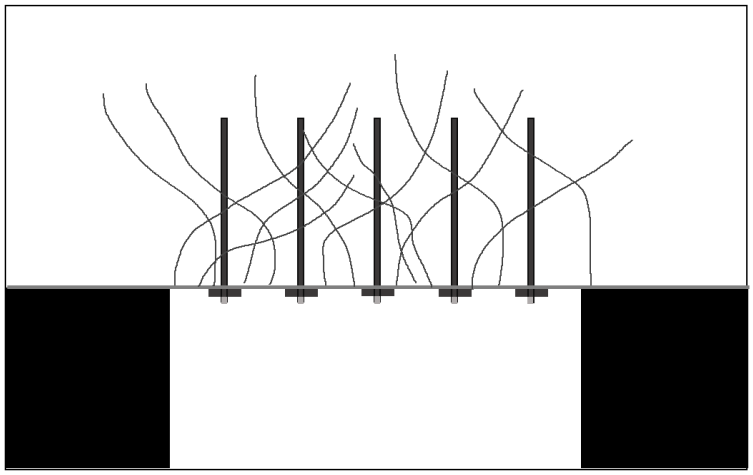
Duraysızlıkların ve süreksizliklerin hakim olduğu formasyonları bağlamak amacıyla gereken sağlam kaya, tipik tavan saplamalarının uygulanabileceği menzillerin dışındaysa ya da mevcut değilse, kaya saplamaları zayıf tabakaları birbirlerine bağlayarak bir kiriş etkisi oluşturur. Böylece süreksizlikler güçlendirilerek tabakaların tek bir tabaka olarak beraber hareket etmesi sağlanır. Zayıf tabakaların içine yerleştirilen saplamalar, yatay eksendeki tabaka hareketine karşı taban kayaçları arasında meydana gelen direkt bir makaslama direnci gösterir, aynı zamanda tabakalanma düzlemine dik olarak uygulanan normal kuvvetler sayesinde tabakalar arasındaki sürtünmeleri arttırır [8]. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4. Kiriş oluşturma etkisi [8]

2.2.3. Kilitleme (Keying) Etkisi

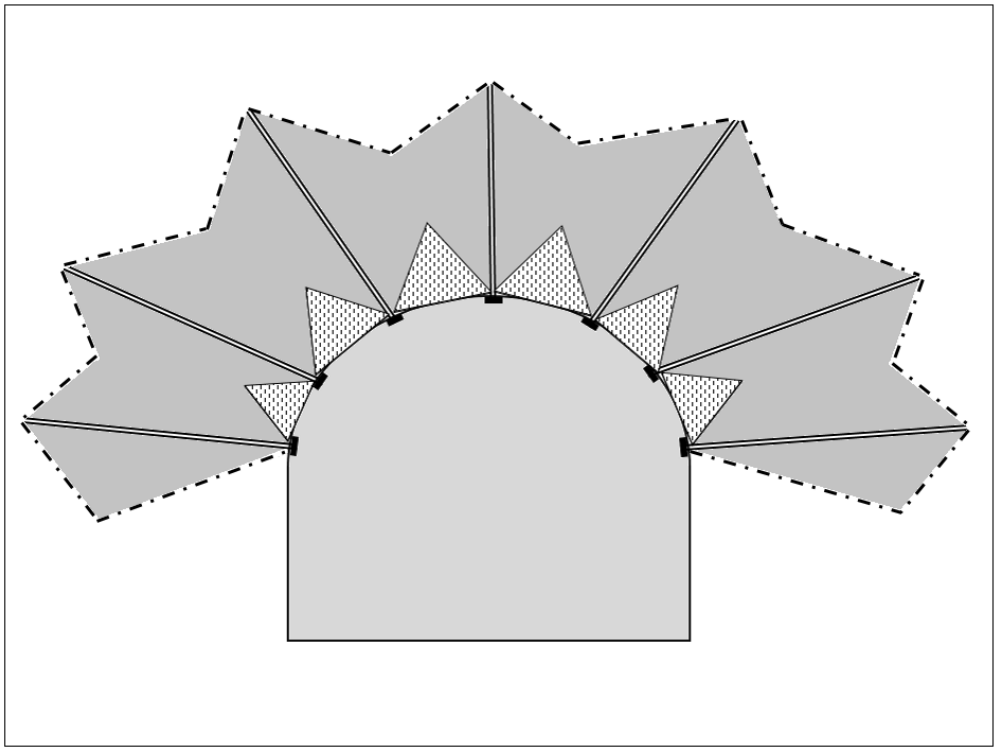
Kilitleme etkisinde, yüksek derecede çatlaklı ve bloklu tabakaların olduğu formasyonlarda kaya saplamaları, çatlaklar, kırıklar ve zayıf düzlemler boyunca sürtünme dirençlerini arttırarak kütlelerin yük taşıma kapasitelerini arttırırlar. Kiriş etkisine benzer şekilde, formasyon içinde gerilmelere maruz kalan saplamalar sürtünme yüzeylerinin gelişmesini ve kilitlenme koşullarına dayanarak süreklilik oluşmasını sağlarlar [9]. Unutulmamalıdır ki kilitlenen bloklar arasından blok düşmesine gerek olmadan, gevşeme sebebiyle ölü yükler artacaktır. Bu aşamada konverjans, rijit tahkimat sistemi uygulamalarıyla minimum seviyede tutulmalıdır [10][11]. Bu tür kombineli tahkimat uygulamalarına çatlaklı kaya kütlelerinin bulunduğu Almanya'daki kömür madenlerinde olarak sıkça rastlanmaktadır.



Şekil 2.5. Kilitleme etkisi [8]

2.2.4. Kemerleme (Natural Arch Forming) Etkisi

Kaya kütlelerinin ciddi miktarda çatlaklı olduğu durumlarda, yenilmeler ayrılma (yer çekimi kontrollü) ya da kaya sıkışması (gerilme kontrollü) sonucunda meydana geliyorsa, tahkimat sistemleri yalnızca uygun düzenlerde kullanıldığı zaman olumlu sonuç verecektir. Düzenler belirlenirken, kaya saplamalarının zeminle reaksiyonları sonucunda, zeminde oluşan etki alanlarının kesiştirilmesiyle bir kemerleme etkisi oluşturulmakta ve zemin duraylılığı açısından durum avantaja çevrilmektedir. Saplamaların oluşturduğu baskı gerilmesi, kesişim zonları içerisinde kayacın ayrık parçaları birbirine geçmiş bir şekilde bulunarak kendini-tahkim-eden kemeri meydana getirecektir. Fakat Şekil 2.6'da taralı olarak gösterilen kesişimler arası önyüzlerdeki gerilimsiz açısal zonlar, püskürtme beton ya da çelik hasırla kontrol artına alınmadığı takdirde düşmeye meyilli olacaktır.



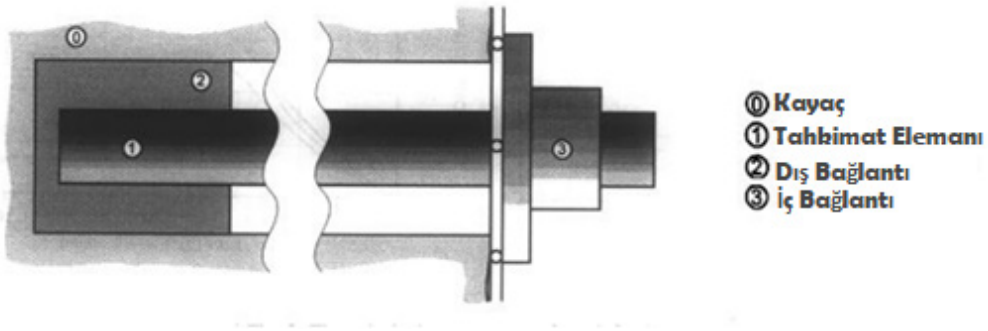
Şekil 2.6. Kemerleme etkisi [10]

Düzen temelli mekanizmaların oluşturulması esnasında kaya saplaması türüne karar verirken kazının yapıldığı çevre kayaçlardaki gerilmeler göz önünde bulundurulmalıdır. Gerilmeler düşük ve birincil yenilmeler yer çekimi kontrollü düşmeler şeklinde oluşuyorsa, hafif tahkimat elamanları olarak, dolgusuz mekanik ankrajlı saplamalar, dolgulu öngermesiz ribar türü saplamalar ya da Swellex, Split Set gibi sürtünmeli saplamalar elverişli tahkimatlar

olacaktır. Kaya kütlesindeki gerilmeler sıkışmaya ve taban kabarmasına neden olacak kadar yüksek ise daha ağır tahkimat elemanları olarak, dolgulu öngermeli saplamalar, dolgulu ribar türü saplamalar ya da yüksek yük taşıma kapasiteli Swellex saplamaları tercih edilmelidir [12].

Kaya saplamalarının etkileşim ve ankraj mekanizmalarını meydana getiren 4 adet temel bileşen vardır. Bunlar, kayaç, tahkimat elemanı, iç bağlantı (fikstür) ve dış bağlantı (fikstür) olarak nitelendirilmiştir [13]. Saplama kullanılarak yapılan bir tahkimat işleminde,

- Kayaç; tahkim edilen formasyona
- Tahkimat elemanı; kaya saplamasına
- Dış bağlantı (fikstür); yüzey plakası ve somuna
- İç bağlantı (fikstür); dolgulu saplamalarda çimento ya da reçine dolgusuna, dolgusuz mekanik saplamalarda ise yüzeyde oluşan sürtünmeye karşılık gelmektedir.



Şekil 2.7. Saplama tahkimat sisteminin 4 temel bileşeni [13]

Kayaç ve tahkimat elemanı arasındaki aderans, dış bağlantı (fikstür) aracılığıyla ve saplama boyunca var olan mekanik ankraj sayesinde gerçekleştirilir. Kaya saplaması eksenel yüklere maruz kaldığı zaman, saplamanın genişlemesine/uzamasına bağlı olarak kayaç ve saplama arasındaki deplasmanın artması sonucunda iç bağlantı bileşeninde bağlayıcı gerilmeler meydana gelecektir. Aynı zamanda kesme gerilmelerine de maruz kalarak ortama bir tahkimat basıncı sağlarlar. Kaya saplamasında oluşan deformasyon sonucunda, bağıl aderans gerilmeleri kayaç üstünde etkili olarak, kayaçta daha sonra oluşabilecek deformasyonları kontrol altına alır.

Temel bileşenlere dayanarak oluşan, eksenel yüklenme, makaslanma etkisi, plakalar üzerinde oluşan ve delik içinde oluşan aderans kaynaklı yüzey basıncı ankraj mekanizmaları birbirlerini etkileyebilmektedir [10].

2.3. Kaya Saplaması Türleri

Madencilik ve inşaat operasyonlarında uzun yıllardır pek çok tipte, farklı amaçlara hizmet eden kaya saplaması ve bağlantı demiri kullanılmaktadır.

Saplamalar genel olarak bir ucunda mekanik ya da kimyasal bir ankraj, diğer ucunda yüzey plakası ve civata somunu olan, düz çelik çubuklardan oluşur ve montajlarından hemen sonra yüklenmeye başlarlar. Kısa vadeli uygulamalarda saplamalar genelde dolgusuz uygulanırlar. Lakin özellikle aşındırıcı etkisi olan yeraltı suyunun olduğu kalıcılık gerektiren ortamlarda saplamalar ve kayaç arasındaki boşluklar çimento ya da reçine dolgusuyla kapatılır [14].

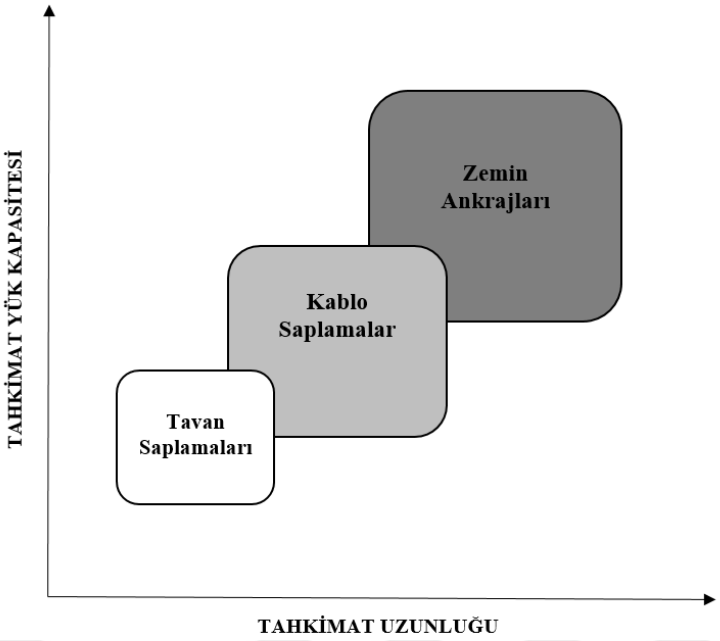
Bağlantı demirleri ve ankrajlı saplamalar kayaç içindeki hareketleri sayesinde yüklenirler. Uygulamaların etkili olabilmesi için formasyonda önemli bir hareket meydana gelmeden önce yerleştirilmeleri gerekir.

Kullanım amaçlarına göre saplamalar, araştırmacılar tarafından farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Windsor ve Thompson'a göre [15] modern tahkimat uygulamaları olan kaya saplamaları, operasyonel özelliklerine ve farklı uygulama alanlarına göre üç ana kategori altında incelenebilir:

1. Tavan saplamaları
2. Kablo saplamalar
3. Zemin ankrajları

Yıllar boyunca sıkça kullanılan bu terimler, saplamaların uygulama uzunlukları ve kapasiteleri arasındaki ilişkiyi göstermek açısından oldukça önemli bir konsept olarak kabul görmüşlerdir. Tahkimat türü, uygulama uzunluğu ve kapasiteleri Şekil 2.8' de gösterilmiştir. Uygulama uzunluklarına göre farklı duraysızlık koşullarında uygulanabilecek elemanlar aşağıda listelenmiştir [15]:

- Yüzey duraysızlıkları: 0-3 m uzunluğundaki saplamalar ya da tavan saplamaları
- Yüzeye yakın duraysızlıklar: 3-15 m uzunluğundaki saplamalar ya da kablo saplamalar
- Derinlere oturmuş duraysızlıklar: 10-30 m uzunluğundaki saplamalar ya da zemin ankrajları



Şekil 2.8. Tavan saplamaları,kablo saplamalar ve zemin ankrajları için geliştirilen uzunluk-kapasite ilişkisi [15]

Gelişen teknolojiler sonucunda piyasada en çok kullanılan saplama türleri şu şekilde özetlenebilir:

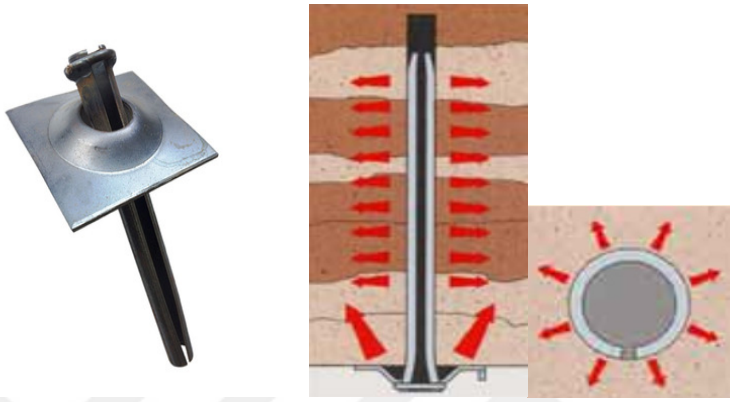
- Sürtünmeli kaya saplamaları
- Mekanik ankrajlı kaya saplamaları
- Öngermesiz dolgulu ribar türü kaya saplamaları
- Delici bitli kaya saplamaları
- Yüksek enerji emici özellikteki kaya saplamaları
- Kablo saplamalar
- Polimer kompozit saplamalar

2.3.1. Sürtünmeli Kaya Saplamaları

Uygulamaları kolay ve son derece hızlı olan bu sistemler dünya çapında madenciler tarafından geçerlilik kazanmıştır. İlk üretilen sürtünmeli kaya saplamaları Split Set olarak bilinmektedir. J.J .Scott tarafından geliştirilmiş ve uzun yıllar boyunca Ingersoll-Rand tarafından üretilip, piyasaya sürülmüştür [16].

Split Setler, çapı saplama çapından daha küçük olan deliklere itilerek yerleştirilir. Kesitlerinde bulundurdukları yarık vasıtasıyla, C şeklindeki profillerinin delik içinde sıkıştırılması sonucu radyal yay kuvveti meydana getirirler. Böylece montajlarının hemen sonrasında yük taşımaya başlayabilirler. Ama çok büyük kütleleri ve yükleri taşımayamazlar

[16] [17]. Genel olarak, nispeten daha kısıtlı yükler altında kontrollü bir formasyon davranış sağlamak için tasarlanmışlardır. Kaya düşmesini probleminin mevcut olduğu, sert, gevrek kayaçlarda Split Setler, kırıklı kaya parçalarını bir arada tutmak açısından son derece etkilidir. Elbette ileriki kaya düşmelerini ve sökülmelerini kontrol etmek amacıyla çelik hasırla birlikte uygulanmaktadır. Şekil 2.9' da sürtünmeli kaya saplamalarının montaj sonrası delik içinde zemine uyguladıkları gerilmelerin dağılımları gösterilmiştir.



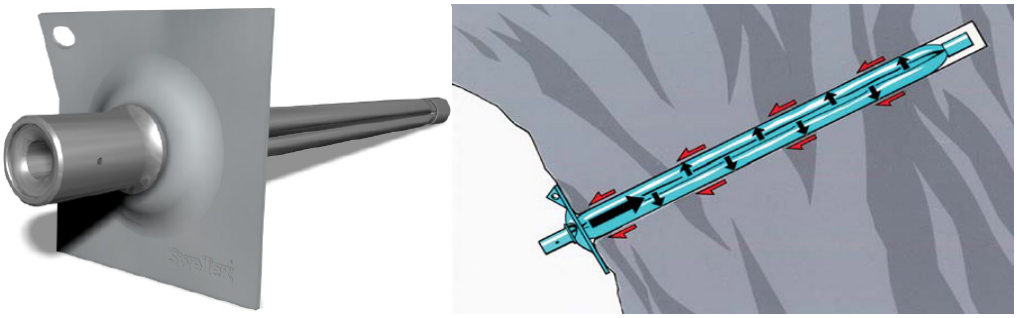
Şekil 2.9. Split Set kaya saplaması etki mekanizması [18]

Split Set'lerle ilgili başlıca endişe kullanım ömürleridir. Korozyona karşı hassas olmaları sebebiyle, bazı sert aşındırıcı yeraltı suyu koşulları altında 7-8 aydan sonra, hatta bazı durumlarda neredeyse 2. aydan sonra yük taşıma işlevlerini büyük ölçüde yitirirler. Daha az aşındırıcı ortamlarda ortalama 6 yıl kullanım ömürleri vardır. Korozyon problemine karşı galvanizli ve paslanmaz çelikten üretilen Split Setler olmasına rağmen, uzun süreli kullanımlarda, uygulama esnasında saplama yüzeylerinde oluşan çizikler nedeniyle kaplamalı malzemelerden üretilen Split Setlerin korozyona dayanım süresi düşmektedir [19].

Sürtünmeli kaya saplamalarında, teoride, sünek saplama performansı yalnızca sürtünmeli kaymanın saplama boyunca gerçekleşmesiyle oluşur. Bu durum, pratikte, prosedürün uygulanma koşullarına dayanarak sürtünmeli kaya saplamaları arasından, sadece Split Set'lerde meydana gelir.

Şekil 2.10. Jumbo ve delici tabancayla Split Set uygulamaları [20]

Özellikle sürtünmeli çelik saplamalarda meydana gelen korozyon problemine karşı Swellex adı verilen sistemler geliştirilmiştir. Delik çaplarından daha küçük çapta üretilen bu ürünler, uygulama sırasında delik içine itme kuvvetine gerek duymaksızın içeri yerleştirildikten sonra yüksek basınçlı su (ortalama 30 MPa ya da 4300 psi) ile şişirilmesi sonucu yüzey teması ile sürtünmeyi sağlarlar. Yerleştirilme sırasında yüzey sürtünmesinden kaynaklı çizilmeler oluşmadığı için korozyona karşı önemli bir avantaj oluşur. Yine de saplamanın direkt olarak dış yüzeyinin kayaçla doğrudan temas halinde olması, aşınma faktörünün etkisine maruz kalınabileceğini gösterir. Firmalar bu probleme karşı Swellexleri korozyona dayanımlı kaplamalarla donatma yoluna gitmişlerdir.



Şekil 2.11. Swellex uygulaması etki mekanizması [10]

39 mm çaptaki 150 mm uzunluğundaki Split Setler delik içerisinde 50-60 kN arasında yük taşıma kapasitesine sahiptir. Aynı koşullardaki Swellex ler 120 kN'lara kadar yük taşıyabilmektedir [21].

2.3.2. Mekanik Ankrajlı Saplamalar

Mekanik ankrajlı saplamalar madencilik sektörüne ilk olarak 1950'li yıllarda girmiştir. Delik içine itildiği zaman genişleyen uç kısımlarıyla ankraj sağlayan saplamalar oldukça çeşitli formlarda karşımıza çıksa da, basit çalışma prensipleri tüm ankrajlarda aynıdır. Ankrajı sağlayan konik uç, saplamanın vidalı kısmına geçirilerek, tüm sistem delik içerisine yerleştirilir. Deliğin uzunluğu, saplamanın uzunluğundan en azından 100 mm fazla olmalıdır, aksi takdirde sistem, deliğin son noktasına geldiğinde halen itilmeye zorlandığı için halka (bail) adı verilen eleman yerinden çıkarak ankraj mekaniğini bozacaktır.

Şekil 2.12. Farklı formlardaki mekanik ankraj başları [10]

Zamanla öngerme sağlayan ankrajların da geliştirilmesiyle birlikte, bu saplamalar genişleyen uçları sayesinde deformasyona gerek duyulmadan ciddi miktarlarda tahkimat basıncını aktif olarak sağlayabilmektedir. Sert kayaçlarda başarıyla uygulanabilen ankrajlar, sık çatlaklı ve yumuşak kayaçlarda, formasyon ile genişleyen ucun teması sonucunda meydana gelen deformasyon ve kayaç yenilmesi sebebiyle yeterli etkiyi gösteremezler. Bu tür kayaçlarda reçine dolgulu ankrajların kullanılması önerilir.

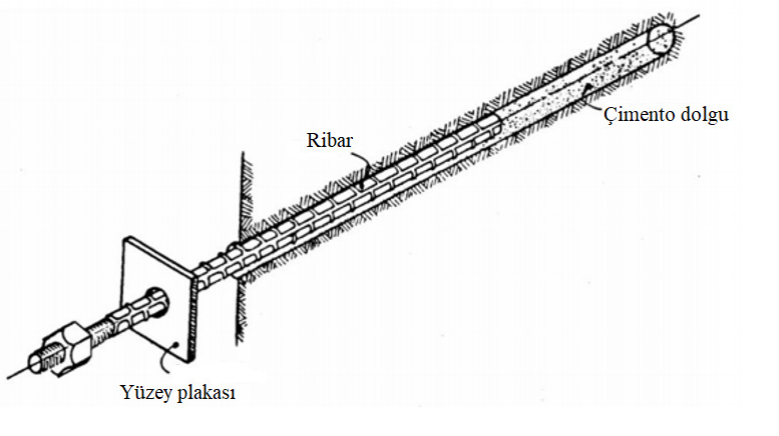
Kaya saplamalarına uygulanan öngermeler tüm bileşenlerin kayaç ile temas halinde olmasını sağlamak ve kayaca etkiyen pozitif kuvvetleri pekiştirmek için oldukça önemlidir. Öngerme sayesinde ortama hızlı bir şekilde aktif tahkimat basıncı sağlanır. Saplamaların ciddi miktarlardaki yüklerin altında uygulanacağı durumlarda öngermenin, saplamanın taşıma kapasitesinin %70'i kadar olacak şekilde başlangıçta uygulanması önerilir.

Tipik öngermeli mekanik ankrajlı saplamalar dolgu ve çelik kalitesine bağlı olarak 200-300 kN'lara kadar yük taşıyabilmektedir [10]. 17.3 mm çapındaki ankrajlı bir çelik saplama ortalama 90 kN yüklenmeden sonra yenilmeye başlar.

2.3.3. Öngermesiz dolgulu ribar türü kaya saplamaları

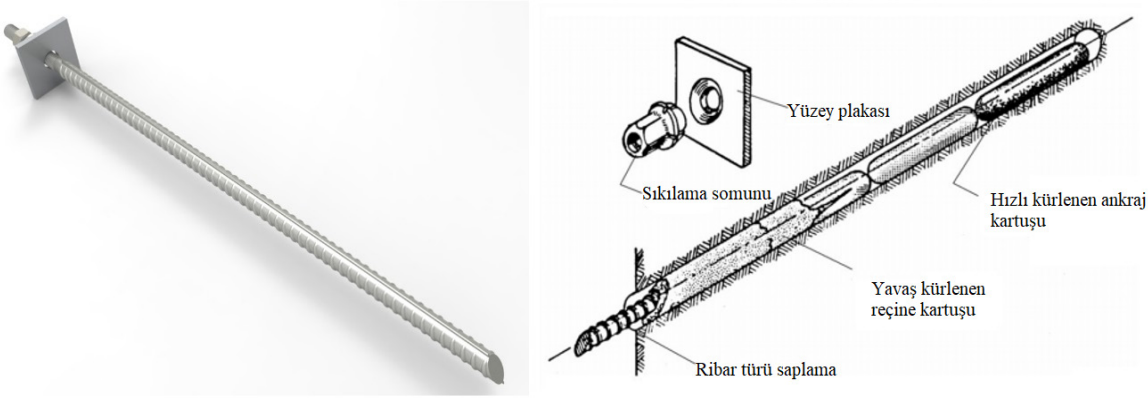
Tahkimatların uygulamalarının gerçekleştirileceği yüzeyler açılan aynaya ya da devam eden kazıya çok yakınsa, ya da sonraki kazı aşamalarında oluşacak gerilmeler önlem amaçlı önceden kontrol altına alınmak isteniliyorsa, bu tür saplamalar sıkça tercih edilmektedir. Madencilik ve inşaat sektörlerinde yoğun olarak uygulanmaktadır. Bu sistemlerin diğer saplamalarla arasındaki en temel fark, öngermeli saplamalar kayaca pozitif bir kuvvet uygularken, ribar türü saplamaların tahkimat çalışmasını aktive etmek için kayaç içindeki hareketten faydalanmalarıdır.

Günümüzde en basit formuyla sıkça kullanılan ribarlar çimento dolgulu ribarlar olarak bilinir (Şekil 2.13). Uygulama kalın bir dolgunun (genellikle 0.3 – 0.4 su/çimento dolgu oranında) deliğin içine en dipten doldurulmasıyla gerçekleşir. Yeterli düzeyde viskoz bir dolgu kullanıldığı zaman, dolgu malzemesi delikten geri akmayacaktır. Daha sonra saplama delik içine yerleştirilir ve çimentonun donmasıyla güçlü bir aderans sağlanmış olur.



Şekil 2.13. Çimento dolgulu ribar türü kaya saplaması [10]

Sulu zeminlerde çimento karışımlarının karşılaşabileceği problemler için farklı kompozisyonlardaki reçine dolgular da tercih edilmektedir. Reçine kartuşları delik içine saplamalardan önce yerleştirilir, saplamanın montajıyla döndürülmesi esnasında reçine dolgunun karışması başlar. Reaksiyon sonrasında hızlı bir şekilde kürlenme meydana gelir. Ancak reçine uygulamalarının maliyetlerinin çimento dolgularına göre oldukça yüksek olması, montaj sırasında kartuşun bileşenlerinin iyi karışmaması ihtimali ve buna istinaden kürlenmenin meydana gelmemesi durumu uygulamanın başlıca dezavantajlarındandır. Dolgu kalitesine göre 20 mm çapındaki ribar dolgulu saplamalar 200 kN civarında yük taşıyabilir. Reçine dolgulu saplamalar çimento dolgululardan daha hızlı deformasyona uğrarlar.



Şekil 2.14. Reçine dolgulu ribar türü kaya saplaması [10]

2.3.4. Delici Bitli Kaya Saplamaları

Kendiliğinden delici bitli saplamalar (Şekil 2.15) , özellikle delik delmenin zorlu olduğu ve zaman aldığı, sağlam olmayan ve aşındırıcı ortamlarda ciddi avantajlar sağlarlar. Delik delme, montaj ve dolgu işlemlerinin tek bir aşamada gerçekleştirilebilir olması bu sistemlerin en önemli özelliğidir. Fakat maliyetleri diğer türdeki saplamalara göre oldukça yüksektir.

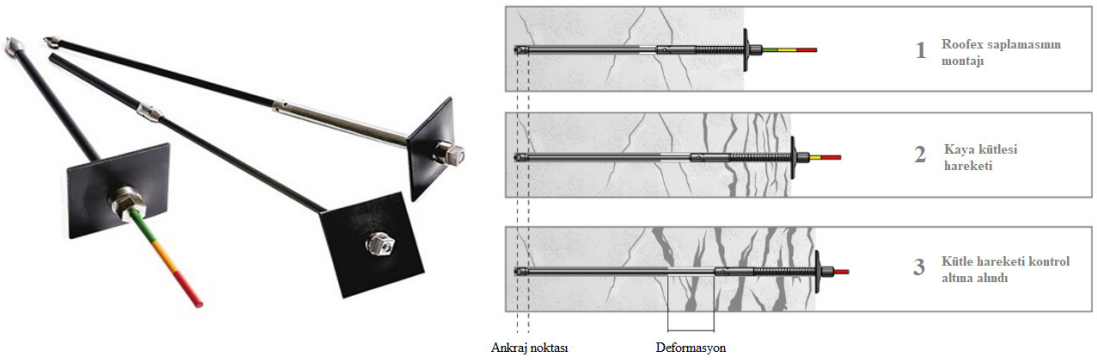
Şekil 2.15. Delici bitli kaya saplaması [10]

2.3.5. Yüksek Enerji Emici Özellikteki Kaya Saplamaları

Kompleks jeolojik koşulların doğurduğu muhtelif ihtiyaçlar ve problemler doğrultusunda, özellikle Avustralya'daki madenlerde sıkça gözlemlenen kaya patlaması gibi problemleri kontrol altına alabilmek için alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Bu doğrultuda üretilen yüksek enerji emme kapasiteli kaya saplamalarının en önemli avantajı, sahip oldukları deformasyon limitiyle, tüm yüke tek seferde etki etmek yerine, oldukça sünek bir tahkimat davranışı sergilemeleridir. Böylece çok yüksek gerilmeler sonucunda oluşan kaya patlamalarını askıda tutarak göçük oluşumlarını engellerler. Kaya patlamalarına neden olan

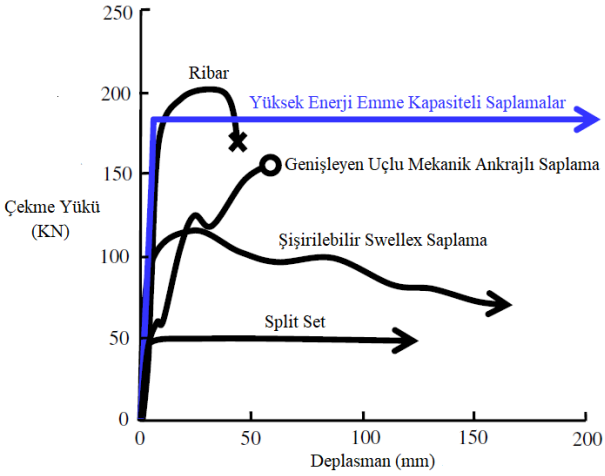
formasyonlardaki yüksek enerjilerin salınımına kontrollü bir biçimde, belirli miktarlarda müsaade ederek nihai kontrolü sağlarlar.

Yüksek enerji emme kapasiteli saplamaların ilk örnekleri Güney Afrika'da kullanılmış olan konik saplamalar olarak bilinir. Önceleri çimento dolgusuyla kullanmak üzere geliştirilen bu saplamalar, düzleştirilmiş dışa doğru açılan konik uç ve pürüzsüz bir çelik bardan oluşmaktadır. Daha sonra Kanada'da reçine dolgusuyla kullanmak için, konik uca eklenen bir bıçak yardımıyla reçineyi karıştırabilmek amacıyla modifiye edilmiştir [22].



Şekil 2.16. Roofex saplaması ve izin verilen deformasyonlar [10]

Avustralya'da geliştirilen Garford saplamaları ve İsveç'teki Roofex saplamaları daha güncel uygulamalar olarak piyasaya sürülmüştür. Bu saplamalardaki enerji emme kapasiteleri konik saplamalara göre çok daha fazladır. Şekil 2.17, yüksek enerji emme kapasitesindeki saplamaların performanslarının Stillborg'un 1994'teki çalışmasına entegre edilmiş son halini göstermektedir [22].

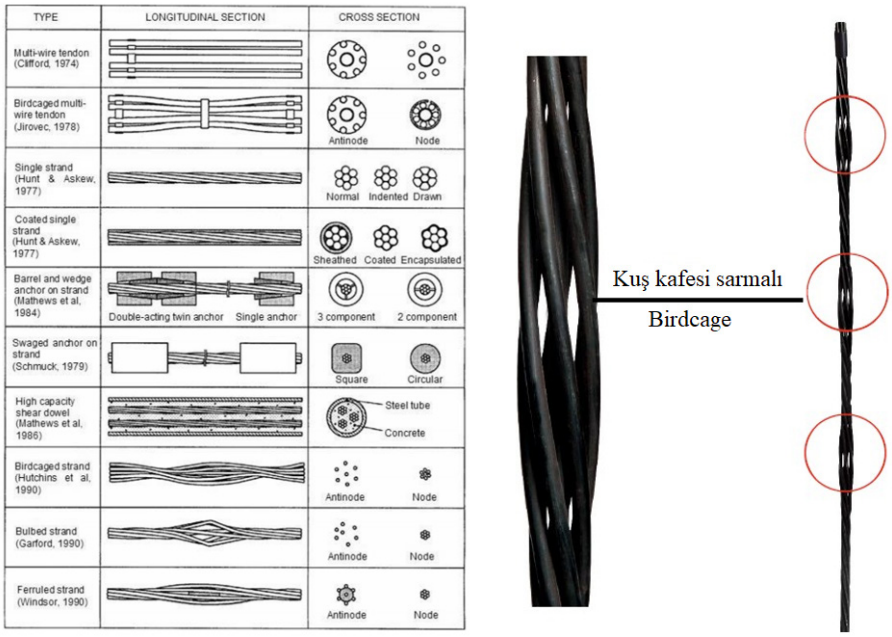


Şekil 2.17. Çekme etkisine maruz kalan farklı saplamaların performansları [22]

2.3.6. Kablo Saplamalar

İlk uygulamalarının Kanada'daki Willroy Madeni'nde gerçekleştirildiği bilinen kablo saplamalar, daha sonra 70'li yıllarda Avustralya, Kanada ve Güney Afrika'daki madencilik grupları tarafından yapılan katkılar sonucunda dünya çapında yaygın hale getirilmiştir [23][24]. 1970'li yıllarda kablo saplamalar ABD madencilik-inşaat endüstrisine girdiği zaman, şimdiki maden tahkimatı uygulamalarından önce inşaatlarda zemin tahkim etme operasyonlarında kullanılmaktaydı. Günümüzde basit kablo saplama tasarımları, yüksek dayanımlı, 25,4 mm - 76 mm arası çaplardaki deliklere uygulanan öngerilmeli beton demetleri şeklindedir. Önceleri saf çimentoyla ankrajlanan bu saplamalar günümüzde de aynı metotla uygulanmaya devam etmektedir. Özellikle 90'lı yıllarda farklı türde kablo saplamalar üretilmiş ve çalışma mekanizmaları önemli ölçüde anlaşılmıştır.

Uygulamalarda sıkça karşılaşılan yenilme problemi olan çelik halatlar ve dolgu malzemesi arasındaki aderansın sağlanamamasına çözüm olarak, saplamalara çeşitli türlerde namlular ve kamalar ya da ankrajlar eklenerek alternatif ürünler ortaya çıkmıştır. Madencilikte kullanılan bazı kablo saplamaların sarmal düzenleri Windsor tarafından Şekil 2.18'deki şekilde özetlenmiştir. Bu prototiplerin arasından, 1983 Avustralya'daki Mount Isa Madenleri'nde uygulanmış, en basit ve ucuz tasarıma sahip olan "kafes (birdcage)" tip saplamanın geliştirilmesi diğer ürünleri geride bırakmıştır [25].



Şekil 2.18. Yeraltı madenlerinde kullanılan kablo saplama tipleri ve kafes türü kablo (Birdcage) [25]

Diğer rijit saplamalara nazaran kablo saplamaların daha esnek olması, uzun saplamaların yeraltındaki açıklık kesitlerinden çok daha derin mesafelere montaj yapılabilmesine olanak sağlar. Deliklere montajları ve hafif oldukları için nakliyeleri oldukça kolaydır. Uzunlukları gereksinimlere göre modifiye edilebileceği için geniş uygulama alanlarına sahiptirler [26]. Yüksek yük taşıma kapasiteleri sayesinde diğer saplamaların erişemeyeceği dayanımlarda çalışabilirler.

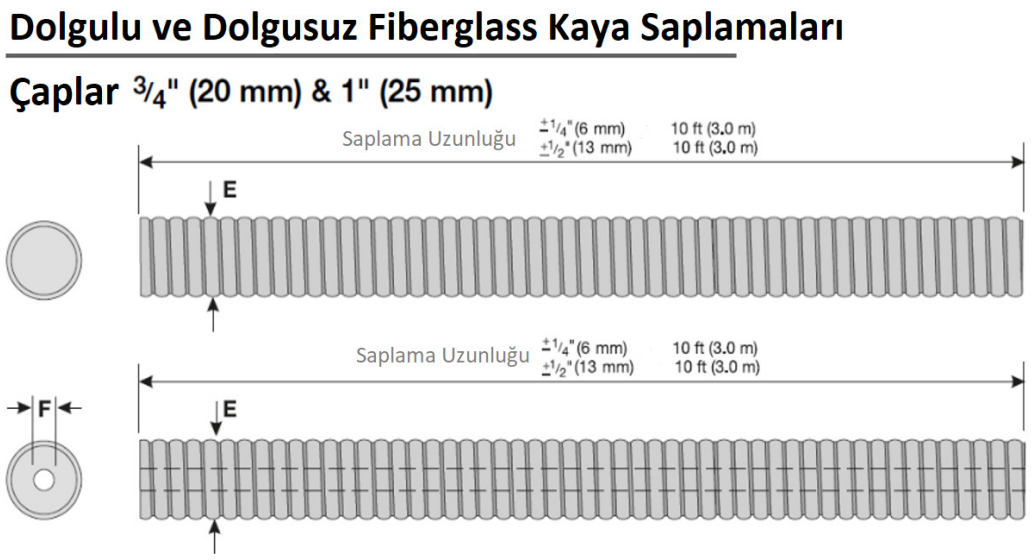
Kablo saplamaların yük taşıma kapasiteleri, beraberinde uygulanan dolgunun kalitesine büyük oranda bağlıdır. Çimento ve reçine dolgulularla birlikte monte edilebilen saplamaların çalışma prensipleri dolgulu ribar türü saplamalara oldukça benzerdir. Uygun montajın ve dolgu aderansının sağlanabildiği durumlarda 500 kN'lara kadar dayanım değerlerine sahip kablo saplamalar görülmektedir. Yine de, zayıf kayaç koşulları altında bu tahkimat elemanları muhakkak püskürtme beton uygulamalarıyla tamamlanmalıdır.

2.3.7. Polimer Kompozit Saplamalar

Kaya saplamaları uygulamalarındaki aşınma (korozyon) faktörü tahkimat sistemlerinin yük taşıma kapasitelerini ve kullanım ömürlerini ciddi oranda etkileyerek, yeraltı galerilerinde güvenlik kaygılarına ve operasyonel zorluklara sebep olmaktadır. Aşınma koşulu, kalıcı olarak kullanılacak bir tahkimat seçiminin yapılmasında düşünülmesi gereken başlıca faktörlerden biridir [27]. Bu alanda yapılan çalışmalar sonucunda aşınmanın, Avustralya madenlerindeki kaya düşmesi problemlerinde, kaya saplaması yenilmelerinde %29, kablo saplamalarının yenilmesinde ise %25 oranlarında rol oynadığı görülmüştür [28].

1985 yılında İsviçreli Weidmann tarafından geliştirilen kompozit (FRP) saplamalar dünya çapında önce tünelcilik sektörüne daha sonra madencilik endüstrisine girmeyi başarmıştır [29].

Lif katkısı, polimer malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmede sıkça kullanılan bir yöntemdir. Cam lif katkı en çok tercih edilen yöntemdir ve bu malzemelerin dayanımları, lif katkısız polimerlerinkinden daha yüksektir [30].



Şekil 2.19. Dolgusuz ve dolgulu fiberglass ribar saplamalar [31]

Farklı polimer çeşitleriyle kaplanabilen kompozit saplamalardan, fiberglass ribar türü saplamalar, dünyada özellikle uzunayak yöntemiyle üretim yapan kömür madencilerinde, hem hafif olmaları, hem de daha sonra üretim yapılacak taban yollarında ekipmana zarar vermeden tamburlu kesici tarafından kolaylıkla kesilebilir olmaları sebebiyle vazgeçilmez tahkimat elemanlarıdır. Günümüzde kullanılan son teknoloji fiberglass kaya saplamaları delik dışında kalan uçlarına bağlanan enjeksiyon adaptörleri sayesinde dolgulu olarak uygulanabilmektedir.

Şekil 2.20. Bir kömür madeni taban yolunda uygulanan fiberglass saplamaların kesilmesi [32]

2.3.8. Kaya Saplamalarıyla Birlikte Kullanılan Yardımcı Tahkimat Elemanları

Yeraltında açılan boşlukların duraylılığının sağlanmasında aktif olarak tahkimat görevi yapan kaya saplamalarına yardımcı tahkimat elemanları şunlardır:

a. Taşıma plakaları
b. Çelik hasır
c. Püskürtme beton
d. Çelik kuşak
e. Oluklu saç kiriş
f. Tavan çerçevesi
g. Tavan olukları

Taşıma plakaları, kaya saplamalarının delik ağzında oluşan yükü çevredeki kaya içine düzgün olarak dağıtmak için kullanılır. Çelik hasırlar ise süreksizlikler arası mesafenin az olduğu durumlarda, saplama aralıklarında kalan küçük blokları veya kavlakları tutmak amacıyla kullanılır. Püskürtme beton uygulaması; süreksizlik düzlemleri ve blokların kaya kütlesi içinde kilitlenmesini sağlayarak, yapının kendini taşıma özelliğinin korunmasına yardımcı olur. Tavandan tabakasal olarak ayrılmaya meyilli ve tabakanın kalınlığının cm mertebesine ulaştığı süreksizlik hallerinde, tabakasal bloğun kontrolü için çelik kuşaklar çatlaklara dik konumda yerleştirilerek kullanılmaktadır.

2.4. Dünyadaki Kömür Madenlerinde Kaya Saplaması Uygulamaları

Yeraltı kömür madenciliğinde güvenli ve verimli bir operasyon yürütmenin temel yapıtaşı olan kaya saplamalarıyla tavan kontrolünün sağlanması yaklaşımının ortaya çıkmasıyla, saplamaların tasarımları ve montajlarında, tavan tabakalarının kendilerini destekleyebilmelerini sağlamak açısından pek çok düzenleme yapılmış ve bu doğrultuda yeni yöntemler geliştirilmiştir. Formasyonların duraysızlık koşulları ve birincil tahkimat elemanı olarak kullanılan tavan saplamaları üzerinde oluşan muhtelif etkiler, kapsamlı bir şekilde anlaşıldıktan sonra, montajı yapılan her saplamanın bireysel olarak maksimum verimde performans göstermesi için optimizasyonlar yapılabilmektedir [33].

"Yaklaşık 40-50 yıl boyunca tavan saplamalarında yapılan gelişmeler doğrultusunda, optimum bir tavan saplaması sistemi, en azından aşağıda verilen 8 temel prensibi içeriğinde barındırmalıdır" [34]. Bu prensipler:

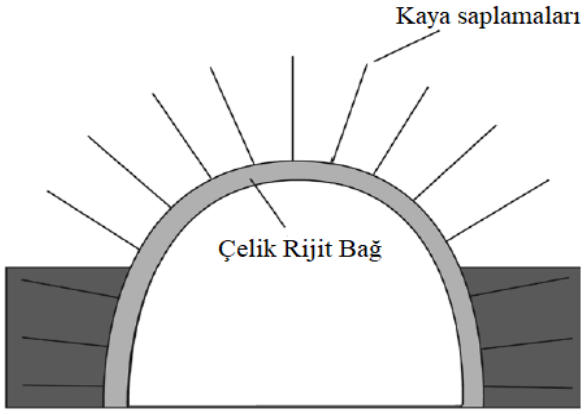
- Saplama montajlarının devam eden galeri ilerlemesine göre bulundukları pozisyon (ilerleme sırasında tahkimatsız alanın (cut-out distance) uzunluğu vb. parametreler),
- Gereken saplama uzunluğu ve jeoteknik olarak uygun saplama düzeni,
- Saplamaların uygulandığı aralıktaki tavan tabakasındaki olumsuz etkileri azaltmak için uygulanan minimum dolgu (reçine/çimento) basıncı,
- Dolgu kalitesinin ve karışım oranlarının, saplama ve tabaka arasındaki aderansı uygun ölçüde sağlayabilecek durumda olması,
- Dolgu sisteminin özelliklerinin yük taşıma kapasitelerini arttırabilecek şekilde kullanımı,
- Civataların sıkılması sırasında uygulanan öngermelerle saplama performansının en yüksek düzeye çıkarılması,
- Uygulamalar esnasında çalışan personeli, saplamalar arasından kopabilecek herhangi bir malzemenin düşmesine karşı güvenli koşullar altında bulundurmak,
- Operasyonlarda tahkimat sisteminin doğru uygulanmasının yanı sıra, uygulamalar esnasında meydana gelebilecek, jeolojideki doğrusal olmayan davranışlardan doğan, formasyonda bulunan içsel belirsizliklerin yönetilmesi, kontrol altında tutulması ve düzenli ölçümlerin yapılmasıdır.

Dünyada kömür madenciliği çalışmalarındaki kazı operasyonları arttıkça derin yeraltı madenlerinin miktarı ciddi oranda artmıştır. 1980 yılında en derin kömür madenleri Almanya, eski Sovyetler Birliği, Polonya, Japonya ve Fransa gibi ülkelerde bulunmakta ve 1000 m derinliklere kadar uzanmaktaydı. 1990'lar sonrasında Almanya'daki maden derinlikleri 1500 m'yi, Rusya ve Polonya'dakiler 1400 ve 1300 m'leri aşmıştır [35]. Aynı zamanda güncel olarak şu anda Çin'de 1500 m derinliğinde olan Suncun Kömür Madeni bulunmaktadır.

Artan derin madencilik operasyonlarının kaçınılmaz bir etkisi olarak, derinlere inildikçe daha büyük yerinde (in-situ) gerilmelerle karşılaşılmaktadır. "Sahalarda yapılan ölçümler doğrulsutunda 1000 m derinlikleri aşan madenlerde yerinde gerilmelerin 40 MPa değerlerini aştığı görülmüştür" [36]. Aynı zamanda ciddi derinliklerde bulunan madenlerde genellikle gerilmeler yüksek ve tektonik gerilme dağılımları oldukça karmaşıktır. Bu derinliklerdeki galerilerde; büyük miktarda deformasyonlara, uzun süreli reolojik davranışlara, kütle, kömür ve gaz patlamalarına sıkça rastlanmaktadır.

2.4.1. Almanya Kömür Madenciliğinde Kaya Saplaması Uygulamaları

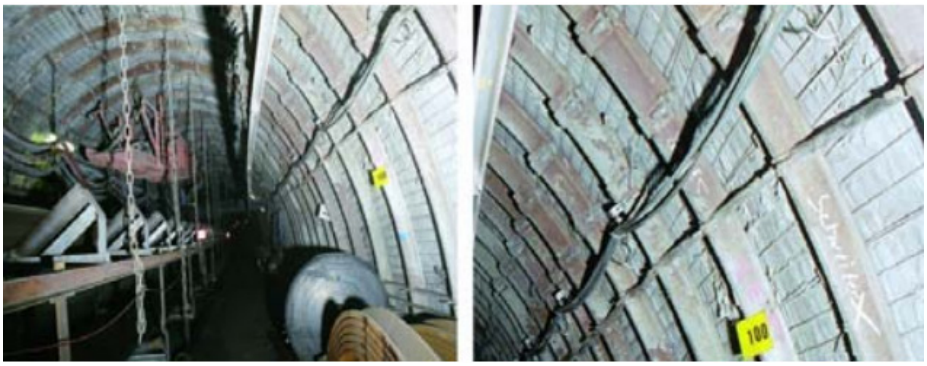
Almanya kömür madenlerinin taban yollarının büyük çoğunluğu ortalama 30 m^2 kesit alanına sahip kemer (arch) profiller şeklindedir. Derinleşen madencilik operasyonları nedeniyle, son yıllarda taban yollarının sadece kaya saplamalarıyla tahkim edilmesi anlayışı yerini çelik rijit bağlarla yapılan kombineli saplama uygulamalarına bırakmaya başlamıştır. Şekil 2.21'de tahkimat sistemlerinin kombineli uygulamasının görseli verilmiştir.



Şekil 2.21. Almanya kömür madenlerinde çelik rijit bağ-kaya saplaması uygulamaları [35]

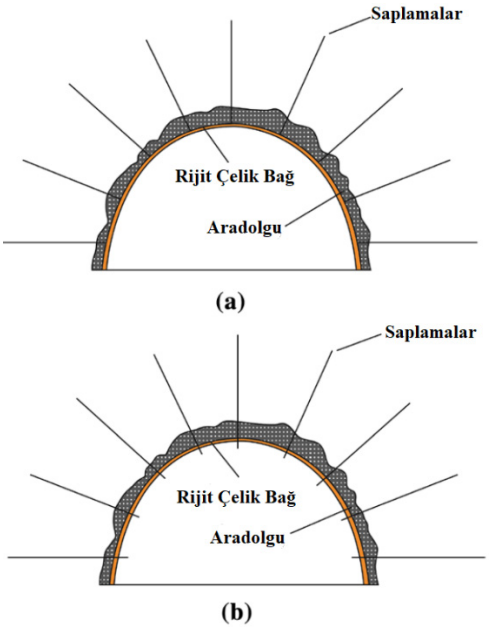
Gerilmelerin oldukça yüksek olduğu derinliklerde yapılan kömür madenciliği operasyonları sebebiyle, Almanya'da kaya saplamalarının tek başına tahkimat elemanı olarak kullanılması günümüzde yalnızca %3 civarındadır. Yönelim, artan bir şekilde kombineli uygulanan sistemlere doğrudur ve bu sistemlerde tahkimatlardaki standart kaya saplamaları, 25 mm çaplarında, 700-800 MPa çekme dayanımlarına sahip reçine dolgulu ribar saplamaları ya da daha yüksek yük taşıma kapasitelerine sahip 23 mm çaplarında kablo saplamalardır [35].

Tahkimat uygulamalarında kurulan sistemlerin temas yüzeylerini arttırarak çevre kayaçlarla etkileşimlerini pekiştirme yaklaşımı Almanya'da aradolgulama yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Çelik tahkimatların kayaçla olan aderansı açısından, tahkimat-formasyon arasına yapılan ara dolgu sayesinde, çelik bağlardan uygulanan dirençlerin transfer edilmesi sağlanarak tahkimat elemanlarından maksimum randıman elde edilir. Yapılan çalışmalar aradolgu işlemlerinin, çelik tahkimatların yük taşıma kapasitelerini arttırdığını göstermiştir.



Şekil 2.22. Çimentoyla aradolgu yapılmış çelik bağlar [35]

Aradolgu işlemi iki farklı düzende uygulanmaktadır. İlk düzende saplamaların montajı kazı operasyonunun akabinde gerçekleştirilir, daha sonra devam eden ilerleme aynasından 10-50 m geride çelik bağlar yerleştirilir ve aradolgulama işlemi yapılır. Diğer düzende ise kazıyı takiben yerleştirilen çelik bağların devreye alınmasından hemen sonra aradolgu işlemi uygulanır. Son olarak devam eden kazının 20-100 m gerisinden kaya saplamaları yerleştirilir. İlk düzeni kullanarak, saplamaların ürettiği aktif tahkimat basıncı sayesinde tavan ayrılmaları ve sütun çatlakları önemli ölçüde kontrol altına alınabilir. Böylece taban yollarındaki konverjans önemli ölçüde azaltılır. İkinci düzen uygulamasında konverjans, saplamaların geciken montajlanmasından ötürü, yalnız çelik bağlarla tahkim edilen galerilerden farksızdır. Bu aşamada kilit nokta saplamaların büyük deformasyonlar meydana gelmeden en kısa zamanda yerleştirilmesidir.



Şekil 2.23. **a)** Saplama sonrası çelik bağ+aradolgu uygulaması **b)** Çelik bağ+aradolgu sonrası saplama uygulaması [35]

2.4.2. ABD Kömür Madenciliğinde Kaya Saplaması Uygulamaları

Amerika Birleşik Devletleri kaya saplaması tekniklerini dünyada pek çok ülkeden daha önce kullanmaya başlamıştır. Özellikle kömür madenleri gibi tabakalı madencilik operasyonlarında, yasalar gereği galerilerde kaya saplaması kullanımları zorunlu kılınmıştır.

Son 20 yıl içerisinde ABD yeraltı kömür endüstrisinde, yıllık olarak ortalama 100 milyona yakın saplama kullanılmıştır. Galerilerde genellikle altı tip kaya saplaması uygulanır. Konu tavan tabakalarını kontrol altına almak olduğu zaman iki temel saplama olan: öngermeli mekanik ankrajlı saplamalar ve reçine dolgulu saplamalar, kablolu ya da ribar türü olarak tercih edilir. Yapılan araştırmalar sonucunda ABD yeraltı kömür madenlerinde kullanılan saplamaların %20'sinin öngermeli mekanik ankrajlı saplamalar olduğu, geri kalan %80'in reçine dolgulu saplamalar olarak uygulandığı görülmüştür [36].

Saplamalarla tahkim edilen alanlardaki yenilmeler ABD'de araştırmacılar tarafından nümerik metodlarla modellenerek, bu doğrultuda galerilerde uygulamak üzere en uygun tasarımlar gerçekleştirilmektedir.

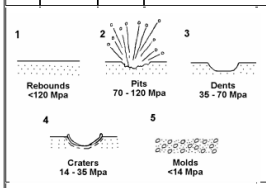
Yeraltı kömür madenlerinde en çok yaşanan kazaların tavan göçmeleri olması sonucunda ABD'de özel olarak kömür madenlerinin tavan sistemlerini sınıflandırmak ve bu doğrultuda uygun tahkimat sistemlerini kurabilmek için 1994 yılında The Coal Mine Roof Rating (CMRR), sistemi geliştirilmiştir. Sistem Bieniawski'nin RMR sistemine oldukça benzerdir; anlık tavandaki tabakaların kalınlıkları, zayıf kayacın kesme dayanımı, kayacın basma dayanımı, tavan tabakalarının sayısı, kayacın suya karşı hassasiyeti, su içeriği vb. parametreleri bir arada incelenir ve tavana 0-100 arasında bir puan verilerek kayaç, zayıf, orta düzey ya da sağlam şeklinde sınıflandırılır [37]. Şekil 2.24'te örnek bir yeraltı CMRR veri sayfası verilmiştir. Pek çok yeraltı kömür madeninde topuk ya da kaya saplaması tasarımları bu sınıflandırma sistemini baz alarak gerçekleştirilmektedir.

CMRR

DATE_____ MINE_____ LOCATION_____ PAGE____ OF_____ CMRR_____

TYPE OF EXPOSURE_____ NAME_____

UNIT						*UNIT DISCONTINUITIES*					
Unit No.	Unit Thickness	Strip Log	Description	Strength	Moisture Sensitivity	Disco. I.D.	Description	Cohesion	Roughness	Spacing	Persistence Lateral/Vert
3						A.					
						B.					
						C.					
	CONTACT										
2						A.					
						B.					
						C.					
	CONTACT										
1											
						C.					



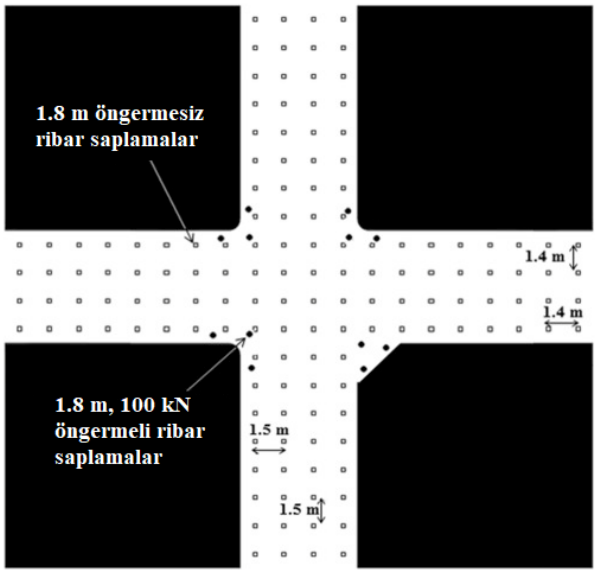
1	Rebounds	Not Sensitive	1	Strong (>7)**	Jagged	>1.8 m	0 - 0.9 m
2	Pits	Slightly Sensitive	2	Moderate (4-7)	Wavy	0.6 - 1.8 m	0.9 - 3 m
3	Dents	Moderately Sensitive	3	Weak (1-3)	Planar	20 - 60 cm	3 - 9 m
4	Craters	Severely Sensitive	4	Slickensided (0)		6 - 20 cm	>9 m
5	Molds		5			<6 cm	

**Chisel blows necessary to split bedding.

COMMENTS:

Şekil 2.24. Kömür Madeni Tavan Sınıflandırma (CMRR) sistemi örnek veri kağıdı [37]

Ayrıca kompleks koşullar altındaki tavan koşullarına karşı kaya saplamalarındaki öngermenin önemi ABD'deki uygulamacılar tarafından sıkça vurgulanmaktadır. Optimum tasarımlar yapılırken, yüksek öngermelerin uygun uzunluklarda ve yoğunluklarda uygulanmasıyla tavan ayrılmalarının kontrolü amaçlanır. Güncel olarak ABD kömür madenlerinde kullanılan öngermeler genelde 100 kN civarlarındadır [35][38]. Şekil 2.25'te bir kömür mademinindeki ana galeri ve taban yollarında uygulanan tavan saplaması düzeni verilmiştir [39]. Stabilizasyon sorunu yüksek olan kavşakta köşe noktalarına öngerme uygulanarak kaya kütlesi kuvvetlendirilmiştir.



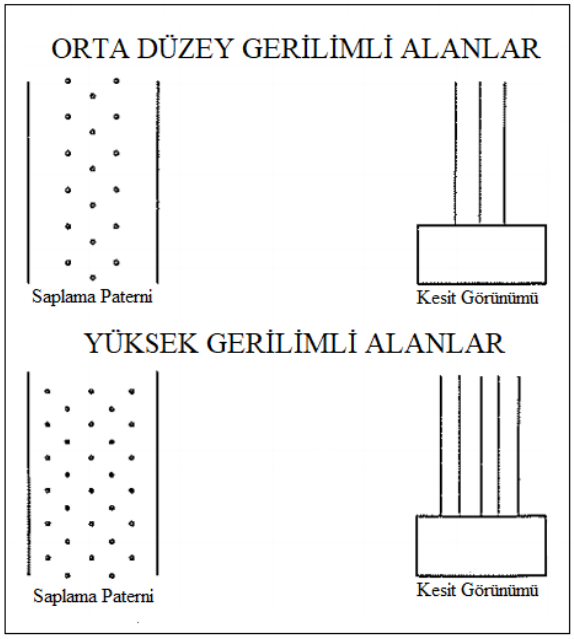
Şekil 2.25. ABD-Illinois bölgesinde bulunan bir kömür madeninde kaya saplaması düzeni [39]

2.4.3. Avustralya Kömür Madenciliğinde Kaya Saplaması Uygulamaları

Avustralya kömür madenlerinde en çok kullanılan galeri tahkimatları reçine dolgulu saplamalardır [40]. Tasarımlar uygulanmadan önce sistematik bir şekilde jeomekanik testler ve değerlendirmeler gerçekleştirilmektedir. Yerinde ölçümler Avustralya kömür madenlerindeki yatay gerilmelerin düşey gerilmelerden 2-4 kat arası daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu koşullar altında galerilerdeki stres dağılımlarına dayanarak, tavan hasarının büyük çoğunluğunun yüksek yanal baskıdan kaynaklı kesme yenilmesi ve yanal genişleme olduğu saptanmıştır [41][42].

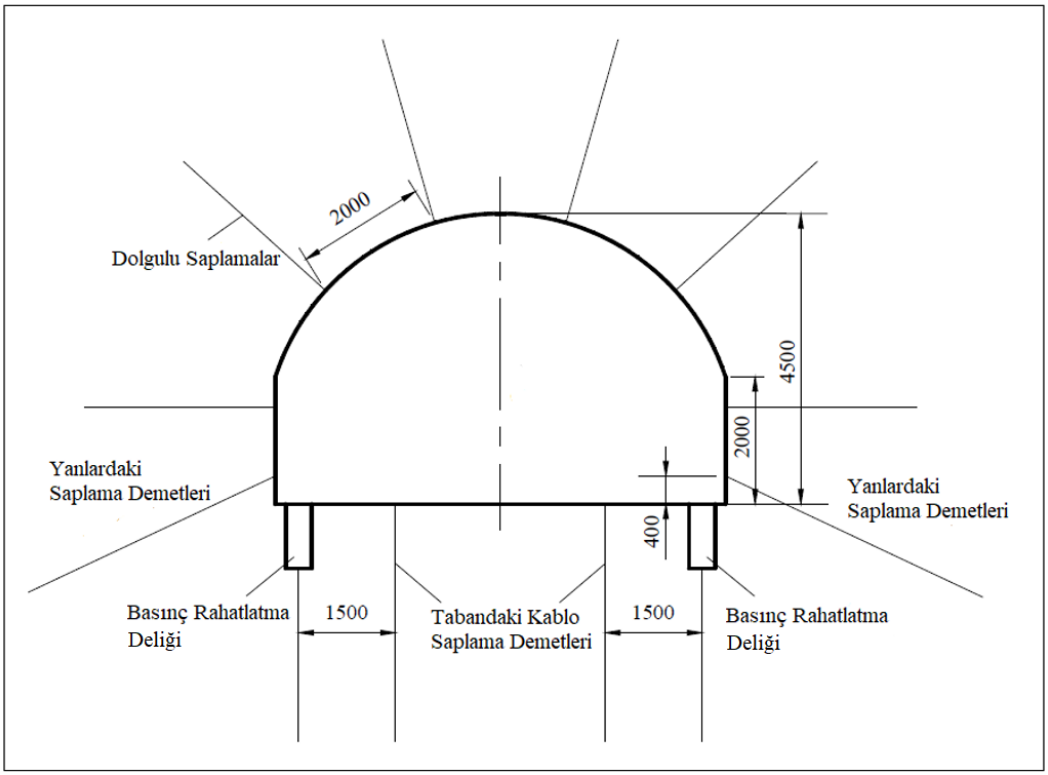
Bölgedeki kömür madenlerinde en çok kullanılan saplamalar tam reçine dolgulu, yüksek dayanım ve rijitlikteki özel geliştirilmiş AT (advanced technology bolts) saplamalarıdır. 22 mm çapındaki AT saplamalar 2.4 – 1.8 mm arasındaki uzunluklarda kullanılır. Yüksek deformasyona maruz kalan galerilerin ihtiyaçlarını karşılamak için 300 kN değerlerine kadar taşıma kapasiteleri olan saplamalar mevcuttur. Yumuşak ve kırıklı kayaçlarda etkili sonuçlar elde etmek için, özel olarak Avustralya'da üretilmiş, reçine dolgusuyla ankrajlanabilen delici bitli, geri çıkarılabilir delici bitli ve öngermeli delici bitli saplamalar gibi yüksek performanslar sunan elemanlar da mevcuttur.

Şekil 2.26'da Avustralya'da 70 yıldan fazla süredir üretim yapan Angus Place Kömür Madenleri'ndeki stres dağılımları farklı olan iki alanda uygulanan örnek kablo saplama düzenleri verilmiştir [41].



Şekil 2.26. Avustralya'da bir kömür madeni galerilerinde kablo saplama uygulama düzeni [41]

Kömür madenlerinde genelde tavan tahkimat elemanları olarak kullanılan saplamalar, bazı bölgelerde farklı çalışmalara da konu olmuştur. Yan baskının ve taban basınçlarının yüksek olduğu kömür madenlerinde, taban kabarması kaçınılmaz bir problemdir. Özellikle çıkarılan malzemenin bant konveyörle taşındığı taban yollarında tabandaki deformasyon, operasyonları ciddi ölçüde aksatmaktadır. Çin'de kömür madenlerinde yapılan bazı uygulamalarda galeri zemininin belirli noktalarında açılan basınç rahatlatma oluklarıyla yüksek basınçlar kontrol altına alınarak, sonrasında meydana gelen şiddetli deformasyonlar tabana yapılan kablo saplamalarla önlenmeye çalışılmıştır. Uzun süreli hizmet verecek galerilerde son derece olumlu sonuçlar veren bu yöntemde, tavan ve yan duvarlar dolgulu saplamalarla tahkim edildikten sonra, tabanda açılan basınç rahatlatma delikleri zeminde zayıf bir yapı oluşumuna yol açar. Kaya kütlesinde gerçekleşen deformasyonlar absorbe edilerek, kontrol altına alınır. Bu sırada tabana da dolgulu saplamalar yerleştirilerek kayaçlardan boşalan yüksek gerilimler sonucu ortaya çıkan düşük gerilim durumu, dolgulu saplamalar sayesinde dengelenir. Böylece galeride tam anlamıyla bir stabil koşul sağlanır [43]. Çin'de gerçekleştirilen bir kömür madeni taban kabarması problemine uygulanan düzen Şekil 2.27'de gösterilmiştir.



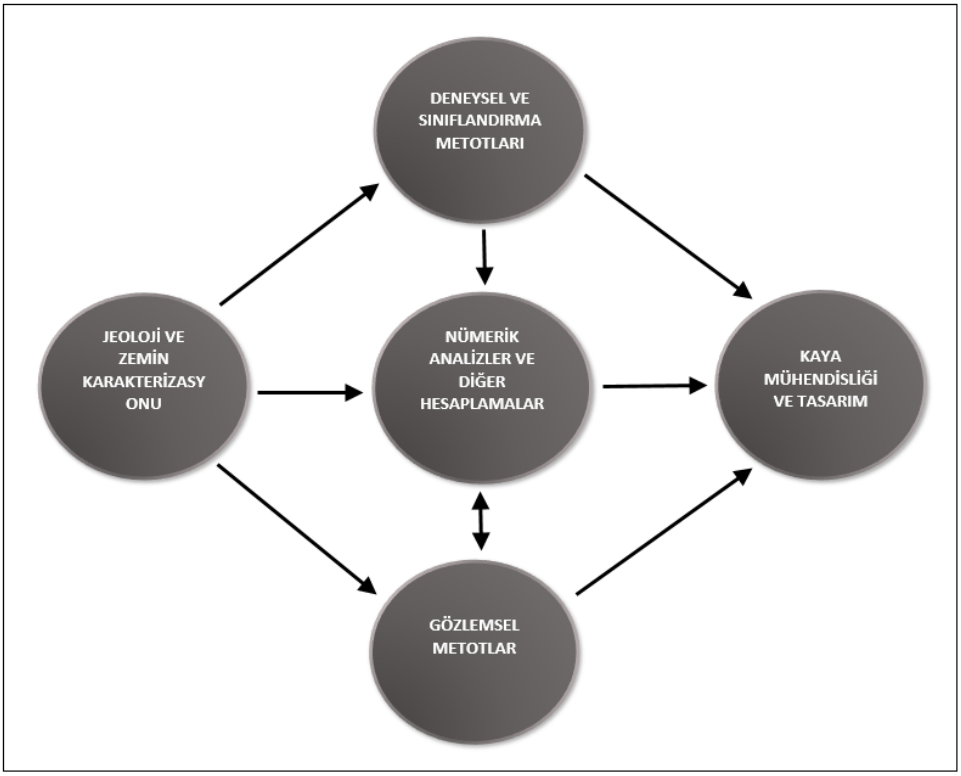
Şekil 2.27. Çin Xinzuang kömür madeninde taban saplaması uygulaması [43]

2.5. Kaya Mekaniğinde Nümerik Modelleme

Nümerik analiz ya da sayısal analiz, klasik matematiğin bir dalıdır. Matematiksel çözümlerin analitik sonuçlara ulaşmasının mümkün olmadığı ya da çözümlerin uygulama açısından çok karmaşık olduğu koşullarda nümerik analiz yöntemlerine başvurulur. Nümerik modelleme, özellikle madencilik gibi doğrusal olmayan davranışların ve ampirik formüllerin her daim uygulanmasının neredeyse imkansız olduğu alanlarda çözüme ulaşmada en kullanışlı yöntem olarak bilinmektedir. Genel olarak modelleme süreçleri doğrusal olmayan süreçlerdir ve beş temel aşamadan oluştuğu ifade edilir. Bu aşamalar:

i. Bir problemi tanımlama ve sadeleştirme,
ii. Matematiksel bir model oluşturma,
iii. Modelin dönüştürülmesi, gelişimi ve çözülmesi,
iv. Modelin yorumlanması,
v. Modelin doğrulanması ve uygulanmasıdır.

Son 20 yıl içerisinde kaya saplaması-reçine-kayaç arasındaki ilişkinin nümerik olarak modellenmesi konusuna, yük transfer mekanizmalarını anlamak ve yeraltı açıklıklarında etkili tahkimat sistemleri kurabilmek açısından büyük bir ilgi gösterilmektedir. Yeraltı açıklıkları jeolojik birimler, kazı geometrisi, kazı hızı, tahkimat elemanları ve sistemlerinin tümünün bir arada tasarlandığı çalışmalar sayesinde meydana gelirler. Nümerik modeller ortaya tüm bu değişkenleri bünyesinde barındıran çözümler koyabilmektedir. Stille ve Palmström [44] deneysel metotlar, jeoloji ve arazi tanımları, ampirik sınıflandırma yöntemleri ve bu adımların tümünü içeren nümerik modelleme metotlarının kaya mekaniği tasarımlarındaki işleyişini bir basit bir algoritmayla açıklamışlardır (Şekil 2.28) [44].



Şekil 2.28. Zemin karakterizasyonu ve kaya mekaniği tasarımlarındaki temel prensipler [44]

Madencilik operasyonlarında bir nümerik modelleme analizinin tamamlanması için, bir yapının ya da kazı yapılan jeolojinin matematiksel modellemesi sonucunda ortaya çıkan formülasyon, jeolojinin ve yapının durumunu etkileyebilecek her türlü değişkeni içermelidir. Faktörler 3 farklı basit koşullu veri setine ayrılmaktadır:

- Madencilik koşulları ve tarihçesi
- Jeolojik ve jeoteknik koşullar
- Yapısal elemanların fiziksel koşulları

Bir yeraltı açıklığının stabilitesi, onu çevreleyen kayanın-zeminin davranışına bağlıdır. Her farklı tipte davranış, problemin çözümlerinin dayandırılabileceği iyi bir tasarım için farklı değerlendirmelere ya da hesaplama yöntemlerine ihtiyaç duyar. Bu nedenle, esas davranış tipinin anlaşılması, kaya tahkimatı ve diğer değerlendirmeler için ön koşul olarak önemlidir [45].

Yeraltı işlerinin jeomekanik planlaması aşağıdaki gibi özetlenebilir [45] :

- Kayayı nitelendirirken öncelik, litoloji, laboratuvar deneyleri ve saha gözlem verileriyle tanımlanan kütlenin tipini belirlemektir.
- Daha sonra, zeminin muhtemel davranış şekli tanımlanır. Uygulama, hem gerilme koşulları, açıklık ekseni ile ilişkili süreksizliklerin yönelimi ve yeraltı suyunun etkisi, hem de planlanan açıklığın şekli ve ölçüsü gibi projeyle ilgili faktörler ile önceden tanımlanan kaya kütle tipinin kombinasyonuyla yapılır. Ardından, yer çekimi kaynaklı kayma blokları veya kaya kütlesi içindeki kesme yenilmeleri gibi potansiyel yenilme durumları tayin edilerek, meydana gelen deformasyon miktarları kestirilir.
- Karşılaşılan zemin durumları hakkında daha detaylı bilgi sahibi olabilmek ve planlama aşamasında yapılan varsayımları teyit edebilmek açısından, çalışmalar boyunca yapılan denetlemeler ve gözlemler büyük önem arz etmektedir. Bu noktada, kaya kütlesi-tahkimat etkileşiminin analizine bağlı sistem davranışı belirlenir. Belirlenen davranış son olarak gerekli proje hedefleriyle karşılaştırılır.

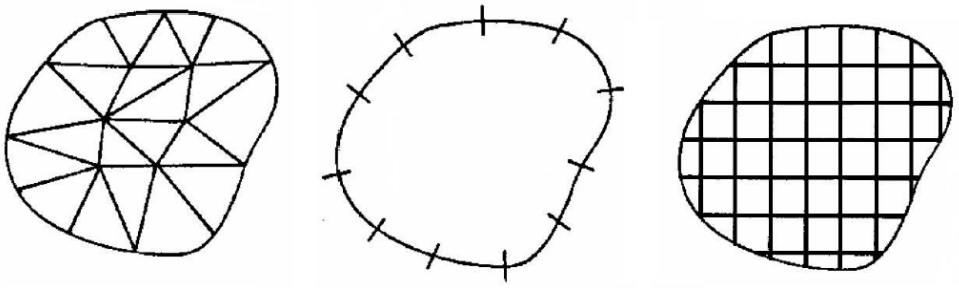
Daha iyi mühendislik yapıları tasarlamak ve gerek doğal gerekse mühendislik ürünü olan sistemlerin mekaniklerini daha iyi kavrayabilmek açısından, mühendislik çalışmalarında optimizasyon ve geliştirme ölçütlerini verimli bir şekilde uygulayabilmek amacıyla çeşitli modeller kullanılmaktadır. Kaya mühendisliğinde kullanılan nümerik modelleme teknikleri Lagrange prensiplerine dayanır [46], ve alanda en çok uygulanan yöntemler aşağıda verilmiştir:

- Sürekli Metotlar: Sınır Elemanlar Yöntemi (BEM) , Sonlu Farklar Yöntemi (FDM), Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM)
- Ayrık metotlar: Ayrık Elemanlar Metodu (DEM), Ayrık Kırılma Ağı Metodu (DFN)

Sınır elemanlar yöntemi modelleri, kaya kütlesini doğrusal elastik homojen bir süreklilik olarak kabul eder. Sınır problemlerini çözümlemek için kullanılan en genel yöntemdir. Çözümler tamamıyla problem geometrisinde tanımlı fiziksel sınırlardaki belirli sayısal değerlere dayanarak elde edilir. Doğrusal varsayımlardan dolayı, bu yöntem jeolojide gerçekleşen deformasyon analizlerinde ve benzer doğrusal olmayan davranışların olduğu problemlerde elverişsizdir. Çatlak ilerleme mekanizmalarının modellenmesinde olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür [45][47].

Sonlu farklar yöntemindeki süreklilikler, deplasman, hızlar ve ivmelerin hesaplandığı ayrık ağ şebekesi serileriyle temsil edilir. Oluşturulan şebekelerin çözümlenmesi sırasında sonlu sayıda diferansiyel denklem ortaya çıkar ve bu denklemlerin çözümü sonucunda değişken parametrelere bağlı olarak yapı içindeki değişim analiz edilir. Sonlu farklar metodu jeomekanikte yaygın olarak dinamik rahatlama tabanlı problemlerin çözümünde uygulanır.

Sonlu elemanlar metodunda ise problem birbirine bağlı çok sayıda sonlu eleman adı verilen bölgeye bölünür ve bölgeler düğüm (node) adı verilen noktalarla birbirlerine bağlanır. Kompleks geometrilere sahip problemlerin çözümlenmesinde oldukça etkilidir. Genel prensip olarak sonlu farklar yöntemine benzerdir. Çözüm aşamasında birimlerde oluşturulan matris denklemleri çözümlenir. Denge denklemleri vasıtasıyla yaklaşık deplasman modeli kullanılarak yük vektörleri hesaplanır. Son aşamada çok sayıda elemana ayrılmış problemin tümü, her bir denklemin uygun bir şekilde birleştirilmesiyle nihai denklemler elde edilerek sonuca ulaşılır. Özellikle kaya mekaniği problemlerinde, kütlelerin deplasmanı tam olarak tahmin edilemeyeceği için, yapılan ölçüm, gözlem ve tecrübelere dayanarak en uygun deplasman modelinin seçilmesi gerekmektedir [45][47][48].



Şekil 2.29. Kaya mekaniği uygulamalarında kullanılan sürekli metodlarla nümerik modelleme teknikleri [45]

Günümüz teknolojisinde, dünya çapında, özellikle kömür madenlerinde nümerik modelleme çalışmalarının ve kaya saplamalarının gerek galerilerdeki, gerek bireysel performans analizlerinin paralel olarak yürütüldüğü bunca araştırma arasında, Türkiye'de bu konuda kömür madenlerinde hiç bir uygulama bulunmaması, kaya saplaması uygulamalarına yeterli ilginin gösterilmediğinin en aşikar kanıtıdır.

3.YAPILAN ÇALIŞMALAR

Park Termik Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında geri dönümlü, göçertmeli uzunayak üretim yöntemi uygulanmaktadır. Taban yolları uzun süre servis veren yapılardır. Bu nedenle, servis sürecince mümkün olduğu kadar deformasyona uğramaması gerekir. Güncel olarak ocağın genelinde çelik tahkimat uygulanmaktadır. Bu nedenle pasif tahkimat uygulaması söz konusudur. Pasif tahkimatla birlikte, yükler tamamen çelik tahkimatın üzerine binmektedir ve taban yollarında deformasyonlar oluşmaktadır. Oluşan deformasyonlar ve kesitlerde meydana gelen daralmalar üretim operasyonlarını olumsuz etkilemektedir. Taban yolları sıklıkla tarama yapılarak eski haline getirilmektedir. Sonuç olarak ciddi bir zaman kaybı, işçilik maliyeti ve güvensiz bir ortam oluşmaktadır.

Tez kapsamında, kaya saplaması uygulaması için Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında H sektöründe, H410 alt taban yolu seçilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, sahada yapılan yerinde deneylerle plastik zon kalınlığı belirlenmesi amaçlandığı için, H410 alt taban yolunda ekstansometrelerin bulunduğu 3 adet ölçüm istasyonu kurulmuştur. Bu ölçüm istasyonlarında zamana bağlı yapılan ölçümlerle plastik zon çapı belirlenmeye çalışılmıştır.

Daha sonra formasyona ait parametreleri belirleyerek nümerik modelde kullanmak amacıyla H410 alt taban yolunda, yaklaşık 30 m aralıklarla ve uzunlukları sırasıyla 12,80 m, 10,70 m, 10,25 m olan 3 adet karotlu sondaj (H410-1, 3 ve 4) tavan yukarı (dikey) yapılmış olup, bir sondaj (H410-2) ise yatay yönde 9,5 m. olarak yapılmıştır. Yapılan 4 adet sondajın jeoteknik değerlendirmesi ve kaya kütlesi parametreleri belirlenmiştir.

Son aşamada, gerek zamana bağlı yerinde deneylerden, gerekse jeoteknik çalışmalardan elde edilen veriler ve işletmede yerinde uygulaması yapılan kaya saplaması uygulamalarından elde edilen bilgiler ve tecrübeler ışığında kaya saplamalarının performansı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak nümerik modelleme analizleriyle sorgulanmıştır. Tavanda kablo saplamalar ya da nervürlü demirler olacak şekilde iki farklı modelleme yapılmıştır. Elde edilen nümerik modelleme sonuçlarına göre alternatif kaya saplama tip ve ebatları belirlenmiştir. Önerilen kaya saplamaları ve çelik rijit bağların sahada birim ilerlemedeki maliyetleri kıyaslanmıştır.

3.1. Çalışma Sahası

Çayırhan beldesi, Ankara'nın Nallıhan İlçesi'ne bağlıdır. Konum itibariyle Ankara-İstanbul arasında bulunan Sarıyar Baraj Gölü kıyısındadır. Park Termik A.Ş. Çayırhan Linyit İşletmesi ve Çayırhan Termik Santrali Ankara'ya 126 km uzaklıkta olan bu bölgede yer alır.

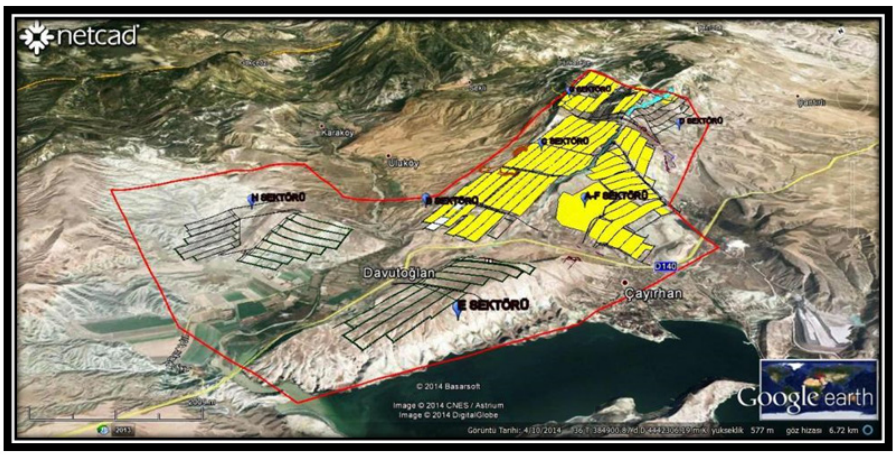
İklim olarak Nallıhan bölgesinin iklim özelliklerine sahiptir. Ankara'nın yayla iklimi ve Karadeniz'in iç kesimlerinde etkin olan iklim burada birbirine karışır. Sarıyar Barajı'nın yapımından sonra büyük bir baraj gölünün ortaya çıkmasıyla Nallıhan ve Çayırhan bölgelerinin ikliminde değişiklikler başlamıştır. Fazla yağış almayan bölgeye Karadeniz üzerinden gelen esintilerle ve baraj gölünün etkisiyle ilkbahar, kış ve sonbahar aylarında yağmur yağışlarına rastlanır. Kar yağışı ise normal ölçülerdedir. Ankara'nın iç kesimlerine kıyasla bölgeye oldukça ılıman bir iklim hakimdir [49].

Bitki örtüsü açısından ormanca yoksun olan Çayırhan'da, dikilerek yetiştirilen meyve ağaçları dışında ağaç yoktur. Tarla tarımına ve hayvancılığa yatkın bir yapısı vardır. Köyü çevreleyen tepelerdeki aşınmalardan kaynaklı linyit kömürü, bitümlü şist, çeşitli kayaların, renk renk toprak türlerinin izlerine rastlanır [49].

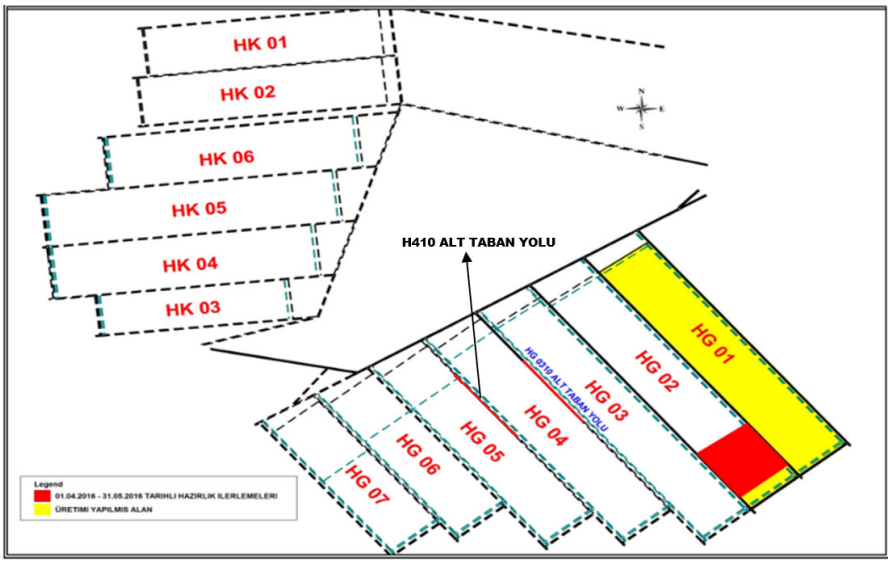
Çayırhan güneyinden Eskişehir'in Mihalıççık, doğusundan Beypazarı'nın, kuzeyinden ve batısından da Nalllıhan'ın diğer köyleriyle çevrilidir. En yakın köy Ankara-Nallıhan yolu üzerinde 2 km uzaklıktaki Davutoğlan Köyü'dür [49].

Maden sahasının bulunduğu yer bulduru haritası, Park Termik A.Ş.'nin kömür sahaları ve çalışmanın gerçekleştirildiği H-sektörünün taban yolu Şekil 3.1'de verilmiştir. Çalışma H410 alt taban yolunda yapılmıştır.

a)



b)



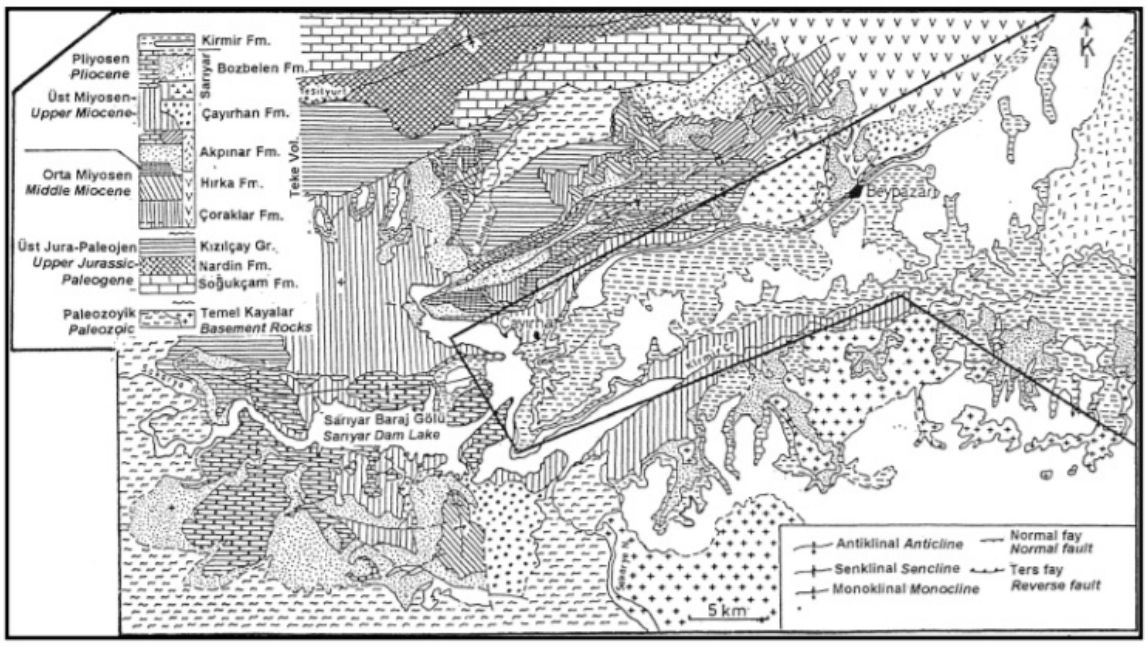
c)

Şekil 3.1. **a)** Çayırhan yer bulduru haritası **b)** Park Termik A.Ş. Çayırhan kömür sahaları **c)** H-sektörü'nde çalışmanın yapıldığı H410 alt taban yolu

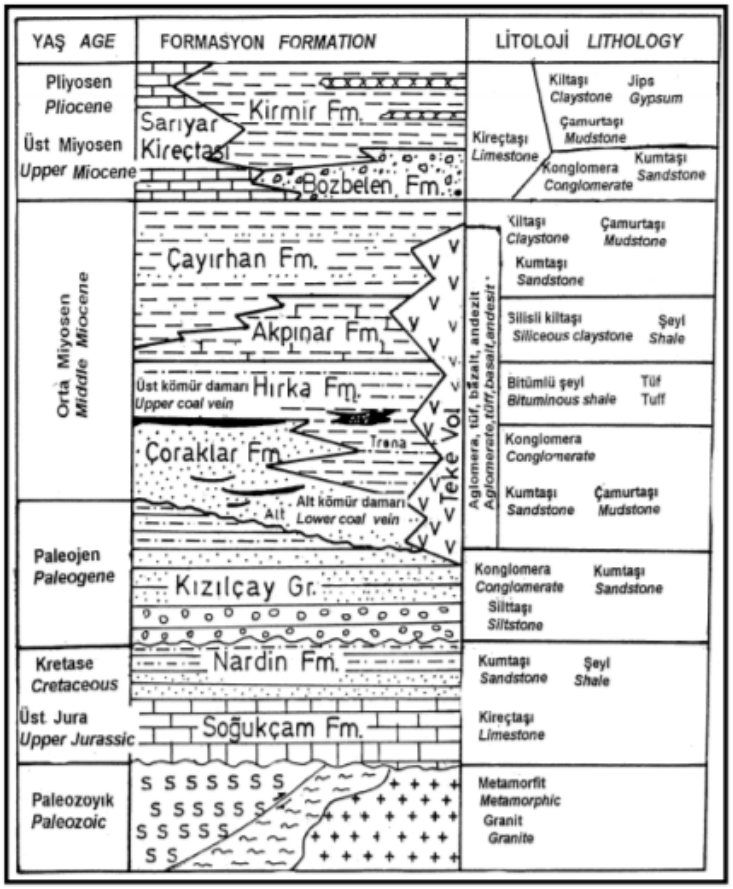
3.2. Çalışma Alanı Jeolojisi

Beypazarı'ndan Nallıhan'a kadar uzanan Neojen havzası, kuzeyden batı Pontidleri oluşturan dağ kuşağı tarafından çevrilmiştir. Ponditlerin bu bölümü, yaşları Paleozoik ile Tersiyer arasında değişen metamorfik, volkanik ve tortul kaya birimlerinden oluşur. Başlıca metamorfik, asit-plutonik ve ultrabazik kayalardan oluşan ve Orta Sakarya Kıtası olarak adlandırılan masif kütle havzayı güneyden kuşatır. Havza kuzeydoğudan geniş yayılımlı Tersiyer volkanik kayaları, batıdan ise Paleosen kırıntılı kayaları ile sınırlıdır. Neojen öncesi, temel kayaçlarının en yaşlısı Paleozoik metamorfitleri (mika şist, serisit şist, filial) ile bunları kesen granitlerdir. Bunlar Üst Jura-Alt Kretase yaşlı türbiditik Soğukçam kireçtaşı ile örtülü [50].

Neojen birimleri alttaki Neojen öncesi birimler ile uyumsuz olarak ve/veya tektonik dokanaklı olup, yanal fasiyes değişimi gösterir. Bu nedenle bölgesel stratigrafide farklılıklar vardır [51]. Yağmurlu vd. [51] birbiriyle uyumlu 8 litostratigrafik birim ayırmıştır. İlk litostratigrafi birimi olan Çoraklar formasyonu çapraz tabakalı konglomera, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı ile yer yer şeyl, dolomitik kireçtaşı, tüf, trona ve yersel intraformasyonal breş içerir. Akpınar formasyonu kireçtaşı ardalanmasından oluşur. Hırka formasyonu ince-düzenli laminalı çamurtaşı, kiltaşı, bitümlü şeyl, karbonatlı açık gri, silisli gölsel kireçtaşı, kiltaşı, marn ve tabakalı çörtlerden oluşmuştur. Marn içerisinde Causcasotache- a pyrpomysica bulunmuş olup, bu formasyon yaşının Tortoniyen olduğunu belirtmektedir [52]. Teke volkanikleri Beypazarı'nın kuzeydoğusunda ve Kızılcahamam civarındaki geniş yayılım gösterir. Çayırhan formasyonu jipsli kiltaşı, çamurtaşı, marn, ince taneli kumtaşı ve konglomeradan oluşmaktadır. Bozbelen formasyonu kırmızı renkli konglomera, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmuştur. Sarıyar kireçtaşı beyazımsı, kalın tabakalı ve mikritik olup, önceki ile hem yanal geçişli, hem de üzerler durumundadır. Bölgedeki Miyosen tortulları yansıttıkları egemen litoloji özelliklerine dayanılarak formasyon aşamasında 8 ayrı kaya birimine bölünmüştür. Bunlar alttan üste doğru Çoraklar, Hırka, Akpınar, Çayırhan, Bozbelen ve Kirmir formasyonları ile Sarıyar Kireçtaşı ile Teke volkanitlerinden oluşur. Belirtilen bu kaya birimleri alüvyonal ve gölsel ortamlarda depolanmış olup, yersel olarak volkanoklastik arakatkılar içerir.



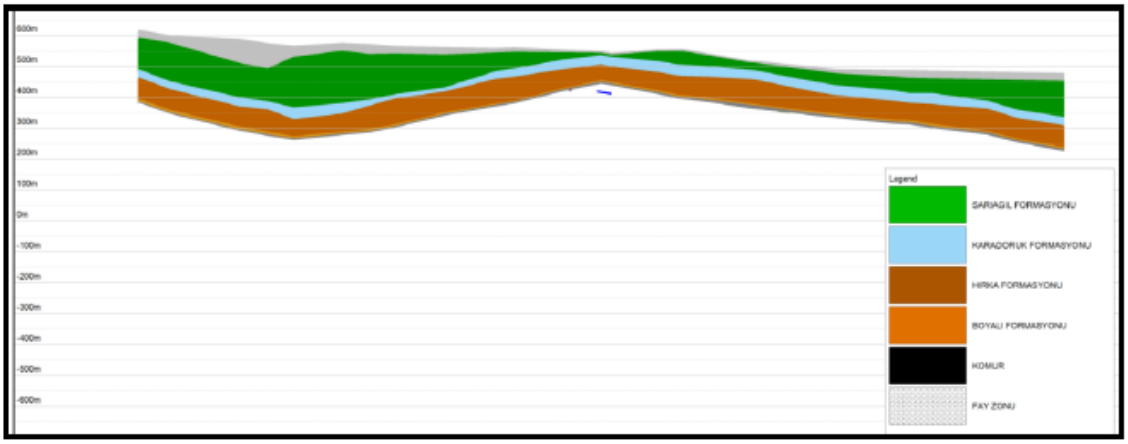
Şekil 3.2. İnceleme alanının genel jeoloji haritası [50]



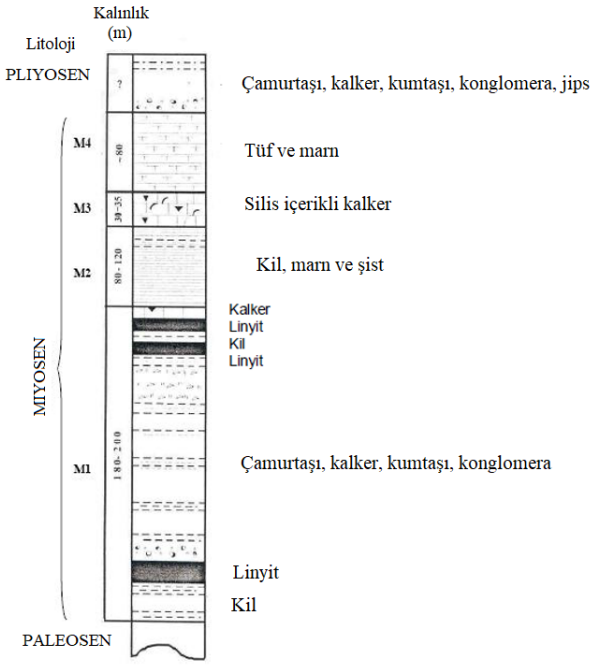
Şekil 3.3. Bölgenin genel stratigrafik kesiti [50]

Havzada halen üretim, ara kesmeli iki damarda sürdürülmektedir. Kömür damarlarının üstünde miyosen yaşlı ve pliyosen yaşlı seriler bulunmaktadır.

Miyosen seri içerisinde yaklaşık 80 m tüf ve marn, yaklaşık 30-35 m silis içerikli kireç taşı, yaklaşık 80-120 m arası kil, marn ve şist, ve 80-120 m'lik bir formasyonda ise linyit, kil taşı, ince ve kalın taneli kumtaşı serileri yer almaktadır. Kömür damarları üzerinde bulunan seriler yukarıdan aşağı sırasıyla Sarıağıl, Karadoruk, Hırka ve Boyalı formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Şekil 3.4 ve 3.5'te sahanın genel karakteristik formasyon yapısını gösteren kesit ve stampı verilmiştir.



Şekil 3.4. Bölgenin genel jolojik yapısını gösteren kesit [53]

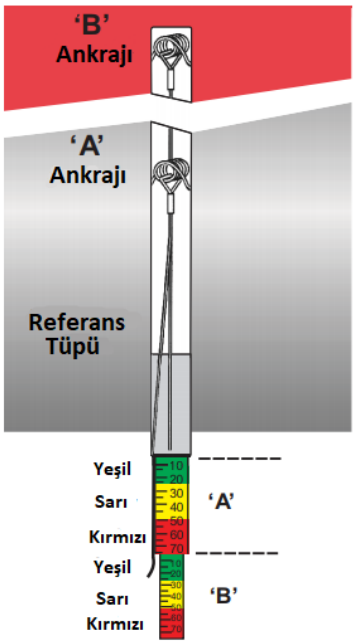


Şekil 3.5. Üretim yapılan jeolojik birimlerin stampı [53]

3.3. Yerinde Yapılan Ekstansometre Deneyleri

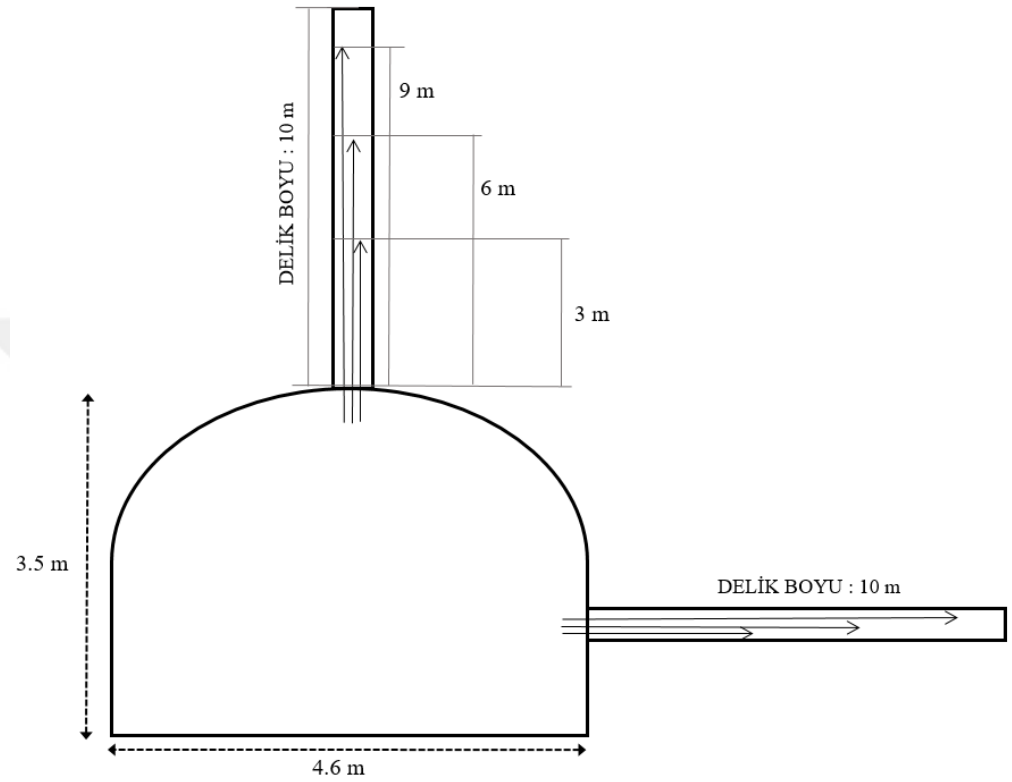
Yeraltı yapılarında kullanılan tahkimatın ekonomikliğini ve güvenilirliğini arttırmak için bazı ön çalışmaların yapılması gerekir. Bunlardan en önemlisi yeraltı açıklığı kazısından hemen sonra oluşan ve zaman içerisinde büyüyen plastik zon çapıdır. Plastik zon çapının küçültülmesi, dolayısıyla tahkimatla tahkim edilecek kaya kütlesinin miktarının azaltılması, etkin ve zamanında yapılan destekleme ile mümkündür. Etkin ve zamanında yapılan destekleme aynı zamanda açıklık etrafındaki zaman içinde gelişen sökülmeleri ve dolayısıyla dökülmeleri azaltacağı gibi, açıklığın zaman içinde maruz kalacağı gerilmelere karşı daha aktif davranmasının da önünü açar. Bu nedenle, aktif tahkimat unsurlarını belirleyebilmek, dolayısıyla plastik zon çapını küçültmek, tahkimat uygulamalarının birinci görevidir.

ABD, Kanada, İngiltere gibi ülkelerde yalnızca tasarım parametreleri elde etmek için değil aynı zamanda her an mümkün olan tavan yenilmelerini önceden kestirebilmek için galeri tavanlarına düzenli ölçümler yapan enstrümanlar kurulmaktadır. Tavan hareketlerini gözlemlemede kullanılan rutin ölçüm cihazlarının en çok tercih edilenleri iki noktalı ekstansometreler, Türkçe'de "sırtutmaz" (Şekil 3.6) anlamına gelen telltale ekipmanlarıdır [54]. Sahip oldukları iki adet hareket göstergesi sayesinde farklı tabakalarda ya da tavanın farklı noktalarında oluşan hareketleri ölçme imkanı sağlar.



Şekil 3.6. Çift ankrajlı bir sırtutmaz (telltale) ve bağlantı elemanları [55]

Plastik zon çapını tayin ederek, galeride uygulanacak saplamaların etki alanlarını (boylarını) belirlemek amacıyla, H410 alt taban yolunda üç adet istasyon kurulmuştur. Her üç istasyona da işletme koşullarında hazırlanan, sırtutmaz benzeri, çubuk ekstansometre görevi görecek elemanlar yerleştirilmiştir. Şekil 3.7, tavan ve tabana uygulanan çubuk ekstansometre görevi görecek elemanların montaj planını göstermektedir.



Şekil 3.7. H410 alt taban yolundaki çubuk ekstansometre uygulaması

Şekil 3.7.'de çizimi gösterildiği üzere galeri tavanına ve yan duvarına 10 m uzunluğunda delikler delinmiştir. Deliklere 3 m, 6 m ve 9 m uzunluklarında çubuklar halindeki ekipmanlar yerleştirilerek ankrajlanmıştır. Sabitlemeden sonra kazı ile birlikte hangi çubuğun ne kadar hareket ettiği teknik personel tarafından günlük olarak ölçülmüştür. Bu noktada amaç, plastik bölge içinde sabitlenmiş çubukların kaya ile birlikteki hareketini gözlemlemektir. Bir ya da iki çubukta referans noktalarına göre küçük değişimler gözlenmesi beklenmektedir. Elastik bölgede asılı kalan çubuk ise kaya deformasyonuyla birlikte daha az hareket edeceği için referans noktasına göre en az fark bu çubukta gözlenecektir. Çubuklar kazı aynasına olabilecek en yakın nokta olan ayna uzaklığına yerleştirilmiştir. İstasyonlar arasında 30 m mesafe bulunmaktadır. Ölçümler, galeri çapının üç katı kadar ilerleme yapılmasını takiben çubuklarda bir önceki ölçümlerden farklı bir değer okunmadığı ana kadar devam ettirilmiştir.

Aynı zamanda deneylerin yapıldığı yerlerde, jeolojiden elde edilen bilgiyi nümerik modelleme esnasında girdi verisi olarak kullanabilmek için jeoteknik sondajlar yapılmıştır.

H410 alt taban yolunda, galeri tavanına ve yan tarafına kurulan üç istasyonda uzun dönem ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler için çubuk ekstansometreler 3 m, 6 m ve 9 m'ye sabitlenmiştir. Zaman içerisinde bu elemanlardan hangisinin göreceli olarak daha fazla yer değiştirdiğini saptamak amacıyla yapılan ölçümlere ait veriler aşağıda Çizelge 1, 2, 3 ve 4'te verilmektedir. 1. ve 2. İstasyonlarda tavan ölçümü yapılabilmiş ancak yan duvarda sadece 3 ve 9 m'lik çubuklarla ölçüm alınabilmiştir; 3. İstasyonda tavan ve yan duvarda 3 m , 6 m ve 9 m'lik çubuklardaki değişim izlenmiştir. Birinci ve ikinci istasyonlardaki değişimler poligonlarda nokta okuyarak optik ölçümle gerçekleştirilmiştir. Son istasyonda ise referans noktası olarak ip belirli bir yükseklikte ip gerilerek ölçümler bu noktaya göre metreyle yapılmıştır.

Çizelge 1. Birinci istasyon tavan ölçüm sonuçları

1. İstasyon Tavan Deformasyon Ölçümleri			
Tarih	**Değişim (cm)**		
	3m	**6m**	**9m**
17.01.2017	0	0	0
19.01.2017	-0.8	-1.6	-1.3
21.01.2017	2.6	3.2	2.7
23.01.2017	-0.9	-1.3	-0.9
28.01.2017	0	1.2	0.7

Çizelge 2. İkinci istasyon tavan ölçüm sonuçları

2. İstasyon Tavan Deformasyon Ölçümleri			
Tarih	**Değişim (cm)**		
	3m	**6m**	**9m**
8.02.2017	0	0	0
9.02.2017	-1.5	-2.5	-2
10.02.2017	1.5	2.5	1.5
11.02.2017	0	0	0
12.02.2017	0	0	0
13.02.2017	-1.5	-3	-1
14.02.2017	0.7	0.1	1
15.02.2017	-1	-0.6	-0.8
20.02.2017	-1.2	-1	-0.7
21.02.2017	0.5	-0.5	-0.2
22.02.2017	1	2	1.7
23.02.2017	0	-0.5	-0.5
24.02.2017	-1.7	-1	-0.8
25.02.2017	0.7	0.6	0.3
28.02.2017	-1.5	-0.6	-0.5
1.03.2017	2.5	1.5	1.5

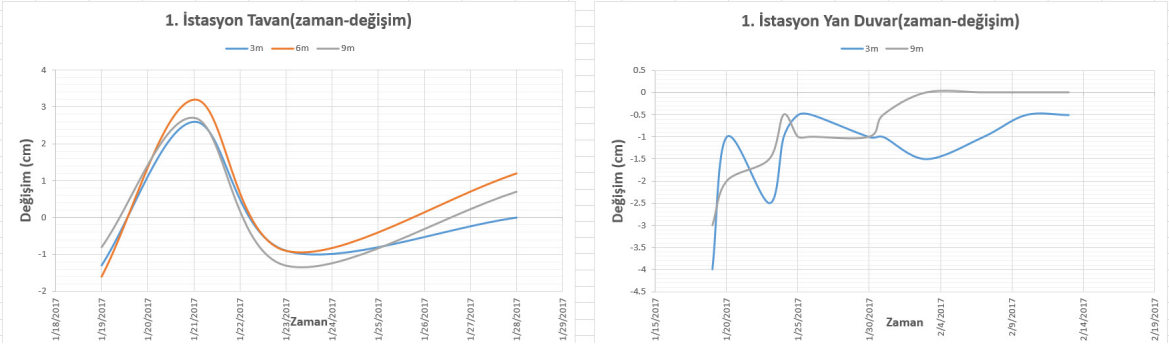
Çizelge 3. Üçüncü istasyon tavan ölçüm sonuçları

3. İstasyon Tavan Deformasyon Ölçümleri			
Tarih	Değişim (cm)		
	3m	6m	9m
3.03.2017	0	0	0
6.03.2017	-1	-0.5	-1.5
9.03.2017	0	-0.5	0.5
13.03.2017	-0.5	0	0.5
14.03.2017	-0.5	0.5	0
16.03.2017	0	-0.5	0.5

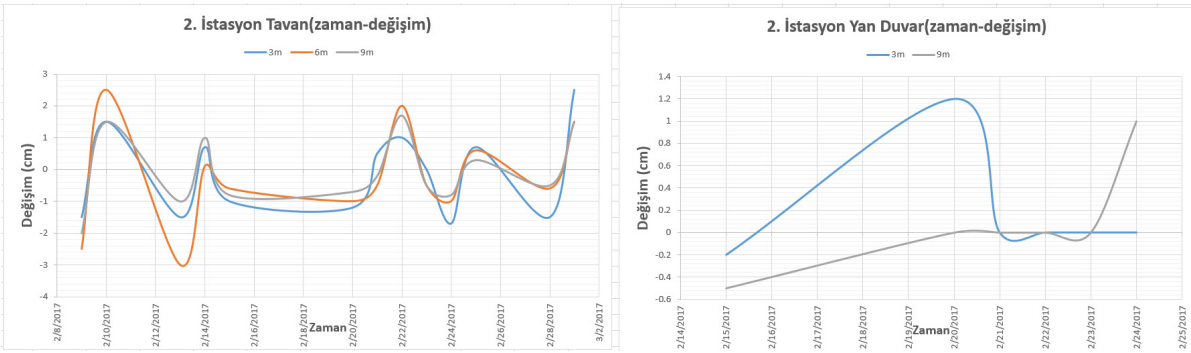
Çizelge 4. Üçüncü istasyon yan duvar ölçüm sonuçları

3. İstasyon Yan Duvar Deformasyon Ölçümleri			
Tarih	Değişim (cm)		
	3m	6m	9m
22.02.2017	0	0	0
23.02.2017	1	0	0
24.02.2017	0.5	1	0.5
25.02.2017	-2.5	1	0
26.02.2017	0	0	0
27.02.2017	-0.5	-1	0.5
28.02.2017	1	0.5	0
1.03.2017	-0.5	-0.5	-0.5
3.03.2017	0.5	0	0
6.03.2017	-0.5	0	0
9.03.2017	1	0	0
13.03.2017	-2	0	0
14.03.2017	-0.5	0	0
16.03.2017	0.5	0	0
20.03.2017	-1	0	0
24.03.2017	0	0	0

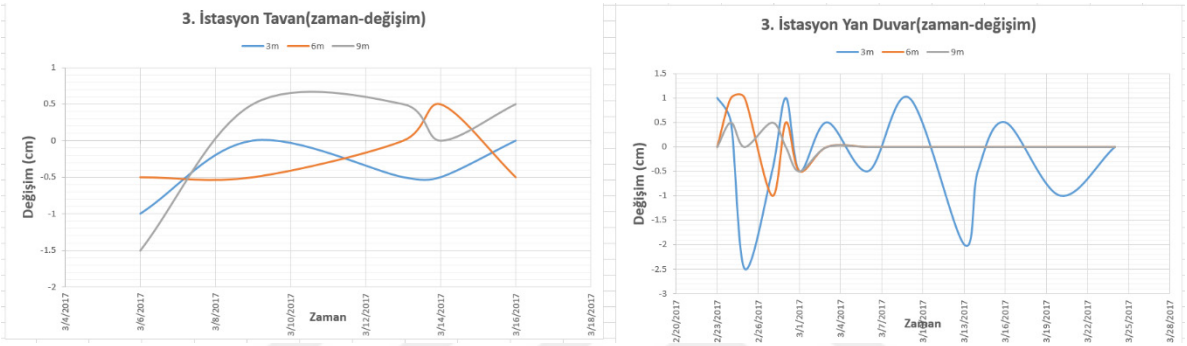
Elde edilen veriler, daha sonra aralarındaki ilişkileri kıyaslamak amacıyla Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10'daki gibi grafiklere dökülmüştür. Sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.8. Birinci istasyon tavan ve yan duvar ölçümlerindeki değişimin grafiksel gösterimi



Şekil 3.9. İkinci istasyon tavan ve yan duvar ölçümlerindeki değişimin grafiksel gösterimi



Şekil 3.10. Üçüncü istasyon tavan ve yan duvar ölçümlerindeki değişimin grafiksel gösterimi

Çizelgeler ve grafiklerden görüldüğü üzere birinci istasyon tavan ölçümleri 18.01.2017-29.01.2017 tarihleri arasında; yan duvar ölçümleri 15.01.2017-19.02.2017 tarihleri arasında yapılmıştır. Bu tarihten sonra yer değiştirmelerde bir hareket olmadığı düşünülerek ölçümler sonlandırılmıştır.

İkinci istasyon tavan ölçümleri 08.02.2017-02.03.2017 tarihleri arasında; yan duvar ölçümleri 14.02.2017-25.02.2017 tarihleri arasında yapılmıştır. Bu tarihten sonra yer değiştirmelerde bir hareket olmadığı düşünülerek ölçümler sonlandırılmıştır.

Üçüncü istasyon tavan ölçümleri 08.03.2017-18.03.2017 tarihleri arasında; yan duvar ölçümleri 20.02.2017-28.02.2017 tarihleri arasında yapılmıştır. Bu tarihten sonra yer değiştirmelerde bir hareket olmadığı düşünülerek ölçümler sonlandırılmıştır.

Çizelge ve grafiklerdeki veriler analiz edildiğinde uzun dönem içerisinde gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarının anlamlı bir durum ifade etmediği düşünülmektedir. Bu ölçümlerde, ölçüm hatası yapıldığı kanaatine varılmıştır. Burada önemli olan, ölçüm aletini her seferinde aynı noktaya koymak, aynı düzeçleme ve sıfırlama işlemini yapmaktır. Ölçümleri yapan kişilerin de farklı olduğu durumlarda bu gibi hatalarla karşılaşılabilmektedir.

Yerinde yapılan ve plastik zon çapını belirlemeyi amaçlayan ölçümlerden net bir bilgi çıkarmak mümkün olamamıştır. Bu nedenle, çalışmanın ilerletilebilmesi için jeolojik-jeoteknik çalışmalar, yerinde yapılan kaya saplaması uygulamaları ve mesleki tecrübelerden faydalanılması gerektiği kanaati oluşmuştur.

a) b)

Şekil 3.11. a) Ekstansometre deneyi tavan ölçüm çubukları b) Yan duvar ölçüm çubukları

3.4. Jeoteknik Çalışmalar

Çalışmanın bu aşamasında, sahada yapılan 4 adet sondaja ait HS 410-1, 410-2, 410-3 ve 410-4 numaralı sondaj karot örnekleri, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda kaya mekaniği deneylerine tâbi tutulmuş ve jeoteknik değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen veriler nümerik modelleme esnasında jeolojiyi tanımlamak için girdi verisi olarak kullanılmıştır [56][57].

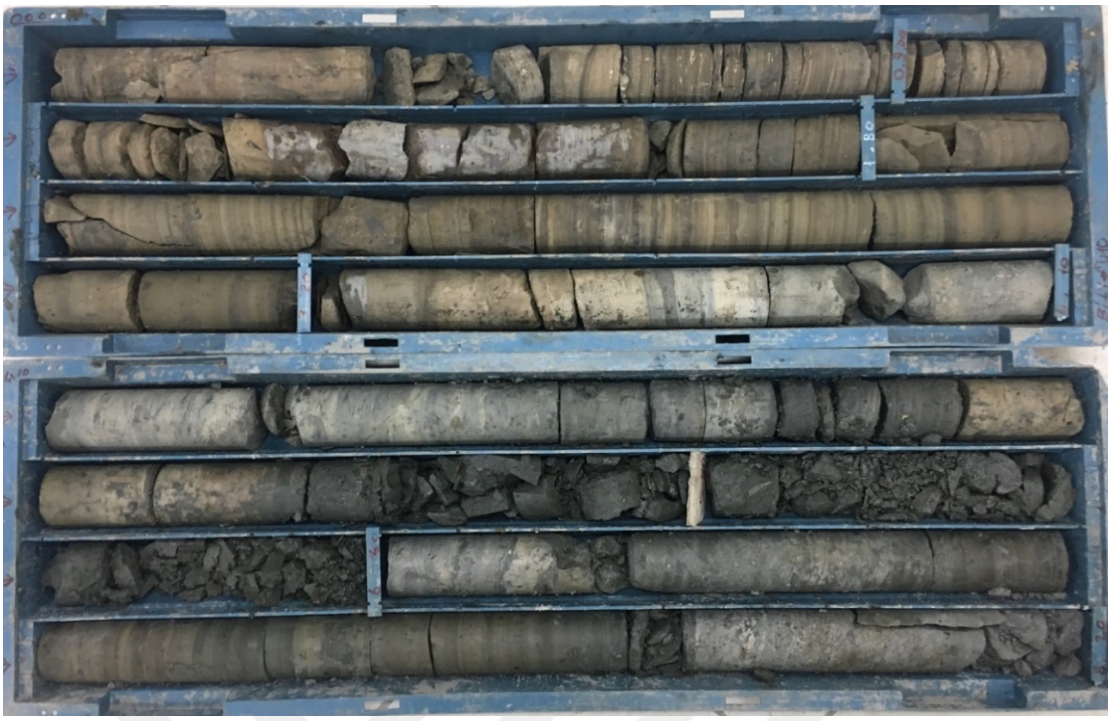
Laboratuvarda deneyleri yapılan 4 farklı sondaja ait bilgiler Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. H410 taban yolunda yapılan sondajlara ait bilgiler [49]

H410/1 Sondajı	H410 bacada 229.m 'de baca ortasından +90° ile tavana yapılmıştır.
H410/2 Sondajı	H410 bacada 229.m 'de sol duvardan 1.20m yükseklikte 0° ile sol duvardan yapılmıştır.
H410/3 Sondajı	H410 bacada 265.m 'de baca ortasından +90° ile tavana yapılmıştır.
H410/4 Sondajı	H410 bacada 293.m 'de baca ortasından +90° ile tavana yapılmıştır.

Sondaj karotları Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'na getirildikten sonra, ilk olarak karot sandıkları sistematik şekilde fotoğraflanmıştır (Şekil 3.12).

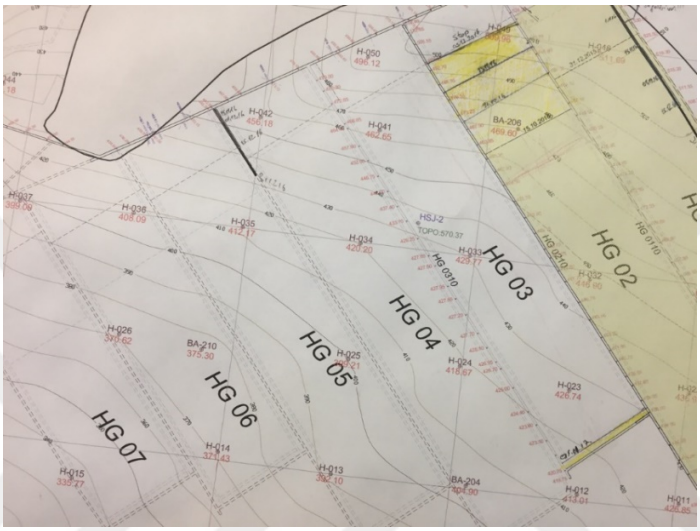
Fotoğraflama işlemi sonrasında kayaçların litolojisi incelenmiş, içerdiği yapılar ve numune hazırlamada sorun yaşatabilecek problemli zonlar tespit edilmiştir. Üzerlerinde kaya mekaniği deneyi yapılması mümkün olabilecek sağlamlık ve boyutta olan karotlar geçilen formasyonlar da dikkate alınarak seçilmiş ve yapılacak testlere göre boyutlandırılarak örnek hazırlama işlemine tabi tutulmuş ve karot örnekleri üzerinde yapılacak deneylere uygun olacak şekilde karot boyutları düzeltilmiştir (Şekil 3.13). Hazırlanan karot örnekleri üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılmış ve numunelerin tek eksenli basma dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Young modülü ve Poisson oranı gibi bazı mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, kayaçların yoğunluk ve nem içeriği gibi fiziksel özellikleri de belirlenmiştir. Jeoteknik logların oluşturulmasında faydalanılan bu deneyler Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin (ISRM) önerdiği metotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaya kütleleri içinde veya üzerinde inşa edilen tüneller, şevler ve temel uygulamalarda kaya kütlesinin jeomekanik davranışlarının belirlenerek kullanılması daha gerçekçi dayanım ve deformasyon değerlendirmeleri açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle çalışmada, Hoek ve Brown yenilme ölçütünün [58] son versiyonunu dikkate alan Roclab 1.0 programı kullanılarak kaya kütlesi dayanım ve deformasyon parametreleri de hesaplanmıştır.



Şekil 3.12. HS-410-1 sondajına ilişkin karot örnekleri

Şekil 3.13. Deneylerde kullanılacak örneklerin hazırlanması

Bununla birlikte, Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü tarafından 2012 yılında hazırlanmış olan "PARK TERMİK A.Ş.'NİN ÇAYIRHAN İŞLETMESİ'NDE E VE H PANOLARINDA METAN VE KENDİLİĞİNDEN YANMA SORUNLARI İLE TABAKA KONTROLÜ SORUNLARININ ARAŞTIRILMASI" başlıklı projede verilen "Şekil 3.23-HS2 sondajına ilişkin değerlendirmeler" tablosundaki veriler kullanılarak kömürün altındaki kaya kütlesi jeoteknik parametreleri de belirlenmiştir. Şekil 3.14'te HSJ-2 sondajının yeri görülmektedir [53].



Şekil 3.14. HSJ-2 sondajının yeri [53]

Sayısal modelleme çalışmalarında girdi parametresi olarak kullanılacak verilerin belirlenmesi amacıyla sondaj karotları üzerinde bazı kaya mekaniği deneylerinin yapılması gerekmektedir. Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü kaya mekaniği laboratuvarında deneyler Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin (ISRM) önerdiği standartlara uygun olarak yapılmaktadır. Laboratuvarda kaya malzemesinin temel fiziksel ve mekanik özellikleri ile indeks özellikleri belirlenebilmektedir. Sondaj karotları şeklinde laboratuvara teslim edilen kaya malzemesi örneklerinin standartlara uygun deney numuneleri haline getirilmesi için gerekli kesme ve yüzey düzgünleştirme işlemleri uygulanmıştır. Hazırlanan örneklerin Tek Eksenli Basma Dayanımı, Nokta Yükleme Dayanımı, Elastisite modülü (Young modülü) ve Poisson oranı gibi bazı mekanik özellikleri ile yoğunluk ve nem içeriği gibi fiziksel özellikleri gerek doğrudan sayısal modelleme çalışmalarına girdi parametresi olarak kullanmak, gerekse deney sonuçları kullanılarak yeni parametrelerin hesaplanması amacıyla belirlenmiştir.

3.4.1. Tek Eksenli Basma Dayanımı Deneyi

Bu deneyde amaç, düzgün geometrik biçimli kaya örneklerinin tek eksenli basma dayanımlarını belirlemektir. Elde edilen dayanım değerleri kaya kütlelerinin tanımlanması ve dayanım sınıflaması için kullanılmaktadır. Deney düzeneği olarak kaya malzemesi örneği üzerine eksenel yük uygulamak için uygun bir yükleme makinası kullanılmaktadır (Şekil 3.15). Bu makina deney için öngörülen yükleme hızını sağlayabilecek kapasite ve duyarlıkta olmalıdır. Yükleme hızı, 0.5-1.0 MPa/s ya da örneği 5-10 dakika süre içinde kıracak şekilde ayarlanmalıdır. Deney için 2.0-3.0 değerinde yükseklik/çap oranına sahip ve tercihen çapı NX 54 mm standardından küçük olmayan, düzgün silindir biçimli örnekler kullanılmalıdır. Örneğin alt ve üst yüzeyleri en fazla 0.02 mm'ye kadar bir hata ile düzgün olmalı ve örnek eksenine diklik hassasiyeti 0.001 radyan ya da 50 mm'de 0.05 mm sapmadan küçük olmalıdır. Deney yapılacak örnek sayısı amaca yönelik olarak belirlenir, fakat en az 5 adet tercih edilmelidir. Örneğin tek eksenli basma dayanımı, kırılmadan önceki basma yükünün, örneğin ilk alanına bölünmesiyle elde edilmektedir. Kayacın tek eksenli basma dayanımı değeri $\boldsymbol{\sigma}_c=F/A$ formülü ile hesaplanır. Bu formülde $\boldsymbol{\sigma}_c$ tek eksenli basma dayanımı (MPa), F örneğin kırılma yükü (N), A ise numunenin kesit alanını (mm^2) göstermektedir. Çalışmalar sonucunda toplam 16 adet tek eksenli basma dayanımı deneyi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Ek 1'de verilmiştir.

Şekil 3.15. Tek eksenli basma dayanımı deneyleri

3.4.2. Nokta Yükleme Dayanım İndeksi

Nokta yükü dayanım indeksi kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılmaktadır.

Bu deney için silindirik karot örneklerinin yanı sıra, blok ve düzensiz şekilli örnekler de kullanılabilir. Karot örneği, konik yükleme başlıklarının arasına karot eksenine dik veya paralel konumda yerleştirilebilir. Bu nedenle nokta yükleme deneyi (Şekil 3.16) üç farklı şekilde yapılabilmektedir:

Şekil 3.16. Nokta yükü dayanım indeksi deneyi

➢ Çapsal deney (karot eksenine dik yönde yükleme): Boy/çap oranı 1'den büyük karot numuneleri üzerinde uygulanır (L/ D>1; tercihen L/D = 1,0-1,4).

➢ Eksenel deney (karot eksenine paralel yönde yükleme): Çap/boy oranı D/L = 0,3-1,0 arasında olan karot örnekleri üzerinde uygulanır.

➢ Blok ve düzensiz örneklerle deney: 50 ± 35 mm boyutundaki blok ve düzensiz şekilli örnekler bu tür deney için uygundur. Kalınlık (D) ve genişlik (W) oranı 0,3 ile 1,0 arasında, tercihen l'e yakın olmalıdır.

Numune boyutları kumpas ile ölçüldükten sonra numune konik uçların arasına deney yöntemine uygun şekilde (çapsal deneyde karotun eksenine dik yönde, eksenel deneyde paralel yönde) yerleştirilir. Konik uçlar ile örnek arasında açıklık kalmaması için pompa

kullanılarak silindirik yükleme tablası yükseltilir. Örnek 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P), yük göstergesinden kaydedilir.

Nokta-yükü dayanım indeksi düzeltilmemiş değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$Is = P/D_e^2$ (kPa)

Burada, P yenilme yükü ve D_e, eşdeğer karot çapı olup,

(i) Çapsal deneyde $D_e^2 = D^2$,

(ii) Eksenel deney, blok ve düzensiz örneklerde ise, $D_e^2 = 4A / \pi$ (A=WD; konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanı) değerini almaktadır.

Is değeri; çapsal deneyde D'nin, diğer deney türlerinde ise De'nin fonksiyonu olarak değişmektedir. Bu nedenle, Is değerinin standart bir karot çapına (D=50 mm) göre düzeltilmesi gerekir. Düzeltilmiş nokta-yükü dayanım indeksi $I_{s(50)} = F \times I_s$ eşitliğinden hesaplanabilmektedir. Boyut düzeltme faktörü $F = (D_e /50)^{0.45}$ eşitliği kullanılarak belirlenebilir. Yukarıdaki eşitlikte De'nin birimi milimetredir.

Yukarıda anlatılan işlemlere uygun olarak 116 adet nokta yükleme deneyi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Ek 2'de verilmiştir.

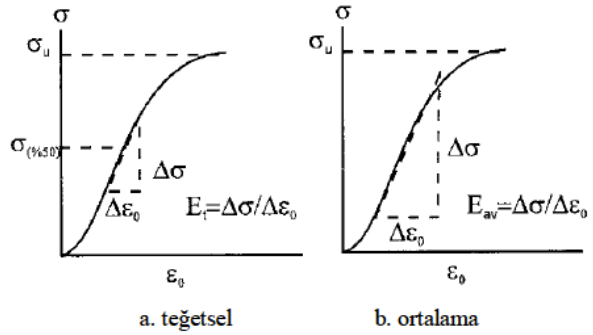
3.4.3. Statik Elastik Sabitler Deneyi

Statik Young Modülü ve Statik Poisson Oranı özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylere "kaya malzemesinin tek eksenli basma altındaki deformabilite deneyleri" denilmektedir. Bu deneyin amacı, kaya örneklerinin eksenel yük altındaki gerilme-deformasyon özelliklerinin belirlenmesidir. Deformabilite deneyinde kullanılacak standart örnekler ve yükleme makinasının, 'kayaçların tek eksenli basma dayanımlarının belirlenmesi' konusunda belirtilen özelliklere sahip olması gerekmektedir. Silindirik kaya örneği üzerinde uygulanan yük, örnek üzerinde sabit bir gerilme artışı sağlayacak şekilde olmalıdır. Yükleme hızı 0.5-1.0 MPa/s seviyesinde olmalıdır. Yük, eksenel ve çapsal deformasyonlar deney süresince önceden belirlenmiş yükleme aralıklarında kaydedilmelidir.

Young modülü (E); tek eksenli gerilme durumunda, gerilmenin (σx) aynı doğrultuda oluşan normal birim deformasyona (εx) oranı olarak ifade edilmekte olup E ile gösterilmektedir.

$$E = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x}$$

Eksenel Young modülü, eksenel gerilme artışının neden olduğu eksenel birim deformasyon artışına oranı olup literatürde çeşitli Young modülü (elastisite modülü) tanımlanmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Eksenel birim deformasyon-gerilme eğrisinin değişik elastisite modülü değerlerinin hesaplanması

a. Teğetsel (Tanjant) Young Modülü (Et): σL-εL eğrisinin belirli bir gerilme seviyesindeki eğimidir. Bu gerilme seviyesi genellikle tek eksenli basma dayanımının yaklaşık %50'sidir (Şekil 3.17a).

b. Ortalama Young modülü (Eort): σ_L-ε_L eğrisinin doğrusal kısmının eğimidir (Şekil 3.17b).

Poisson oranı (ν); tek eksenli gerilme durumunda, gerilmeye dik doğrultuda oluşan çapsal birim deformasyonun (ε_y, ε_z), gerilme doğrultusunda oluşan eksenel birim deformasyona (ε_x) oranının ters işaretlisidir ve ν ile gösterilmektedir.

$$\nu = -\frac{\text{çapsal birim deformasyon}}{\text{eksenel birim deformasyon}} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = -\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x}$$

Bu çalışma kapsamında elastisite modülünün belirlenmesine yönelik 15 adet deney gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Ek 3'de verilmiştir. Bununla birlikte, poisson oranının belirlenmesine yönelik olarak da 6 adet deney gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar da Ek 4'de verilmiştir.

3.4.4. Yoğunluk Tayini

Bu deney düzensiz bir geometriye sahip kayaç örneklerinin civa taşırma yöntemi ile yoğunluk-birim hacim ağırlık, gözeneklilik ve su içeriği özelliklerinin tayini amacıyla yapılır (Şekil 3.18). Yoğunluk, bir maddenin birim hacminin kütlesidir. Laboratuvarda kaya malzemesinin yoğunluğu normal arazi yoğunluğu (tabi yoğunluk) olarak belirlenmiştir. Raporda tüm deney örnekleri için ortalama yoğunluk (gr/cm^3) değerleri verilmiştir. Bu çalışma kapsamında 62 adet yoğunluk tayini deneyi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Ek 5'de verilmiştir.

Şekil 3.18. Yoğunluk tayini deneyi

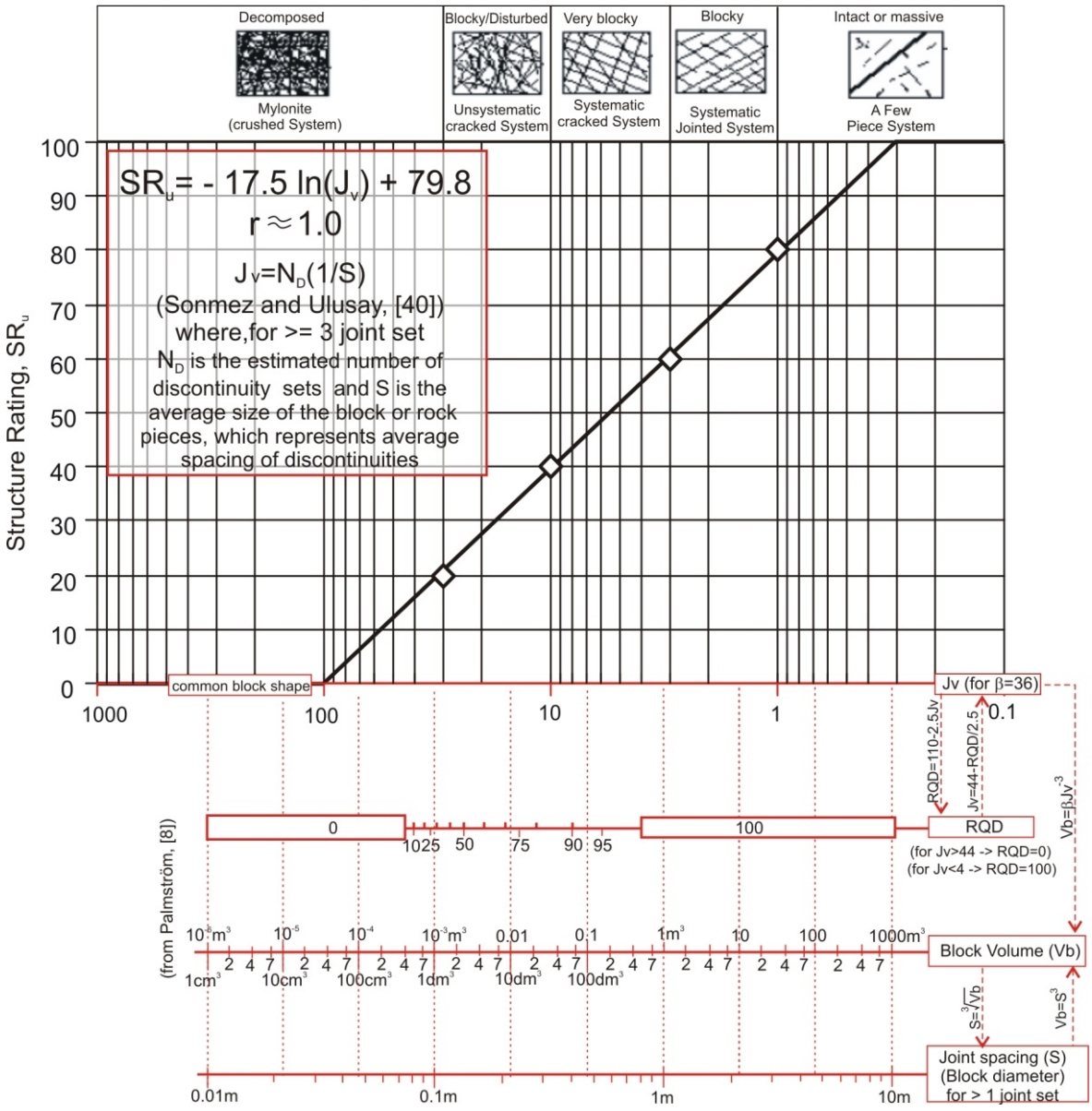
3.4.5. Kaya Kütlesi Jeolojik Dayanım İndeksi (Geological Strenght Index, GSI)

Kaya kütleleri içinde veya üzerinde inşa edilen tüneller, şevler ve temel uygulamalarında sağlam kaya malzemesinin dayanım özelliklerinin ölçek parametresi olarak alınarak bazı ampirik yaklaşımlarla kaya kütlesinin jeomekanik davranışlarının belirlenerek kullanılması daha gerçekçi dayanım ve deformasyon değerlendirmeleri açısından oldukça önemlidir.

Bu amaçla pek çok ampirik yöntem bulunmakla birlikte Hoek ve Brown yenilme ölçütü önerildiği günden bu yana geçirdiği pek çok güncellemeyle popüler bir yöntem olarak sıklıkla tercih edilmektedir [58][59][60][61]. Yöntemin son şekli Hoek vd. [58] tarafından önerilmiş olup, bu çalışmada ölçütün son versiyonu dikkate alınmıştır. Ölçütün son versiyonunu dikkate alan Roclab 1.0 programı kullanılarak kaya kütlesi dayanım ve deformasyon parametreleri hesaplanmıştır.

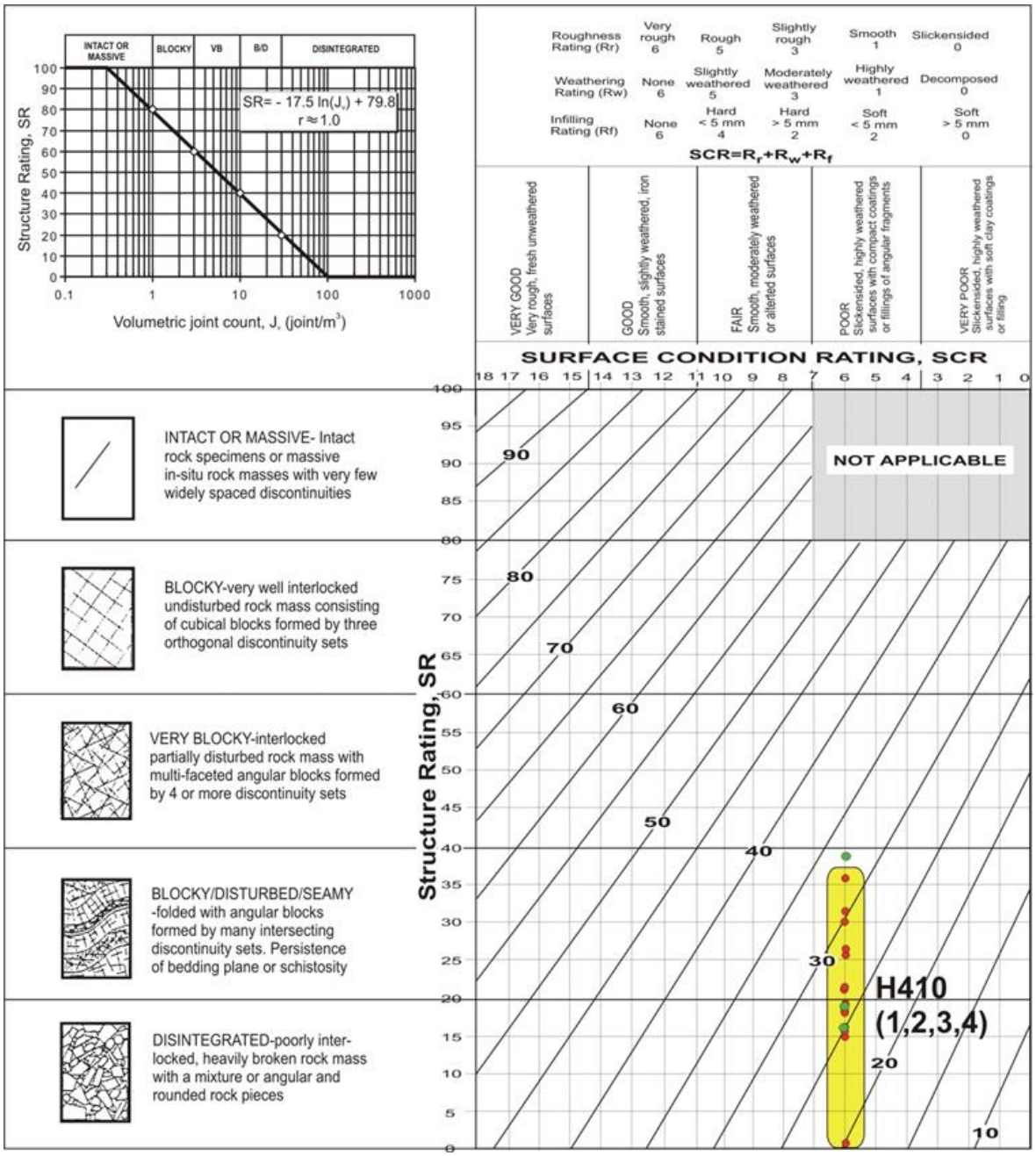
Hoek ve Brown yenilme ölçütünün temel girdi parametreleri, kaya kütlesinin kalitesinin bir ölçüsü olan GSI puanı, tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS), kaya malzemesinin "m_i" parametresi ve kütledeki teknik girişime bağlı olarak gelişen örselenme derecesi (D)'dir.

Orjinal GSI sınıflamasında kaya kütlesinin GSI puanı kaya kütlesinin yapısal görünümü ve süreksizliklere ilişkin gözlemsel tanımlamalardan itibaren tecrübeyle yorumlanarak belirlenebilmektedir. Sönmez ve Ulusay [61] orjinal GSI sınıflama abağını sahada ölçülebilen verilere dayalı sayısal bir şekle dönüştürmüştür. Kaya kütlesinin yapısal durumunu ifade eden SR değeri, ilk önerildiği şeklinde hacimsel eklem katsayısına (J_v) bağlı olarak belirlenmekteyken, Palmström [62] tarafından önerilen süreksizlik aralığı, RQD, Jv arasındaki ilişkileri kullanarak SR'nin belirlenmesindeki pratik değeri arttırmak amacıyla Dinç [63] tarafından önerilen grafik ise Şekil 3.19'da sunulmuştur. Bu çalışmada RQD değerinden itibaren SR puanları Şekil 3.19'daki grafik kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.19. Dinç vd. tarafından önerilen Jv, RQD, süreksizlik aralığı (S) kullanılarak yapısal özellik puanını (SR) belirleme abağı ve kömür ve marn kaya kütlesinin SR puanı değerlendirmesi [63]

Çalışmanın bu bölümünde Park Termik'den gelen 4 adet karotlu sondaja ait verilerdeki RQD değerleri kullanılarak yapısal özellik puanı (SR) Şekil 3.19'daki grafikten belirlenirken, kömür üstü birimlerde olası süreksizlik yüzeyi koşullarına bağlı olarak süreksizlik yüzey koşulu (SCR) puanları belirlenmiş ve GSI puanları Şekil 3.20'deki sayısal GSI abağı kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.20. Sönmez ve Ulusay tarafından modifiye edilen GSI abağı üzerinde ilgili kaya kütlelerinin GSI puanları ve genel dağılım bölgeleri [61]

Kaya kütlesindeki süreksizliklerin yüzey koşulunun tanımlanmasına yönelik olarak yüzey pürüzlülüğü için düz-smooth (Rr=1), bozunma durumu orta derecede (Rw=3) ve dolgu durumu için <2mm yumuşak dolgu (Rf=2) ifadeleri seçilmiştir. Bu değerler kullanılarak ortalama SCR=6 olarak tüm seviyelerde dikkate alınmıştır.

Kaya malzemesinin “mi” parametresi ise karotlarda kesilen birimleri litolojik özelliklerinden itibaren Çizelge 6’da belirlenmiştir. Örselenme derecesine yönelik değerlendirmede Hoek vd. [58] tarafından yapılan tanımlamalar dikkate alınmış Şekil 3.21’de sunulan koşulların varlığı dikkate alınarak D=0, D=0.25 ve D=0.5 olarak üç farklı durum için kullanılmıştır.

Çizelge 6. Kaya türlerine göre mi parametresi alabileceği değerler [12]

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates* (21 ± 3) Breccias (19 ± 5)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2 Greywackes (18 ± 3)	Claystones 4 ± 2 Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
		Organic				Chalk 7 ± 2
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated**		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3 Granodiorite (29 ± 3)	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

* Conglomerates and breccias may present a wide range of m_i values depending on the nature of the cementing material and the degree of cementation, so they may range from values similar to sandstone to values used for fine grained sediments.

* *These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of m_i will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	$D = 0$ $D = 0.5$ No invert

Şekil 3.21. Hoek vd. tarafından önerilen örselenme faktörü (D) seçiminde bu çalışmada dikkate alınan koşul [58]

3.4.6. Kaya Kütlelerinin Dayanım ve Deformasyon Özellikleri

Hoek ve Brown eğrisel yenilme ölçütün σ_1-σ_3 arasındaki güncel eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Burada; σ_1 ve σ_3 en büyük ve en küçük asal gerilmeler, σ_{ci} kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı, m_b ve s kaya kütlesi sabitleridir. Yukarıda sıralanan girdi parametreleri kullanılarak kaya kütlelerinin eğrisel yenilme zarfları Hoek ve Brown yenilme ölçütü kullanılarak Hoek vd. [58] tarafından önerilen versiyonuna göre kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar Hoek ve Brown yenilme ölçütünün son versiyonuna göre değerlendirmeler yapan Roclab 1.0 programı ile yapılmıştır. Ortalama kohezyon ve içsel sürtünme açısı ölçütün eğrisel doğası gereği normal gerilmeye (veya çevre gerilmesine) bağlı olup, bu değerlerin hesaplanmasında Roclab 1.0 programında tünel seçeneğinde 130 m yüzeyden derinlik ve ortama yoğunluk ise d=2.0 g/cm^3 olarak kullanılmıştır.

Kaya kütlesi deformasyon modülünün belirlenmesinde de Hoek ve Diederichs [64] tarafından genel uygulamalara yönelik olarak önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır. Kütle deformasyon modülü hesaplamalarında da yine Roclab 1.0 programı kullanılmıştır.

$$E_{\mathrm{rm}}(\mathrm{MPa}) = 100,000 \left(\frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-\mathrm{GSI})/11)}} \right)$$

Çayırhan kömür havzası H sektörüne ait H410-1, H410-2, H410-3 ve H410-4 numaralı sondajlar üzerinde yapılan jeoteknik değerlendirmeler ve ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri Şekil 3.22-3.29 arasında verilmiştir. Şekillerde verilen her bir birime ait malzeme özellikleri olarak, eklerde verilen deney sonuçlarının ortalaması verilmiştir.

Bunlara ek olarak, Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü tarafından 2012 yılında hazırlanmış olan "PARK TERMİK A.Ş.'NİN ÇAYIRHAN İŞLETMESİ'NDE E VE H PANOLARINDA METAN VE KENDİLİĞİNDEN YANMA SORUNLARI İLE TABAKA KONTROLÜ SORUNLARININ ARAŞTIRILMASI" başlıklı projede [53] verilen "Şekil 3.23-HS2 sondajına ilişkin değerlendirmeler" tablosundaki veriler kullanılarak alt ve üst kömür damarı ile kömürün altındaki birimlerin kaya kütlesi jeoteknik parametreleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.30 ve 3.31'de verilmiştir. Bununla birlikte, Çayırhan kömür havzası H sektörüne ait bu çalışma kapsamında incelenen dikey sondajlara ait (H410-1, H410-3 ve H410-4) kaya kütlesi jeomekanik parametrelerinin ortalaması belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Çayırhan kömür havzası H sektörüne ait bu çalışma kapsamında incelenen dikey sondajlara aiat (H410-1, H410-3 ve H410-4) kaya kütlesi jeoteknik parametrelerinin ortalaması

Sondaj No	GSI	RMR (GSI=RMR -5)	D=0			D=0.25			D=0.5		
			Kütle deformasyon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformasyon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformasyon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ
H410-1	26.8	31.8	876.2	0.172	25.7	766.7	0.147	22.8	657.2	0.120	19.3
H410-3	26.3	31.3	732.9	0.127	20.2	641.3	0.107	17.7	549.7	0.086	14.7
H410-4	27.4	32.4	847.4	0.140	21.5	741.5	0.119	19.0	635.6	0.095	15.8
Ortalama	**26.8**	**31.8**	**818.9**	**0.146**	**22.5**	**716.5**	**0.124**	**19.8**	**614.1**	**0.100**	**16.6**

Sandık No	Manevra		İlerleme	TCR	RQD	SCR	% TCR	% RQD	% SCR	Litoloji	Yapı	Karot Sandığı Fotoğrafı
1	0,00	0,90	0,90	0,90	0,00	0,35	100	0	39	kil ve silt taşı ardalanması	İnce yatay laminalı	
	0,90	1,80	0,90	0,90	0,11	0,62	100	12	69			
	1,80	3,20	1,40	1,40	0,77	0,82	100	55	59	silttaşı ve kiltaşı ardalanması,	yataya yakın laminalı	
	3,20	4,10	0,90	0,75	0,49	0,58	83	54	64	kil taşı ara bantlı silttaşı	verev fay (3.90m)	
2	4,10	5,80	1,70	1,70	0,65	0,91	100	38	54			
	5,80	6,60	0,80	0,68	0,00	0,00	85	0	0	çok parçalı kiltaşı		
	6,60	8,20	1,60	1,60	1,05	1,30	100	66	81	kiltaşı silttaşı aradalanması		
3	8,20	9,80	1,60	1,50	0,45	0,70	100	28	44	silttaşı kiltaşı (genellikle kil ağırlıklı)	verev fay (9.65m)	
	9,80	11,00	1,20	0,55	0,00	0,00	46	0	0			
	11,00	12,50	1,50	1,95	1,07	1,19	100	71	79			
4	12,50	12,80	0,30	0,27	0,11	0,27	90	21	90	kiltaşı bantlı silttaşı	İnce yatay laminalı	

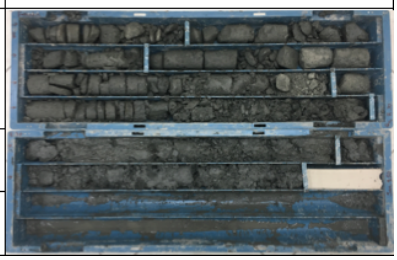
Şekil 3.22. H410-1 sondajına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler

			Malzeme Parametreleri								Kaya Kütlesi Jeomekanik Parametreleri												
															D=0			D=0.25			D=0.5		
Sandık No	Manevra		σ_{ci} (MPa)	Is_{50}(MPa)	σ_{ci} (MPa) **	Ortalama σ_{ci} (MPa)	E_i (GPa)	ν	d (gr/cm^3)	m_i	SR*	SCR*	GSI	RMR	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ
1	0,00	0,90		0,5	5,5	5,5			1,661	6	15	6	24,5	29,5	540,4	0,121	20,6	472,8	0,103	17,9	405,3	0,082	14,7
	0,90	1,80		2,8	34,0	34,0			2,051	7	16	6	26	31	1464,7	0,272	35	1281,6	0,233	31,8	1098,5	0,19	27,5
	1,80	3,20	16,29	1,2	14,6	15,4	2,49	0,229	2,645	7	26	6	29	34	1171,6	0,216	30,3	1025,1	0,187	27,3	878,7	0,154	23,5
	3,20	4,10	19,00	0,4	4,9	11,9	6,91	0,165	2,589	7	25,5	6	28	33	972,2	0,191	28,1	850,7	0,164	25,1	729,2	0,134	21,4
2	4,10	5,80		0,6	7,3	7,3			1,477	7	21	6	27	32	718,9	0,154	24,3	629	0,132	21,5	539,2	0,107	18,1
	5,80	6,60		-		7,3			1,406	4	15	6	24,5	29,5	622,5	0,116	19,4	544,7	0,097	16,8	466,9	0,077	13,8
	6,60	8,20	24,2	0,5	5,5	14,8	2,49	0,179	2,217	6	30	6	30	35	1216,6	0,207	29	1064,5	0,179	26,1	912,4	0,147	22,5
3	8,20	9,80		0,6	6,6	6,6	2,41	0,171	1,597	6	19	6	25,5	30,5	627	0,134	22	548,6	0,114	19,3	470,3	0,091	16
	9,80	11,00		0,3	3,6	3,6			2,047	7	15	6	24,5	29,5	437,2	0,109	19,1	382,5	0,092	16,6	327,9	0,074	13,5
	11,00	12,50		0,5	6,1	6,1			1,607	7	31	6	30,5	35,5	803,8	0,156	24,2	703,4	0,135	21,5	602,9	0,111	18,3
4	12,50	12,80	31,88	0,5	6,1	19,0	1,53		1,67	7	18	6	25,5	30,5	1063,8	0,214	30,5	930,9	0,183	27,3	797,9	0,149	23,3
											Ortalama:		**26,8**	**31,8**	**876,2**	**0,172**	**25,7**	**766,7**	**0,147**	**22,8**	**657,2**	**0,120**	**19,3**

*: Sönmez ve Ulusay (1999 ve 2002) tarafından önerilen sayısal GSI abağı girdi parametreleri

**: Osman ve Sönmez (2008) tarafından önerilen yaklaşıma göre mi parametresine bağlı olarak Is50'den sci belirlenmiştir.

Şekil 3.23. H410-1 sondajına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri

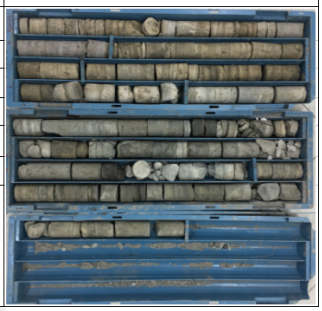
Sandık No	Manevra		İlerleme	TCR	RQD	SCR	% TCR	% RQD	% SCR	Litoloji	Yapı	Karot Sandığı Fotoğrafı
1	0,00	1,70	1,70	0,50	0,00	0,03	29	0	2	parçalı kiltaşı	ince tabakalı-laminalı, parlak yüzeyli eklemli	
	0,90	3,80	2,90	0,90	0,00	0,00	31	0	0			
	3,80	5,40	1,60	1,51	0,00	0,18	100	0	11			
	5,40	7,30	1,90	1,05	0,00	0,16	100	0	8			
2	7,30	8,70	1,40	0,95	0,00	0,00	100	0	0	kiltaşı parçalı kil, öğütmeden dolayı kile dönüşmüş		
	8,70	9,50	0,80	0,95	0,00	0,00	100	0	0			

Şekil 3.24. H410-2 sondajına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler

Sandık No	Manevra		Malzeme Parametreleri								Kaya Kütlesi Jeomekanik Parametreleri													
															D=0			D=0.25			D=0.5		
			σ_{ci} (MPa)	Is_{50}(MPa)	σ_{ci} (MPa) **	Ortalama σ_{ci} (MPa)	E_i (GPa)	ϑ	d (gr/cm^3)	m_i	SR*	SCR*	GSI	RMR	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ
1	0,00	1,70	-	0,15	1,3		-	-	1,733	4	15	6	24,5	29,5	262,7	0,056	10,9	229,9	0,047	9,22	197	0,036	7,33
	0,90	3,80	-	-	-		-	-	1,708	4	15	6	24,5	29,5									
	3,80	5,40	-	0,15	1,3		-	-	1,750	4	15	6	24,5	29,5	262,7	0,056	10,9	229,9	0,047	9,22	197	0,036	7,33
	5,40	7,30	-	0,35	2,9		-	-	1,587	4	15	6	24,5	29,5	392,4	0,079	14,4	343,3	0,066	12,3	294,3	0,052	9,9
2	7,30	8,70	-	-	-		-	-	1,661	-	0	6	20	25	202,8	0,049	10,1	177,4	0,04	8,4	152,1	0,03	6,5
	8,70	9,50	-	-	-		-	-	1,806	-	0	6	20	25									
											Ortalama:	**23**		**28**	**280,2**	**0,060**	**11,6**	**245,1**	**0,050**	**9,8**	**210,1**	**0,039**	**7,8**

*: Sönmez ve Ulusay (1999 ve 2002) tarafından önerilen sayısal GSI abağı girdi parametreleri
**: Osman ve Sönmez (2008) tarafından önerilen yaklaşıma göre mi parametresine bağlı olarak Is50'den σci belirlenmiştir.

Şekil 3.25. H410-2 sondajına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri

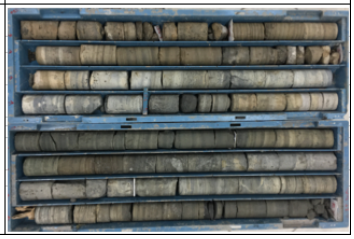
Sandık No	Manevra		İlerleme	TCR	RQD	SCR	% TCR	% RQD	% SCR	Litoloji	Yapı	Karot Sandığı Fotoğrafı
1	0,00	1,40	1,40	1,31	0,50	1,12	94	36	80	0.00-0.45: ince laminalı kiltaşı 0.45-1.40: kalın tabakalı kiltaşı-marn ardalanması (arada laminalı seviye)	0.50: düşey çizikli fay düzlemi	
	1,40	2,40	1,00	0,90	0,42	0,93	90	42	93	1.40-1.60: ince laminalı beyaz karbonat ara seviyeli kiltaşı 1.60-2.40: ince orta tabakalı kiltaşı		
	2,40	3,85	1,45	1,36	0,49	1,18	94	34	81	2.40-3.30: ince laminalı yeryer orta ince tabakalı kiltaşı 3.30-3.85: orta kesiminde yeryer ufak boşluklu breşik kiltaşı	3.30: 1 cm genişliğinde kalsit dolgulu damar ve düşük açılı bir normal fay	
	3,85	5,50	1,65	1,41	0,60	1,24	85	36	75	3.85-4.90: sinsedimenter yapılı kiltaşı 4.90-5.00: organik malzemeli kiltaşı 5.30-5.50: breşik bir zon		
2	5,50	6,50	1,00	1,00	0,36	0,52	100	36	52	5.50-6.21: kiltaşı 6.21-6.50: breşik bir zon, 10 cm lik bir karbonatlı seviye	6.21: 10 cm lik bir breşik zon ve fay	
	6,50	8,80	2,30	0,79	0,14	0,43	34	6	19	karbonat ara katkılı parçalı kiltaşı		
3	8,80	10,70	1,90	1,75	0,22	1,22	92,11	11,58	64,21	8.80-9.80: üst seviyeleri ince laminalı, alta doğru ince tabakalı sinsedimanter yapılı kiltaşı 9.90-10.70: yer yer ince laminalı kiltaşı	9.80-9.90: 10 cm lik düşey ve yatay fay çizikli zon	

Şekil 3.26. H410-3 sondajına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler

Sandık No	Manevra		Malzeme Parametreleri								Kaya Kütlesi Jeomekanik Parametreleri													
															D=0			D=0.25			D=0.5		
			σ_{ci} (MPa)	Is_{50}(MPa)	σ_{ci} (MPa) **	Ortalama σ_{ci} (MPa)	E_i (GPa)	ϑ	d (gr/cm^3)	m_i	SR*	SCR*	GSI	RMR	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ
1	0,00	1,40		2,9	24,3	24,3			1,746	4	20,5	6	26,5	31,5	1274,4	0,203	27,9	1115,1	0,171	24,9	955,8	0,138	21,1
	1,40	2,40		0,9	7,5	7,5			1,851	4	22	6	27,5	32,5	750	0,127	20,4	656,2	0,108	17,9	562,5	0,087	14,9
	2,40	3,85		1	8,4	8,4			1,945	4	20	6	26	31	728	0,128	20,7	637	0,108	18,1	546	0,087	15
	3,85	5,50		0,4	3,3	3,3			1,582	4	20,5	6	26,5	31,5	469,6	0,088	15,5	410,9	0,074	13,4	352,2	0,059	10,9
2	5,50	6,50		0,8	6,7				1,822	4	20,5	6	26,5	31,5	669,2	0,118	19,5	585,5	0,100	17	501,9	0,080	14
	6,50	8,80	12,88	1,3	10,9	11,9	1,11	0,216	1,667	4	15,5	6	25	30	782,9	0,138	22	685,1	0,117	19,2	587,2	0,093	15,9
3	8,80	10,70		0,40	3,3	3,3			1,43	4	16	6	26,00	31,50	456,30	0,087	15,40	399,30	0,073	13,30	342,20	0,058	10,80
											Ortalama:	**26,3**		**31,3**	**732,9**	**0,127**	**20,2**	**641,3**	**0,107**	**17,7**	**549,7**	**0,086**	**14,7**

*: Sönmez ve Ulusay (1999 ve 2002) tarafından önerilen sayısal GSI abağı girdi parametreleri
**: Osman ve Sönmez (2008) tarafından önerilen yaklaşıma göre mi parametresine bağlı olarak Is50'den σci belirlenmiştir.

Şekil 3.27. H410-3 sondajına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri

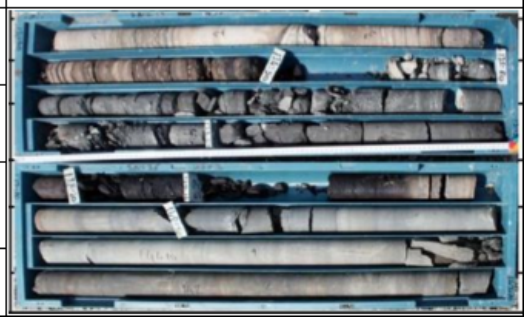
Sandık No	Manevra		İlerleme	TCR	RQD	SCR	% TCR	% RQD	% SCR	Litoloji	Yapı	Karot Sandığı Fotoğrafı
1	0,00	1,50	1,50	0,40	0,10	0,33	27	7	22	0.00-0.35: kiltaşı 0.35-1.50: ince laminalı kiltaşı (parçalı)	yatay/yataya yakın laminalı	
	1,50	2,00	0,50	0,20	0,10	0,14	40	20	28	ince laminalı kiltaşı		
	2,00	3,50	1,50	1,26	0,84	1,11	84	56	74	2.00-3.15: kiltaşı 3.15-3.50: parçalanmış kiltaşı		
	3,50	4,70	1,20	1,15	0,93	1,24	96	78	103	sinsedimenter yapılı arada kömür parçalı seviyeleri olan kiltaşı		
2	4,70	6,35	1,65	1,24	0,43	1,12	75	26	68	yer yer organik malzemeli kiltaşı		
	6,35	7,35	1,00	0,99	0,79	0,98	99	79	98	6.35-6.95: kiltaşı 6.95-7.35: breşik sedimenter yapılı kiltaşı		
	7,35	8,20	0,85	0,62	0,19	0,45	73	22	53	breşik sedimenter yapılı kiltaşı		
	8,20	10,25	2,05	1,51	0,57	1,33	74	28	65	8.20-8.67: sinsedimenter yapılı kiltaşı 8.67-10.25: üst seviyeleri ince laminalı alta doğru laminalı kiltaşı		

Şekil 3.28. H410-4 sondajına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler

			Malzeme Parametreleri								Kaya Kütlesi Jeomekanik Parametreleri												
															D=0			D=0.25			D=0.5		
Sandık No	Manevra		σ_{ci} (MPa)	Is_{50} (MPa)	σ_{ci} (MPa) **	Ortalama σ_{ci} (MPa)	E_i (GPa)	υ	d (gr/cm^3)	m_i	SR*	SCR*	GSI	RMR	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ
1	0,00	1,50	28,75	1,9	15,9	22,3	8,33		1,933	4	15,5	6	25	30	1119,8	0,186	26,7	979,9	0,157	23,7	839,9	0,126	19,9
	1,50	2,00	35,95	1,1	9,2	22,6	4,52		2,293	4	17	6	25,5	30,5	1160,3	0,19	27	1015,2	0,161	24	870,2	0,129	20,2
	2,00	3,50		0,4	3,3	3,3			2,359	4	25,5	6	28	33	512	0,091	15,9	448	0,078	13,8	384	0,062	11,3
	3,50	4,70		0,5	4,2	4,2			1,792	4	36	6	32	37	727,2	0,112	18,2	636,3	0,096	16,1	545,4	0,078	13,4
	4,70	6,35		1,6	15,9	15,9			1,827	4	19	6	25,5	30	973,2	0,164	24,6	851,5	0,139	21,7	729,9	0,111	18,2
2	6,35	7,35	15,02	0,6	5,0	10,0	4,17		1,142	4	36,5	6	32,5	37,5	1154,8	0,163	23,8	1010,4	0,141	21,3	866,1	0,115	18,2
	7,35	8,20		0,8	6,7	6,7			1,793	4	18	6	25,5	30,5	631,7	0,115	19,2	552,8	0,097	16,7	473,8	0,077	13,7
	8,20	10,25		0,5	4,2	4,2			1,396	4	19	6	25,5	30,5	500,2	0,095	16,5	437,7	0,08	14,3	375,1	0,063	11,6
											Ortalama:		**27,4**	**32,4**	**847,4**	**0,140**	**21,5**	**741,5**	**0,119**	**19,0**	**635,6**	**0,095**	**15,8**

*: Sönmez ve Ulusay (1999 ve 2002) tarafından önerilen sayısal GSI abağı girdi parametreleri
**: Osman ve Sönmez (2008) tarafından önerilen yaklaşıma göre mi parametresine bağlı olarak Is50'den σci belirlenmiştir.

Şekil 3.29. H410-4 sondajına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri

Manevra		% RQD	Litoloji	Karot Sandığı Fotoğrafı
134,50	135,80	10	KÖ	
135,80	138,20	23	BŞ	
138,20	140,30	?	KÖ	
140,30	142,00	80	Marn	

Şekil 3.30. Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Müh. Bölümü'nün yaptığı projeye ait HS2 sondajının 134i5-142,3 metreleri arasına ilişkin jeoteknik değerlendirmeler

				Malzeme Parametreleri					Kaya Kütlesi Jeomekanik Parametreleri												
													D=0			D=0.25			D=0.5		
Manevra		% RQD	Litoloji	σ_{ci} (MPa)	E_i (GPa)	υ	d (gr/cm^3)	m_i	SR*	SCR*	GSI	RMR	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ	Kütle deformayon modülü (Mpa)	c (Mpa)	ϕ
134,50	135,80	10	KÖ	3**				7	16	6	25,5	30,5	422,7	0,104	18,3	369,9	0,088	15,9	317,1	0,07	13
135,80	138,20	23	BŞ	18.1***				6	19	6	27	32	460,9	0,102	17,7	403,2	0,086	15,4	345,6	0,069	12,6
138,20	140,30	?	KÖ	3**				7	16	6	25,5	30,5	422,7	0,104	18,3	369,9	0,088	15,9	317,1	0,07	13
140,30	142,00	80	Marn	11,2				7	38	6	33	38	1257,8	0,209	29,3	1100,6	0,182	26,5	943,3	0,152	23

*: Sönmez ve Ulusay (1999 ve 2002) tarafından önerilen sayısal GSI abağı girdi parametreleri
**. Tahmini değer girilmiştir
***: Üst seviyelerdeki en düşük değer alınmıştır.

Şekil 3.31. Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Müh. Bölümü'nün yaptığı projeye ait HS2 sondajının 134,5-142,3 metreleri arasına ilişkin malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametreleri

3.4.7. Kaya Kütle Puanı (Rock Mass Rating, RMR)

Kaya kütle puanı Bieniawski tarafından geliştirilen bir jeomekanik bir kaya kütle sınıflama sistemidir. İlk kez 1973 yılında ortaya konmuş olan RMR sistemi 1989 yılında en yaygın kullanım halini almıştır. Madencilik ve tünelcilik gibi mühendislik uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Kaya numunesinin tek eksenli basma dayanımı, kaya kalite değeri (RQD), süreksizlik aralığı, süreksizliklerin durumu, yeraltı su durumu ve süreksizliklerin konumu RMR'ın girdi parametreleridir [65].

Kaya kütlelerinin süreksizlik özelliklerinin sondaj karotları üzerinde yapılacak değerlendirmelerle belirlenmesi bazı belirsizlikleri içerebilmektedir (Çizelge 8)

Çizelge 8. Süreksizliklere ait özelliklerin ölçüm ve/veya tanımlama kalitesinin yüzeyde ve sondaj karotlarında uygulanan yöntemler esas alınarak karşılaştırılması [61][66]

Özellik	**Ölçüm gereci**	Karotlarda alınan ölçümün kalitesi	Kaya yüzleğinde alınan ölçümün kalitesi
Yönelim	Pusula-klinometre	Orta	İyi
Aralık	Şerit metre	İyi	İyi
Devamlılık	Şerit metre	Kötü	İyi/Orta
Pürüzlülük	Referans pürüzlülük profilleri	Orta	İyi
Dayanım	Schmidt çekici	Orta	İyi
Açıklık	Cetvel, mikrometre	Kötü	İyi
Dolgu	Gözlemsel	Kötü	İyi
Sızıntı	Zamana bağlı gözlemler	Kötü	İyi
Set Sayısı	Stereografik izdüşüm tekniği	Orta	İyi
Blok Boyutu	3 boyutlu eklem sıklığı	Kötü	İyi

Bununla birlikte, ön tasarıma yönelik olarak RMR puanın belirlenmesine yönelik yorumların sondaj karotları dikkate alınarak olası belirsizlikleriyle birlikte yapılması mümkündür. Bu çalışma kapsamında H410'da dikey yönde yapılan 1, 3 ve 4 nolu sondajlar dikkate alınarak RMR'a girdi olarak kullanılan parametreler için değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

i. Tek eksenli basma dayanımı (UCS): Kaya mekaniği deneylerine ait sonuçlara bakıldığında tek eksenli basma dayanımlarının minimum 3.3 MPa maksimum ise 34 MPa olduğu görülmektedir.

ii. RQD: Bu parametre kaya kütlesinin yapısal durumunu belirli ölçüde yansıtabilecek bir girdi parametresidir. Her bir sondaj için ayrı ayrı belirlenmiştir.

iii. Süreksizlik aralığı (SA): Bu parametre manevra aralığının süreksizlik sayısına oranlanmasıyla yaklaşık olarak belirlenebileceği gibi RQD ile ilişkilendirilerek Bieniawski [65] tarafından önerilen grafiksel sunumdan da belirlenebilir.

iv. Süreksizliklerin Durumu (SD): Karot sandıklarından tanımlanmıştır.

v. Su koşulu (SK): Süreksizliklerin su durumu ortamın hidrojeolojik özellikleriyle birlikte değerlendirilmelidir. Yerinde yapılan incelemelerde genel olarak kömür ve komşu birimlerde su durumunun "damlama" olarak alınabileceği ön görülmüştür.

RMR puanının değerlendirilmesine yönelik Bieniawski [65] tarafından önerilen grafik ve abaklar Çizelge 9, Çizelge 10 ve Şekil 3.32'de verilmiştir. RMR puanlarını belirlemeye yönelik olarak sondaj karotları ayrıntılı olarak incelenmiş, eldeki diğer mevcut bilgiler ile birlikte yorumlanarak herbir sondaj için ayrı ayrı RMR değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan H410-1, H410-3 ve H410-4 nolu sondajlar için en düşük, ortalama ve en yüksek girdi parametreleri için RMR puanı değerlendirmesi sırasıyla Çizelge 11, 12 ve 13'te sunulmuştur. Bu raporda anılan RMR puanları temel RMR puanı olmakla birlikte, sondajlarda karşılaşılan birimler genelde yatay tabakalı (ince tabakalı ve laminalı) olduğundan süreksizlik yönelimi düzeltmesine gerek duyulmamaktadır.

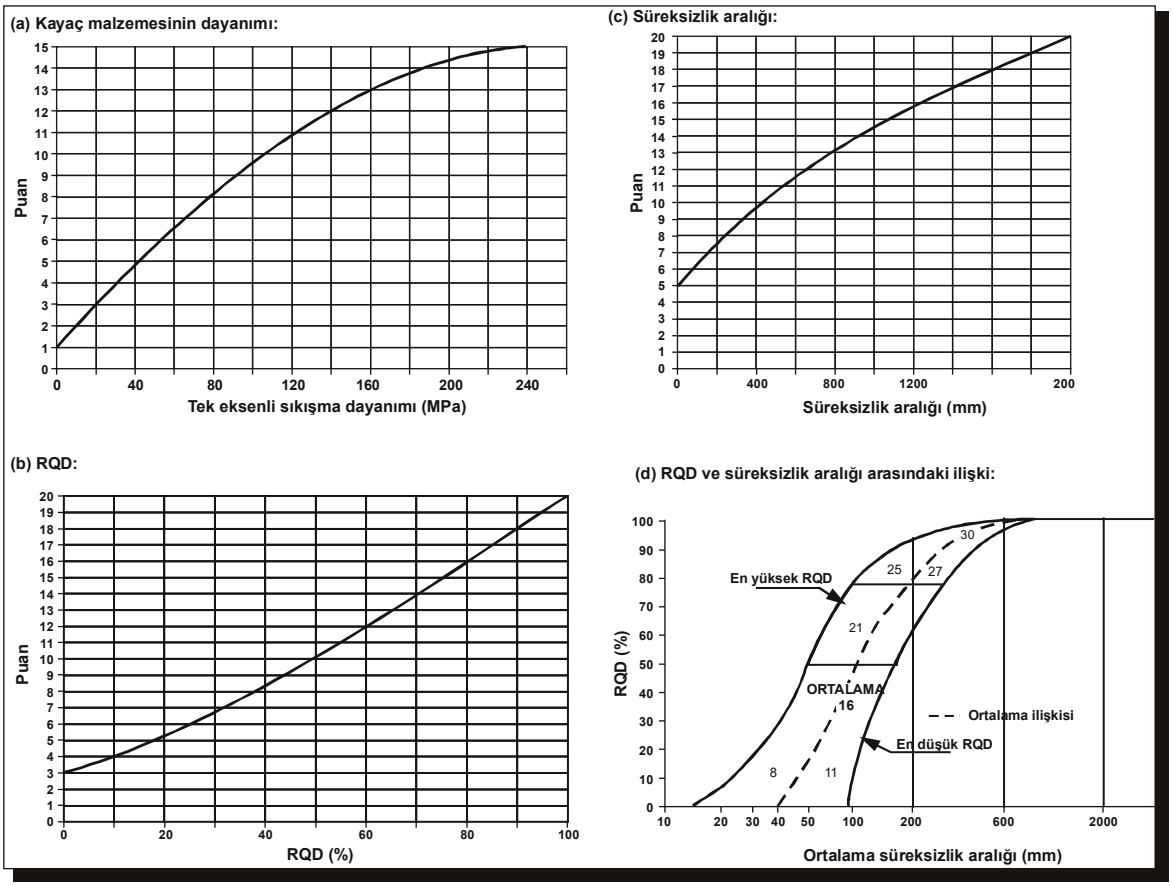
Çizelge 9. Temel RMR puanı parametreleri ve puanları [61][65]

A. SINIFLAMA PARAMETRELERİ VE PUANLARI

1*	Kaya malzemesinin dayanımı	Nokta yükü dayanım indeksi	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli sıkışma dayanımı	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Puan		15	12	7	4	2	1	0
2*	Kaya kalite göstergesi, RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
	Puan		20	17	13	8	3		
3*	Süreksizlik aralığı		> 2 m	0.6-2m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Puan		20	15	10	8	5		
4**	Süreksizlik koşulu		Çok kaba yüzeyler Sürekli değil Ayrılma yok Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma < 1 mm Sert eklem yüzeyleri	Az kaba yüzeyler Ayrılma < 1 mm Yumuşak eklem yüzeyleri	Sürtünme izli yüzeyler veya fay dolgusu < 5 mm veya 1-5 mm açık eklemler, sürekli eklemler	Yumuşak fay dolgusu > 5 mm kalınlıkta veya açık eklemler > 5 mm devamlı süreksizlikler		
	Puan		30	25	20	10	0		
5	Yeraltı-suyu	Tünelin 10m'lik kısmından gelen su	Yok	10 lt/dk	< 25 lt/dk	25-125 lt/dk	> 125 lt/dk		
		Eklemdeki su basıncı / En büyük asal gerilme ORANI	0	0.0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Puan		15	10	7	4	0		

Çizelge 10. Süreksizliklerin durumuna ilişkin puanlama tablosu [61][65]

Parametre	Puanlar				
Süreksizliğin uzunluğu (devamlılık)	< 1 m (6)	1-3 m (4)	3-10 m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)
Süreksizlik açıklığı	Yok (6)	< 0.1 mm (5)	0.1-1.0 mm (4)	1-5 mm (1)	> 5 mm (0)
Pürüzlülük	Çok pürüzlü (6)	Pürüzlü (5)	Az pürüzlü (3)	Düz (1)	Kaygan (0)
Dolgu		Sert dolgu		Yumuşak dolgu	
	Yok (6)	< 5 mm (4)	> 5 mm (2)	< 5 mm (2)	> 5 mm (0)
Bozunma	Bozunmamış (6)	Az bozunmuş (5)	Orta derecede bozumuş (3)	Bozunmuş (1)	Çok bozunmuş (0)



Şekil 3.32. RMR sisteminin 1989 versiyonunda tek eksenli basma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanların belirlenmesinde kullanılan grafikler [61][65]

Çizelge 11. H410-1 sondajında en düşük, ortalama ve en yüksek girdi parametreleri için RMR puanı değerlendirmesi

Olası değişim aralığı	**R_{UCS}**	**R_{RQD}**	**R_{SA}**	**R_{SD}**	**R_{SK}**	**RMR**
En düşük	1 (3.6 MPa)	3 (%0)	5 (40 mm)	Devamlılık (tabaka >10m): 1 Açıklık (<1 mm): 4 Pürüzlülük (düz): 1 Dolgu (yumuşak <5 mm): 2 Bozunma (orta): 3 11	4 (damlama)	24
Ortalama	2 (12 MPa)	7 (%31)	6 (70 mm)	Devamlılık (tabaka >10m): 1 Açıklık (<1 mm): 4 Pürüzlülük (düz): 1 Dolgu (yumuşak <5 mm): 2 Bozunma (orta): 3 11	4 (damlama)	30
En yüksek	4 (34 MPa)	14 (%71)	7 (150 mm)	Devamlılık (tabaka >10m): 1 Açıklık (<1 mm): 4 Pürüzlülük (düz): 1 Dolgu (yumuşak <5 mm): 2 Bozunma (orta): 3 11	4 (damlama)	40

Çizelge 12. H410-3 sondajında en düşük, ortalama ve en yüksek girdi parametreleri için RMR puanı değerlendirmesi

Olası değişim aralığı	**R_{UCS}**	**R_{RQD}**	**R_{SA}**	**R_{SD}**	**R_{SK}**	**RMR**
En düşük	1 (3.3 MPa)	3.5 (%6)	5 (42 mm)	Devamlılık (tabaka >10m): 1 Açıklık (<1 mm): 4 Pürüzlülük (düz): 1 Dolgu (yumuşak <5 mm): 2 Bozunma (orta): 3 11	4 (damlama)	24.5
Ortalama	2 (9.8 MPa)	6.5 (%29)	5.5 (70 mm)	Devamlılık (tabaka >10m): 1 Açıklık (<1 mm): 4 Pürüzlülük (düz): 1 Dolgu (yumuşak <5 mm): 2 Bozunma (orta): 3 11	4 (damlama)	29
En yüksek	3.5 (24.3 MPa)	8.5 (%42)	6 (90 mm)	Devamlılık (tabaka >10m): 1 Açıklık (<1 mm): 4 Pürüzlülük (düz): 1 Dolgu (yumuşak <5 mm): 2 Bozunma (orta): 3 11	4 (damlama)	33

Çizelge 13. H410-4 sondajında en düşük, ortalama ve en yüksek girdi parametreleri için RMR puanı değerlendirmesi

Olası değişim aralığı	**R_{UCS}**	**R_{RQD}**	**R_{SA}**	**R_{SD}**	**R_{SK}**	**RMR**
En düşük	1 (4.2 MPa)	3.5 (%7)	5 (42 mm)	Devamlılık (tabaka >10m): 1 Açıklık (<1 mm): 4 Pürüzlülük (düz): 1 Dolgu (yumuşak <5 mm): 2 Bozunma (orta): 3 11	4 (damlama)	24.5
Ortalama	2 (11.2 MPa)	8.5 (%39)	6 (90 mm)	Devamlılık (tabaka >10m): 1 Açıklık (<1 mm): 4 Pürüzlülük (düz): 1 Dolgu (yumuşak <5 mm): 2 Bozunma (orta): 3 11	4 (damlama)	31.5
En yüksek	3 (22.6 MPa)	16 (%79)	6.5 (160 mm)	Devamlılık (tabaka >10m): 1 Açıklık (<1 mm): 4 Pürüzlülük (düz): 1 Dolgu (yumuşak <5 mm): 2 Bozunma (orta): 3 11	4 (damlama)	40.5

“PARK TERMİK YERALTI KÖMÜR OCAĞINDA TABAN YOLLARINDA TAVAN SAPLAMASI UYGULAMASININ İNCELENMESİ” çalışması kapsamında [56] yeraltı açıklığını çevreleyen kaya kütlesinin jeoteknik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla yaklaşık 30 metre aralıklarla ve uzunlukları sırasıyla 12,80 m, 10,70 m, 10,25 m olan 3 adet karotlu sondaj (H410-1, 3 ve 4) tavan yukarı (dikey) yapılmış olup, bir sondaj (H410-2) ise yatay yönde 9,5 m olarak yapılmıştır. Kaya kütlelerinin dayanımlarının ampirik yaklaşımlarla belirlenmesinde genellikle sağlam kaya malzemesine ait dayanım değerleri ölçek parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle her bir karotlu sondajda ilerleme aralıklarındaki karotlar üzerinde 16 adet tek eksenli basma dayanımı deneyi yapılmış olup, jeolojik yapının ince tabakalı ve sık eklemli özelliğinden dolayı standartlara uygun örneklemenin mümkün olmadığı düzeylerde ise dolaylı olarak tek eksenli basma dayanımına geçilmek amacıyla 116 adet nokta yükü dayanım indeksi deneyleri yapılmıştır. Kaya malzemelerinin tek eksenli basma dayanımlarının ISRM’e göre çoğunlukla düşük dayanım sınıfında (<20 MPa) kaldığı görülmüştür.

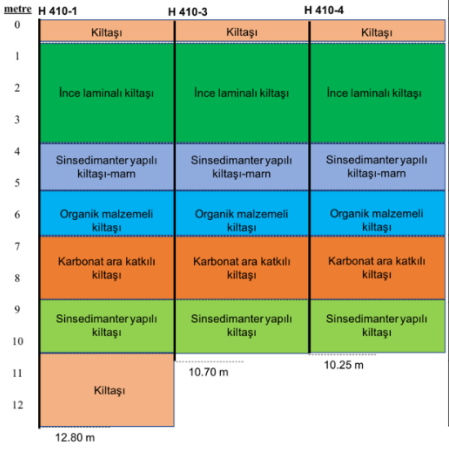
Bu çalışma kapsamında ayrıca, kaya kütlelerinin kalitesinin bir ölçüsü olarak Jeolojik Dayanım Indeksi (Geological Strength Index, GSI) ve Kaya Kütle İndeksi (Rock Mass Rating, RMR) sistemlerine göre sondaj karotları değerlendirilmiştir. Her bir sondaj lokasyonu için GSI değerlendirmesi ayrıntılı olarak ilerleme aralıkları özelinde yapılmıştır. Sondaj karotları yatay tabakalı (ince tabakalı ve laminalı) silttaşı ve kiltaşı litolojik tanımlamaları jeolojik kütlenin kil içeren kaya kütlesi özelliğinde olduğunu göstermektedir. Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri açısından değerlendirilmesinde Bieniawski [65] benzer özellikteki zonların birlikte değerlendirilmesinin gerekli olduğunu belirtmektedir. Yaklaşık 30 metre aralıklarla yapılan üç sondajın karotları incelendiğinde birbirleriyle kütlesel değerlendirme anlamında korelasyon sağlayabilecek bir zon ayırtlanmasının aşırı ayrıntı oluşturabileceği dikkate alınmalıdır. Ayrıca bu üç sondajın yanısıra ilerleme yönünde bu şekilde yapılabilecek ayrıntılı değerlendirmenin devamlılığının hangi ölçüde geçerli olabileceği de tartışmaya açıktır. Bu nedenle, tasarıma yönelik kaya kütlesi parametresi seçiminde her üç sondaja ait kesilen birimin kütlesel anlamda benzer özellikte olduğunun kabul edilmesi ilerleme yönünde tavan saplaması uygulamasının etkinliği ve uygulama pratiği açısıdan daha uygun bir yaklaşım olacaktır. Bununla birlikte kaya kütlelerine ait RQD, süreksizlik aralığı, dolgu durumu, açıklık, devamlılık vb. özelliklerin sondaj karotlarındaki tanımlanmalarına yönelik sınırlamaları da Hudson [66] tarafından belirtilmekte olup, Bieniawski [65] RMR sınıflaması ile yapılacak bir değerlendirmede aynı

lokasyonun farklı zamanlarda aynı kişilerce yapılabilecek değerlendirmelerinde dahi 5 puana ulaşan farklılılar gösterebileceğini de belirtmektedir. Bu durum jeolojik yapılardaki üç boyuttaki süreklilik ve jeolojik kütledeki olası belirsizliklerle yakından ilişkilidir. Ayrıca Hoek ve Brown ampirik yenilme ölçütünün geliştiricilerinin başlangıçta RMR sistemini girdi olarak kullanmalarına karşın, RMR'ın özellikle zayıf kaya kütlelerini tanımlamadaki yetersizliğinden dolayı RMR'ın yerine önerdikleri GSI sınıflama sisteminin ölçütte doğrudan kullanılmasına yönelik önerilerinin de dikkate alınmasında yarar vardır. Bununla birlikte RMR ve GSI arasındaki GSI=RMR_{89}-5 genel ilişkisinin benzer biçimde bu çalışma ile yapılan kaya kütlesi değerlendirmelerinde (GSI=RMR_{89}-3.3) de elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, çalışma kapsamında sondaj karotları üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilen RMR puanları değerlendirildiğinde RMR puanlarının 24,5 ile 40,5 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu verilere göre çalışma alanında yeralan kaya kütleleri Bieniawski [65] e göre **"Zayıf Kaya"** sınıfında yeralmaktadır.

Çayırhan Kömür Havzası H Sektörü Yeraltı Ocağında yapılan dikey sondajlara ait (H410-1, H410-3 ve H410-4) elde edilen tüm sonuçlar kullanılarak, çalışmanın sonraki aşamasında yapılacak olan sayısal modelleme çalışmalarına girdi verisi olarak kullanılacak jeolojik kesit oluşturulmuş ve bu kesitte yer alan birimlere ait ortalama malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametre değerleri belirtilerek Çizelge 14'te verilmiştir [56].

Kazı yöntemindeki teknik girişimle birlikte gelişebilecek örselenmenin de dikkate alınabilmesi amacıyla kaya kütlesinin deformasyon ve dayanım (ortalama kohezyon ve içsel sürtünme açısı) parametreleri D=0 (örselenme yok), D=0.25 ve D=0.5 üç farklı durumu için de hesaplanmıştır. Bu nedenle örselenmenin yeraltı açıklığının çeperinden kaya kütlesinin içerisine doğru azalabileceği dikkate alınarak parametre seçimi ve kullanımı tasarım aşamasında yönetilmelidir.

Çizelge 14. Çalışmada oluşturulan jeolojik kesit ve kesitine yer alan birimlere ait ortalama malzeme ve kaya kütlesi jeoteknik parametre değerleri



d (gr/cm³)	Ortalama σ_{ci} (MPa)	RQD	GSI	RMR*	D=0			D=0.25			D=0.5		
					Kütle deformasyon modülü (MPa)	c (MPa)	ϕ	Kütle deformasyon modülü (MPa)	c (MPa)	ϕ	Kütle deformasyon modülü (MPa)	c (MPa)	ϕ
1,78	17,37	0,20	25,33	28,63	978,20	0,17	25,07	855,93	0,14	22,17	733,67	0,12	18,57
2,19	15,20	0,46	27,00	30,30	964,43	0,17	24,88	843,85	0,15	22,15	723,32	0,12	18,73
1,80	5,70	0,70	28,67	31,97	680,78	0,12	19,97	595,68	0,11	17,60	510,60	0,09	14,68
1,69	11,60	0,26	25,50	28,80	754,97	0,13	21,17	660,57	0,11	18,50	566,23	0,09	15,33
1,78	11,69	0,56	28,00	31,30	964,25	0,16	24,17	843,73	0,14	21,43	723,18	0,11	18,12
1,48	4,70	0,41	25,67	28,97	527,83	0,11	17,97	461,87	0,09	15,63	395,87	0,07	12,80
1,77	9,56	0,39	26,83	30,13	768,27	0,16	24,60	672,27	0,14	21,80	576,23	0,11	18,37

*RMR değeri bu çalışmada elde edilen GSI=RMR_{89}-3,3 formülünden elde edilmiştir.

3.5. Nümerik Modelleme Analizleri

Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağı H410 alt taban yolu için yapılan nümerik modelleme analizlerinde, Plaxis 3D Dinamik Modülü kullanılmıştır. Analizlerde, kaya kütlesini modele girdi verisi olarak tanımlamak için, jeoteknik sondajlar sonucu ortaya konan jeolojik model temel alınmıştır. Tanımlanan kaya kütlesinin tabakaları, kalınlıklarıyla birlikte Şekil 3.33'te verilmiştir. Kazının mekanize olarak gerçekleştirilmesi ve tahkimat uygulamalarının en kısa sürede yapıldığı düşüncesine dayandırılarak, kaya kütlesi parametreleri olarak "D=0 (örslenmemiş)" parametreleri kullanılmıştır.

Plaxis 3D Dinamik Modülü'nde kaya kütlesinin kendi ağırlığından dolayı oluşan düşey gerilmeler aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır [64];

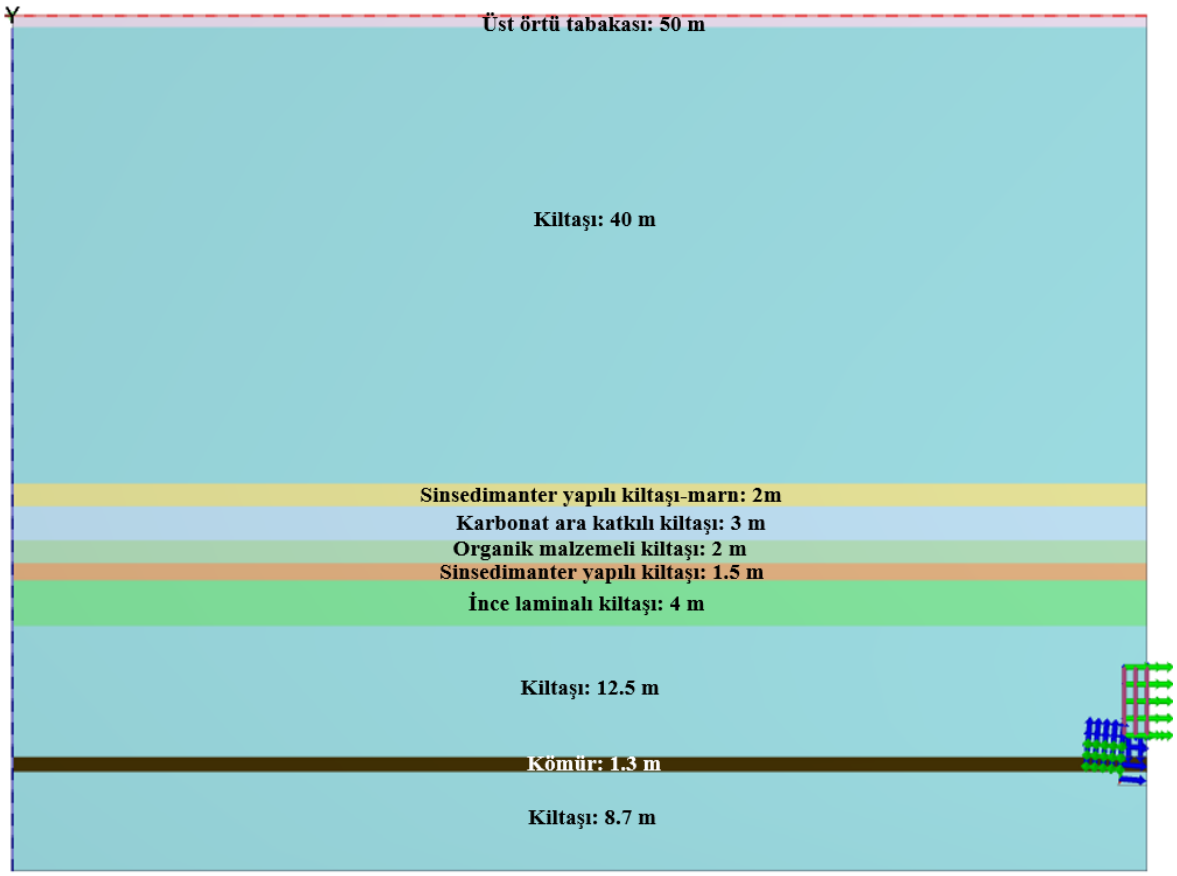
$$\sigma_v = \gamma z$$

Eşitlikte y kayaç birim hacim ağırlığı (kN/m^3) ve z derinliktir (m). Düşey gerilmeler sonucu her katı malzeme içerisinde yanal gerilmeler oluşur. Kaya malzemelerinin düşey gerilmeleri yanal olarak aktarma oranı (k oranı) farklı kayaçlara göre değişiklik göstermektedir [70]. Aşağıda verilen eşitlikte yanal gerilme ve düşey gerilme arasındaki bağıntı görülmektedir.

$$\sigma_h = k\,\sigma_v$$

σ_h yanal gerilme (Mpa) ve σ_v düşey gerilmedir (Mpa). Modelleme sırasında k değeri, K_0 prosedürüyle Poisson oranına (v) bağlı olarak hesaplanmıştır. Böylece yanal ve düşey başlangıç gerilmeleri üretilmiştir.

$$k = v/(1-v)$$



Şekil 3.33. Tanımlanan kaya kütlesindeki tabakalar ve formasyon içerisindeki kalınlıkları

İki farklı alternatif düzen için ayrı ayrı modelleme yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

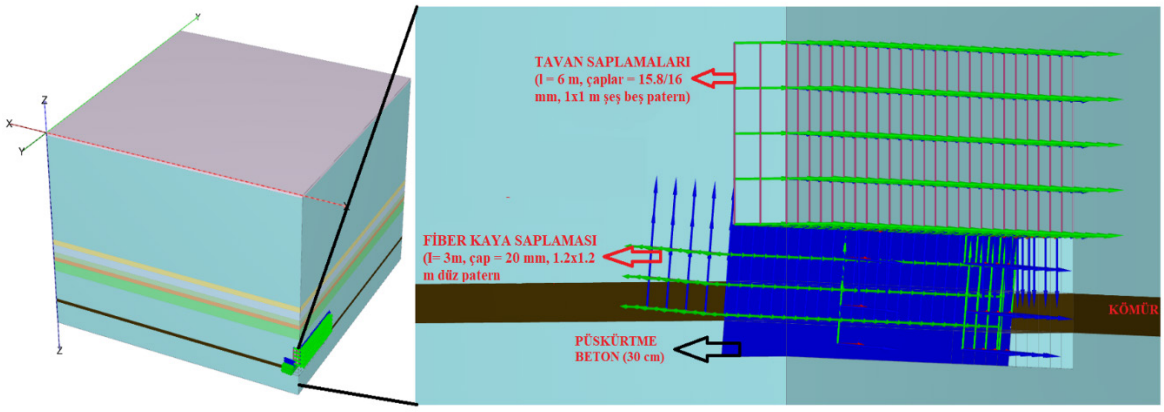
1. Model

- ✓ *Tavan:* 1x1 m şeş beş düzende, 6 m uzunluğunda 15.8 mm çapında çelik halat saplama (Yük taşıma kapasitesi : 277 kN)
- ✓ *Yan duvarlar:* 1.2x1.2 m düz düzende, 3 m uzunluğunda 20 mm çapında fiber saplama (Yük taşıma kapasitesi: 250 kN)
- ✓ 30 cm püskürtme beton ve tek kat Q257/257 tipi çelik hasır

2. Model

- ✓ *Tavan:* 1x1 m şeş beş düzende, 6 m uzunluğunda 16 mm çapında çelik nervürlü demir (Yük taşıma kapasitesi : 155 kN)
- ✓ *Yan duvarlar*: 1.2x1.x2 m düz düzende, 3 m uzunluğunda 20 mm çapında fiber saplama (Yük taşıma kapasitesi: 250 kN)
- ✓ 30 cm püskürtme beton ve tek kat Q257/257 tipi çelik hasır

İki farklı türdeki tavan saplaması için de kullanılacak olan modelin ve eklenen yapıların görünümü Şekil 3.34'te verilmiştir.



Şekil 3.34. Modele ait ağ yapısı ve tahkimat düzenleri

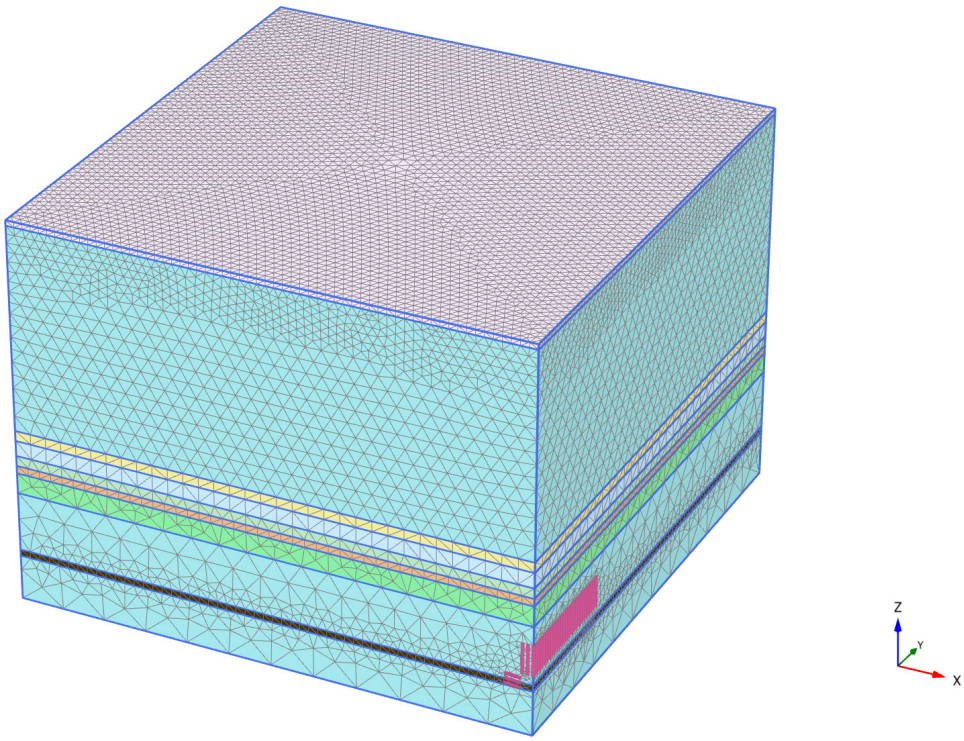
Oluşturulan modele ait ağ yapısı Şekil 3.35'teki gibidir. Modelde görüleceği üzere galeri kesit alanı 16 m^2 olan H410 alt taban yolu için tahkimat ekonomisi ve güvenliğinin arttırılmasına yönelik olarak, galerinin tavanında 1x1 m şeş beş düzene sahip, 6 m uzunluğunda, 15.8 mm çapında çelik halat saplama ya da 16 mm çapında nervürlü demir, galerinin yan duvarlarında 1.2x1.2 m düz düzene sahip, 3 m uzunluğunda 20 mm çapında fiber saplama uygulaması modellenmiştir.

Tavandaki saplamaların şeş beş düzende hazırlanmasıyla, etki alanlarını kesiştirilerek bir kemerleme etkisi oluşturmak hedeflenmektedir. Yüksek yük taşıma kapasitelerine sahip kablo saplamaların oluşturdukları gerilimli zonlardaki rijit tavan ve fiber saplamaların deformasyona müsade eden esnek davranış biçimi sayesinde bu tahkimat sistemleri uzun süreli hizmet verebileceklerdir. Buna alternatif olarak nervürlü demir kaya saplamaları modellemesinde, sürtünmeden de faydalanarak, kaya kütlesini daha rijit performanslı saplamalarla etkileşime sokarak, yan baskılardan kaynaklı galeri tabanında oluşabilecek kabarmaların erken safhalarda kontrol altına alınıp alınamayacağı irdelenmiştir. Bu tarz zayıf koşullardaki formasyonlarda, deformasyona müsaade etmemenin, zemin kontrolü açısından sonuçları tartışılmıştır.

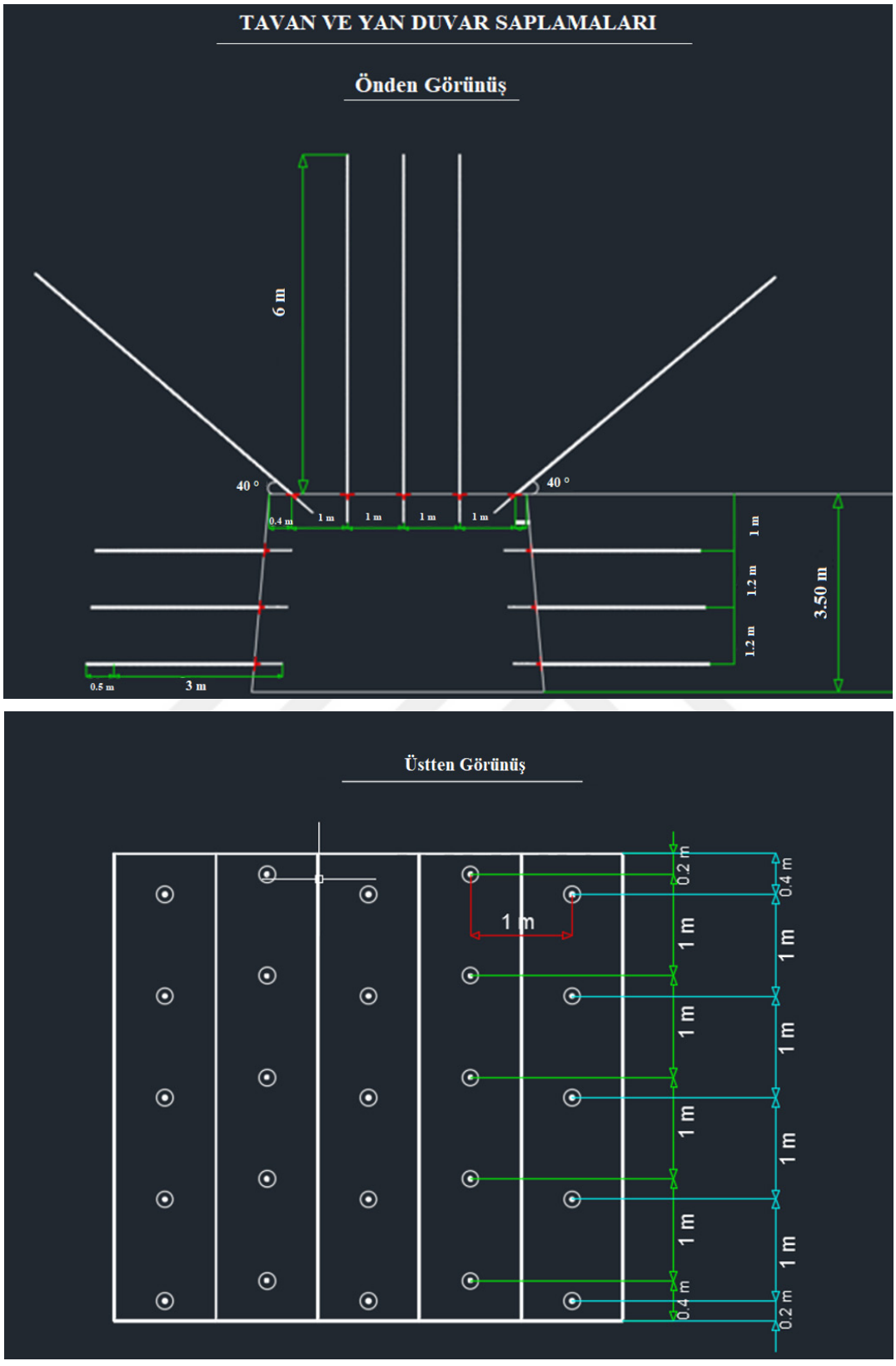
Yan duvarlardaki cam elyaf kaplamalı, fiberglass saplamaların özellikle Çayırhan H Sektörü gibi yan baskının ve deformasyonların çok yüksek olduğu galerilerde olumlu sonuçlar

verebileceği, aynı zamanda kolay kesilebilir olmalarının daha sonra üretim yapılacak galeride operasyonel kolaylıklar sağlayacağı düşünülmektedir.

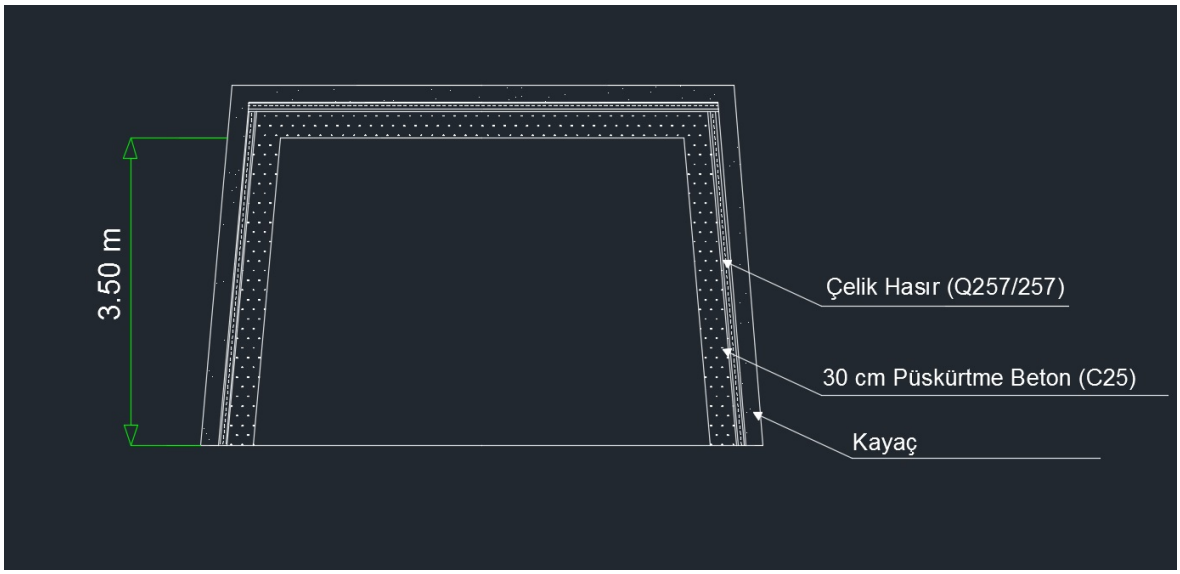
TH çelik tahkimat kullanımını azaltmak amacıyla ve saplamaların kesişim alanları dışında kalan gerilimsiz zonları da kontrol altına alabilmek adına, 30 cm püskürtme beton ve tek kat Q257/257 tipi çelik hasır uygulaması öngörülmüştür.



Şekil 3.35. Modelin ağ yapısı

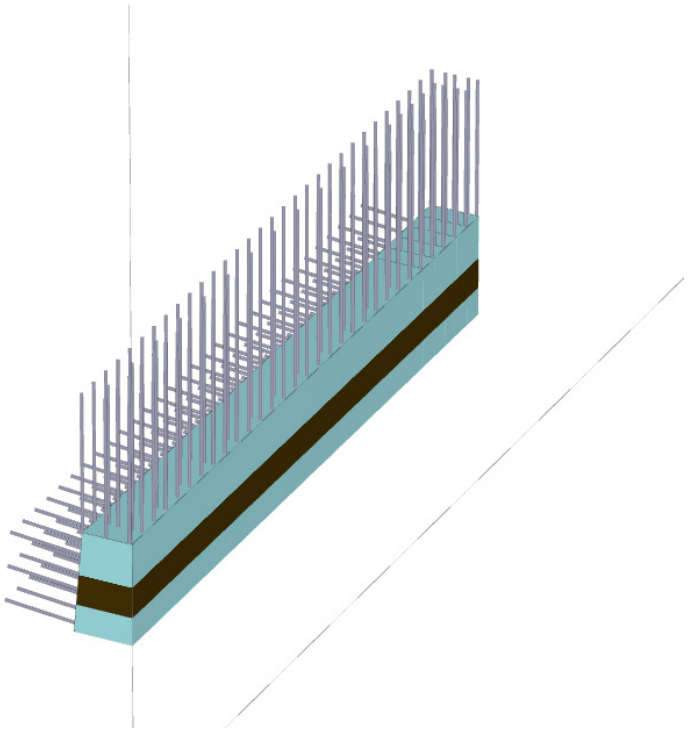


Şekil 3.36. Tavan ve yan duvarlardaki saplamaların uygulama düzenleri

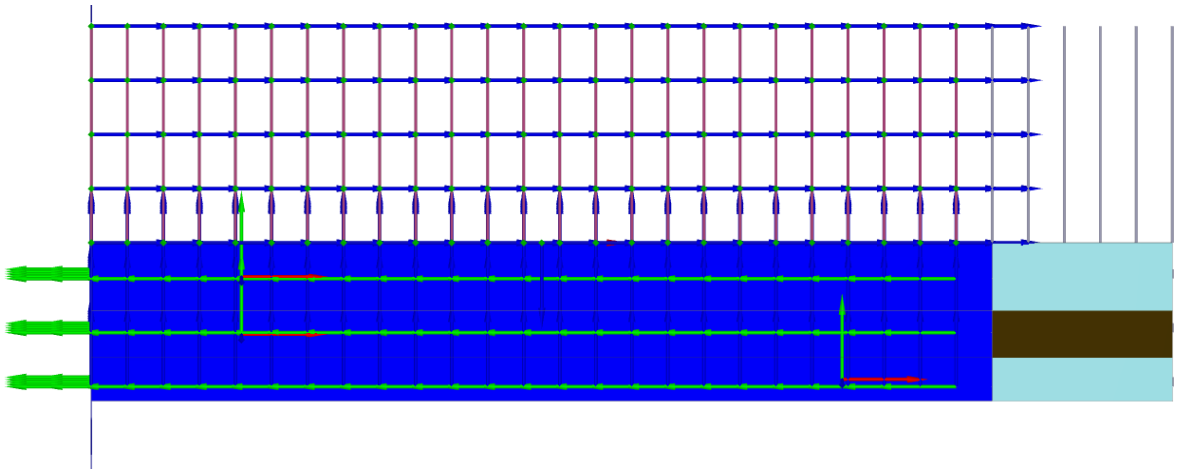


Şekil 3.37. Püskürtme beton+çelik hasırın uygulanma şekli

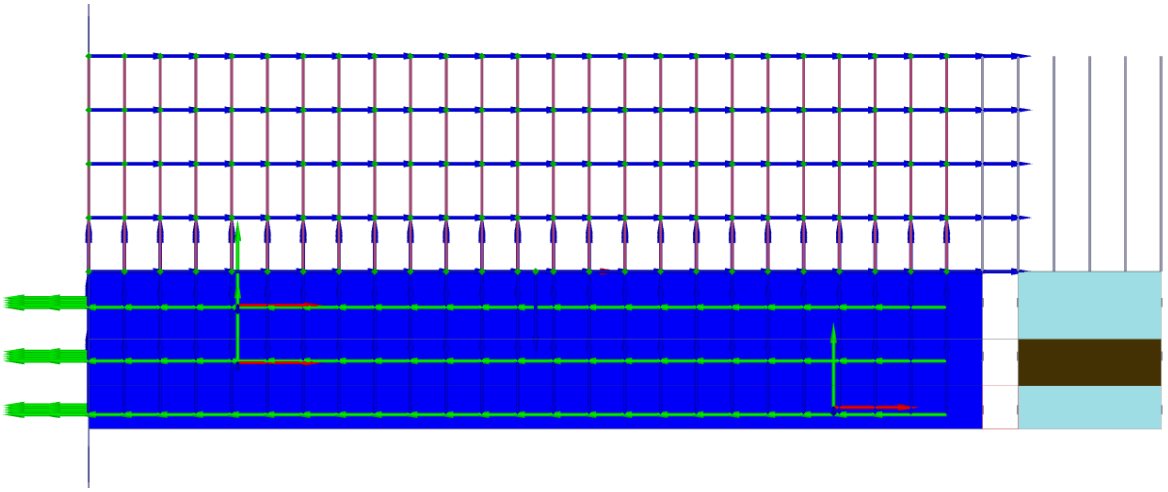
Saplamaların ve püskürtme beton+çelik hasır uygulamalarının düzenleri Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de verilmiştir. Nümerik modellemede izlenen kazı tahkimat aşamaları ilk 20 metrelik kazı ve tahkimatın atıldığı durum sonrasında, 1 metrelik ayna ilerlemesini takiben tahkimat uygulanması şeklinde, 5 metre boyunca kazı-tahkimat operasyonları aşağıda verilen sıra ile gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.39 – 3.49 arası)



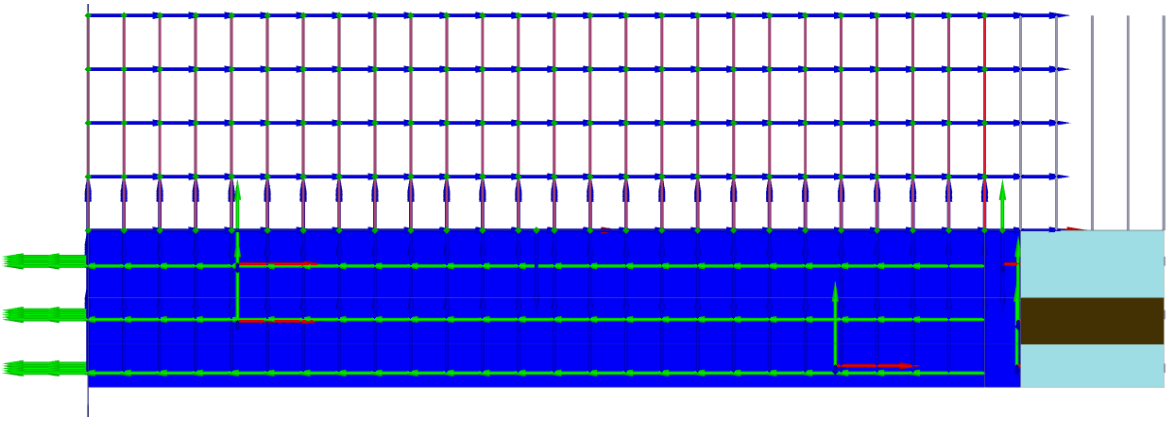
Şekil 3.38. Modelin kazı alanının genel görünümü



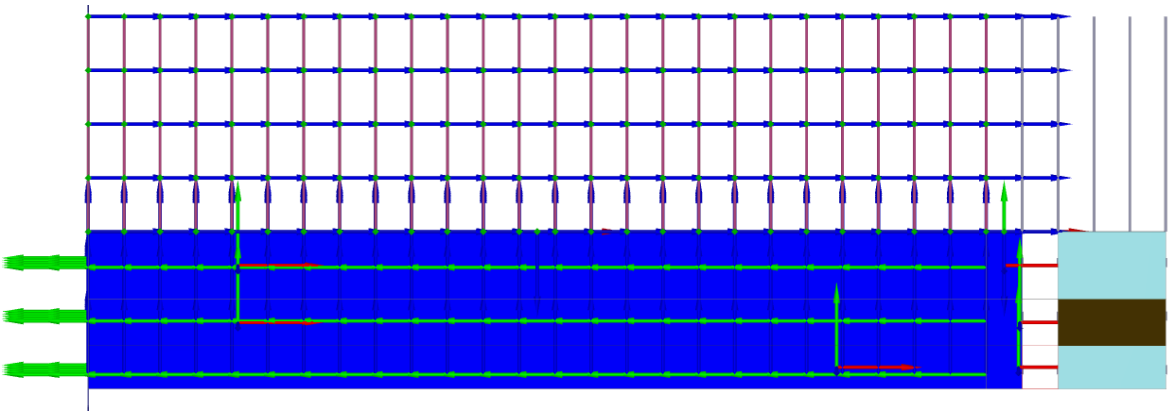
Şekil 3.39. 1. Aşama kazısı ve tahkimat (ilk 20 m'lik kazı ve tahkimatın yapıldığı durum)



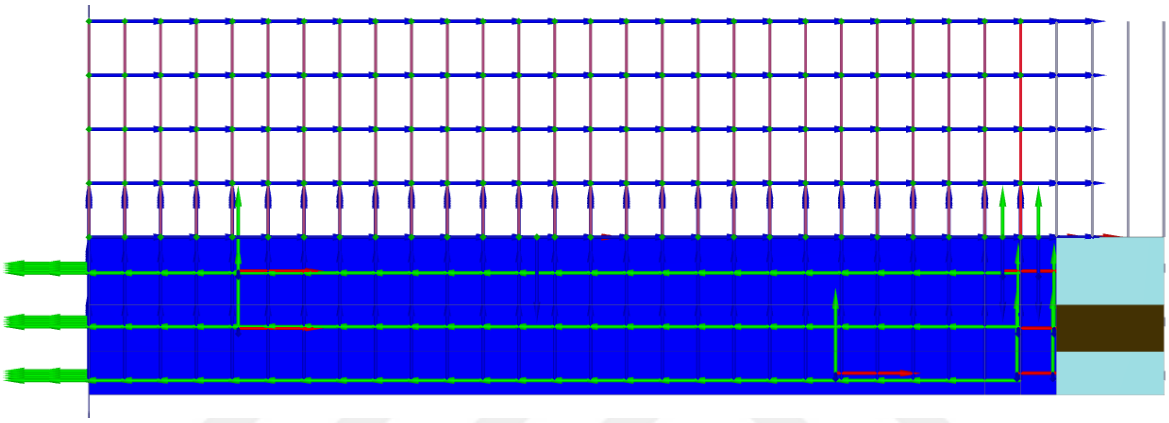
Şekil 3.40. 2. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi)



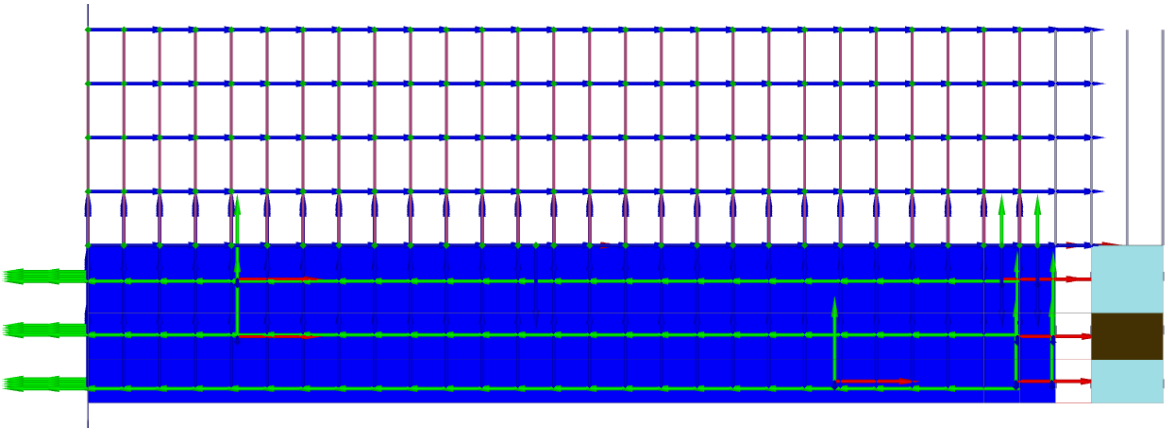
Şekil 3.41. 2. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)



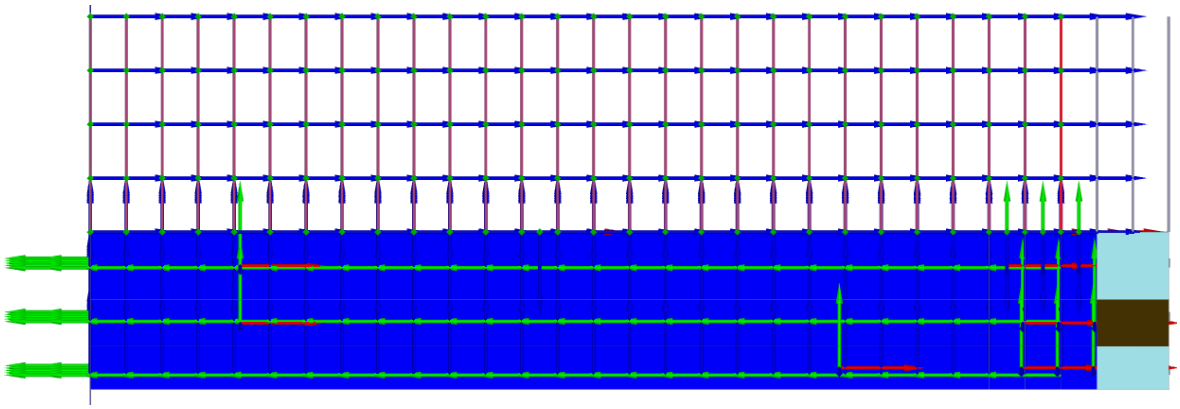
Şekil 3.42. 3. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi)



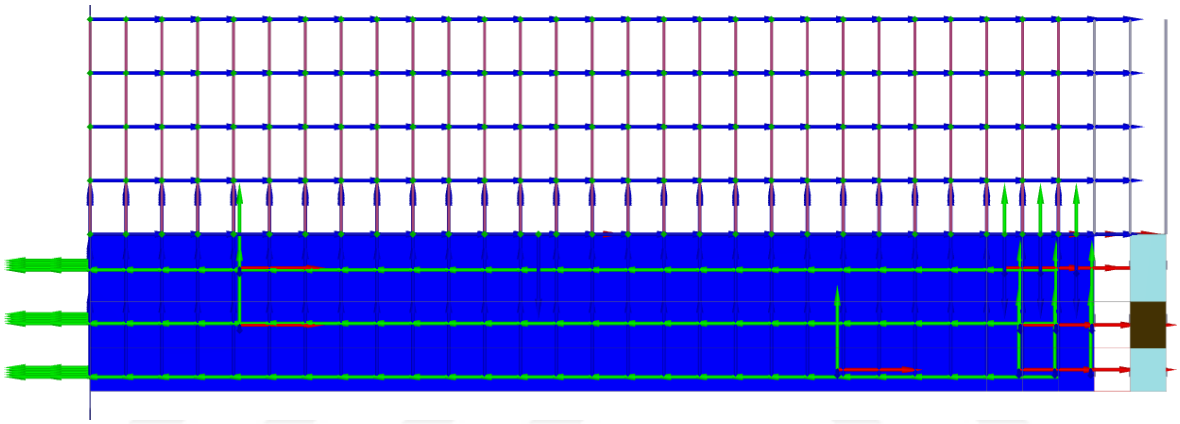
Şekil 3.43. 3. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)



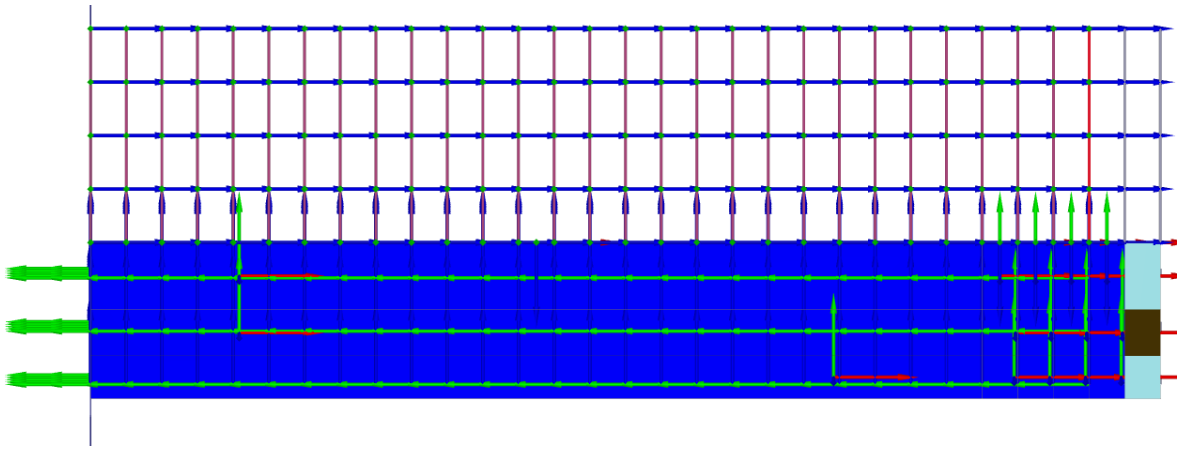
Şekil 3.44. 4. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi)



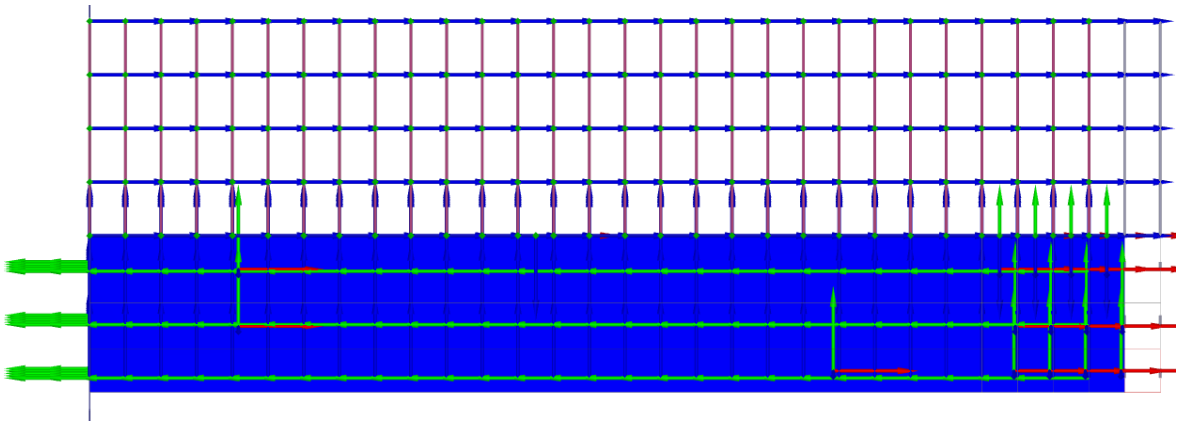
Şekil 3.45. 4. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)



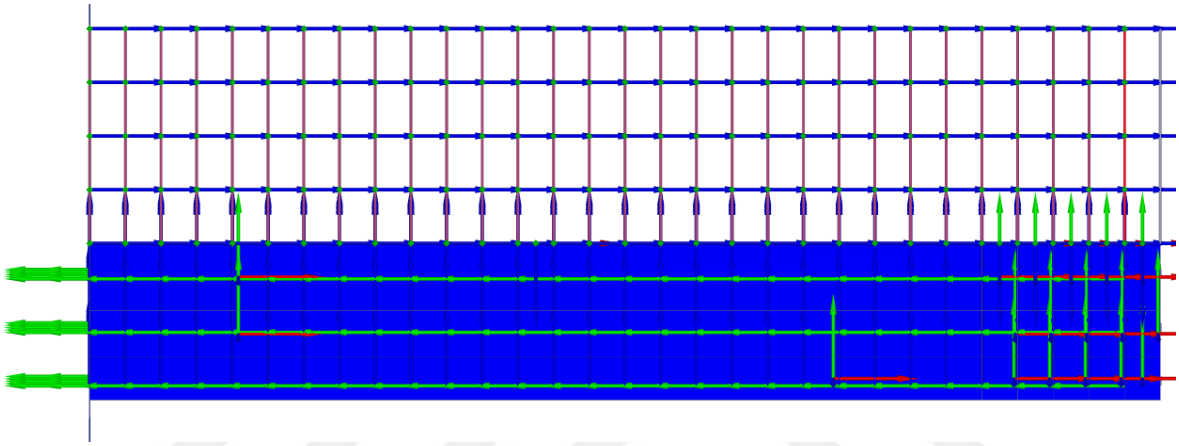
Şekil 3.46. 5. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi)



Şekil 3.47. 5. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)



Şekil 3.48. 6. Aşama kazısı (1 m ayna ilerlemesi)



Şekil 3.49. 6. Aşama tahkimatın yapılması (1 m tahkimatın yapıldığı durum)

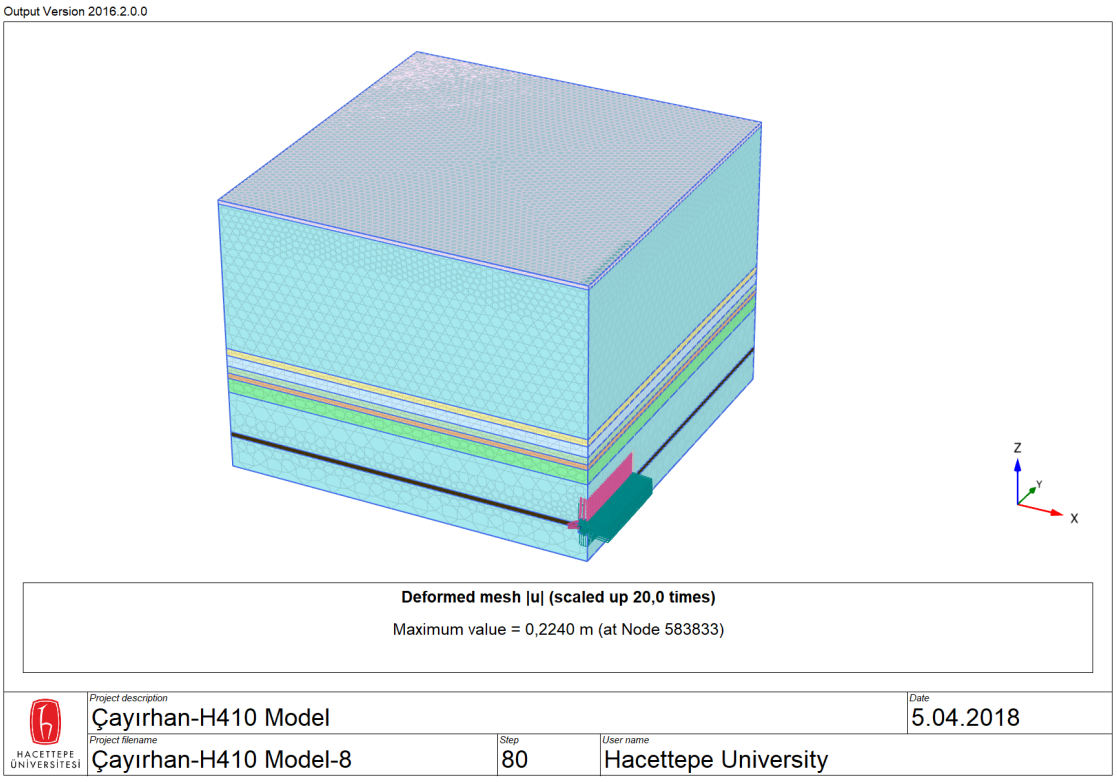
Kazı tahkimat aşamaları toplam 12 aşamada gerçekleşmiştir. Modelleme çalışmalarındaki aşamalar maddeler halinde aşağıda verilmektedir:

1. Aşama: Başlangıç ve Sınır koşulların oluşması
2. Aşama: Galeride 20 m'lik bölümün kazı ve tahkimatının yapılması
3. Aşama: İlk 1 m kazı yapılması
4. Aşama: Kazısı yapılan ilk 1 m'lik bölümün tahkimatının yapılması
5. Aşama: İkinci 1 m kazı yapılması
6. Aşama: İkinci 1 m'lik bölümün tahkimatının yapılması
7. Aşama: Üçüncü 1 m kazı yapılması
8. Aşama: Üçüncü 1 m'lik bölümün tahkimatının yapılması
9. Aşama: Dördüncü 1 m kazı yapılması
10. Aşama: Dördüncü 1 m'lik bölümün tahkimatının yapılması
11. Aşama: Beşinci 1 m kazı yapılması
12. Aşama: Beşinci 1 m'lik bölümün tahkimatının yapılması

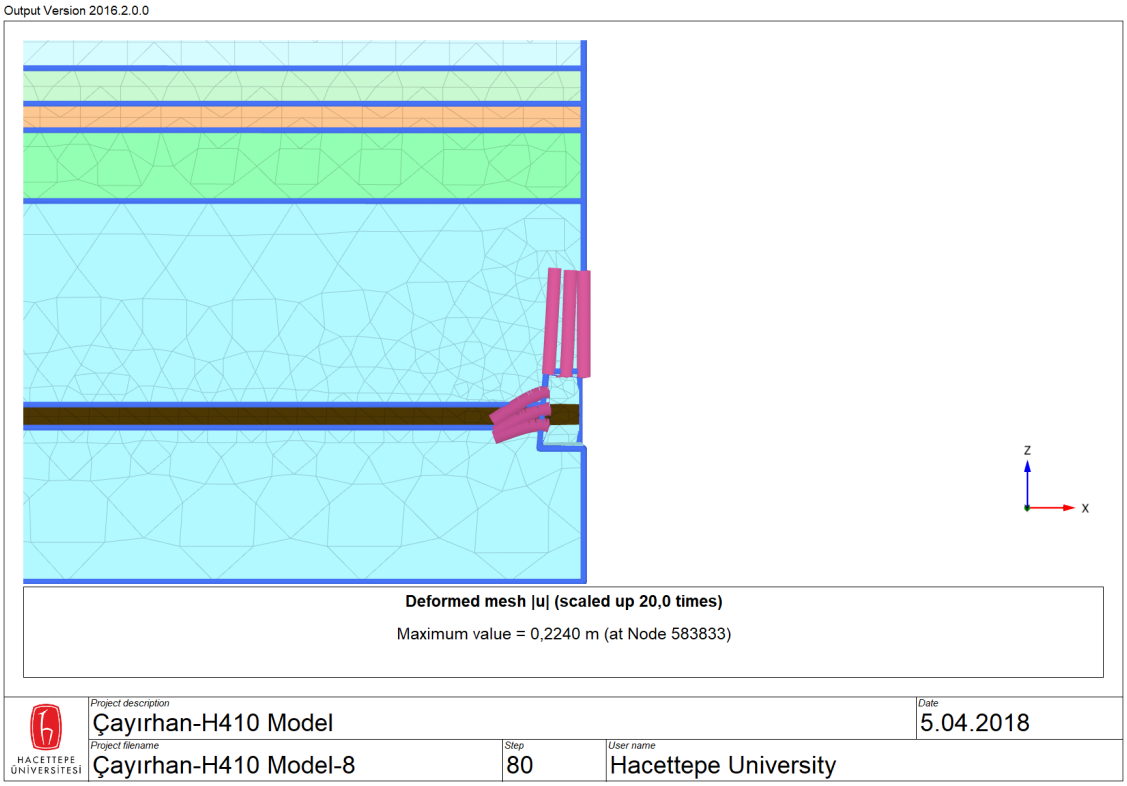
Birinci aşamada başlangıç koşulları oluşturulduktan sonra meydana gelen deplasmanlar sonraki aşamada sıfırlanmış, modeldeki deplasmanlar kazı yapılmaya başladıktan sonra bir galeri kazısında oluşacak ikincil gerilmeler şeklinde ortaya çıkmıştır.

3.5.1. Birinci Model: Tavan Saplaması Olarak Çelik Halat

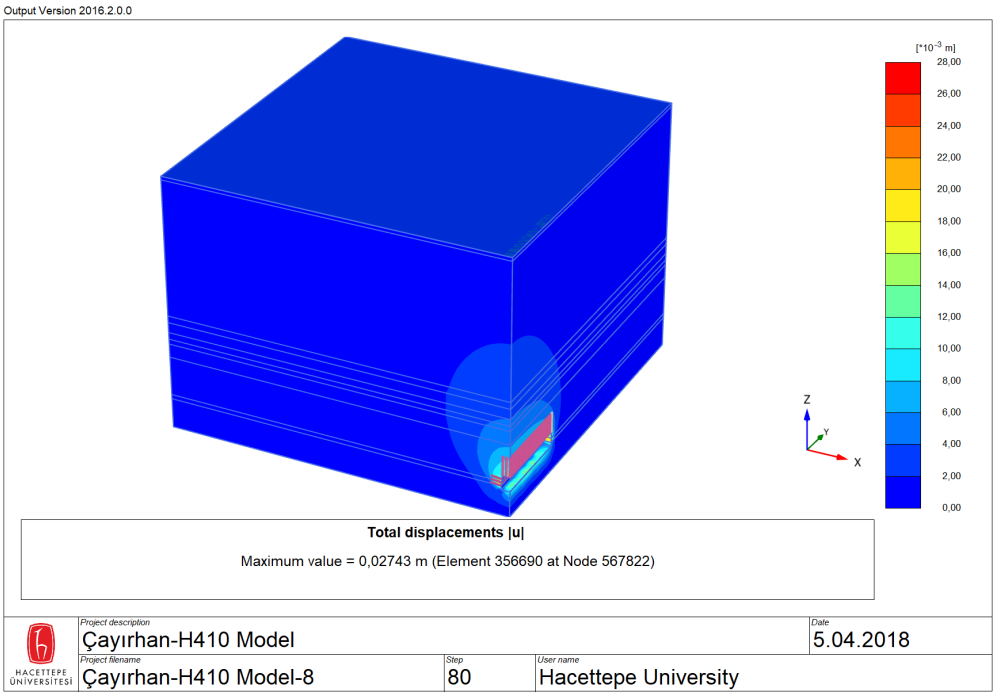
Çelik halat olarak tavanda 15.8 mm çapında, Sınıf 1860 (270) öngerilmeli beton demeti kullanılmıştır. 12 aşamada gerçekleşen kazı ve tahkimat operasyonları tamamlandıktan sonra modelin deforme olmuş hali Şekil 3.50'de verilmiştir. Model kütlesel olarak incelendiğinde deformasyon miktarı 22.40 cm olarak gözükmektedir. Yapısal elemanlar incelendiği zaman bu değerler daha düşük miktarlardadır. Deformasyon sonrası H410 alt taban yolu galerisinin nihai durumu Şekil 3.51'de verilmiştir.



Şekil 3.50. Çelik halat modeli deforme olmuş hali (Model 1)

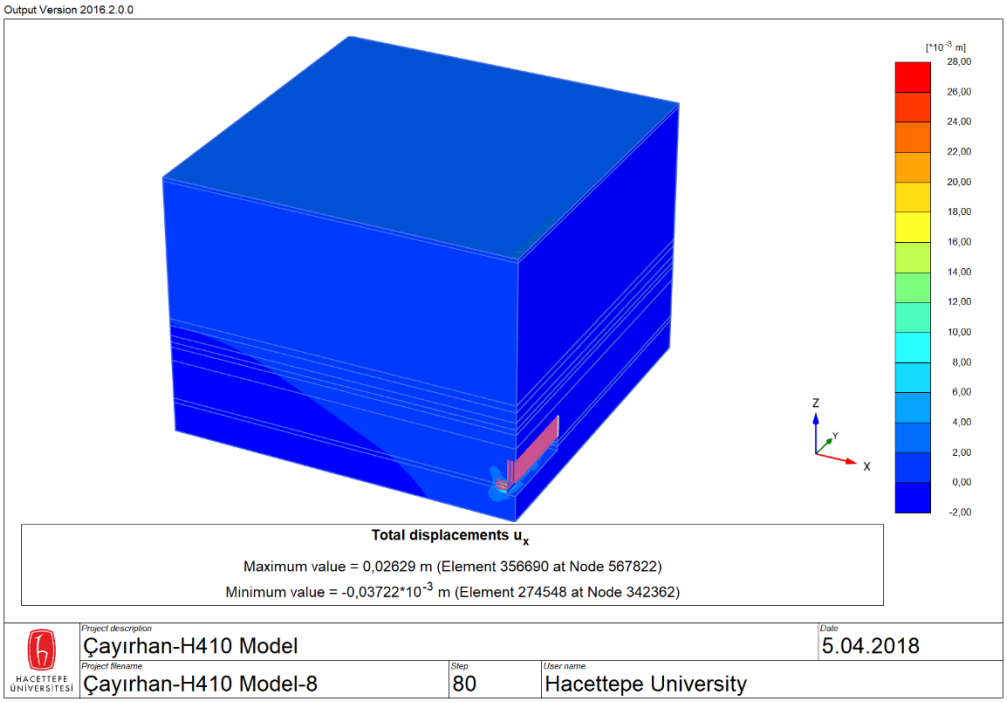


Şekil 3.51. Deformasyon sonrası H410 galeri görünümü (Model 1)



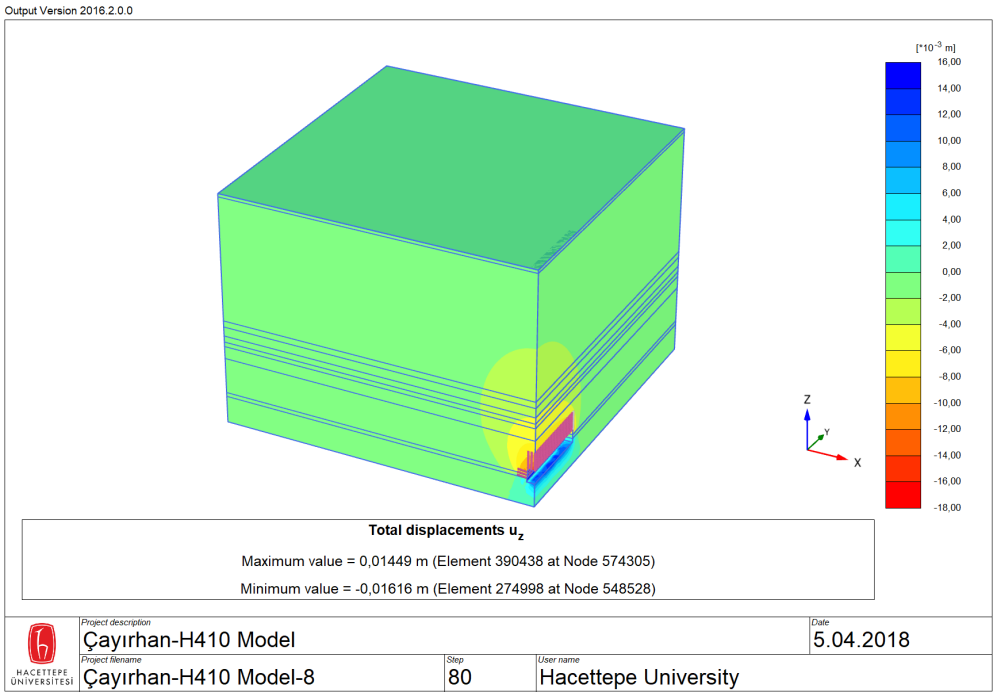
Şekil 3.52. Yapısal elemanlarda oluşan toplam deplasmanlar (Model 1)

Yapısal elemanlardaki deplasmanlar kazı – tahkimat operasyonları sonucunda 2.74 cm olarak meydana gelmiştir. (Şekil 3.52)



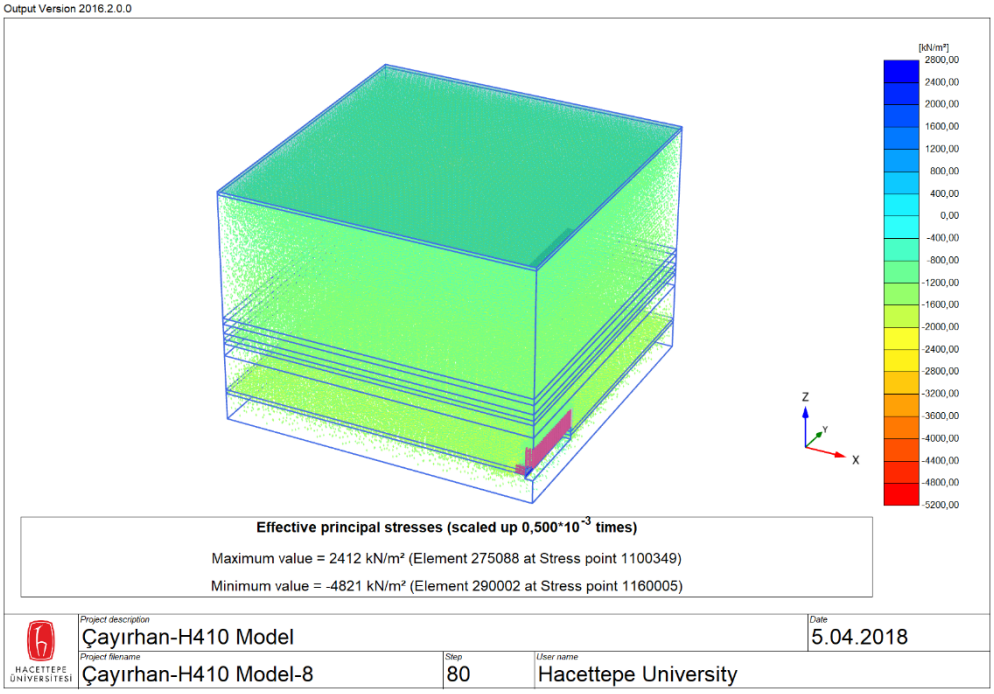
Şekil 3.53. Yapısal elemanlarda oluşan yatay yöndeki deplasmanlar (Model 1)

Yapısal elemanlarda yatay deplasmanlar 2.62 cm olarak görülmektedir. (Şekil 3.53)



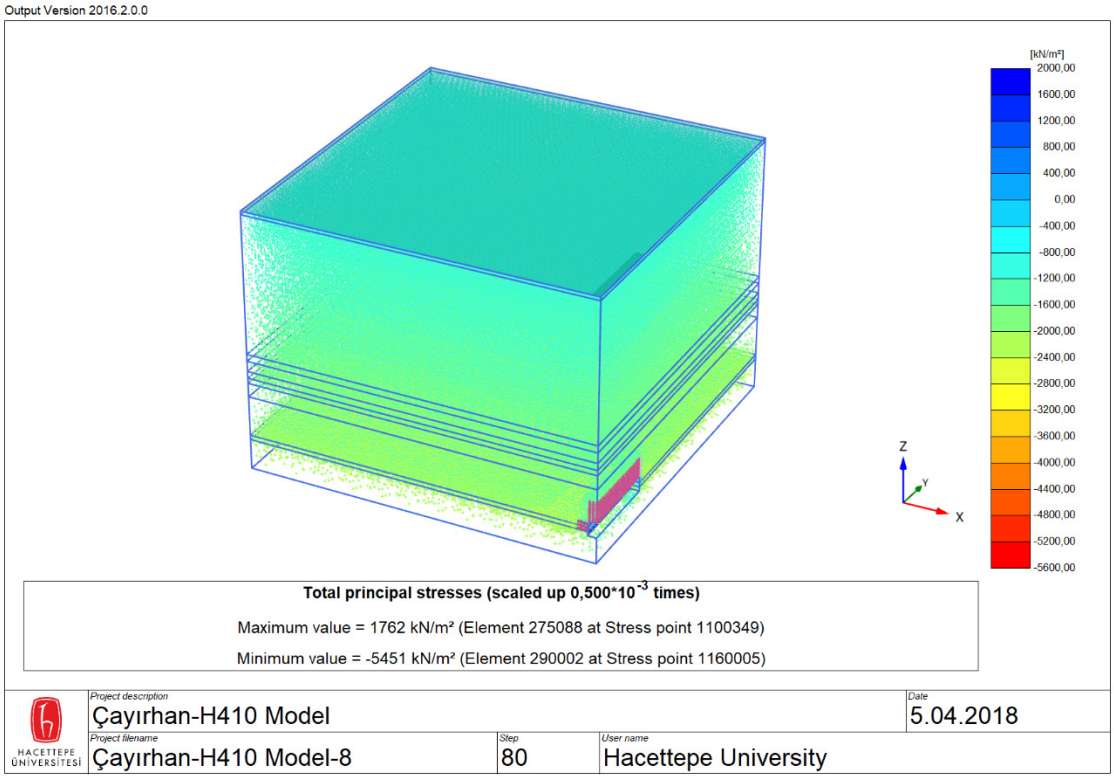
Şekil 3.54. Yapısal elemanlarda oluşan düşey yöndeki deplasmanlar (Model 1)

Modeldeki yapısal elemanlarda oluşan düşey yöndeki deplasmanlar 1.61 cm'dir. (Şekil 3.54)



Şekil 3.55. Modelde oluşan efektif gerilmeler (Model 1)

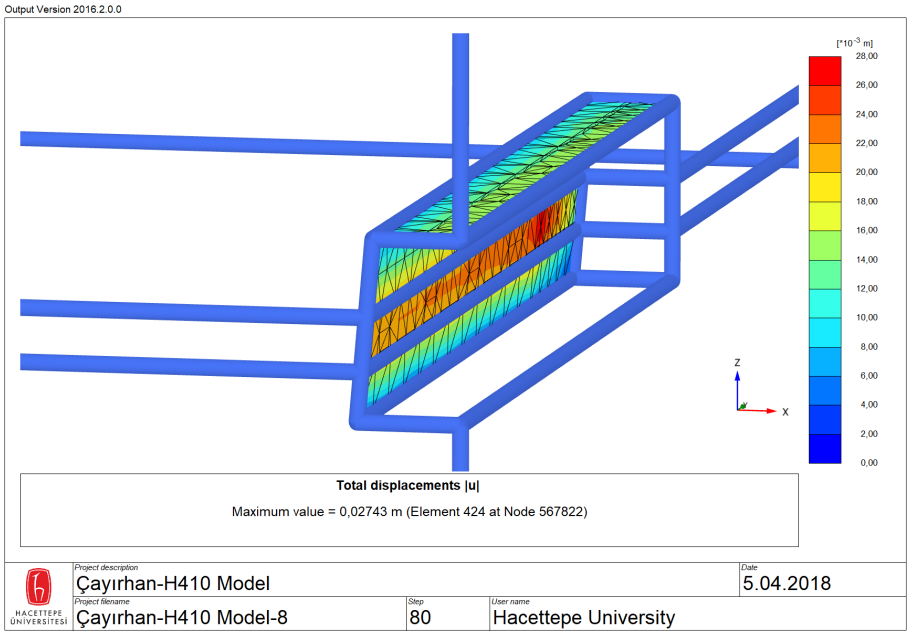
Efektif gerilmeler 4,8 MPa olarak gözükmektedir. (Şekil 3.55)



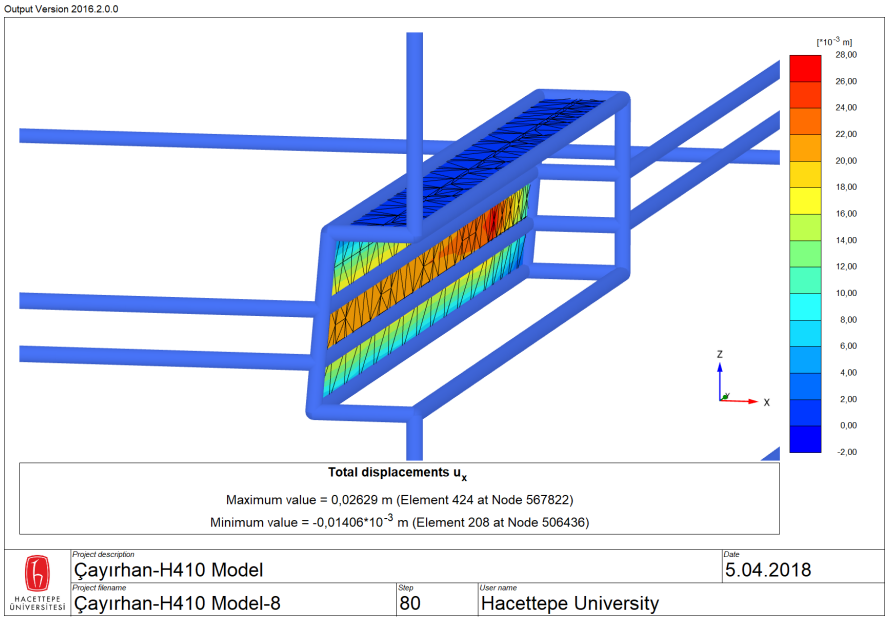
Şekil 3.56. Modelde oluşan toplam gerilmeler (Model 1)

Modeldeki toplam gerilmeler 5,45 MPa'dır. Modelleme çalışmalarında galeriden 50 m yukarıda yeraltı suyu tablası tanımlanmıştır. Bu sebeple toplam gerilmeler, efektif gerilmelerden daha yüksektir. 0,63 MPa büyüklüğünde yeraltı suyu kaynaklı bir gerilme mevcuttur. (Şekil 3.56)

Yapısal elemanlarda meydana gelen deplasmanlar ve üzerlerine binen yükler detaylı olarak incelendiğinde, püskürtme beton+çelik hasırda oluşan toplam deplasman miktarı 2.74 cm olarak gerçekleşmiştir. Maksimum değerler galerinin yan duvarlarında gözlenmektedir. (Şekil 3.57)

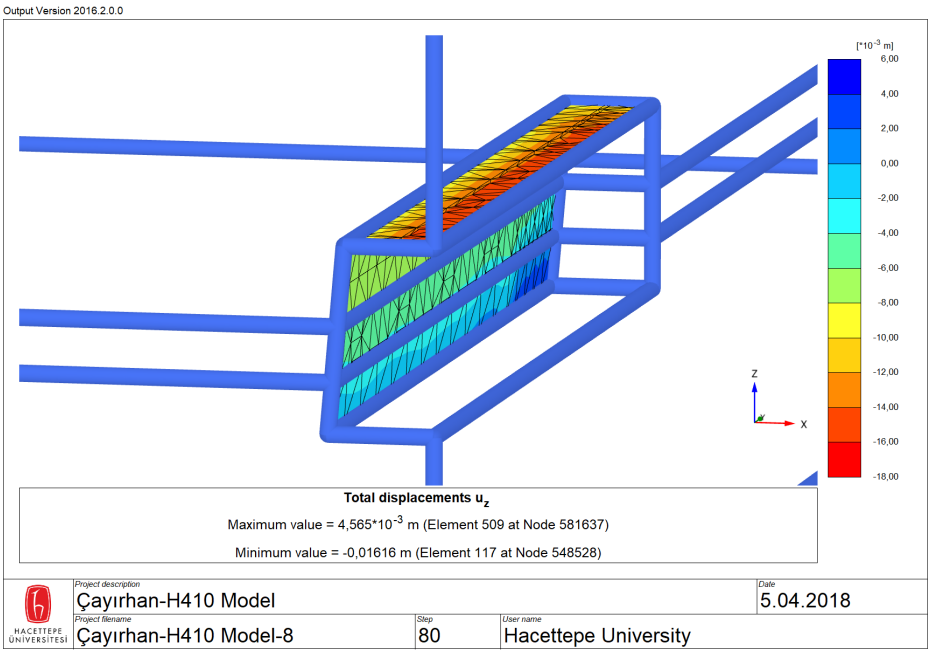


Şekil 3.57. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan toplam deplasmanların görünümü (Model 1)



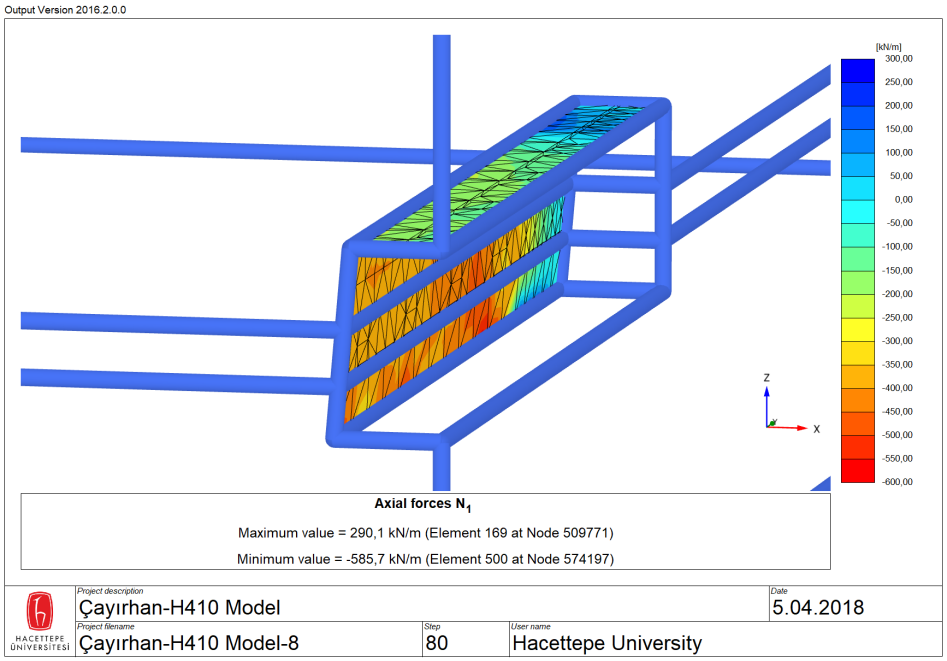
Şekil 3.58. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan yatay deplasmanların görünümü (Model 1)

Püskürtme beton+çelik hasırda modelleme sonucunda yatay deplasman miktarı 2.62 cm'dir. Beklendiği üzere deplasmanların büyük çoğunluğu yanal baskıdan dolayı meydana gelmektedir. (Şekil 3.58)



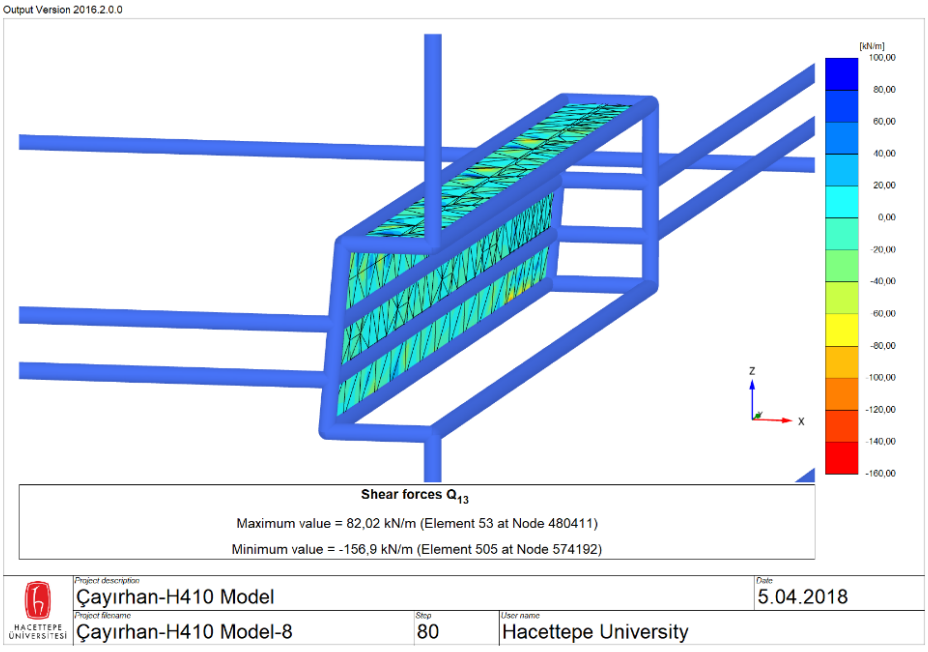
Şekil 3.59. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan düşey deplasmanların görünümü (Model 1)

Modelleme sonucunda püskürtme beton+çelik hasırda düşey deplasman 1.61 cm olarak galeri tavanında meydana gelmiştir. (Şekil 3.59)



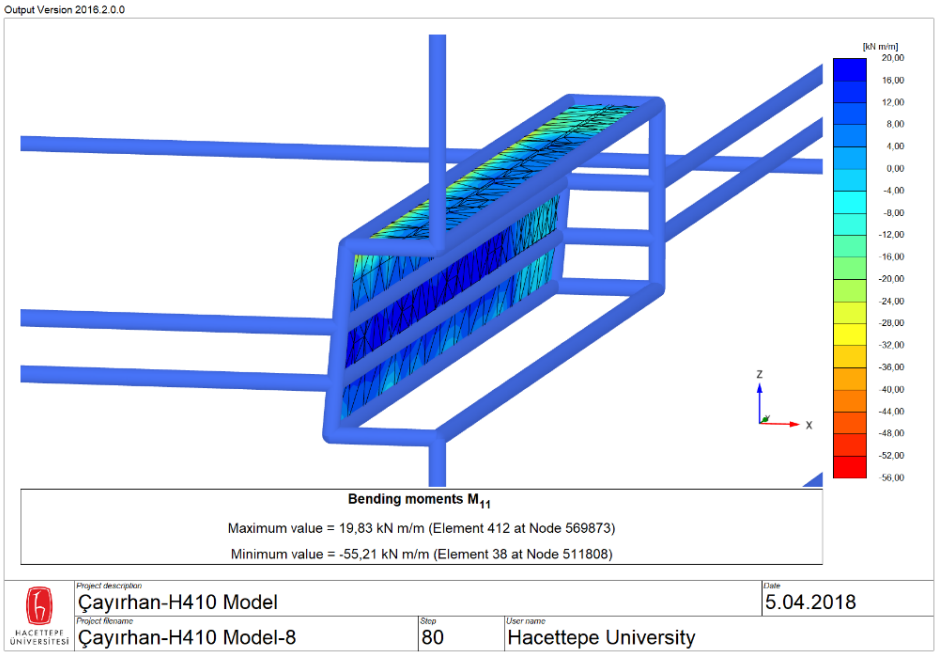
Şekil 3.60. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eksenel kuvvetler (Model 1)

Modelleme sonrası püskürtme beton+çelik hasırda oluşan maksimum eksenel kuvvet 586 kN/m (58.6 ton /m) olarak galerinin yan duvarlarında gerçekleşmiştir. (Şekil 3.60)



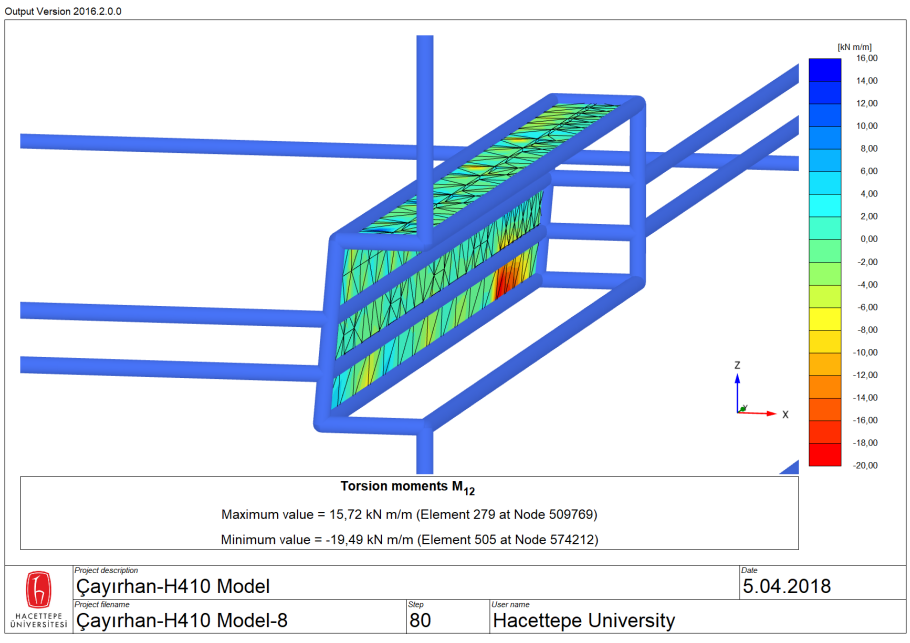
Şekil 3.61. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan kesme kuvvetleri (Model 1)

Modelleme sonrası püskürtme beton+çelik hasırda oluşan maksimum kesme kuvveti 157 kN/m (15.7 ton/m) olarak görülmektedir. (Şekil 3.61)



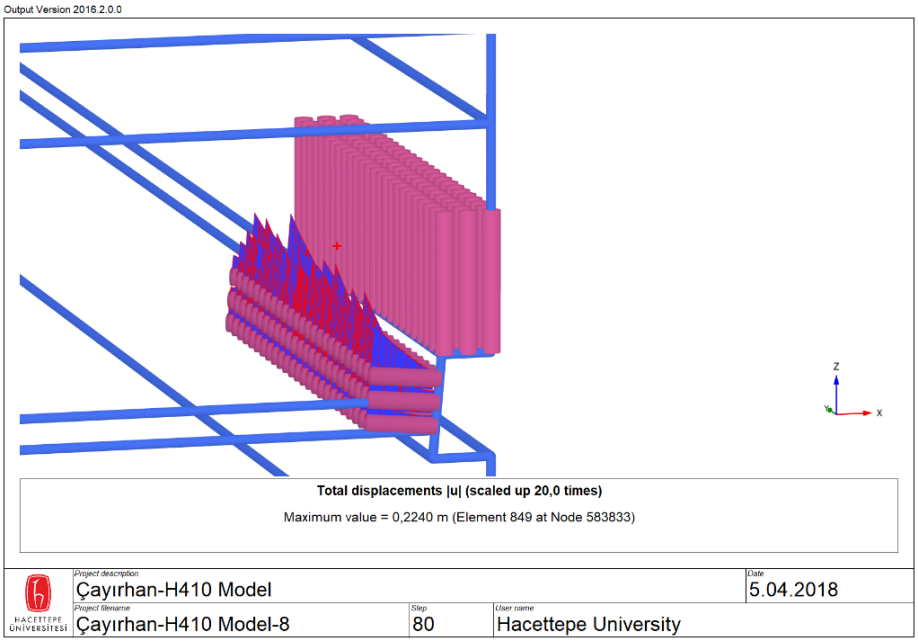
Şekil 3.62.Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eğilme momenti (Model 1)

Modelleme sonrası püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eğilme momenti 55 kN m/m (5.5 ton m/m) olarak görülmektedir. (Şekil 3.62)



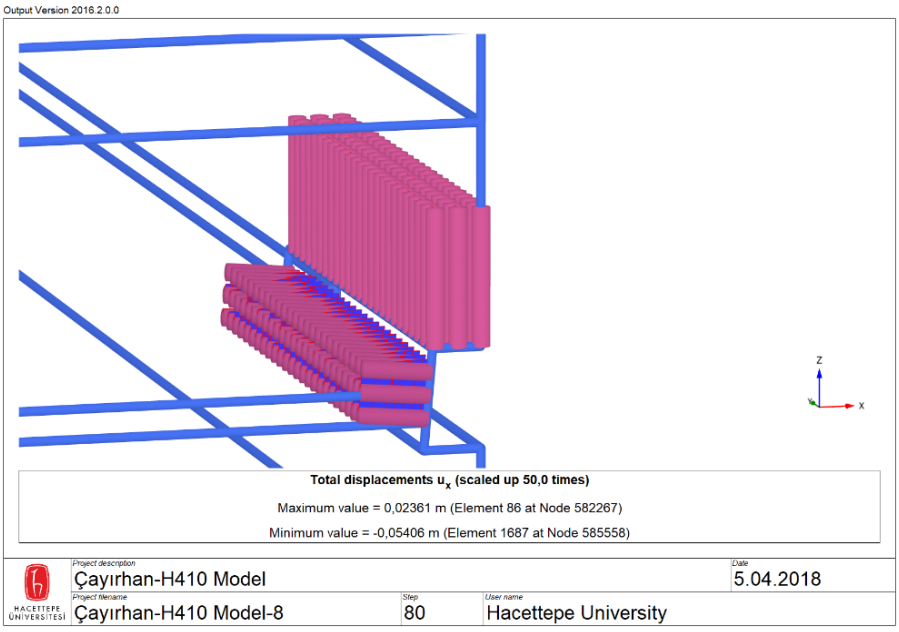
Şekil 3.63. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan burulma momenti (Model 1)

Modelleme sonucunda püskürtme beton+çelik hasırda oluşan maksimum burulma momenti 19.5 kN m/m (1.95 ton m/m) olarak galerinin taban köşelerinde gerçekleşmiştir. (Şekil 3.63)



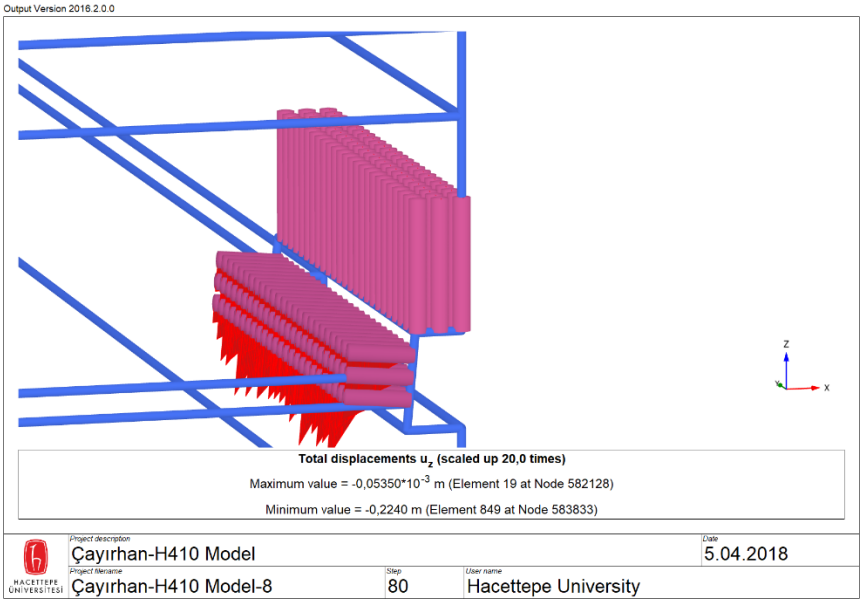
Şekil 3.64. Kaya saplamalarında oluşan toplam deplasmanlar (Model 1)

Kaya saplamalarındaki toplam deplasman miktarı 22.40 cm'dir. (Şekil 3.64)



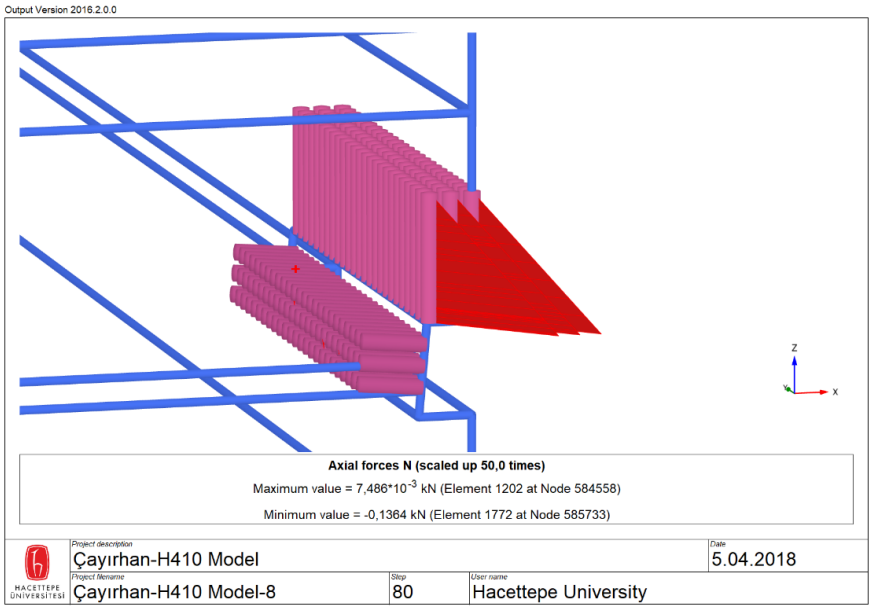
Şekil 3.65. Kaya saplamalarında oluşan yatay deplasmanlar (Model 1)

Kaya saplamalarındaki maksimum yatay deplasman, 2.23 cm olarak galeri yanlarındaki fiber saplamalarda gerçekleşmiştir. (Şekil 3.65)



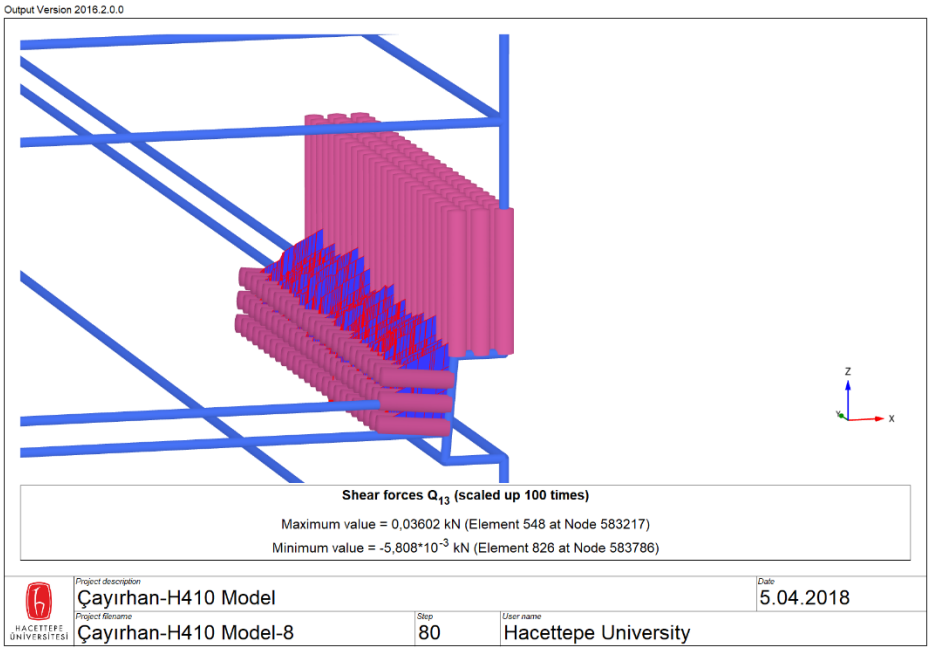
Şekil 3.66. Kaya saplamalarında oluşan düşey deplasmanlar (Model 1)

Kaya saplamalarında oluşan maksimum düşey deplasman 22.40 cm olarak galeri yanlarındaki fiber saplamalardadır. Çelik halat saplamalar yeterli tahkimat basıncını sağlamış, fiber saplamalar esnek performansları sayesinde, fazla tahkimat basıncı oluşmasını önleyerek kaya kütlesi içinde enerji birikmesini önlemiştir. (Şekil 3.66)



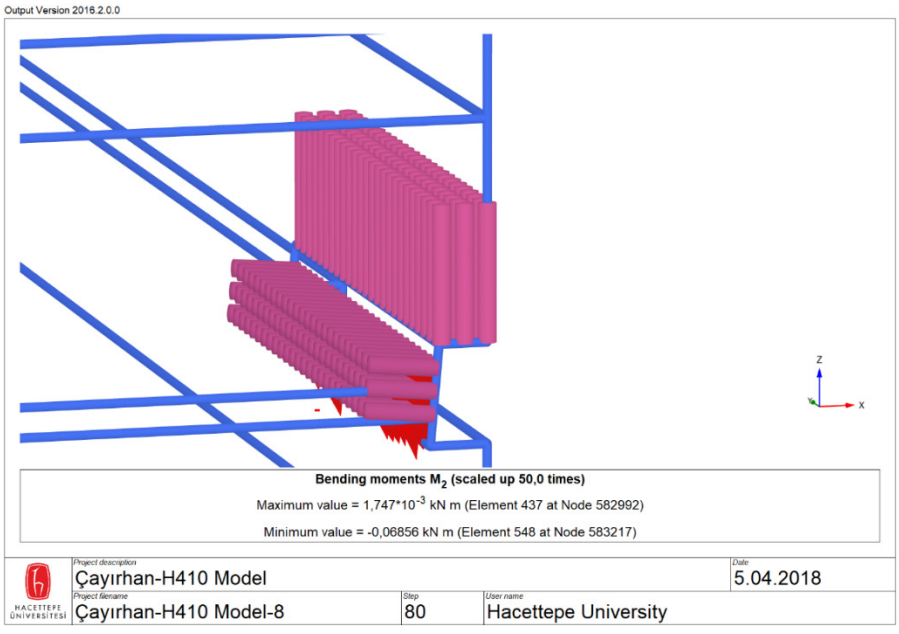
Şekil 3.67. Kaya saplamalarında oluşan eksenel kuvvetler (cable bolts)

Yük taşıma kapasitesine göre kaya saplamalarında maksimum 0.14 kN (yaklaşık 14 kg) civarında oldukça düşük kuvvetler meydana gelmiştir. (Şekil 3.67)



Şekil 3.68. Kaya saplamalarında oluşan kesme kuvvetleri (Model 1)

Şekil 3.68'e göre saplamalar üzerinde önemli bir kesme kuvveti oluşmamaktadır. Saplama yük taşıma kapasitesine göre maksimum 0.04 kN gibi oldukça düşük bir kuvvet mevcuttur.

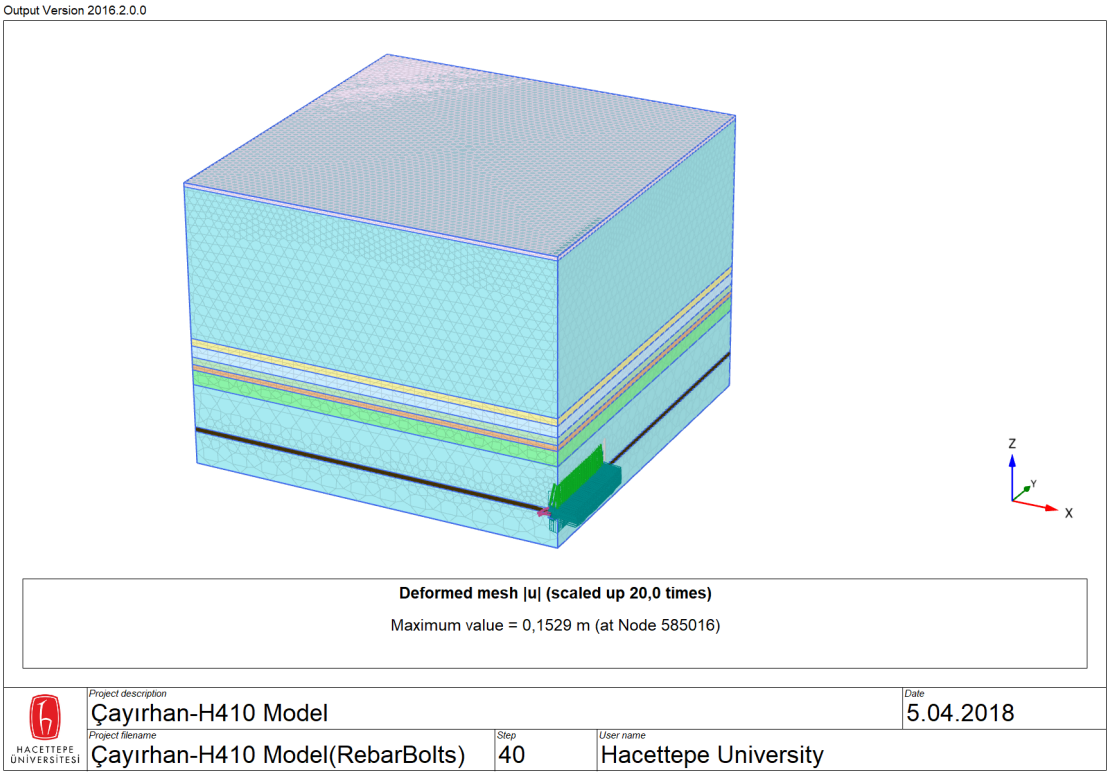


Şekil 3.69. Kaya saplamalarında oluşan eğilme momenti (Model 1)

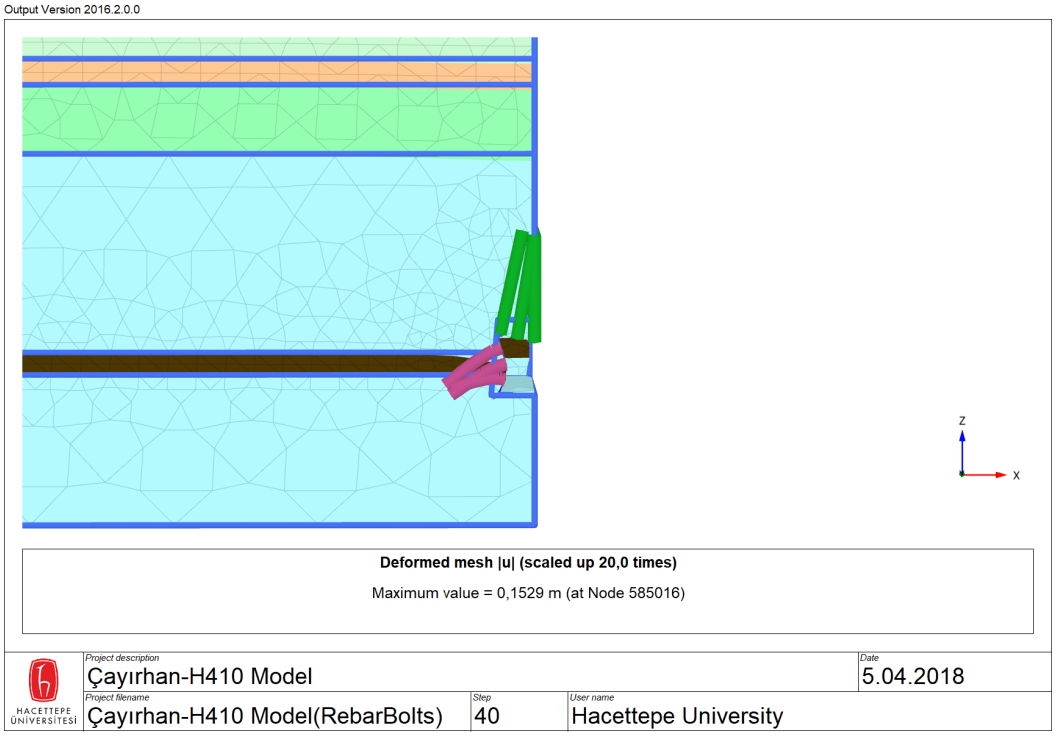
Kaya saplamalarındaki eğilme momenti, saplama yük taşıma kapasitesine göre maksimum 0.07 kN gibi oldukça düşük bir miktardadır. (Şekil 3.69)

3.5.2. İkinci Model: Tavan Saplaması Olarak Nervürlü Demir (Model 2)

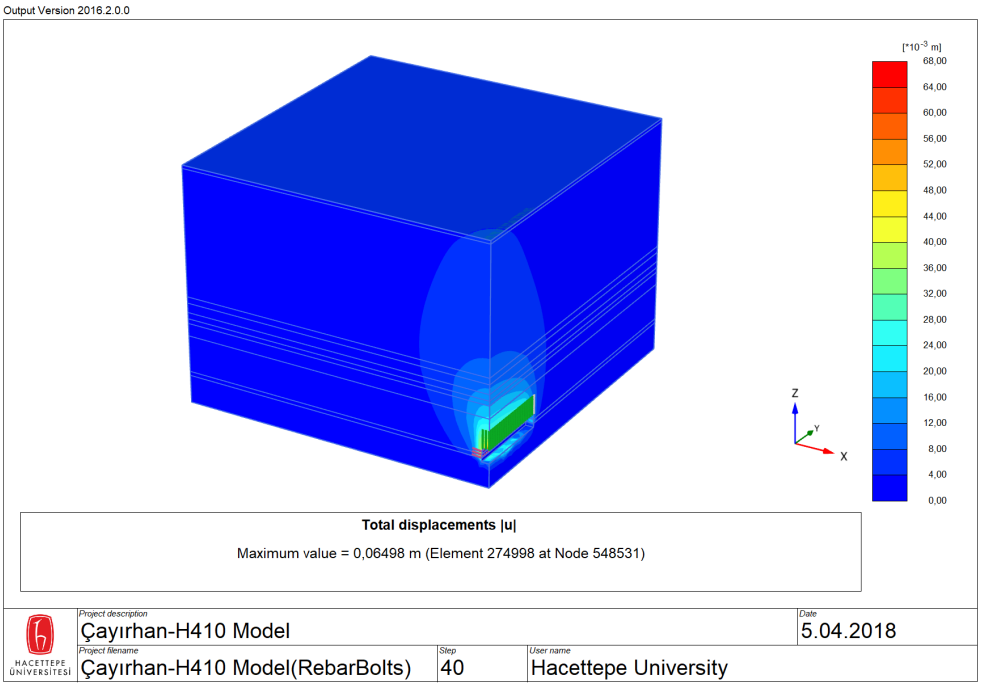
Bir önceki modellemeden farklı olarak, 16 mm çapındaki B500B tipteki nervürlü demirlerin alternatif tavan saplaması olarak kullanıldığı modelde, 12 aşamada gerçekleşen kazı ve tahkimat operasyonları tamamlandıktan sonra modelin deforme olmuş hali Şekil 3.70'deki gibidir. Modeldeki toplam deformasyon miktarı 15.29 cm'dir. Deformasyon sonrası H410 alt taban yolu galerisinin nihai durumu Şekil 3.71'de verilmiştir. Yan duvarlardaki yoğun baskının etkisiyle oluşan deformasyonun galeri kesidinde daralmaya sebep olduğu gözlenmiştir. İlk modeldeki gibi yapısal elemanlarda meydana gelen deformasyonlar daha azdır. Ancak burada önemli olan, maksimum deformasyonların hangi yapısal elemanlarda meydana geldiğidir. Ayrıca tavan saplamalarından, yan duvara yakın olanların da deplasmanlarla birlikte doğrultularının değiştiği görülmektedir.



Şekil 3.70. Nervürlü demir modeli deforme olmuş hali (Model 2)

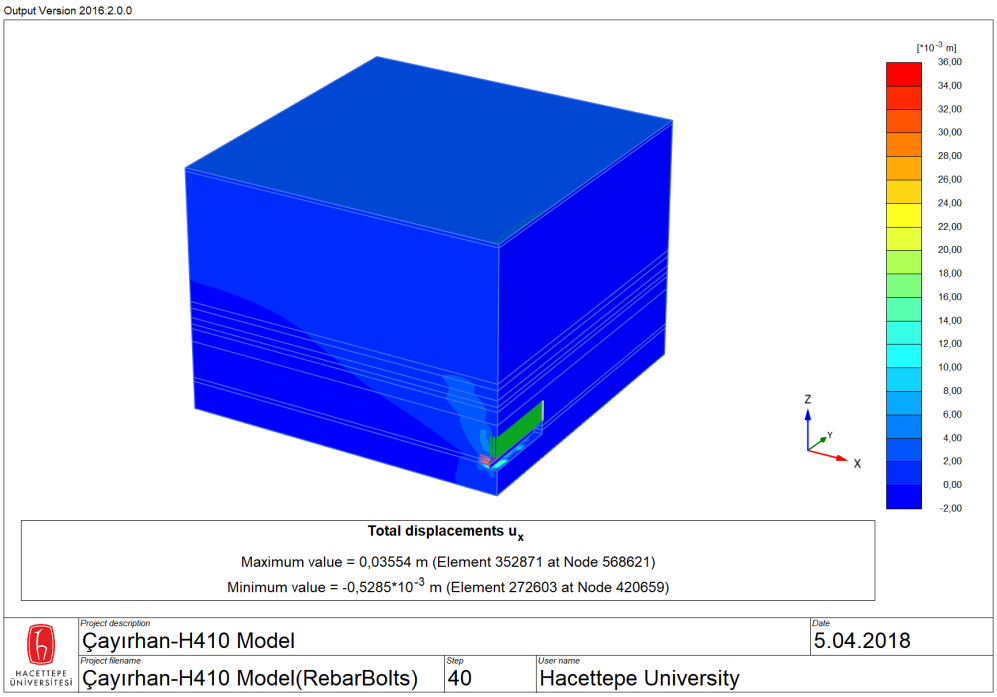


Şekil 3.71. Deformasyon sonrası H410 galeri görünümü (Model 2)



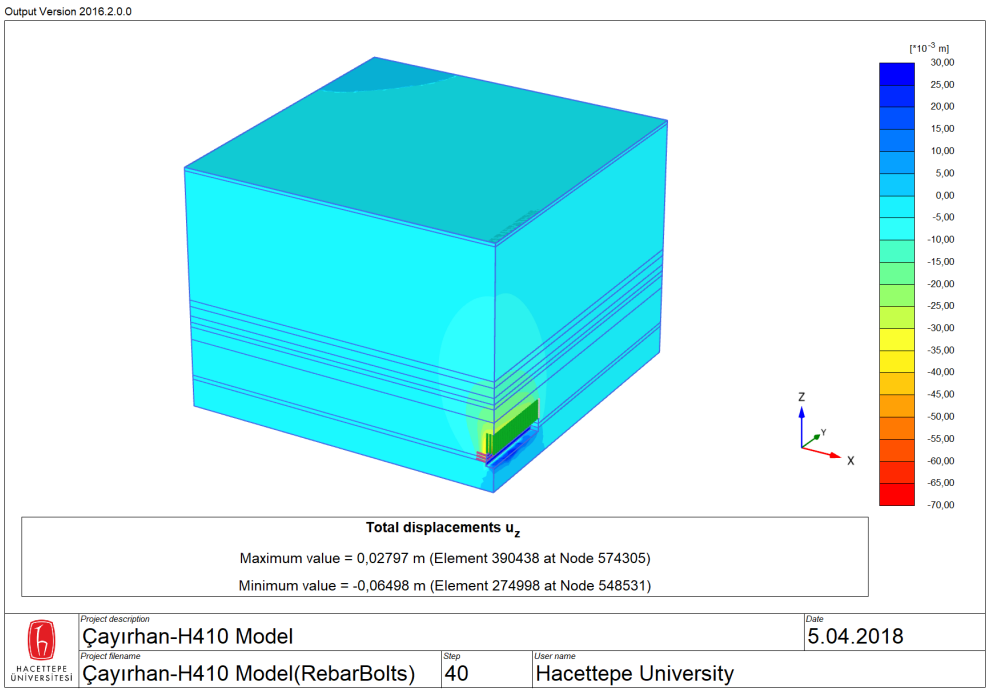
Şekil 3.72. Yapısal elemanlarda oluşan toplam deplasmanlar (Model 2)

Şekil 3.72 incelendiğinde yapısal elemanlardaki deplasmanların 6.49 cm olduğu görülmektedir.



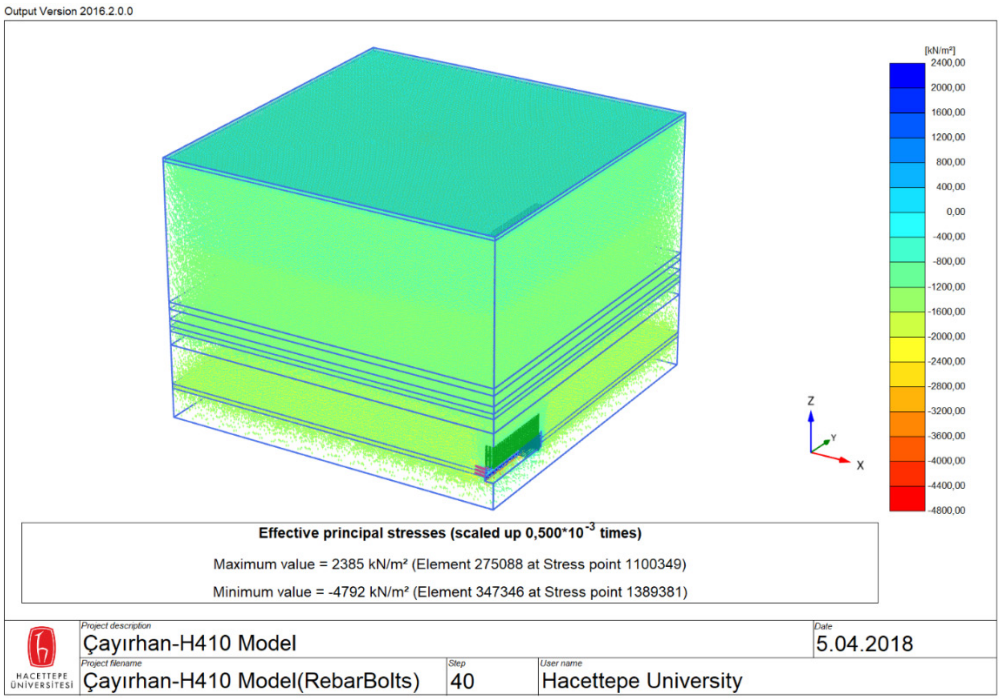
Şekil 3.73. Yapısal elemanlarda oluşan yatay yöndeki deplasmanlar (Model 2)

Yatay deplasmanlar yapısal elemanlarda maksimum 3.55 cm'dir. (Şekil 3.73)



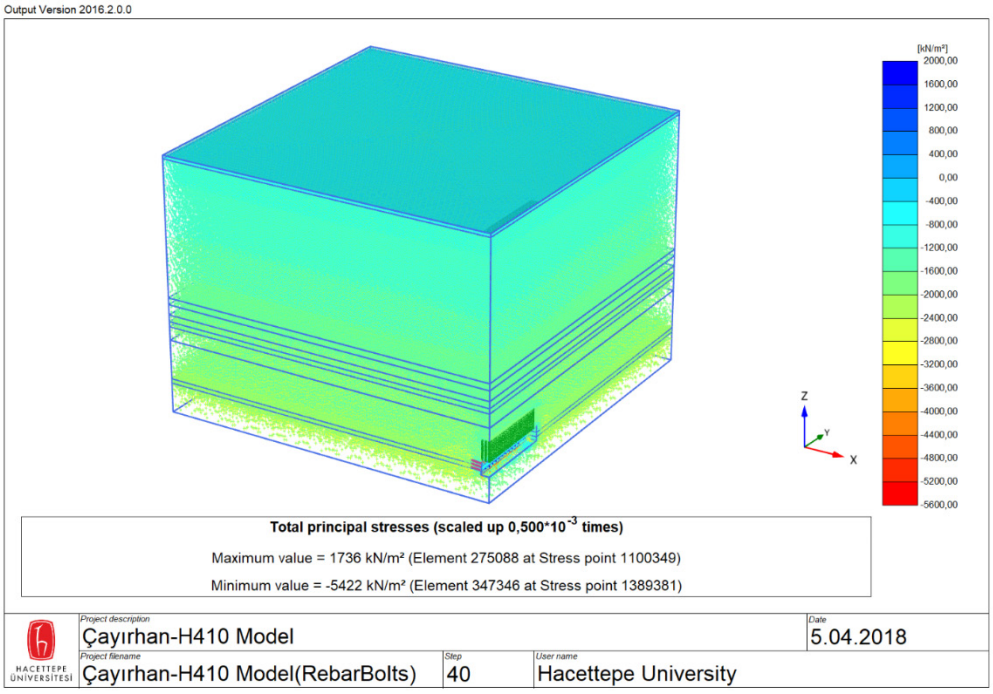
Şekil 3.74. Yapısal elemanlarda oluşan düşey yöndeki deplasmanlar (Model 2)

Yapısal elemanlardaki düşey yöndeki deplasmanlar 6.49 cm'dir. (Şekil 3.74)



Şekil 3.75. Modelde oluşan efektif gerilmeler (Model 2)

Modeldeki en yüksek efektif gerilmeler 4,8 MPa'dır. (Şekil 3.75)

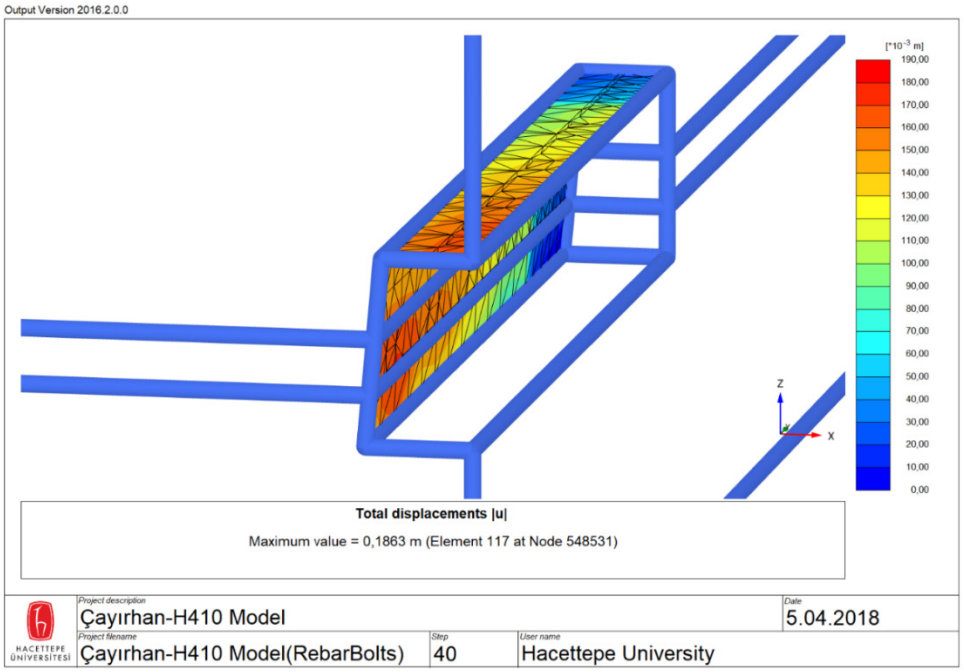


Şekil 3.76. Modelde oluşan toplam gerilmeler (Model 2)

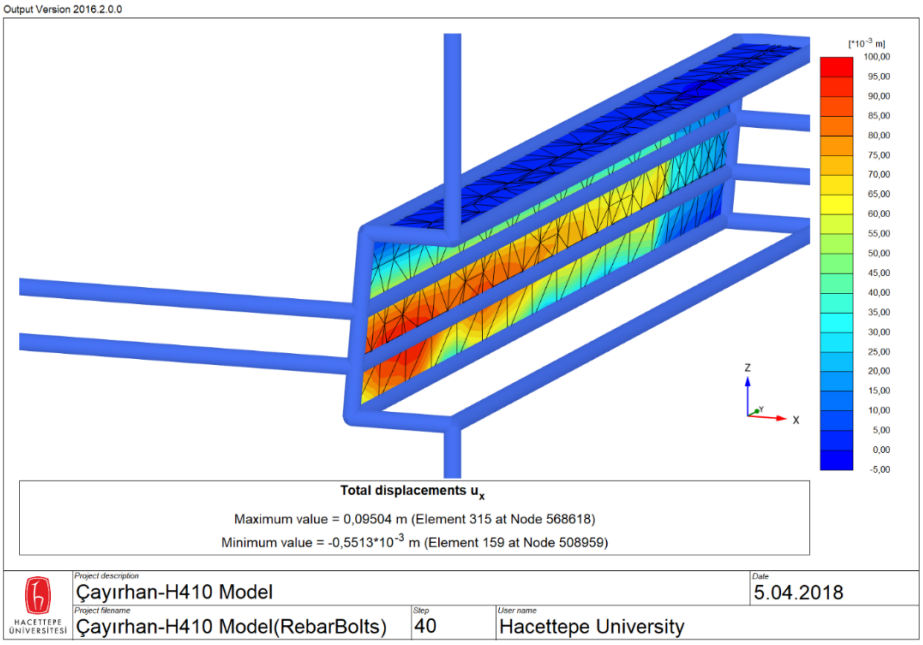
Modeldeki toplam gerilmeler 5,4 MPa'dır (Şekil 3.76). Modelleme çalışmalarında galeriden 50 m yukarıda yeraltı suyu tablası tanımlanmıştır. Bu yüzden toplam gerilmeler, efektif

gerilmelerden daha yüksektir. 0,63 MPa büyüklüğünde yeraltı suyu kaynaklı bir gerilme mevcuttur.

Yapısal elemanlarda meydana gelen deplasmanlar ve üzerlerine binen yükler detaylı olarak yakından incelendiğinde, püskürtme beton+çelik hasırda oluşan toplam deplasman miktarı 18.63 cm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3.77). Yüksek deplasmanlar genellikle arının 20-25 m gerisindeki bölgelerde gözlenmektedir.

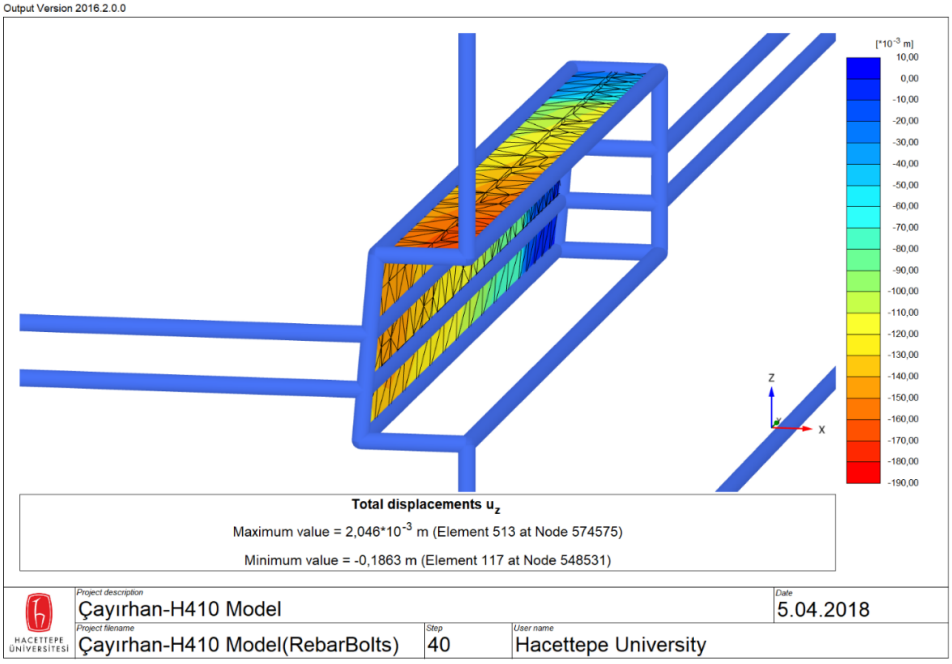


Şekil 3.77. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan toplam deplasmanların görünümü (Model 2)



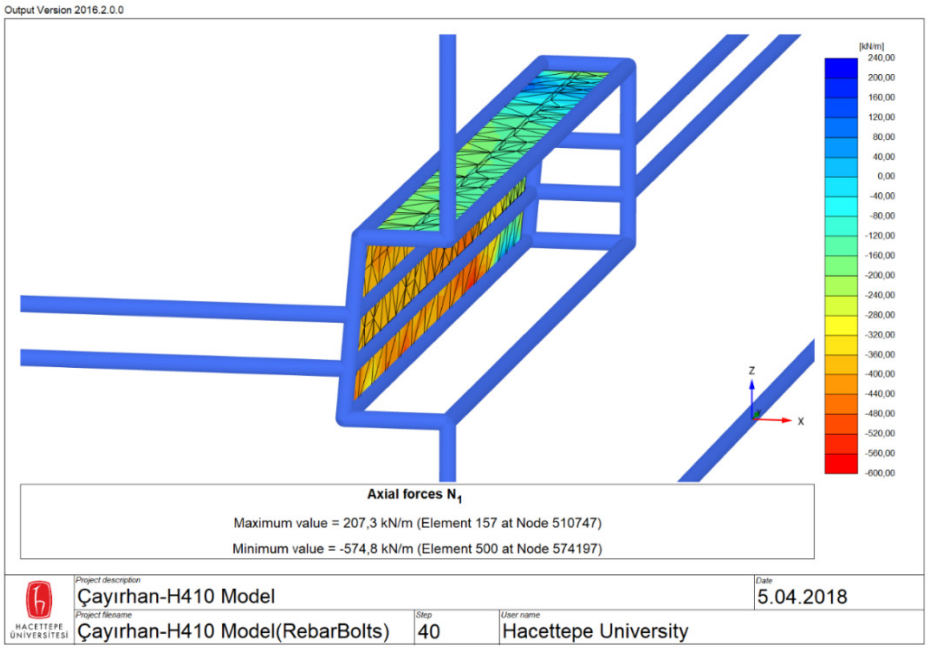
Şekil 3.78. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan yatay deplasmanların görünümü (Model 2)

Maksimum yatay deplasmanlar arından 25 m geride 9.5 cm olarak oluşmuştur. (Şekil 3.78)



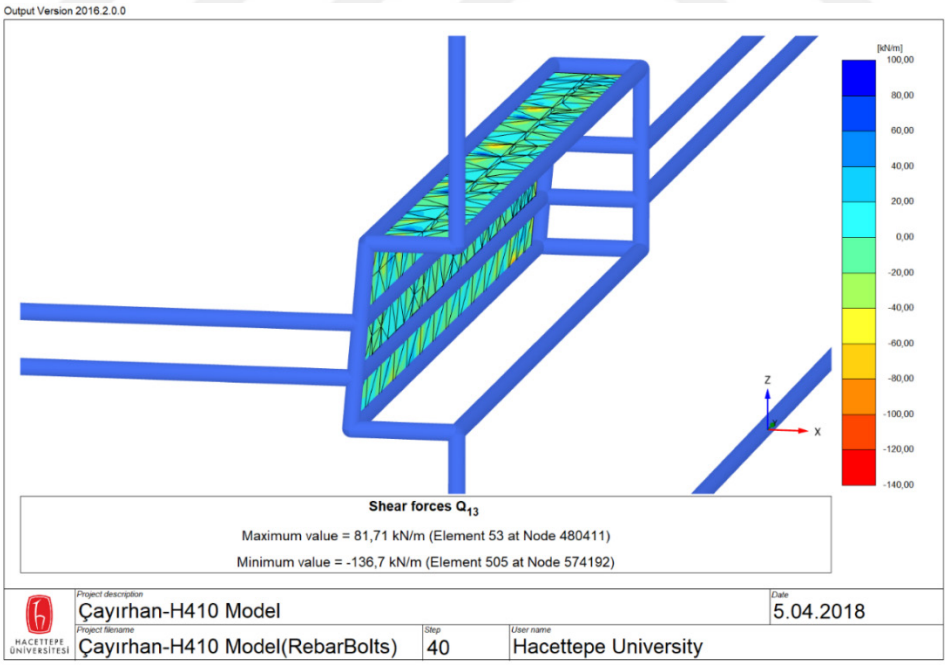
Şekil 3.79. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan düşey deplasmanların görünümü (Model 2)

Arından 25 m gerideki ilk iki sıra saplamaların olduğu bölgede düşey deplasmanlar, tavanda 18.63 cm'dir. Arına doğru deplasmanlar 2-3 cm'lere kadar düşmektedir. (Şekil 3.79)



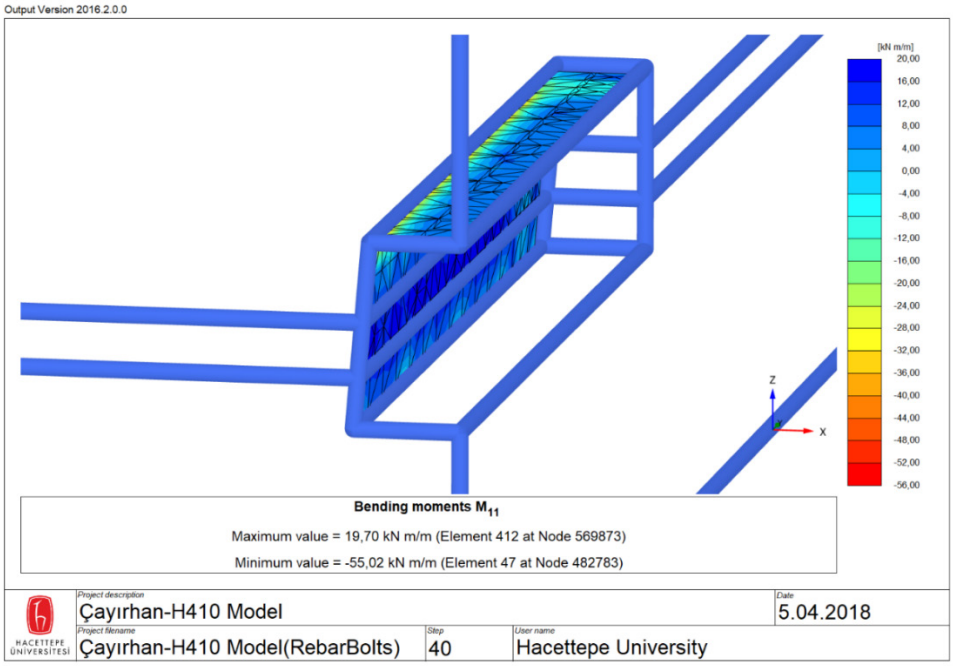
Şekil 3.80. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eksenel kuvvetler (Model 2)

Püskürtme beton+çelik hasırda meydana gelen eksenel kuvvetler 575 kN/m (57.5 ton/m) olarak gözükmektedir. (Şekil 3.80)



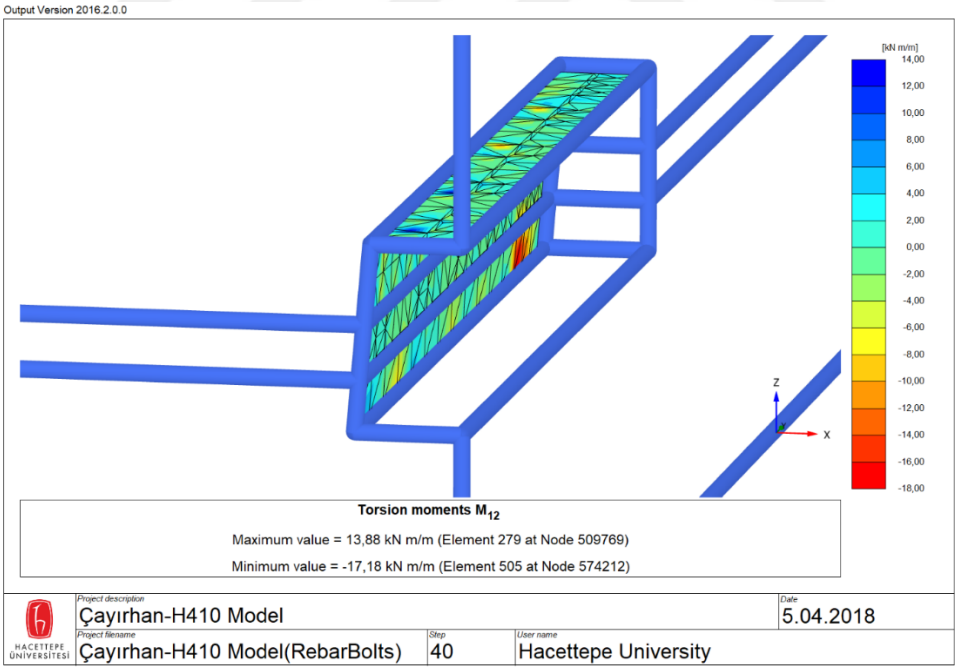
Şekil 3.81. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan kesme kuvvetleri (Model 2)

Modelleme sonrası püskürtme beton+çelik hasırda oluşan maksimum kesme kuvveti 137 kN/m (13.7 ton/m) olarak görülmektedir. (Şekil 3.81)



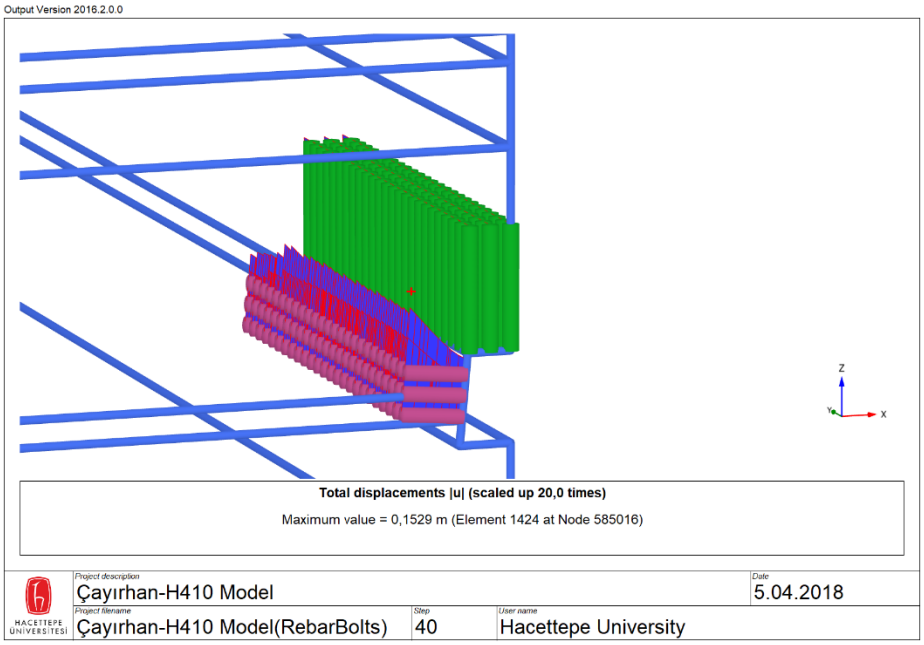
Şekil 3.82. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eğilme momenti (Model 2)

Modelleme sonrası püskürtme beton+çelik hasırda oluşan eğilme momenti 55 kN m/m (5.5 ton m/m) olarak görülmektedir. (Şekil 3.82)



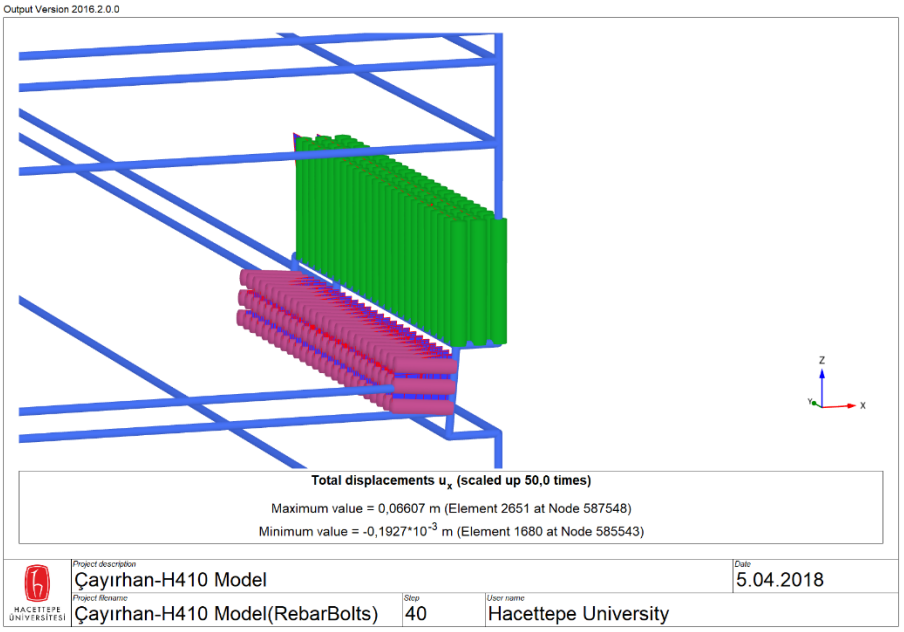
Şekil 3.83. Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan burulma momenti (Model 2)

Püskürtme beton+çelik hasırda oluşan maksimum burulma momenti 17.2 kN m/m (1.72 ton m/m)'dir. (Şekil 3.83)



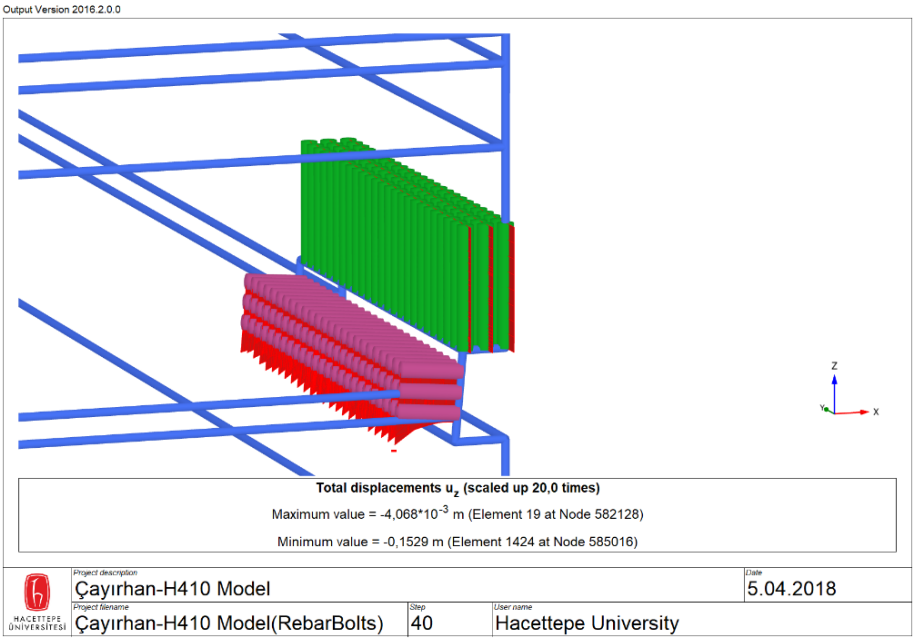
Şekil 3.84. Kaya saplamalarında oluşan toplam deplasmanlar (Model 2)

Kaya saplamalarında oluşan toplam deplasmanlar 15.29 cm olarak görülmektedir. (Şekil 3.84)



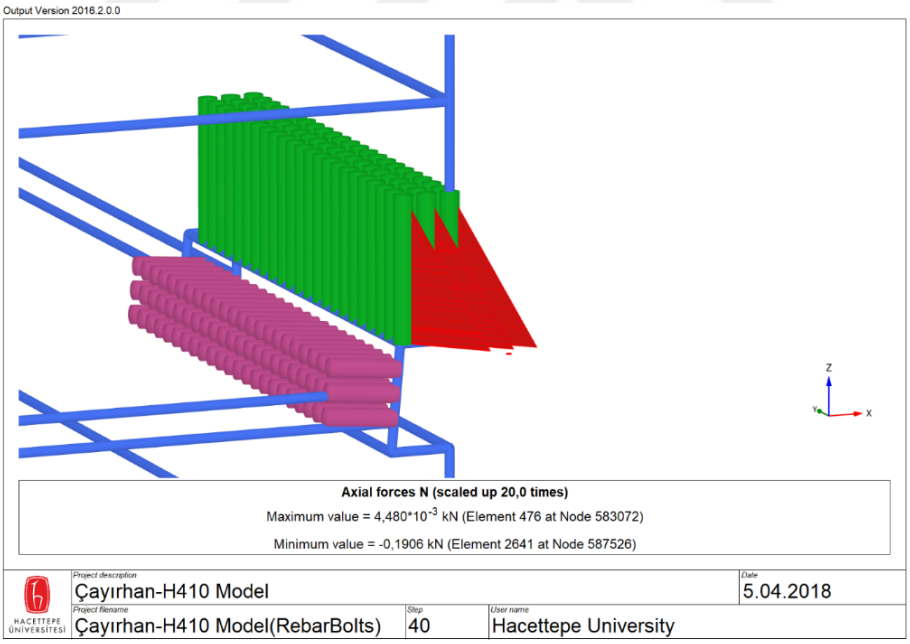
Şekil 3.85. Kapa saplamalarında oluşan yatay deplasmanlar (Model 2)

Modelleme sonucunda yatay yöndeki deplasmanlar 6.66 cm'dir. (Şekil 3.85)



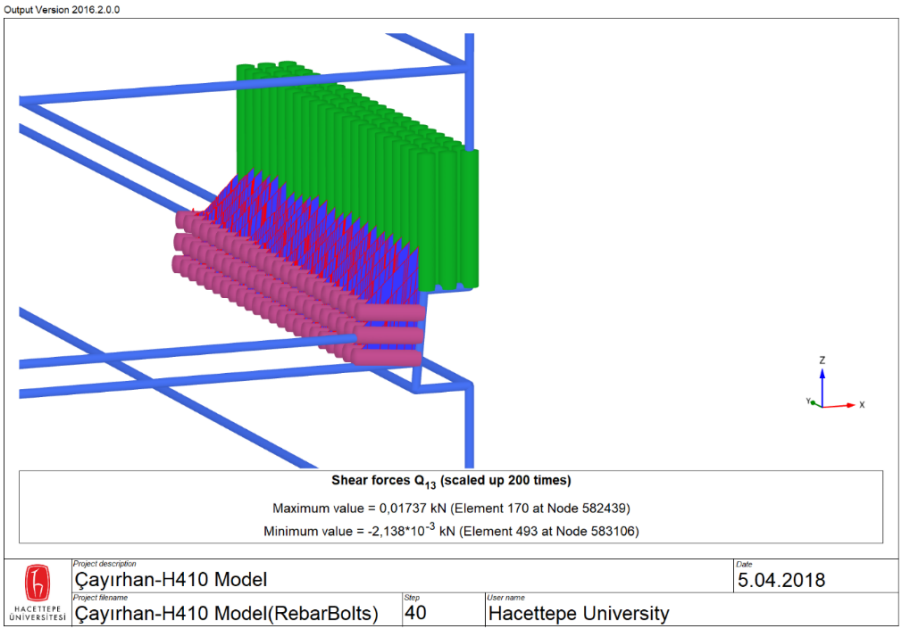
Şekil 3.86. Kaya saplamalarında oluşan düşey deplasmanlar (Model 2)

Kaya saplamalarında oluşan yüksek deplasmanlar düşey yönde 15.29 cm olarak gözlenmiştir. (Şekil 3.86)



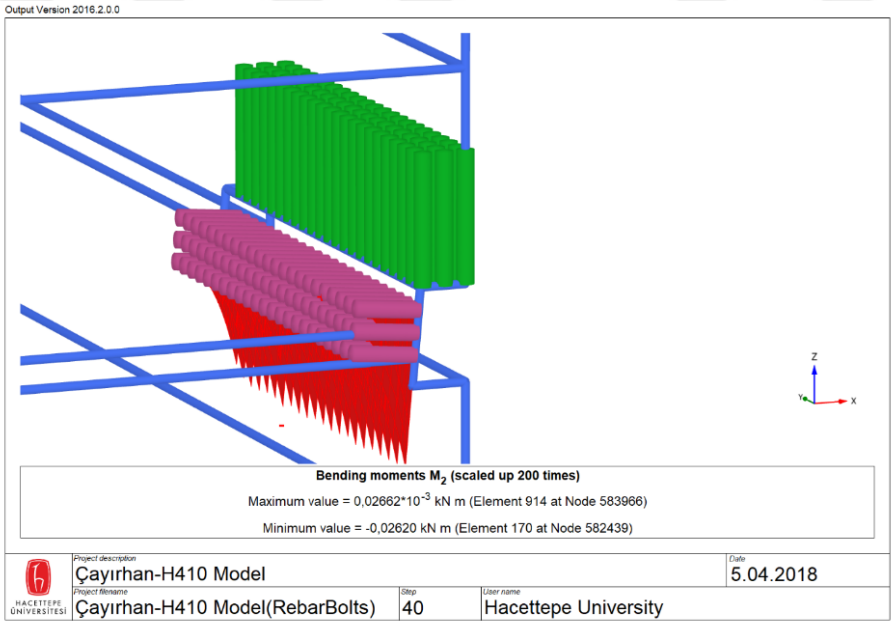
Şekil 3.87. Kaya saplamalarında oluşan eksenel kuvvetler (Model 2)

Modelleme sonucunda nihai durumda kaya saplamalarında oluşan eksenel kuvvetler 0.20 kN olarak görünmektedir. (Şekil 3.87)



Şekil 3.88. Kaya saplamalarında oluşan kesme kuvvetleri (Model 2)

Şekil 3.88'e göre saplamalar üzerinde yük taşıma kapasiteleri göz önünde bulundurulduğunda, önemli bir kesme kuvveti oluşmamaktadır. Maksimum yaklaşık 0.02 kN gibi oldukça düşük bir kuvvet mevcuttur. (Şekil 3.88)



Şekil 3.89. Kaya saplamalarında oluşan eğilme momenti (Model 2)

Kaya saplamalarında yük taşıma kapasitelerine göre önemli bir eğilme momenti oluşmamaktadır. Maksimum değer 0.03 kN'dur. (Şekil 3.89)

Nümerik modelleme analizleri sonucunda tavan saplamaları olarak çelik halat, yan duvarlarda fiber saplama ve 30 cm kalınlığında püskürtme beton+çelik hasır uygulamasının yeterli olduğu görülmüştür. Düşük deplasmanlar ve saplamaların yük taşıma kapasitelerinin altında oluşan yükler, çelik rijit bağlar olmadan bu uygulamanın başarıyla gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Aynı zamanda bu düzen, yapılan proje kapsamında aynı şekilde sahada başarıyla uygulanmıştır.

İkinci alternatif modelde, kütleye daha rijit bir etki sağlayarak tavandaki deformasyona müsade etmeden, ileriki aşamalarda yüksek baskıdan kaynaklı oluşabilecek taban kabarmasına karşı önlem almak amacıyla, tavan saplamaları olarak nervürlü demirler modellenmiştir. Bu düzende nervürlü demirler, kablo saplamalara göre daha rijit performansları ve daha düşük olan yük kapasiteleri sebebiyle, kazının ilk aşamalarında karşılaştıkları yüksek eksenel kuvvetler sonucunda erken deformasyona uğramaya başlamış, zemin kontrolünü sağlayamadıkları için, artan yan baskılar sonucunda püskürtme beton+çelik hasır yapısında ciddi deformasyonlar meydana gelmiştir. Tavan saplamaları olan nervürlü demirlerin bu koşullarda yük taşıma kapasitelerinin yeterli olmadığı, bu nedenle kullanımlarının uygun olmadığı açıkça görülmektedir.

İki modellemeden elde edilen sonuçlar Çizelge 15'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 15. Çelik halat ve nervürlü demir modelleri nümerik analiz sonuçları

Nümerik Analiz Sonuçları		**Çelik Halat Modeli**	**Nervürlü Demir Modeli**
Model	Yapısal Elemanlardaki Toplam Deplasmanlar	2.74 cm	**6.49 cm**
	Yapısal Elemanlardaki Yatay Deplasmanlar	2.62 cm	3.55 cm
	Yapısal Elemanlardaki Düşey Deplasmanlar	1.61 cm	**6.49cm**
	Modelde Oluşan Efektif Gerilmeler	4,8 MPa	4,8 MPa
	Modelde Oluşan Toplam Gerilmeler	5,45 MPa	5,4 MPa
	Yeraltı Suyu Kaynaklı Gerilme	0,63 Mpa	0,63 MPa
Püskürtme Beton+Çelik Hasır	Toplam Deplasmanlar	2.74 cm	**18.63 cm**
	Yatay Deplasmanlar	2.62 cm	**9.50 cm**
	Düşey Deplasmanlar	1.61 cm	**18.63 cm**
	Maksimum Eksenel Kuvvet	586 kN/m (58.6 ton/m)	575 kN/m (57.5 ton/m)
	Maksimum Kesme Kuvveti	157 kN/m (15.7 ton/m)	137 kN/m (13.7 ton/m)
	Maksimum Eğilme Momenti	55 kN m/m (5.5 ton m/m)	55 kN m/m (5.5 ton m/m)
	Maksimum Burulma Momenti	19.5 kN m/m (1.95 ton m/m)	17.2 kN m/m (1.72 ton m/m)
Kaya Saplamaları	Toplam Deplasmanlar	**22.40 cm**	**15.29 cm**
	Yatay Deplasmanlar	2.23 cm	**6.61 cm**
	Düşey Deplasmanlar	**22.40 cm**	**15.29 cm**
	Maksimum Eksenel Kuvvet	0.14 kN	0.20 kN
	Maksimum Kesme Kuvveti	0.04 kN	0.02 kN
	Maksimum Eğilme Momenti	0.07 kN m	0.03 kN m

3.6. Çelik Rijit Bağlar ve Kaya Saplamalarının Maliyetlerinin Karşılaştırması

Bu aşamada rijit çelik bağların ve kaya saplamalarının (kablo ve fiber saplamalar), Park Termik Yeraltı Kömür Ocağındaki H310 taban yolundaki 24 m^2'lik galerilerdeki birim maliyetleri hesaplanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar sırasında birbirine en yakın birim maliyet farkını ortaya koyabilmek için kazı, elektrik, basınçlı hava, hidrolik bant ve zincirli konveyör ve delik delme gibi maliyetler hesaplamaya dahil edilmemiştir.

Şekil 3.90. H310 galeri tavanında uygulanan kaya saplamaları

3.6.1. Rijit Çelik Bağların Maliyet Hesaplaması

Montaj işlemi sırasında kullanılan her malzemenin birim sarf maliyetleri belirlenmiş ve 1 metrelik ilerlemede yapılan rijit çelik bağların toplam maliyetleri hesaplanmıştır. (Çizelge 16)

Çizelge 16. Çelik rijit bağların birim ilerlemedeki maliyetleri

Kullanılan Malzeme	Birim Sarf 1 m'de	Birim	Birim Fiyat TL	Nakliye Fiyatı TL	Toplam Fiyat TL
GI 120 Profil 4600 mm	1	Adet	340.34	8.80	349.14
TH 34 kg/m 2400 mm Profil (Delikli)	3	Adet	159.65	4.60	483.55
TH 34 kg/m 3000 mm Profil (Taban Plakalı)	1	Adet	204.57	5.80	210.37
TH 34 kg/m için G600 Kelepçe(Civatalı)	2	Adet	33.96	0.37	68.29
TH 34 kg/m için G6 Kelepçe(Civatalı)	2	Adet	33.96	0.06	67.98
TH için KR Tipi Bağ Pabucu Yan Parçası	4	Adet	5.75	0.06	23.06
TH için KR Tipi Bağ Pabucu Gövdesi	2	Adet	21.00	0.06	42.06
Civata M24*180 (Din 931 10,9)	2	Adet	3.40		6.80
Civata M20*50 (Din 931 8,8)	4	Adet	0.93		3.72
Somun M24 (Din 934 8,8)	2	Adet	0.47		0.94
Somun M20 (Din 934 6,8)	4	Adet	0.27		1.08
TH 34 kg/m İçin Fırça(Civata+Somun) 1000 mm	4	Adet	8.85	0.12	35.52
Çelik Fırça 1000 mm	4	Adet	18.07	0.12	72.40
Civata M16*40 (Çelik Fırça İçin)	4	Adet	0.48		1.92
Somun M16 (Çelik Fırça İçin)	4	Adet	0.13		0.52
Hasır tel (6*6mm)	26	Adet	4.72		122.72
Sıktırma Takozu	8	Adet	0.34		2.69
Domuz Damı (120 cm 18 Kutüründe)	1	Adet	8.50		8.50
Domuz Damı (40 cm 18 Kutüründe)	2	Adet	2.66		5.32
Süren kama 2.5 m (16 kutüründe)	1	Adet	5.00		5.00
Bağlama Teli (kg)	0.2	Kg	2.75	0.01	0.56
Madenci Kazması	0.006	Adet	13.00	0.01	0.09
Kazma Sapı	0.04	Adet	2.20	0.01	0.10
Kürek	0.01	Adet	6.00	0.01	0.07
Kürek Sapı	0.03	Adet	2.20	0.01	0.08
Ağaç testere ağzı	0.002	Adet	3.25		0.01
Sektör içi nakliye	2	Sefer	30.00		60.00
İşçilik Maliyeti 16kişi	1648.5	TL/m	1.00		1,648.50
		1 Metre İlerlemedeki Birim Maliyet			**3,220.98**

Çizelge 16'da görüleceği üzere birim ilerlemedeki toplam maliyet 3220.98 TL'dir. Bu maliyetlerin % 51.18'inin işçilik maliyeti, % 48.82'sinin malzeme maliyetidir.

3.6.2. Kaya Saplamalarının Maliyet Hesaplaması

H310 taban yolunda, H410 taban yolunda modellemesi yapılan çelik halat düzenine göre uygulanan kaya saplamalarının montaj maliyetleri hesaplanmış ve işçilik, malzeme sarfı maliyetleri Çizelge 17'de gösterilmiştir.

Çizelge 17. Çelik halat saplamaların birim ilerlemedeki maliyetleri

Kullanılan Malzeme	Birim Sarf 1 m'de	Birim	Birim Fiyat TL	Nakliye/TL	Toplam Fiyat TL
Kare Plaka (300x300mm)	5	Adet	15.32	1.50	78.10
Özel Halat Sıkılama Takozu	5	Adet	5.12	1.50	27.10
Ön gerilmeli Beton Demeti (6m Halat)	30	Metre	3.60	30.00	138.00
Ankaraj Solüsyonu (Fast)	27	Adet	4.72	13.50	140.94
Fiber Bulon	6	Adet	92.00	1.68	553.68
Çelik Hasır Tel	8	Adet	15.60	1.57	126.37
Şirket içi nakliye	1	Sefer		30.00	30.00
İşçilik Fiber Bulon için	6	Adet	37.00		222.00
İşçilik Halat Saplama için	5	Adet	114.70		573.50
		1 Metre İlerlemedeki Birim Maliyet			**1,889.69**

Yapılan hesaplamalar sonunda 1 metredeki ilerlemenin 1889.69 TL olduğu ve işçilik maliyetinin % 42.10, malzeme maliyetinin % 57.90 olduğu sonucu elde edilmiştir.

4.SONUÇLAR

Yapılan çalışmalarda Park Termik Enerji A.Ş. tarafından işletilen, Ankara'nın Çayırhan İlçesi'ndeki yeraltı kömür ocağında kaya saplaması uygulamalarına geçilmesi şartlarını ve uygulanabilirliği ortaya koymak amacıyla jeoteknik amaçlı sondaj çalışmaları ve yerinde rod ekstansometre deneyleri yapılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında, yan duvarlarda fiber saplamalar ve püskürtme beton+çelik hasır uygulamaları, tavan saplamaları olarak ise çelik halat ya da nervürlü demir olacak şekilde iki farklı nümerik modelleme çalışması sonlu elemanlar (FEM) metoduyla PLAXIS 3D Dinamik Modülü'nde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar sırasıyla aşağıda verilmiştir:

1) Sahada plastik zon çapını belirlemek üzere çubuk ekstansometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tabaka kontrolü ve tahkimata yönelik olarak yapılacak ön çalışmaların başında, tabaka hareketi mekanizmasının anlaşılması gelmektedir. Rod ekstansometre deneylerinde kullanılan aparatlar işletme imkanları ile hazırlanmıştır. Galerinin tavan ve yan duvarına yerleştirilmek üzere 3, 6, 9 m uzunluklarında çubuklar, tavana ve galeri yan duvarına monte edilmiştir. Bu çubukların hareketi ile uzun dönemde tabaka hareket mekanizmasının kestirilmesi hedeflenmiştir. 2017 yılı Ocak-Mart ayları boyunca yapılan gözlemler sonucunda anlamlı bir veri elde edilememiştir. Bunun ana nedeni olarak uygun okuma yönteminin uygulanmaması olarak görülmektedir. Yeraltı şartlarında, sırtutmaz (telltale) adı verilen enstrümanlarla gerçekleştirilen otomatik okumalar haricinde bu tip çalışmaların çok başarılı olma şansı bulunmamaktadır. İşletme koşullarında gerçekleştirilen optik okumalarda ise alet yeri seçimi, farklı kişilerin farklı noktaları okuması gibi unsurların sonucu etkilediği düşünülmektedir.

2) Sahanın kaya mekaniği açısından yapısını ortaya koyabilmek ve kaya kütlesi parametreleri ile kayanın davranış karakterizasyonunu belirlemek üzere bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. H410 alt taban yolunda 4 adet jeoteknik sondaj yapılmıştır. Sondajlardan alınan karot numuneleri üzerinde Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde kaya mekaniği testleri gerçekleştirilmiş, jeoteknik sondaj logları oluşturulmuştur. Loglar incelendiğinde, laboratuvardan gelen sonuçlar doğrultusunda, kömürün üzerindeki ilk 3-4 m'lik bölümün kırıklı olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu açıdan bakıldığında, tavana yapılacak saplamaların boylarının 4 m'den daha uzun olması gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır. İşletme tarafından yerinde yapılan uygulamada da, kablo tipi

saplama boylarının 6 m dolayında olduğu görülmüştür. Böylece modellemede uygulanacak saplama boyları tavanda 6 m, yan duvarlarda 3 m olarak seçilmiştir.

3) Gerçekleştirilen yerindeki çalışmalar ve işletmenin kendi uygulamaları incelenmiş, saplamaların performansının sorgulaması yapılmıştır. Bu sorgulama sonlu elemanlar yöntemiyle (FEM) gerçekleştirilen nümerik modelleme analizleri ile yapılmıştır. PLAXIS 3D ile yapılan analizlerde kullanılan kazı ve tahkimat aşamaları, tavanda çelik halat ve nervürlü demirlerin, yan duvarlarda fiber saplamaların kullanıldığı iki farklı durum için modellenmiştir. Modellemelerde oluşturulan ağlardaki üçgenlemenin eleman dağılımları, hem çözümleme süresi açısından hem de hassas hesaplamalar yapabilmek için optimum düğüm (node) sayısında eleman üretebilecek, orta (medium) boyutlu dağılım şeklinde seçilmiştir.

4) İki farklı modelden elde edilen sonuçların kıyaslaması Çizelge 15'te verilmiştir. Çizelge detaylı incelendiğinde "Çelik Halat Modeli"nde uygulanan düzenin modelde son derece olumlu sonuçlandığı görülmektedir. Saplamalarda oluşan eksenel, kesme ve eğilme momentleri oldukça düşüktür. Tavanda bulunan yüksek yük taşıma kapasitelerindeki çelik halatların tavanda oluşturduğu rijit yapı sonucunda yan duvarlarda oluşacak etkiler, fiber saplamaların beklendiği gibi davranarak belirli miktarda deformasyona izin vermesiyle sönümlendirilmiş, aynı zamanda yüksek tahkimat basınçları da önlenebilmiştir. Püskürtme beton+çelik hasırdaki deformasyonlar da 2-2.5 cm gibi oldukça düşük dolaylardadır. Galeri kesidinde daralmaya sebep olacak ve tarama gerektirecek deformasyonlar oluşmamıştır. Nihai durumda püskürtme beton+çelik hasırda yanal baskıdan dolayı en yüksek eksenel ve kesme kuvvetleri, eğilme ve burulma momentleri galerinin yan duvarlarında gözlenmiştir. Oluşan yükler karşısında yan duvarlardaki fiber kabloların deformasyona izin vermesi ile bir miktar tolere edilebilecek olan baskıların, galerinin en zayıf bölgesi olan taban kısmına ulaşması yine de kaçınılmazdır. Böyle bir durumda, özellikle Çin'de sıkça uygulanan basınç rahatlatma delikleri açılmasıyla ya da galeri tabanında belirli noktalara 2 ya da 3 adet 3 m'lik fiber saplamaların dolgulu olarak yerleştirilmesiyle taban kabarması kontrol altına alınabilecektir.

İkinci düzen "Nervürlü Demir" modellemesinde, tavan saplamaları olarak çelik halatlar yerine, 6 m uzunluğunda 16 mm çapındaki nervürlü demirler tercih edilmiştir. Burada nervürlü saplamalar, çelik halatlardan daha erken fazlarda yüklenmeye başlayacağı için rijit yapının daha erken oluşturulmasıyla son durumda oluşacak baskıların galerinin zayıf bölgesi olan tabana ulaşmadan yan duvarlarda sönümlenmesi amaçlanmıştır. Fakat Çizelge 15 ve

model incelendiğinde, kablo saplamalara nazaran daha düşük yük taşıma kapasitelerine sahip nervürlü demirler, erken aşamalarda tavan yükünü taşımakta etkili olamamış, bunun sonucunda püskürtme beton+çelik hasır yapısında 18.63 cm düşey deformasyonlar meydana gelmiştir. Çelik halat modelinde 22.40 cm deformasyona uğrayan fiber saplamalar, bu modelde 15.29 cm deforme olabilmiştir ve sonuç olarak fiber saplamalardan beklenen istenen miktardaki esnek performans elde edilememiş, rijit tavandan gelen yüksek gerilme kaynaklı etkiler yan duvarlarda birinci düzen modeline kıyasla daha az sönümlendirilebilmiştir. Son durumda tahkimat yapılarına gelen yükler, ilk modele yakın hatta bazı koşullarda daha az olmasına rağmen, nervürlü demirlerin daha düşük yük taşıma kapasiteleri, erken aşamalarda özellikle kesme gerilmelerinden kaynaklı yüksek yatay deformasyonlara uğramalarına, böylece galerideki yük taşıma kapasitelerinin ciddi oranda düşmesine sebep olmuştur. Özellikle galerinin giriş bölgesinde gözlenen deplasmanlar püskürtme beton+çelik hasırda, tavanda düşey yönde 18.63 cm, yatay yönde yan duvarda 9.50 cm olarak oluşmuştur. Sonuç olarak erken yenilmeye başlamış olan nervürlü demirlerle tahkim edilmiş tavan, ileriki aşamalarda tehlike arz edebileceğinden ötürü bu düzen uygun bulunmamıştır.

5) Son bölümde güncel olarak kullanılan rijit çelik bağlar ve kaya saplamaları olarak çelik halatların galeri ilerlemesindeki birim maliyetleri karşılaştırılmıştır. Ekonomik açıdan kıyaslandığında kaya saplaması uygulamaları çelik bağ tahkimat sistemi maliyetinin %58.67'si kadardır. Güncel olarak sahada çelik bağların bulundukları yerlerde kombineli olarak uygulanan kaya saplamalarının, püskürtme beton + çelik hasır sistemleriyle birlikte uygulanması sonucunda maliyetler ciddi oranda düşecektir. Aynı zamanda katı kazı kesit alanı rijit bağlı tahkimat sistemlerine göre azalacak ve galeri açma maliyetlerinde de ciddi düşüşler ortaya çıkacaktır. Kaya saplamaları uygulamalarında tamir-tarama giderleri de TH profil çelik bağ uygulanan galerilere göre neredeyse yok denecek kadar azdır. Hava dirençleri azalacağından artacak olan havalandırma verimi ve yanmaz bölgeler oluşturularak iş güvenliği açısından ortaya çıkacak olumlu gelişmeler, kaya saplamalarının tercih edilmeleri açısından oldukça güçlü sebepler olarak görülmüştür.

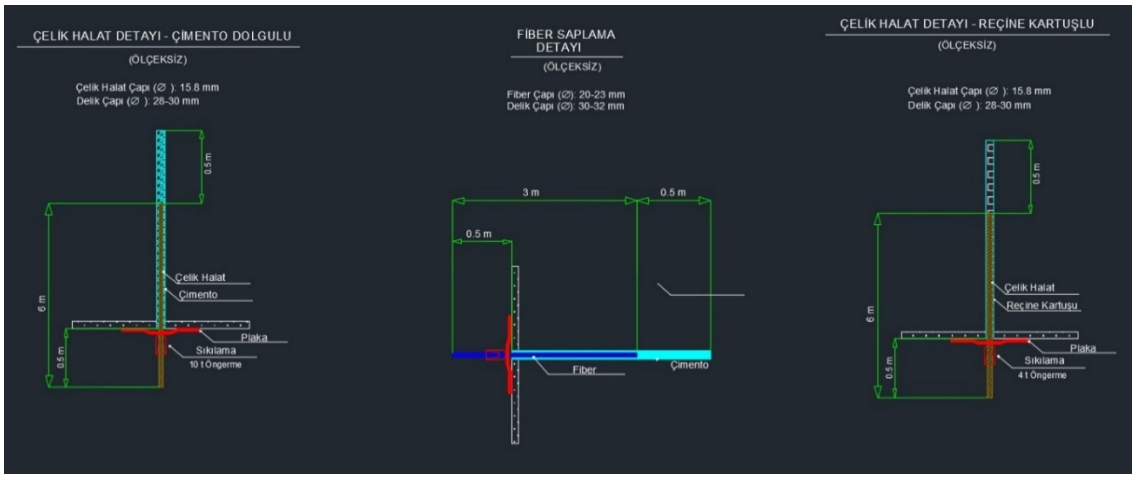
Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, çalışmanın birlikte yürütüldüğü proje kapsamında H sektörü için önerilen tahkimat sistemi ve uygulaması önerileri aşağıdaki gibidir [56]:

Uygulamalar sırasında saha çalışmalarında yapılan değerlendirmelerde, galeride bulunan TH çelik tahkimatın birden kaldırılmasının uygun olmadığı, işletme yetkilileri tarafından

yapılacak çalışmalar neticesinde önce 1.5 m ara daha sonra 2 m aralıklarla yerleştirilmeye devam etmesi önerilmiştir.

Kazı işlemleri sırasında 1 m ilerlemeden hemen sonra galeri çevresine (en kısa sürede) 5 cm püskürtme beton atılmalı, sonrasında Q257/257 tipi çelik hasır bağlama işi yapılmalıdır. Çelik hasırların en az 50 mm bindirmesi olmalı ve tabakalar arasında bindirme işlemini çelik tel ile yapılmalıdır. İlk aşamada TH çelik bağlar kalkmayacağı için çelik hasır bağlama işi sonrasında TH çelik bağ kurulumu gerçekleştirilmelidir. Çelik bağ kurulduktan hemen sonra 25 cm kalınlığında C25 kalitesinde püskürtme beton uygulaması yapılmalıdır. Bu işlem bittikten sonra kazı durumuna ve iş organizasyonuna bağlı olarak saplama uygulamasına geçilmelidir. Tecrübeler saplama işinin 5-10 m geriden kazıyı takip etmesinde bir sakınca olmayacağını göstermektedir. Ancak, önerilen son kat püskürtme beton uygulamasının hemen sonrasında saplama uygulamasının yapılıp, bitirilmesi şeklindedir. Böylece saplamalar, kayaçta büyük deformasyonlar oluşmadan bir an önce kütleyle etkileşime girerek zemin kontrolünü sağlayacaktır.

Yapılacak olan saplamaların kayaç içerisinde aderanslarını ve yük taşıma kapasitelerini arttırmak amacıyla, özellikle bu koşullardaki zayıf, kırık ve çatlaklı zonlarda kaya saplamaları çimento ya da reçine dolguyla uygulanmalıdır. Hali hazırda yerinde yapılan uygulamalarda reçine kartuşları kullanılmaktadır. Reçine dolgulu saplamalar kürlenme süresinin kısa olmasından dolayı hemen çalışmaya başlarlar. Fakat, kaya ile adhezyonları düşüktür ve 6-7 ton yükte boşa çıkarlar. Bu nedenle, uygulamada reçine kullanılacaksa, saplama yapıldıktan sonra 3-4 ton ile öngermeye tabii tutulmalıdır. Bu durum, aynı üç eksenli basınç deneyinde artan yanal yükle kayacın kırılma yükünün artması gibi kaya kütlesinde kilitlenme mekanizmasının daha sağlam bir yapıya sahip olmasını sağlayacaktır. Eğer, saplamalar çimento dolgulu olarak yapılacaksa bu durumda öngerme işleminin 10 ton dolaylarında gerçekleşmesi sağlanmalıdır. Çimento dolgulu saplama ile çalışmanın önemli bir avantajı da çimento dolgusu ile tavandaki kırık ve boşlukların da dolacak ve sağlamlaşacak olmasıdır. Bu sayede daha sağlam bir tavan tabakası ve dolayısıyla daha nizami bir tabaka hareketi ile karşı karşıya olunacaktır. Ayrıca çimentoyla dolgu yapılan uygulamalarda saplamalar uzun süre tahkimat hizmeti verebilecektir. Yan duvarlardaki fiber saplamalar ise enjeksiyon sistemiyle çimento dolgulu olarak uygulanmalıdır. Çimento ya da reçineli dolgulu operasyonlar için, artan aderansla etkileşim mekanizmasını güçlendirecek öngermeleri de içeren, saplamaların uygulama düzeni Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1.H410 önerilen dolgulu ve öngermeli saplama montajı düzeni

Sahada uygulanan saplamalara işletmenin belirleyeceği periyotlarda ve düzende çekme (pull out) testleri yapılmalıdır. Böylece saplamaların aktif olarak çalışıp çalışmadığı konusunda ön bilgi edinilebilecektir.

H sektöründe bir panonun taban yolu, bir sonraki panonun tavan yolu olmakta ve iki kere kullanılmaktadır. Bu durumda, önce üretilen pano saplamaların olduğu yerlerden geçerken, tabaka hareketleri ve oluşan ikincil gerilmelerden dolayı saplamaların bir miktar hareket etmesi ve boşalması beklenmelidir. Bu durumda, boşalan saplamaların tekrar sağlam hale getirilip, öngerme ile çalışır vaziyete getirilmesi bir sonraki pano üretimi için önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Schach, R., Garshol, K., Heltzen, A.M., *Rock Bolting : A practical handbook,* Pergamon, Oxford, **1979**

[2] Kovari, K., History of the sprayed concrete lining method-part II: milestones up to the 1960s, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 71-83, 18, **2003a**

[3] Kovari, K., History of the sprayed concrete lining method-part I: milestones up to the 1960s, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 57-69, 18, **2003b**

[4] Dywidag-Systems International, https://www.dsiunderground.at/en/projects/project-details/article/cannington-mine-in-queensland-australia.html, (Nisan, **2018)**

[5] McDonnell, J.P., Tadolini, S. C., DiGrado, P.E., *Field Evaluation of Cable Bolts for Coal Mine Roof Support,* Report of Investigations 9533, Denver Research Center, U.S. Bureau of Mines, Denver, CO., USA

[6] Aksoy, C. O., Onargan, T., The Role of Umbrella Arch and Face Bolt as Deformation Preventing Support System in Preventing Building Damages, *Tunneling and Underground Space Technology*, 25, 553-559, **2010**

[7] Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F., *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, Balkema, Rotterdam, Brookfield, pp. 99–155, **2000**

[8] Luo, J.L., *A new Rock Bolt Design Criterion and Knowledge-Based Expert System For Stratified Roof. Faculty of Mining Engineering*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blaksburg, **1999**

[9] Tully, D. M., *Rock Bolt Reinforcement Systems For Coal Mine Roadways*, Newcastle University Library, Thesis of PHD. November, pp. 3-4, **1987**

[10] Kömürlü, E., *Çeşitli Mühendislik Polimerlerinin Kaya Saplama Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Trabzon, 4-5, **2016**

[11] Ulusay, R., *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler*, Türkiye Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, **2010**

[12] Hoek, E., *Practical Rock Engineering,* www.rocscience.com/roc/Hoek/Hoek.htm, **2007**

[13] Windsor, C.R., Rock reinforcement systems, *International Journal of Rock Mechanichs and Mining Sciences*, 34:919-95, **1997**

[14] Aksoy, C.O. and Geniş, M., Numerical modelling for enhancing safety with chemical injection at the beginning of longwall panel, *Proc. Of the Int. Conf. On Rock Joints and Jointed Rock Masses*, Tucson, Arizona, 5p., **2009**

[15] Windsor, C.R. A.G. Thompson, Rock reinforcement – technology, testing, design and evaluation. J.A. Hudson (ed.), *Comprehensive Rock Engineering*, Vol 4, Chp 16: 451-484. Oxford: Pergamon Press, **1993**

[16] Scott, J.J. , Friction rock stabilizers - a new rock reinforcement method, *Monograph on rock mechanics applications in mining*, (editors: W.S. Brown, S.J. Green and W.A. Hustrulid), 242-249. New York: Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs, **1976**

[17] Scott, J.J., Friction rock stabilizer impact upon anchor design and ground control practices, *Rock Bolting: Theory and Application in Underground Construction*, (ed. O. Stephansson), 407-418. Rotterdam: Balkema, **1983**

[18] Split Set friction rock stabilizers, International Rollforms, Inc., http://www.splitset.com/rock-bolts.html, (Nisan, **2018**)

[19] Hassel, R., Villaescusa, E., Overcoring Techniques to Assess in Situ Corrosion of Galvanised Friction Bolts, *Proceedings of 24th International Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, WV, USA, 349-356, **2005**

[20] International Mining Technology, www.im-halloffame.com/underground-support-2013-dr-james-j-scott (Mayıs, **2018**)

[21] Stillborg, B., *Professional users handbook for rock bolting,* 2nd ed. Clausthal-Zellerfeld: Trans Tech Publications, **1994**

[22] Li, C.C., Stjern, G. and Myrvang, A., A review on the performance of conventional and energy-absorbing rockbolts, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 315-327, **2014**

[23] Marshall, D., *Hangingwall control at Willroy. Can. Min. Metall. Bull*. 56, 327-331, **1963**

[24] Thorn, L.J., Muller, D.S., Prestressed roof supporting in underground engine chambers in Free State Geduld Mines Ltd. Papers and Discns. Assn Mine Mngrs S. Afr., 411-428, **1964**

[25] Hutchins, W.R., Bywater, S., Thompson, A., Windsor, C.R., A versatile grouted cable dowel reinforcing system for rock*, Proc. Australas. Inst. Min Metal*, 295: 25-29, **1990**

[26] Pariseau, W.G., Design *Analysis in Rock Mechanics. 2nd Edition,* London, Taylor & Francis Group, 682 p. ISBN: 978-0-203-13660-7 (ebook), **2011**

[27] Sundholm, S., The quality control of rock bolts, *Proc. Int. Congress on Rock Mechanics*, ISRM Montreal, (Ed. Herget & Vongpaisal), vol. 2, pp. 1255-1264, **1987**

[28] Potvin, Y., Hudyma, M.R., Seismic monitoring in highly mechanized hardrock mines in Canada and Australia, *The Fifth International Symposium on Rockburst and Seismicty in Mines*, Johannesburg, South Africa, **2001**

[29] Firep, http://en.firepworld.com/company/profile, **2013**

[30] Kömürlü, E., Kesimal, A., Aksoy, C.O., Poliamid-6 Türü Mühendislik Polimerlerinin Dolgulu Kaya Saplaması Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 38 (3), 241-258, **2017**

[31] Dextra Group, https://www.dextragroup.com/activities/technical-solutions-for-construction/solutions/31-ground-anchoring/tunneling-mining/94-frp-solid-rock-bolt, (Nisan, 2**018**)

[32] Anonim, https://www.youtube.com/watch?v=2pgzVgBFJqA, (Mayıs, **2018**)

[33] Rostami, J., Kahraman, S., Naemipour, A., Collings, C., Rock characterization while drilling and application of roof bolter drilling data for evaluation of ground conditions**,** *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering,* Vol. 7, Issue.3, pp. 273-281*,* **2015**

[34] Frith,R., Reed, G., McKinnon, M., Fundamental principles of an effective reinforcing roof bolting strategy in horizontally layered roof strata and areas of potential improvement, *International Journal of Mining Science and Technology* , 28, 67-77, **2018**

[35] Kang, H. , Support Technologies for deep and complex roadways in underground coal mines, *International Journal of Coal Science & Technology*, Vol:1, Issue:3, pp 271-277, **2014**

[36] Peng , S., Evalulation of Roof Bolting Requirements Based on In-Mine Roof Bolter Drilling, *Quarterly Technical Progress* Report, West Virginia University, **2005**

[37] Mark, C., Molinda, G. M., The Coal Mine Roof Rating in mining engineering practice, *Proceedings of the 2003 Coal Operator's Conference*, Wollongong NSW, pp. 50-62, **2003**

[38] Song, G., Stankus J.C., Control mechanism of a tensioned bolt sistem in the laminated roof with a large horizontal stress, *The 16th International Conference on Ground Control in Mining,* Morgantown, West Virginia, 167-172, **1997**

[39] Sinha, R. S., Chugh, Y.P., Validation of critical strain technique for assesssing stability of coal mine intersections and its potential for development of roof control plans, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, Volume 10, Issue 2, Pages 380-389, **2018**

[40] Gale, W.J., Fabjanczyk, M.W., Terrant, G.C., Optimization of reinforcement design of coal mine roadways, *Proceeding of 11th Conference on Ground Control in Mining,* Wollonong, Australia, 212-219, **1992**

[41] Gale, W.J., Blackwood, R.L., Stress distribution and rock failure around coal mine roadway, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomech Abstr*, 24(3), 165-173, **1987**

[42] O'Grady, P. , Fuller, P., Dight, P., Cable bolting in Australian coal mines - Current practice and design considerations. 154, 63-69, **1994**

[43] Zhai, X., Huang, G., Chen, C., Li,R., Combined Supporting Technology with Bolt-Grouting and Floor Pressure-Relief for Deep Chamber: An Underground Coal Mine Case Study, *Energies*, Vol. 11, Page: 67, **2018**

[44] Stille, H., Palmström, A., Norconsult AS, Classification as a tool in rock engineering *,Tunneling and Underground Space Technology,* Vol.18, Isue 4, 331-345, **2003**

[45] Aksoy, C.O. and Geniş, M., Review of the numerical modeling procedure in mining, *International Journal of Mining and Mineral Processing,* International Science Press, Vol.1, No.1, pp.33-43, **2010**

[46] G.S.P. Singh, U.K. Singh. V.M.S.R. Murthy, Applications of Numerical Modelling for Strata Control in Mines, *Geotechnical and Geological Engineering,* 28(4):513-524, **2010**

[47] Aydan, Ö., Geniş, M., Tokashiki, N. and Tano, H., Some considerations on the appropriate dimension in the numerical analysis of geoengineering structures, *APCOM & ISCM 2013: 5th Asia Pacific Congress on Computational Mechanics & 4th International Symposium on Computational Mechanics,* MS. No. 1828, Singapore, p.8, **2013**

[48] Aksoy, C.O., Özacar, V., Kantarci, O., An Example for Estimation of Rock Mass Deformations Around an Underground Opening by Numerical Modeling, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 47, 272-278,* **2010**

[49] Şener, M., *Nallıhan Kitabı*, **1998**

[50] Kurtuluş, C., Bozkurt, A., Çayirhan Ilçesi'nin, Ankara, Zemin Özelliklerinin Jeofizik ve Geoteknik Yöntemlerle Araştirilmasi*, Uygulamalı Yerbilimleri Sayı:2,* **2009**

[51] Yağmurlu, F., Helvacı, C, İnci, U., Önal, M., *Tectonic features to structural of the Beypazarı and Nallıhan*, Central Anatolia, Middle East Technical Univ., 20,4, **1987**

[52] Kavuşan G., *Beypazarı-Çayırhan linyitlerindeki C,H, O,N, S dağılımları ve infrared spektrofotometrik araştırılması, tektonik ile değişimleri*, A.Ü. Araştırma Fonu, Proje Raporu, 61 s., Ankara, **1991**

[53] Didari vd., *Park Termik A.Ş.'nin Çayırhan İşletmesi'nde E ve H Panolarında Metan ve Kendiliğinden Yanma Sorunları ile Tabaka Kontrolü Sorunlarının Araştırılması, Sonuç Raporu*, 274 s, **2012**

[54] Altounyan, P.F.R., Bigby, D.N., Hurt, K.G., Peake, H.V., Instrumentation and Procedures for Routine Monitoring of Reinforced Mine Roadways to Prevent Falls of Ground, *Proceedings of 27th International Conference of Safety in Mines Research Inst*., New Delhi, India, pp. 759-766, **1997**

[55] Nanda Group, http://nandagroup.com/pdf/sm.pdf, (**2018**)

[56] Uyar, G.G., Özçelik, Y., *Park Termik Çayırhan Yeraltı Kömür Ocağında Taban Yollarında Tavan Saplaması Uygulamasının İncelenmesi Projesi Nihai Raporu*, **2017**

[57] Aksoy, C. O., Geniş, M., Aldaş, G.G., Özacar, V., Ozer, S.C., Yılmaz, Ö., A comparative study of the determination of rock mass deformation modulus by using different empirical approaches, Engineering Geology, 131-132, pp. 19-28, **2012**

[58] Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., Corkum, B., Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. *In: Proc. of the 5th North American Rock Mechanics Symp*, Canada, Vol. 1, 267–73, **2002**

[59] Hoek, E., Brown, E. T., The Hoek and Brown failure criterion: a 1988 update. In: Jurran JC, editor. Rock Engineering for Underground Excavations, *Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp*., University of Toronto, p. 31-8, **1988**

[60] Hoek, E., Brown, E.T., Practical estimates of rock mass strength, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 34(8):1165-86, **1997**

[61] Sonmez, H., Ulusay R., A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modification to the criterion verified by slope stability case studies, *Yerbilimleri (Earthsciences),* 26:77-99, **2002**

[62] Palmström A., Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD), *Tunelling and Underground space technology*; 20(4): 362-377, **2005**

[63] Dinc O.S., Sonmez H., Tunusluoglu C., and Kasapoglu K.E., A new general empirical approach for the prediction of rock mass strengths of soft to hard rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.,* 48(4), 650-665, **2011**

[64] Hoek, E., and Diederichs, Empirical estimation of rock mass modulus, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,* 43 (2): 203-215, **2006**

[65] Bieniawski, Z.T., Engineering rock mass classifications, Wiley, New York, 251 p., **1989**

[66] Hudson, J.A., Rock Mechanics Principles in Engineering Practice. Butterworths, pp 72., London, **1989**

[67] Kahraman, S., Rostami, J., Naeimipour, Review of Ground Characterization by Using Instrumented Drills for Underground Mining and Construction, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 49, 585-602, **2015**

[68] Aksoy, C. O., Review of Rock Mass Rating Classification: Historical Developments, Applications and Restrictions, *Journal of Mining Science*, 44, 51-63, **2008**

[69] Kahraman, S., Gunaydin, O., The effect of rock classes on the relation between uniaxial compressive strenght and point load index, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(3), pp. 345-353, **2009**

[70] Karpuz, C., Hindistan, M.A., *Kaya Mekaniği İlkeleri, Uygulamaları,* Türkiye Maden Mühendisleri Odası yayını, Ankara, **2008**

[71] Geniş, M. Ve Acun, D., Kuyu duraylılığının analitik ve sayısal yöntemler ile karşılaştırmalı bir incelemesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* Cilt.30, Sayı.2, s.201-215, **2015**

[72] Arıkan, S.A., Sonlu Elemanlar Metodunun Mühendislikte Uygulamaları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, **1991**

[73] Bobet, A. and Einstein, H., Tunnel reinforcement with rockbolts, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 26(1):100–123, **2011**

[74] Brady, B. and Brown, E., *Rock mechanics for underground mining, 3rd edition*, Kluwer Academic Publishers, **2005**

[75] Cao,C., Nemcik, J., Aziz, N., and Ren, T., Failure modes of rockbolting, *Coal Operator's Conference*, The University of Wollongong, **2012**

[76] Dinc O.S., Sonmez H., Tunusluoglu C., and Kasapoglu K.E., A new general empirical approach for the prediction of rock mass strengths of soft to hard rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomech*, 48(4), 650-665, **2011**

[77] DSI Pty. Ltd., *Corroded Mining Elements replaced with Double Corrosion Protected DSI Rock Bolts* Bennetts Green, Australia Supply of double corrosion protected rock bolts and of mesh, **2006**

[78] Esterhuizen GS, Tulu IB. Analysis of alternatives for using cable bolts as primary support at two low-seam coal mines. *International Journal of Mining Science and Technology* ;26(1):23-30, **2016**

[79] Flowkarska, L., Numerical Modelling for Underground Mining Related Geotechnical Issues, *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXXV, No. 3, **2013**

[80] Hutchinson, D.J. and Diederichs, M.S. *Cablebolting in underground mines.* Vancouver: Bitech, **1996**

[81] Hyett, A.J., Bawden, W.F. and Coulson, A.L.. Physical and mechanical properties of normal Portland cement pertaining to fully grouted cable bolts, *Rock support in mining and underground construction*, *proc. int. symp. rock support,* Sudbury, (eds. P.K. Kaiser and D.R. McCreath), 341-348. Rotterdam: Balkema., **1992**

[82] ISRM, *ISRM Suggested Methods; Rock Characterization, Testing and Monitoring*, E.T. Brown (ed.) Pergamon Press, London, **1981**

[83] Kaiser, P.K., Yazici, S. and Nosé, J. , Effect of stress change on the bond strength of fully grouted cables *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Abstr.* 29(3), 293-306, **1992**

[84] Kömürlü, E. ve Kesimal, A., Improved Performance of Rock Bolts using Sprayed Polyurea Coating, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 48, 2179-2182, **2015**

[85] Li, C.C., A Practical Problem with Threaded Rebar Bolts in Reinforcing Largely Deformed Rock Mass*, Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40, 519–524, **2007**

[86] Li, C.C., Field Observations of Rock Bolts in High Stress Rock Masses, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43, 491-496, **2010**

[87] Moyo, T., Stacey, T.,R., Mechanisms of rockbolt support in jointed rock masses, *Australien Centre for Geomechanics*, **2012**

[88] Mathews, K.E. and Edwards, D.B., Rock mechanics practice at Mount Isa Mines Limited, *Australia. Proc. 9th Commonwealth min. metall. congr.,* Paper 32. London: Instn Min. Metal, **1969**

[89] Nie, W., Zhao, Z.Y. , and Ma, S.Q., *Numerical Evaluation of rockbolt reinforcemenet unit in jointed rock mass by dda method, Rock mechanics and rock engineering: from the past to the future*, Taylor&Francis Group, p. 487-889, **2016**

[90] Podjadtke, R., Development and Application of Stress Controllers –System Honeycomb, *Modern Tunnelling Engineering Conferences International Proceedings Shotcrete for Underground Support XI*, **2009**

[91] Qingliang, C., Huaqiang, Z., Zhihong, X. ve Shiping, S., Anchoring mechanism and application of hydraulic expansion bolts used in soft rock roadway floor heave control*, International Journal of Mining Science and Technology*, 23, 323–328, **2013**

[92] Sonmez, H., and Ulusay, R., A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modification to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri (Earthsciences),* 26:77-99, **2002**

[93] Sonmez, H., and Gokceoglu, C., Discussion of the paper by E. Hoek and M.S. Diederichs "Empirical estimation of rock mass modulus*". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43: 671-676, **2006**

[94] Sönmez, H. ve Osman, B., Kaya Malzemesinin Dayanımının Belirlenmesinde Nokta Yükü Dayanım İndeksinin Sınırlamaları ve Yeni Bir Yaklaşım, *61. Türkiye Jeoloji Kurultayı,* **2008**

[95] Split Set, Split Set Stabilizers SS-39 Product Brochure. *International Rollforms, Inc.*, Printed in USA, **2001**

[96] Tadolini, S.C., and Dolinar, D. R. The use of cable bolts or ground control current applications and future innovation, *Advances in coal mine ground control Ed. Syd S. Peng*,pp 325-329, **2017**

[97] Ünver, B., Yeraltı Kömür Ocaklarında Tahkimat Elemanı Olarak Kaya Saplamalarının Kullanımı ve Performans İzleme Yöntemleri, *Madencilik*, Aralık, Cilt: 38, Sayı: 4, **1999**

[98] Windsor, C.R., Cable bolting for underground and surface excavations., *Rock support in mining and underground construction, proc. int. symp. on rock support*, Sudbury, (eds P.K. Kaiser and D.R. McCreath), 349-376. Rotterdam: Balkema, **1992**

[99] Windsor, C.R., *Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future*, **1997**

[100] Yazici, S. and Kaiser, P.K., Bond strength of grouted cable bolts, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Abstr*. **29**(3), 279-292, **1992**

EKLER

Ek 1: Tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

Ek 2: Nokta yükleme indeksi deneyi sonuçları

Ek 3: Elastisite modülü deney sonuçları

Ek 4: Poisson oranı deney sonuçları

Ek 5: Yoğunluk tayini deney sonuçları

Ek 1: Tek eksenli basma dayanımı deneyi sonuçları

H410-1

Derinlik	F (kN)	UCS (MPa)
2,5	48,72	16,51
2,7	111	37,29
2,9	47,76	16,06
3,3	75,2	25,26
3,7	56,3	18,99
6,7	89,6	29,96
7,3	72,12	24,19
7,9	78,6	26,28
9,4	49,2	16,45
12,5	91,77	31,88

H410-3

Derinlik	F (kN)	UCS (MPa)
6,6	36,86	12,88
7,5	38,2	13,06

H410-4

Derinlik	F (kN)	UCS (MPa)
1,2	84,51	28,75
1,8	104,19	35,95
2	47,54	16,81
7	43,6	15,02

Ek 2: Nokta yükleme indeksi deneyi sonuçları

410-1	I_{s50} (MPa)
0,5	0,8
0,6	0,1
0,8	0,4
1,2	2
1,4	6,1
1,7	0,3
1,8	1
2,4	1,2
3	1,1
3,2	1,6
3,8	0,3
4	0,6
4,2	0,3
4,3	0,1
4,4	0,1
4,65	0,2
4,9	0,2
5	1,5
5,2	1
5,3	1,6
7,1	0,5
7,6	0,8
7,7	0,3
8,4	0,3
8,5	0,4
8,7	0,3
8,8	0,5
9,7	1,4
9,9	0,3
11,1	0,5
11,2	0,4
11,3	0,3
11,4	0,4
11,6	0,2
12,1	0,8
12,2	0,5
12,4	0,7
12,6	0,8

410-2	I_{s50} (MPa)
0,8	0,15
3,9	0,15
4	0
6,3	0,35

410-3	I_{s50} (MPa)
0,5	1,3
0,7	1,5
0,8	1,6
1,1	4,7
1,4	5,4
1,5	0,1
1,7	0,9
1,9	1,4
2,3	1,4
2,5	1,4
2,6	1,4
2,9	0,9
3,2	0,7
3,4	0,7
3,6	0,5
3,7	1,5
4,1	0,6
4,2	0,5
4,3	0,2
4,7	0,5
4,8	0,4
5,5	0,3
5,9	0,1
6	1,4
8,2	1,3
9	0,4
9,2	0,3
9,5	0,4
9,7	0,4
10,2	0,3
10,5	0,4
10,6	0,3

410-4	I_{s50} (MPa)
0,4	3,2
0,8	0,7
1,7	1,1
2,8	0,4
3	0,4
3,2	0,4
3,6	0,1
3,8	0,9
3,9	0,8
4,2	0,4
4,3	0,2
4,4	0,4
4,6	0,9
4,8	0,3
5	1,6
5,1	3,3
5,2	4,8
5,9	0,4
6	0,3
6,2	0,3
6,4	0,4
6,7	0,7
7	0,6
7,2	0,6
7,4	0,3
7,7	0,3
7,8	0,2
8	1,5
8,1	0,4
8,2	1,5
7,9	1,3
8,3	0,5
8,4	0,6
8,8	0,7
9,1	0,2
9,2	0,7
9,4	0,4
9,5	0,4

Ek 3: Elastisite modülü deney sonuçları

H410-1

Derinlik	E (GPa)
2,5	3,39
2,7	2,49
2,9	1,59
3,3	6,85
3,7	6,97
6,7	1,99
7,3	2,49
7,9	2,98
9,4	2,41
12,5	1,53

H410-3

Derinlik	E (GPa)
6,6	1,11
7,5	1,10

H410-4

Derinlik	E (GPa)
1,2	8,33
1,8	4,52
7	4,17

Ek 4: Poisson oranı deney sonuçları

H410-1

Derinlik	ν
2,7	0,229
3,3	0,165
6,7	0,123
7,9	0,235
9,4	0,171

H410-3

Derinlik	ν
7,5	0,216

Ek 5: Yoğunluk tayini deney sonuçları

H410/1	d (g/cm^3)
0,7	1,748
0,9	1,575
1,2	2,041
1,5	2,061
2	2,675
2,5	2,327
2,9	1,437
3	2,615
3,4	2,589
3,7	2,03
4	1,75
4,9	1,477
5,5	1,453
6,4	1,406
6,8	2,217
7,3	1,727
7,9	1,404
8,3	1,503
8,9	1,884
9,7	1,931
10	2,162
11,5	1,542
12	1,672
12,5	1,715
12,6	1,67

H410/2	d (g/cm^3)
1	1,733
2,9	1,708
4,3	1,773
4,8	1,727
5,3	1,338
6,5	1,835
7,2	1,661
9	1,806

H410/3	d (g/cm^3)
0,4	1,366
0,6	2,127
1,5	1,616
2,3	2,086
2,8	1,921
3,8	1,969
4,3	1,73
5	1,424
5,4	1,593
6	2,018
6,4	1,627
6,6	1,448
8,8	1,667
9,6	1,314
10	1,55

H410/4	d (g/cm^3)
1,2	2,7
1,5	1,933
1,8	2,069
2	2,293
2,5	2,115
3,2	2,603
4,5	1,792
5,2	2,536
6,2	1,118
6,6	1,142
7	2,111
8	1,793
8,6	1,71
10,2	1,082

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Nejat Ozan GÜNGÖR

Doğum Yeri : ANKARA

Medeni Hali : Bekar

E-posta : ozangungr@gmail.com

Adresi : Sancak Mah. Kahire Cad. 510. Sok 15/6 Yıldız Çankaya ANKARA

Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü *(2010-2016)*

Yükseklisans : Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü *(2016-2018)*

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce: İleri Düzey

Almanca: İleri Düzey

Japonca: Başlangıç Düzeyi

İş Deneyimi

TAHE International Metal Madencilik A.Ş. *(Eylül 2017- Mart 2018)*

Satın Alma ve Lojistik Sorumlusu

Deneyim Alanları

Madencilik, nümerik modelleme, madencilikte patlatma operasyonları, uluslararası ticaret

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

_____

Tezden Üretilmiş Yayınlar

_____

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

_____

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 10/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: **PARK TERMİK ÇAYIRHAN YERALTI KÖMÜR OCAĞINDA KAYA SAPLAMALARININ UYGULANABİLİRLİĞİNİN NÜMERİK OLARAK MODELLENMESİ**

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 113 sayfalık kısmına ilişkin, 10/06/2018 tarihinde ~~şahsım~~/**tez danışmanım** tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

1- Kaynakça hariç
2- Alıntılar ~~hariç~~/**dâhil**
3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

10.06.2018

Adı Soyadı:	Nejat Ozan GÜNGÖR
Öğrenci No:	N16120142
Anabilim Dalı:	Maden Mühendisliği
Programı:	Yüksek Lisans
Statüsü:	☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Güzin Gülsev UYAR
(Unvan, Ad Soyad, İmza)