



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAPADOKYA BÖLGESİNDE YER ALAN KAYADAN DEPO ÖRNEKLERİNİN  
TASARIM İLKELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ALPASLAN ÇEVİK

Eylül 2019



T. C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAPADOKYA BÖLGESİNDE YER ALAN KAYADAN OYMA DEPO  
ÖRNEKLERİNİN TASARIM İLKELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ALPASLAN ÇEVİK

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

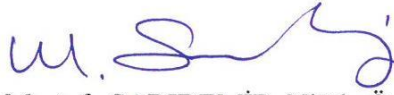
Doç. Dr. Semiha AKÇAÖZOĞLU

Eylül 2019

**Alpaslan ÇEVİK** tarafından **Doç. Dr. Semiha AKÇAÖZOĞLU** danışmanlığında hazırlanan “**Kapadokya Bölgesinde Yer Alan Kayadan Oyma Depo Örneklerinin Tasarım İlkelerinin Değerlendirilmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan :Doç. Dr. Semiha AKÇAÖZOĞLU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye :Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye :Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ORHAN, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ..../..../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ..../..../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Prof. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Alpaslan ÇEVİK



## ÖZET

### KAPADOKYA BÖLGESİNDE YER ALAN KAYADAN OYMA DEPO ÖRNEKLERİNİN TASARIM İLKELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÇEVİK, Alpaslan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Semiha AKÇAÖZOĞLU

Eylül 2019, 93 sayfa

Bu çalışmada, Kapadokya bölgesinde yer alan kayadan oyma depo örneklerinin mimari ve statik özellikleri incelenmiştir. Bölgeden üç depo örneği konu alınarak bu depoların kayaç özellikleri, galeri ve topuk boyutları karşılaştırılmıştır. Depo örneklerinin statik analizleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçları Kayadan Oyma Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik hükümlerine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, bölgede kayadan oyma depoların yapımında mimari ve statik açılardan dikkat edilmesi gereken kriterler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kayaç cinsi ve özellikleri, deponun giriş yönü, üst örtü kalınlığı, galeri ve topuk boyutları, depo yapılarının statik dayanımını etkileyen önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Depo üstündeki tabakanın eğim yönü, depo girişi, galeri ve havalandırma bacalarının boyutları ve düzenlenişi ile doğal çevreye uyum ise kayadan oyma depo yapılarının tasarımında dikkate alınması gereken diğer faktörler olarak değerlendirilmiştir.

*Anahtar Sözcükler:* Kayadan oyma depo, Kapadokya, galeri, topuk, statik analiz.

## SUMMARY

### EVALUATION OF DESIGN PRINCIPLES OF ROCK CARVED WAREHOUSE BUILDINGS IN CAPPADOCIA REGION

ÇEVİK, Alpaslan

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semiha AKÇAÖZOĞLU

September 2019, 93 pages

In this study, architecture and static properties of rock carved warehouse buildings in Cappadocia Region were examined. The rock characteristics, gallery and heel dimensions of these buildings were compared by taking three warehouse samples from the region. Static analysis of the warehouses were made using finite element method. The results of the analysis were evaluated according to the provisions of Regulation on Design, Calculation and Construction Principles of Rock Carved Structures. As a result of the evaluations, the criteria to be considered in terms of architectural and static aspects were determined in the construction of rock carved warehouses in the region. According to the results, the type and characteristics of the rock, the direction of entry, top cover thickness, gallery and heel dimensions were determined as the most important factors affecting the static strength of the warehouse structures. The slope direction of the layer above the warehouse, the dimensions and arrangement of the entrance, gallery and ventilation chimneys and the harmony with the natural environment were evaluated as other factors to be considered in the design of rock carved warehouse structures.

*Keywords:* Rock carved warehouse, Cappadocia, gallery, hill, static analyses.

## ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında, Kapadokya bölgesinde yer alan kayadan oyma depo örnekleri mimari ve statik açıdan incelenerek tasarım ilkeleri değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca bilgisi, tecrübesi, değerli görüşleri ile bana her zaman yol gösteren ve destek olan, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam, sayın Doç. Dr. Semiha AKÇAÖZOĞLU'na teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca tecrübelerine başvurduğum Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU'na, konu üzerinde örnekleri ve modelleme konusunda desteğini esirgemeyen Doç. Dr. İsmail DİNÇER'e,

Eğitim ve iş hayatım boyunca her zaman destek olan ve emeklerini hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, eşim ve meslektaşım İnş. Müh. Sevilay ÇEVİK'e teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| ÖZET .....   | iv   |
| SUMMARY .....  | v    |
| ÖN SÖZ .....   | vi   |
| İÇİNDEKİLER .....  | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....  | ix   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....  | xi   |
| FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....                                       | xii  |
| SİMGE VE KISALTMALAR .....                                     | xiii |
| BÖLÜM I GİRİŞ .....  | 1    |
| BÖLÜM II KAYADAN OYMA YAPILARLA İLGİLİ GENEL BİLGİLER .....    | 4    |
| 2.1 Kapadokya Bölgesi'nin Tarihi .....                         | 4    |
| 2.2 Bölgenin Jeolojik Yapısı .....                             | 5    |
| 2.3 Bölgedeki Kaya Birimi .....                                | 6    |
| 2.4 Bölgede Yer Alan Kayadan Oyma Yapıların Tarihi .....       | 9    |
| 2.5 Kayadan Oyma Yeraltı Şehirleri .....                       | 10   |
| 2.6 Kayadan Oyma Kilise ve İbadethaneler .....                 | 12   |
| 2.7 Kayadan Oyma Konutlar .....                                | 13   |
| 2.8 Kayadan Oyma Oteller .....                                 | 14   |
| 2.9 Kayadan Oyma Sosyal Tesisler .....                         | 15   |
| 2.10 Kayadan Oyma Depolar .....                                | 17   |
| 2.10.1 Kayadan oyma depolarda iklimlendirme yöntemleri .....   | 18   |
| 2.10.2 Kayadan oyma depolarda galeri açma yöntemleri .....     | 19   |
| 2.10.3 Kayadan oyma depoların genel jeolojik özellikleri ..... | 20   |
| BÖLÜM III KAYADAN OYMA DEPO YAPILARININ TASARIM VE             |      |
| UYGULAMA SÜRECİ .....  | 22   |
| 3.1 Arazi İncelemesi .....                                     | 22   |
| 3.2 Jeolojik ve Geoteknik İncelemeler .....                    | 22   |
| 3.3 Kaya Kalite Etüd Raporu .....                              | 23   |
| 3.4 Mimari Proje .....   | 23   |
| 3.5 Statik Analiz ve Hesap .....                               | 25   |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.6 Yasal İzin .....   | 25        |
| 3.7 Kazı Yöntemi.....  | 26        |
| 3.8 Galeri Açma.....   | 26        |
| <b>BÖLÜM IV KAYAÇ ÖZELLİKLERİ VE HESAPLARDA KULLANILAN</b>                       |           |
| <b>PARAMETRELER.....</b>   | <b>28</b> |
| 4.1 İnceleme Alanının Genel Özellikleri .....                                    | 28        |
| 4.2 Kayadan Oyma Depo Örneklerinin Mimari Özellikleri .....                      | 29        |
| 4.2.1 Depo A .....   | 29        |
| 4.2.2 Depo B.....  | 32        |
| 4.2.3 Depo C.....  | 35        |
| 4.3 Statik Analizlerde Kullanılan Kayaç Özellikleri ve Parametreler .....        | 38        |
| 4.4 Statik Analizde Kullanılan Program .....                                     | 40        |
| <b>BÖLÜM V BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>   | <b>42</b> |
| 5.1 Kayadan Oyma Depo Örneklerinin Mimari Özelliklerinin Değerlendirilmesi ..... | 42        |
| 5.2 Kayadan Oyma Depo Örneklerinin Statik Analiz ve Değerlendirmesi .....        | 43        |
| 5.2.1 Depo A .....   | 44        |
| 5.2.1.1 Depo A, yayılı yüksüz analiz ve değerlendirmeler.....                    | 44        |
| 5.2.1.2 Depo A, yayılı yüklü analiz ve değerlendirmeler .....                    | 50        |
| 5.2.2 Depo B.....  | 55        |
| 5.2.2.1 Depo B, yayılı yüksüz analiz ve değerlendirmeler.....                    | 55        |
| 5.2.2.2 Depo B, yayılı yüklü analiz ve değerlendirmeler .....                    | 61        |
| 5.2.2.3 Depo B, trapez yüklü analiz ve değerlendirmeler .....                    | 66        |
| 5.2.3 Depo C.....  | 72        |
| 5.2.3.1 Depo C, yayılı yüksüz analiz ve değerlendirmeler.....                    | 72        |
| 5.2.3.2 Depo C, yayılı yüklü analiz ve değerlendirmeler .....                    | 78        |
| 5.2.4 Depoların genel gerilme ve deplasman şekilleri .....                       | 83        |
| 5.2 Depoların statik analiz sonuçlarının değerlendirilmesi .....                 | 86        |
| <b>BÖLÜM VI SONUÇLAR .....</b>   | <b>88</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>   | <b>90</b> |
| <b>ÖZ GEÇMİŞ .....</b>   | <b>93</b> |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 2.1. Kayaç sınıfları.....   | 9  |
| Çizelge 2.2. Kapadokya bölgesinde tespit edilmiş yeraltı şehirleri .....                | 11 |
| Çizelge 2.3. Ürgüp ve civarındaki tüflerin fiziksel ve mekanik özellikleri .....        | 21 |
| Çizelge 4.1. Tek eksenli basınç dayanımına göre dayanım sınıfları .....                 | 38 |
| Çizelge 4.2. Depoların bulunduğu bölgeye ait fiziksel ve mekanik parametreler .....     | 38 |
| Çizelge 4.3. Statik hesaplamalar için kabul edilen fiziksel ve mekanik parametreler.... | 39 |
| Çizelge 4.4. Depo boyutları ve parametreler .....                                       | 39 |
| Çizelge 5.1. Yayılı yük olmadan depo tahkikleri .....                                   | 86 |
| Çizelge 5.2. Yayılı yük (trafik veya toprak) altında depo tahkikleri .....              | 86 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1. İnceleme alanı ve yakını kabartma fiziki haritası .....          | 5  |
| Şekil 2.2. Kapadokya bölgesinin genelleştirilmiş jeoloji haritası.....      | 7  |
| Şekil 2.3. Nevşehir yöresindeki volkanitlerin jeolojisi.....                | 8  |
| Şekil 3.1. Kayadan oyma depo örneği, plan ve kesit.....                     | 24 |
| Şekil 4.1. Depoların bulunduğu bölge haritası .....                         | 29 |
| Şekil 4.2. A deposu, plan ve kesit.....                                     | 30 |
| Şekil 4.3. B deposu, plan ve kesit .....                                    | 33 |
| Şekil 4.4. C deposu, plan .....   | 36 |
| Şekil 4.5. Depo kesitleri.....  | 40 |
| Şekil 5.1. A deposu model girişi.....                                       | 45 |
| Şekil 5.2. A deposu, yayılı yüksüz düşey gerilme .....                      | 46 |
| Şekil 5.3. A deposu, yayılı yüksüz yatay gerilme.....                       | 47 |
| Şekil 5.4. A deposu, yayılı yüksüz toplam yer değiştirme .....              | 48 |
| Şekil 5.5. A deposu, yayılı yüksüz güvenlik faktörü .....                   | 49 |
| Şekil 5.6. A deposu, yayılı yük ile düşey gerilme .....                     | 51 |
| Şekil 5.7. A deposu, yayılı yük ile yatay gerilme .....                     | 52 |
| Şekil 5.8. A deposu, yayılı yük ile toplam yer değiştirme.....              | 53 |
| Şekil 5.9. A deposu, yayılı yük ile güvenlik faktörü .....                  | 54 |
| Şekil 5.10. B deposu model girişi .....                                     | 56 |
| Şekil 5.11. B deposu, yayılı yüksüz düşey gerilme .....                     | 57 |
| Şekil 5.12. B deposu, yayılı yüksüz yatay gerilme .....                     | 58 |
| Şekil 5.13. B deposu, yayılı yüksüz toplam yer değiştirme.....              | 59 |
| Şekil 5.14. B deposu, yayılı yüksüz güvenlik faktörü .....                  | 60 |
| Şekil 5.15. B deposu, yayılı yük ile düşey gerilme.....                     | 62 |
| Şekil 5.16. B deposu, yayılı yük ile yatay gerilme .....                    | 63 |
| Şekil 5.17. B deposu, yayılı yük ile toplam yer değiştirme .....            | 64 |
| Şekil 5.18. B deposu, yayılı yük ile güvenlik faktörü.....                  | 65 |
| Şekil 5.19. B deposu, trapez dolgu yükü altında düşey gerilme .....         | 68 |
| Şekil 5.20. B deposu, trapez dolgu yükü yatay gerilme .....                 | 69 |
| Şekil 5.21. B deposu, trapez dolgu yükü altında toplam yer değiştirme ..... | 70 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 5.22. B deposu, trapez dolgu yükü altında güvenlik faktörü tüm kesit (a) ve yakınlaştırılmış görünüm (b) ..... | 71 |
| Şekil 5.23. C deposu, model girişi .....   | 73 |
| Şekil 5.24. C deposu, yayılı yüksüz düşey gerilme .....  | 74 |
| Şekil 5.25. C deposu, yayılı yüksüz yatay gerilme .....  | 75 |
| Şekil 5.26. C deposu, yayılı yüksüz toplam yer değiştirme.....   | 76 |
| Şekil 5.27. C deposu, yayılı yüksüz güvenlik faktörü .....   | 77 |
| Şekil 5.28. C deposu, yayılı yük ile düşey gerilme.....  | 79 |
| Şekil 5.29. C deposu, yayılı yük ile yatay gerilme .....   | 80 |
| Şekil 5.30. C deposu, yayılı yük ile toplam yer değiştirme .....   | 81 |
| Şekil 5.31. C deposu, yayılı yük ile güvenlik faktörü.....   | 82 |
| Şekil 5.32. Yük altında tipik deplasman vektörleri .....   | 84 |
| Şekil 5.33. Tipik deplasman vektörleri ve şekil değiştirme.....  | 85 |

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Fotoğraf 2.1. Derinkuyu Yeraltı Şehri .....  | 11 |
| Fotoğraf 2.2. Kaymaklı Yeraltı Şehri .....   | 12 |
| Fotoğraf 2.3. El Nazar kilisesi, Göreme .....  | 13 |
| Fotoğraf 2.4. Karanlık Kilise, Göreme .....  | 13 |
| Fotoğraf 2.5. Kayadan oyma otele dönüşmüş bir konut, Çavuşin Köyü .....                        | 14 |
| Fotoğraf 2.6. Kayadan oyma otel, Göreme .....  | 15 |
| Fotoğraf 2.7. Kayadan oyma otel odası, Göreme .....  | 15 |
| Fotoğraf 2.8. Kayadan oyma restoran giriş cephesi, Avanos .....                                | 16 |
| Fotoğraf 2.9. Kayadan oyma restoran iç mekân, Avanos .....                                     | 16 |
| Fotoğraf 2.10. Kayadan oyma depo iç mekân, Nar Kasabası .....                                  | 17 |
| Fotoğraf 2.11. Kayadan oyma depo giriş cephesi, Nar Kasabası .....                             | 17 |
| Fotoğraf 2.12. Kayadan oyma depolarda doğal havalandırma .....                                 | 19 |
| Fotoğraf 2.13. Kayadan oyma depolarda mekanik havalandırma .....                               | 19 |
| Fotoğraf 2.14. Kollu galeri açma aygıtı .....  | 20 |
| Fotoğraf 3.1. Galeri .....   | 27 |
| Fotoğraf 4.1. A deposu kuzey bölümü (a) ve güney bölümü (b), girişler .....                    | 31 |
| Fotoğraf 4.2. A deposu kuzey bölümü (a) ve güney bölümü (b), koridor ve localar .....          | 31 |
| Fotoğraf 4.3. A deposu havalandırma bacaları .....   | 32 |
| Fotoğraf 4.4. B deposu giriş avlusu .....  | 34 |
| Fotoğraf 4.5. B deposu, koridor ve localar .....   | 34 |
| Fotoğraf 4.6. B deposu havalandırma bacaları .....   | 35 |
| Fotoğraf 4.7. C deposu giriş avlusu .....  | 37 |
| Fotoğraf 4.8. C deposu, koridor ve localar .....   | 37 |
| Fotoğraf 4.9. C deposu havalandırma bacaları .....   | 37 |
| Fotoğraf 5.1. B deposu üst tabaka dolgusu .....  | 66 |
| Fotoğraf 5.2. Depo tavanında betonarme döşeme uygulaması içten (a) ve üstten (b) görünüm ..... | 67 |

## SİMGE VE KISALTMALAR

### Simgeler

|       |                     |
|-------|---------------------|
| A     | Kesit alanı         |
| D     | Birim hacim ağırlık |
| $f_c$ | Basınç dayanımı     |
| $f_s$ | Eğilme dayanımı     |

### Açıklama

### Kısaltmalar

|       |   |
|-------|---|
| ASTM  | Amerikan Deney ve Malzeme Birliği   |
| GSI   | Jeolojik Dayanım İndeksi  |
| kN    | Kilonewton  |
| KOYHY | Kayadan Oyma Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik |
| MN    | Meganewton  |
| MPa   | Megapascal  |
| Q     | Kaya Kütle Kalitesi   |
| RMR   | Kaya Kütle Değerlendirmesi  |
| UGH   | Ultrases Geçiş Hızı   |

### Açıklama

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Kapadokya, 60 milyon yıl önce; Erciyes, Hasandağı ve Güllüdağ'ın püskürttüğü lav ve küllerin oluşturduğu yumuşak tabakaların yağmur ve rüzgâr tarafından aşındırılmasıyla oluşan, dünyanın en karakteristik yüzey şekillerine sahip bir bölgedir. Kapadokya bölgesi Anadolu'nun merkezinde konumlanan, tarihsel süreçteki sınırları değişken olmakla birlikte, günümüzde kuzeyde Kızılırmak, güneyde Niğde ili ile Hasan ve Melendiz Dağları, doğuda Yeşilhisar, batıda Aksaray ili ve Tuz Gölü çöküntüsü ve kuzeybatıda Kırşehir ile sınırlanmaktadır (Kaşmer, 2011; Özata, 2015; Bilgili, 2018).

Günümüze kadar geçen süreçte oluşmuş homojen bir fiziki yapıya ve geçmişinde farklı çağları sosyal bir süreklilik içinde yaşamış oldukça önemli bir alana hâkim olan Kapadokya bölgesinde doğal ve tarihi sit alanları iç içe bulunmaktadır (Tekin, 2009). 1985 yılında Dünya Miras Listesi'ne giren "Göreme Milli Parkı ve Kapadokya"; Göreme Milli Parkı, Kaymaklı ve Derinkuyu Yeraltı Şehirleri ile Karain, Karlık, Yeşilöz ve Soğanlı alanlarını kapsamaktadır (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2019).

Litolojik yapısından dolayı yeraltı ve kaya içi yerleşmelerin tarih boyunca görüldüğü bölgede arazi her zaman yerleşme biçimini etkilemiş ve farklı yapı tipleri gelişmiştir. Bölgenin mimari karakterini yansıtan yapım sistemleri; kayadan oyma, yığma, kayadan oyma ve yığmanın beraber olduğu karma yapılar olarak gözlenmektedir (Bilgili, 2018).

Özellikle Nevşehir yöresinde kayadan oyma yapılar bölgenin karakteristik özelliğini oluşturmaktadır (Bilgili, 2018).Doğa ve kültür etkileşiminin yansıması olan, bölgeye özgü kayadan oyma yapılar, bir kaya kütlelerinin birbiriyle bağlantılı olarak oyulması sonucunda oluşmuştur. Bu mekânlar genel olarak barınma, savunma, ibadet, eğitim, üretim ve depolama gibi çeşitli işlevlerde kullanılmıştır (Bilgili, 2018; Güngör ve Uysal, 2017).

Tarihsel süreç içerisinde kayadan oyma depoların da uzun yıllar boyunca kullanılmakta olduğu görülmektedir. Volkanik arazideki dirençsiz malzeme oyularak veya kazılarak kayadan oyma depolar oluşturulmaktadır. Bölgede günümüzde soğuk hava deposu

olarak kullanılan yaklaşık 2000 kayadan oyma depo bulunmaktadır (Öztük, 2010). Bu depolarda soğutucu aygıt kullanılmamakta, yalnızca malzemenin sağladığı doğal serinletme olanaklarından yararlanılmaktadır. Bu depolarda narenciye, patates, elma ve soğan depolanmaktadır (Örüng vd., 2016). Ağırlıklı olarak limon ve patates depolama amacıyla kullanılan bu mekânlar, Nevşehir merkeze bağlı Kavak, Kaymaklı, Nar ve Çat beldeleri; Ürgüp ilçesine bağlı Şahinefendi ve Mazı köyleri, Ortahisar beldesi ile Derinkuyu ilçesine bağlı Güneyce köyünde yoğunlaşmıştır (Güngör ve Uysal, 2017).

Doğal kayadan oyma depolarda iklimlendirme sistemi; iç ortama göre daha soğuk olan dış ortam havasının, doğal konveksiyonla depo içerisine alınıp ürünlerin soğutulmasına dayanmaktadır. Kış aylarında sıcak ve yaz aylarında belirli bir ortam sıcaklığında olan doğal soğuk hava depolarında yalıtım ve soğutmada kullanılan enerji ihtiyacı ortadan kalktığından, bu alanda bir maliyet söz konusu değildir (Harunoğulları ve Kayar, 2015). Kayadan oyma depolarda klasik depoların aksine, sabit ısı ve nem dengesi gibi özelliklerinden dolayı, depolanan ürünlerin doğal yapısı bozulmadan korunması sağlanmakta ve depolanan ürünlerde daha az fire verilmektedir (Güngör ve Uysal, 2017). Yapılış maliyetleri aynı büyüklükteki yerüstü soğuk hava depolarının 1/3'ü kadar olan kayadan oyma depoların enerji tüketimi ise yerüstü soğuk hava depolarına göre 1/10 seviyelerindedir (Yolveren vd., 2011). Bu depolar özellikle gece ve gündüz sıcaklık farklılıklarının büyük olduğu karasal iklim bölgelerinde başarıyla kullanılmaktadır (Örüng vd., 2016).

Önceki dönemlerde elle açılan küçük ölçekli kayadan oyma depolar, teknolojik gelişmeler sayesinde içerisinde araçların dolaşabileceği büyük yapılar haline gelmiştir (Güngör ve Uysal, 2017). Koridor ve galerilerden oluşan depoların büyüklüklerine bağlı olarak galeri sayıları 10 ile 50 arasında değişmektedir. Galeri ve locaların genişlikleri ile yükseklikleri ortalama 5-6 m'dir. Depoların üstündeki örtünün kalınlığı 6-10 m arasındadır. Bu kalınlık deponun iç ısısının dış ortamdan etkilenmemesi ve çökmeleri önlemek açısından oldukça önemlidir. Ayrıca galeriler arasında en az 2-3 m genişliğinde topuklar bırakılmaktadır (Güngör ve Uysal, 2017). Ancak kayaçların homojen olmaması, çatlak, damar vb. süreksizlerin olması, depo üstündeki tabaka kalınlığının değişken olması, üst tabakada trafik veya tarımsal etkenlerin olması ve galeri açarken ortaya çıkabilecek sorunlar sebebiyle yukarıda belirtilen boyutlar

değişken olmaktadır. Bu boyutların her bir kayadan oyma depo yapısı için ayrı ayrı dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Kapadokya bölgesinde yer alan kayadan oyma depo yapıları incelenerek seçilen depo örnekleri üzerinden tasarım esasları değerlendirilmiştir. Bölgede kullanılan doğal depolar, ürünlerin uygun koşullarda muhafazası için ideal ortamlar sunmaktadır. Bu tür depoların belirli kriterler dikkate alınarak tasarlanması, daha etkin kullanılmalarını sağlayarak bölge ve ülke ekonomisine katkıda bulunacak, bölgenin doğal yapısına zarar vermeden ve çevre ile uyumlu yapılaşmaya katkı sağlayacak ve kayadan oyma depoların yapım ve kullanımı sırasında can ve mal güvenliğini korumaya yardımcı olacaktır.



## BÖLÜM II

### KAYADAN OYMA YAPILARLA İLGİLİ GENEL BİLGİLER

#### 2.1 Kapadokya Bölgesi'nin Tarihi

Kapadokya bölgesinin tarihi M.Ö. 3000'lerde yaşamış Asur ticaret kolonileri ve Hititlere kadar uzanmaktadır. Kapadokya, tarih içerisinde çeşitli devlet, toplum ve önemli kişilerin adlarıyla anılan dönemler yaşamıştır. İlk dönem Paleolitik, Neolitik ve Antik dönemleri kapsamakta olup ikinci dönem Roma ve Bizans dönemleridir. Türk dönemi ise son dönemdir (Nevşehir Belediyesi, 2019).

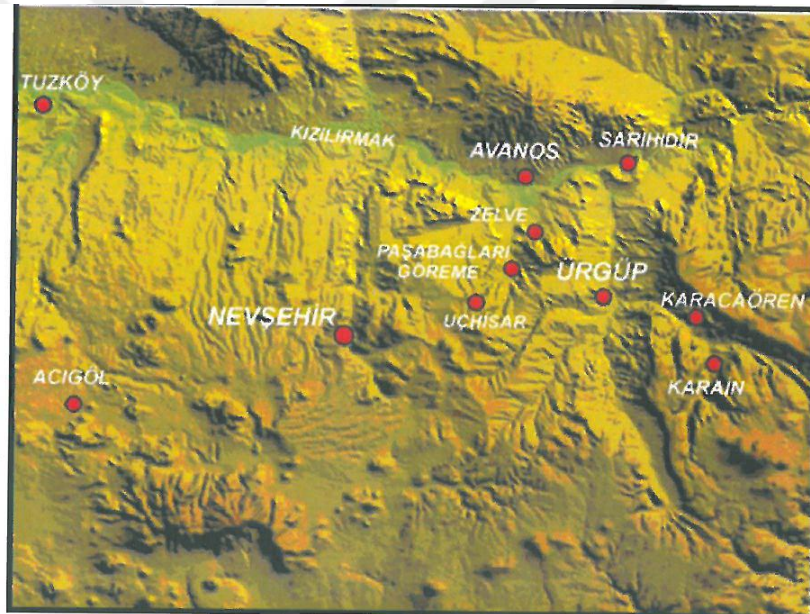
Kapadokya bölgesi, Erciyes, Güllüdağ ve Hasan Dağı'nın püskürttüğü lav ve küllerin oluşturduğu yumuşak tabakaların milyonlarca yıl boyunca yağmur ve rüzgâr tarafından aşındırılmasıyla şekillenmiştir. İnsan yerleşimlerinin Paleolitik döneme kadar uzandığı Kapadokya'nın yazılı tarihi ise Hititlerle başlar. Bu topraklar daha sonraki dönemlerde Hıristiyanlığın en önemli merkezlerinden biri haline gelmiştir. Hıristiyanlar Roma İmparatorluğu'nun baskısından kaçarak kayalara oyulan evleri ve kiliseleri korunma ve sığınma amaçlı kullanmıştır (wikipedia, 2019).

Başta Nevşehir olmak üzere Kayseri, Niğde, Kırşehir ve Aksaray illerini kapsayan Kapadokya bölgesi, tarih ve doğanın bütünleştiği bir alandır. Bölgede yaşayanlar, coğrafi olaylar sonucunda oluşan peribacalarının içlerini oyarak mekânlar oluşturmuş ve binlerce yıllık medeniyetlerin izlerini zamanımıza taşımıştır (wikipedia, 2019).

Tarih boyunca ticaret kolonilerini barındıran ve ülkeler arasında ticari ve sosyal bir köprü kuran Kapadokya, ipek yolunun da önemli kavşaklarından biridir. Bu dönemde Asur ve Frigya etkileri taşıyan geç Hitit Kralları bölgeye egemen olup M.Ö. 6. yüzyıldaki Pers işgaline kadar bu krallıklar sürmüştür. Günümüzde halen kullanılmakta olan Kapadokya adı, Pers dilinde "Güzel Atlar Ülkesi" anlamına gelmektedir. Daha sonra Kapadokya Selçukluların yönetimine geçmiştir. Bu dönemi Osmanlı Dönemi takip etmiştir. Kapadokya bölgesindeki son Hıristiyanlar 1924-26 yıllarında yapılan mübadele ile Kapadokya'dan ayrılmışlardır.

## 2.2 Bölgenin Jeolojik Yapısı

Çalışma alanı olarak kabul edilen Nevşehir ili, İç Anadolu Bölgesi'nde  $38^{\circ} 12'$  ve  $39^{\circ} 20'$  kuzey enlemleri ile  $34^{\circ} 11'$  ve  $35^{\circ} 06'$  doğu boylamları arasında kalır. Orta Anadolu' da, Erciyes, Hasan Dağı ve Melendiz Dağı gibi eski yanardağların kül ve lavlarının birikmesiyle oluşmuş çok geniş bir plato üzerinde yer almaktadır (Şekil 2.1). Ülkenin en uzun akarsuyu olan Kızılırmak, bu platoyu doğu-batı doğrultusunda ve derinliğine vadilerle sık bir şekilde parçalamıştır. Nevşehir il merkezi, Kızılırmak platosu adıyla anılan geniş ve yüksek düzlüklerin batı yamaçlarında kurulmuştur. Yüzölçümü  $5.467 \text{ km}^2$  olan Nevşehir ili, Konya kapalı havzasında kalan Derinkuyu ilçesi dışında, bütünüyle Orta Kızılırmak Havzasına girmektedir (Nevşehir çevre raporu, 2006).



Şekil 2.1. İnceleme alanı ve yakını kabartma fiziki haritası

Nevşehir il alanının %18.5'ini kaplayan ve asıl oluşum dönemi III. Jeolojik zaman olan dağlar genel olarak Kızılırmak vadisinin kuzeyinde ve güneyinde toplanmıştır. Alp kıvrımlaşması sırasında Kuzey Anadolu ve Güney Anadolu dağları şekillenirken, ortaya çıkan sıkışmalarla Orta Anadolu'da yer yer yükselme ve çökmeler olmuştur. Çöken kesimde uzanan Nevşehir toprakları, III. Jeolojik zamanda (Neojen) göl sularının altında kalmıştır. Daha sonra bölgede oluşan çok yoğun volkanik ve tektonik hareketler neticesinde alanın büyük bir bölümü çıkan lav ve tüflerle örtülmüştür. Bir taraftan ise

yeni kırılmalar ve püskürmelerle yükselmiş ve böylece dağlar oluşmuştur (Şekil 2.2), (Nevşehir çevre raporu, 2006).

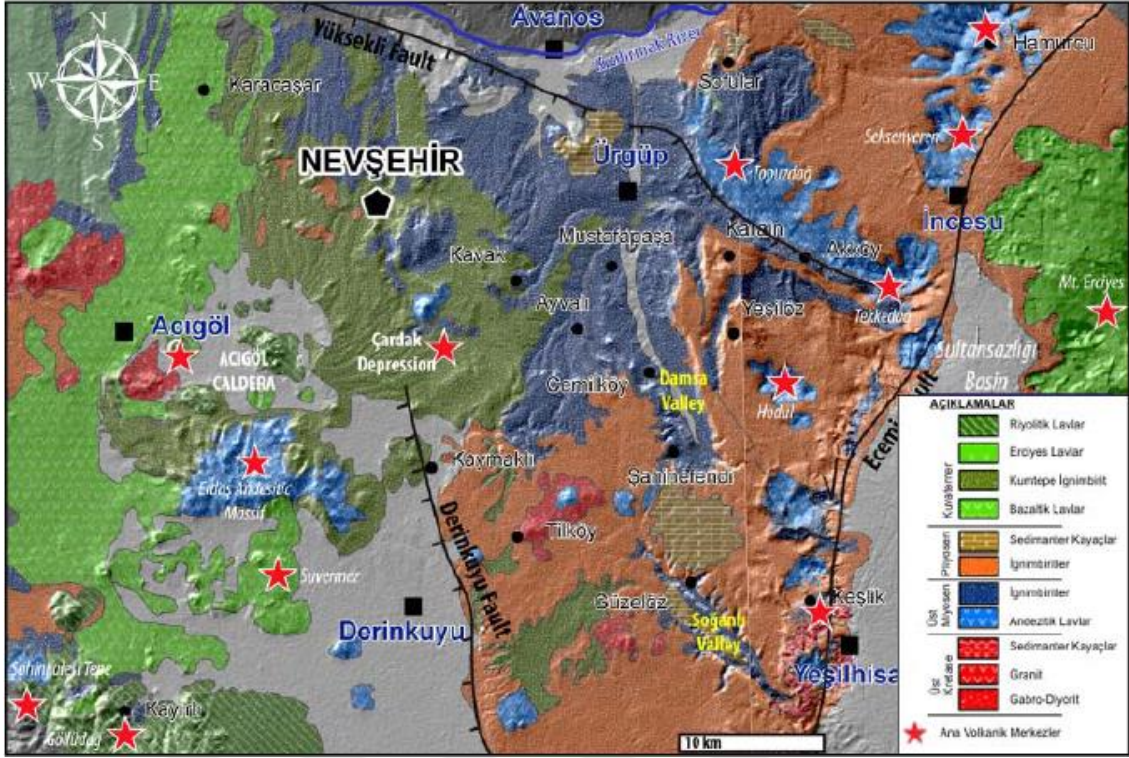
### 2.3 Bölgedeki Kaya Birimi

Bölgedeki kaya birimi ignimbirit karakterli, açık kahve, beyazımsı renkli homojen ignimbirit, ankelit ve pomza içermektedir. Kütle içerisinde pomza ve çakıl bulunmakta olup bunların özellikleri; beyaz-sarı-gri renkli, organik madde içermeyen; az köşeli, nem içeriği düşük, geçirimli, andezit-bazalt çakılları ve pomza-kül çakılıdır. Söz konusu pomza ve çakıllar tuf birimi içerisinde dağınık halde bulunmaktadır. Birimler içerisinde nem oranı çok düşüktür.

Ürgüp formasyonunun üyesi olan kavak üyesi tüfler plajiyoklas, kuvars, pomza, opak mineraller, biyotit, ve simektit kil hamuru ile çimentolaşmasından oluşmuştur. Bu malzeme suyla temas etmesi durumunda şişebilen özelliكتedir. Malzeme içerisindeki biyotit ve opak mineraller metamorfizma sonucu demiroksite dönüşebilmekte, camsı kısımlar ise kile dönüşebilmektedir (Yolveren vd., 2011).

Şekil 2.2'den görüleceği üzere, bölgede genel olarak kavak üyesi birimi gözlemlenmektedir. Alandaki kavak üyesi birimi akıntı tufu niteliğindedir. Alanın tümü bu birimden oluşmaktadır. Söz konusu birimler lokal olarak incelendiğinde, dar alanlarda homojen özellikte, geniş alanlarda heterojen özelliktedir. Mevsimsel olarak ısı dengesinin değişmesi sebebiyle, bölgedeki malzemenin dış yüzeylerinde, su emme ve şişme özelliğinden dolayı yüzeysel bozulmalar gerçekleşebilmektedir. Ayrıca donma çözünme etkisi ile mikrodan makro ölçeğe kadar çatlaklar oluşabilmektedir (Yolveren vd., 2011).

Bölgede yapılan çalışmalarda eklem şeklinde süreksizlikler gözlenmiştir. Söz konusu süreksizlikler genelde demiroksit depositi ile dolguludur. Süreksizliklerin yerinde yapılan ölçümlerinde genelde 1.00 m-5.00 metre aralıklı ve pürüzlü özellikte olduğu gözlenmiştir. Süreksizliklerde su gözlenmemektedir.



Şekil 2.2. Kapadokya bölgesinin genelleştirilmiş jeoloji haritası (Aydar vd., 2012)

Şekil 2.3'te sunulan bölgeye ait dikey kesitten gözlemlenen birimler stratigrafik olarak tavandan tabana doğru; Alüvyon (Qal), Kızılırmak Çakıltası (Qc), Kumtepe Külü (Qk), Alacaşar Tüfü (Qa), Çataltepe Bazaltı (Tüç), Karadağ Üyesi (Tük 1), Tahar Üyesi (Tüt), Sarımadentepe Üyesi (Tüs), Kavak Üyesi (Tük), Tuzköy Formasyonu (Tt), Yüksekli Formasyonu (Ty) ve Ortaköy Granatoidi (&o) şeklindedir.

| Kayseri - H 19 Paftası Genelleştirilmiş Dikme Kesiti |                   |                           |   |      |      |     |       |          |                |                                   |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|--|-------------------|---------------------------|---|------|------|-----|-------|----------|----------------|-----------------------------------|---|--|--|--|--|--|--------------|--------------------------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|
| ÜST SİSTEM   | SİSTEM            | SERİ                      | KAT                                       | GRUP | FORM | ÖYE | KALIN | SİMGE    | LİTOLOJİ       | AÇIKLAMALAR                       |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>SENOZOYİK</b>                                     | <b>KUVATERNER</b> |                           |   |      |      |     |       | Qal / Qy |                | Günzel Akkuyun yamaçlıdır         |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | Qe       |                | Em Akkuyun                        |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | Q1       |                | Balkaya Trauerleri                |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | QK3      |                | Hamıyık İpe Bazaltı               |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | QK2      |                | Kızıldağ Bazaltı                  |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | Qc       |                | Kazlımık Çakıl taşı               |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | Qk1      |                | Konudağ Andezitik Cam             |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | Qb       |                | Boğazköy Opistiyeni               |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | Qk       |                | Ham İpe KÜG                       |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | Qa       |                | Alacağar KÜG                      |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | TU2      |                | Çalı İpe Bazaltı                  |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | TUK2     |                | Marmı Kili Kireç taşı             |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | TU11     |                | Toprudaglı Bazaltı                |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | TUk1     |                | Ham Kum taşı TUK1 Konglomera      |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       | TU       |                | Gr-Pembe İgrimbirlik Dastaklı TÜR |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  | <b>TERSİYER</b>   | <b>MIYÖSEN - PLİYOSEN</b> | <b>ÜST MIYÖSEN - PLİYOSEN</b>             |      |      |     |       |          | TUk1           |                                   | Sarı TUN İgrimbirlik Lahar Çökeli   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | TU             |                                   | Pembe TÜR İgrimbirlik Lahar Çökeli  |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | TU2            |                                   | Pomza İ Lahar Depoziti  |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | TU3            |                                   | Damsa Bazaltı   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | TU4            |                                   | Mavi Kili n Tabakalı, pomza İ İgrimbirlik   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | TU5            |                                   | Kırmızı renkli Lalenlik kırıntı, kumlu, silisli, kili kırıntılar                      |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | TUK            |                                   | Beyaz Renkli İgrimbirlik Lahar Çökeli   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | Ty             |                                   | Teknesel çapraz tabakalı, kum taşı, Çakıl İ kumlu KİLİ, silisli, kum taşı, çakıl taşı |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | Tİ             |                                   | Kum taşı Kili taşı TUN lüpe   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | Tb             |                                   | Büyükçele Tepe Andezitli  |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | Tk             |                                   | Kırmızı renkli Konglomera, kum taşı, silisli, çamurlu taşı, İrgüçlümek çökelleri      |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | Tka            |                                   | Kuzeyli Kum taşı ile Ünyeli Memur Kili taşı   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | Tkb            |                                   | Kumlu Memur Orla İnce Tabakalı KİLİ Kireç taşı  |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | Tk             |                                   | Açık çelikleli, kum taşı KİLİ Kireç taşı, marmı, kili taşı                            |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  |                   |                           |   |      |      |     |       |          | <b>E O SEN</b> | <b>OLİGOSEN</b>                   | <b>LÜTESİYEN ÖNCESİ</b>   |  |  |  |  |  | Ta           |                                      | Çörekli Kireç taşı Kum taşı Memur   |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Tk                |                           | Çakıl taşı Kum taşı Silisli taşı          |      |      |     |       |          |                |                                   |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Tkb               |                           | Bilimlülü Kum taşı Silisli Kireç taşı     |      |      |     |       |          |                |                                   |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Tk                |                           | Kum taşı Kumlu Memur                      |      |      |     |       |          |                |                                   |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Tk                |                           | KÜG boyatmalı çakıl taşı ile çamurlu taşı |      |      |     |       |          |                |                                   |   |  |  |  |  |  |              |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |
|  | <b>E O SEN</b>    | <b>OLİGOSEN</b>           | <b>LÜTESİYEN ÖNCESİ</b>                   |      |      |     |       |          |                |                                   |   |  |  |  |  |  | Tk           |                                      | 1. Orta Köy Granoditli Granit, granodiyorit, Siyenli<br>2. Gebro, diyorit, porfir |  |  |  |  |  |  |  |
| PUB  |                   |                           |   |      |      |     |       |          |                |                                   |   |  |  |  |  |  |              | Orta- kalın tabakalı memur           |   |  |  |  |  |  |  |  |
| PNI  |                   |                           |   |      |      |     |       |          |                |                                   |   |  |  |  |  |  |              | Fİİİ Serisi Horti Şel Kalkşel Mermer |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>PALEOZOYİK MSZ</b>                                |                   |                           |   |      |      |     |       |          |                |                                   |   |  |  |  |  |  | <b>KAMAH</b> |                                      |   |  |  |  |  |  |  |  |

Şekil 2.3. Nevşehir yöresindeki volkanitlerin jeolojisi (Batum, 1978)

Çizelge 2.1’de yer alan kayaç sınıfları değerlendirmesine göre bölgedeki kayaçlar “çok düşük dayanımlı kayaç” sınıfına girmektedir.

**Çizelge 2.1.** Kayaç sınıfları (Bieniawski, 1975)

| <b>Kayaç Sınıfı</b>  | <b>Nokta Yük İndisi</b> |
|----------------------|-------------------------|
| Çok Yüksek Dayanımlı | > 80,00                 |
| Yüksek Dayanımlı     | 80,00 - 40,00           |
| Orta Dayanımlı       | 40,00 - 20,00           |
| Düşük Dayanımlı      | 20,00 - 10,00           |
| Çok Düşük Dayanımlı  | < 10,00                 |

#### **2.4 Bölgede Yer Alan Kayadan Oyma Yapıların Tarihi**

Kapadokya bölgesinde tüm antik yerleşimlerde Hititlerin kalıntlarına rastlamak mümkündür. Bölgede yaşayan Hititlerin barınma amacıyla yumuşak tüfü oyup yaşadıkları görülmektedir. Roma Dönemi halkının da yeraltı şehirlerinin yapımında bir rolü olduğunu bilinmektedir. Özellikle Nevşehir civarında, Roma Dönemi'ne ait kaya mezarları yeraltı yerleşiminin hemen yakınında olup onlar gibi geniş alanlara yayılmıştır. Hatta kaya mezar odalarında yer alan nişli odalar yeraltı şehirlerinde de bulunmaktadır. Yeraltı şehirlerine ait bütün bulgular M.S. 5-10. yüzyıllar arasındaki Bizans Dönemi'ne aittir. Genellikle dini ve sığınma amaçlı olarak kullanılan yeraltı şehirlerinin sayısı Bizans Döneminde artmıştır (Gülyaz, 1998). Bizans Dönemi'nde 7. yüzyılda başlayan Arap-Sasani akınları karşısında Kapadokya'da yaşayan Hıristiyan topluluklar yeraltı şehirlerine saklanarak korunmuşlardır. Düşmanlar ise içeride birçok tehlike ile karşı karşıya kalabilme ihtimaline karşı, daha çok su kuyularını zehirleyerek yerli halkı dışarı çıkarmaya çalışmıştır. Kapadokya bölgesindeki Selçuklu Kervansaraylarının bu yeraltı şehirlerinin yakınında bulunması sebebiyle, Selçukluların da bu yeraltı şehirlerinden yararlandıkları ve askeri amaçlı kullandıkları düşünülmektedir (wikipedia, 2019).

Yeraltı şehirleri hakkında en eski yazılı kaynak Xenophon'un "Anabasis" adlı kitabıdır. M.Ö. 4. yüzyılda yaşamış olan Xenophon, Anadolu'da ve Kafkaslarda yaşayan insanların yerin altında, birbirlerine dehlizlerle bağlı olan evler oluşturduğundan bahsetmektedir. Martin Urban, M.Ö. 7-8. yüzyıllarda yeraltı yerleşimlerinin yapıldığını belirtmektedir (wikipedia, 2019). Bölgede en eski kaya oyma yapılar, kaya mezarlar ve yeraltı şehirleridir.

Kapadokya bölgesindeki kaya oyma yapılar tarihsel olarak aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Kaya mezar ve yeraltı şehirleri
- Kilise ve ibadethaneler (9. yy'den sonra)
- Kayadan oyma evler ve müştemilatı (ahır, kiler vb.)
- Kayadan oyma doğal depolar

Bölgedeki kayadan oyma yapılar günümüzdeki kullanımları dikkate alınarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Yeraltı şehirleri
- Kayadan oyma kilise ve ibadethaneler
- Kayadan oyma konutlar
- Kayadan oyma oteller
- Kayadan oyma sosyal tesisler
- Kayadan oyma depolar

## **2.5 Kayadan Oyma Yeraltı Şehirleri**

Kayadan oyma yeraltı şehirlerinde özellikle pagan topluluklar veya kendisini baskılardan gizlemek isteyen Hıristiyan komüniteler yaşamıştır (Tekin, 2009). Kapadokya bölgesinin bütün yerleşmelerinde çeşitli büyüklüklerde yaklaşık 200 yeraltı şehri bulunmaktadır (Berkmen, 2015). Derinkuyu, Kaymaklı, Nevşehir Kalesi civarı, Özkonak Kasabası, Tatların Kasabası, Özlüce ve Göynük köyleri ile Acıgöl ilçesindeki yeraltı şehirleri en bilinenleridir (Çizelge 2.2).

**Çizelge 2.2.** Kapadokya bölgesinde tespit edilmiş yeraltı şehirleri

| Kayseri | Kırşehir                                    | Nevşehir  | Niğde                 |
|---------|---|---|-----------------------|
| Ağırnas | Mucur<br>Dulkadirli İnli Murat<br>Kümbetalı | Derinkuyu<br>Kaymaklı<br>Özkonak<br>Mazıköy<br>Özlüce<br>Göynük<br>Sivasa Gökçetoprak<br>Tatların<br>Acıgöl<br>Merkez Kale altı | Konaklı<br>Kavlaktepe |

M.Ö 3000 yılına kadar uzanan kayadan oyma yer altı şehirleri, Roma ve Bizans döneminde yoğun olarak kullanılmıştır. Özellikle saldırı, afet ve aşırı soğuklardan korunma amaçlı yapılmışlardır. Sığınak ve yaşam alanları olarak kullanılan yer altı şehirleri tüf kayanın oyulması ile elde edilmiştir. Ana koridora bağlı yan koridorlar, havalandırma bacaları, yol üzerinde kayadan oyulmuş arkası sürgülü kaya kapılar, yemekhane, şarap üretim ve saklama alanı, kilise, mutfak ve odalardan oluşur. Mezar olan kısımlar da mevcuttur (Fotoğraf 2.1 ve 2.2).



**Fotoğraf 2.1.** Derinkuyu Yeraltı Şehri (Kapadokya, 2019)



**Fotoğraf 2.2.** Kaymaklı Yeraltı Şehri (Kapadokya, 2019)

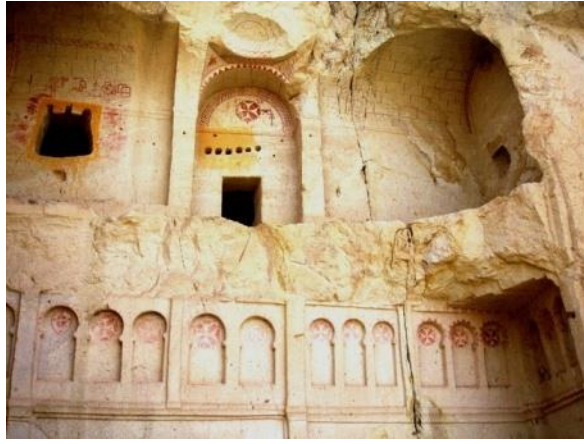
## **2.6 Kayadan Oyma Kilise ve İbadethaneler**

Kapadokya bölgesinde kayadan oyma yapıların en önemli örnekleri Hıristiyanlığın erken yıllarından Ortaçağ'ın sonlarına kadar geniş bir zaman dilimine yayılan dini mimarlık örnekleridir (Bilgili, 2018). Putperestlerin zulmünden kaçan Hıristiyanlar kayalara oyulan evler ve kiliseleri sığınak haline getirmiştir.

Kapadokya bölgesi içinde en fazla kilise ve manastır Göreme ve çevresinde bulunmaktadır. Berkmen'in (2015) bildirdiğine göre Göreme Açık Hava Müzesi'nde 365'den fazla kilise bulunmaktadır. Bunlar arasında Karanlık Kilise, Kızlar ve Erkekler Manastırı, Aziz Basileus Kilisesi, Barbara Kilisesi, Elmalı Kilise, Yılanlı Kilise, Tokalı Kilise ve El Nazar Kilisesi en meşhur kaya oyma kiliselerdir (Fotoğraf 2.3 ve Fotoğraf 2.4). Kapadokya bölgesinin diğer önemli yerleşmeleri olan Avanos Ürgüp ve Nevşehir'de de kayadan oyma dini yapı örnekleri bulunmaktadır.



**Fotoğraf 2.3.** El Nazar kilisesi, Göreme (Kapadokya, 2019)



**Fotoğraf 2.4.** Karanlık Kilise, Göreme (Kapadokya, 2019)

## 2.7 Kayadan Oyma Konutlar

Kayadan oyma konutlar, bölgenin jeolojik yapısından faydalanılarak yapılmış, en erken döneme tarihlenen konut türlerindedir (Solmaz ve Güçhan, 2011). M.S. 7. yy'den itibaren yerleşmeye sahne olan yörede, yumuşak karakterli tuf ve ignimbrit kütleleri insanlar tarafından oyularak korunma, saklanma ve barınma amaçlı kullanılmıştır (Dirik, 2009; Harunoğulları ve Kayar, 2015). Kayadan oyma konutlarda birimler vadi yamacına ya da peribacasına oyularak, oluşturulmaktadır. Tek bir oda ile başlayan kayadan oyma konutlar ihtiyaçlar doğrultusunda yatayda ve düşeyde yeni mekânların eklenmesi ile büyüyerek şekillenirler (Tekin,2009). Vadi yamacına oyulan konutlarda, zamanla oluşan mekân gereksinimi, yamacın içine oyulan yeni mekânlarla karşılanmaktadır. Peribacasının içine oyularak yapılmış konutlarda ise yeni mekân ihtiyacı, peribacasını dikeyde oyarak karşılanmaktadır (Solmaz ve Güçhan, 2011).Bu

tür yerleşim alanlarına Göreme, Zelve ve Çavuşin'de rastlanmaktadır. Uçhisar ve Ortahisar gibi yerleşim yerleri ise büyük volkanik tüf kayalarının eteklerine kuruludur. Kayalık eteklerini her yönden sarmalayan sivil yerleşimlerin, kayaya oyulmuş korunma alanları ile bağlantısı bulunmaktadır (Ulusoy Binan, 1994; Tekin, 2009).

Kayadan oyma konutlar bölgede özellikle Uçhisar, Göreme, Ortahisar, Ürgüp, Mustafapaşa ve Avanos yöresinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Kayadan oyma konutlar zaman içinde yarı oyma- yarı yığma konutlara dönüşmüşlerdir. Bu konut türü, büyük çoğunluğu Roma ve Bizans döneminden kalan kayadan oyma meskenlerin ön kısımlarına zamanla eklenmiş kemer kısımlardan oluşan 2-3 katlı yapılardır. Günümüzde sit alanı içinde olmaları sebebiyle, yeni kaya oyulmasına izin verilmediğinden bölgede bulunan eski yerleşim birimleri değerlendirilmektedir. Bu nedenle, İbrahim Paşa, Nar, Çat ve Ayvalı gibi köylerde de bu tür yapılaşmalar artmıştır. Konutların turizm amaçlı otellere dönüştüğü bir dönem başlamıştır (Fotoğraf 2.5).



**Fotoğraf 2.5.** Kayadan oyma otele dönüşmüş bir konut, Çavuşin Köyü

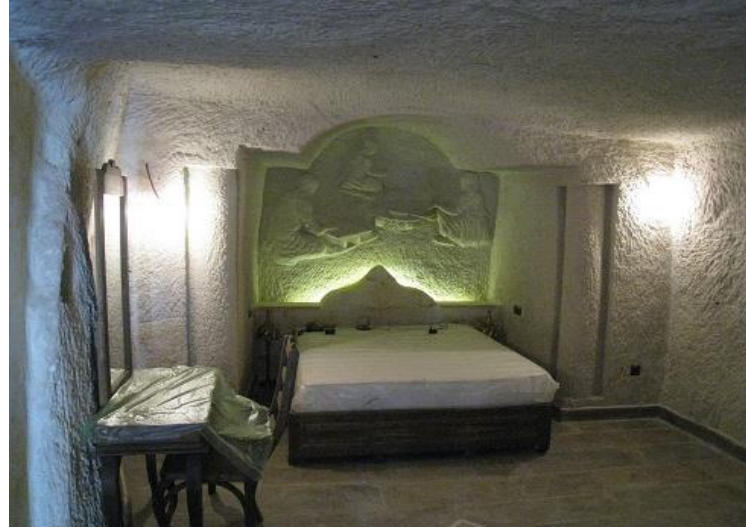
## **2.8 Kayadan Oyma Oteller**

Kaya oyma otellerin kaya kısmının ön cephesi ile süreksiz kayaç ve ince tabaka kalınlığı olan kesimlerinde sert volkanik taşlardan kemer yapılmaktadır. Yine avlu ve ön kısımlarda taş yığma yapılar kullanılarak birimler artırılmaktadır. Oda yükseklikleri

ortalama 2.50 metredir. Kapı girişleri kemer taş yapıdır. Özellikle toprak seviyesi altındaki kısımlarda havalandırma önem taşımaktadır (Fotoğraf 2.6 ve Fotoğraf 2.7).



**Fotoğraf 2.6.** Kayadan oyma otel, Göreme



**Fotoğraf 2.7.** Kayadan oyma otel odası, Göreme

## **2.9 Kayadan Oyma Sosyal Tesisler**

Düğün salonu, toplantı salonu, gösteri ve eğlence alanları olarak kullanılan bu tür yapılar tek katlı olarak inşa edilmekte olup tarihi geçmişleri yaklaşık 20 yıldır. Sit alanı ilanından önce yapılmış veya sit alanı dışında tesis edilmişlerdir. Nevşehir İli, Nar Kasabası, Uçhisar Kasabası, Avanos ve Mustafapaşa Kasabası'nda kayadan oyma düğün salonu ve restoranlar bulunmaktadır (Fotoğraf 2.8 ve Fotoğraf 2.9).

Bu tür yapılarda ortada yaklaşık 20x20 m boyutlarında sahne yer almaktadır. Bazı yapılar, sahne üzerindeki ağırlığın azaltılması ve kabuk sisteme dayanım sağlamak amacıyla içeriden tonoz formu oluşturulmaktadır. Galeria kenarlarında yükseklikler 3 metre, orta yükseklik ise 5-6 metre civarındadır. Ortada 2 m olan üst tabaka kalınlığı kenarlarda artmaktadır. Sahneyi çeşitli açılardan gören locaların genişliği 3-6 metre, yükseklikleri ise 3 metre civarındadır. Uzunluk serbest haldedir. Her loca arasında taşıyıcı kayadan oluşan kolon sistemi en az 2 metre kalınlıktadır.



**Fotoğraf 2.8.** Kayadan oyma restoran giriş cephesi, Avanos



**Fotoğraf 2.9.** Kayadan oyma restoran iç mekân, Avanos

## 2.10 Kayadan Oyma Depolar

Kayadan oyma doğal soğuk hava depolarının geçmişi Hititlere kadar uzanmaktadır. Daha sonra bu depoları Romalılar, Bizanslılar, Selçuklular ve Osmanlılar da aynı amaçla kullanmışlardır (Harunoğulları ve Kayar, 2015). Günümüzde kayadan oyma depoların yoğunlukla bulunduğu bölgeler Çat, Nar, Ortahisar ve Kavak Kasabalarıdır. Yalnızca Kavak ve Ortahisar'da 500'ün üzerinde depo hizmet vermektedir (Boyras ve Zeren, 2012). Gelişen teknolojiye bağlı olarak depoların büyüklükleri de giderek artmaktadır. Yörede bilinen ve 2000 m<sup>2</sup>'nin üzerinde alana sahip depo sayısı 100 civarındadır (Fotoğraf 2.10 ve Fotoğraf 2.11)



**Fotoğraf 2.10.** Kayadan oyma depo iç mekân, Nar Kasabası



**Fotoğraf 2.11.** Kayadan oyma depo giriş cephesi, Nar Kasabası

Yaz aylarında, deponun dışındaki kalın tüf duvarlar, bünyelerinde bulunan hava boşluklarının etkisiyle iyi bir ısı yalıtımı sağlar. Böylece bu depolarda iç sıcaklık, dış ortam sıcaklığının altında ve da az değişken olur. Depolardaki bağıl nem, toprağın neminden yararlanarak veya su serpilerek yüksek tutulmaktadır. Kış aylarında ise

yağmur ve kar suları tuf materyalinin içine sızarak boşlukları doldurmakta, böylece kayadan oyma depo içindeki nem sürekli yüksek olmaktadır. Tuf, nemi dışarı atarken buharlaşma gerçekleşmekte, bu buharlaşma sonucunda deponun iç sıcaklığı düşmektedir (Örüng vd., 2016). Bu özellikler nedeniyle kayadan oyma depolar yaz mevsiminde serin, kış mevsiminde ise ılık olmakta, aynı zamanda içerideki havanın nem oranı da sabit kalmaktadır (Berkmen, 2015). Bu depolarda uzun depolama dönemi içinde sıcaklık 4-10 °C, bağıl nem % 85-90 arasında olmaktadır (Örüng vd., 2016). Nem oranı yüksek olan bu depolarda, ürünlerin çürüme ve bozulmasının geç olduğu bilinmektedir (Boyras ve Zeren, 2012).

### **2.10.1 Kayadan oyma depolarda iklimlendirme yöntemleri**

Kış mevsiminde turuncgiller, özellikle limon, yaz aylarında ise patates için doğal depolama özelliği sunan kaya oyma depolarda havalandırma, düşey ve yatay havalandırma sistemleri ile sağlanır. Havalandırma, giriş kapısı üzerindeki ızgaralar ile toprak yüzeyine ulaşan düşey hava kanalları ile sağlanmaktadır. Depo içerisinde ısınan havanın yükselmesi, derin kaya birimlerinden nem ve soğuk hava elde edilmesi prensibiyle çalışmaktadır. Doğal havalandırma, kayayı aşırı nemden korurken ürünlerin çürümesine de engel olmaktadır. Kaya kalınlığı ve dış ortamdan uzaklığı nedeniyle içerideki sıcaklık +4 °C seviyesini Haziran aylarına kadar koruyabilmektedir. Havalandırma, depolama alanı olan galerilerin arka kısmından 80x100 cm boyutlarında düşey bacalar açılarak yapılmaktadır. Geçmişte 25-30 cm çapında olan havalandırma bacaları, günümüzde teknolojik gelişmeye bağlı olarak modern makinelerle açılan geniş depolardaki bacaların çapı geçmişte açılan depolardaki bacalara göre daha büyüktür (Güngör ve Uysal, 2017). Doğal zemin üzerindeki bacaların yükseklikleri üst örtünün kalınlığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Duru, 2019). Bacaların üzerine korunaklı örtü yapılmaktadır (Fotoğraf 2.12).

Yaz aylarında depoların kapıları ve havalandırmalar açılarak doğal yollarla soğutma yapılmaktadır. (Boyras ve Zeren, 2012). Ancak son yıllarda artan mevsim sıcaklıkları nedeniyle ek soğutma ünitelerine başvurulmaktadır. Ortamın ısını ölçen sensörler ile elektrikli büyük pervaneler ile havalandırma yapılmakta, soğuk hava veren ünitelerle de soğutma yoluna gidilmektedir. Depolarda galeriler bir koridorla ayrılmakta ve galerilerin arkasında dış ortama açılan havalandırma kanalı ve bir fan grubu

bulunmaktadır. Hava sıcaklığının artmasını algılayan sensörler vasıtasıyla fan sistemleri devreye girerek ürün yığını altına yerleştirilen borularla, sıcak ve kirli havanın depodan atılmasını sağlamaktadır (Fotoğraf 2.13).



**Fotoğraf 2.12.** Kayadan oyma depolarda doğal havalandırma



**Fotoğraf 2.13.** Kayadan oyma depolarda mekanik havalandırma

### **2.10.2 Kayadan oyma depolarda galeri açma yöntemleri**

Depoların açılması, büyüklüklerine göre değişik sürelerde tamamlanabilmektedir. 1000-1500 m<sup>2</sup> alana sahip orta ölçekli bir deponun kazı işlemleri yaklaşık 45 gün sürmekte ve bu süre alanın büyüklüğüne göre değişmektedir (Boyraz ve Zeren, 2012). Galeri açmada, elle ve makine ile olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Günümüzde sadece makine ile açma yöntemi kullanılmaktadır. Kullanılan kollu tünel açma aygıtı, kayacı bir kol üzerinde dönen küçük bir kafaya yerleştirilmiş kesiciler yardımıyla yontmaktadır (Fotoğraf 2.14). Tam kesitte tünel açma aygıtından farklı olarak, bu aygıt dairesel olmayan kesitlerde de kullanılabilir. Daha az enerjiye ihtiyaç duyulduğu

için maliyetleri de daha düşük olmaktadır. Bu aygıta benzer başka galeri açma ağıtları da mevcuttur.



**Fotoğraf 2.14.** Kollu galeri açma ağıtı

### **2.10.3 Kayadan oyma depoların genel jeolojik özellikleri**

Bölgede ağırlıklı olarak kavak üyesi kaya birimi gözlenmektedir. Ulusay ve Aydan (2007), kavak üyesi tüflerinin yüksek poroziteye ve düşük birim hacim ağırlıklarına sahip olup, kaya kütlesi olarak iyi kaya kütlesi olarak sınıflandırılmalarına karşın, dayanımları açısından; “zayıf-çok zayıf “ve “atmosferik koşullara karşı oldukça duyarlı” olduklarını ifade etmektedir. İnceleme alanı civarındaki tüflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.3’te verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Ürgüp ve civarındaki tüflerin fiziksel ve mekanik özellikleri (Ulusay vd. 1997)

| <b>Malzeme Özellikleri</b>                       | <b>Ürgüp Yöresi (Kavak T.)</b> |
|--|--------------------------------|
| Kuru Birim Hacim Ağırlık ( $\text{kN/m}^3$ )     | 11,20-17,30                    |
| Doygun Birim Hacim Ağırlık ( $\text{kN/m}^3$ )   | 15,60-19,00                    |
| Etkin Porozite (%)                               | 28,00-37,60                    |
| Boşluk Oranı (%)                                 | 38,90-43,70                    |
| Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (kuru: düşey: MPa)  | 2,50-10,40                     |
| Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (kuru: yatay: MPa)  | 4,00-4,20                      |
| Çekme Dayanımı ( Brezilyan Deneyi, MPa)          | 0,30-0,46                      |
| Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi, Id2 (%) | 53,50-65,80                    |
| Elastisite Modülü (GPa ) (Düşey)                 | 0,50-4,00                      |
| Elastisite Modülü (GPa ) (Yatay)                 | 2,00-2,70                      |
| Poisson Oranı (Düşey)                            | 0,24-0,31                      |
| İçsel Sürtünme Açısı (Derece)                    | 16,30-16,50                    |
| Kohezyon (MPa)                                   | 11-13                          |
| Disk Makaslama Dayanım İndeksi (MPa)             | 0,54-0,94                      |
| Dalga Hızı Kuru (Düşey) (km/s)                   | 1,20-1,83                      |
| Dalga Hızı Kuru (Yatay) (km/s)                   | 1,10-1,50                      |
| Dalga Hızı Doymuş (km/s)                         | 1,19-1,82                      |

## BÖLÜM III

### KAYADAN OYMA DEPO YAPILARININ TASARIM VE UYGULAMA SÜRECİ

Kayadan oyma depo yapılarının tasarım ve uygulama süreci; kaya kütle etüdü, kayadan oyma yapı tasarım ve analizi ile gereken durumlarda güçlendirme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır (KOYHY, 2017). Bu bölümde, kayadan oyma depo yapılarının tasarım ve uygulama aşamaları ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

#### 3.1 Arazi İncelemesi

Kayadan oyma yapıların yapılacağı alanın imar durum belgesi temin edildikten sonra, arazi incelemesi için plankote çalışması ve aplikasyon planı yapılmaktadır. Depo yapılarının kullanım alanları, giriş avlusu ve havalandırma bacalarının konumları yerinde inceleme yapılarak önceden belirlenir. Sınırlar belirlendikten sonra, jeolojik etüt ve sondajla kaya yapısı ve derinlik bilgileri, yeraltı su seviyesi tespit edilmektedir. Jeolojik etüt sonuçlarına göre malzeme dayanımı ve açıklık ölçüleri tespit edilmektedir. Üst tabaka kalınlığı bu rapor ile belirlenmektedir. Çıkan hafriyat için yasal izinler alınmaktadır. Sit alanlarında çalışmalar kurum onayı ile yapılmaktadır. Bölgede parseller iç içe girmiş durumda olduğu için sınır ihlali olup olmadığı ve alt ve üst kullanım hakkı kontrol edilmektedir. Ayrıca bölgede tescilli yapı olup olmadığına dikkat edilmelidir.

#### 3.2 Jeolojik ve Geoteknik İncelemeler

Kayadan oyma yapıların zeminle olan ilişkisi çok önemli olduğu için inşaat öncesinde zemin özelliklerinin hassas olarak belirlenmesi gerekmektedir. Galeri açmak için kazıya başlanmasıyla, kazılan zeminin doğal dengesi bozulmakta ve dolayısıyla yeni bir denge durumu oluşabilmesi için ortamdaki gerilme dağılımı değişmektedir. Bu yeni gerilme dağılımında zeminin jeolojik geçmişi ve geoteknik özellikleri önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, proje sahasının ve çevresinin topoğrafik, jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, jeofizik ve geoteknik özellikleri ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar varsa temin edilir. Alanın jeomorfolojisi, bitki örtüsü ve yol durumu ve mevcut kayaçların

özelliklerine ilişkin bilgiler de temin edilmelidir (KOYHY, 2017). Bu incelemeler depo açma esnasında ve tamamlandıktan sonra da devam ettirilmektedir (Öztürk, 2007).

Yüzey jeolojisi incelemeleri, jeofizik araştırmalar, yerinde deneyler ve laboratuvar çalışmaları yardımıyla en uygun galeri yerleri belirlenir. Galeri eksenini boyunca zemin-kayaç sınırı, yeraltı suyu, faylar, zemin ve kayaç tipleri, tabakaların durumu, depremsellik, gaz ve ısı durumu gibi özelliklerin belirtildiği jeolojik harita çıkarılır ve zeminin geoteknik özellikleri belirlenir (Öztürk, 2007).

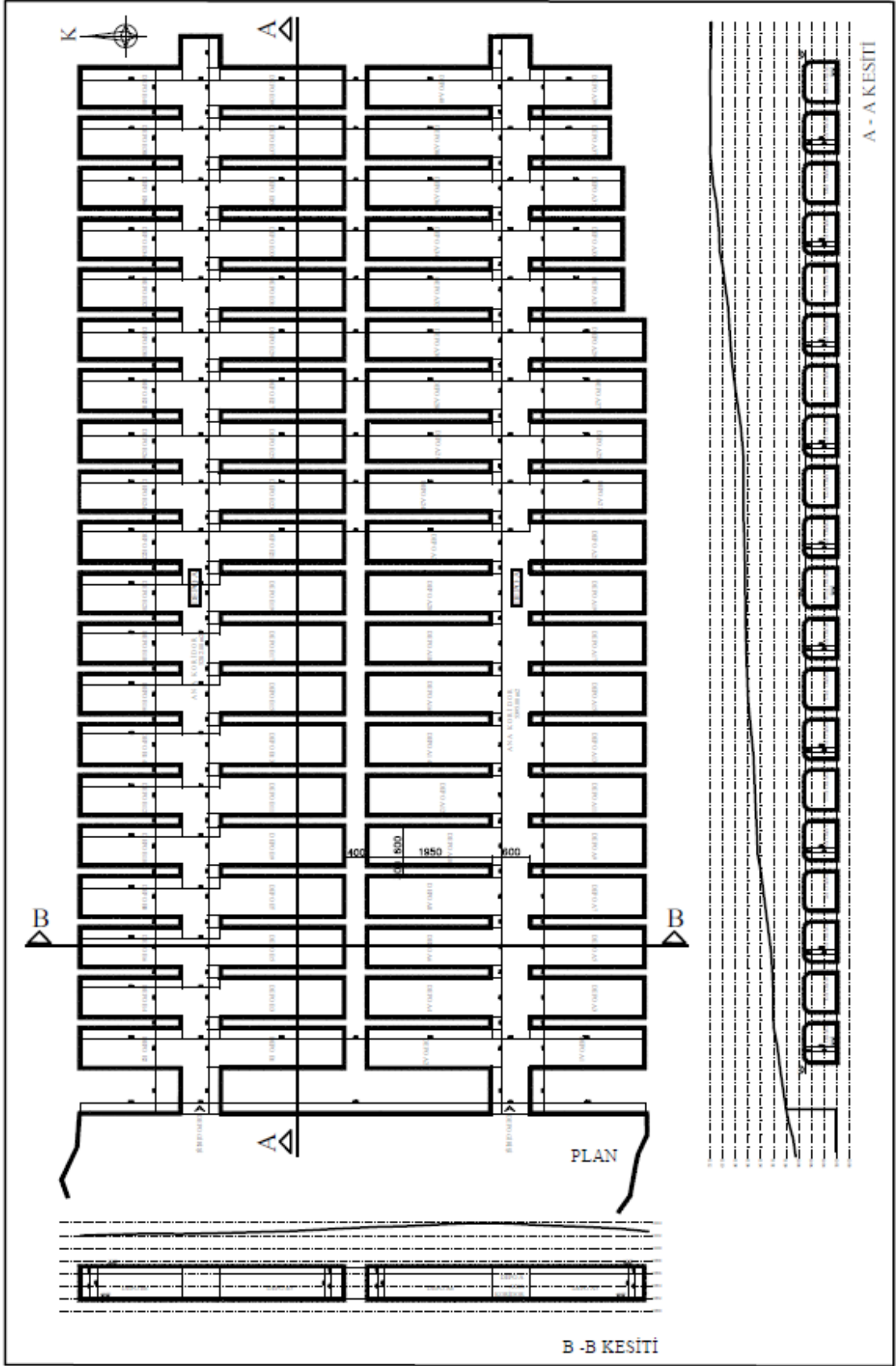
### **3.3 Kaya Kalite Etüd Raporu**

Zeminden alınan numunelerin laboratuvar sonuçlarına dayalı olarak yoğunluk, birim hacim ağırlık, su muhtevası, ağırlıkça ve hacimce su emme ve boşluk oranı gibi fiziksel özellikleri ile mekanik özellikleri belirlenir. Kaya tipi, deprem parametreleri, yeraltı su seviyesi, drenaj önerileri, zemin grubu, malzeme basınç dayanımı, iksa şartları ve değerleri ile statik hesap için gerekli tüm veriler belirlenmelidir. Kaya ve örtü kalınlıkları sondaj tekniği ile belirlenmelidir. Sondaj derinliği depo taban kotundan 5 metre aşağıya kadar inmelidir (KOYHY, 2017).

Kayadan oyma depoların tasarımı için kaya kütle tanımlama çalışması yapılır. Bu tanımlama için Kaya Kütle Değerlendirmesi (RMR), Kaya Kütle Kalitesi (Q) ve Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI), kaya kütle sınıflama sistemleri veya literatürde genel kabul görmüş amaca uygun farklı kaya kütle sınıflandırma sistemleri kullanılır (KOYHY, 2017).

### **3.4 Mimari Proje**

Kayadan oyma depo yapılarında, galeri ve loca boyutları, topuk mesafeleri ve havalandırma kanallarının yerleri belirlendikten sonra mimari avan projede belirtilmektedir (Şekil 3.1). Mimari avan projeye göre yapılan sondaj sonuçları statik hesaplara alt yapı oluşturmakta; topuk genişliği, üst tabaka kalınlığı gibi boyutlar belirlendikten sonra mimari uygulama projesi oluşturulmaktadır.



Şekil 3.1. Kayadan oyma depo örneği, plan ve kesit

### 3.5 Statik Analiz ve Hesap

Kayadan oyma depo yapılarında galeri hacim ve boyutları, yükseklikleri, taşıyıcı elemanların kesit ve boyutları ile üst üste gelen hacimler arasındaki en az kaya (döşeme) kalınlığı; kaya kütle etüdüne, statik analiz ve hesaplar ile yapının kullanım amacına göre belirlenir (KOYHY, 2017). Statik hesaplar yapılırken dikkate alınması gereken unsurlar aşağıda verilmiştir:

- Düşey yükler
- Yatay yükler
- Taban basınçlarının olup olmadığı
- Düşey ve yanal deplasmanlar
- Yeraltı suyunun bulunması durumu
- Hareketli yükler
  - Kayadan oyma yapı içindeki yükler (araç vb.)
  - Üst tabakadaki hareketli ve sabit yükler.

Kayaç türlerinde tünel vb. yapılarda belirli bir kaya kalınlığına kadar, gerilmelerin malzeme dayanımını aşmaması istenir. Kaya üst kalınlığının belirli bir kalınlıktan sonrası ise daha güvenli bir yapı oluşturur. Yapı üzerindeki kaya tabaka belirli bir kesitte yük alan kiriş gibi kesme kuvveti, moment ve gerilmeye tabi olurken, kalınlığının artması ile düşey yüklerin daha çok dağılması neticesinde mukavemet artmaktadır.

Statik hesap yapılmamış depolarda üst tabaka kalınlığının 3 metre olması halinde göçme tehlikesinin oldukça azaldığı yönünde bölgede bir kanaat oluşmuştur. Statik tahkikler de bu olguya destek vermektedir. Kayacın güvenliği; kayaç türü, kayaç sınıfı, kayaç kalınlığı, üzerindeki örtü kalınlığı ve hareketli yük ile ilave yüklere bağlıdır.

### 3.6 Yasal İzin

Bölgede, tarımsal amaçlı kayadan oyma depolar, Tarım İl Müdürlüğü İzni ile mevzi imar planı olmadan ruhsat alabilmektedir. Ticari amaçlı depolar ise tüm ilgili kurum

görüşleri alınmak şartıyla imar planı uygulamasından sonra ruhsatlandırılabilir. Kaya kalite ve zemin etüt raporları sonrasında yapı ruhsatı için Belediye ve İl Özel İdarelerinden izin ve ruhsat alınmaktadır.

### **3.7 Kazı Yöntemi**

2017 yılında yürürlüğe giren yönetmeliğe uygun olarak kazı yöntemi; imar durumuna, mimari projeye, statik hesaplar neticesine göre belirlenen kesitlere, doğrultuya ve yüksekliğe göre makine ve/veya el ile yapılacak şekilde belirlenmektedir (KOYHY, 2017). Bu esnada harita mühendislerince verilecek doğrultu ve yüksekliklere dikkat edilmelidir. Süreksizlik ve çatlaklar çıkması halinde ilgili jeoloji ve inşaat mühendislerine bilgi verilmelidir. Gerekli önlem ve güçlendirmeden sonra çalışmaya devam edilmelidir. Zayıf zemin vb. durumlara dikkat edilmelidir. Öngörülme-yen yeraltı suyu çıkması durumunda da çalışma durdurulmalı ve proje müelliflerinin inceleme ve izni beklenmelidir.

### **3.8 Galeri Açma**

Kayadan oyma depolarda, ilk önce kaya kütlesi sınırına dış cephe teşkil edecek bir alın oluşturulup elmas uçlu makine ile buradan yatay şekilde ana koridor açılmaktadır. Açma esnasında harita mühendislerince verilecek kot ve güzergâha tam olarak uyulmalıdır. Daha sonra ana koridordan yanlara depolama alanı olan localar açılmaktadır. Geleneksel hale gelmiş kurallar için 2011 yılında Jeofizik Mühendisleri Odası Nevşehir Temsilciliği tarafından bir öneri raporu hazırlanmıştır (Yolveren vd., 2011). Raporda loca ve koridor yüksekliği 6 metre, topuk genişliği 3 metre olarak belirtilmiştir (Fotoğraf 3.1).

Yeraltında inşa edilmelerinden dolayı kayadan oyma yapıların diğer yapılara göre daha çok jeolojik ve geoteknik bilgilerle inşa edilmesi gereklidir. Uygulama sırasında stabilitenin ve geçirimsizliğin korunması amacıyla gözlem ve ölçümler yapılmalıdır. Kazı başladıktan sonra sürdürülen incelemeler sayesinde zemin özelliklerinin yerinde belirlenmesi, çatlak diyagramlarının çizilmesi ve kazı devam ettikçe ilerideki kesitlerde karşılaşılabilecek sorunlu ortamların önceden tahmin edilmesi sağlanabilmelidir. Böylece ilave destekleme, kazı yönteminde değişiklik gereksinimleri, kazıdan

etkilenebilecek yapılarda meydana gelen oturmalar, yüksek ısı, gaz, zemin suyu akışı gibi sorunlara karşı önlem alınabilmektedir (Öztürk, 2007). Kırılma ve çökmelerin görülmesi durumunda, bu kısımlarda betonarme kabuk sistemi veya betonarme çerçeveler oluşturulmaktadır. Güçlendirilecek tavan ve yan yüzeyler statik hesapla belirlenecek kalınlıkta ve yeterli donatıya sahip olmalıdır.



**Fotoğraf 3.1. Galeri**

Kayadan oyma depo yapıları genellikle sığ derinliklerde ve yumuşak zeminlerde açılmaktadırlar. Düşük taşıma gücüne sahip ve genellikle suya doymun olan bu tür zeminlerde galeri açılması için özel tekniklerin geliştirilmesi ve genellikle zeminlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Üst tabakaya gelen suların tamamen kesilerek tabakanın kuru tutulması önemlidir. Üst tabakanın sürekli ıslak kaldığı durumlar risk teşkil eder. Nevşehir yöresi ignimbiritleri suya aşırı doyan, gözenekli bir yapıya sahiptir. Suyu doymunluk dayanımı düşürmektedir. Don etkisi ile de ufalanma gerçekleşmektedir. Bu durum, kayacın sürekli sudan uzak tutulmasını gerektirir. En çok kullanılan yöntem, yanlardan gelen suyun zemin seviyesine indirilerek koridor kenarlarına beton kanallar yapılması ve suyun eğimle dışarı atılması şeklindedir.

## BÖLÜM IV

### KAYAÇ ÖZELLİKLERİ VE HESAPLARDA KULLANILAN PARAMETRELER

Bu bölümde, bölgede yer alan üç kayadan oyma depo örneğinin bulunduğu alan tanımlanmış, depoların plan özellikleri açıklanmış, statik hesaplarda kullanılmak üzere kayaların temel fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan parametreler açıklanmış ve kullanılan hesap yöntemleri anlatılmıştır.

#### 4.1 İnceleme Alanının Genel Özellikleri

Bölgedeki kayadan oyma depo yapılarına, ilk önce Ortahisar kasabasında el ile açılarak başlanmıştır. İhtiyaçlar doğrultusunda oluşturulan küçük kapsamlı bu depolarda limon, patates ve elmanın uzun süre korunması nedeniyle, özellikle son 15 yılda ticari soğuk hava depolarında artış olmuştur. Ortahisar'da sit alanı kavramının 1997'den sonra ağırlaşması nedeniyle, depoculuk Nar kasabası, Kavak Kasabası ve Çat kasabası sınırlarına doğru ilerlemiştir. Son iki yılda Çardak köyünde de yeni depolara başlanmıştır. Avanos, Göreme, Uçhisar ve Mustafapaşa köyünde ise kayadan oyma otel ve sosyal tesisler ön plandadır.

Çalışma kapsamında incelenen A deposu Çardak köyünde olup Nevşehir il merkezine 20 km. mesafede yer almaktadır. Bölgede kayadan oyma depoculuk yenidir. Bölgedeki kayalarda süreksizlik ve çatlaklar yoğun olarak görülmektedir.

B deposu, kayadan oyma depoların en yoğun olduğu Nar Kasabası sınırları içerisinde yer almaktadır. Bölgede 500 civarında büyük depo alanı bulunur. Sit alanı dışındadır. İl merkezine 12 km mesafede yer alır.

C deposu ise Kavak Kasabasında yer almakta olup Nevşehir il merkezine 13,5 km mesafededir. Bölgede 100 civarında kaya oyma depo bulunmaktadır. Eski depolarda loca sistemi mevcut olmayıp kolon ayaklar bırakılarak gözler oluşturulmuştur. Eski depolar 3-5 metre yükseklikte iken yeni yapılanlar 5,5-6 metre yüksekliğindedir. Depoların bulunduğu bölge haritası Şekil 4.1'de sunulmuştur.



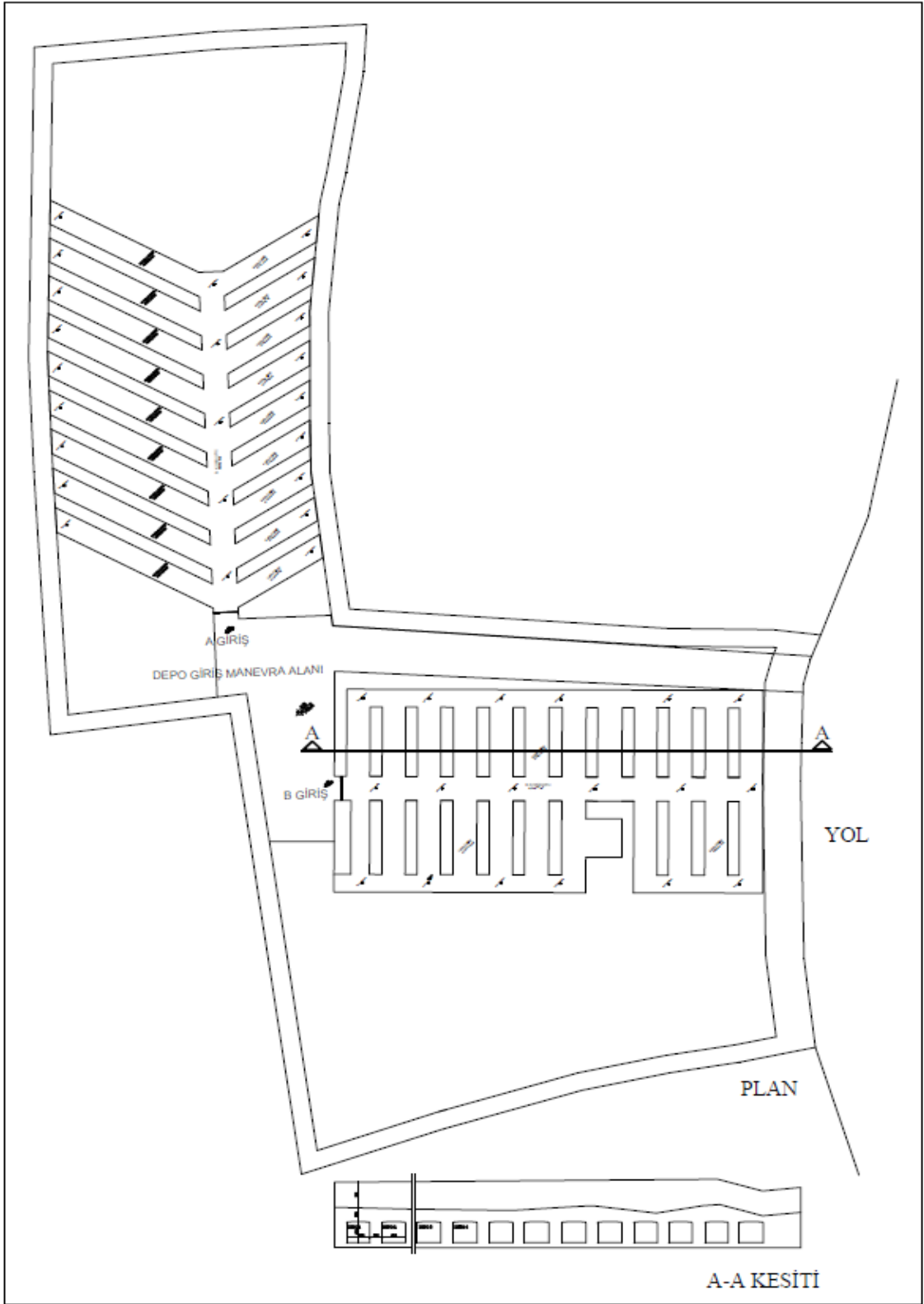
Şekil 4.1. Depoların bulunduğu bölge haritası

## 4.2 Kayadan Oyma Depo Örneklerinin Mimari Özellikleri

Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen üç kayadan oyma depo yapısının plan şemaları, galeri büyüklükleri ve havalandırma yöntemleri incelenerek karşılaştırılmıştır.

### 4.2.1 Depo A

Çardak Köyü'nde yer alan A deposu dik açılı olarak yerleştirilmiş iki ana bölümden oluşmaktadır. Bu iki bölüme ortak bir avludan ulaşılmaktadır (Şekil 4.2). Deponun giriş avlusu 21x63 m boyutlarında olup avluya güney yönündeki yoldan araç girişi sağlanmaktadır. Avlunun kotu yol kotundan 16 m aşağıda bulunmaktadır. Deponun giriş avlusunda ek birimler bulunmamakta, avluda sadece kuzey ve güney bölümlerinin giriş kapıları yer almaktadır (Fotoğraf 4.1).



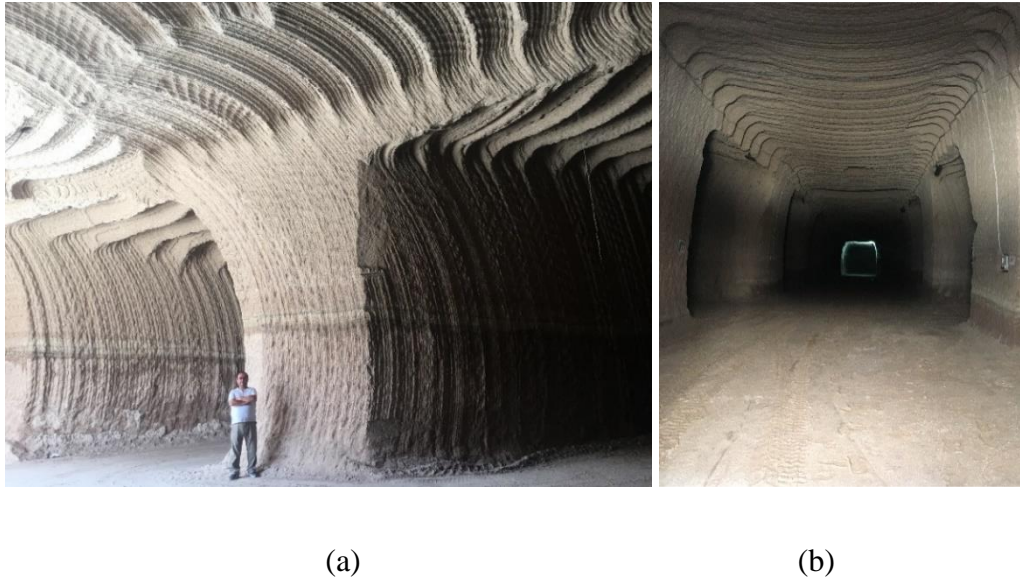
**Şekil 4.2.** A deposu, plan ve kesit

Deponun kuzey bölümü 6.50 m genişliğinde bir koridora bağlanan 25 m ve 46 m derinliğinde localardan oluşmaktadır. Loca genişlikleri 6 m, topuk genişlikleri ise 3,5

m'dir. Güney bölümünde ise koridor genişliği 6,80 m olup koridorun iki tarafında bulunan locaların derinlikleri ortalama 25 m'dir. Loca genişlikleri 6,1 m, topuk genişlikleri ise 3 m'dir. Depo yapısının kuzey ve güney bölümlerinde iki plan tipi kullanılmıştır. Kuzey bölümünde yer alan localar kayaya yaslanmış olup localara ulaşım sadece ön taraftaki koridordan sağlanmaktadır. Güney bölümünde ise locaların arka tarafında 5 m genişliğinde koridor bulunmakta ve localar hem öndeki ana koridordan hem de arkadaki koridordan birbirine bağlanmaktadır (Fotoğraf 4.2).



**Fotoğraf 4.1.** A deposu kuzey bölümü (a) ve güney bölümü (b), girişler



**Fotoğraf 4.2.** A deposu kuzey bölümü (a) ve güney bölümü (b), koridor ve localar

Kuzey bölümündeki depoda, ortadaki koridorda ve locaların kayaca yaslanan arka bölümlerinde havalandırma bacaları bulunmaktadır. Havalandırma bacaları orta koridorda iki locada bir yerleştirilirken, locaların arkalarında ise her locaya en az birer adet havalandırma bacası yerleştirilmiştir.

Güney bölümünde ise localar hem öndeki hem de arkadaki koridorlarla birbirine bağlanmıştır. Orta koridorda iki locada bir yerleştirilen havalandırma bacaları, arka koridorda iki locaya bir adet olacak şekilde düzenlenmiştir. Ayrıca locaların ortalarında en az birer adet havalandırma bacası bulunmaktadır. Deponun güney bölümündeki arka koridor (havalandırma koridoru) uygulaması, depolanan ürünlere ulaşım, etkin havalandırma ve havalandırma bacalarının ekonomik düzenlenmesi açısından olumlu bir tasarım faktörüdür. Havalandırma bacalarının yer üstündeki bölümleri ise doğal bitki örtüsü arasına gizlenerek bölge ile uyumlu hale getirilmeye çalışılmıştır (Fotoğraf 4.3).

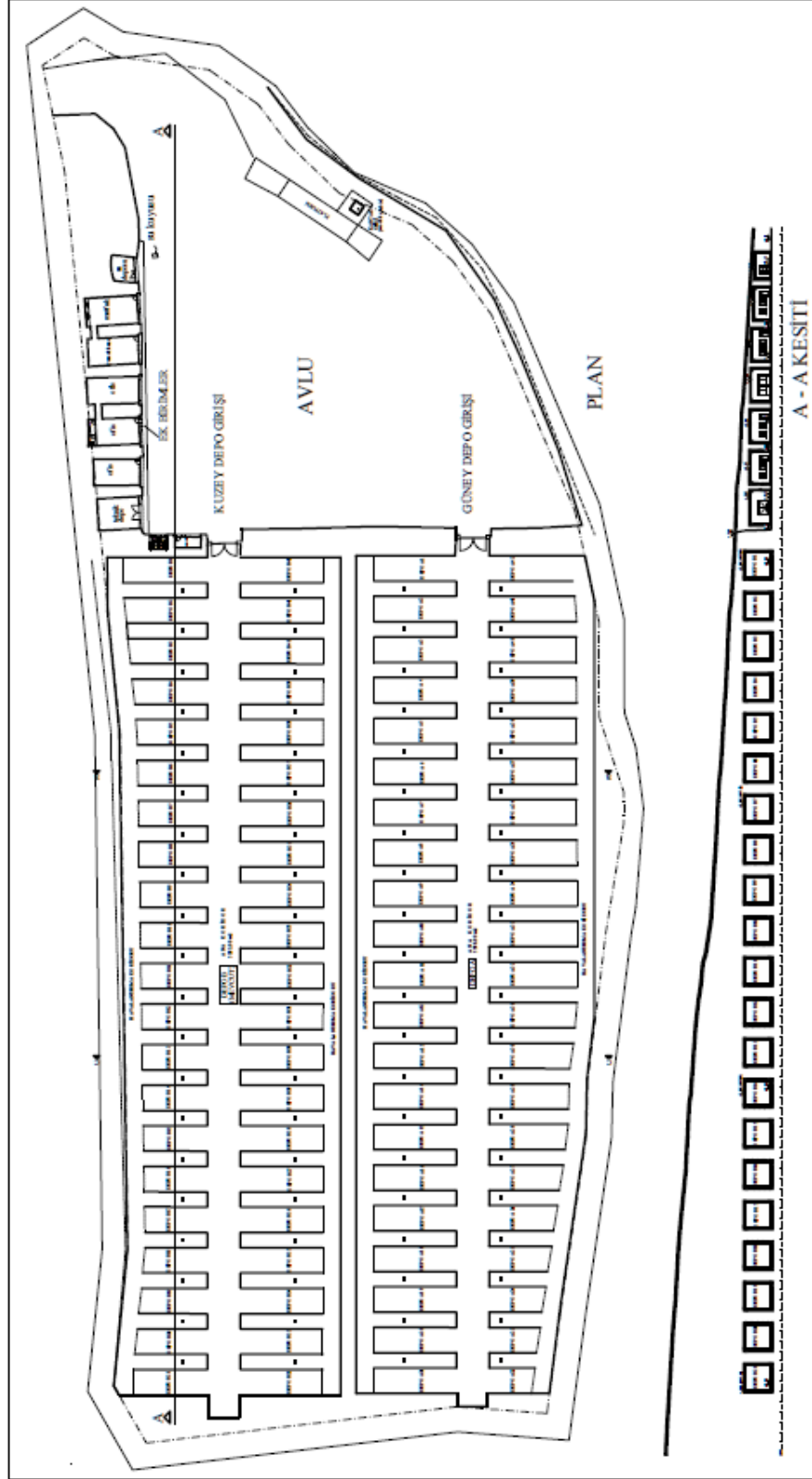


**Fotoğraf 4.3.** A deposu havalandırma bacaları

#### **4.2.2 Depo B**

Nar Kasabası Höyük mevkiinde yer alan B deposunun giriş avlusu 68x74 m boyutlarında olup avluya doğu yönündeki yoldan araç girişi sağlanmaktadır (Şekil 4.3). Avlunun kotu yol kotuyla aynı seviyededir. Deponun giriş avlusunda giriş kapısının yanında mescit ve WC bulunmaktadır. Teknik ofis, depo, mutfak ve yemekhane olarak kullanılan altı hacimden oluşan ek birimler kuzeydeki kayaya oyulmuş şekilde düzenlenmiştir. Bu birimlerin doğusunda kayaya oyulmuş su deposu bulunmaktadır. Depolama faaliyetleri için gerekli olan bu ek birimler, deponun dışında, ancak girişle

yakın ilişkili olarak düzenlenmiş ve kayaya oyma şeklinde oluşturulduğu için genel görünümde aykırılık oluşturmamıştır (Fotoğraf 4.4).



Şekil 4.3. B deposu, plan ve kesit

Birbirine paralel iki ana bölümden oluşan deponun kuzey ve güney bölümlerinde iki ayrı giriş bulunmaktadır. Kuzey bölümünde, iki yanında localar bulunan ortadaki koridorun genişliği 6.50 m, loca genişlikleri 5 m'dir. Loca derinlikleri ise 13.20 ve 16.20 m'dir. Güney bölümünde de benzer plan şeması uygulanmış, genel olarak loca derinlikleri 16.20 ve 17.30 m olarak belirlenmiştir. Bununla beraber parsel boyutlarının düzgün geometrik formda olmaması sebebiyle, locaların büyüklükleri değişmektedir (Fotoğraf 4.5).



**Fotoğraf 4.4.** B deposu giriş avlusu



**Fotoğraf 4.5.** B deposu, koridor ve localar

B deposunda da locaların arkasında, havalandırma için 3,5 m genişliğinde koridor oluşturulmuştur. Depoda localar arasındaki topuk genişlikleri ve iki depo arasında bırakılan masif tabaka genişliği 3 m olarak belirlenmiştir. Loca yükseklikleri 5 m'dir. Doğal zemin üzerinde yükselen havalandırma bacalarında dairesel ve dikdörtgen kesitli formlar kullanılmıştır. Genel olarak locaların ortasında kullanılan dairesel kesitli, küçük

havalandırma bacalarının zemin üstündeki kısımlarında plastik borular kullanılırken; otomatik havalandırmanın kullanıldığı daha büyük ölçekli havalandırma bacalarının tuğla duvar ve trapez çatı ile imal edildiği görülmektedir (Fotoğraf 4.6).

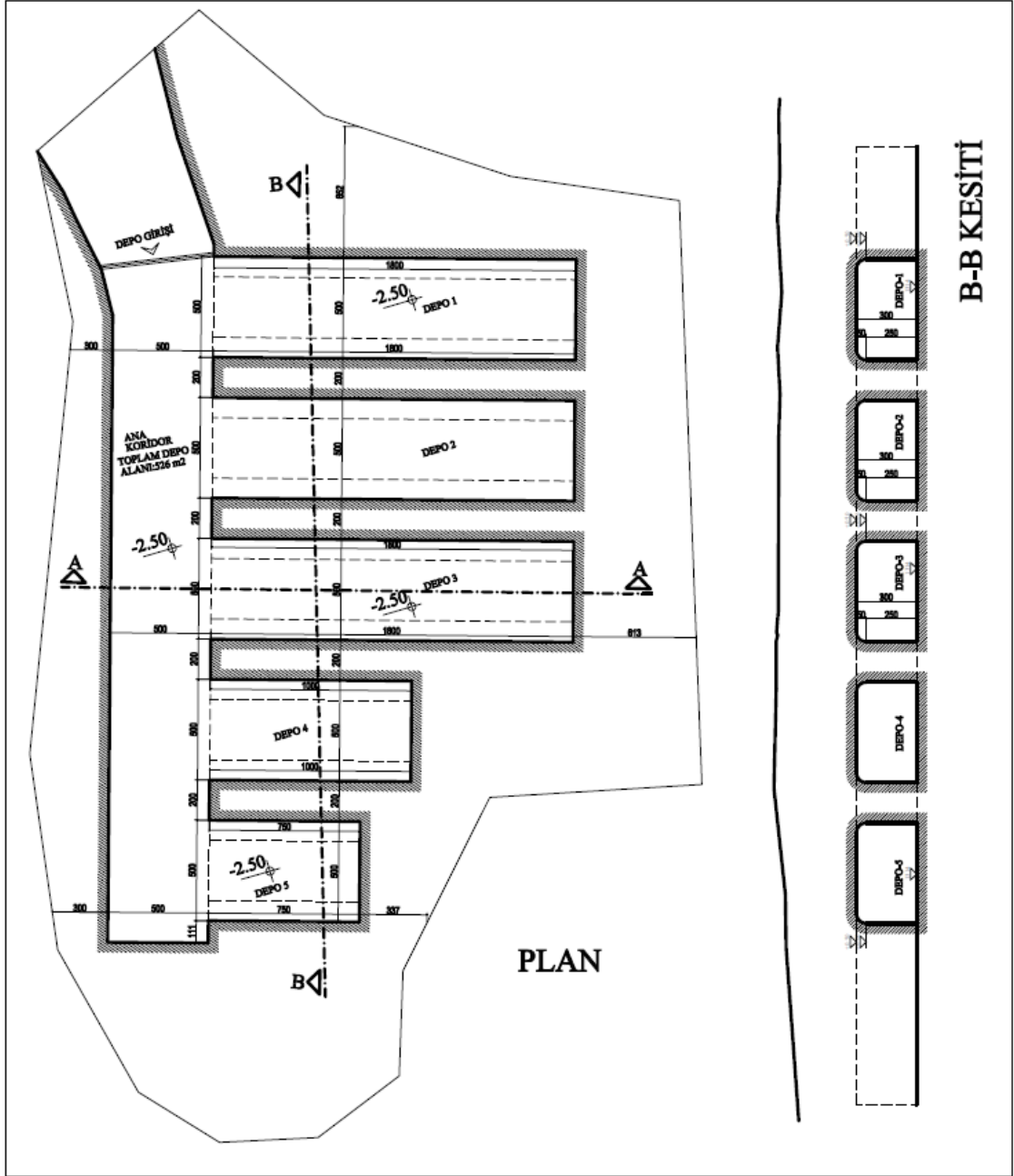


**Fotoğraf 4.6.** B deposu havalandırma bacaları

#### 4.2.3 Depo C

Kavak Kasabası'nda yer alan C deposu diğer depolara göre oldukça küçük boyutlu olup toplam 5 localardan oluşmaktadır (Şekil 4.4). Yol kotunun 2,5 m altında olan giriş avlusuna kuzey yönünden araç girişi sağlanmaktadır (Fotoğraf 4.7). Parsel biçimine uygun olarak oluşturulan localardan üçü aynı büyüklüktedir, diğer iki loca ise daha küçüktür. 5 m genişliğinde bir ana koridora doğu yönünde bağlanan locaların genişlikleri 5 m'dir. Loca derinlikleri ise 18, 10 ve 7,5 m'dir (Fotoğraf 4.8).

Çalışma kapsamında incelenen diğer depolardan daha önce yapılmış olan bu depoda, locaların yükseklikleri 3 m, topuk genişlikleri ise 2 m'dir. Locaların büyüklüklerine göre çeşitli sayılarda havalandırma bacaları açılarak doğal iklimlendirme sağlanmıştır. Havalandırma bacaları zemin kotunun üstünde beton büzlerle oluşturulmuş ve kısa tutularak doğal bitki örtüsü ile gizlenmiştir (Fotoğraf 4.9).



Şekil 4.4. C deponu, plan

C deponu incelendiğinde; parsel boyutlarının ve biçiminin, kayadan oyma depo yapılarında galeri boyutlarını etkileyen faktörlerden biri olduğu görülmektedir. Güneye doğru daralan arsa biçiminden dolayı güneydeki iki galeri, diğerlerine göre daha küçük boyutlarda yapılmıştır.



**Fotoğraf 4.7.** C deposu giriş avlusu



**Fotoğraf 4.8.** C deposu, koridor ve localar



**Fotoğraf 4.9.** C deposu havalandırma bacaları

### 4.3 Statik Analizlerde Kullanılan Kayaç Özellikleri ve Parametreler

Çalışma kapsamında incelenen depo örneklerinin bulunduğu bölgelerdeki kayaçlar volkanik kayaç türüdür. Bu kayaçlar açık kahve renkli, boşluklu ve zayıf/orta zayıf kayaç olarak tanımlanmıştır. İncelenen alandaki kayacın dayanımı 91,52 - 99,45 kg/cm<sup>2</sup> arasında olup Çizelge 4.1’de belirtilen değerler dikkate alındığında, tek eksenli basınç dayanımına göre “çok düşük dayanım” grubuna girmektedir.

**Çizelge 4.1.** Tek eksenli basınç dayanımına göre dayanım sınıfları (Deere and Miller,1966 )

| Dayanım    | Tek eksenli basınç dayanımı (MPa) |
|------------|-----------------------------------|
| Çok yüksek | >200                              |
| Yüksek     | 200-100                           |
| Orta       | 100-50                            |
| Düşük      | 50-25                             |
| Çok düşük  | <25                               |

Çalışma bölgesinin zemin etüdünü hazırlayan Yer-Su Mühendislik Firması’ndan elde edilen kaya kalite etüd raporunda, kayaç birimleri Kavak türü açık kahve renkli ignimbirittir. Genel itibariyle homojen bir yapıya sahiptir. İncelenen depo örneklerinin bulunduğu bölgedeki kayaçların genel fiziksel ve mekanik parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çalışma kapsamında, KOYHY (2017) hükümlerine uygun olarak, statik hesaplarda kullanılmak üzere kabul edilen fiziksel ve mekanik parametreler ise Çizelge 4.3’te sunulmuştur.

**Çizelge 4.2.** Depoların bulunduğu bölgeye ait fiziksel ve mekanik parametreler

| Parametre                       | Değer                        | Kaynak  |
|---------------------------------|------------------------------|---|
| Basınç Dayanımı ( $\sigma_c$ )  | 9,15 MPa                     | Nokta yük hesabı, (Yer&Su Mühendislik)                              |
| Çekme Dayanımı ( $\sigma_t$ )   | 0,10 MPa                     | (Yılmaz, 1995)  |
| Elastisite Modülü (E)           | 1031,20 MPa                  | (Sismik kırılma çalışmasından elde edilmiştir, Yer&Su Mühendislik.) |
| Kohezyon ( c )                  | 11 MPa                       | (Ulusay vd., 1999)  |
| İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ ) | 24°                          | (Sismik kırılma çalışmasından elde edilmiştir, Yer&Su Mühendislik)  |
| Poisson Oranı ( $\nu$ )         | 0,26                         | (Sismik kırılma çalışmasından elde edilmiştir, Yer&Su Mühendislik)  |
| Birim hacim ağırlık             | 11,0-16,80 kN/m <sup>3</sup> | (Sismik kırılma çalışmasından elde edilmiştir, Yer&Su Mühendislik)  |

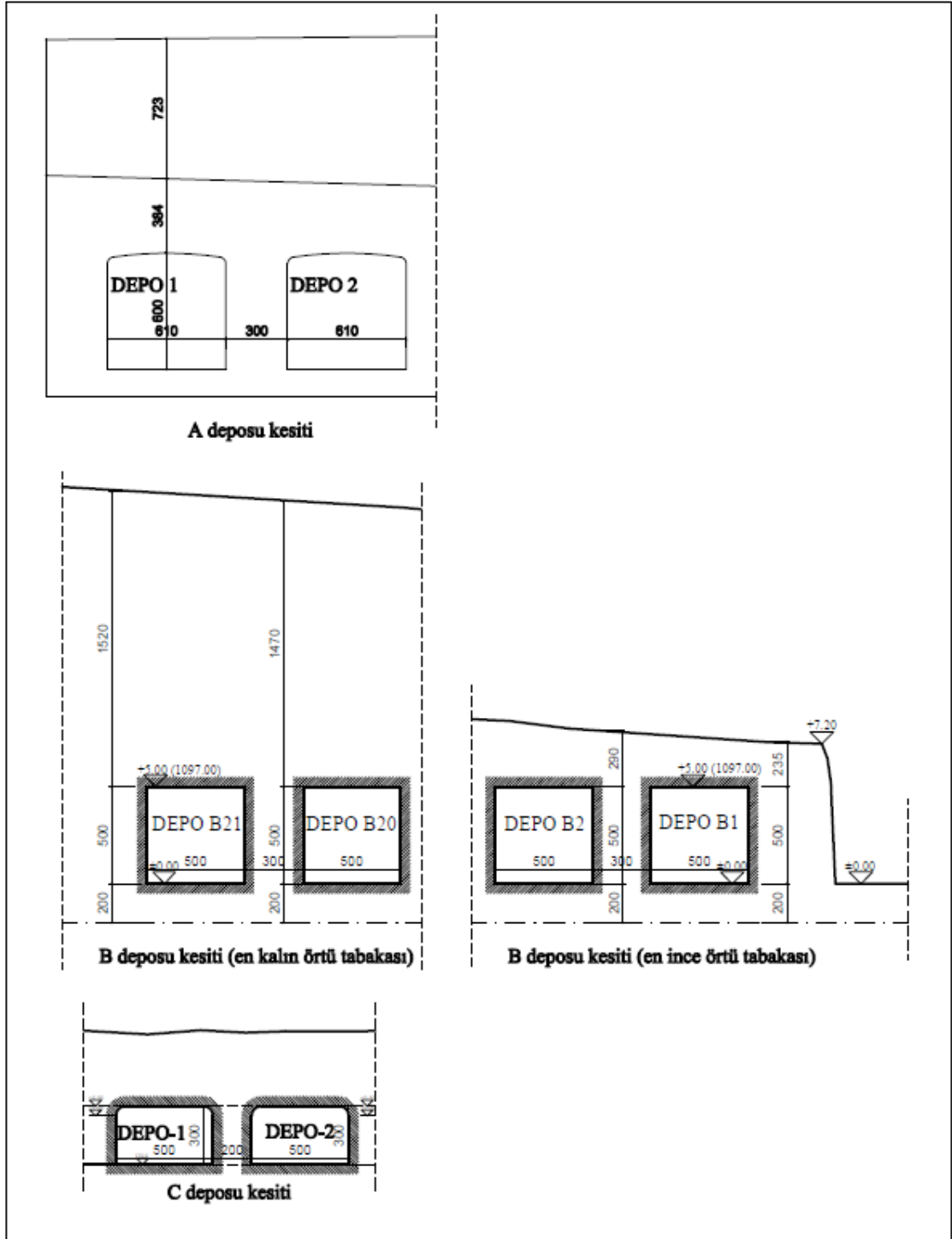
Hesaplamlarda daha güvenli bölgede kalmak amacıyla, çalışma kapsamında incelenen kayadan oyma depo yapılarının hesaplarında Çizelge 4.3'te verilen değerler kullanılmıştır. İncelenen depoların galeri büyüklükleri, topuk genişlikleri, üst örtü kalınlıkları ve eğimleri birbirinden farklı olduğu için, bu üç depo türünün kayaç özellikleri aynı kabul edilerek; biçimsel farklılıkların dayanıma olan etkileri karşılaştırılmıştır. Statik hesaplarda kullanılmak üzere, depolara ait boyutlar ve çeşitli parametreler Çizelge 4.4'te verilmiştir. Depolarda bulunan tipik galeri boyutları Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Statik hesaplamalar için kabul edilen fiziksel ve mekanik parametreler

| Parametre                       | Değer                |
|---------------------------------|----------------------|
| Basınç Dayanımı ( $\sigma_c$ )  | 2 MPa                |
| Çekme Dayanımı ( $\sigma_t$ )   | 0,22 MPa             |
| Elastisite Modülü (E)           | 1031,2 MPa           |
| Kohezyon ( c )                  | 10,5 MPa             |
| İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ ) | 35 °                 |
| Poisson Oranı ( $\nu$ )         | 0,22                 |
| Birim hacim ağırlık             | 14 kN/m <sup>3</sup> |

**Çizelge 4.4.** Depo boyutları ve parametreler

|   | Depo A                   | Depo B                   | Depo C                   |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Loca genişliği  | 6 m                      | 5 m                      | 5m                       |
| Loca derinliği  | 25 m                     | 18 m                     | 7,5-18m değişken         |
| Loca yüksekliği   | 6 m                      | 5 m                      | 3 m.                     |
| Topuk genişliği   | 3 m                      | 3 m                      | 2 m                      |
| Topuk ortasından itibaren kiriş şeklinde kaya açıklığı                  | 6+3=9 m                  | 5+3=8 m                  | 5+2=7m                   |
| Loca üzerindeki kaya kalınlığı en düşük ve en yüksek yumuşak tuf hariç. | 1,86m /4,68 m            | 0,60 m/ 8,50 m           | 1,5 m/ 2,68 m.           |
| Kar yükü  | ihmal                    | ihmal                    | ihmal                    |
| İlave toprak kısmı birim ağırlığı                                       | 1,30 ton/m <sup>3</sup>  | 1,30 ton/m <sup>3</sup>  | 1,30 ton/m <sup>3</sup>  |
| Rüzgâr yükü   | ihmal                    | ihmal                    | ihmal                    |
| Basınç dayanımı   | 2 MPa                    | 2 MPa                    | 2 MPa                    |
| Suya doymun birim ağırlığı ( $\gamma_d$ )                               | 1,68 ton /m <sup>3</sup> | 1,68 ton /m <sup>3</sup> | 1,68 ton /m <sup>3</sup> |
| Çekme Dayanımı  | 0,22 MPa                 | 0,22 MPa                 | 0,22 MPa                 |
| İçsel sürtünme açısı $\phi$   | 35                       | 35                       | 35                       |
| Yerel Zemin Sınıfı  | Z3                       | Z3                       | Z3                       |



Şekil 4.5. Depo kesitleri

#### 4.4 Statik Analizde Kullanılan Program

Belirlenen kaya birimlerinde yapılan deneyler sonucunda, elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve elde edilen bulgular bazı istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek

sonuç ve grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir. Analizlerde sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapan bilgisayar programı kullanılmıştır. Program Rocscience firmasının RS2 2019 programıdır. Program için kullanım izni alınmıştır.

RS2 programı toprak ve kaya uygulamaları için uygun bir 2B sonlu eleman programıdır. RS2 kazı tasarımı, şev stabilitesi, yeraltı suyu sızıntısı, olasılık analizi, konsolidasyon ve dinamik analiz yetenekleri gibi çok çeşitli mühendislik projeleri için kullanılabilir. Karmaşık, çok aşamalı modeller kolayca oluşturulabilir ve hızlı bir şekilde analiz edilebilir. Zayıf veya eklemli kayalarındaki tüneller, yeraltı mağaraları, açık ve kapalı ocak madenleri ve eğimler, bentler, toprak yapıları ve temel dayanma yapıları bu programla çözülebilmektedir. RS2'nin en önemli özelliklerinden biri, kesme dayanımı azaltma yöntemi kullanılarak sonlu elemanların eğim stabilite analizini yapmasıdır. Mohr-Coulomb ve Generalized Hoek-Brown dâhil olmak üzere çeşitli kriterler ile kullanılabilir. Eğim modelleri, limit denge ve sonlu eleman sonuçlarının kolayca karşılaştırılmasını sağlayan Slide2 programı ile RS2 programı arasında veri alışverişi mümkündür.



## BÖLÜM V

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde Nevşehir Merkeze bağlı, Çardak Köyü, Nar Kasabası ve Kavak Kasabası'nda bulunan üç kayadan oyma depo yapısının mimari ve statik özellikleri incelenerek karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlere göre, bu tür yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar ve tasarım kriterleri değerlendirilmiştir.

#### 5.1 Kayadan Oyma Depo Örneklerinin Mimari Özelliklerinin Değerlendirilmesi

İncelenen A, B ve C kayadan oyma depo örneklerinde, koridor ve loca boyutlarının belirlenmesinde, parsel boyutlarının, kayaç cinsinin ve kalitesinin en önemli faktörler olduğu görülmektedir. B ve C depolarında, arsa yapısı yaklaşma sınırlarına kadar kullanılarak, parsel biçimine paralel bir yapılaşma tercih edilmiştir. Bu sebeple locaların boyutları eşit olmayıp parsel formuna göre derinlikleri değişmiştir. Bununla beraber, derinlikleri değişen locaların genişliklerinde bir değişiklik yapılmamıştır. A deposunda ise kuzeydeki bölüm dikdörtgen formu bir parselde yerleştirildiği için ve güneydeki bölümde ise parselin tamamı kullanılmadığı için loca boyutları aynı büyüklükte yapılabilmektedir.

A deposunun kuzey bölümünde locaların koridorlara 30° açılı olarak yerleştirildiği görülmektedir. Bu durumun ana koridordan tüm localara eşit hava girişinin sağlanması amacıyla yapıldığı tespit edilmiştir. Ancak açılı yerleşimde, alan kayıpları oluşabilmektedir. Depolarda, locaların koridora dik açılı olarak yerleştirilmesi nakliye araçlarının dolaşımı için avantaj sağlamaktadır. Ayrıca dik açılı oluşturulan localara daha fazla miktarda ürün yerleştirilebilmektedir.

A deposunun güney bölümünde ve B deposunda, locaların arkasında, havalandırma için ayrı bir koridor oluşturulmuştur. A deposunun kuzey bölümü ve C deposunda ise havalandırma koridoru uygulaması bulunmamakta, her bir loca ayrı olarak havalandırılmaktadır. Bu durum, söz konusu depoların diğer depolara göre daha önce yapılmış olduğunu göstermektedir. Büyük ölçekli depolarda havalandırma koridorunun

oluşturulması; ürünlere kolay ulaşım, etkin doğal havalandırma ve havalandırmada ekonominin sağlanması açılarından olumlu bir faktördür.

Doğal havalandırma için oluşturulan hava bacalarının doğal zemin üzerindeki bölümlerinin biçimlenişi de kayadan oyma depo yapılarının tasarımında diğer önemli bir faktördür. Çünkü genel olarak sit alanında veya yakın çevresinde konumlanan bu depoların doğal yollarla havalandırılması için kullanılan bu bacaların çevre ile uyumlu olması önemlidir. Bacaların mümkün olan en az sayıda yapılması ve bölgenin doğal yapısını bozmayacak şekilde gruplandırılarak yerleştirilmesi KOYHY (2017) hükümlerine göre yasal bir zorunluluktur.

Havalandırma bacalarını gizlemek amacıyla dikilen bitkilerin derin köklü olmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü özellikle B deposunun bulunduğu bölgede arazi eğiminden dolayı üst tabaka kalınlıkları eşit olmayıp bazı yerlerde oldukça incelebilmektedir. Derin bitki kökleri kayalarda çatlaklara ve parçalanmaya sebep olabilmektedir. Bu durum su sızıntıları ve dayanım kayıpları ile sonuçlanabilmektedir.

İncelenen üç depoda da acil kaçış için ortadaki koridorun kullanıldığı görülmektedir. Ürün depolama amaçlı kullanılan tarımsal amaçlı bu yapılarda da diğer yapılarda olduğu gibi doğal afet ve yangınlara karşı gerekli önlemler alınmalıdır. Depolara, kayacın yüksekliği ve eğim yönüne bağlı olarak tek bir giriş avlusundan ulaşıldığı için, özellikle A ve B deposu gibi büyük ölçekli depoların içinde çok uzun kaçış mesafeleri oluşmaktadır. Bu depolarda acil kaçış için ikinci bir çıkış planlanmalı ya da yıkılmaya karşı dirençli malzemelerle, düşey kaçış yolları oluşturulmalıdır. Bununla beraber, kayalarda oluşabilecek göçük ve deprem tehlikesine karşı depo içinden kolayca ulaşılabilen korunaklı sığınak odaları yapılmalıdır.

## **5.2 Kayadan Oyma Depo Örneklerinin Statik Analiz ve Değerlendirmesi**

Analizlerin gerçeğe yakın olması amacıyla, taşıyıcı kaya kalınlığı ile üzerindeki silttaşlı kil taşı-tüf yapısı iki ayrı materyal olarak girilmiştir. Yine bölgede oluşan trafik yükü ile kazıdan çıkan malzemenin doldurulması veya mevcut toprak yükü düşünülerek ek yayılı yük tanımlanması yapılmıştır. Yayılı yük miktarı; taşıt yükü ya da toprak yükü olarak ayrı ayrı düşünüldüğünde, tek yük olarak  $0,05 \text{ MN/m}^2$  ( $5 \text{ ton/m}^2$ ) uygun değer

olarak alınmıştır. Program veri girişinde yayılı yük birimi Meganewton (MN) olarak seçilebilmekte olduğundan bu birim MN olarak alınmıştır.

## 5.2.1 Depo A

### 5.2.1.1 Depo A, yayılı yüksüz analiz ve değerlendirmeler

Çardak Köyü'nde yer alan A deposuna ait RS2 programındaki model girişi Şekil 5.1'de, yayılı yüksüz gerilme ve deformasyon sonuçları Şekil 5.2-5'te sunulmuştur.

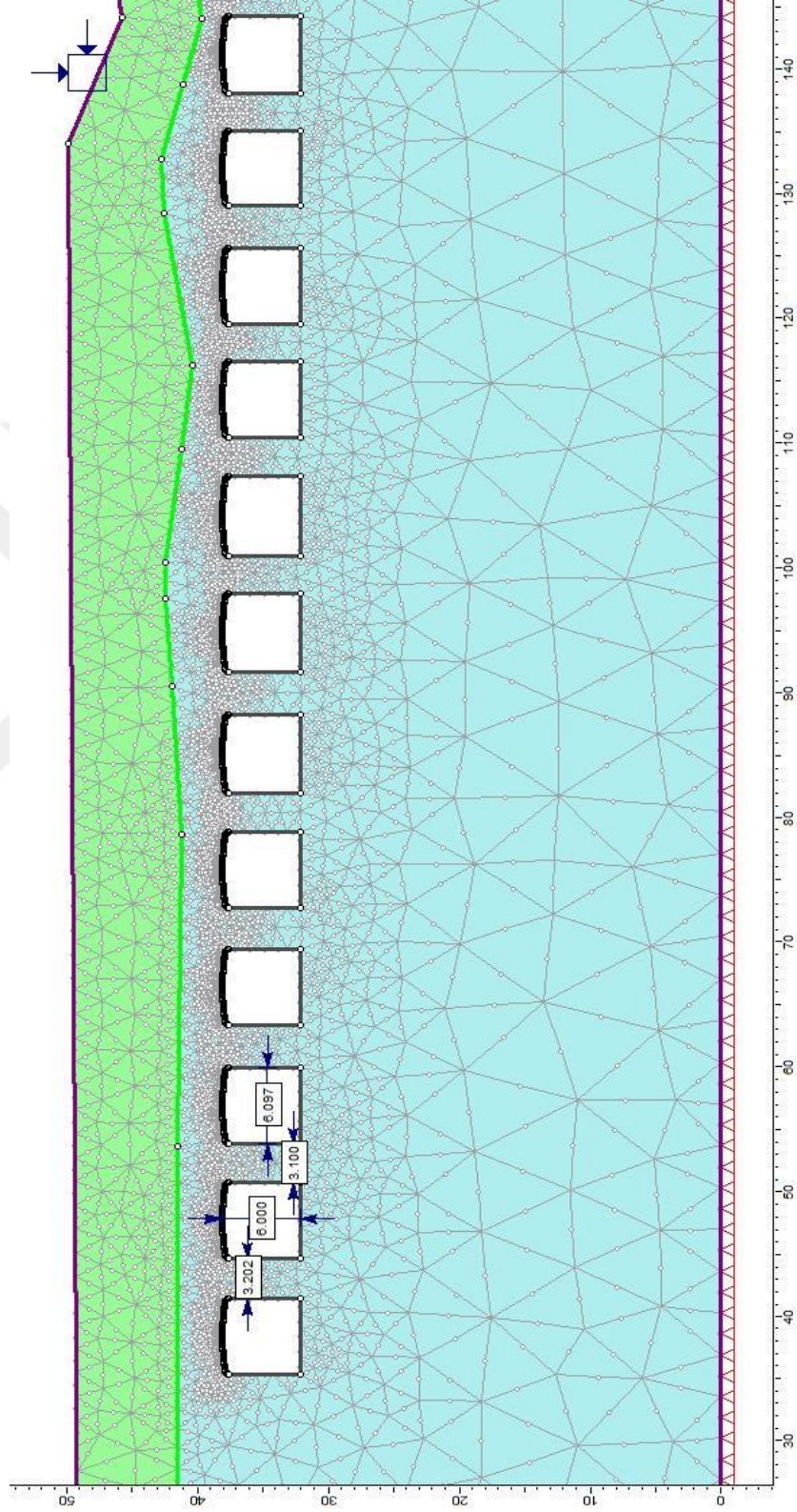
Şekil 5.1'den görüleceği üzere, A deposunda galeriler 6x6 m ebatlarında ve topuk genişliği 3 metredir. Bölgede en çok kullanılan depo tipidir. Şekil 5.2 incelendiğinde, yayılı yüksüz düşey gerilmelerin, galeri üst ve alt kısımlarında mavi renk ile yoğunlaştığı görülmektedir. Koyu mavi kısımlarda çekme bölgesi oluşmuştur. Galeri tavan ortasında çekme değeri -0,10 MPa civarındadır. Çekme dayanımı aşılmamıştır (2,2 MPa). Yan yüzeylerde düşey gerilmeler basınç şeklinde olup açık yeşil renktedir. Topuk yan yüzeylerindeki düşey basınç değerleri + 0,46-0,60 MPa civarındadır.

Şekil 5.3 incelendiğinde; Yatay gerilmelerin, galeri yan yüzeyi, taban ve tavanda koyu mavi renk skalası görülmektedir. İç yüzeylerin tamamında en üst seviye olan -0,06 MPa civarında çekme gerilmesi görülmektedir. En büyük gerilme galeri tavanındadır. Galeri yüzeylerinden 3 metre sonra gerilmeler basınca dönüşmekte ve uzaklığa bağlı olarak 0,01 MPa dan, 0,68 MPa kadar ulaşmaktadır. Malzeme dayanımı aşılmamıştır.

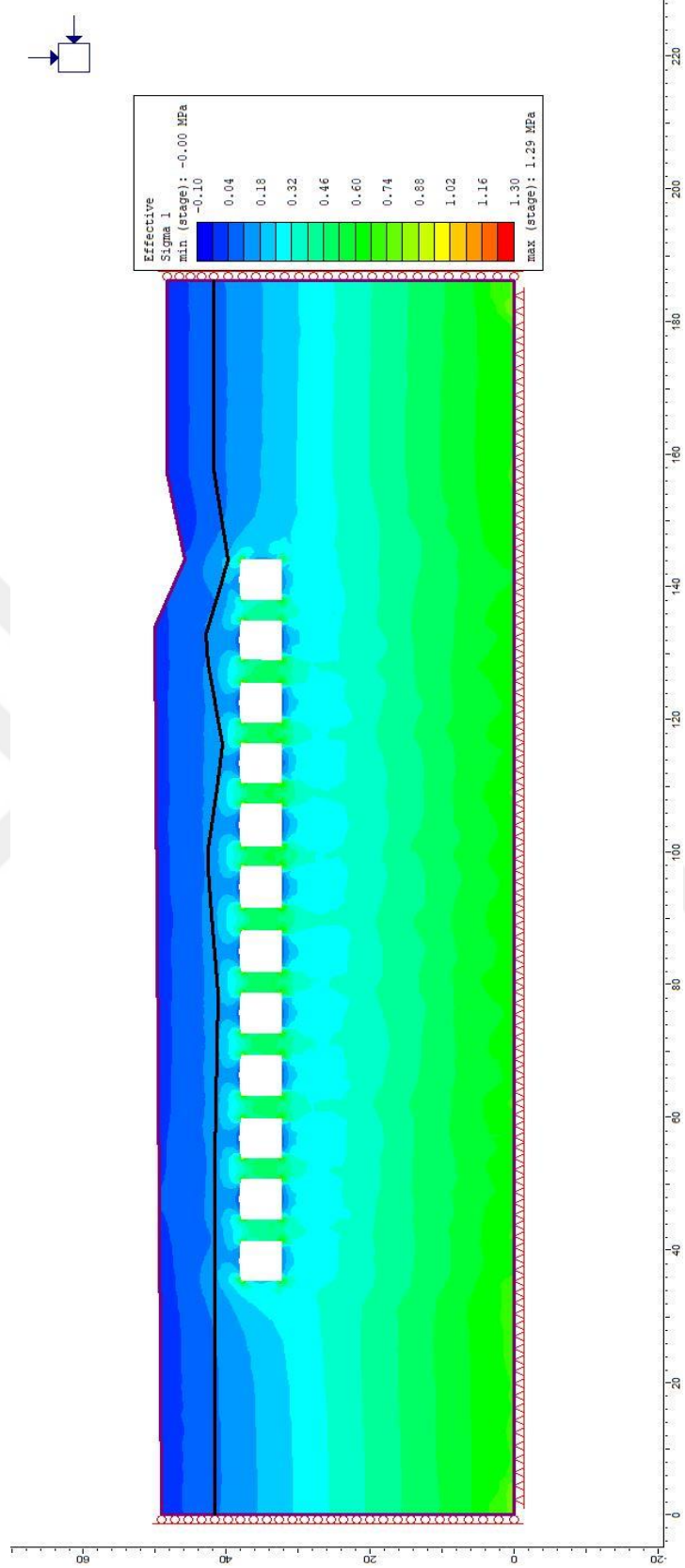
Şekil 5.4 incelendiğinde, en fazla yer değiştirme galeri tavanında olup çekmeye bağlı maksimum 0,0037 m deplasman görülmektedir. Galeri tavanlarında koyu kırmızı renkte en fazla yer değiştirme vardır. Deplasmanlar, galeri tabanından 5 ila 10 metre sonrasında sıfırlanmakta, arazi yüzeyinde ise 0,0033m gibi değerlere düşmektedir. Genel olarak deplasman miktarı oldukça azdır.

Şekil 5.5'te A deposu üzerinde görülen yayılı yüksüz güvenlik faktörü; galeri yan yüzeyleri (topuk kenarı) ve tavanda 1,00 civarında (açık kahve renkli) , galeri tabanında ise açık sarı renkte 1,58 gibi olup sınır değer olan 1,00 den büyüktür. Depodan sonra,

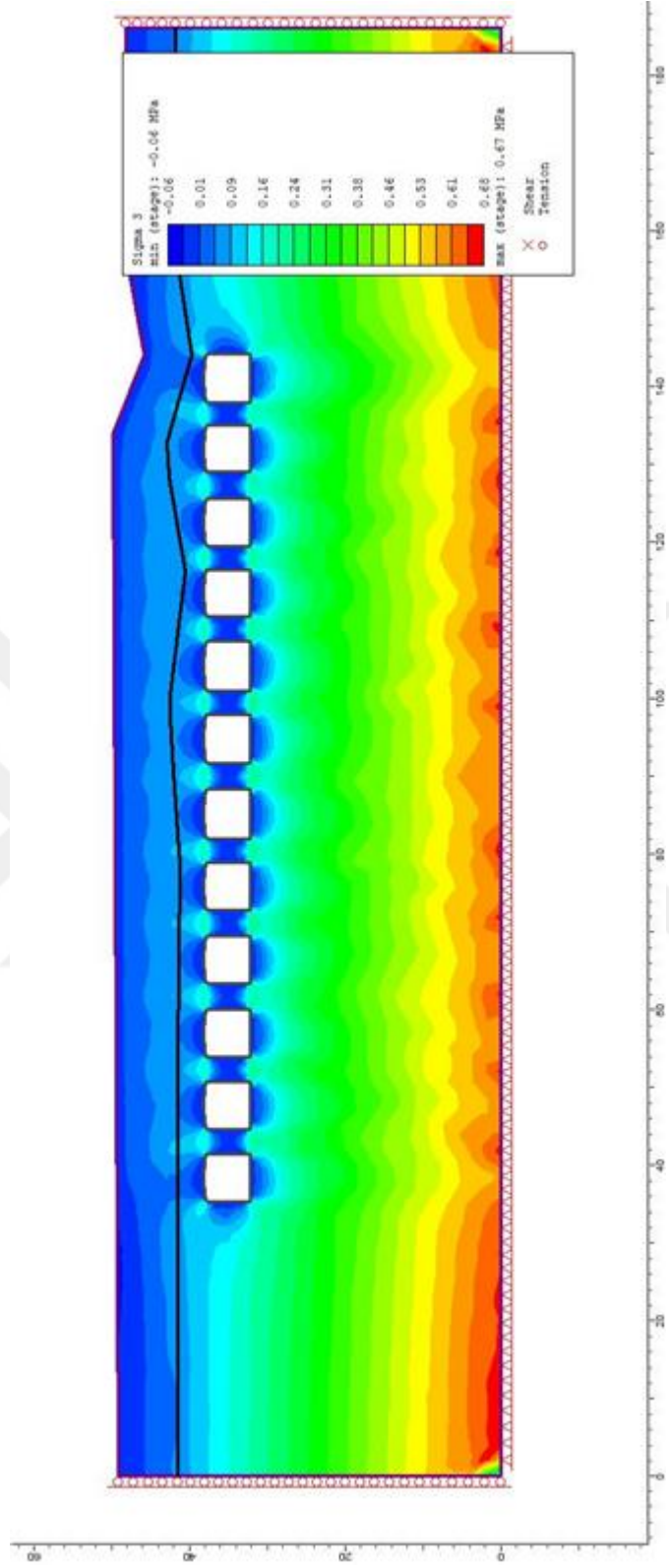
yüzeye ve derine inildikçe güvenlik, en üst seviye olan 6,00 ya (koyu mavi) ulaşmaktadır.



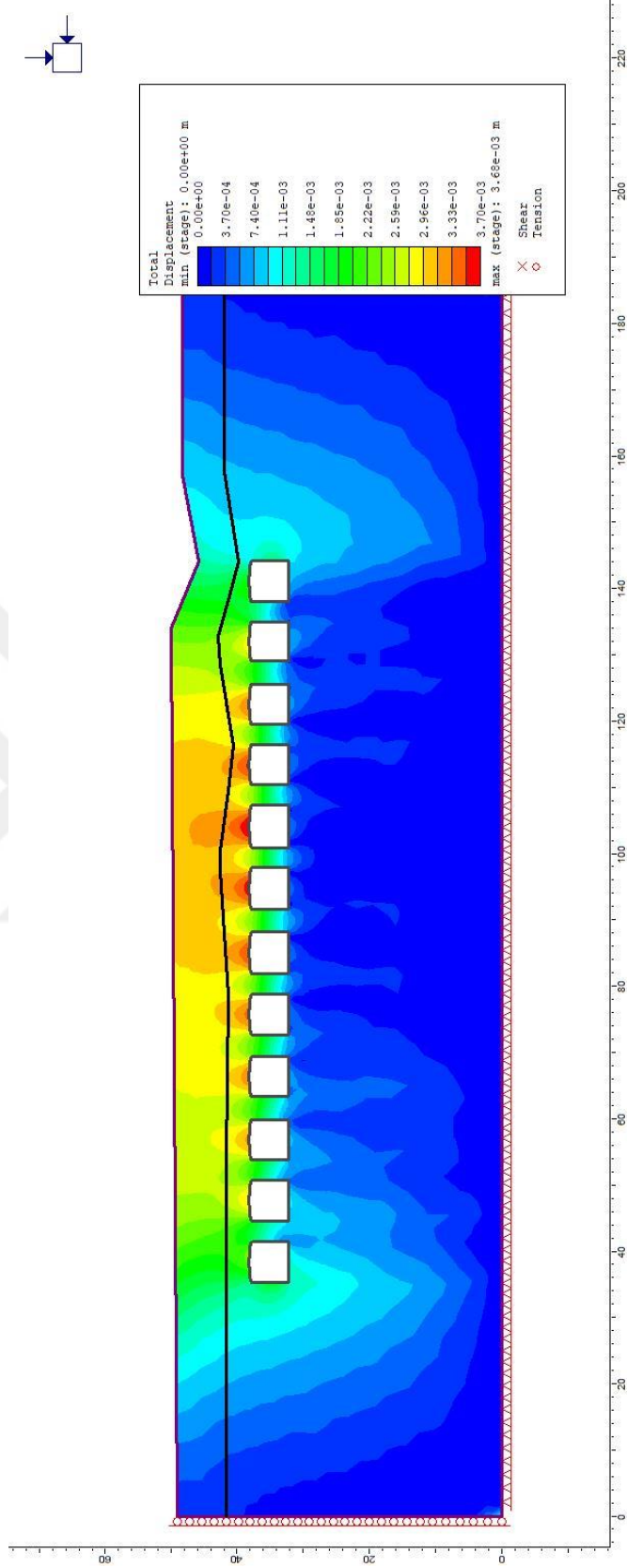
Şekil 5.1. A deposu model girişi



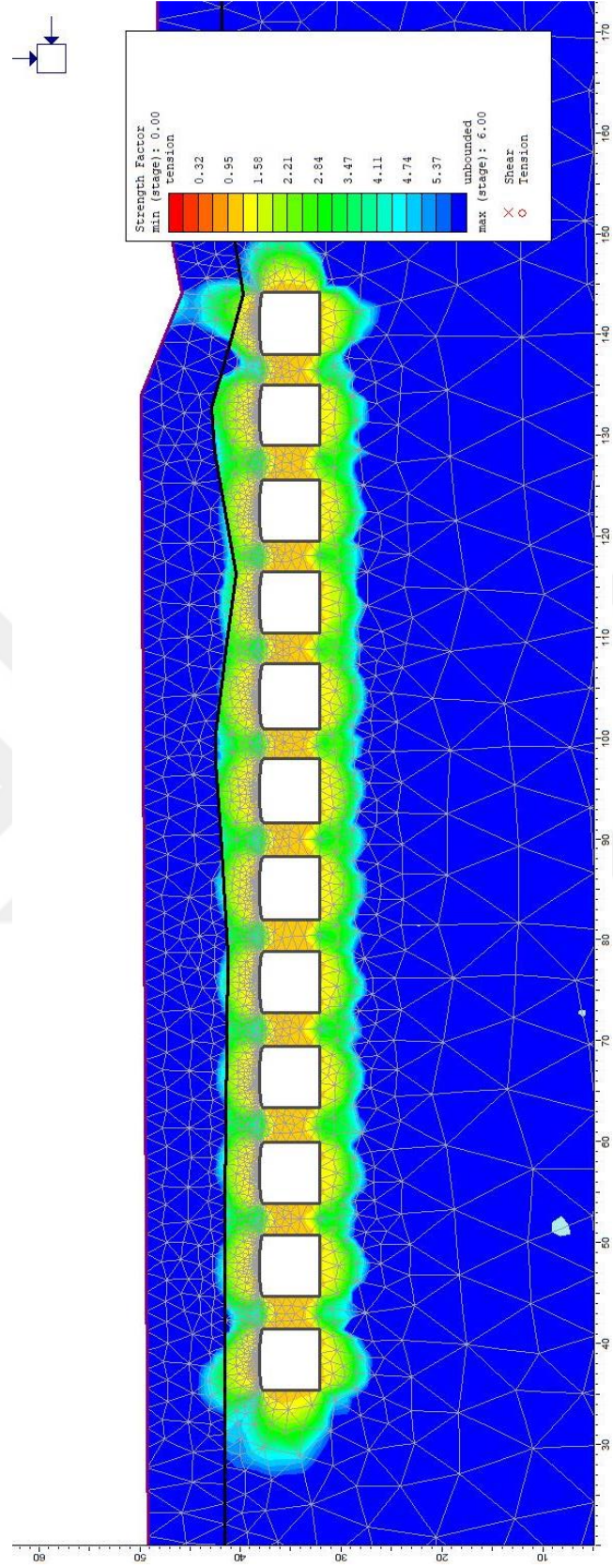
Şekil 5.2. A deposu, yayılı yüksüz düşey gerilme



Şekil 5.3. A deposu, yayılı yüksüz yatay gerilme



Şekil 5.4. A deposu, yaylı yüksüz toplam yer değiştirme



Şekil 5.5. A deposu, yayılı yüksüz güvenlik faktörü

### 5.2.1.2 Depo A, yayılı yüklü analiz ve değerlendirmeler

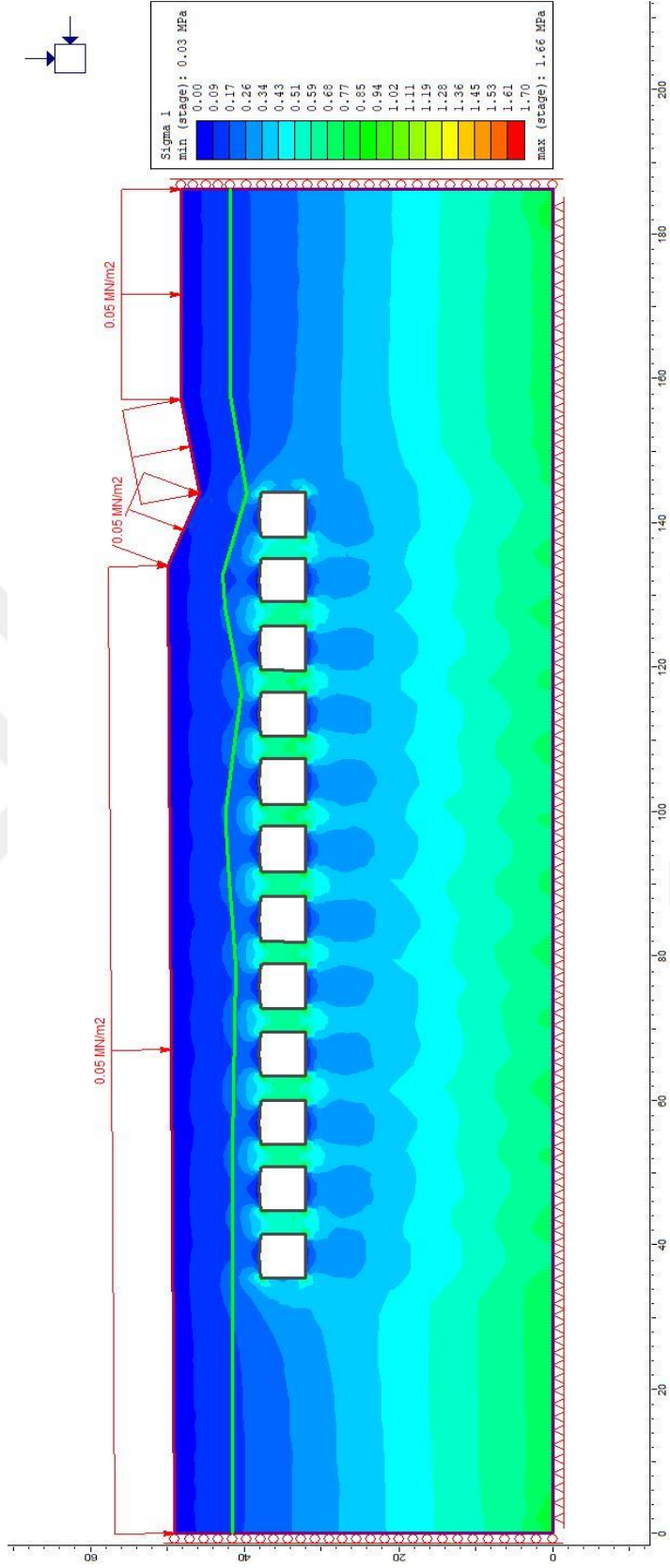
A deposuna ait RS2 programındaki yayılı yük etkisi altında gerilme ve deformasyon sonuçları Şekil 5.6-9'da sunulmuştur.

Şekil 5.6'da görüleceği üzere, arazi üzerindeki trafik yükü veya dolgu malzemeden kaynaklı yayılı yükün artması, galeri tavan ve tabanında düşey gerilmeyi artırmamış, sınırları zorlamamıştır. Çekme durumunun çok az olduğu gözlenmektedir. Galeri tavan ve tabanında koyu mavi renklerin olduğu bölgelerde basınç değerleri düşmüş, çekme ise oluşmamıştır. Gerilemeler tavan ve tabanda sönümlenmiştir. Yan yüzeylerde ise açık yeşil, ve açık mavi tonlar hakim olup gerilmeler +0,50 MPa civarında olup basınç gerilmesidir.  $0,50 < 2,2$  MPa olup gerilmeler sınırın oldukça altındadır.

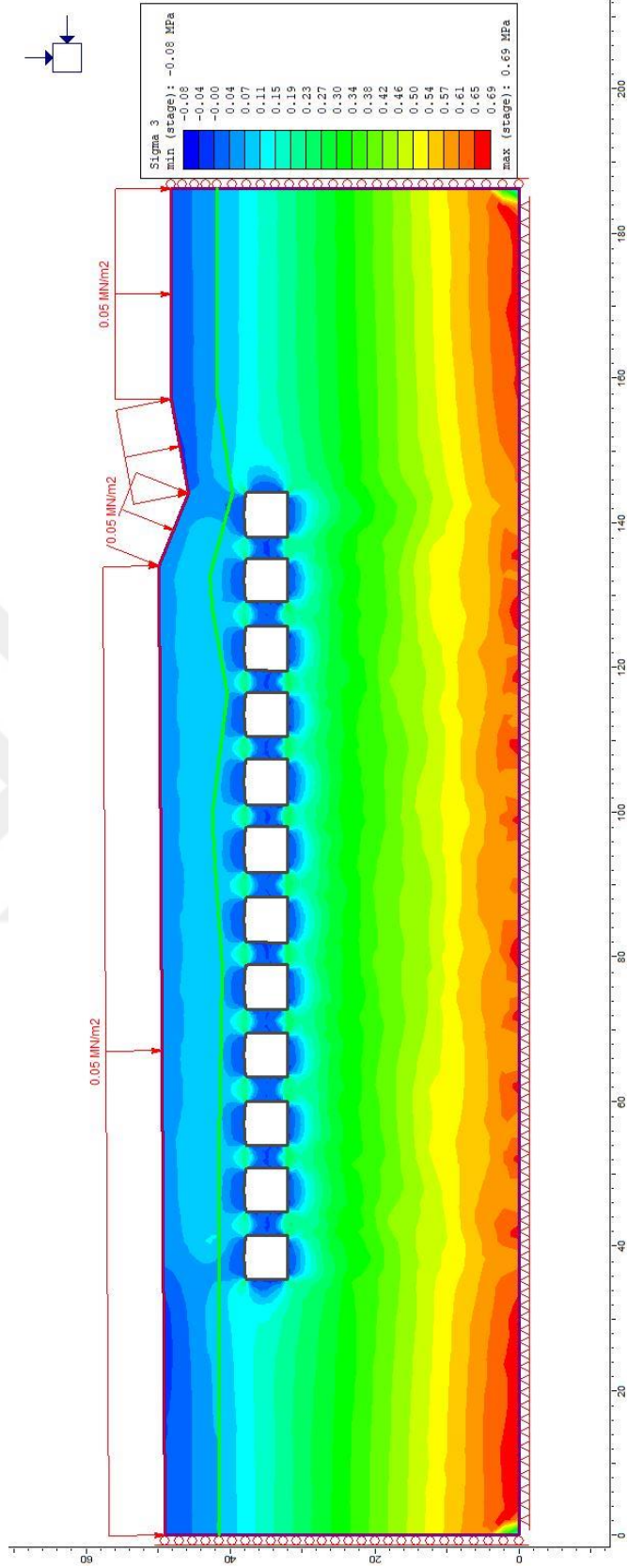
Şekil 5.7'da görüleceği üzere, A deposundaki yatay gerilmeler depo çevresinde yoğunlaşmış olup koyu mavi renkte tamamı çekme gerilmesidir. Topuk ortasında kısmen koyu mavi değer olan -0,08 MPa civarında olup galeri tavan ve tabanında çok düşük çekme gerilmeleri açık mavi renkte olup -0,04 MPa değerlerine yakın seyretmektedir. Yatay gerilmeler galeri iç yüzeylerinden 2 metre sonra basınca dönüşmekte 25 metre tabanda ise 0,69 MPa seviyelerine ulaşmaktadır.

Şekil 5.8 incelendiğinde, A deposu yayılı yük altında yer değiştirmelerin, yüksüz duruma göre yaklaşık 2 kat artarak 0,0065 m civarında olduğu koyu kırmızı renkte, galeri tavanlarında görülmektedir. Topuk kısımlarında açık yeşil renkte 0,003 m gibi ortalama bir yer değiştirme görülmektedir. Galeri tabanından 25 metre sonra ise koyu mavi renkte, deplasmanlar sıfır seviyesinde düşmektedir.

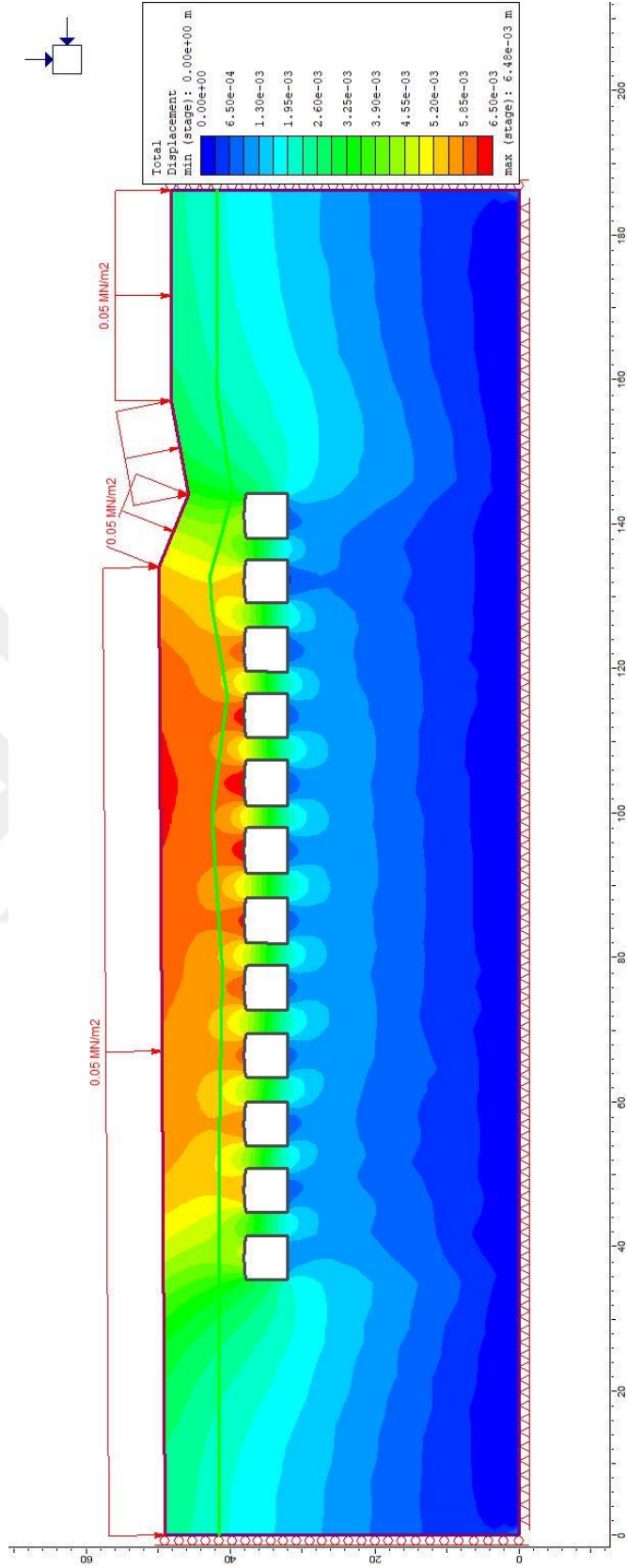
Şekil 5.9'da görüldüğü üzere, A deposu yayılı yük altında galeri yan yüzeyleri ile tavanda açık kahve renkte olup yaklaşık 1.26 gibi olan güvenlik faktörüne sahiptir. Tavan ve taban ortasında ise açık sarı renkte olup güvenlik, yaklaşık 1,58 katsayısına ulaşmaktadır. Genel itibariyle güvenli olan 1,00 katsayısının üzerinde değerlere sahiptir.



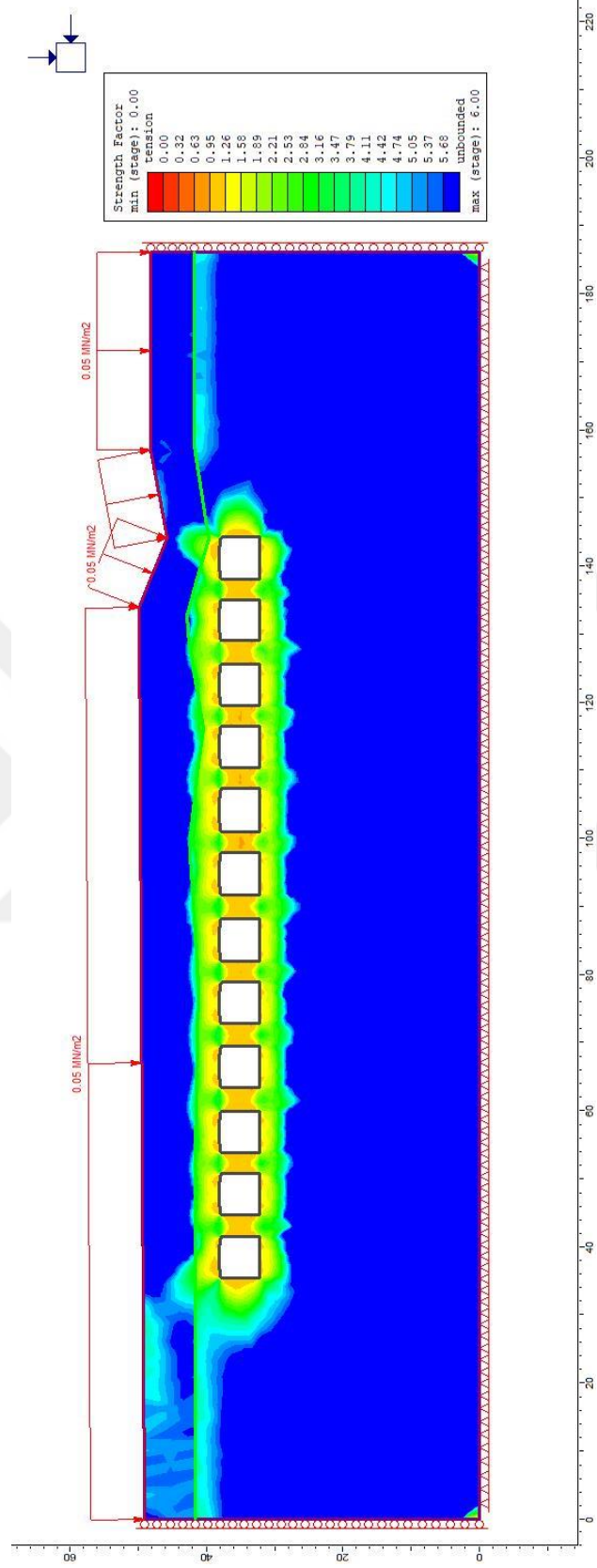
Şekil 5.6. A deposu, yayılı yük ile düşey gerilme



Şekil 5.7. A deposu, yaylı yük ile yatay gerilme



Şekil 5.8. A deposu, yayılı yük ile toplam yer değiştirme



Şekil 5.9. A deposu, yayılı yük ile güvenlik faktörü

## 5.2.2 Depo B

B deposunun bulunduğu arazi kesiti incelendiğinde, girişlerin, üst tabakanın en ince olduğu kısımdan alındığı görülmektedir. Nar Kasabası'nda benzer özellikte çok sayıda kayadan oyma depo örneği bulunmaktadır. Bu depoların kazısından çıkan toprak malzeme genel olarak üst tabaka dolgusu olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple B deposunun statik hesapları; yayılı yük olmadan, sabit yayılı yük dikkate alınarak ve trapez yüklü olmak üzere üç farklı şekilde yapılmıştır.

### 5.2.2.1 Depo B, yayılı yüksüz analiz ve değerlendirmeler

B deposuna ait RS2 programındaki model girişi Şekil 5.10'da, yayılı yüksüz gerilme ve deformasyon sonuçları Şekil 5.11-14'te sunulmuştur.

Şekil 5.10 incelendiğinde, B deposunda da A deposuna benzer olarak galerilerin 5x5 m ebatlarında ve topuk genişliklerinin 3 metre olduğu görülmektedir. Arazi eğimli olduğu için galerilerin üzerindeki tabaka kalınlıkları değişkendir.

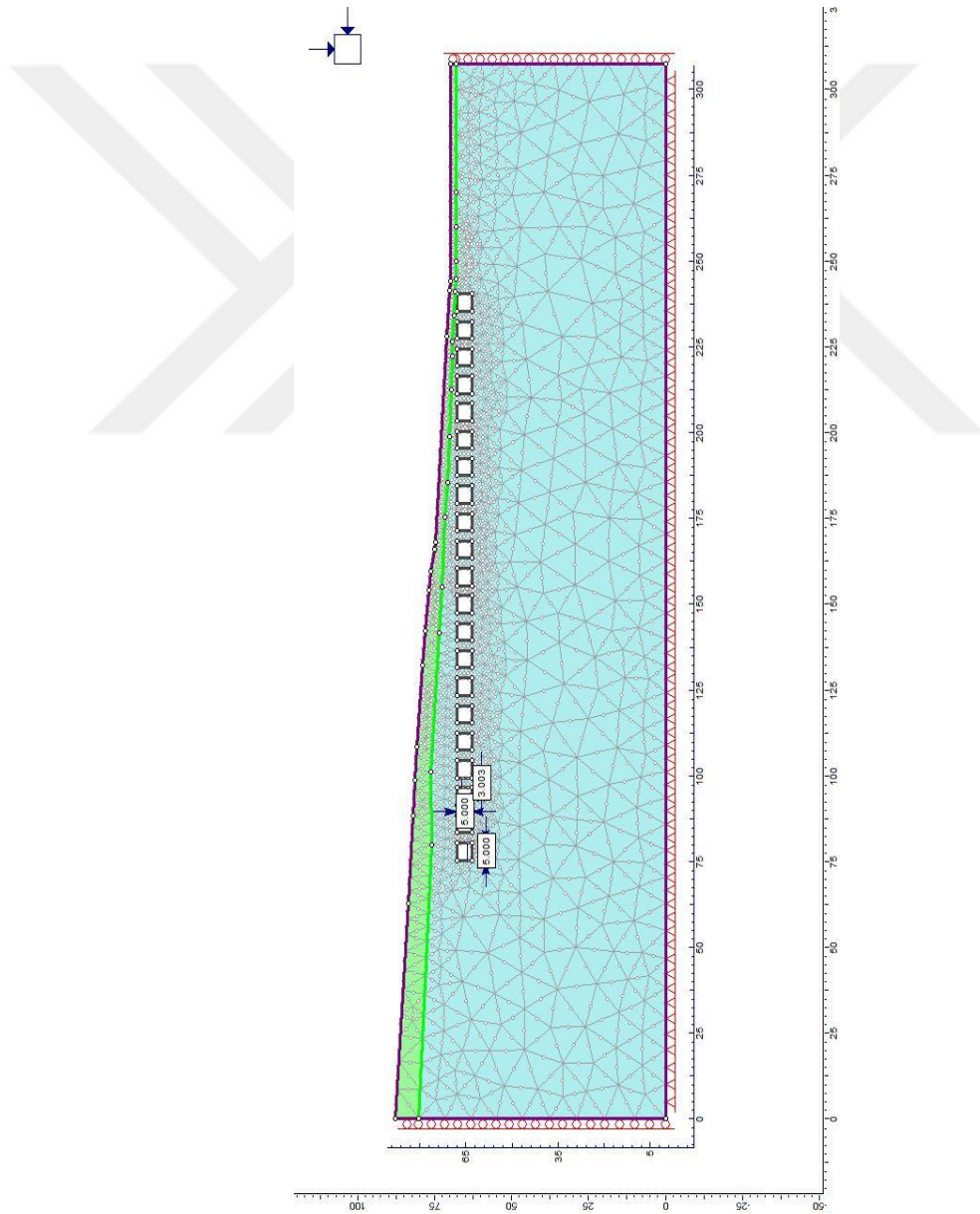
Şekil 5.11 incelendiğinde, B deposunda yayılı yük olmadan düşey gerilme; galeri tavanında koyu mavi renkte yoğun çekme bölgesi oluşmuş, yaklaşık değerler tavanda -0,10 MPa olmuştur. Bu değer 0,22 MPa'dan düşük olduğu güvenli kabul edilmiştir. Galeri tabanında açık mavi tonlar hakim olup çekme değeri -0,02 MPa'dan az olup basınç bölgesine doğru kayma vardır. Galeri yan yüzeylerinde ise, açık yeşil renkte 0,54 MPa ve açık mavi 0,38 MPa aralığında basınç gerilmeleri görülmektedir.

Şekil 5.12 incelendiğinde; B deposunda yüksüz analiz sonucunda; yatay gerilme galeri tavan, taban ve yan yüzeylerinde koyu mavi renk ile -0,10 MPa seviyelerine ulaşmaktadır. Galeri yüzeylerinde tamamen çekme bölgesi oluşmuştur. Gerilmeler Sınır değer altındadır. Galeri tabanından 4 metre sonra açık mavi renk ile başlayan 0,16 MPa civarında basınç bölgesi, 40 metre derinlikte 1,00 MPa seviyelerine ulaşmaktadır.

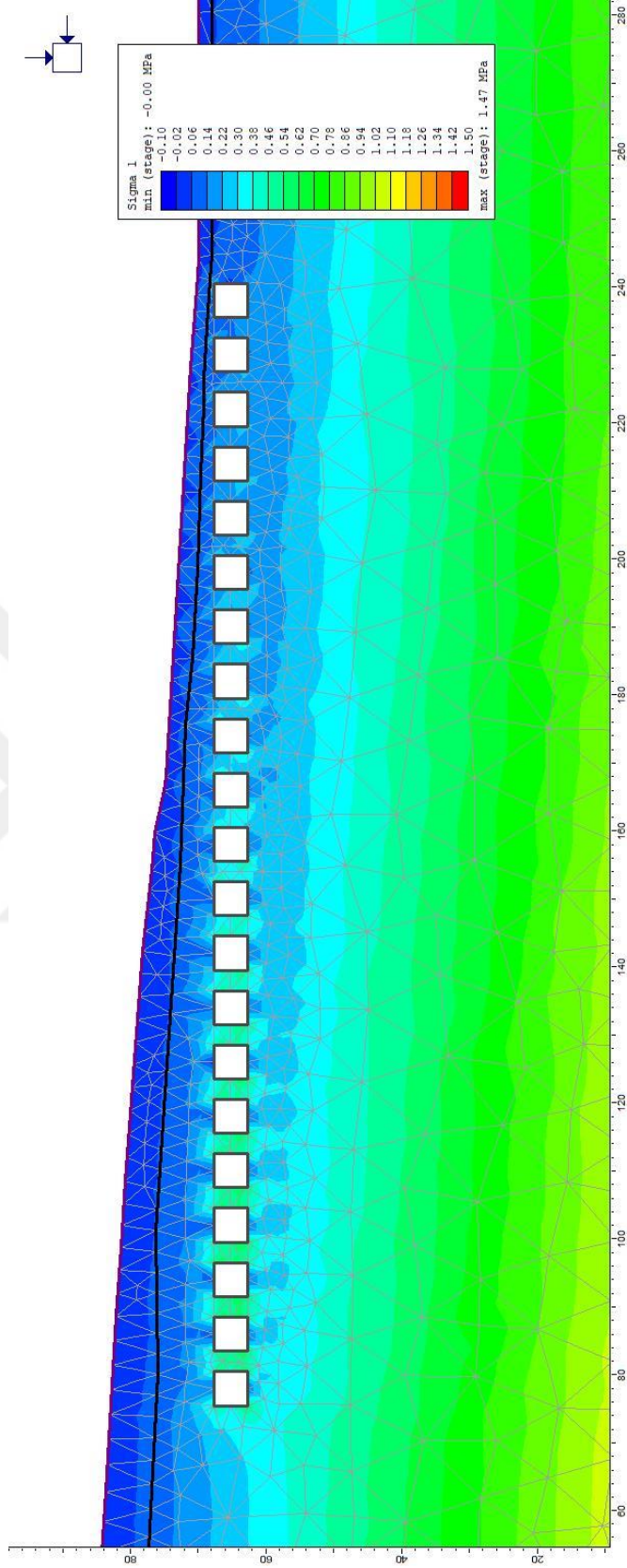
Şekil 5.13 incelendiğinde; 0,0066 m maksimum yer değiştirme, koyu kırmızı renkle ile galeri tavanında görülmüştür. Fazla deplasman olarak bazı depo yan duvar (topuk) ve

galeri tabanında ise açık kahve renk ve açık sarı renk göze çarpmakta olup 0,00528m ye yakın civarda yer değiştirme görölmektedir.

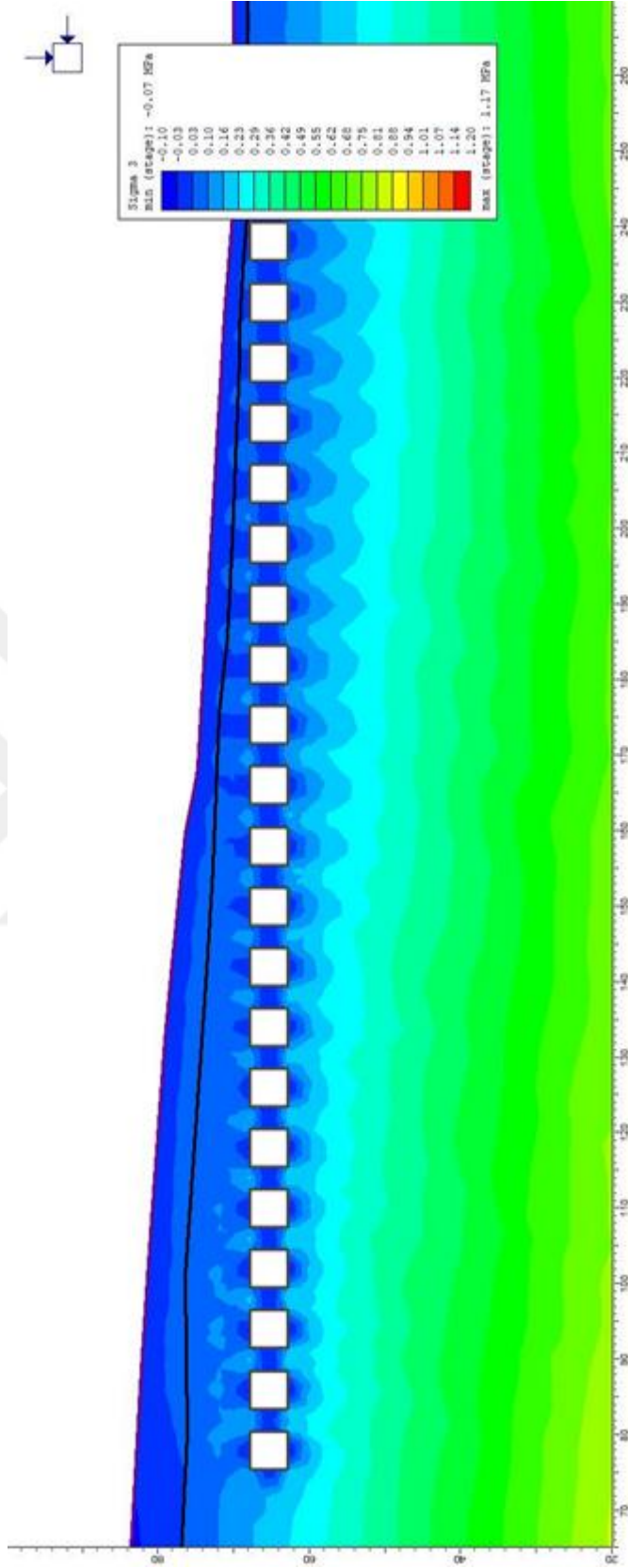
şekil 5.14'te göröleceği üzere, B deposu için yayılı yük olmadan; güvenlik faktörü, galeri tavan ortası ve yan yüzey ortasında sınır değer olan 1.00 civarındadır (koyu kahve renkte). Galeriy yan yüzeyler ve üst, alt kenardan 4 metre sonra açık sarı renk olan kısımlarda güvenlik faktörü 1,26 seviyelerine ulaşmaktadır. Galeriy üst ve alt sınırından 12 metre sonra ise koyu mavi renk ile belirtilen maksimum güvenli bölgeye ulaşmaktadır.



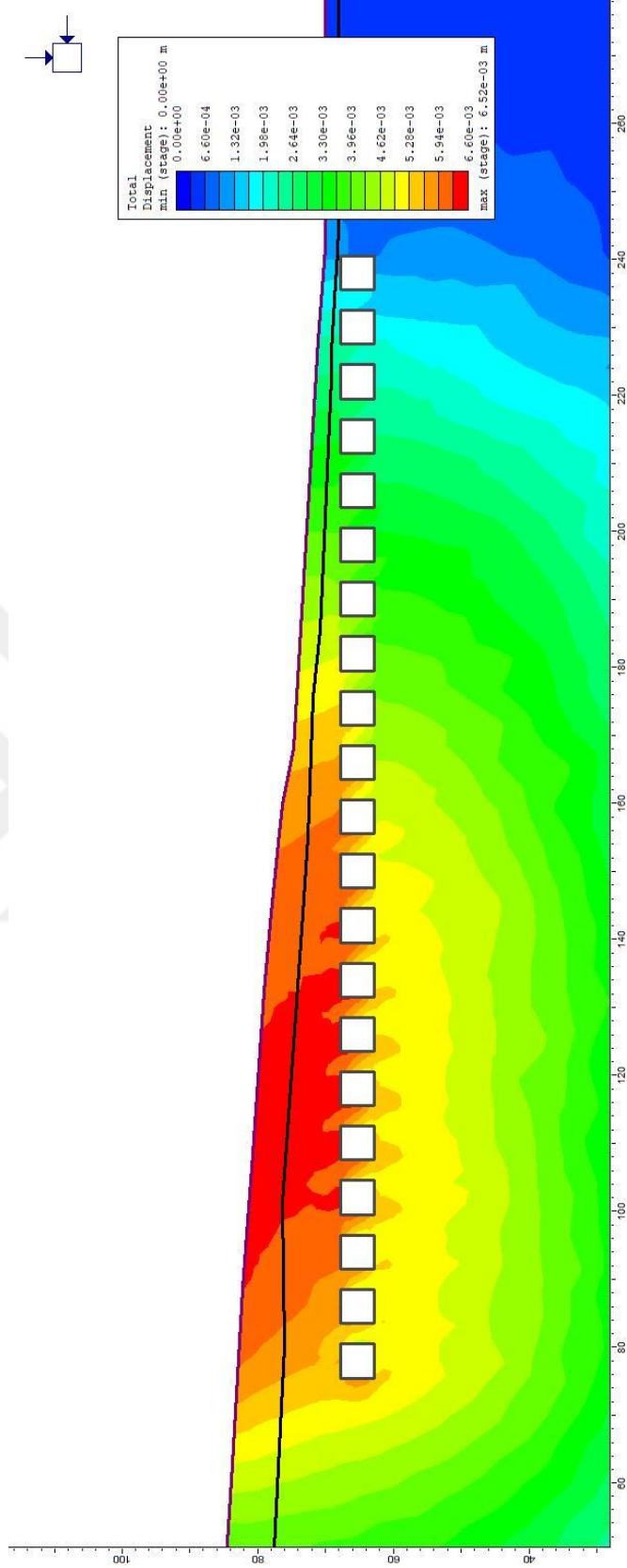
şekil 5.10. B deposu model girişi



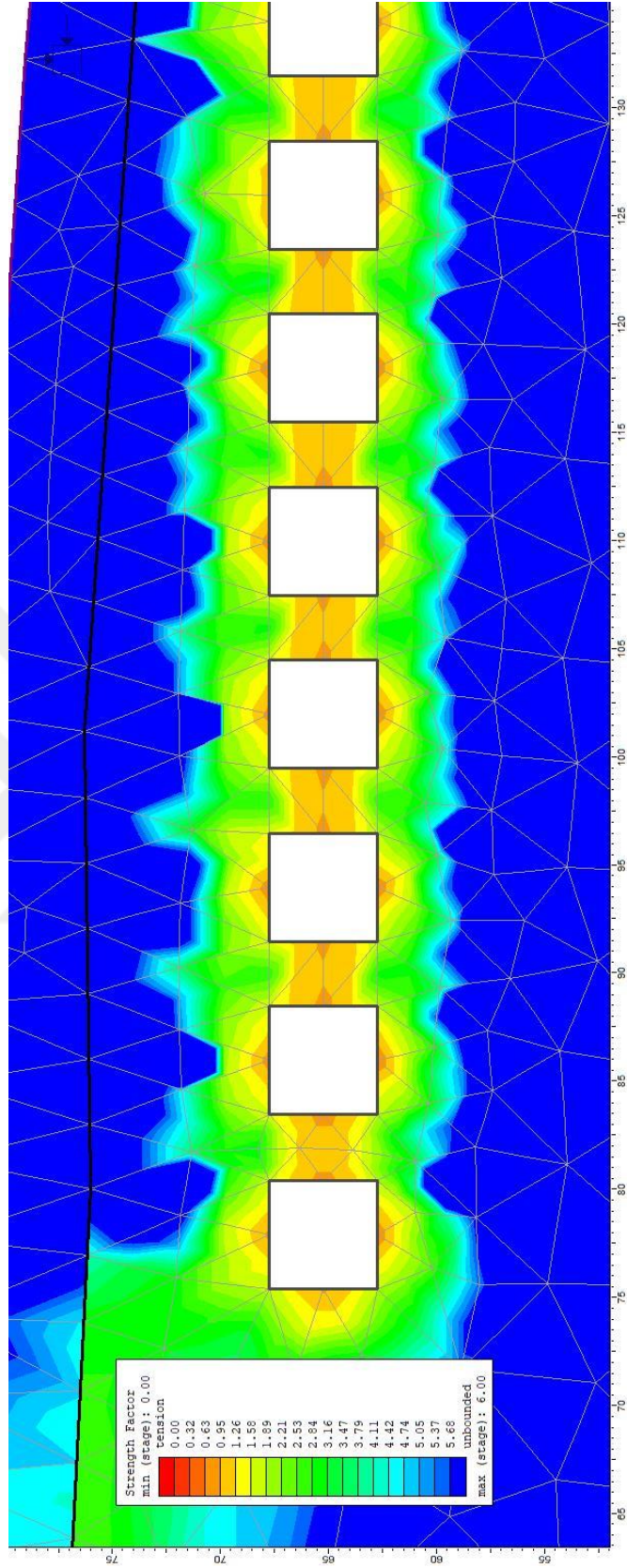
Şekil 5.11. B deposu, yayılı yüksüz düşey gerilme



Şekil 5.12. B deposu, yayılı yüksüz yatay gerilme



Şekil 5.13. B deposu, yaylı yüksüz toplam yer değışirme



Şekil 5.14. B deposu, yayılı yüksüz güvenlik faktörü

### 5.2.2.2 Depo B, yayılı yüklü analiz ve değerlendirmeler

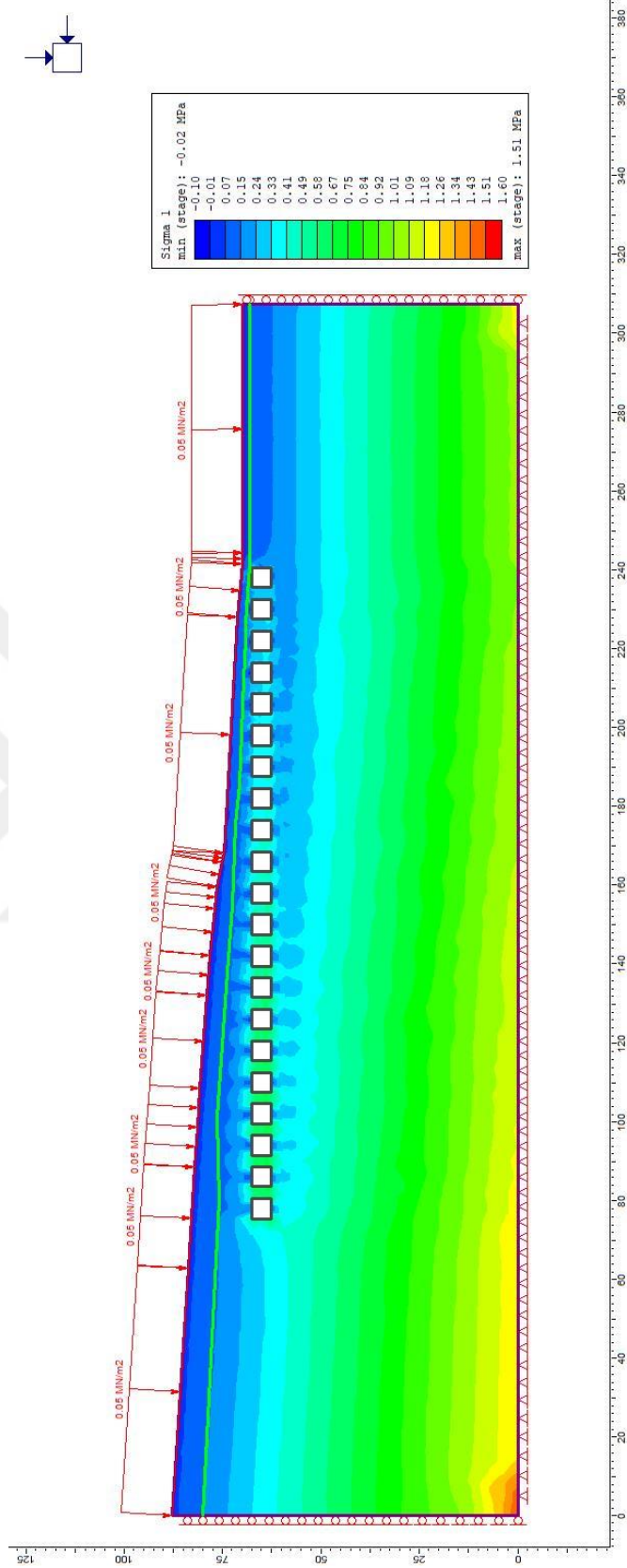
B deposuna ait sabit yayılı yük etkisi altındaki gerilme ve deformasyon sonuçları Şekil 5.15-18'de sunulmuştur.

Şekil 5.15 incelendiğinde, B deposunda yayılı yük etkisiyle galeri tavanında koyu mavi renkte düşey yönde çekme bölgesi oluşmuş ve maksimum  $-0,10$  MPa civarındadır. Yayılı yük etkisinin, yüksüz duruma göre düşey gerilmeyi fazla artırmadığı gözlenmiştir. Galeri yan yüzeylerinde ise açık mavi ve açık yeşil renkler ile basınç gerilmesi görülmektedir. Bu yüzeylerdeki basınç gerilmeleri ise yaklaşık  $0,41$  MPa -  $0,75$  MPa aralığındadır.

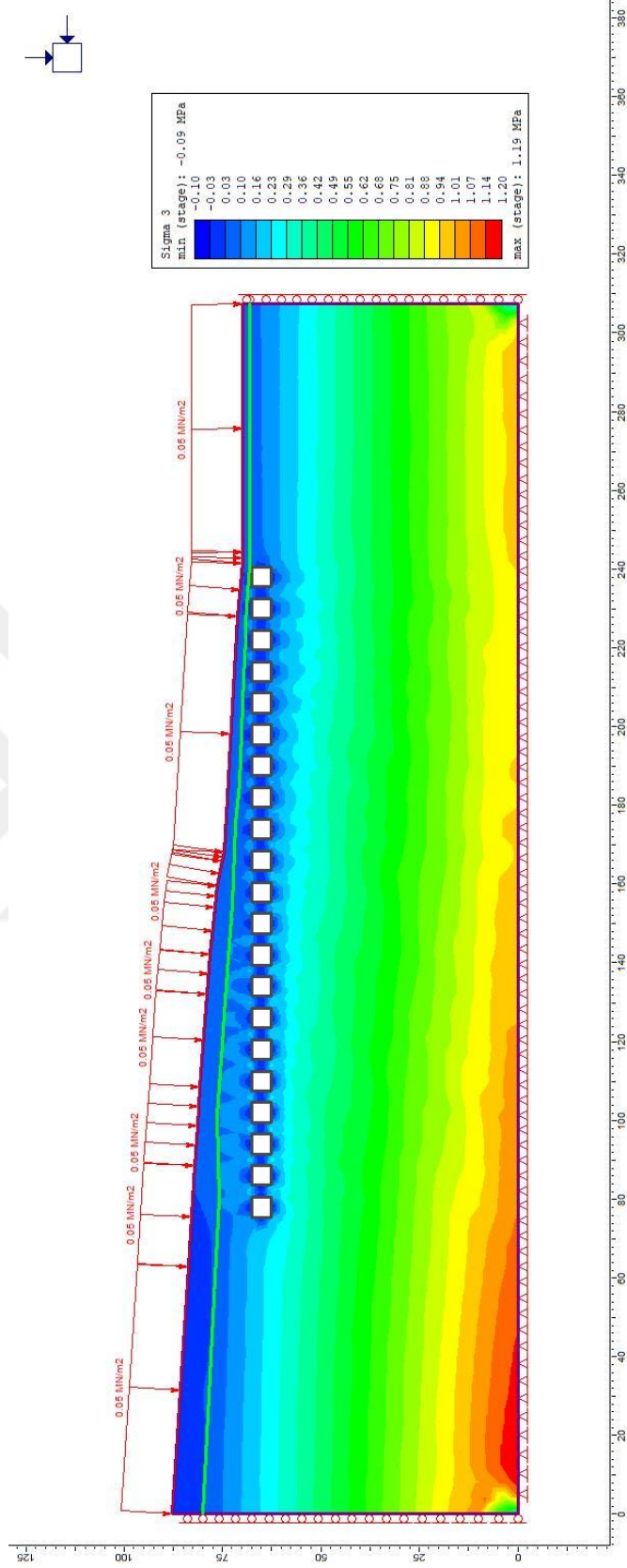
Şekil 5.16'den görüleceği üzere, B deposunda yayılı yük altında yatay gerilmeler; Galeri çevresinde 4 metre derinliklere kadar koyu mavi renkte çekme bölgesidir. Mavi kısımlarda çekme değeri yaklaşık  $-0,10$  MPa seviyelerindedir. İç yüzeylerden 4 metre sonra açık mavi ile basınç bölgesi başlamakta, yaklaşık  $0,23$  MPa basınç değerine ulaşmaktadır.

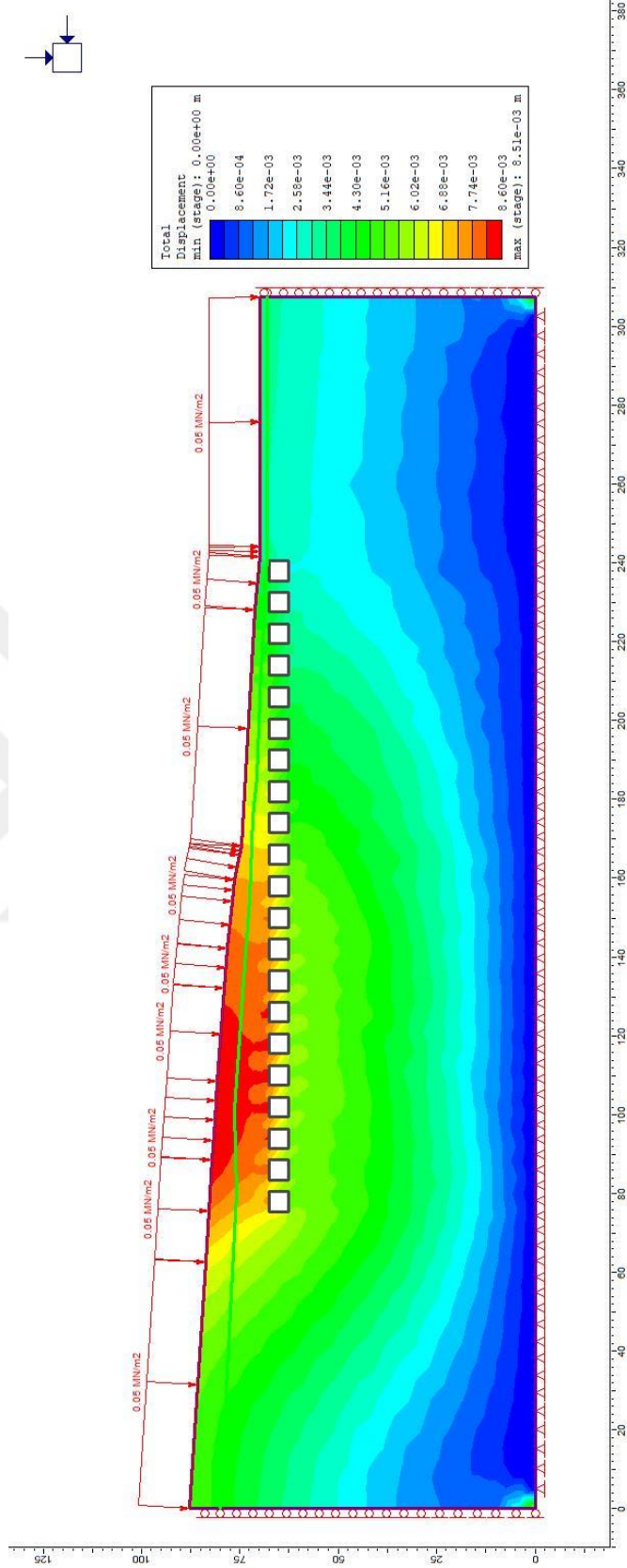
Şekil 5.17'te görüleceği üzere, B deposunda yayılı yük altında toplam yer değiştirme, yayılı yük ile birlikte artmış ve koyu kırmızı renk ile gösterilen galeri tavanında yaklaşık  $0,0086$  m. seviyesine ulaşmıştır. Galeri tabanlarında ise açık yeşil renk hakim olup yer değiştirme  $0,0056$  m. seviyelerindedir. Yan yüzeylerde ise açık sarı ve açık yeşil renkler hakimdir. Yan yüzeylerde en fazla yer değiştirme  $0,00602$  m. seviyelerindedir.

Şekil 5.18 incelendiğinde, yayılı yük etkisiyle güvenlik faktörünün galeri tavan ve yan yüzey ortasında sınır değer olan  $1,00$ 'in altına düştüğü, koyu kahverengi ile gösterilen bölgede yaklaşık  $0,95$  seviyesine indiği görülmektedir. Galeri tabanında açık kahve renkte olup güvenlik faktörü yaklaşık  $1,00$ 'dir. Kritik bir kesite sahip olup sistem güvenli değildir.

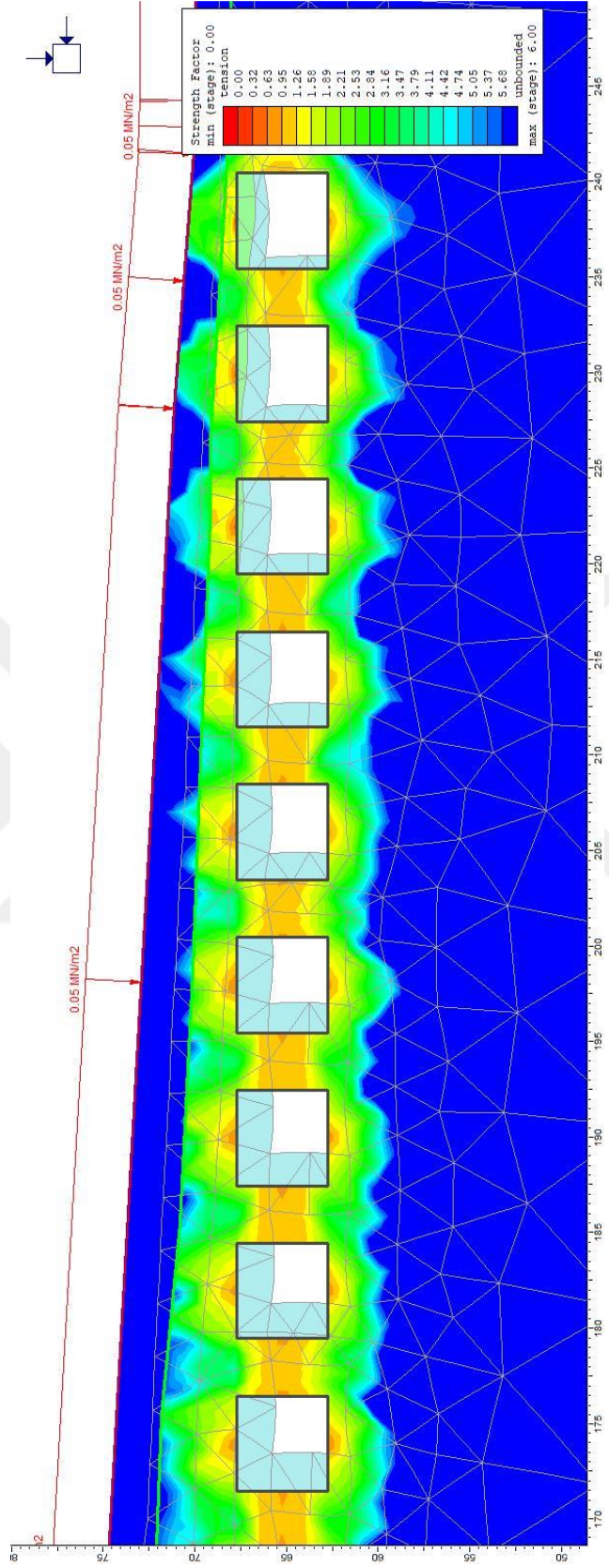


Şekil 5.15. B deposesu, yayılı yük ile düşey gerilme





Şekil 5.17. B deposu, yayılı yük ile toplam yer değistirme



Şekil 5.18. B deposu, yaylı yük ile güvenlik faktörü

### 5.2.2.3 Depo B, trapez yüklü analiz ve değerlendirmeler

Nevşehir İlinde en çok deponun bulunduğu Nar ve Çat kasabası sınırlarında Güneyden kuzeye ciddi bir eğim şeridi bulunmaktadır. Kayadan oyma depolarda en büyük sorun kazıdan çıkan malzemenin bertaraf edilmesidir. Tarımda ve diğer sektörlerde kullanılmayan ve çok miktardaki bu malzeme depo üzerinde arazi tesviyesinde kullanılmaktadır. Düşük kottan alın ile kazılmaya başlanılan kayanın ince tabakası önüne (duvar örülerek) ön taraftan başlanıp geriye doğru bir dolgu yapılmaktadır (Fotoğraf 5.1). İnce kaya örtüsü üzerindeki bu yük nedeniyle zaman zaman alın bölgesinde çökmeler oluşmakta, bu bölgeler ise sonradan açılarak betonarme döşeme ile kapatılmaktadır.



**Fotoğraf 5.1.** B deposu üst tabaka dolgusu

Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen B deposunun üstünde dolgu yükü bulunması durumundaki statik analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır. B deposunun alın kısmı üzerindeki toprak yüksekliği 5 metre, doymun birim hacim ağırlık ise  $1,6 \text{ ton/m}^3$  olarak alındığında trapez yükün en yüksek kenarı, ilk galeri üzerinde  $8 \text{ ton/m}^2$  ( $0,08 \text{ MN/m}^2$ ) olmaktadır. B deposunda, üzerindeki araziye uygun yapılan trapez yükleme altındaki gerilme ve deplasmanlar Şekil 5.19-23'de gösterilmiştir.

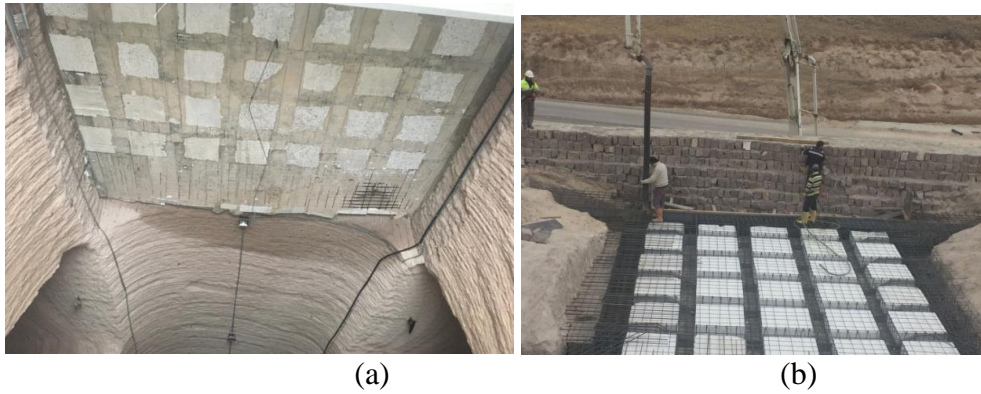
Şekil 5.19 incelendiğinde, B deposunun Trapez yayılı yük altında galeri tavanında maksimum düşey gerilme oluştuğu görülmektedir. Bu değer koyu mavi renkte olup  $-0,10 \text{ MPa} < 0,22 \text{ MPa}$  seviyesinde olup dayanımın aşılmadığı görülmektedir. Bu değer galeri tabanının sınırında da koyu mavi ile başlasa da yoğunlukla açık mavi renkte ve  $0,06$

MPa basınç değerine doğru yaklaşmaktadır. Yan yüzeylerde (topuk yüzeyi) ise açık mavi kısımlarda 0,30 MPa, açık yeşil renklerde ise 0,86 MPa düşey gerilme değerlerine yakındır.

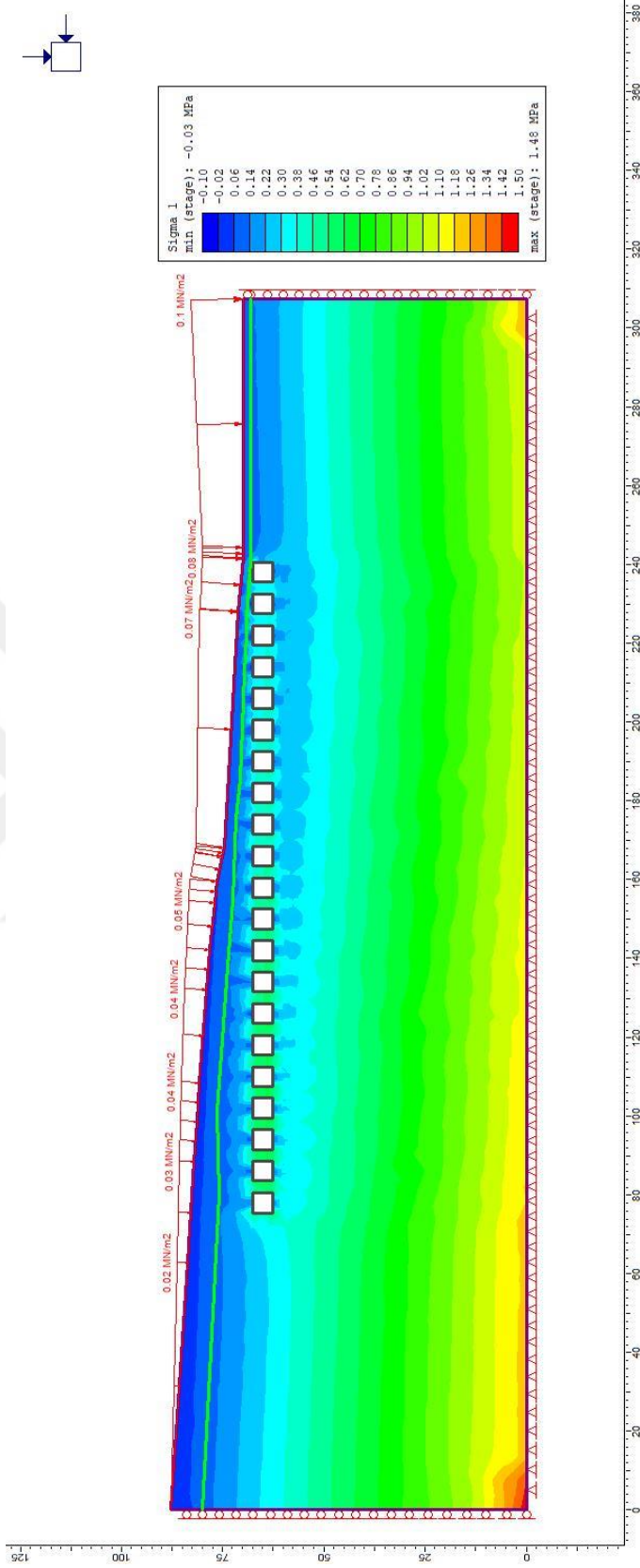
Şekil 5.20 incelendiğinde, B deposunun Trapez yayılı yük altında galeri tavanında, tabanında ve yan yüzeylerinde koyu mavi renkte maksimum yatay gerilme olduğu görülmektedir. Galeri tavanında koyu mavi ile -0,20 MPa çekme gerilmesi oluşmaktadır.  $0,20 < 0,22$  MPa sınır değere yakındır. Galeri yan yüzeyi ve tabanında ise renk tonu biraz daha açılmakta olup yatay gerilme -0,13 MPa seviyelerindedir.

Şekil 5.21 'de görüleceği üzere, trapez dolgu yükü altında galeri tavanında toplam yer değiştirme koyu kırmızı renkte galeri tavanlarında koyu kırmızı ile belirtilen en yüksek seviyesine ulaşmakta 0,0079 m. değerine yaklaşmaktadır. Galeri tabanı ve yan yüzeyinde ise açık yeşil ve sarı renkler hakimdir. Deplasmanlar bu bölgede 0,00395 ila 0,00632 m. aralığında seyretmektedir. 40 metre derinlikte deplasmanlar sıfır seviyesine inmektedir.

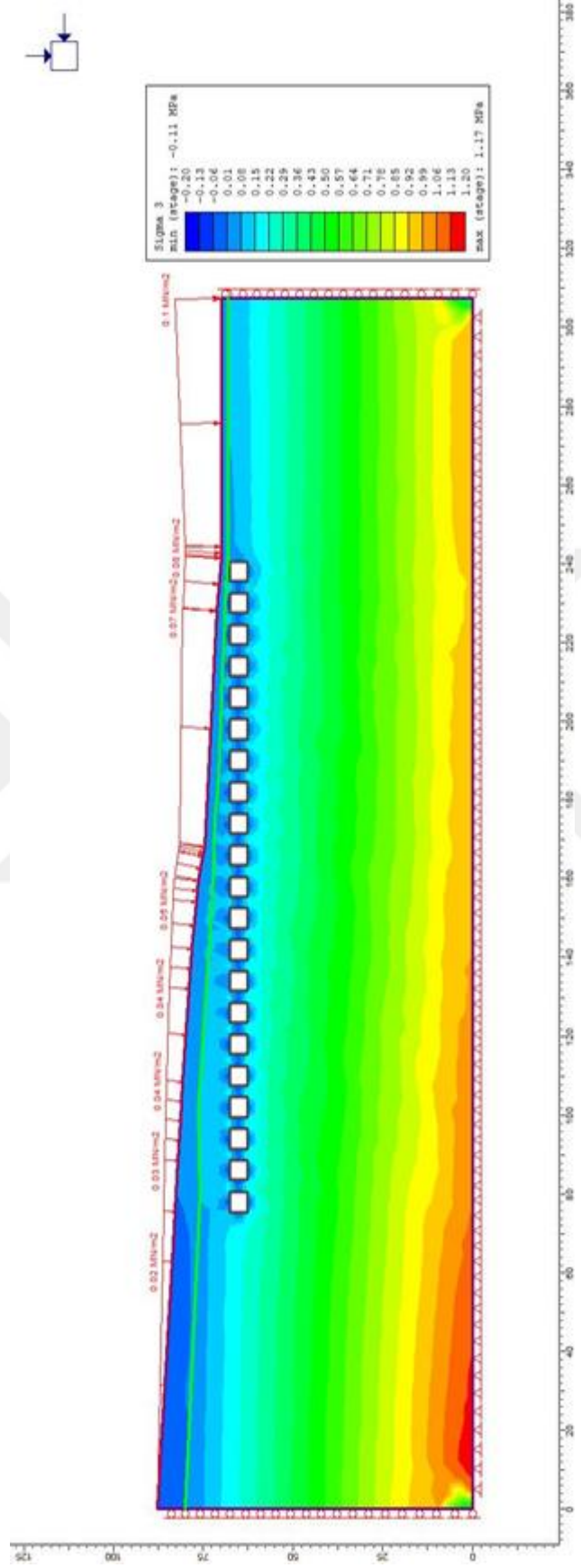
Şekil 5.22'de görüleceği üzere, trapez dolgu yükü altında galeri tavanında güvenlik faktörü 0,30 seviyesinde olup çökme riski koyu kırmızı ile belirtilen bölgede belirgin olarak görülmektedir. Hesaplarda ortaya çıkan bu durum uygulama sırasında da gerçekleşmiş ve B deposunda çökme yaşanmıştır. Açık kahverengi olan topuk bölgesinde ise güvenlik faktörü 1,00 civarında olup sınırda bir güvenliğe sahiptir. Çökme sonrasında yapılan betonarme döşeme uygulaması Fotoğraf 5.2'de sunulmuştur.



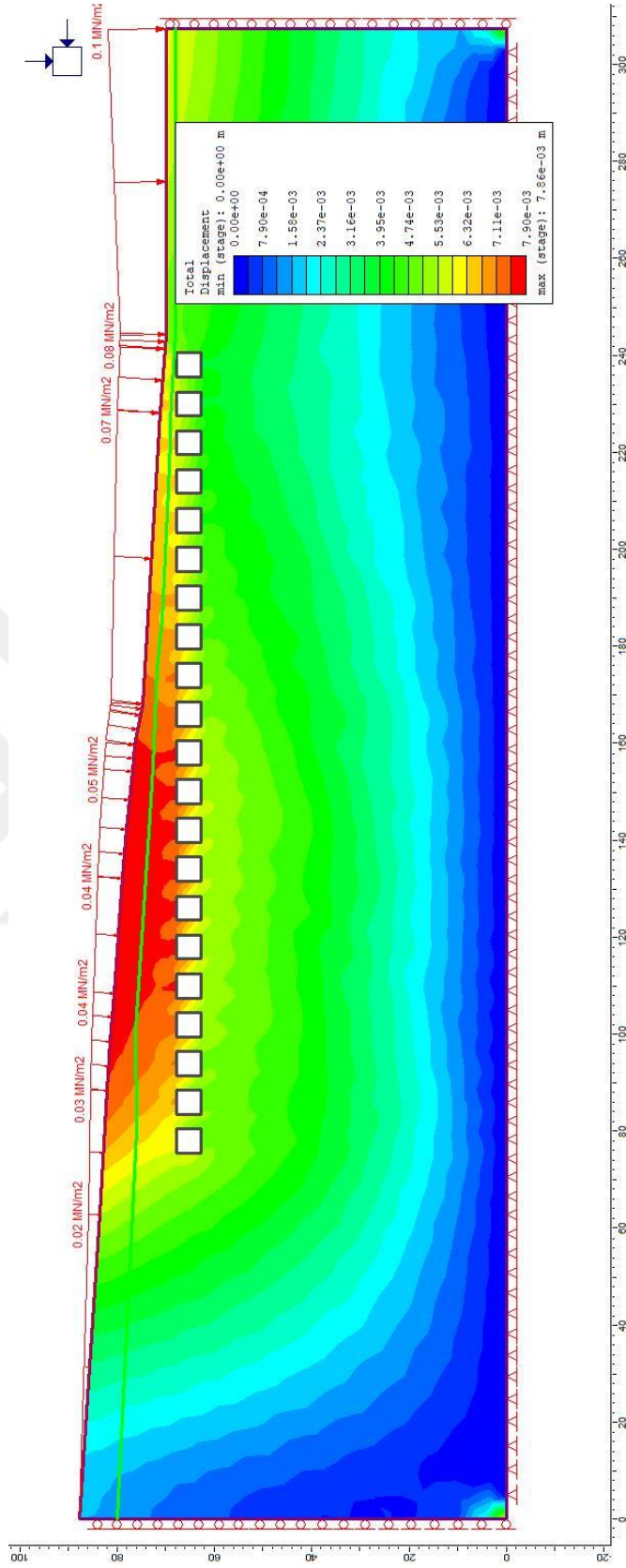
**Fotoğraf 5.2.** Depo tavanında betonarme döşeme uygulaması içten (a) ve üstten (b) görünüm



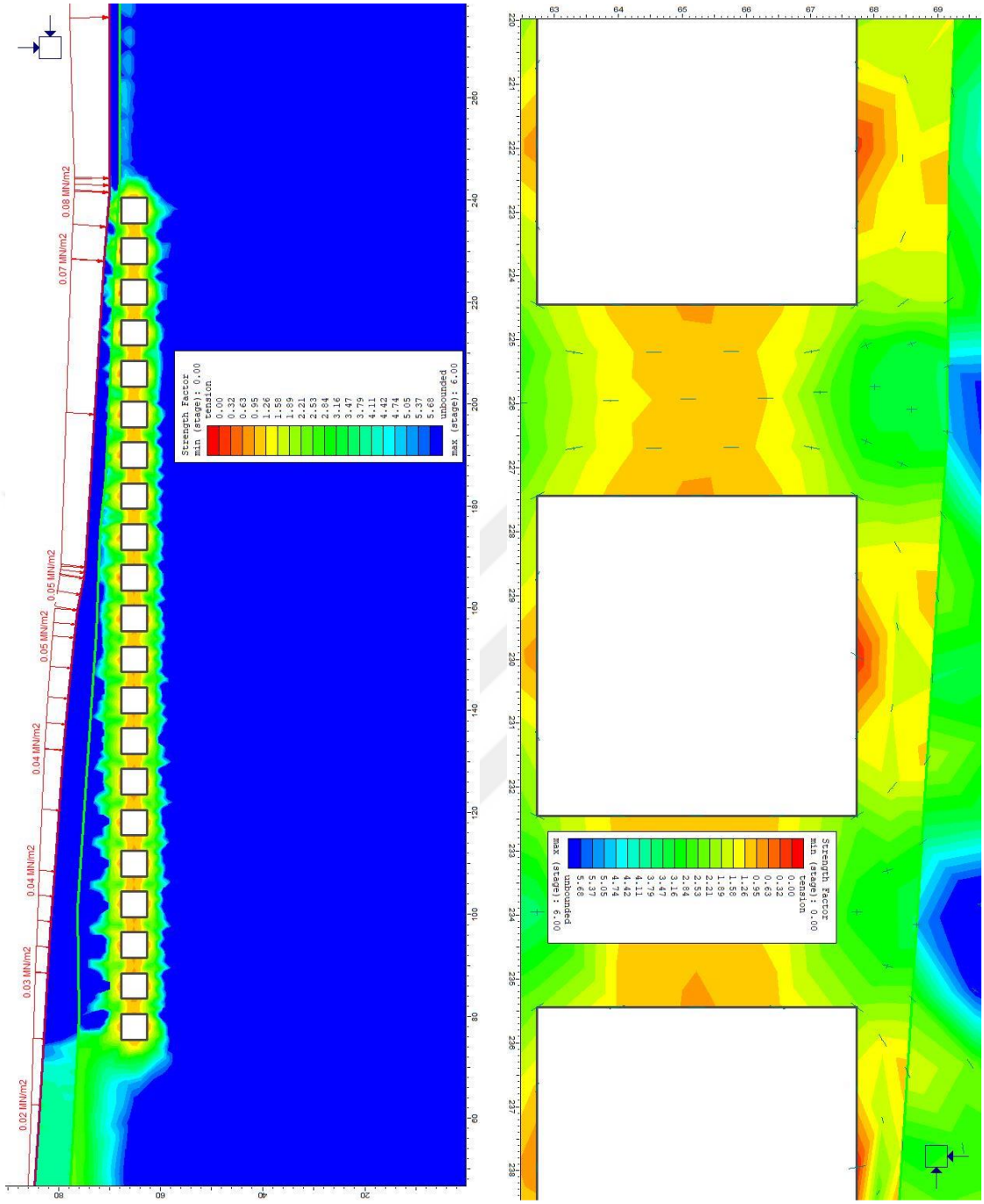
Şekil 5.19. B deposu, trapez dolgu yükü altında düşey gerilme



Şekil 5.20. B deposu, trapez dolgu yükü yatay gerilme



Şekil 5.21. B deposu, trapez dolgu yükü altında toplam yer değiştirme



(a)

(b)

Şekil 5.22. B deposu, trapez dolgu yükü altında güvenlik faktörü tüm kesit (a) ve yakınlaştırılmış görünüm (b)

### 5.2.3 Depo C

#### 5.2.3.1 Depo C, yayılı yüksüz analiz ve değerlendirmeler

Kavak Kasabası'nda yer alan C deposu, yüksekliği ve galeri tipi ile eski/geleneksel tip depoların özelliklerini taşımakta olup yaklaşık 20 yıllık bir depodur. Depoya ait statik analiz model girişi Şekil 5.23'te, yayılı yüksüz gerilme ve deformasyon sonuçları ise Şekil 5.24-27'de sunulmuştur.

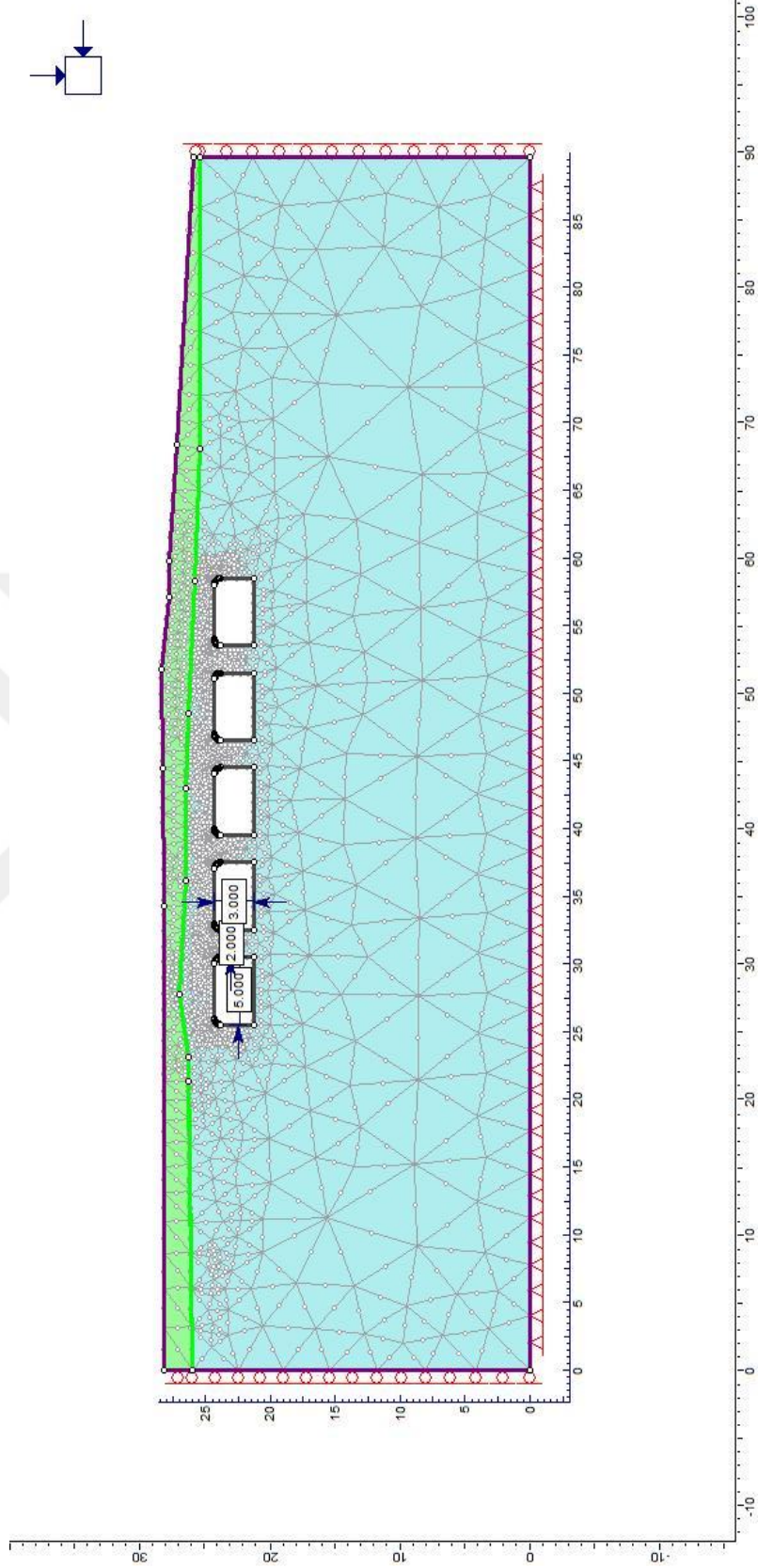
Şekil 5.23'den görüleceği üzere, C deposunda galeri yüksekliği 3 metre, galeri genişliği 5m, topuk genişliği ise 2 metredir.

Şekil 5.24'den görüleceği üzere C deposunda yayılı yük olmadan, eşit ve düzgün bir düşey gerilme mevcuttur. Çekme bölgesi galeri tavan ve tabanıdadır, sınırlar aşılmamıştır. Galeri Tavanında koyu mavi renkte -0,01 MPa, tabanda açık mavi renkte 0,01 MPa basınç, yan yüzeylerde ise açık yeşil renkte 0,25 MPa yaklaşık basınç gerilmeleri olduğu gözlemlenmiştir.

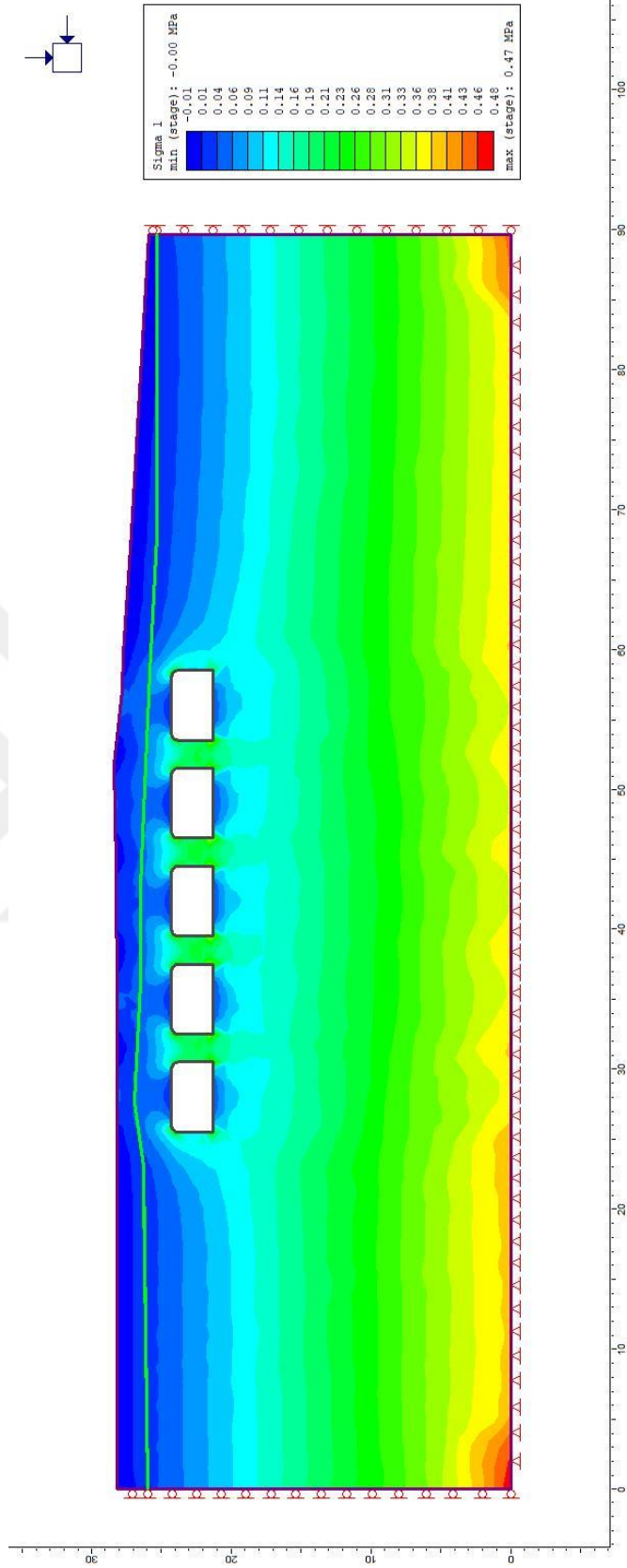
Şekil 5.25 incelendiğinde, C deposu yayılı yüksüz halde; Depo tavan, taban ve yanlarında koyu mavi renkte düşük miktarda , -0,03 MPa yatay çekme gerilme si oluşmaktadır. Tabandan 4 metre sonra açık maviye dönüşen yatay gerilme değeri yaklaşık 0,10 MPa basınç değerlerindedir.

Şekil 5.26 incelendiğinde, C deposu yayılı yüksüz halde; maksimum 0,0009 m gibi kırmızı renkte bir deplasman galeri tavanında görülmektedir. Çok düşük bir değerdir. Diğer bölgelerdeki deplasmanlar ise; galeri tabanında açık mavi renkte olup 0,00027 m ile 0,00009 m aralığında olup ihmal edilecek kadar düşüktür.

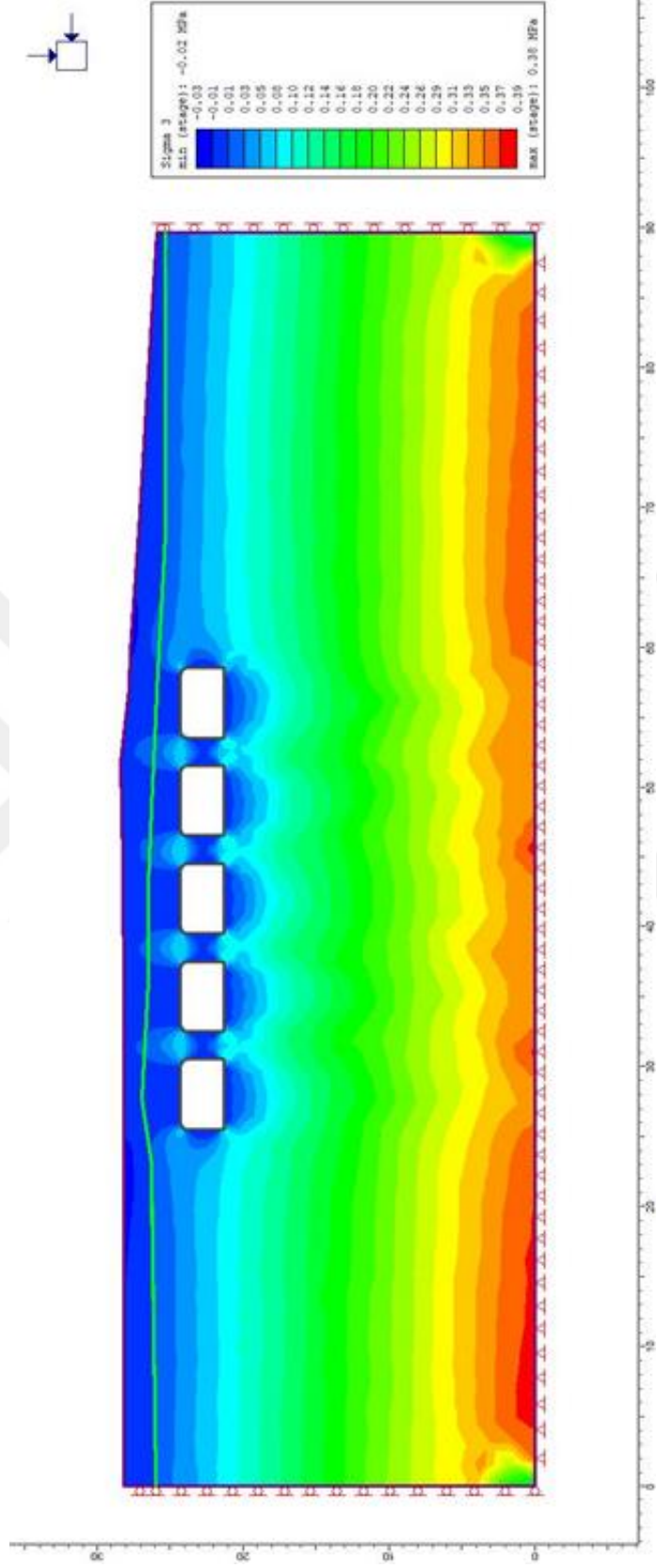
Şekil 5.27 incelendiğinde, C deposu yayılı yüksüz halde; güvenlik faktörü açık kahverengi ile en düşük topuk bölgesinde yer almakta olup 1,26 gibi güvenli tarafta kalmaktadır. Galeri tavanında açık yeşil renk ile 2,53, galeri tabanında ise sarıya yakın yeşil renk ile 1,58 gibi bir güvenlik katsayısına sahiptir. Güvenlik katsayısı için sınır değer 1,00 olup bu değer in üzeri güvenli taraftır.



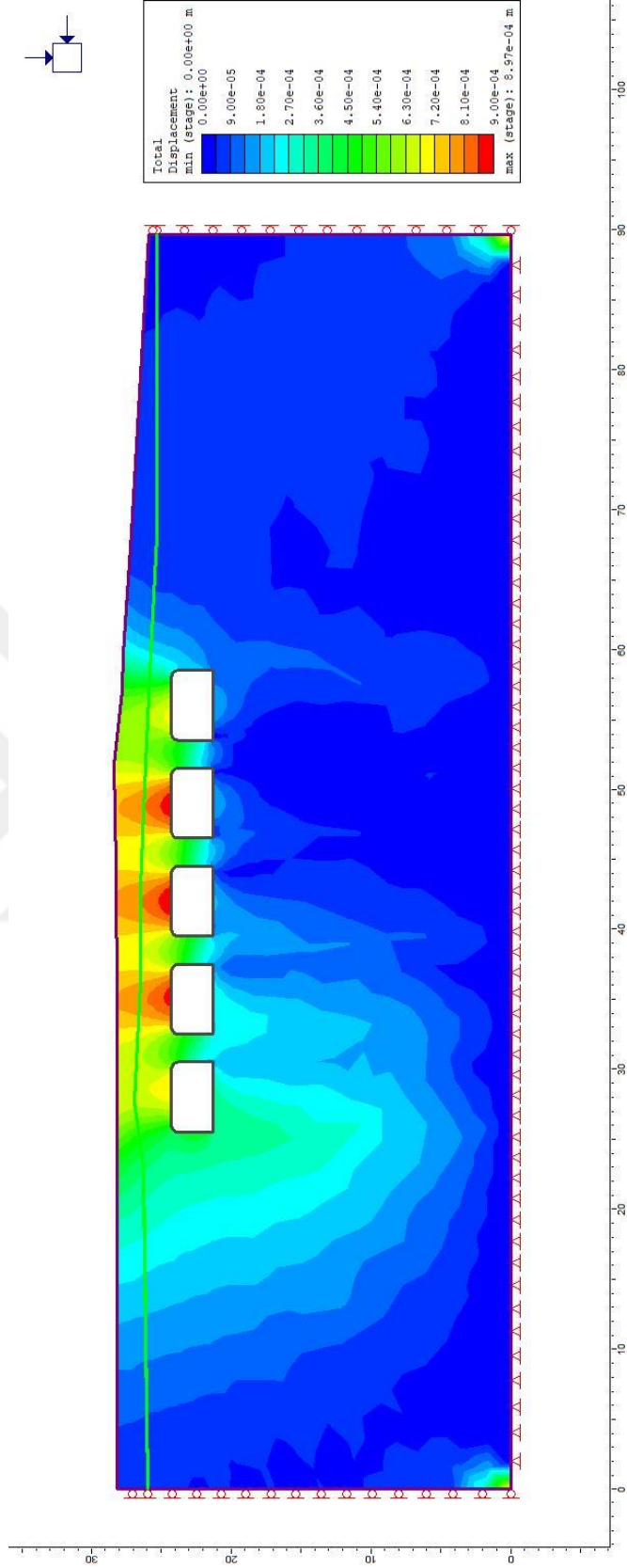
Şekil 5.23. C deposu, model girişi



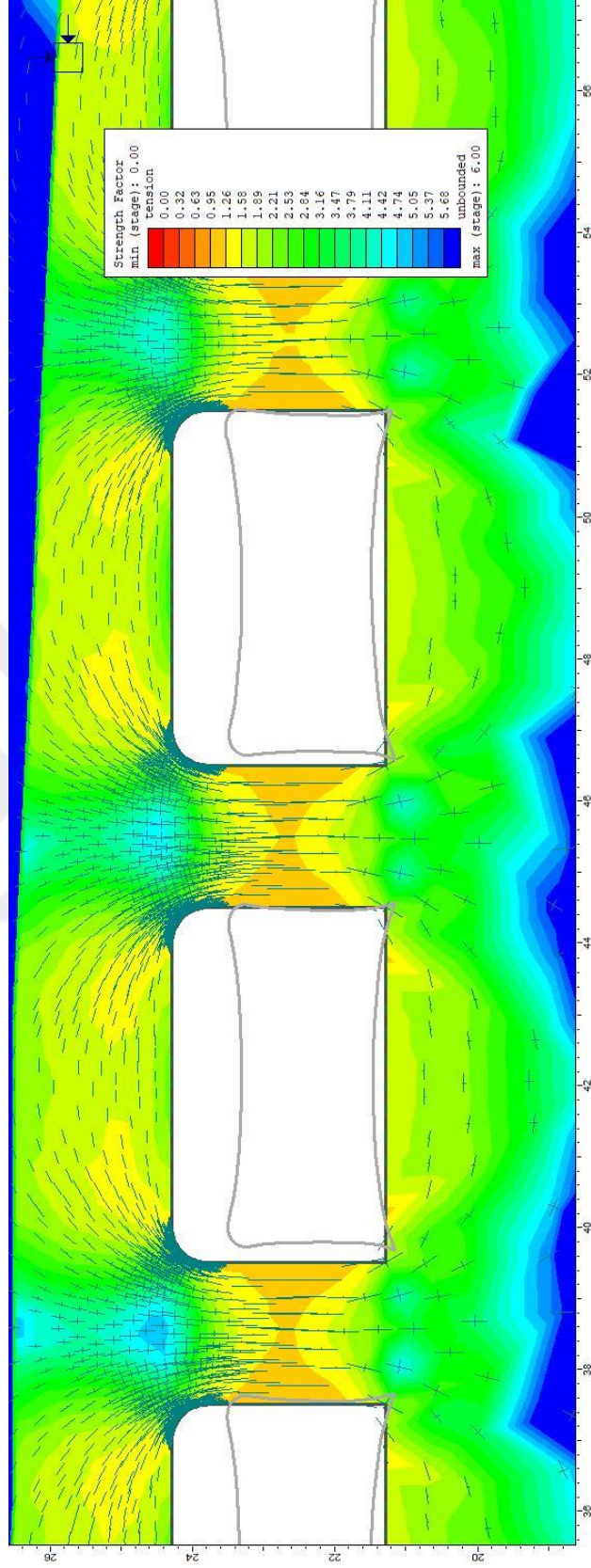
Şekil 5.24. C deposu, yayılı yüksüz düşey gerilme



Şekil 5.25. C deposu, yaylı yüksüz yatay gerilme



Şekil 5.26. C deposu, yaylı yüksüz toplam yer değişirme



Şekil 5.27. C deposu, yaylı yüksüz güvenlik faktörü

### 5.2.3.2 Depo C, yayılı yüklü analiz ve değerlendirmeler

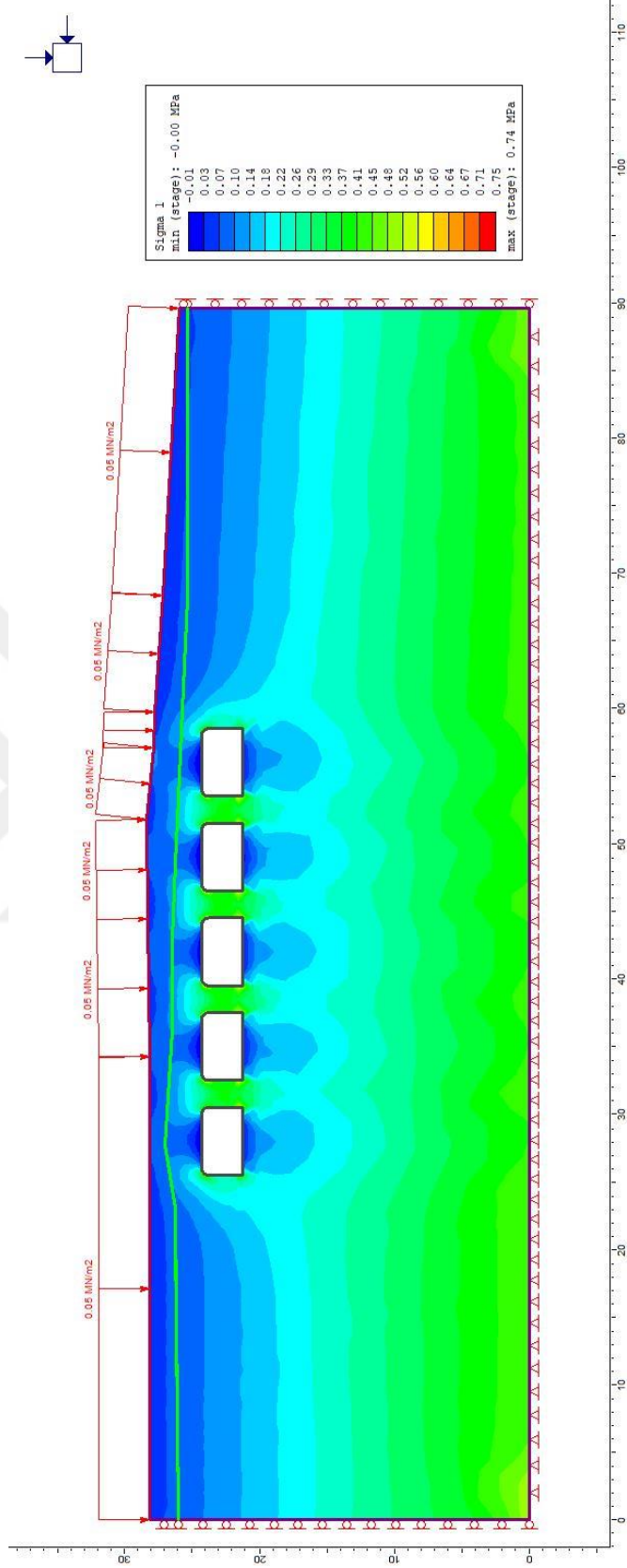
C deposunun yayılı yük etkisi altındaki gerilme ve deformasyon sonuçları Şekil 5.28-31’de sunulmuştur.

Şekil 5.28 incelendiğinde, C örnek deposunda yayılı yük altında düşey gerilme sonuçları incelendiğinde; gerilme eğrisi değişmiş olsa da çekme dayanımının aşılmadığı gözlenmektedir. Galeri üst ve alt kenarında koyu mavi renkte -0,01 MPa değere yakın çekme, yan yüzeylerde ise açık yeşil renkte 0,48 MPa gibi bir basınç değeri görülmektedir.

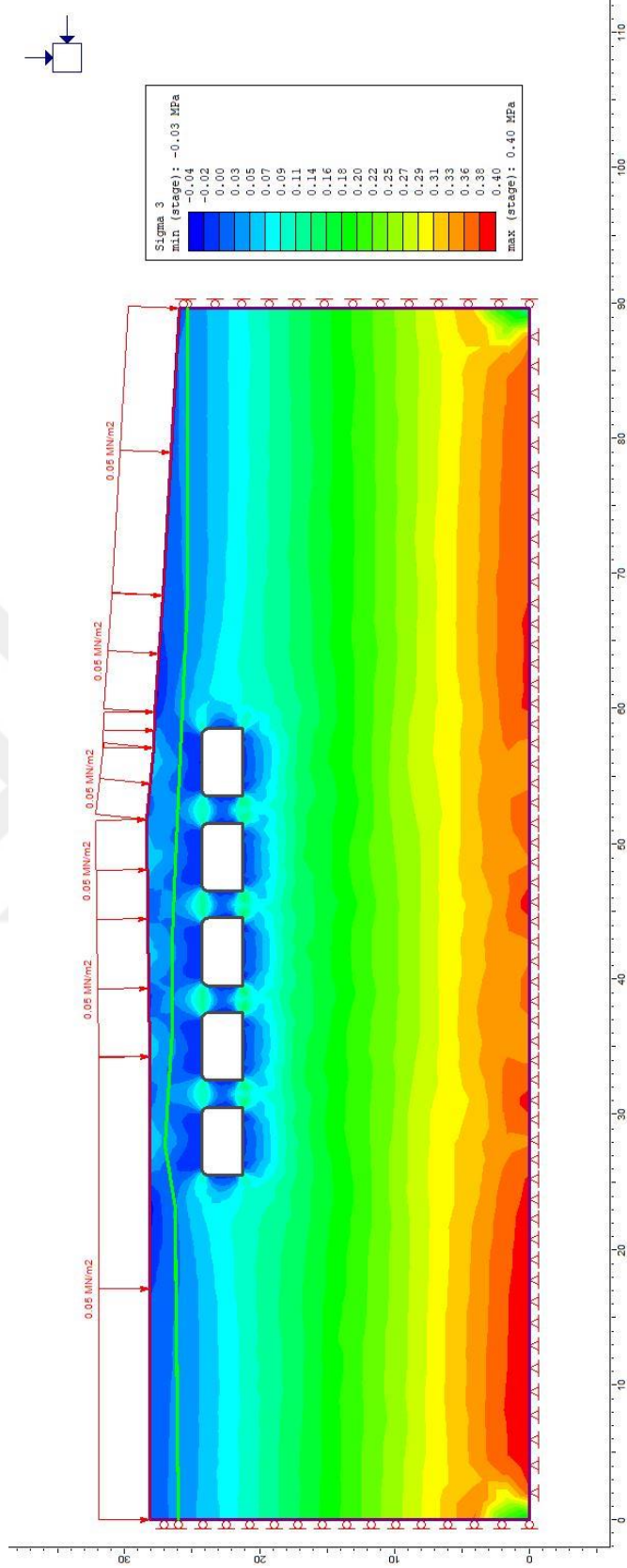
Şekil 5.29’da görüleceği üzere, yayılı yük altındaki C deposunda yatay gerilmeler; en yoğun koyu mavi renkli kısımlar tavanda olup -0,04 MPa seviyesindedir. Açık mavi renkle ifade edilen gerilme yan yüzeyde olup -0,02 MPa seviyesindedir. Daha açık mavi renkle ifade edilen gerilmeler ise galeri tabanında olup -0,01 MPa değerine sahiptir. Galeri boşluğunda 2 metre sonra alt ve üstlerde 0,09 MPa dan başlayan ve 0,4 MPa’ a ulaşan basınç değerleri; açık maviden koyu kırmızıya giden renk skalası ile görülmektedir.

Şekil 5.30 incelendiğinde, yayılı yük ile birlikte deplasmanın arttığı ve galeri tavanında 0,0028m’ye çıktığı görülmektedir.

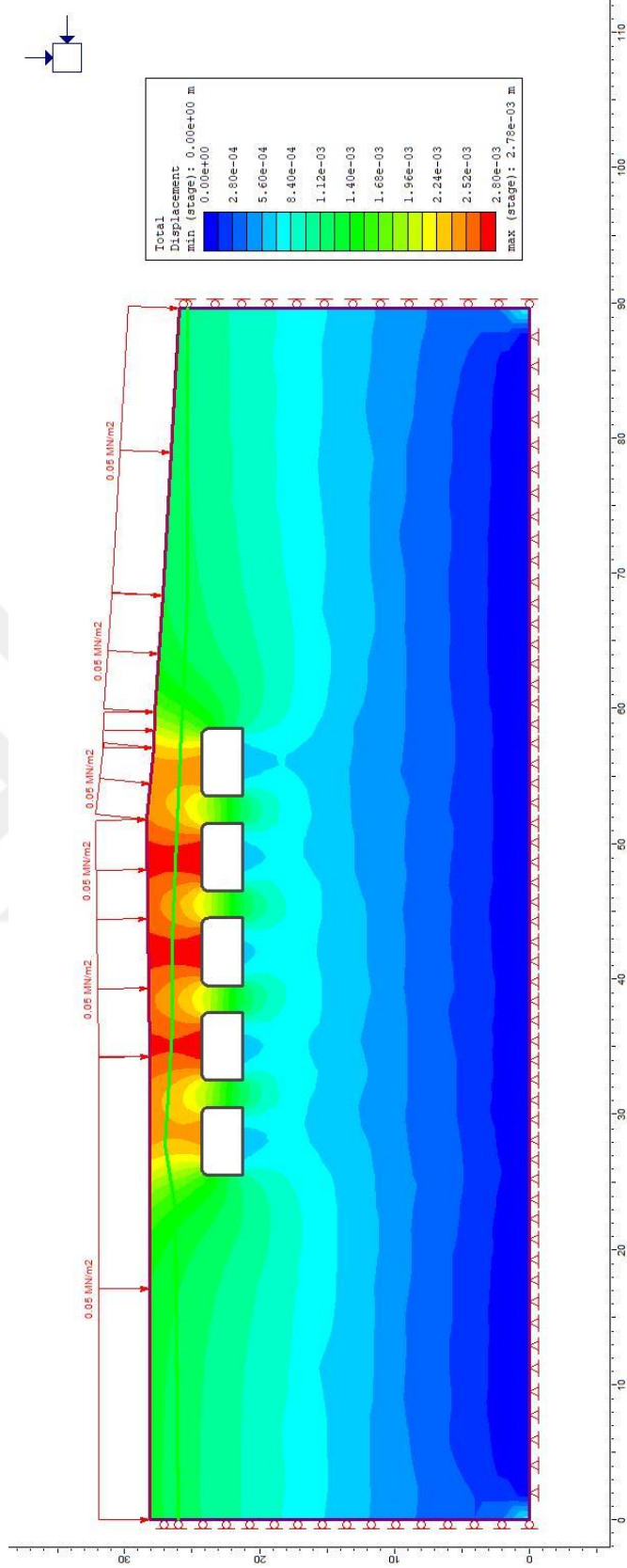
Şekil 5.31 incelendiğinde, güvenlik faktörünün yayılı yüke rağmen, topuk kısmında sınır değere yakın ve güvenli olduğu görülmektedir. Açık kahverengi ile gösterilen topuk kısmında güvenlik faktörü 1,26 değerinde olup, tavan kısmında sarı-yeşil renkte olup 1,89 ve taban kısmında ise açık yeşil renkte olup 1,58 değerine sahiptir.



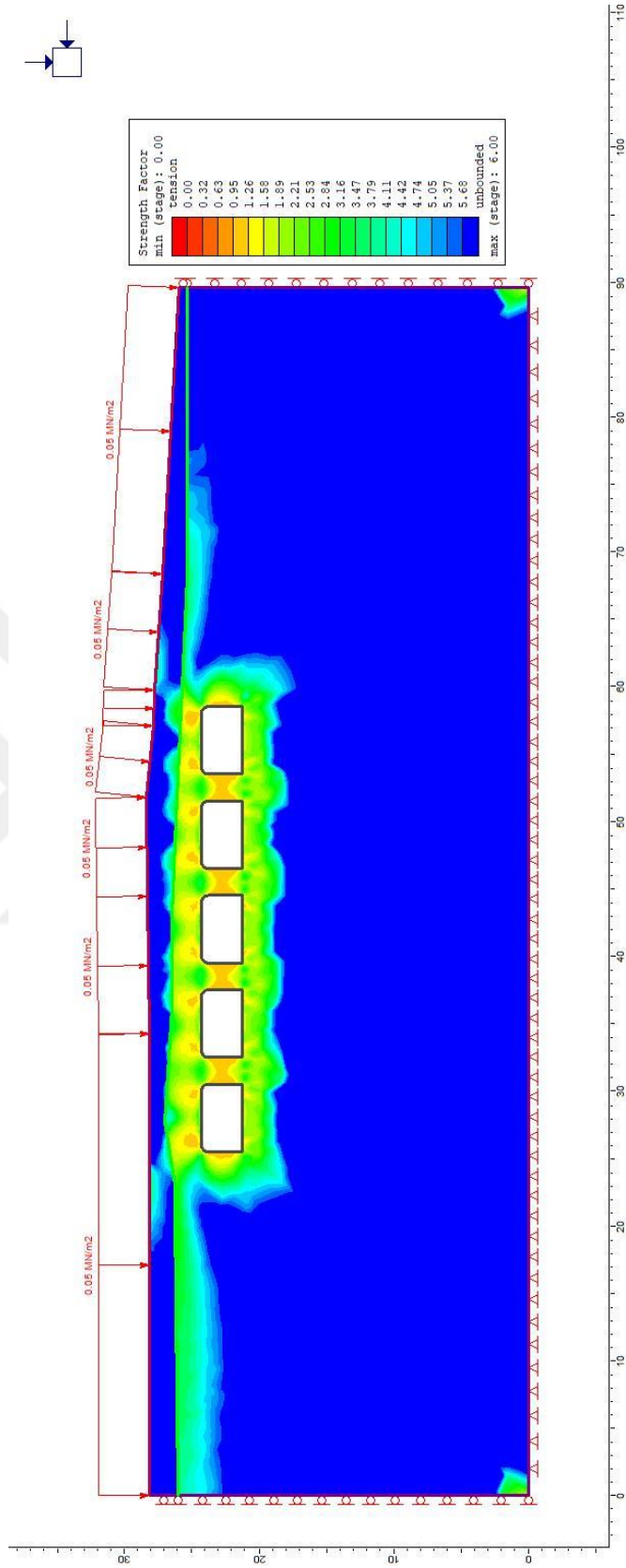
Şekil 5.28. C deposu, yayılı yük ile düşey gerilme



Şekil 5.29. C deposu, yayılı yük ile yatay gerilme



Şekil 5.30. C deposu, yayılı yük ile toplam yer değıştirme



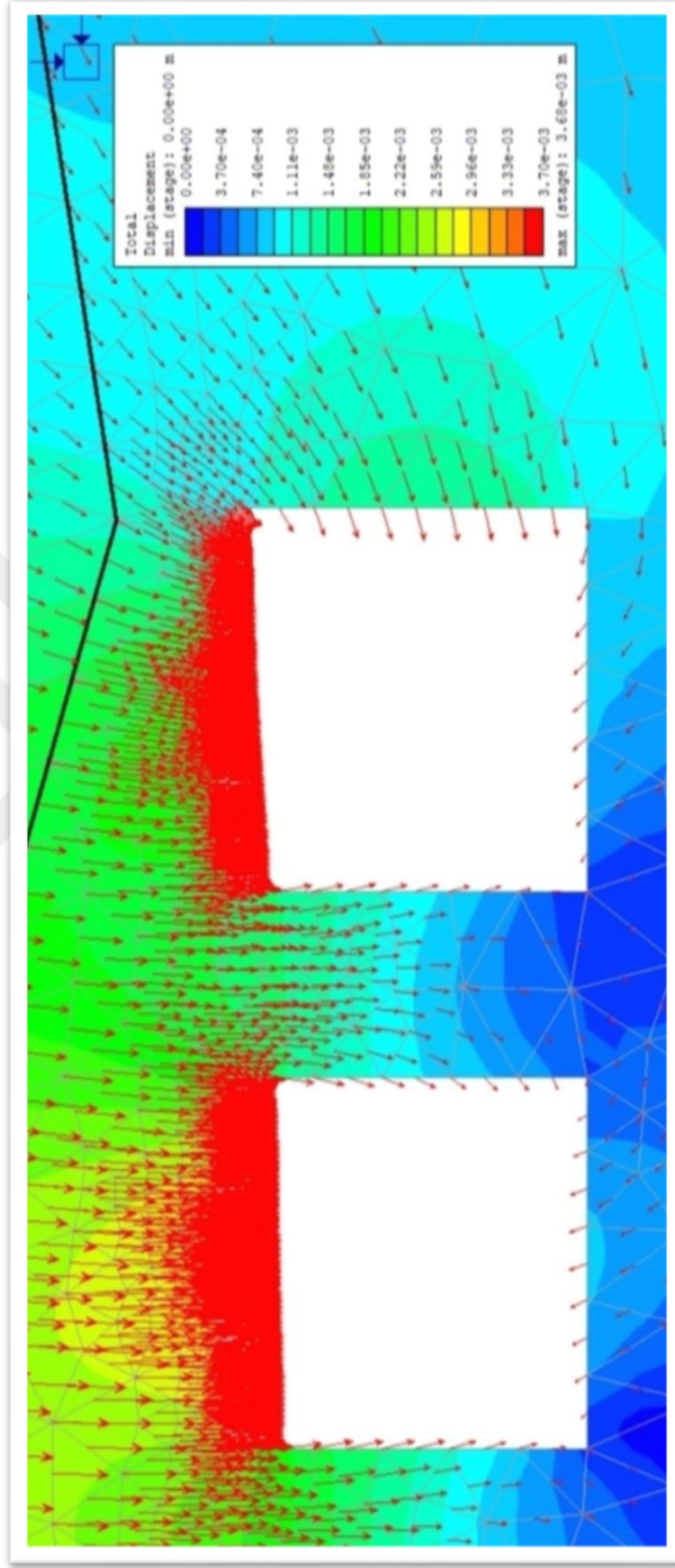
Şekil 5.31. C deposu, yayılı yük ile güvenlik faktörü

#### 5.2.4 Depoların genel gerilme ve deplasman şekilleri

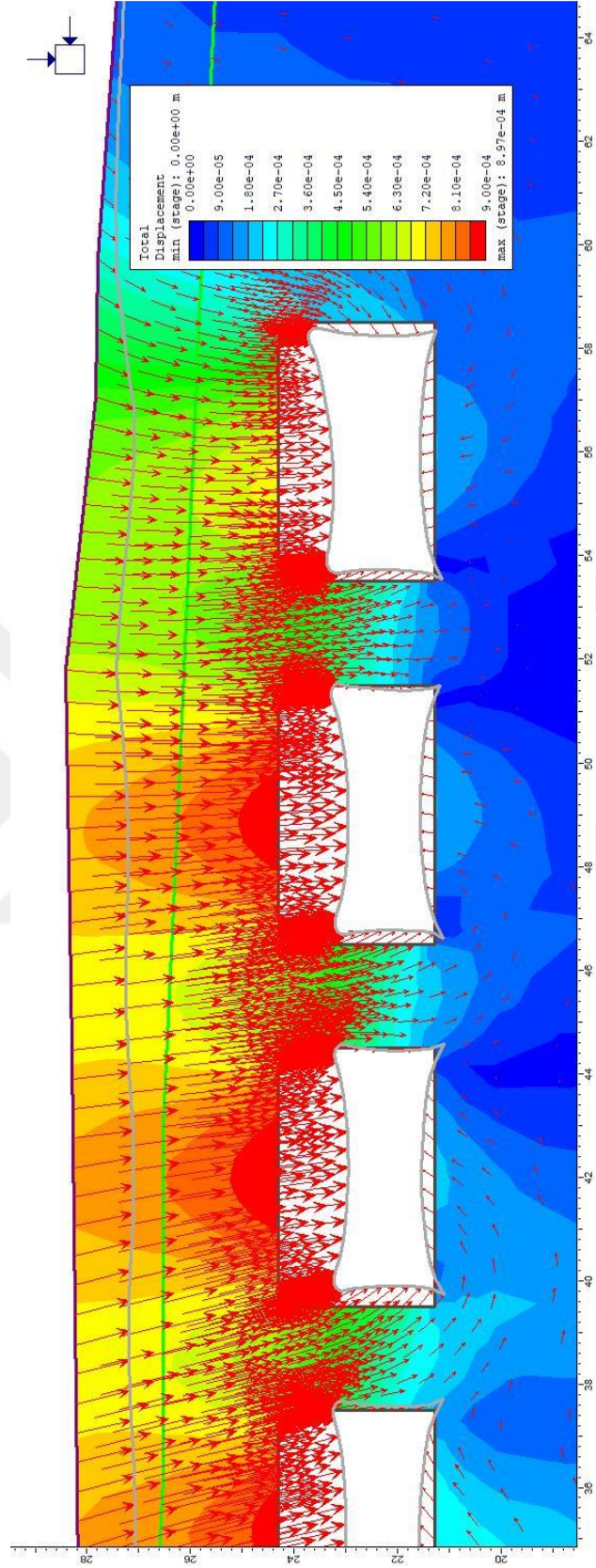
İncelenen depo örneklerine ait genel gerilme ve deplasmanlar birbirine benzer şekilde olduğu için bu değerler hakkında genel bilgi vermesi açısından C deposuna ait genel gerilme ve deplasmanlar Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te sunulmuştur.

Şekil 5.32'de görüldüğü üzere, en sık vektör bölgesi galeri kırmızı okların yoğunlaştığı galeri tavanındadır. Sonra kırmızı vektörlerin sırası ile yan yüzey ve daha düşük şekilde taban yüzeyde yer aldıkları görülmektedir. Bu sıralama yer değiştirme sıklığını gösterir.

Şekil 5.33'da verilen yer değiştirme vektörleri, en fazla yer değiştirmenin galeri tavanında oluştuğunu göstermektedir. Sonra yan yüzey, en düşük ise galeri tabanında görülmektedir. İç kısımdaki deformasyon eğrisi (dikdörtgen kısım) deplasman ve gerilmeler hakkında net şekil bilgisi vermektedir. En büyük yer değiştirme tavan, sonra yan yüzeyde sonra ise alt yüzeyde olduğunu kırmızı oklar ile gri renkteki yer değiştirme deformasyon eğrisinden görülebilir.



Şekil 5.32. Yük altında tipik deplasman vektörleri



Şekil 5.33. Tipik deplasman vektörleri ve şekil değistirme

## 5.2 Depoların statik analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

İncelenen A, B ve C depolarına ait, yayılı yük olmadan tahkik sonuçları Çizelge 5.1’de sunulmuştur. Aynı depo örnekleri ayrıca trafik veya toprak yükünden oluşan yayılı yükler etkisi altında değerlendirilmiş ve sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Yayılı yük olmadan depo tahkikleri

| Depo ismi | Düşey gerilme maksimum | Yatay gerilme maksimum | Toplam deplasman       | Guvenlik faktörü en düşük değeri | Yorum  |
|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|--|
| A         | -0,10MPa               | -0,06 MPa              | $3,7 \times 10^{-3}$ m | 1,0 (Topuk)                      | Çekme bölgesi galeri tavanında, topuk güvenliği sınırdadır |
| B         | -0,10 MPa              | -0,10 MPa              | $6,6 \times 10^{-3}$ m | 1,0 (Topuk)                      | Çekme bölgesi galeri tavanında, topuk güvenliği sınırdadır |
| C         | -0,01 MPa              | -0,03 MPa              | $9,0 \times 10^{-4}$ m | 1,26(Topuk)                      | Güvenlik faktörü yüksek, güvenli.                          |

Çizelge 5.2. Yayılı yük (trafik veya toprak) altında depo tahkikleri

| Depo ismi              | Düşey gerilme maksimum | Yatay gerilme maksimum | Toplam deplasman        | Guvenlik faktörü en düşük değeri  | Yorum   |
|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|
| A                      | 0,03 MPa               | -0,08 MPa              | $3,7 \times 10^{-3}$ m  | 1,0 (Topuk)                       | Tavanda çekme yok. Topuk güvenliği sınırdadır                                     |
| B                      | -0,10 MPa              | -0,10 MPa              | $8,6 \times 10^{-3}$ m  | <b>0,95&lt;1,00 (Topuk-Tavan)</b> | Galeri tavanında en büyük deplasman. Topuk ve tavan güvenliği sınırdadır          |
| C                      | -0,01 MPa              | -0,04 MPa              | $2,80 \times 10^{-3}$ m | 1,26 Tüm.                         | Güvenlik faktörü yüksek   |
| B deposu, trapez yüklü | -0,10 MPa              | -0,20 MPa              | $7,90 \times 10^{-3}$ m | <b>0,30&lt; 1,00</b>              | Güvenlik faktörü düşük. galeri tavanında çökme riski. Topuk güvenliği sınırdadır. |

Tahkik sonuçlarına göre aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

- B deposunda görüldüğü gibi, yayılı yük ve trafik yükü, loca üzerindeki kaya kalınlığının düşük olduğu yerlerde deplasman ve gerilmeleri sınır değerinin üzerine taşımaktadır. Çizelge 5.1 ve 5.2 incelenirse B deposunda deplasman, yayılı yüksüz durumda  $6,6 \times 10^{-3}$  m iken, yüklü durumda  $8,6 \times 10^{-3}$  m’ ye çıkmıştır.
- Modellerde özellikle B deposunda ignimbirit kayaç üzerinde bulunan ve kalsit-kireçtaşı ve tuf karışımı malzemenin de dayanımı artırıcı özelliği olduğu

görülmüştür. B deposu üzerinde, en düşük kotta 80 cm taşıyıcı kayaç ve 180 cm tüflü eski malzemenin bulunması gerilmeleri güvenlik sınırının altına doğru taşımaktadır. Çizelge 5.2’de görüldüğü üzere B deposunda güvenlik faktörü, düzgün yayılı yük altında  $0,95 < 1,00$  olmuş, trapez yük altında ise  $0,30 < 1,00$  olmuştur. Bu modele ait bölgede çok örnek vardır. Trapez şeklindeki dolgu yükü, alın bölgesinde ve galeri tavanlarında göçme tehlikesi oluşturmaktadır.

- C deposunda görüldüğü gibi, loca yüksekliğinin az olması depo güvenliğini artırmaktadır. Çizelge 5.2 ve 5.3’te güvenlik faktörü C deposu için  $1,26 > 1,00$  olmuştur.
- Kaya kalınlığının 2 metreden fazla olduğu A ve C depolarında trafik veya dolgu yükü gerilmeleri fazla değiştirmemekte, fakat toplam deplasmanları artırmaktadır. B tipi depoda yatay gerilme, dolgu yükü ile birlikte artmıştır. Çizelge 5.2’de, B tipi depoda yatay gerilme, deponun ilk durumuna göre 2 katına çıkarak  $-0,20$  MPa seviyesine yükseldiği görülmektedir.
- Şekil 5.6 ve 5.7’de görülen A deposu gibi eğimi az olan arazilerde galeri üzerindeki gerilmeler de uniform olmaktadır.
- Şekil 33’te görüldüğü üzere, tüm depolarda deplasmanlar, loca içerisine doğru olup en büyük gerilmeler loca tavanında olmaktadır.
- RS2 ile yapılan modellemede; loca altındaki büyük kayaç alanı, düşey yük olup; denge unsuru olarak alttan locaya doğru yayılı yük dengesi kurmaktadır. Bu durum yorumlamada ve statik hesaplarda dikkate alınmalıdır. Örneğin Şekil 5.28’de koyu mavi renkle görülen düşey gerilmeler çekme bölgesi şeklinde yüzeyde görülmektedir.

## BÖLÜM VI

### SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Kayadan oyma depolarda topuk genişliği 2 metrenin altına düşmemelidir, bu genişliğin 3 metrenin üzerinde olması topuk güvenliği açısından daha uygundur.
- Kullanım açısından zorunlu bir sebep olmadığı takdirde, galeri yüksekliklerinin 6 metreden daha düşük tutulması mukavemet açısından olumlu sonuçlar vermektedir.
- Üst tabaka kaya kalınlığının 2 metre olması durumunda gerilmelerin kritik olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple zayıf kayalarda örtü kalınlığının 5 metrenin altına düşmemesi önerilmektedir.
- Galeri üst köşelerinde ve tavanda oluşan gerilme yığılmaları nedeniyle, açıklığın minimum  $1/7$ 'si oranında kemer yapılması uygun olacaktır.
- Eğimli ve trapez dolgu yükü bulunan arazilerde yatay gerilmelerin yüksek olması nedeniyle, topuk genişliklerinin düz arazilere oranla daha geniş tutulması uygun olacaktır.
- Kazıdan çıkan malzemenin arazi dolgusunda kullanılması deplasman ve gerilmeleri artırdığı için mümkünse kullanılmamalıdır. Zorunlu hallerde dolgu yapılması durumunda, dolgu yapılan kısımda minimum kaya kalınlığının 5 metre olması önerilmektedir.
- Alın girişi üzerinde yapılan dolguyu karşılamak amacıyla yapılan yığma duvarlar düşey gerilmeleri artırdığı için hesaplarda dikkate alınmalıdır.
- Zamanla dış ve iç etkenler nedeniyle ilave deformasyonlar oluşabilme ihtimalinden dolayı belli periyotlarda süreksizlik ve çatlak kontrolü yapılmalıdır.
- Kayadan oyma depolarda, locaların arka tarafında oluşturulan havalandırma koridoru ile daha etkin havalandırma sağlanmaktadır.
- Havalandırma bacalarının doğal zemin üzerindeki bölümlerinin gruplandırılması, gereksiz olarak yükseltilmemesi ve doğal bitki örtüsü ile uyum sağlayacak biçimde tasarlanması çevre ile uyumlu yapılaşma açısından önem taşımaktadır.

- Kayadan oyma depoların üzerinde dikilen bitkilerin derin köklü olması durumunda kayalarda çatlaklara ve parçalanmaya sebep olabilmektedir. Bu durum su sızıntıları ve dayanım kayıpları ile sonuçlanabilmektedir.
- Kayadan oyma depo yapılarında doğal afet ve yangınlara karşı gerekli önlemler alınmalıdır. Büyük ölçekli depolarda ikinci bir çıkış kapısı veya düşey kaçış yolları oluşturulmalıdır.
- Göçük ve deprem tehlikesine karşı korunaklı sığınak odaları teşkil ettirilmelidir.
- Depo giriş avlularında ve ek binalarda doğal dokuya uygun yapılaşma tercih edilmelidir.



## KAYNAKLAR

Aydar, E., Schmitt, A.K., Çubukçu, H.E., Akin, L., Ersoy, O., Şen, E., Duncan, R.A. and Atıcı, G. “Correlation of ignimbrites in the central Anatolian volcanic province using zircon and plagioclase age and zircon compositions”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 213, 83–97, 2012.

Batum, İ., “Nevşehir güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl yöresi volkanitlerinin jeolojisi ve petrografisi”, *Yerbilimleri Dergisi* 4, 50-69, 1978.

Berkmen, H., “Avanos kültür varlıkları çalışması, Kapadokya bölgesinde suyun izi”, *Megaron* 10 (14), 595-604, 2015.

Bieniawski, Z. T., “The point-load test in geotechnical practice”, *Engineering Geology* 9 (1), 1-11, 1975.

Bilgili, B., “Kapadokya bölgesi Nevşehir yöresi kültürel varlıklarının bozulmalarına neden olan etmenler”, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* 7 (1), 60-74, 2018.

Boyraz, Z. ve Zeren, C., “Kavak ve Ortahisar (Nevşehir) kasabalarındaki doğal soğutmalı yer altı depoları”, *Zeitschrift für die Welt der Türken, Journal of World of Turks*. 4 (1), 23-40, 2012.

Deere D. and Miller R., “Engineering classification and index properties for intact rock” Tech. Report, No AFWL - TR-65-116, Air Force Weapons Lab., *Kirtland Air Base*, New Mexico, 1966.

Duru, C., Kayadan oyma yeraltı depolarının jeoteknik incelemesi ve sayısal modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Nevşehir, s. 2-3, 2019.

Gülyaz, M. E., “Yeraltındaki Dünyalar”, *Kapadokya*, İstanbul, 1998.

Güngör, Ş. ve Uysal, A., “Postyapısalcı coğrafyalarda ilişkişel bir mekân olarak Nevşehir’in Kavak Beldesi’ndeki doğal soğuk hava depoları”, *Marmara Coğrafya Dergisi* 36, 218-231, 2017.

Harunoğlulları, M. ve Kayar, S., “Ortahisar’da (Ürgüp) doğal soğutmalı yer altı depolarının coğrafi analizi”, *Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi Bildiriler Kitabı*, Gazi Üniversitesi, Ankara, s. 74-84, 21-23 Mayıs, 2015.

Kapadokya, <https://www.kapadokyadayim.com>, 14 Ağustos, 2019.

Kaşmer, Ö., Zelve Açık Hava Müzesi’ndeki (Kapadokya) kayadan oyma tarihi yapıların jeomekanik açıdan değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s. 8-9, 2011.

KOYHY, Kayadan Oyma Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 18 Ekim 2017.

Kültür ve Turizm Bakanlığı, “Göreme Milli Parkı ve Kapadokya (Nevşehir)”, <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44433/goreme-milli-parki-ve-kapadokya-nevsehir.html>, 14 Ağustos 2019.

Nevşehir, Coğrafya Dünyası, <http://www.cografya.gen.tr/tr/nevsehir/>, 14 Ağustos 2019.

Nevşehir Belediyesi, “Kapadokya’nın tarihi”, <http://kapem.org/kapadokya-tarihi/>, 14 Ağustos 2019.

Nevşehir İli 2006 yılı Çevre Durum raporu, *T.C. Nevşehir Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü*, Nevşehir, 2006.

Örüng, İ., Karaman, S. ve Şirin, Ü., “Nevşehir yöresindeki doğal depoların modern depolarla karşılaştırılması”, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi TARGİD Özel Sayı*, 9-18, 2016.

Özata, Ş., Kapadokya bölgesi kaya oyma yapı sorunları ve çözüm önerileri, Yüksek Lisans Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 10-11, 2015.

Öztürk, H. T., Tüneller ve tasarım ilkeleri, Yüksek Lisans Tezi, *K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, s. 14-15, 2007.

Öztürk, T., “The potato storage in the volcanic tuff storages in Turkey” *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 27 (2), 113-120, 2010.

Solmaz, F. ve Güçhan N. Ş., “Kapadokya geleneksel konutlarının mimari özellikleri”, *I. Uluslararası Nevşehir Tarih Kültür Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Nevşehir Üniversitesi Kapadokya Araştırma ve Uygulama Merkezi (NEVKAM, Nevşehir, s. 237-264, 16-19 Kasım 2011.

Tekin, M. E., Mustafapaşa-Haralambos Sultandis Evi restorasyon projesi, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 13-15, 2009.

Ulusay, R. ve Aydan, Ö., “Kapadokya bölgesinde bazı yeraltı açıklıklarındaki tüflerin kaya mühendisliği açısından değerlendirilmesi”, *Kapadokya Yöresinin Jeolojisi Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, s. 13-23, Niğde, 17-20 Ekim 2007.

Ulusay, R., Akagi, T., Ito, T., Seiki, T., Yüzer, E. and Aydan, Ö., “Long term mechanical characteristics of Cappadocia tuff”, *Proceedings of the 9 ISRM International Congress*, G.Vouille and P. Berest (eds.), Paris, France, A.A. Balkema, 687-690, 1999.

Ulusoy Binan, D., Güzelyurt örneğinde Kapadokya bölgesi yığma taş konut mimarisinin korunması için bir yöntem araştırması, Doktora Tezi, *Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1994.

Wikipedia, “Kapadokya”, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kapadokya>, 14 Ağustos 2019.

Yolveren, Ö. F., Ergül, U. ve Erdoğan, A., Kaya oyma tarımsal - turistik - ticari yapılara ait bilgilendirme ve öneri raporu, *Jeofizik Mühendisleri Odası*, 2011.

## ÖZ GEÇMİŞ

Alpaslan ÇEVİK 22.03.1973 yılında Nevşehir İli Ürgüp İlçesinde doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini Nevşehir’de tamamladı. 1993 yılında girdiği Niğde Üniversitesi (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi) İnşaat Mühendisliği Bölümünü 1997 yılında tamamladı. 1999-2001 yılları arasında Çankaya İnşaat Ltd. Şti Ankara’da şantiye şefi olarak çalıştı. 2002-2012 yılları arasında Nevşehir Acıgöl Organize Sanayi Bölgesi Bölge Müdürlüğü görevini yaptı. 2012 yılından itibaren kendine ait şirket bünyesinde proje ve inşaat faaliyetleri yürütmektedir. Evli ve 2 çocuk babasıdır.



