

T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NEVŞEHİR YÖRESİ NAR BÖLGESİ KAYADAN OYMA YERALTI DEPO  
YAPISININ NÜMERİK ANALİZLERLE ÇÖZÜMLENMESİ

Tezi Hazırlayan  
Kübra YILMAZ

Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ORHAN

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

HAZİRAN 2021  
NEVŞEHİR

## TEŞEKKÜRLER

Yüksek lisans tez çalışmamın en başından itibaren tez konusunun belirlenmesi ve yürütülmesi aşamasında bana yardımcı olan, bu süreç boyunca bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Orhan' a sonsuz teşekkür ederim.

Tezimin yönlendirilmesi ve sayısal modelleme çalışmalarında bilgi, görüş ve önerileriyle desteğini sağlayan Doç. Dr. Mutluhan AKIN ve Prof. Dr. İsmail DİNÇER'e,

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim üyeleri Doç. Dr Feyza DİNÇER'e, Doç. Dr. Ayşe ORHAN'a ve Araş. Gör. Mehmet Yasin CANBOLAT'a önerileri ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışmada rapor ve verilere ulaşmamda büyük yardımcı gördüğüm Yer-Su & Tuğra Planlama-Mühendislik firmasına ve Umut ERGÜL'e teşekkür ederim.

Maddi-manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, her an yanımda olan eşim Tayyar YILMAZ'a, her türlü destek ve yardımlarından dolayı aileme sonsuz teşekkür ederim.

**NEVŞEHİR YÖRESİ NAR BÖLGESİ KAYADAN OYMA YERALTI DEPO  
YAPISININ NÜMERİK ANALİZLERLE ÇÖZÜMLENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Kübra YILMAZ**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2021**

**ÖZET**

Ülkemizde çoğunlukla Nevşehir ve yakın çevresinde bulunan kayadan oyma yapılar, genellikle turistik tesis ve tarımsal amaçlı soğuk hava deposu olarak kullanılmaktadır. Nevşehir yöresinin Nar bölgesinde narenciye ve patates gibi ürünlerin depolanması amacıyla açılmış ve halen açılmakta olan çok sayıda tarımsal amaçlı depo bulunmaktadır. Bölge genelindeki soğuk hava depoları genellikle gözlemsel veriler ve deneme yanılma yoluyla elde edilen deneyimler doğrultusunda açılmıştır. 2017 yılında yayınlanan Kayadan Oyma Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik ile kayadan oyma yapılar dinamik/statik yükler altında yapısal hasar görmeyecek ve ilave bir yapısal sisteme gerek olmaksızın duraylılığını koruyacak şekilde tasarlanmasına yönelik oldukça genel ilke ve kurallar oluşturulmuştur. Ancak, halen kaya oyma depoların projelendirilmesinde sayısal analiz yöntemlerinin kullanımı istenilen oranda değildir.

Bu tez çalışması kapsamında Nevşehir ilinin Nar bölgesinde yer alan bir kaya oyma depo projesinde RS2 yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar analizleri ile değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizler sonucunda oluşturulacak kaya oyma yapılarıdaki gerilme dağılımı, toplam deformasyon, maksimum makaslama deformasyonu ve dayanım faktörü gibi parametreler ortaya konmuştur. Analizler statik ve dinamik koşullar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve deprem koşulları altında da kaya oyma depoyu çevreleyen ignimbirit biriminin davranışı değerlendirilmiştir. Öte yandan, bu tez çalışmasının en önemli amaçlarından biri olarak sonlu elemanlar analizlerinde yenilme ölçütünün sonuçlar üzerindeki etkisi de irdelenmiştir. Buna göre, incelenen kaya oyma depoda farklı kesit hatları üzerinde sonlu elemanlar analizleri genelleştirilmiş Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb yenilme ölçütleri ile gerçekleştirilmiş ve parametrelerdeki değişimler araştırılmıştır. Analizler sonucunda yenilme ölçütünün bir miktar dayanım faktörü parametresi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, diğer parametreler üzerine yenilme ölçütünün önemli bir etkisi olmamıştır.

**Anahtar kelimeler: Kaya oyma depo, ignimbirit, sonlu elemanlar, RS2, yenilme ölçütü, dayanım**  
**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ORHAN**  
**Sayfa Adeti: 132**

# EXAMINATION OF A ROCK-HEWN UNDERGROUND STORAGE IN NEVŞEHİR - NAR REGION BY MEANS OF NUMERICAL ANALYSES

(M. Sc. Thesis)

**Kübra YILMAZ**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOLL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**June 2021**

## ABSTRACT

The rock-hewn structures, which are mostly located around Nevşehir and its close vicinity in our country, are commonly used as touristic dwellings and agricultural cold storage. In the Nar district of Nevşehir city, there are numerous agricultural natural cold storages that were excavated as well as are still being dug for the storage of products such as citrus and potatoes. Natural cold storages throughout the region were generally excavated based on observational data and experience gained through trial and error. With the Regulation on Design, Calculation and Construction Principles of Rock-Hewn Structures published in 2017, very rough principles and rules have been established for designing rock-hewn structures in a way that will not be structurally damaged under dynamic/static loads and maintain their stability without an additional structural system. However, the use of numerical analysis methods in the design of rock-hewn storages is still not common.

Within the scope of this thesis, evaluations were carried out with finite element analysis via RS2 software in a rock-hewn storage project located in the Nar region of Nevşehir province. Parameters such as stress distribution, total deformation, maximum shear deformation and strength factor in rock-hewn structures to be excavated were revealed by means of numerical analyses. Analyses were performed both for static and dynamic conditions and the behavior of ignimbrite surrounding the rock-hewn storage was evaluated under earthquake loading as well. On the other hand, as one of the most important aims of this thesis, the effect of failure criterion on the results of finite element analyses was also examined. Accordingly, finite element analyses on different cross-sections of the investigated rock-hewn storage were carried out with generalized Hoek-Brown and Mohr-Coulomb failure criteria and variations in parameters were investigated. As a result of the analyses, it was determined that the failure criterion was slightly effective on the strength factor parameter. Besides, the failure criterion did not have a significant impact on other parameters.

**Keywords: Rock-hewn storage, ignimbrite, finite elements, RS2, failure criterion, strength**

**Thesis Advisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet ORHAN**

**Page Number: 132**

## İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI .....	ii
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	iii
TEŞEKKÜRLER .....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vi
TABLOLAR LİSTESİ .....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
RESİMLER LİSTESİ .....	xv
HARİTALAR LİSTESİ .....	xvi
EKLER LİSTESİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xxiv
1. BÖLÜM .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi .....	1
1.2. İnceleme Alanı .....	2
1.3. Mekansal Bilgiler – Coğrafi Konum .....	2
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü .....	4
1.5. Sosyo · Ekonomik Bilgiler .....	4
2. BÖLÜM .....	6
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	6
3. BÖLÜM .....	12
MALZEME VE YÖNTEM .....	12
3.1. Malzeme .....	12
3.2. Yöntem .....	15
3.2.1. Arazi Çalışmaları .....	15

3.2.2. Büro Çalışmaları .....	17
4. BÖLÜM .....	18
BULGULAR VE TARTIŞMA .....	18
4.1. Bölgenin Genel Jeolojisi .....	18
4.2. İnceleme Alanı Jeolojisi .....	19
4.3. Çalışma Alanının Tektonik ve Depremselliği .....	22
4.4. Kaya Oyma Depoların Sayısal Modellenmesinde Kullanılan Yenilme Ölçütleri .....	24
4.4.1. Hoek-Brown (HB) yenilme ölçütü .....	25
4.4.2. Mohr-Coulomb (MC) yenilme ölçütü .....	33
4.5. İnceleme Alanındaki İgnimbiritlerin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi .....	35
4.5.1. İnceleme Alanındaki İgnimbiritlerin Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'ne Göre Değerlendirmesi .....	39
4.5.2. İnceleme Alanındaki İgnimbiritlerin Kütleli Dayanım ve Deformasyon Özelliklerinin Değerlendirilmesi .....	41
5. BÖLÜM .....	43
KAYADAN OYMA DOĞAL DEPOLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ .....	43
5.1. A-A' Kesit hattı boyunca yapılan sonlu elemanlar analizleri .....	45
5.1.1. A-A' Kesit hattı için Hoek-Brown (HB) ve Mohr-Coulomb (MC) yenilme ölçütleriyle gerçekleştirilen analiz sonuçlarının karşılaştırılması .....	50
5.2. B-B' Kesit hattı boyunca yapılan sonlu elemanlar analizleri .....	54
5.2.1. B-B' Kesit hattı için Hoek-Brown (HB) ve Mohr-Coulomb (MC) yenilme ölçütleriyle gerçekleştirilen analiz sonuçlarının karşılaştırılması .....	59
5.3. C-C' Kesit hattı boyunca yapılan sonlu elemanlar analizleri .....	64
5.3.1. C-C' Kesit hattı için Hoek-Brown (HB) ve Mohr-Coulomb (MC) yenilme ölçütleriyle gerçekleştirilen analiz sonuçlarının karşılaştırılması .....	68
6. BÖLÜM .....	73

SONUÇLAR.....	73
KAYNAKÇA.....	76
EKLER.....	80
1. A-A' KESİT HATTI BOYUNCA GERÇEKLEŞTİRİLEN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI .....	81
1.2. HOEK-BROWN GÖRGÜL YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI .....	81
1.3. MOHR-COULOMB YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI.....	90
2. B-B' KESİT HATTI BOYUNCA GERÇEKLEŞTİRİLEN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI .....	98
2.1. HOEK-BROWN GÖRGÜL YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI .....	98
2.2. MOHR-COULOMB YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI.....	107
3. C-C' KESİT HATTI BOYUNCA GERÇEKLEŞTİRİLEN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI .....	115
3.1. HOEK-BROWN GÖRGÜL YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI .....	115
3.2. MOHR-COULOMB YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI.....	124
ÖZGEÇMİŞ .....	132

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Arazide gerçekleştirilen yerinde deney sonuçları özet tablosu.....	17
Tablo 4.1 Sayısal analizlerde kullanılan parametrelere ait özet tablosu .....	36
Tablo 4.2 Sonlu elemanlar yönteminde Genelleştirilmiş Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb yenilme ölçütlerinde kullanılan parametre değerleri ve özellikler.....	41





## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 İnceleme alanında açılan yeraltı kaya oyma depolara ait koridorların ve locaların plan görünümü .....	13
Şekil 3.2 İnceleme alanında açılan yeraltı kaya oyma depo localarının boyutları.....	14
Şekil 4.1 İnceleme alanında açılan kuyuların korelasyonu (2) .....	21
Şekil 4.2 Türkiye deprem tehlike haritası (21).....	23
Şekil 4.3 1900-2020yılları arası çalışma alanı civarında gözlenen depremler (22).....	24
Şekil 4.4 Sağlam kayaç malzemesinden ileri derecede eklemli kaya kütesine geçiş ve örnek boyutundaki artış (Hoek 1988). (32).....	26
Şekil 4.5 GSI sınıflama sistemi abağı (Hoek ve Brown, 1997) (32). .....	27
Şekil 4.6 Mohr kırılma yüzeyi ve Mohr-Coulomb kırılma kriteri .....	34
Şekil 4.7 Bir zeminin esas düzlemdeki yenilme yüzeyinin eğimi .....	35
Şekil 4.8 Mohr dairesi ve kırılma zarfı .....	35
Şekil 4.9 İğne penetrometresi direncinden dolayı tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi (Ulusay ve Ergüler, 2002) .....	38
Şekil 4.10 İnceleme sahasındaki piroklastik kaya kütlelerinin kantitatif GSI abağı yardımıyla değerlendirilmesi .....	40
Şekil 4.11 İgnimbirit için Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre hazırlanan kütleli yenilme zarfı .....	42
Şekil 5.1 A-A' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar .....	46
Şekil 5.2 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	46
Şekil 5.3 . A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	47
Şekil 5.4. A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	48
Şekil 5.5. A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	48
Şekil 5.6 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	49

Şekil 5.7. A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	49
Şekil 5.8 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	50
Şekil 5.9 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	50
Şekil 5.10 A-A' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) değerlerinin değişimi.....	51
Şekil 5.11 A-A' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen toplam yerdeğiştirme değerlerinin değişimi.....	52
Şekil 5.12 . A-A' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca duvarlarında belirlenen maksimum makaslama deformasyonu değerlerinin değişimi.....	52
Şekil 5.13 A-A' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen dayanım faktörü değerlerinin değişimi .....	53
Şekil 5.14. B-B' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar .....	55
Şekil 5.15. B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	55
Şekil 5.16 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	56
Şekil 5.17 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	57
Şekil 5.18. B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	57
Şekil 5.19. B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	58
Şekil 5.20 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	58
Şekil 5.21 B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	59
Şekil 5.22 B-B'kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	59

Şekil 5.23B-B' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) değerlerinin değişimi.....	60
Şekil 5.24 B-B' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen toplam yerdeğiştirme değerlerinin değişimi.....	61
Şekil 5.25. B-B' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca duvarlarında belirlenen maksimum makaslama deformasyonu değerlerinin değişimi.....	62
Şekil 5.26. B-B' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen dayanım faktörü değerlerinin değişimi .....	63
Şekil 5.27. C-C' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar .....	64
Şekil 5.28 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	65
Şekil 5.29. C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	65
Şekil 5.30 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	66
Şekil 5.31 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	66
Şekil 5.32. C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	67
Şekil 5.33. C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	67
Şekil 5.34. C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	68
Şekil 5.35. C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	68
Şekil 5.36. C-C' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) değerlerinin değişimi.....	69
Şekil 5.37. C-C' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen toplam yerdeğiştirme değerlerinin değişimi.....	70
Şekil 5.38 C-C' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca duvarlarında belirlenen maksimum makaslama deformasyonu değerlerinin değişimi.....	71

Şekil 5.39. C-C' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen dayanım faktörü değerlerinin değişim ..... 72



## RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1 Çalışma alanındaki yeraltı soğuk hava deposundan genel bir görünüm.....	14
Resim 3.2 İnşa edilecek çatıya ait ayaklar .....	15
Resim 3.3 Depoların oluşturulduğu kaya kütlelerinde Schmidt çekici deneyi yapımı.....	16
Resim 3.4 Depoların oluşturulduğu kaya kütlelerinde iğne penetrometresi deneyi yapımı .....	16
Resim 5.1 Loca giriş ve koridor bölümündeki çatı kaplaması.....	44
Resim 5.2 Sahadaki çatı kaplaması.....	44



## HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	2
Harita 1.2 İnceleme alanı ve yakın kabartma fiziki haritası (2).....	3
Harita 4.1 Orta Anadolu Volkanik Alanının (OAVA) basitleştirilmiş jeolojik haritası (Toprak, 1998'den alınmıştır.) (18). ....	19
Harita 4.2 İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası ve açılan sondaj kuyularının lokasyonu (19).....	20



## EKLER LİSTESİ

Ek 1.1 A-A' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar .....	81
Ek 1.2 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	81
Ek 1.3 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	82
Ek 1.4 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	82
Ek 1.5 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	83
Ek 1.6 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	83
Ek 1.7 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	84
Ek 1.8 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	84
Ek 1.9 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	85
Ek 1.10 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	85
Ek 1.11 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	86
Ek 1.12 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	86
Ek 1.13 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	87
Ek 1.14 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	87
Ek 1.15 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	88

Ek 1.16 A-A' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	88
Ek 1.17 A-A' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	89
Ek 1.18 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	90
Ek 1.19 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	90
Ek 1.20 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	91
Ek 1.21 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	91
Ek 1.22 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	92
Ek 1.23 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	92
Ek 1.24 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	93
Ek 1.25 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	93
Ek 1.26 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	94
Ek 1.27 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	94
Ek 1.28 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	95
Ek 1.29 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	95
Ek 1.30 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	96
Ek 1.31 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	96



Ek 1.32 A-A' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	97
Ek 1.33 A-A' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	97
Ek 2.1 B-B' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar .....	98
Ek 2.2 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	98
Ek 2.3 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	99
Ek 2.4 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	99
Ek 2.5 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	100
Ek 2.6 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	100
Ek 2.7 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	101
Ek 2.8 B-B' kesit hattında toplam yer değiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	101
Ek 2.9 B-B' kesit hattında toplam yer değiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	102
Ek 2.10 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	102
Ek 2.11 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	103
Ek 2.12 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	103
Ek 2.13 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	104
Ek 2.14 B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	104

Ek 2.15 B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	105
Ek 2.16 B-B' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	105
Ek 2.17 B-B' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	106
Ek 2.18 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	107
Ek 2.19 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	107
Ek 2.20 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	108
Ek 2.21 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	108
Ek 2.22 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	109
Ek 2.23 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	109
Ek 2.24 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	110
Ek 2.25 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	110
Ek 2.26 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	111
Ek 2.27 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	111
Ek 2.28 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	112
Ek 2.29 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	112
Ek 2.30 B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	113

Ek 2.31B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	113
Ek 2.32 B-B' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	114
Ek 2.33 B-B' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	114
Ek 3.1 C-C' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar .....	115
Ek 3.2 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	115
Ek 3.3 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	116
Ek 3.4 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	116
Ek 3.5 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	117
Ek 3.6 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	117
Ek 3.7 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	118
Ek 3.8 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	118
Ek 3.9 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	119
Ek 3.10 C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	119
Ek 3.11 C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	120
Ek 3.12 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	120
Ek 3.13 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	121

Ek 3.14 C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	121
Ek 3.15 C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	122
Ek 3.16 C-C' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile).....	122
Ek 3.17 C-C' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile) .....	123
Ek 3.18 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	124
Ek 3.19 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	124
Ek 3.20 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	125
Ek 3.21 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	125
Ek 3.22 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	126
Ek 3.23 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	126
Ek 3.24 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	127
Ek 3.25 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	127
Ek 3.26 C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	128
Ek 3.27 C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	128
Ek 3.28 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	129
Ek 3.29 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	129

Ek 3.30 C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	130
Ek 3.31 C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	130
Ek 3.32 C-C' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile) .....	131
Ek 3.33 C-C' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile).....	131



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b>EFZ</b>	Ecemiş Fay Zonu
<b>GSI</b>	Jeolojik Dayanım indeksi
<b>SE</b>	Sonlu Elemanlar
<b>HB</b>	Hoek-Brown
<b>KPa</b>	Kilopaskal
<b>KVP</b>	Kapadokya Volkanik Provensi
<b>kN</b>	Kilo Nevton
<b>MC</b>	Mohr-Coulomb
<b>MPa</b>	Mega Paskal
<b>MKFZ</b>	Merkez Kızılırmak Fay Zonu
<b>NFZ</b>	Niğde Fay Zonu
<b>OAVA</b>	Orta Anadolu Volkanik Alanı
<b>RMR</b>	Kaya Kütle Oranı
<b>TFZ</b>	Tuz Gölü Fay Zonu
<b><math>\sigma_1</math></b>	En Büyük Asal Gerilme
<b><math>\sigma_3</math></b>	En Küçük Asal Gerilme
<b><math>\sigma</math></b>	Normal Gerilme
<b><math>\tau</math></b>	Makaslama Dayanımı
<b><math>\sigma_B</math></b>	Kaya Malzemesinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı

# 1. BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

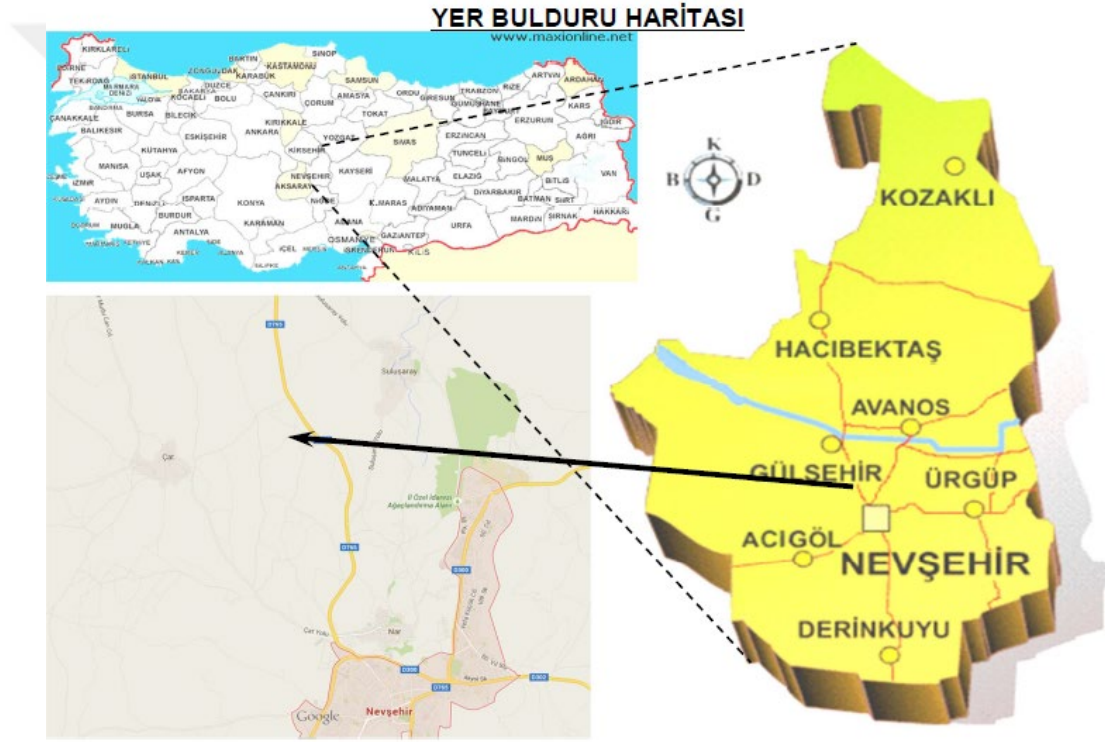
Yeraltı kaya yapıları, yer kabuğu içerisinde herhangi bir boşluğun açılmaya başlandıktan sonra bu boşluğun etrafında ana kayadan oluşan, mühendislik kuralları bakımından güvenli ve yeterli taşıyıcı sistemlerden oluşmaktadır. Kayanın açılması esnasında karşılaşılan özelliklerin belirlenmesi ve değişimlerinin sürekli olarak izlenmesi yeraltı kaya yapısının denetim çalışmalarını, önlem alınması gerektirdiği durumlarda izlenmesi gereken metot ve işlemlerin belirlenmesi ise yönlendirme çalışmalarını belirlemektedir (1).

Günümüz kaya oyma yapıların tünelcilik anlayışında kaya özelliklerinin belirlenmesi için yapılan araştırmalar ve çalışmalar; kazı sonrası tünel aynasına ait mühendislik jeolojisi kesitlerinin belirlenmesi, kaya kalite sınıflamalarının yapılması ve elde edilen sonuçlara bağlı olarak destek sistemlerinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Kaya özelliğindeki değişimlerin yeraltı kaya yapısının durağanlığına olan etkisi ise jeoteknik ölçümler ile gözlenmektedir. Ön görülen durumlarda yatay sondajlar yapılmakta, ilerleme yönüne bağlı olarak ortamın olası hareketlerini önceden tespit edilebilmektedir. Toplanan tüm değerler bir arada değerlendirilmekte, projelendirme aşamasında yapılan varsayımlar ile karşılaştırılmakta ve tedbir alınmasını gerektirecek durumlarda karar verebilmek için gereken bilgiler ve veriler elde edilebilmektedir (1).

Bu tez çalışmasında Nevşehir yöresinde kayadan oyma yapıların Zemin Davranış Analizlerinin sonlu elemanlar (SE) yöntemi ile kayadan oyma yapının açılması sırasında gerçekleştirilen inşa adımlarını modellenmiştir. Aynı zamanda gelişmiş zemin bünye modelleri ile kayadan oyma yapının açılması sırasında zemin davranışını gerçeğe yakın modelleyebilme olanağı sağlamasıyla yapı tasarım ve analizlerinde doğru sonuçlar elde edilerek konu ile ilgili eksiklerin giderilip giderilmeyeceğini değerlendirilmesini yapılmıştır.

## 1.2. İnceleme Alanı

İnceleme alanı Nar Kasaba Merkezinin kuzeybatısında, kuşbakışı yaklaşık 5,50 km uzaklıktadır. Alan içerisinden geçen ya da etkilenebileceği uzaklıkta sulu dere ve ırmak bulunmamaktadır. Alan 1/25.000 ölçekli K33.d.2 topoğrafik pafta sınırları içerisinde kalmaktadır. Etüt alanını sınırlayan bölge içerisinde eğimlerin tümü % 5 ila % 20 arasında kalacak şeklindedir ve genel itibariyle az eğimli bir morfolojik yapı söz konusu olup eğimler kuzey, kuzeydoğu, doğu (eğim aşağı) yönlüdür (2). İnceleme alanı yer bulduru haritası Harita 1.1’de verilmektedir.



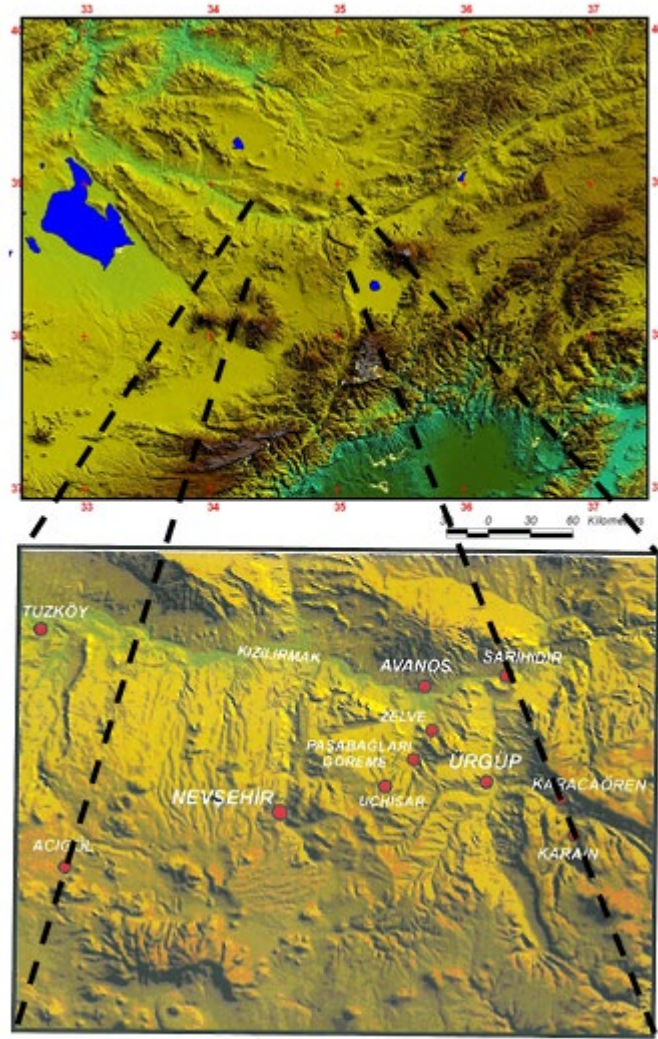
Harita 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası

## 1.3. Mekansal Bilgiler – Coğrafi Konum

İç Anadolu Bölgesi’nde yer alan Nevşehir, 38° 12’ ve 39° 20’ kuzey enlemleri ile 34° 11’ ve 35° 06’ doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Konya kapalı havzasında kalan Derinkuyu ilçesi dışında, bütünüyle Orta Kızılırmak Havzası’na giren Nevşehir, konum itibariyle Türkiye’nin tam ortasında olup, yüzölçümü 5.467 km<sup>2</sup> dir. Bu bölge ülkemiz topraklarının binde 7’sini kapsamaktadır. Kızılırmak vadisinin güney yamacına kurulmuş olan İl merkezinin rakımı 1.150 metredir. Nevşehir ili; güney, güneybatı ve batıdan



Niğde, Aksaray merkez ve Ortaköy ilçesi, doğudan Kayseri'nin Yeşilhisar, İncesu İlçesi, kuzeydoğudan Yozgat'ın Boğazlıyan ve Şefaatli ilçeleri ile çevrilidir. Yüzey şekilleri açısından ise, ilin doğusunda Hodul dağı ve uzantıları, kuzeyinde Delice Irmak vadisi, güney ve güneybatısında Erdaş dağı ve uzantıları vardır (Harita 1.2). Kullanım bakımından % 97'si tarıma elverişlilik gösteren il topraklarının yeryüzü şekillerine göre dağılımında en büyük oran, platolarındır. İl alanının % 24, 9'u ovalarla, % 56, 6'sı platolarla, % 18, 5'i ise dağlarla kaplıdır (2).



Harita 1.2 İnceleme alanı ve yakın kabartma fiziki haritası (2).

Nevşehir İl alanı, Orta Anadolu'da, Melendiz, Erciyes ve Hasandağı gibi eski yanardağların lav ve küllerinin birikmesiyle oluşmuş çok geniş bir plato üzerinde yer almaktadır. Bu platoyu, ülkenin en uzun akarsuyu olan Kızılırmak, doğu - batı doğrultusunda ve derinliğine vadilerle sık bir şekilde bölünmüştür. İl merkezi Kızılırmak platosu olarak bilinen bu yüksek ve geniş ovaların batı yamaçlarında kurulmuştur (2).

Nevşehir İlinde görülen yeryüzü şekillerinden minimum ağırlıklı olanı, dağlardır. İl alanının %18. 5'ini kaplayan dağlar, genel olarak Kızılırmak vadisinin kuzeyinde ve güneyinde yer almaktadır. İldeki dağların gerçek oluşum dönemi III. Jeolojik zamandır. Alp Orojenezi sırasında Kuzey Anadolu ve Güney Anadolu dağları şekillenirken oluşan sıkışmalarla Orta Anadolu' da ara ara çökelmeler ve yükselmeler meydana gelmiştir (2).

Çöken kesimde uzanan Nevşehir toprakları, III. Jeolojik zamanda (Neojende ) göl suları altında kalmıştır. Daha sonra yörede çok yoğun volkanik ve tektonik hareketler oluşmuş, İl alanının büyük bir kısmında meydana gelen tüflerle ve lavlarla kaplanırken diğer yandan da yeni kırılmalar ve püskürmelerle yükselmiş böylece dağlar meydana gelmiştir (2).

Etüt alanını çevreleyen bölge içerisinde eğimlerin tümü % 5 ila % 20 arasında kalacak şeklindedir ve genel olarak az eğimli bir morfolojik yapıya sahip olup eğimler genelde kuzey, kuzeydoğu, doğu (eğim aşağı) yönlüdür (2).

#### **1.4. İklim ve Bitki Örtüsü**

Nevşehir'de kara iklimine hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk geçer. Yılın 70 gününde sıcaklık 0 (sıfır) °C' nin altında ve 20 gün +30°C' nin üstünde ilerlemektedir. Yıllık yağış miktarı ortalama 388-353 mm arasındadır. Kızılırmak vadisinden uzaklaştıkça soğuk hava yükselir. Sıcaklık -28°C ile +40°C arasında ilerler. Yağışlardaki en büyük oran ilkbahar mevsiminde meydana gelmektedir. Rüzgar hızı ortalama yaklaşık 2.1 m / s' dir ve egemen rüzgar yönü Kuzey – Kuzeydoğudur (2).

Nevşehir ili bitki örtüsü açısından çok zayıftır. Orman ve fundalıklar yok denecek kadar azdır. Ovalar bozkır ( step ) görünümündedir. Kızılırmak Vadisinde kavak, söğüt ve selvi ağaçları ile Oylu Dağında cılız meşelikler görülmektedir. Çayır ve meralar % 28 ve ekili - dikili alanlar % 69'dur. Haziran ayının başından itibaren yeşillik kaybolurken yerini sarı bir örtüye bırakır (2).

#### **1.5. Sosyo - Ekonomik Bilgiler**

Nevşehir ilinin ekonomisi büyük oranda tarıma dayanmaktadır. Aktif nüfusun % 75'i tarım sektöründe çalışır. Sanayi çok fazla gelişmemiştir. Turizm sektörü son yıllarda hızla

gelişmektedir. Peribacaları ve kayalara oyulmuş kiliseler, yabancı turistlerin gezdikleri yerlerden biridir (2).

Mevsim ve yağış şartları nedeniyle tarım ürünlerinde çeşitlilik azdır. Tahıl, yumru ve sanayi ürünleri başlıca tarım ürünleridir. Nevşehir’de arazinin ekime ayrılması nedeniyle yeterli otlak alanları (çayır ve mera) yoktur. Ancak, besi hayvancılığı gelişmekte olup, bunun sonucunda sığır miktarı yükselirken, küçükbaş hayvan sayısı oranı zaman geçtikçe azalmaktadır. Nevşehir ili maden bakımından fakirdir. İşletilmekte olan madenleri azdır. Gülşehir bölgesindeki kaya tuzlarından senelik ortalama 20 bin ton tuz üretimi yapılmaktadır. Bölgede ortalama 20 bin ton linyit çıkarılır. Bölgede iki kömür ocağı vardır. İki kömür ocağı da aktif olarak çalışmaktadır. Hacıbektaş Taşı olarak da bilinen oniks mermerleri çıkarılır. Nevşehir ilinde sanayi yeni yeni gelişmektedir. 10 kişi ve daha fazla işçi çalıştıran sanayi işyeri sayısı ortalama 100 civarındadır. İmalat sanayi daha az gelişmiştir. İlin kuzeyinden demiryolu geçer. Ankara-Kayseri demiryolu hattı Nevşehir ilinin Kanlıca ve Kozaklı ilçelerindeki istasyonlarından geçer. Karayolu bakımından her yere bağlanır. Ankara-Kayseri karayolu, ili doğu-batı istikâmetinde kat eder. Nevşehir ilinden Konya’ya, Niğde - Adana yönüne, Kırşehir-Ankara istikametinde giden kaliteli asfalt yollar mevcuttur (2).

## 2. BÖLÜM

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yılmaz (1995), 1993 yılında Avanos ilçesinde kazmaya başlanan kayadan oyma yeraltı kongre merkezi üzerine jeolojik haritalama yapmış, ayrıca mühendislik parametreleri ve ilgili kaya üyelerinin niteliklerini tarif etmek amacıyla jeoteknik araştırmalar ile laboratuvar testleri de uygulanmıştır (3).

Berilgen (2007), Bu çalışmada, İstanbul'da yapılmakta olan Esenler ve Bağcılar Metro Tüneli hattı inşaatı nedeniyle bir yapının ya da binanın maruz kalabileceği etkiler ve oluşabilecek hasar seviyelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda tünel yapımı nedeniyle bina davranışı zemin-yapı etkileşimi göz önünde bulundurularak üç boyutlu nümerik analizler gerçekleştirilmiş, Nümerik analizlerde bina ve tünellerin yer aldığı temel zemini ayrı ayrı sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen yanal deformasyon ve açısal distorsiyon sonuçları Boscardin ve Cording (1985) tarafından önerilen yöntemle göre değerlendirilerek mühtemel yapı hasar durumu tahmin edilmiştir (4).

Aktaş (2009), Bu çalışmada İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından KİSKA-MAKYOL (KİSMAK) adi ortaklığına inşa ettirilen ve EMAY Uluslararası Mühendislik Müşavirlik ve Tic. Ltd. şirketi tarafından projelendirilen "Kâğıthane- Piyalepaşa Tünelleri" ele alınmıştır. Öncelikle tünel güzergâhı geoteknik ve jeolojik açıdan değerlendirilmiştir. Yapılan laboratuvar ve sondaj deneyleri sonuçlarına göre tünel güzergâhı boyunca yer alan jeolojik birimler tanımlanmış ve bu birimlere ait yerinde (in-situ) kaya dayanım parametreleri tespit edilmiştir. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi esaslarına dayanarak yapılan bu tarz tünellerin sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla analizleri yapılmıştır. Analizler doğrultusunda inceleme konusu olan tünellerin yer üstünde ve yeraltında yol açması beklenilebilecek yer değiştirmelerin izin verilebilir sınırlar çerçevesinde kalacağı, herhangi bir çökme olasılığı bulunmadığı ve öngörülen iksa elemanlarının yeterli olacağı anlaşılmıştır. Farklı değişkenlerin tünel ve etrafına etkilerini incelemek için oluşturulan modeller üzerinde PLAXIS 3D TUNNEL sonlu elemanlar programı ile yapılan analiz sonuçlarına bakarak tünellerin güvenli bir şekilde açılmasında önemli yer tutan parametrelerin olası etkileri ortaya konmuştur (5).

Öztürk (2010), Doğal soğutmalı yer altı depolarının, akarsu vadilerinin yamaçları etrafında volkanik kökenli tüflerin iş makineleri tarafından oyularak galeriler açılması sonucunda oluştuğunu ve bu depoların L veya U şeklinde olabileceğini tespit etmiştir (6).

Çeçen (2011), Tüneli tasarlayan mühendisler projesini oluşturdukları tüneller için zayıf zeminlerde yapılan inşaat esnasında yapım güvenliği ve işçi ve özellikle şehir içinde daha da önem taşıyan yüzey oturmaları gibi ciddi konuları kontrol altına almak zorundadır. Bu çalışmada, tünelin çökmeden açılabilmesi ve tünel içi (konverjans) ve yüzey deformasyonlarını kontrol altında tutabilmek için zayıf zeminlerdeki tünel inşalarında uygulanan şemsiye-kemer (umbrella-arch) metodunun, tünel içi ve arazide oluşturabileceği iyileşmelerin tesirleri parametrik olarak değerlendirmiştir. Sayısal hesaplamalarda sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Plaxis yazılımı kullanılmıştır (7).

Ulusay ve ark. (2013), Rocscience programı kullanarak Nevşehir'in Avanos ilçesinde bulunan kaya oyma yeraltı kongre merkezindeki yaptıkları jeolojik-jeoteknik çalışmalar doğrultusunda bu yapının 2D modelleme çalışmalarını yapmışlardır. Sonuç olarak görünüşte iyi kalitede kaya kütlesi gibi gözükse de kazı işlemi yapılmış olan tütün, sağlam kaya gücü açısından çok zayıf kaya olduğu belirlenmiştir (8).

Aydan, Ö., Ulusay, R. (2013), Yaptıkları araştırma sonucunda, Derinkuyu yeraltı şehrinin tarihi ve turistik değere sahip olan bu yer arkeolojik ve antik öneminin yanında insanlık tarihi boyunca dimdik ayakta durmuş kayadan oyma bir yapı olduğunu görülmüştür. Derinkuyu yeraltı şehrinin bilimsel çalışmalar sonucunda kayaların davranışları incelerken 5. ve 7. katlarında nem, hava ve sıcaklık gibi etkenlerin basınç, akustik emisyon, elektrik potansiyel ölçüm sistemleri gibi parametlerden faydalanmışlardır. Aynı zamanda bu çalışmada kayanın mekanik özellikleri araştırılırken, su muhtevası ve donma-çözülme gibi etkenlerin etkileri araştırılırken, yeraltındaki çevresel ve iklimsel etkenler göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada aynı zamanda tarihi yeraltı şehrindeki boşlukların minimum ve maksimum dönem duraylılıkları ve yeraltı şehrinin içinde bulunduğu kaya kütlelerinin minimum ve maksimum dönem mekanik özellikleri, yerinde gerilme koşullarının tahmini, duraysızlıkların boyutları ve incelenmesi yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalar sonucunda, yeraltı şehrindeki katlar arasındaki sıcaklık ve nemlilik oranlarının önemli miktarda değişmediği gözlemlenmiştir. Bu verilerle beraber 40 m'den daha derindeki boşluklarda kaya kütlelerinde yenilmelerin

görülebileceği fakat derinliğin 40 m'den daha az olduğu yeraltı açıklıklarında yenilmenin gerçekleşmeyeceğini ve duraylı olduklarının sonucuna sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda elde edilmiştir (9).

Koçak (2015), Yaptığı çalışmada yeraltı kayadan oyma yapılarının incelenmesi ve yönlendirilmesinde bilirkşi sistemlerinin uygulanabilirliğinin incelenmesi, model olabilecek bir bilirkşi sistem için yapılması gereken algoritmanın kurulması ve bir bilirkşi sistem programının oluşturulmasını amaçlamıştır (10).

Özata (2015), yaptığı araştırmasında o yörenin doğal özelliklerini, halkın günlük ihtiyaçlarının giderilmesi konusundaki öğelerin yerleşim kültürünün oluşmasında ve kayadan oyma yapıların oluşmasındaki en önemli etkenlerden biri olduğu açıklamaktadır. Bu bölgede yaşayan insanların kendine özgü mimariler oluşturduğunu aynı zamanda Kapadokya bölgesinde yapılan yapıların kerpiç, taş, vb. materyaller kullanılarak yapılardan farklı olarak kaya oyma şeklinde olduğu açıklanmaktadır. Kayanın kazıla bilirliliğinin ve biçim verilebilirliğinin kolay olması kayadan oyma yapılar yapılırken büyük bir önem taşımaktadır. (6).

Öngen (2015), Şehirdeki nüfus artışı ulaşım ağında toplu taşımayı araçlarını kullanmaya bağlı hale getirmektedir. Şehirleşmenin giderek artması ile yapılaşmanın bozulması ve yolların yetersizliği karayolu ulaşımına göre daha çevreci, hızlı, güvenli, ekonomik ve daha konforlu olan raylı taşıma sistemlerini göz önüne çıkarmaktadır. Fakat raylı taşıma sisteminde ulaşılmak istenen yerler arasındaki bağlantıları sağlamak için tırmanma ve dönme sınırları gibi teknik güçlükler sebebiyle yerüstü yapılarının altından geçmek gerekebilir. Bu sebeple şehir içindeki raylı sistem taşımacılığında tünel yapmak zorunlu hale gelmektedir. İzmir şehri ulaşımında bir çözüm olan 44 km uzunluğundaki İzmir Hafif Raylı Sisteminin Yeni Avusturya Tünel açma yöntemiyle açılan yaklaşık 5,5 km'lik Üçyol-Fahrettin Altay Metro güzergâhını kapsayan kısmında tünel zemin/kaya ilişkilerinin gözlemlenmek ve değerlendirmek için Avusturya tünel açma standardı olan ÖNORM kaya sınıflama sistemine göre yüzdesel dağılımlar çıkarılmış ve hakim kaya sınıfı için sayısal modelleme çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar bağlı olarak tünel güzergâhının %25'inin B2, %50'sinin B3 olmak üzere %75'lik kısmının B kaya sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlara bakılarak değerlendirme yapıldığında İzmirspor-Hatay İstasyonu arasında kalan bölgede için örnek modellemeler B2-B3 kaya sınıfı için

yapılmıştır. İzmir Hafif Raylı Sistem Projesi 2. Aşama İkmal İnşaatı Yapım İşi Phase2 v7.0 programı ile modellenerek açılan tünellerde farklı kaya sınıflarında uygulanan destekleme sistemleri tünel kesitinde oluşacak toplam yer değiştirmelerin (deplasmanların) analizleri yapılmış ve değerlendirilmiştir (11).

Sülükçü (2019), Farklı cins ignimbiritlerde açılmış ve incelenmesine müsaade edilen depoların detaylı dökümanları hazırlanmıştır. Bu depolardan maksata yönelik jeo-mühendislik verileri toparlanmış ve bazı depolardaki duraysızlıklara ilişkin gözlem raporları oluşturulmuştur. Seçilen depolarda nem ve sıcaklık değerleri uzun süre ölçülmüş ve laboratuvar deneyleriyle ignimbiritlerin jeomekanik özellikleri laboratuvar gözlemleriyle belirlenmiştir. Depoların farklı koşullar altındaki duraylılık durumları yapılan kinematik, 2 ve 3 boyutlu sayısal analizlerle ve son olarak depoların kazı ve planlama aşamalarında özen gösterilecek hususları içeren bir kılavuz önerisi ile araştırılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre sayısal analizler, depo genişliğinin artmasıyla depoların duraylı kalması için gereken örtü kalınlığının da azalacağını, giriş mesafesinin ve topuk genişliklerinin artmasıyla ise artacağını göstermiştir. Aynı zamanda analizler sonucunda yüzeyde çatlakların oluşabileceği, depo geometrisine bağlı olarak örtü kalınlığı arttıkça yeryüzünden depo tavanına doğru çekme gerilmeleri sebebiyle olabileceği belirlenmiştir.

Duru (2019), Kapadokya yöresinde yaygın olarak görülen piroklastik kayalar izolasyon özelliklerinden ve kolay kazılabilmesi özelliklerinden dolayı kaya oyma yapılar için uygun jeolojik koşullar oluşturmaktadır. Eski çağlardan beri tuf ve ignimbiritler içerisinde oluşturulan kayadan oyma yapılar ibadet, depolama, barınma ve korunma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Günümüzde Nevşehir yöresinde piroklastik kayalar içerisinde açılmış çok sayıda doğal soğuk hava depoları yer almaktadır. Bu depolar limon, patates, diğer meyvelerin ve sebzelerin saklanması için kullanılmaktadır. Araştırmada farklı modeller ( farklı kazı ve geometrik koşullar) ve sayısal analiz yöntemleri ile jeoteknik yöntemler kullanılarak söz konusu soğuk hava depolarının daha uygun şartlarda gelişmesi için incelenmeler yapılmıştır. Bunun için RS2 9.0 sonlu eleman yöntemine göre çalışan yazılım kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre örtü kalınlığının 4,0 metreden küçük, topuk genişliğinin en az 2,0 metre olabileceği ve loca genişliğinin maksimum 7,0 metreye kadar olabileceği sonucuna varılmıştır (12).

Sülükçü (2019) tarafından gerçekleştirilen doktora tez çalışmasında, Kapadokya Bölgesi'ndeki kayadan oyma yeraltı depolarının duraylılığının değerlendirilmesi amacıyla oldukça detay ve kapsamlı araştırma ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; bölgedeki farklı türde ignimbitlerde açılmış olan depolardan jeo-mühendislik verisi toplanmış ve bazı depolardaki sıcaklık ve nem değerleri uzun süreli olarak ölçülmüştür. Bunun yanı sıra, laboratuvarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile ignimbitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ortaya konmuştur. Çalışma içerisinde kinematik ve 2- ve 3-boyutlu sayısal analizlerle kaya oyma depoların farklı koşullar altındaki duraylılığı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda kaya oyma depoların planlama ve kazı aşamalarında dikkat edilmesi gereken hususları içeren bir kaya oyma depo kılavuzu önerilmiştir. Yine bu tez çalışmasında, 2- ve 3-boyutlu sonlu elemanlar analizlerine göre, kaya oyma depo geometrisi açısından kare topuklar yerine şerit topuklu ya da localı sistemin daha uygun olduğu ifade edilmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde yenilmelerin en fazla gözlemlendiği topuk sistemli doğal kaya oyma depolar için kazı öncesi 3-boyutlu analizlerin yapılmasının önemi vurgulanmıştır.

Dinçer vd. (2020), Kapadokya yöresindeki kaya oyma depoların tasarım ölçütlerinin nümerik analizlerle değerlendirilmesi hakkındaki dergi yazında bahsettiği gibi yörede kayadan oyma depoların inşa aşamaları değerlendirildiği zaman kayanın kütle ve malzeme özellikleriyle beraber loca genişlikleri az miktarda değişkenlik göstermekteyken, morfolojik ve topoğrafik koşullardan dolayı örtü kalınlığı bölgesel anlamda değişiklik gösterebilmektedir. Bu verilere göre topuk genişliğinin örtü kalınlığına karşı duyarlılığının daha önemli olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı, Topuk Genişliği=(Örtü Kalınlığı-1.9)/7.5 ilişkisi, uygun güvenlik katsayısını (2) sağlayacak topuk genişliği tasarımı için topuk genişlikleri 2 metreden az olmayacak şekilde kullanılabilir. Elverişsiz loca ve topuk genişliklerindeki biçim değişikliği deponun ortasında yer alan localarda yükselmekte ve deponun tamamı tek bir açıklık gibi davranmaktadır. Kayadan oyma depolar localar şeklinde tasarlandığında söz konusu yapılar için en önemli nokta locaların ayrı birer açıklık gibi davranmasının sağlanmasıdır. Bu koşul ancak uygun topuk ve loca genişliklerinin tasarlanmasıyla sağlanabilir. Tüm bu veriler değerlendirildiği zaman 2017 yılında çıkarılan yönetmelikte topuk genişliğinin belirlenmesinde tavsiye edilen tasarım ölçütlerinin oldukça doğru değer sonuçları verdiği gözlenmektedir. Bu yüzden her kayadan oyma depo projesi için mevcut mühendislik



jeolojisi şartları göz önünde bulundurularak her yapının kendine ait topuk tasarımının yapılması önerilmektedir (12).

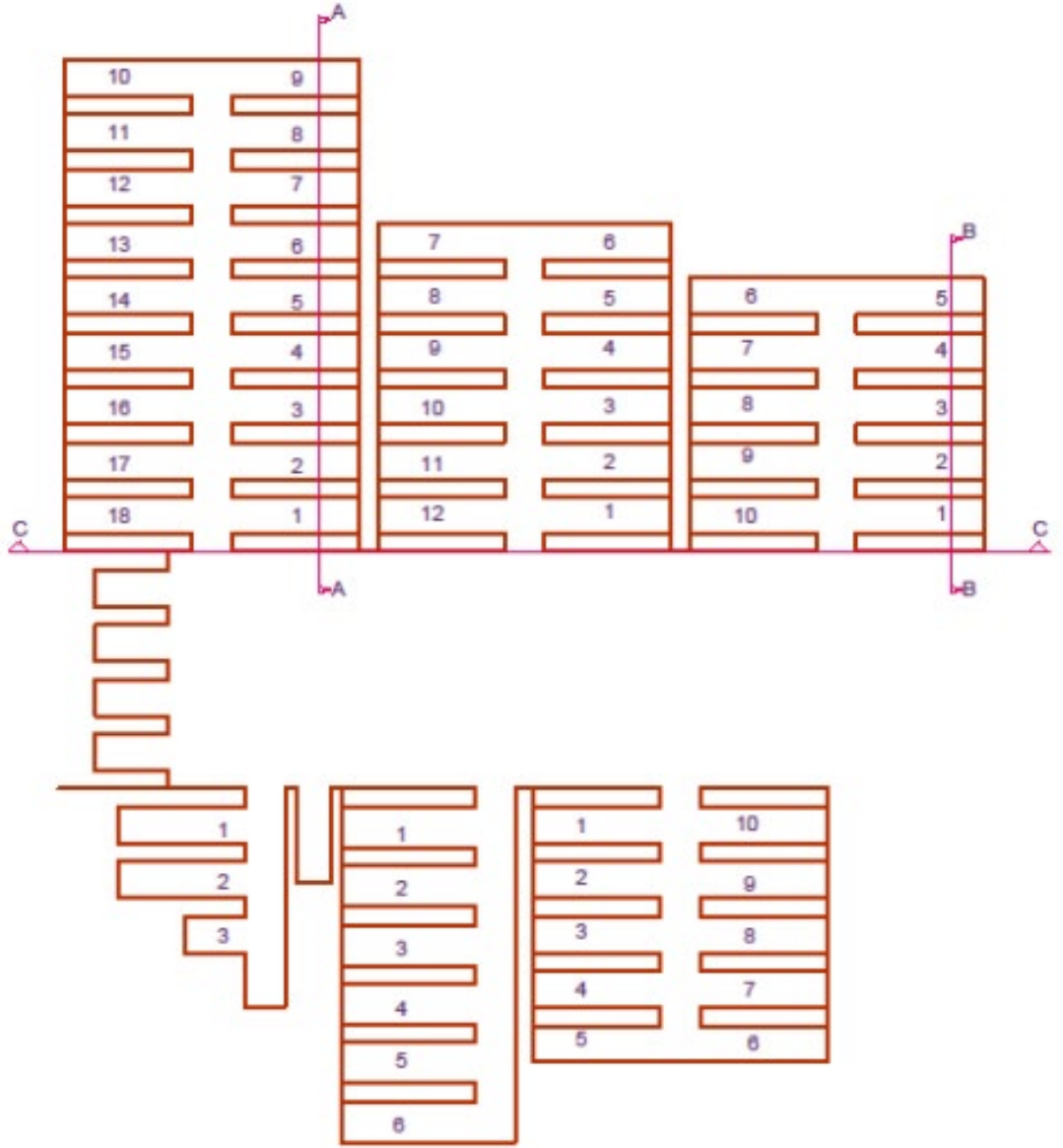


## 3. BÖLÜM

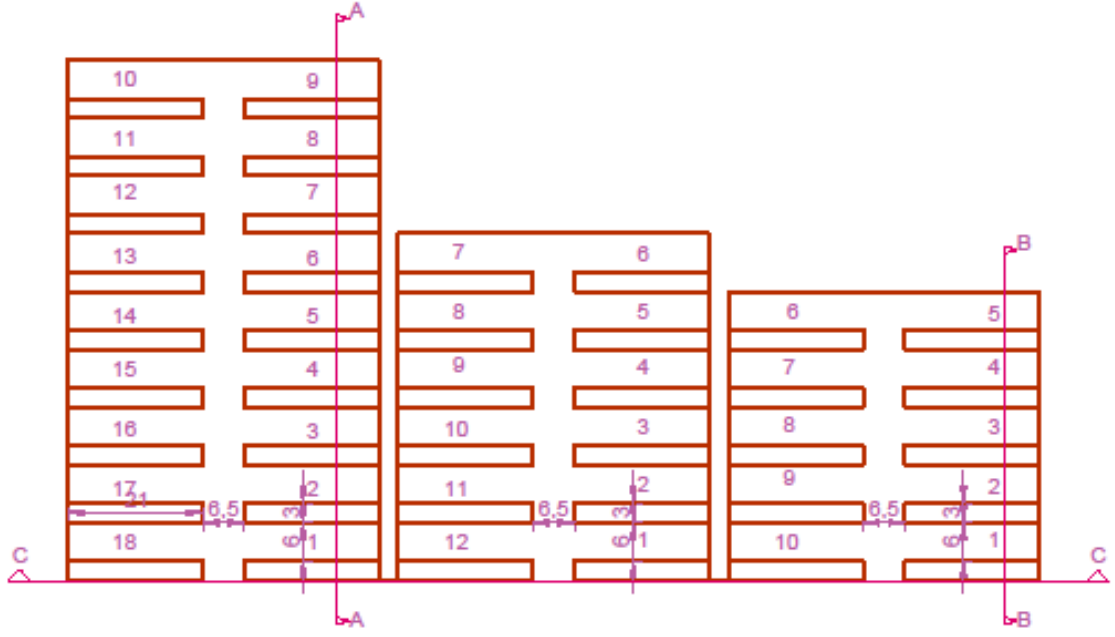
### MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Malzeme

Kayadan oyma yeraltı soğuk hava depolarının jeoteknik incelemesi ve sayısal modellemesi amacıyla gerçekleştirilen bu tez çalışması, Nevşehir ili sınırları içerisinde Nar yerleşiminde yer almaktadır. Söz konusu kaya oyma depolara ait plan görünümü ve sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan üç ayrı kesit hattı (A-A', B-B' ve C-C') Şekil.3.1'de sunulmaktadır. Buna göre A-A' kesiti toplam 9 adet loca içerirken, B-B' kesit hattında 5 adet loca yer almaktadır. Bu iki kesit hattı 6 m genişlikteki locaları dik olarak kesmektedir. C-C' kesit hattı ise koridor girişlerini dik olarak kesmektedir ve ilk locaların dış duvarının üzerinden geçmektedir (Şekil 3.1). Bununla birlikte Şekil 3.2'de üç ayrı koridor üzerinde dağılan locaların genişlikleri ve localar arasındaki duvar kalınlıkları da gösterilmektedir. Resim 3.1'de ise açılan koridorların genel görünüm gösterilmektedir. Resim 3.2'de loca tavan kesiminde betonarme olarak dökümüne başlanan kolonlar fotoğrafta gösterilen orta kesimdeki açıklık alanını örtmek amacıyla inşa edilecek çatıya ait ayakları oluşturmaktadır. Bu ayaklar vasıtasıyla çatı yükü, koridor girişlerindeki ön bölüme aktarılacaktır. Bu nedenle sonlu elemanlar analizlerinde bu çatı vasıtasıyla oluşacak ilave gerilmeler 10 kPa olarak modele yansıtılmıştır.



Şekil 3.1 İnceleme alanında açılan yeraltı kaya oyma depolara ait koridorların ve locaların plan görünümü



Şekil 3.2 İnceleme alanında açılan yeraltı kaya oyma depo localarının boyutları



Resim 3.1 Çalışma alanındaki yeraltı soğuk hava deposundan genel bir görünüm



Resim 3.2 İnşa edilecek çatıya ait ayaklar

### **3.2. Yöntem**

Bu tez çalışması, arazi çalışmaları ve büro çalışmaları olarak iki farklı bölümde incelenmiştir.

#### **3.2.1. Arazi Çalışmaları**

Arazi çalışmaları içerisinde bölgedeki yeraltı depolarından yerinde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında kaya oyma depoları çevreleyen kaya kütlelerinin (ignimbirit) dayanım özellikleri Schmidt çekici (Resim 3.3) ve İğne Penetrometresi (Resim 3.4) aletleri ile yerinde belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, açılmış olan yeraltı depolarında gözlemsel incelemelerde bulunulmuştur.

İnceleme alanında yerinde yapılan iğne penetrometresi ve Schmidt çekici deney sonuçları Tablo 3.1’de gösterilmektedir. İnceleme alanındaki ignimbirit kütlesi alt, orta ve üst bölüm olmak üzere 3 ayrı kesimde incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda inceleme alanındaki ignimbiritlerde bölgesel olarak dayanım değerlerinde önemli bir değişimin olmaması sebebiyle tek bir seviye olarak modellenmesi uygun bulunmuştur.



Resim 3.3 Depoların oluşturulduğu kaya kütlesinde Schmidt çekici deneyi yapımı



Resim 3.4 Depoların oluşturulduğu kaya kütlesinde iğne penetrometresi deneyi yapımı

Tablo 3.1 Arazide gerçekleştirilen yerinde deney sonuçları özet tablosu

	İğne Penetrometresi Direnci (N/mm) (NPR)	Schmidt Geri Tepme Sayısı (N)
Alt bölüm	100/5	18-20
	100/4	
	100/5	
	100/4.5	
	60/10	
	100/5	
Orta bölüm	100/7	20-25
	100/9	
	100/8.5	
	100/7	
	100/10	
	100/9	
	100/6	
	100/7	
Üst bölüm	100/2.5	25-30
	100/3	18-20
	100/4	
	100/5	
	100/3.5	

### 3.2.2. Büro Çalışmaları

Büro çalışmalarında arazi ve çalışmalarından elde edilmiş olan veriler kullanılarak sayısal modellemeler yapılmıştır. Bu modellemeler yapılırken RS2 9.0 yazılımı kullanılmıştır. İncelenen bölüme ait ölçekli kesitler (3 ayrı kesit) RS2 yazılımına aktarıldıktan sonra sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde yenilme ölçütlerinin sonuçlar üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla aynı kesitler üzerinde Genelleştirilmiş Hoek-Brown (HB) ve Mohr-Coulomb (MC) ölçütleri kullanılarak analizler tekrarlanmıştır. Aynı zamanda depremlili (dinamik) ve depremsiz (statik) koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir.

## 4. BÖLÜM

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1. Bölgenin Genel Jeolojisi

Şengör ve Yılmaz'a göre, Miyosen'de Afro-Arabistan plakası ile Avrasya plakasının çarpışması sonucu, Orta Anadolu Bölgesinde yoğun volkanik faaliyetler gelişmiştir. Bu hareketler sonucu Türkiye'nin en büyük volkanik alanlardan biri olan Orta Anadolu Volkanik Alanı (OAVA) oluşmuştur (Harita 4.1) (13).

Bölgede farklı türde birçok farklı volkanik kayaç oluşmuştur. Bölgenin jeolojik oluşumu Arap ve Avrasya levhalarının birbirine yaklaşmasıyla Orta Miyosen'de başlamış, Üst Miyosen ve Kuvaterner zamanlarında ise karşılaşma ve bu karşılaşmaya bağlı olarak çarpışma hareketleri ile oluşumu devam etmiştir (14).

Nevşehir, bölgesel olarak Miyosen ile Üst Holosen arası çok sayıda volkanizma ile karşı karşıya kalmıştır. Bölgenin, güney kısmı Toros sıradağlarıyla, batı kısmı Tuz gölü fay zonuyla ve doğu kısmı ise Ecemiş fay sistemi şeklinde sınır kabul edilmiştir. Bu bölge dünyada "Central Anatolian Volcanic Province" (Orta Anadolu Volkanik Provensi) şeklinde ifade edilmektedir. Kuvaterner yaşlı birimler bölgenin doğusu ve batısında gözlenmektedir (15).

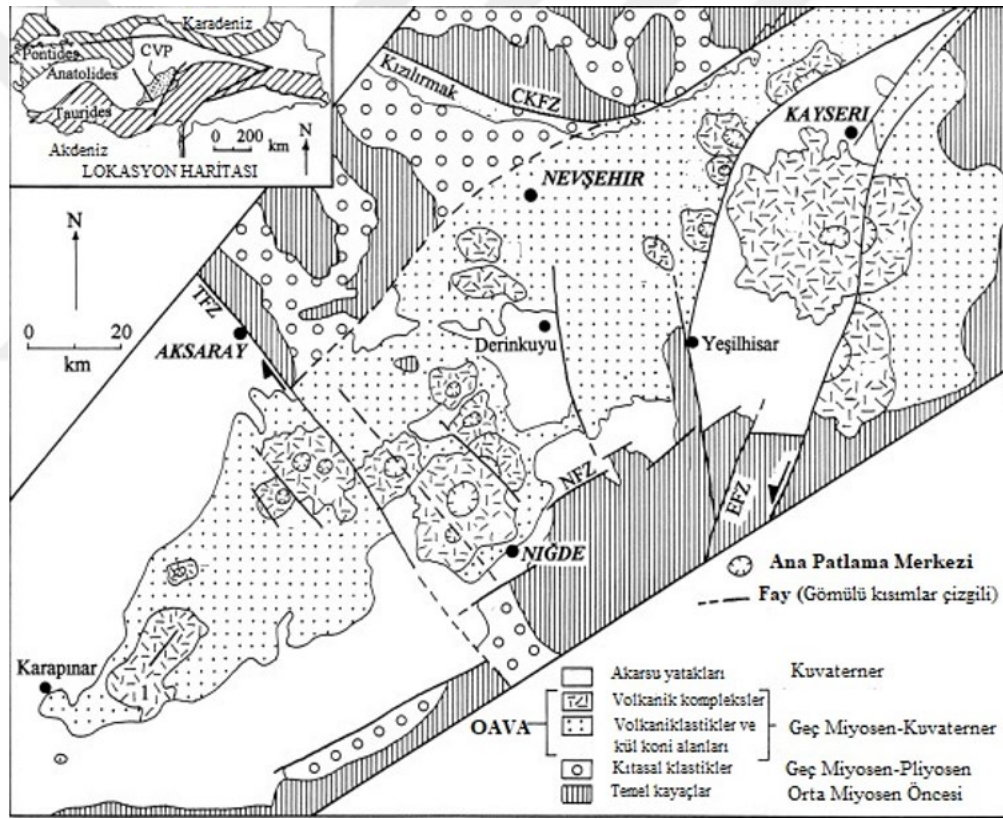
Bölgenin temel kayaçları Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik kayaçlardır. Bu temel kayaçlar üzerine Üst Kretase yaşlı Orta Anadolu Ofiyolitleri gelmiştir ve bu birimleri plütonik kayaçlar kesmiştir. Üzerlerine Oligo-Miyosen yaşlı birimler çökelmiştir (16).

Nevşehir çevresinde genel olarak bulunan jeolojik yapı Neojen yaşlı mostralardır. Kızılırmak'ın kuzeyini Oligo-Miyosen yaşlı jipsler, Eosen filifi ve metamorfik kayaçlar oluştururken, güneyini ise bazalt ve Mesozoyik yaşlı birimler oluşturur (17).

Nevşehir'de metamorfik, magmatik (plütonik), sedimanter ve volkanik olmak üzere dört kayaç grubu yüzeylemektedir. Genel dağılımına bakıldığında ise Nevşehir merkezde metamorfik ve magmatik (plütonik) kayaçların, kuzeyinde ve batısında sedimanter kayaçların, güneyde ise volkanik kayaçların yoğunlukta bulunduğu belirtilmiştir. Bölgede jeolojik açıdan yaygın olarak bulunan kayaçlar Kırşehir masiflerine bağlı



metamorfiklerdir. Bölgedeki metamorfik birimler; mermer, şist, fillat ve kuvarsit ile temsil edilirken magmatik (plütonik) kayalar ise granit, gabro, monzonit, granitoyit ile temsil edilir. Bu iki kayaç grubu Kayseri karayolunun ve Kızılırmak nehrinin civarındaki tepelerde, Gülşehir ve Avanos'un kuzeyinde ve Acıgöl'ün batısında olduğu belirtilmiştir. Sedimanter birimler; farklı yaşta denizel ve karasal çökeller ile tanımlanır (Alt-Orta Eosen, Oligosen-Alt Miyosen, Üst Miyosen-Pliyosen ve Pliyosen yaşları ile). Sedimanter kayalar Kızılırmak nehrinin kıyısında bulunur. Volkanik kayaları ise bazaltlar, andezitler, dasitler, piroklastikler ve riyodasitler temsil eder. Üst Kreteze yaşından Kuvaterner yaş aralığında değişir.



Harita 4.1 Orta Anadolu Volkanik Alanının (OAVA) basitleştirilmiş jeolojik haritası (Toprak, 1998'den alınmıştır.) (18).

#### 4.2. İnceleme Alanı Jeolojisi

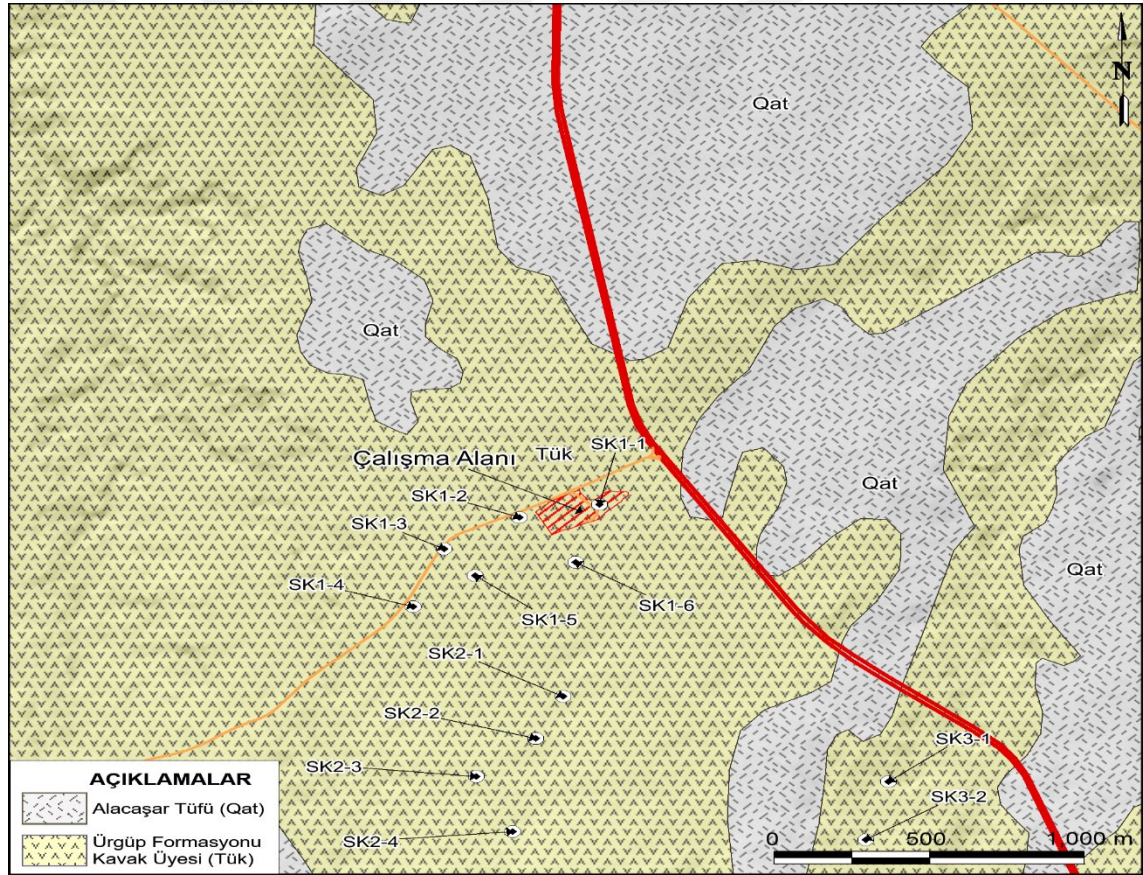
Bu alanda yapılan sondaj ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen verilere göre alanın jeolojisi bölgenin genel yapısıyla karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar şu şekildedir;

Çalışma alanı ve yakın çevresinde ağırlıklı olarak Alacaşar Tüfü (Qat) ve Ürgüp Formasyonuna ait Kavak Üyesi (Tük) gözlenmektedir. Proje sahası da halihazırda Kavak Üyesi olarak tanımlanan ignimbirit seviyesi içerisinde kazılmıştır (Harita 4.2).

Çalışma alanı ve yakın çevresinde gözlemlenen birimler aşağıda verilmektedir.

#### 1.1.1.1. 4.2.1. Alüvyon (Qal)

Lav parçaları ve obsidiyence zengin, pembe renkli küllerle karışmış, camsı ve pomzalı tüflerden oluşmaktadır. Bazen breşli tüfle alterasyonlu, beyazımsı ince kum ara düzeyleri görülür. Tabanda Kavak tüfü ile İncesu ignimbiritleri üstünde uyumsuz olarak yer alır (19).

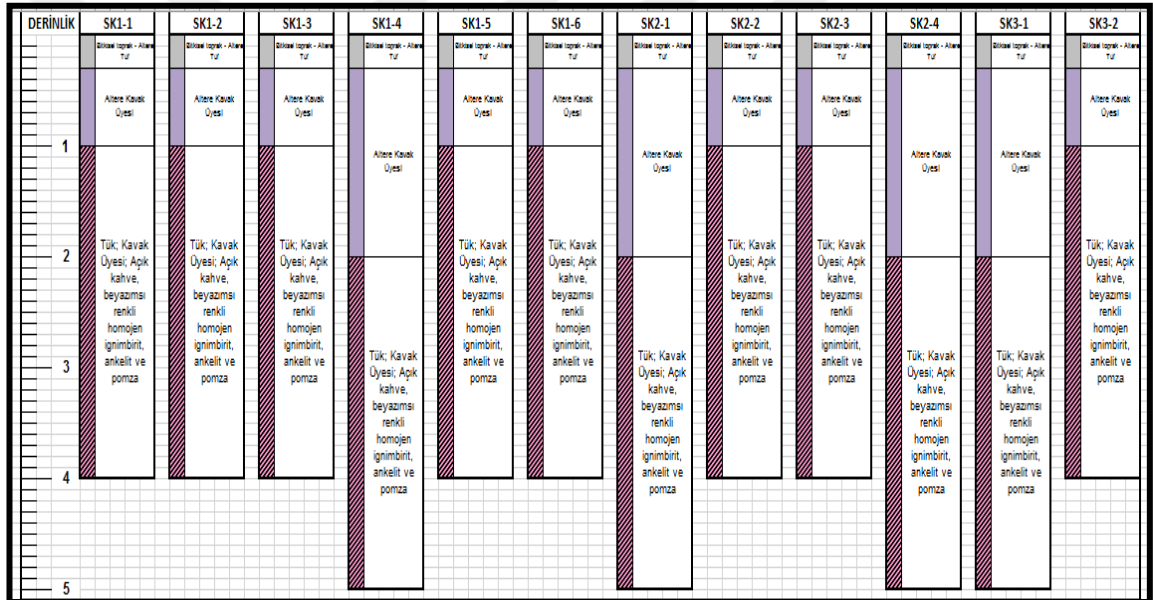


Harita 4.2 İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası ve açılan sondaj kuyularının lokasyonu (19).

### 1.1.1.2. 4.2.2. Kavak Üyesi (Tük)

İgnimbirit karakterlidir, açık kahve, beyazımsı renkli homojen ignimbirit, ankelit ve pomza içermektedir kavak Üyesinde beyaz – kirli beyaz renkli, andezitik bileşenli, camsı tüfitli, köşeli parçacıklı pomza külü düzeyleri de izlenmiştir (11).

Kavak Üyesi Ürgüp Yöresinde ilk ignimbirit oluşumlarını temsil eder. Kalınlığı 100 metredir. Tuzköy formasyonu ile geçişlidir. Alanda ortalama 1,00 – 2,00 metre seviyelerinden sonra Kavak Üyesi birimi gözlenmiştir (2). Çalışma alanı ve yakın çevresinde (genellikle Kavak Üyesi içerisinde) açılan sondaj kuyuların korelasyonu Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1 İnceleme alanında açılan kuyuların korelasyonu (2)

Şekilden de görüldüğü üzere genel olarak ilk 30 cm bitkisel toprak karşımıza çıkarken bunun altında yer yer 2 metreye kadar varan altire ignimbirit seviyesi gözlenmektedir. Bunun altında ise açık kahve renkli beyazımsı Kavak Üyesi olarak adlandırılan homojen ignimbirit seviyesi gözlenmektedir.

Kavak ignimbiritleri yörede oldukça geniş alanlara yayılan ve çeşitli volkanik kayaç parçalarına ait çakıllar ile pomza çakıllarından oluşmakta, iyi kaynaşmamış ignimbirit özellikleri sunmaktadır. Bu çalışma sonucunda aynı birimden 6 farklı renk ve dokuya sahip ignimbirit örnekleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda incelenen

piroklastiklerin jeolojik, kimyasal ve petrografik özellikleri ile jeomekanik özellikleri arasında önemli etkileşimlerin olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle petrografik incelemelerinde, opak mineral, ince taneli kayaç parçası içeriği ile matriks oranı-tane oranından yüksek olan örneklerin porozitesinin daha düşük, yoğunluklarının ve basınç dayanımlarının da nispeten daha yüksek değerler gösterdikleri belirlenmiştir. İgnimbiritlerin kimyasal analizlerinden elde edilen verilerine göre özellikle SiO içeriği düşük olan örneklerin basınç dirençleri de düşüktür. Ayrıca toplam demir içeriği ile ateşte kayıp oranı yüksek olan örneklerin basınç dirençlerinin de yüksek olduğu belirlenmiştir. Renk ve mühendislik özellikleri az çok değişken olan örnekler, yıllardan beri bölgede cami, külliye, kilise, bina vb. yapılarda kullanılmakta, özellikle dekoratif özellikleri itibariyle ülkemizin diğer bölgeleri için de alternatif yapı taşı olabilecek potansiyele sahiptir. Yoğunluklarının düşük olması nedeniyle, hafif yapı taşı olarak kullanımı, taşınması ve işlenmesi açısından uygun özellikler göstermektedir (20).

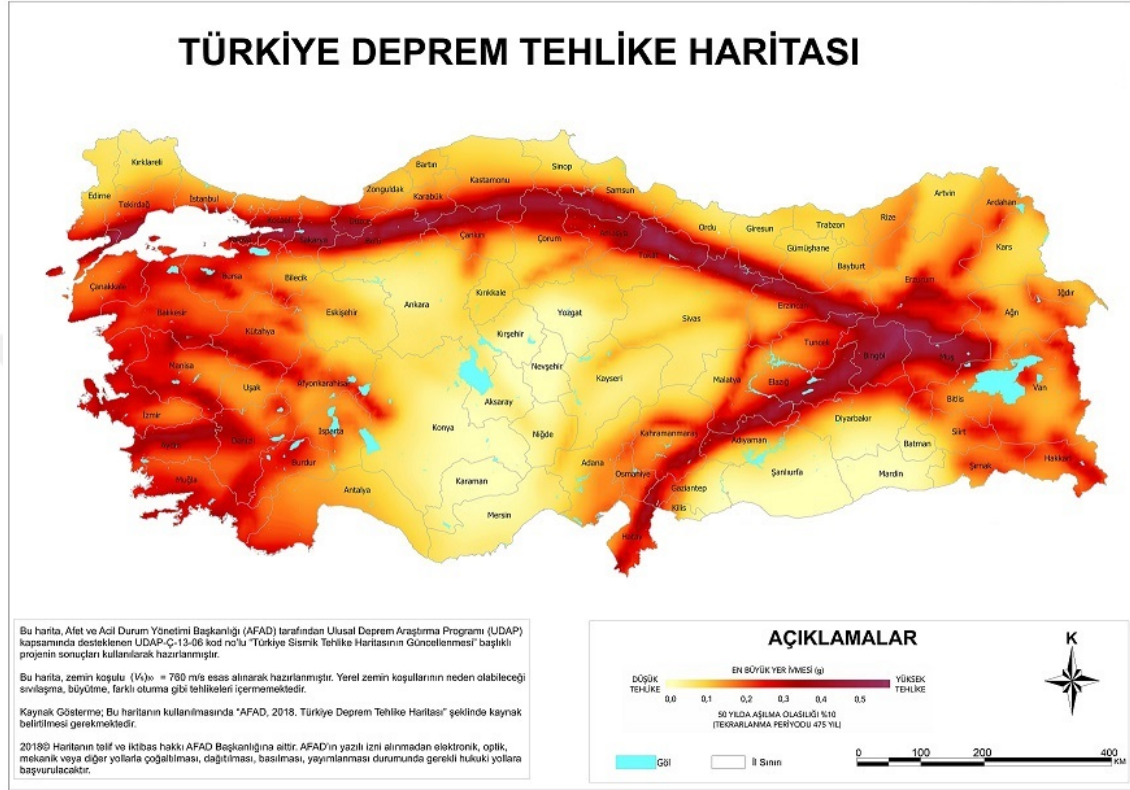
### **4.3. Çalışma Alanının Tektonik ve Depremselliği**

Kapadokya volkanik provensinde (KVP) hakim olan KB-GD doğrultulu TFZ ( Tuz Gölü Fay Zonu), KD-GB doğrultulu EFZ (Ecemiş Fay Zonu), KVP'nin kuzey sınırını tanımlayan ve Merkez Kızılırmak Fay Zonu (MKFZ) ile paralel faylardan oluşan 3 ana fay sistemi vardır TFZ, sağ yönlü doğrultu atımlı fay ile eğim atımlı bileşenlidir. Bu bölgede ki faylar hala aktiftir ve Anadolu bloğunun son zamanlardaki deformasyonunda rol oynamaktadır (21).

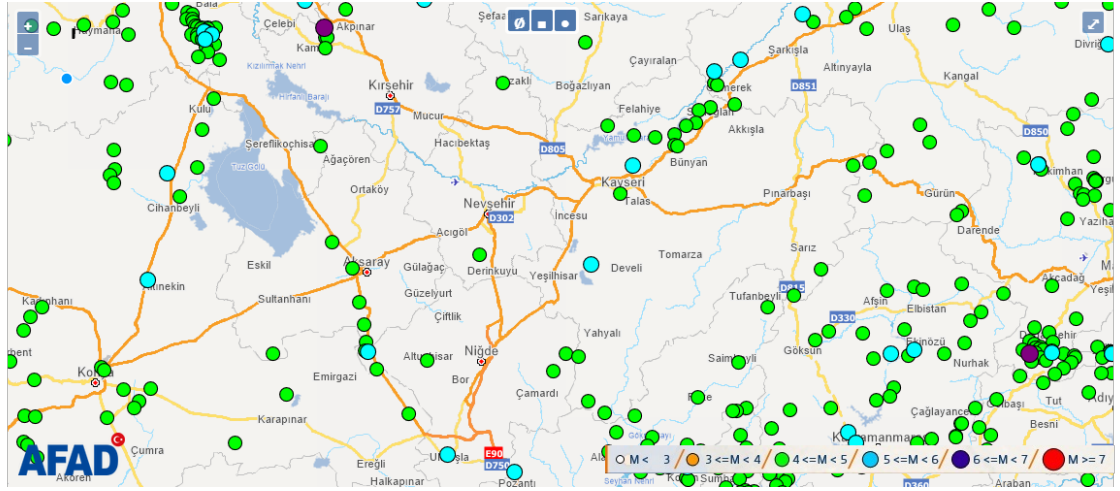
Toprak ve diğ, EFZ' deki bazı fayların hala aktif olmasına rağmen çoğunun KVP'nin sonraki patlamalarının altında gömülü kaldığını belirtmişlerdir. Normal bir fay olan KFZ, aktif olduğunu belirten lav akıntısını kesmektedir. Ek olarak, bölgenin orta kısmından geçen bazı kısa faylar vardır. Bunlardan birisi K-G doğrultulu ve antik derin kuyu yer altı şehri içinde iyi gözlenen Derinkuyu fayı ve diğeri ise KD-GB doğrultulu Niğde Fay Zonu (NFZ) dur. Bölgede ayrıca çok sayıda doğrultu atımlı fayda vardır ve bunlardan biri Nevşehir'de gözlenmektedir. Bu faylar ayrıca yer altı şehirlerinin ve ya yer altı yerleşimlerinin stabilitesini etkilemektedir (22)(Şekil 4.2).

Bölge aktif faylarla sınırlandırılmış olmasına rağmen, Türkiye'nin diğer bölgelerine göre sismik olarak daha az aktiftir (23), (24), (25). 14 Aralık 1998 tarihindeki Sarioğlan (Tuzla gölü) depremi dışında Derinkuyu yer altı şehrinin yakınında odak düzlemli bir deprem

yoktur (Şekil 4.3). Çalışma alanında oluşan yatay yer ivmesi  $0,087 g$ 'dir. Buna göre, sonlu elemanlar analizlerinde modele etkiyecek maksimum yatay yer ivmesi  $0.1g$  olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.2 Türkiye deprem tehlike haritası (25)



Şekil 4.3 1900-2020yılları arası çalışma alanı civarında gözlenen depremler (26)

#### 4.4. Kaya Oyma Depoların Sayısal Modellenmesinde Kullanılan Yenilme Ölçütleri

Yeraltı yapılarını çevreleyen kaya kütlesi üç eksenli gerilme durumunda kalır. Bu nedenle, kaya kütesinin davranışı, güvenli ve güvenilir bir tasarım sağlamak için üç eksenli gerilme durumu altında değerlendirilmelidir. Genel olarak, kaya oyma yapılarda kaya kütesinin boşluk oluşumundan sonra tepkisini tahmin etmek için çeşitli analiz yöntemlerinden faydalanılır. Analizler ya sayısal modelleme yazılımları ya da analitik yaklaşımlarla gerçekleştirilir. Sayısal modellemelerin veya analitik çözümlerin çoğu, Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile gerçekleştirilir. Mohr-Coulomb yenilme ölçütü doğrusal bir yenilme zarfına sahiptir ve makaslama dayanım parametreleri (kohezyon ve iç sürtünme açısı) alandan elde edilen kaya kütesini temsil eden kaya malzemesi örnekleri üzerinde üç eksenli deneyler yapılarak elde edilebilir. Bununla birlikte, kaya malzemesi üzerinde üç eksenli basınç deneylerinin yapılması çok zahmetli ve zordur, bu nedenle görgül yaklaşımlar yardımıyla kaya kütesinin makaslama dayanım parametreleri tahmin edilebilir (27).

Araştırmacıların çoğu, kaya kütesinin üç eksenli gerilme koşulları altında yenilme zarflarının doğrusal olmadığı görüşündedir (28) , (29), (30) , (31) . Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü, kaya kütlesi için sunulan ilk doğrusal olmayan üç eksenli dayanım ölçütüdür (29). Söz konusu yenilme ölçütü zaman içerisinde çeşitli modifikasyonlar geçirmiş ve Hoek ve ark. tarafından Genelleştirilmiş Hoek-Brown yenilme ölçütü sunulmuştur. (32). Genelleştirilmiş Hoek-Brown yenilme ölçütü Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) sınıflandırma sistemine (33), (34), (35) dayanmaktadır. (27)GSI sınıflama

sisteminden elde edilen GSI puanı yardımıyla yenilme ölçütündeki bazı parametreler (mb, s, a) hesaplanabilmektedir.

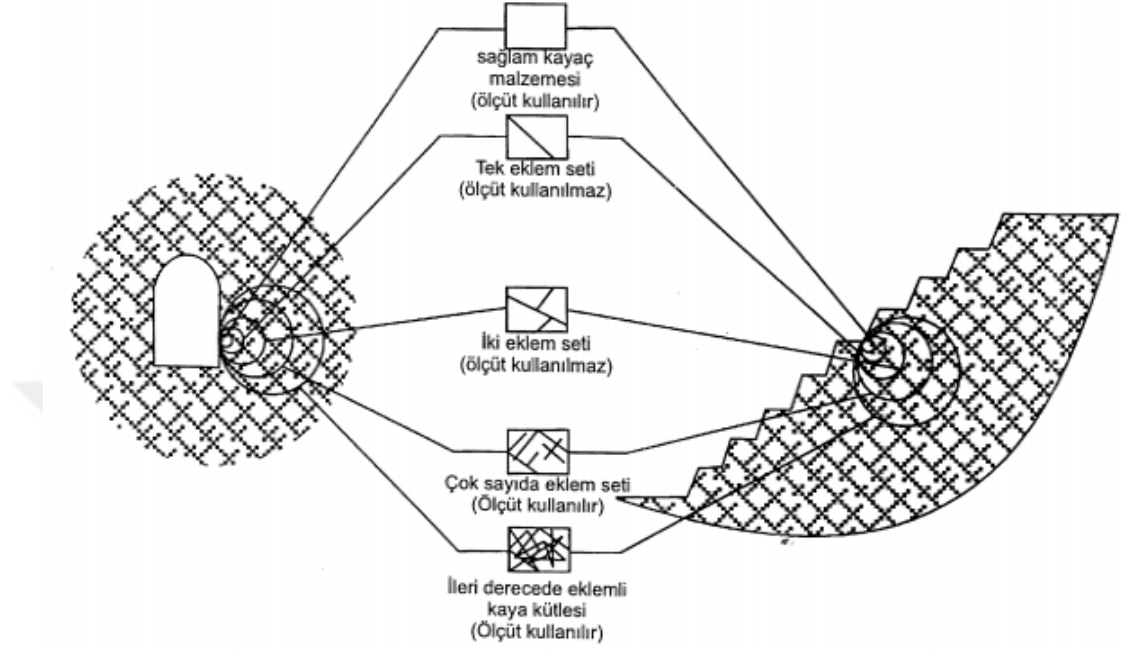
#### **4.4.1. Hoek-Brown (HB) yenilme ölçütü**

Hoek-Brown yenilme ölçütü, Hoek (1965) tarafından sağlam kayanın ve Brown'ın eklemlili kaya kütleleri davranışı üzerindeki model çalışmaları üzerine yapılan araştırma sonuçlarından elde edilmiştir (28).

Hoek-Brown yenilme ölçütü ve ilgili GSI, sık eklemlili kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerini tahmin etmek için geniş bir kabul görmüştür. Uygun alternatiflerin bulunmaması nedeniyle, Hoek-Brown yenilme ölçütü kaya mekaniği topluluğu tarafından benimsenmiştir ve kullanımı hızla yayılmıştır (29).

Doğal malzemelerin dayanım parametreleri bu malzemelerden alınmış temsil edici büyüklükteki örneklerin laboratuvarında standartlara uygun şekilde test edilmesiyle belirlenir. Ancak, sık eklemlili kaya kütlelerinden, sağlam kaya malzemesi ile birlikte süreksizlik sistemlerini de içerecek büyüklükte ve metre boyutuna varan örneklerin alınması genellikle mümkün değildir (Şekil 4.4). Yeterli büyüklükte örnek alındığı varsayılsa dahi laboratuvar ölçeğinde bu büyüklükteki bir örneği test edebilecek hücre ve donanım geliştirilmemiştir. Eklemlili kaya kütlelerinin makaslama dayanımının laboratuvarında belirlenmesinde karşılaşılan bu güçlük, 80'li yıllardan sonra Bieniawski (1989) tarafından önerilen Jeomekanik Kaya Kütleleri Sınıflama Puanı RMR'ı da bir girdi parametresi olarak kabul eden, Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüyle (Hoek-Brown, 1980) aşılmaya çalışılmıştır. RMR sınıflama sisteminin özellikle zayıf ve çok zayıf kaya kütleleri için içerdiği sınırlamalar ve bu sistemin özellikle şevlerdeki süreksizliklerin yönelimi için önerdiği, gerçekçi olmayan düzeltme faktörleri Hoek-Brown yenilme ölçütünde de günümüze değin bazı değişikliklerin yapılmasını gerekli kılmıştır. Böylelikle Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü zaman içerisinde modifiye edilmiştir (Sönmez ve Ulusay, 1999). 1994'e kadar RMR puanıyla birlikte kullanılan bu ölçüte Hoek (1994), RMR'ın yerine Jeolojik Dayanım indeksi (GSI)'ni dahil etmiştir. Başlangıçta, RMR değeri kullanılarak hesaplanan GSI, daha sonra Hoek ve Brown (1997) tarafından önerildiği biçimde ve kaya kütlelerinin görsel tanımlanmasını esas alacak şekilde düzenlenmiş bir GSI sınıflama abağından (Şekil 4.5) belirlenmeye başlanmıştır. Bu sınıflama sisteminde kaya kütleleri, kayacın içerdiği süreksizliklerin neden olduğu

bloklanma durumuna ve süreksizlik yüzeylerinin koşullarına bağlı olarak 20 farklı sınıfa ayrılmaktadır (36).



Şekil 4.4 Sağlam kayaç malzemesinden ileri derecede eklemli kaya kütlelerine geçiş ve örnek boyutundaki artış (Hoek 1988). (36).



JEOLOJİK DAYANIM İNDEKSİ		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU				
Kaya kütlelerinin yapı ve yüzey koşullarının tanımlandığı harf kodlarını belirleyerek uygun kutu seçilir ve ortalama Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'nin değeri abaktaki konturlardan tayin edilir.		AZALAN YÜZEY KALİTESİ →				
YAPI		KAYA PARÇALARININ KENETLENME DERECEİNDE AZALMA				
	<b>BLOKLU-</b> 3 ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, çok iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütleli	80 B/ÇI	B/I	B/O	B/Z	B/ÇZ
	<b>ÇOK BLOKLU-</b> Dört veya daha fazla sayıda süreksizlik setlerinin kesişmesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren kısmen örselenmiş kaya kütleli	70 ÇB/ÇI	ÇB/I	ÇB/O	ÇB/Z	ÇB/ÇZ
	<b>BLOKLU/ÖRSELENMİŞ-</b> Birbirini kesen çok sayıda süreksizliklerin oluşturduğu köşeli bloklar içeren kıvrılmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütleli	60 BÖ/ÇI	BÖ/I	BÖ/O	BÖ/Z	BÖ/ÇZ
	<b>PARÇALANMIŞ-</b> Köşeli ve yuvarlak kaya parçalarının karışımından oluşan, zayıf derecede kenetlenmiş, aşın derecede kırıklı kaya kütleli	50 P/ÇI	P/I	P/O	P/Z	P/ÇZ
		40				
		30				
		20				
		10				

Şekil 4.5 GSI sınıflama sistemi abağı (Hoek ve Brown, 1997) (36).

Jeolojik kaya indeksi sınıflamasının daha iyi anlaşılması için Hoek-Brown görgül yenilme ölçütünün temel özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Kayalar küçük oranda dikkate alındıklarında kaya malzemesi önem kazanırken, ölçek büyüdüğünde sağlam kaya malzemesinden eklemli kaya kütleline geçiş söz konusudur. Farklı yönelimlerde

gelişmiş çok sayıdaki süreksizlik tarafından bölünmüş kaya kütlelerinin davranışı, kaya malzemesinin aksine, hem süreksizlikler hem de kaya malzemesi tarafından denetlenir.

Dolayısıyla kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin, kaya malzemesiyle birlikte süreksizlikleri de içerecek boyutlardaki örnekler üzerinde tayin edilmesi gerekmektedir. Ancak bu tür ortamlardan, kaya malzemesi ile birlikte süreksizlikleri de içeren ve metre boyutuna ulaşan örneklerin alınması ve bunların laboratuvar deneyleri için hazırlanmaları mümkün olmadığı gibi, bu boyutlara uygun deney aletleri de geliştirilmemiştir. Bu sorunu dikkate alan Hoek-Brown (1980a ve 1980b), tasarım mühendisleri tarafından kullanılmak üzere aşağıdaki koşulları sağlayabilecek bir ölçütün yararlı olacağını düşünmüşlerdir;

- Ölçüt, kaya malzemesinin uygulamada karşılaşılan gerilme koşulları altında göstereceği davranışı tam olarak tanımlamalıdır,
- Ölçüt, kaya kütlelerinin içerdiği zayıflık düzlemleriyle ilgili olarak kütlenin dayanımında yönsellikten kaynaklanabilecek değişimleri dikkate alabilmeli,
- Ölçüt, yaklaşık da olsa, çok sayıda süreksizlik takımını içeren kaya kütlelerinin dayanımı hakkında bilgi verebilmelidir,
- Laboratuvarında tayin edilen dayanım verileriyle uyumlu olmalıdır,
- Kullanıcıya kolaylık sağlaması açısından, mümkün olduğunca boyutsuz parametrelere bağlı, basit bağıntılarla ifade edilmeli,
- Eklemlili kaya kütlelerinin yenilmesiyle ilgili uygulama olanaklarını da sağlaması gerekmektedir (37).

Hoek-Brown, çalışmalarının sonucunda en büyük asal gerilme ( $\sigma_1$ ) ile en küçük asal gerilme ( $\sigma_3$ ), diğer bir ifadeyle normal gerilme ( $\sigma$ ) ile makaslama ( $\tau$ ) arasındaki ilişkinin eğrisel olduğunu belirlemişler ve yenilme ölçütünü bir karekök parabolü olan aşağıdaki bağıntıyla ifade etmişlerdir. Bu ilişki, özgün Hoek-Brown yenilme ölçütü olarak da bilinmektedir (37).

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_B} = \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_B}\right) + \sqrt{\left(m \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_B}\right)\right) + s}$$

$\sigma_1$  ve  $\sigma_3$ : Yenilme anındaki en büyük ve en küçük asal gerilmeler,

$\sigma_B$ : Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı,

m ve s: Boyutsuz malzeme sabitleridir.

Yukarıdaki eşitliğin her iki tarafı da  $\sigma_B$  ile çarpılarak, bu özgün ilişki aşağıdaki gibi de ifade edilmektedir (37).

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{(m * \sigma_3 * \sigma_B) + (s * \sigma_B^2)}$$

Bu formüldeki “s” sabiti, kaya kütesinin içerdiği bloklar/taneler arasındaki çekilme dayanımına ve süreksizlikler tarafından sınırlanan kaya malzemesi parçalarının birbirleriyle kenetlenme derecesine bağlı bir sabittir. Kaya malzemesi için s=1 iken, bu sabit, kaya kütesinin kalitesine göre 1’den 0’a doğru azalmaktadır. “m” sabiti ise; kayanın türüne, kayayı oluşturan tanelerin büyüklüğüne, geometrisine ve kenetlenme derecesine bağlı olarak değişmektedir (37).

Çok zayıf kütleleri için yine de yetersiz kalan ölçütün zayıf kaya kütlelerini hedef alan değişim sürecinin başlangıcı olarak kabul edilen 1992 yılında, aşağıda belirtilen değişiklikler yapılmıştır;

- Özgün ölçütten belirlenen tek eksenli çekme dayanımının sık eklemlili kaya kütlelerinde sıfır olması gerektiği düşünülerek, bu parametre ölçütten çıkarılmıştır,
- Modifiye edilmiş ölçütteki parametrelerin tayini için basitleştirilmiş niteleyici bir kaya kütleleri sınıflaması ölçüte dahil edilmiştir,
- Belirli bir etkin normal gerilme düzeyi için etkin anlık makaslama dayanımı parametrelerinin ( $c$ 'i ,  $\Phi$ 'i) belirlenmesi ve Mohr yenilme zarfının çizilmesi için Bray’ın eşitlikleri yerine Balmer (1952)’in eşitliklerinin kullanılması önerilmiştir (37).

Hoek vd. (1992), kaya mekaniği ile ilgilenen mühendislerin önemli bir bölümünün Hoek-Brown yenilme ölçütünün uygulanabileceği eklemlili kaya kütlelerinin tek eksenli çekme dayanımlarının olmadığını düşündüklerini belirtmektedirler. Ayrıca, son 30 yılda kaya mekaniğinde yaygın şekilde kullanılan sonlu elemanlar gibi sayısal çözümleme modellerinde çekme gerilmelerinin modeldeki komşu elemanlara aktarıldığı varsayılarak, modellere herhangi bir çekme gerilmesi seçeneği dahil edilmemiştir.

Yenilme ölçütünün kullanımı sırasında dikkati çeken diğer bir husu da, en küçük etkin asal gerilmenin ( $\sigma'_3$ ) önemli miktarda sıkıştırıcı bir büyüklüğe sahip olduğu koşullarda, ölçütten belirlenen dayanım değerlerinin kabul edilebilir olduğudur. Buna karşın, küçük  $\sigma'_3$  değerleri için ölçüt oldukça yüksek eksenel gerilme ve aynı zamanda sınırlı tek eksenli çekme dayanımı değerleri vermektedir. Özgün ölçütle ilgili bu sorun tek eksenli çekme dayanımı ihmal edilerek yapılan değişiklikler ile giderilerek, ölçüt 1992'den itibaren "modifiye edilmiş" sıfatıyla anılmaya başlamış ve aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmeye başlamıştır (37).

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_B \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_B} \right)^\alpha$$

Özgün Hoek-Brown yenilme ölçütü, sıkı kenetlenmiş köşeli kaya parçalarından oluşan iyi ve orta kaliteli kaya kütlelerinde iyi sonuç vermesine karşın, zayıf ve çok zayıf kaya kütlelerinde temsil edici sonuçlar vermemektedir. Bu sorunun giderilmesi amacıyla

1992'ye kadar bazı modifikasyonlar yapılmış olmakla beraber, ölçütün modifiye edilmiş son hali bile özgün bir bütünlük sağlayamamıştır. Bu sorunu dikkate alan Hoek

vd. (1995), hem özgün hemde modifiye edilmiş ölçütü içerecek şekilde bir düzenleme yaparak, ölçütü aşağıda verilen genel bağıntıyla tanımlamışlardır;

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_B \left( \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_B} \right) + s \right)^\alpha$$

İyi kenetlenmiş ve köşeli kaya parçalarından oluşan iyi kaliteli kaya kütlelerinde yukarıdaki eşitlikte “a” üssel değeri 0,5 alınarak, ölçüt özgün haline dönüştürebilmektedir (37).

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_B \left( (m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_B}) + s \right)^{0,5}$$

Makaslama hareketi veya bozunma nedeniyle kaya malzemesine ait bloklar arasındaki kenetlenmenin zayıflamış olduğu zayıf kaya kütleleri çekme dayanımına veya koheziona sahip değildir. Bu tür kaya kütleleri için modifiye edilmiş ölçüt çok daha uygun olmakta ve s=0 alınıp söz konusu eşitlik;

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_B \left( (m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_B}) \right)^a$$

şeklinde düzenlenerek, ölçütün 1992’de önerilen bir önceki modifikasyonunda verilen eşitliğe dönüşmektedir.

Genelleştirilmiş haliyle ölçüt, a=0,5 ve s=1 alınarak, aşağıda verilen şekliyle kaya malzemesi için de kullanılabilir (37).

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_B \left( (m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_B}) + 1 \right)^{0,5}$$

Maden, jeoloji ve inşaat mühendisliği uygulamalarında yerüstü ve yer altı kazıları için kaya kütlelerinden uygun ölçekte hazırlanmış örnekler üzerinde üç eksenli sıkışma deneylerinin yapılması pratik olarak mümkün değildir. Bu güçlüğü bir ölçüde aşılabilmesi amacıyla, kaya bloklarından veya elemanlarından oluşan küçük ölçekli modellerle ilgili çalışmalardan yararlı bilgiler elde edilmişse de, bu çalışmalar sırasında yapılan bazı varsayımlar ve basitleştirmeler nedeniyle sınırlamalarla karşılaşmıştır.

Dolayısıyla, eklemli kaya kütlelerinin dayanımının tayininde kullanılacak kütle sabitlerinin doğrudan deneylerle veya model çalışmalarıyla belirlenmesi mümkün olamamıştır. Bu açıdan, malzeme sabitleri  $m_b$ , s ve a'nın belirlenmesi için herhangi bir yöntemle veri elde edilmediği takdirde, yukarıdaki eşitliklerin anlamı kalmamaktadır.

Söz konusu sabitlerin kaya kütlesi sınıf puanı RMR'a bağlı olarak belirlenmesi amacıyla Hoek ve Brown (1988) tarafından ölçüte dahil edilen;

(örselenmiş kaya kütlesi için)

$$\frac{m}{m_i} = \exp\left(\frac{RMR - 100}{14}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR - 100}{6}\right)$$

(örselenmemiş kaya kütlesi için)

$$\frac{m}{m_i} = \exp\left(\frac{RMR - 100}{28}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{RMR - 100}{9}\right)$$

eşitliklerin, RMR>25 olan kaya kütleleri için geçerli olmasına karşın, 25'ten küçük RMR puanına sahip çok zayıf kaya kütleleri için bu bağıntılardan sonuca gidilememektedir. Bu sorunun giderilebilmesi amacıyla, Hoek vd. (1995) tarafından önerilen ve Jeolojik Dayanım İndeksi (Geological Strength Index, GSI) adı verilen yeni bir kavram, 1995 yılında RMR'ın yerine ölçüte dahil edilerek kaya kütlesi sabitlerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlamıştır. Bu indeksin kısaltılmış haliyle GSI şeklinde verilen simgesi, uluslararası kullanımı dikkate alınarak Türkçeleştirilmemiş ve bu çalışmada aynı simge kullanılmıştır. Başlangıçta, RMR ve Q sınıflaması puanlarıyla ilişkilendirilen GSI, daha sonraki yıllarda yapılan değişikliklerle tek başına bir sınıflama sistemi olarak ölçütteki yerini korumuştur. GSI, 85'den (kaya malzemeleri), 10'a (çok düşük kaliteli kaya kütleleri) kadar değişen değerler almaktadır. Hoek vd. (1995), önerdikleri son değişikliklerde  $m_b$ , s ve a parametrelerinin belirlenmesi için, kaya kütlelerinde meydana gelebilecek örselenme durumuyla ilgili herhangi bir açıklamaya gerek olmaksızın ve ölçütün 1988 versiyonunda dikkate alınan iki örselenme koşulundan sadece örselenmemiş kaya kütlesi koşulunu gözeterek, kaya sabitleri ile GSI arasında aşağıdaki ilişkileri önermişlerdir (37).

$$\frac{m_b}{m_i} = \exp\left(\frac{RMR - 100}{28}\right)$$

(GSI>25 ve örselenmemiş kaya kütlesi için, a=0,5)

$$s = \exp\left(\frac{RMR - 100}{9}\right)$$

(GSI<25 ve örselenmemiş kaya kütlesi için, s=0)

$$\alpha = 0,65 - \left(\frac{GSI}{200}\right)$$

(37).

#### 4.4.2. Mohr-Coulomb (MC) yenilme ölçütü

Mohr Coulomb yenilme ölçütü, asal gerilmeler cinsinden ifade edilebilir. Zemin ortamında herhangi bir noktadaki herhangi bir düzlemde kırılma olup olmadığı bu düzlemdeki kayma gerilmesinin, zeminin kayma direnci ile karşılaştırılmasıyla belirlenir. Mohr-Coulomb yenilme ölçütü kaya mekaniği alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır (27).

Zemin kütlesinin makaslama dayanımı zemin kütlesinin herhangi bir düzlem boyunca kırılma ve kaymaya karşı koyabildiği birim alandaki iç dirençtir. Yapılarda karşılaşılan taşıma kapasitesi, şev duraylılığı ve yanal basınç gibi zemin duraylılık problemlerini analiz edebilmek için makaslama dayanımının iyi bilinmesi gerekmektedir.

Mohr (1900) malzemelerin yenilmesinin, normal ve makaslama gerilmesinin maksimum değerinde olmayıp, bunların kombinasyonu şeklinde olduğunu ifade etmiştir. Bu şekilde, bir yenilme düzlemi üzerindeki normal gerilme ve makaslama gerilmesi arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilebilir (Şekil 4.6.a).

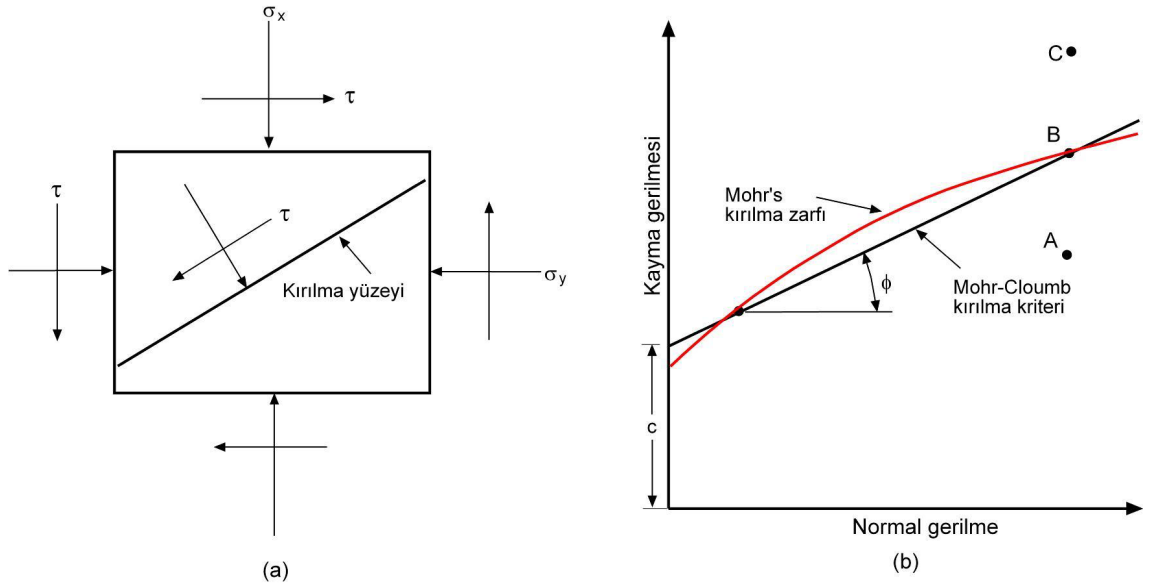
$$\tau_f = (\sigma) \phi$$

Eşitlikte tanımlanan yenilme zarfı eğri bir çizgi olup, Şekil 4.6.b' de gösterilmektedir. Pek çok zemin mekaniği problemi için, yenilme düzlemindeki makaslama gerilmesini;

yaklaşık olarak normal gerilmenin lineer bir fonksiyonu olarak değerlendirmek yeterlidir (Coulomb, 1776). Bu lineer fonksiyon,

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

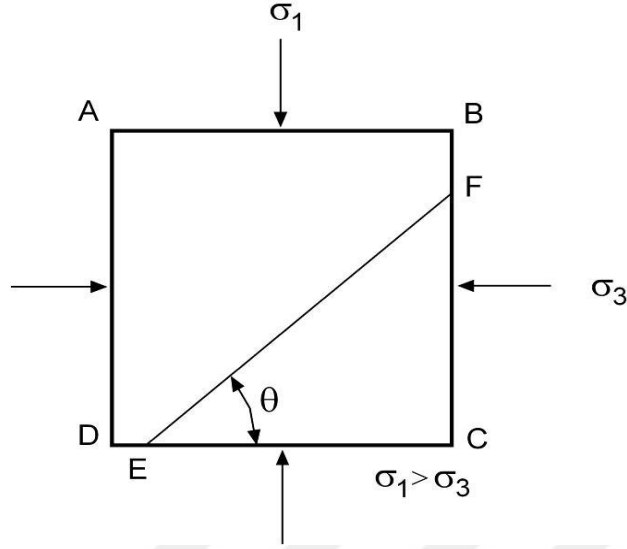
eşitliği ile ifade edilir. Bu ilişki Mohr - Coulomb yenilme kriteri olarak adlandırılır. Burada;  $c$ =kohezyon ve  $\phi$ = içsel sürtünme açısıdır. Eğer bir zemin kütleindeki bir düzlem üzerindeki normal gerilmenin ve makaslama gerilmesinin gösterimi, Şekil 4.6.b'deki A noktasında ise makaslama yenilmesi meydana gelmez. Eğer normal gerilme ve makaslama gerilmesi B noktası gibi yenilme zarfının üzerine düşüyorsa makaslama yenilmesi kritik denge durumundadır. C noktasında yenilme meydana gelir.



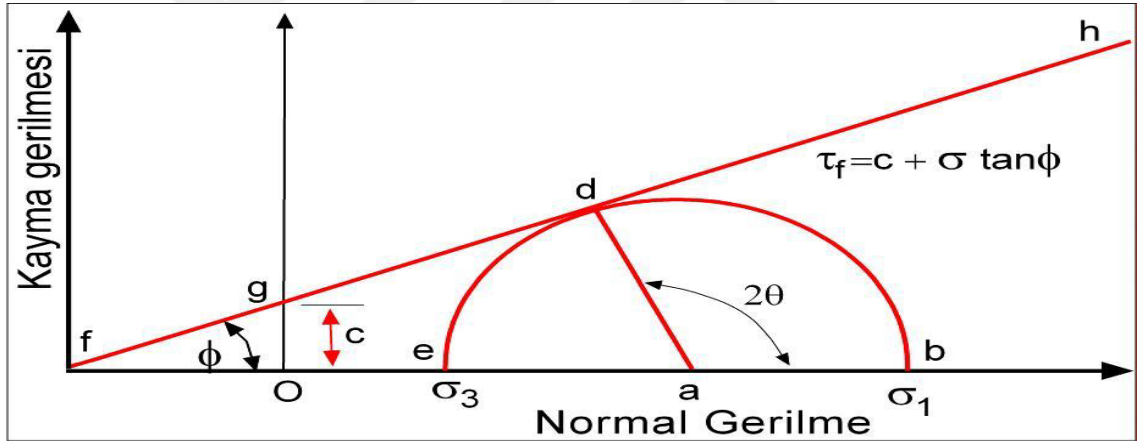
Şekil 4.6 Mohr kırılma yüzeyi ve Mohr-Coulomb kırılma kriteri

Makaslamadan Dolayı Meydana Gelen Yenilme Düzleminin Eğimi Bir düzlem üzerindeki makaslama gerilmesinden elde edilen değerler, Mohr Coulomb yenilme kriterinde yer aldığı gibi makaslama yenilmesi meydana getirecektir. Birincil asal düzlemle, yenilmenin eğimini belirlemek için Şekil 4.7 incelendiğinde, yaklaşık birincil ve ikincil asal gerilmelerdir. Yenilme düzlemi EF yatay düzlemle açısı yapar. açısını ve arasındaki ilişkiyi belirlemek için Şekil 4.8 incelendiğinde Şekil 4.7' deki gerilme durumları görülmektedir.





Şekil 4.7 Bir zeminin esas düzlemdeki yenilme yüzeyinin eğimi



Şekil 4.8 Mohr dairesi ve kırılma zarfı

Şekil 4.8' deki fgh ,  $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$  ilişkisinden belirlenen yenilme zarfıdır.

#### 4.5. İnceleme Alanındaki İgnimbiritlerin Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Kayadan oyma doğal depoların sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak RS2 yazılımında sayısal modellenmesinde kullanılan parametreler Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1 Sayısal analizlerde kullanılan parametrelere ait özet tablosu

Parametre	En düşük	En yüksek	Ortalama	Deney sayısı	Kaynak
Kuru birim hacim ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	14.33	15.39	14.82	8	Duru, 2019
Doygun birim hacim ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	16.79	17.83	17.33	8	
Görünür gözeneklilik (%)	23.03	27.64	25.53	8	
Boşluk oranı (%)	29.92	38.19	34.34	8	
Hacimce su emme (%)	23.02	27.62	25.53	8	
Ağırlıkça su emme (%)	15.53	18.91	16.91	8	
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)	4.23	7.99	6.56	8	
İğne Penetrometresi, NPR (N/mm)	10.0	40.0	19.3	19	Bu çalışma
Dolaylı tek eksenli basınç dayanımı (MPa) (İğne Penetrometresinden)	3.7	12.1	6.4	-	Ulusay ve Ergüler (2012)
Dolaylı çekme dayanımı (MPa) (İğne Penetrometresinden)	0.2	0.8	0.39	-	Aydan (2012)
Elastisite modülü (GPa) (İğne Penetrometresinden)	0.5	2.0	0.97	-	Aydan (2012)
Kohezyon (MPa) (İğne Penetrometresinden)	0.4	1.6	0.77	-	Aydan vd. (2013)
Sürtünme açısı (°) (İğne Penetrometresinden)	23.8	33.6	28	-	Aydan vd. (2013)
Elastisite modülü (GPa)	4.81	11.71	7.65	3	Etüt raporu
Poisson oranı	0.30	0.40	0.35	3	Etüt raporu

Schmidt çekici geri tepme sayısı (N)	18	31	24	10	Bu çalışma
Dolaylı tek eksenli basınç dayanımı (MPa) (Schmidt Çekicinden)	1.25	7.42	3.22	-	Gökçeoğlu (1996)

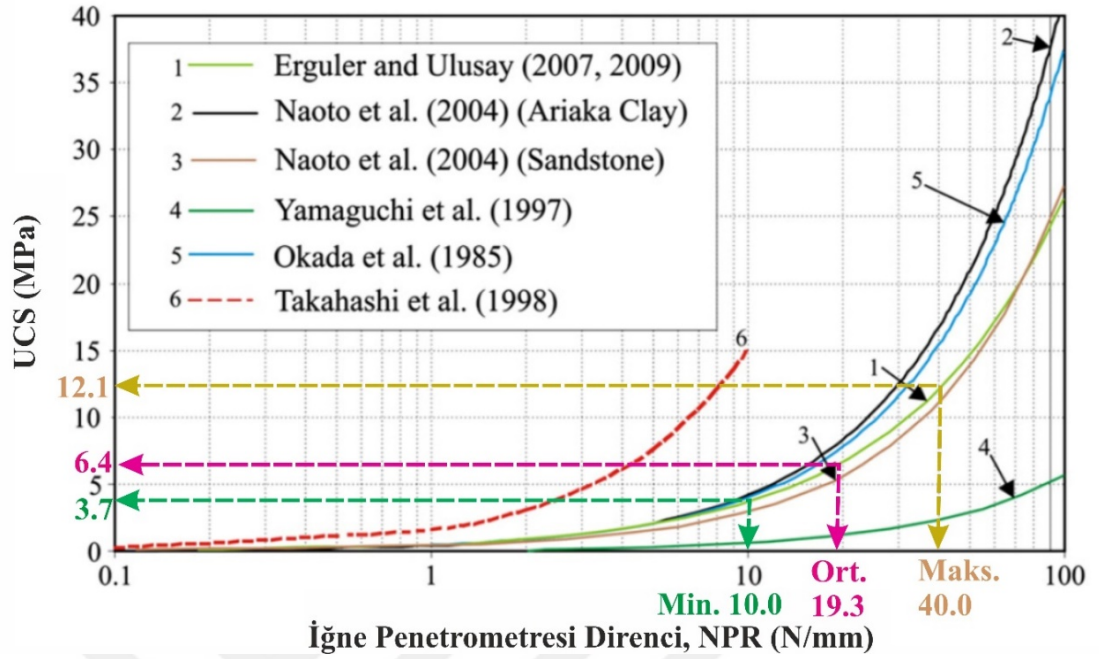
İnceleme alanındaki kaya kütlesinin dayanımını belirlemek için yerinde iğne penetrometresi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre, iğne penetrometresinden belirlenen NPR değeri yardımıyla kaya oyma depoların açıldığı sahadaki ignimbitlerin dolaylı tek eksenli basınç dayanımı ( $\sigma_c$ ) Ulusay ve Ergüler (2012) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır. Aynı zamanda aynı araştırmacılar tarafından iğne penetrometresi direncinden tek eksenli basınç dayanımının kestirimi için önerilen grafik de Şekil 4.9’da verilmiştir. Söz konusu grafik üzerinde çalışma alanından elde edilen minimum, ortalama ve maksimum iğne penetrometresi direnci değerleri ve bu değerlere bağlı olarak belirlenen tek eksenli basınç dayanımı değerleri gösterilmiştir.

$$\sigma_c = 0.51 * NPR^{0.8575}$$

Buna göre inceleme alanındaki ignimbitlerin tek eksenli basınç dayanımı 3.7 MPa ile 12.1 MPa arasında değişmekte olup, ortalama dayanım 6.4 MPa’dır.

İnceleme alanındaki ignimbitlerin çekme dayanımı ( $\sigma_t$ ) yine iğne penetrometresi direnci (NPR) değerleri yardımıyla Aydan (2012) tarafından aşağıda önerilen eşitlik yardımıyla belirlenmiştir. Bu eşitlik yardımıyla inceleme alanındaki ignimbitlerin çekme dayanımlarının 0.2 ile 0.8 MPa arasında değiştiği saptanmıştır. Dolaylı yöntemle belirlenen ortalama çekme dayanımı ise 0.39’dur.

$$\sigma_t = 0.02 * NPR$$



Şekil 4.9 İğne penetrometresi direncinden dolayı tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesi (Ulusay ve Ergüler, 2002)

Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak olan inceleme alanındaki ignimbritlerin elastisite modülü ( $E_i$ ) değerleri yine Aydan (2012) tarafından önerilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$E_i = 0.05 \cdot \text{NPR}$$

İnceleme alanındaki ignimbritlerin kohezyon ( $c$ ) ve sürtünme açısı ( $\phi$ ) değerleri ise Aydan vd. (2013) tarafından önerilen formüller kullanılarak ortaya konmuştur.

$$c = 0.04 \cdot \text{NPR}$$

$$\phi = 13.375 \cdot \text{NPR}^{0.25}$$

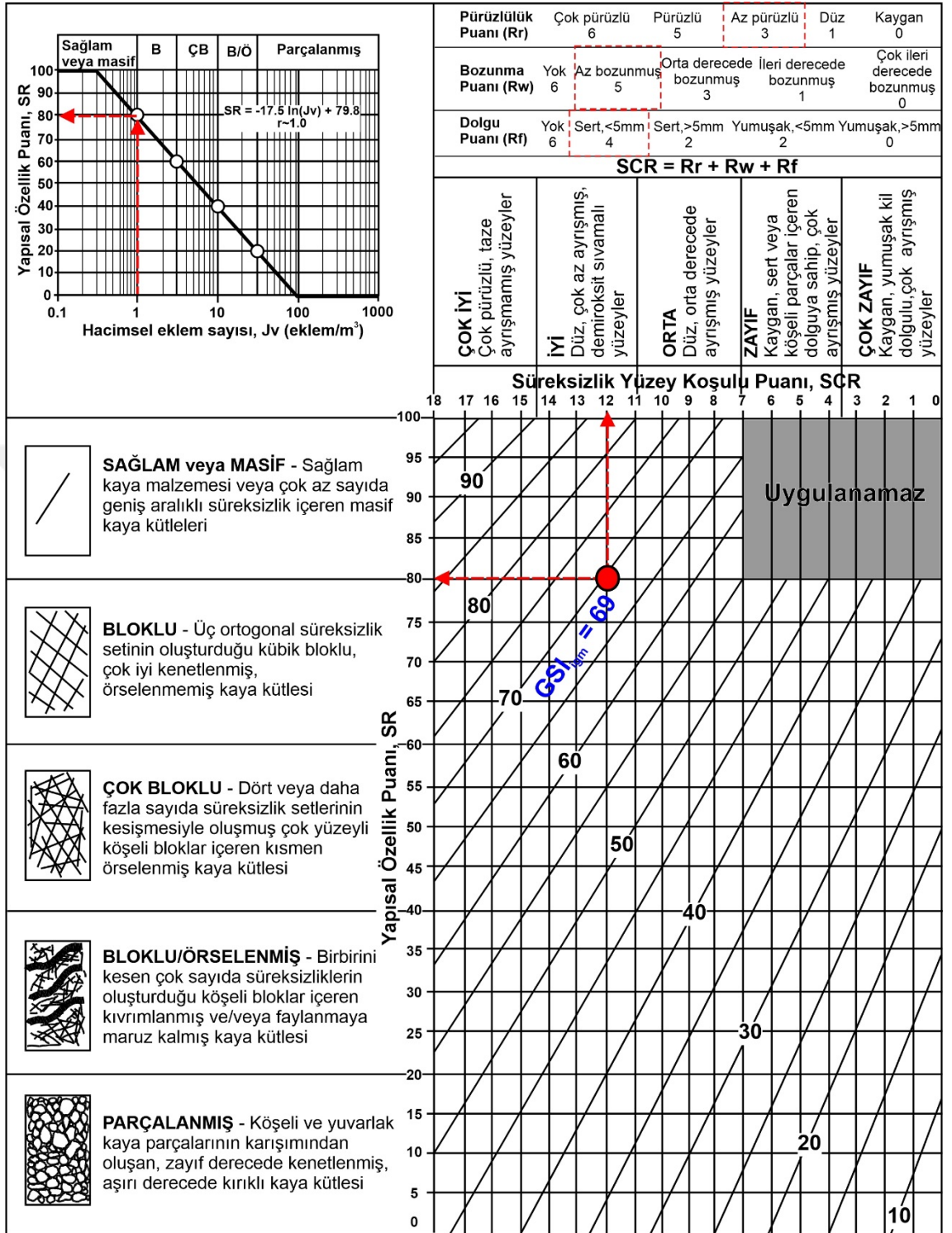
Schmidt çekici geri tepme sayısından ( $N$ ) tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesinde Gökçeoğlu (1996) tarafından zayıf kayaların dayanımının ( $\sigma_c$ ) kestirimi için kullanılan eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\sigma_c = 0.0001 \cdot N^{3.2658}$$

#### **4.5.1. İnceleme Alanındaki İgnimbiritlerin Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'ne Göre Değerlendirmesi**

İnceleme sahasındaki piroklastik kayaçların kaya kütle özellikleri ilk olarak 1990'lı yıllarda Hoek-Brown tarafından geliştirilen Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) yardımıyla da değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen kantitatif GSI abağı kullanılmıştır (Şekil 4.10).

GSI sisteminde kaya kütleleri, süreksizlik özellikleri ve kaya kütlelerinin özelliğini yansıtan yapısal özellik puanı yardımıyla sınıflanabilmektedir. İncelenen alandaki ignimbirit seviyelerindeki süreksizlik yüzeyleri genellikle az pürüzlü ve az derecede bozunmuş özelliktedir. Süreksizliklerde sert dolgulara (<5mm) rastlanabilmektedir. Bu özellikler ışığında, ignimbiritlerde süreksizlik yüzey koşulu (SCR) puanı 12'dir. Öte yandan, ignimbiritler için hacimsel eklem sayıları ( $J_v$ ) 1 için GSI sistemindeki yapısal özellik puanı (SR), ignimbirit seviyeleri için 80 olarak saptanmaktadır. Şekil 4.10'daki abaktan da görülebileceği üzere, ignimbirit seviyesi için GSI puanı 69'dur. GSI değerlerine göre ignimbiritler "sağlam veya masif, bloklu" özellikte bir kaya kütlelerini yansıtmaktadır.



Şekil 4.10 İnceleme sahasındaki piroklastik kaya kütlelerinin kantitatif GSI abağı yardımıyla değerlendirilmesi

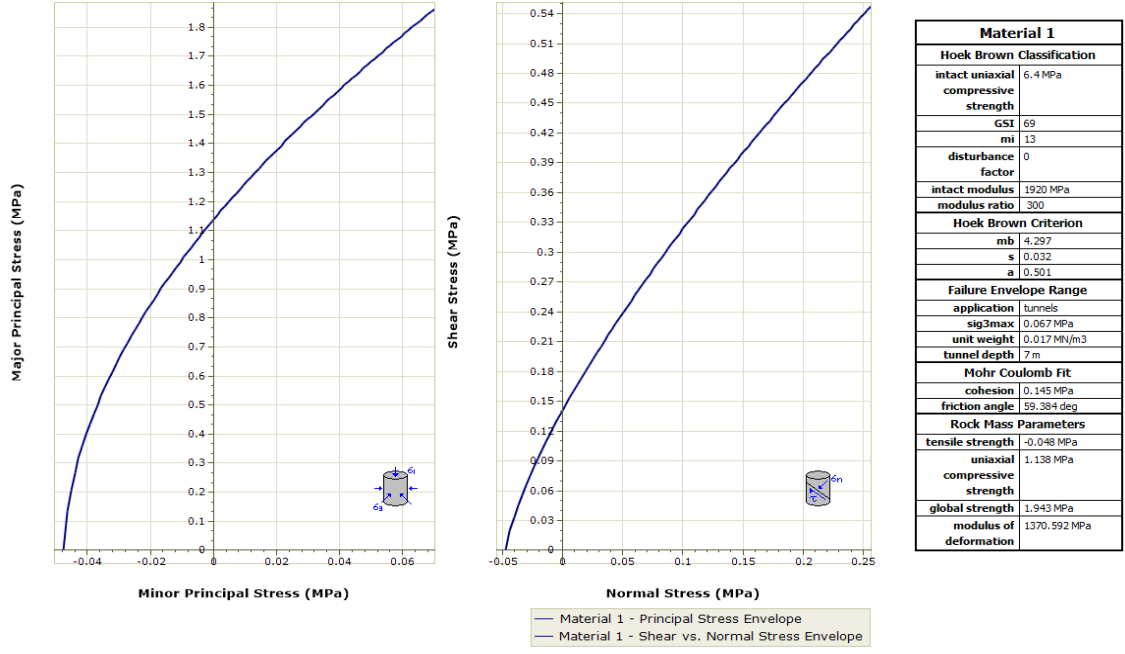
#### 4.5.2. İnceleme Alanındaki İgnimbiritlerin Kütlesel Dayanım ve Deformasyon Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Bilindiği üzere kaya kütlelerinin biçim bozukluğu ve dayanım özellikleri kaya malzemesi dayanımı ve süreksizliklerin ortak bir fonksiyonudur. İnceleme sahasındaki ignimbiritlerin kaya malzemesi dayanımı iğne penetrometresi deneyleri ile belirlenmiştir. Diğer türlü, çalışma sahasında, kaya kütlelerini kesen süreksizlik sayısı oldukça sınırlıdır.

İgnimbirit seviyelerinin kütlesel dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesinde Hoek-Brown görgül yenilme ölçütünden (Hoek vd., 2002) yararlanılmıştır. Her bir kaya kütlesi için Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre RocData yazılımı ile çizilen kaya kütlesi yenilme zarfları Şekil 4.11’de sunulmaktadır. GSI puanı 69 olan ignimbiritlerin tavan seviyesinde, Hoek-Brown sabitleri olan “ $m_b$ ,  $s$  ve  $a$ ” sırasıyla 4.30, 0.032 ve 0.501 olarak belirlenmiştir. Bu sabitlere bakarak kaya kütlelerinin çekme dayanımı 0.048 MPa, tek eksenli dayanımı 2.14 MPa, kütlesel dayanımı 1.94 MPa ve elastisite modülü 1371 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 4.11). Buna göre sonlu elemanlar analizlerinde Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb yenilme ölçütlerinde kullanılan parametreler Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

Tablo 4.2 Sonlu elemanlar yönteminde Genelleştirilmiş Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb yenilme ölçütlerinde kullanılan parametre değerleri ve özellikler

Parametre	Yenilme ölçütü	Değer
Birim hacim ağırlığı (MN/m <sup>3</sup> )	Hoek-Brown yenilme ölçütü	0.01733
Poisson oranı		0.35
Elastisite Modülü (MPa)		1920
Malzeme türü		Elastik
Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)		6.4
$m_b$		4.297
$s$		0.032
$a$		0.501
Su durumu		Kuru
Çekme gerilmesi (MPa)	Mohr-Coulomb yenilme ölçütü	0.39
Sürtünme açısı (°)		59.38
Kohezyon (MPa)		0.145
Poisson oranı		0.35
Elastisite Modülü (MPa)		1920
Malzeme türü		Elastik
Su durumu	Kuru	



Şekil 4.11 İğnimbirit için Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre hazırlanan kütesel yenilme zarfı



## 5. BÖLÜM

### KAYADAN OYMA DOĞAL DEPOLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

İnceleme alanındaki kaya oyma soğuk hava depolarındaki asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı, toplam deplasmanlar, maksimum makaslama deformasyonu ve dayanım faktörü gibi parametreler RS2 yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenmiştir. Analizler farklı loca dizilimlerine ve yönelimlerine sahip 3 farklı kesit hattı (A-A', B-B' ve C-C') üzerinde gerçekleştirilmiştir. İncelenen yeraltı soğuk hava depolarının projesinde geniş bir alandaki yan duvarlarda karşılıklı olarak açılacak depoların orta bölümündeki üstü açık alanın çatı ile kaplanması öngörülmektedir. Bu nedenle loca giriş koridorlarının ön bölümüne çatı imalatından kaynaklı ilave bir gerilme etkiyecektir.(Resim 5.1) Bu nedenle, 10 kPa bir gerilme depo giriş bölümüne etki edecek şekilde model düzenlenerek, çatı kaynaklı yükler modele dahil edilmiştir (Resim 5.2) .



Resim 5.1 Loca giriş ve koridor bölümündeki çatı kaplaması

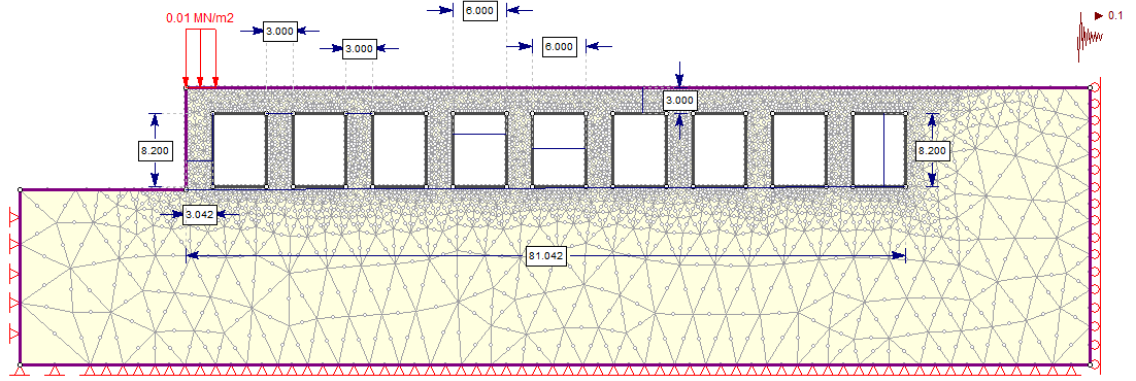


Resim 5.2 Sahadaki çatı kaplaması

Sonlu elemanlar analizlerinde Genelleştirilmiş Hoek-Brown yenilme ölçütünün yanı sıra, Mohr-Coulomb yenilme ölçütü de kullanılmış ve elde edilen parametreler üzerindeki yenilme ölçütünün etkisi irdelenmiştir. Öte yandan, sonlu elemanlar analizleri depremli ve statik (depremsiz) durum için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Depremler analizlerinde, soğuk hava depolarına etkiyebilecek maksimum yatay yer ivmesi 0.1g olarak alınmıştır. Sonlu elemanlar analizinde inceleme alanındaki ignimbritlerin elastik davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine göre Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb görgül yenilme ölçütleri kullanılarak depremli ve depremsiz koşullar için gerçekleştirilen analizler sonucunda kaya oyma depolar çevresinde A-A', B-B' ve C-C' kesit hatları boyunca oluşan asal gerilme ( $\sigma_1$ ), toplam deplasman, maksimum makaslama deformasyonu ve dayanım faktörü dağılımlarının tamamı tez ekinde sunulmaktadır. Bundan sonraki bölümlerde daha çok belirtilen üç kesit hattı boyunca gerçekleştirilen analizler sonucunda kullanılan yenilme ölçütlerinin (Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb) sonuçlar üzerindeki etkisi irdelenecektir.

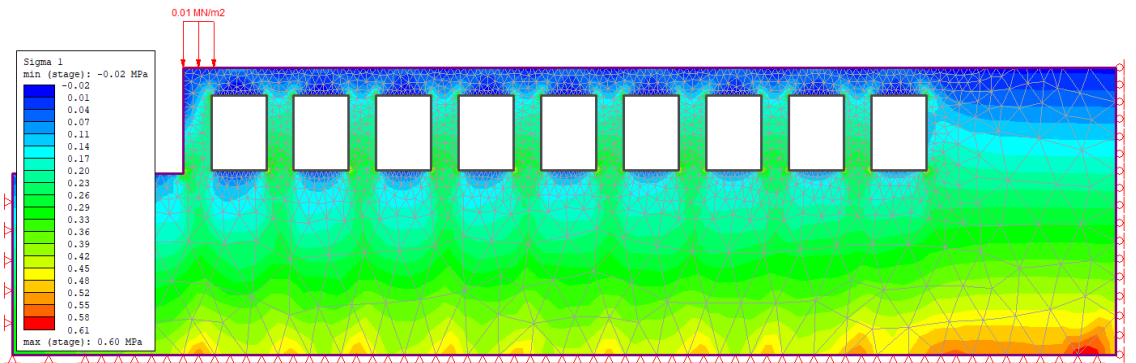
### **5.1. A-A' Kesit hattı boyunca yapılan sonlu elemanlar analizleri**

A-A' kesit hattına ait sonlu elemanlar yazılımında kullanılan model Şekil 4.10'da sunulmaktadır. Şekil 5.1'de sunulan model incelendiğinde, A-A' kesit hattında 9 adet 6'şar m genişliğinde ve 8.20 m yüksekliğinde loca bulunduğu görülmektedir. Localar arası duvar kalınlığı 3 m'dir. Locaların üstünde yaklaşık olarak yatay bir topoğrafya bulunmakta olup, loca tavanlarının üzerindeki örtü yükü 3 m'dir.

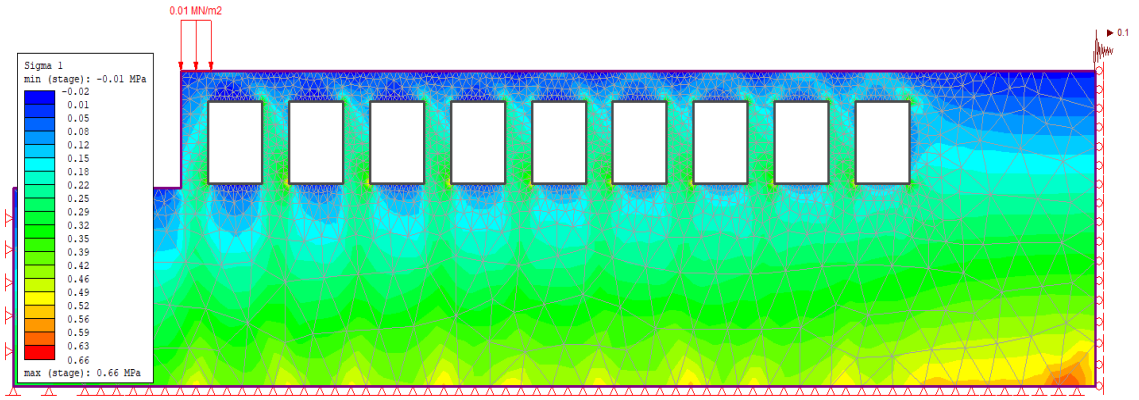


Şekil 5.1 A-A' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar

RS2 yazılımında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri sonucunda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre Tablo 4.2'deki veriler kullanılarak Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre yapılan analizler sonucunda kaya oyma depo çevresinde statik (depremsiz) ve dinamik (depremlı) koşullarda oluşacak asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de gösterilmektedir.



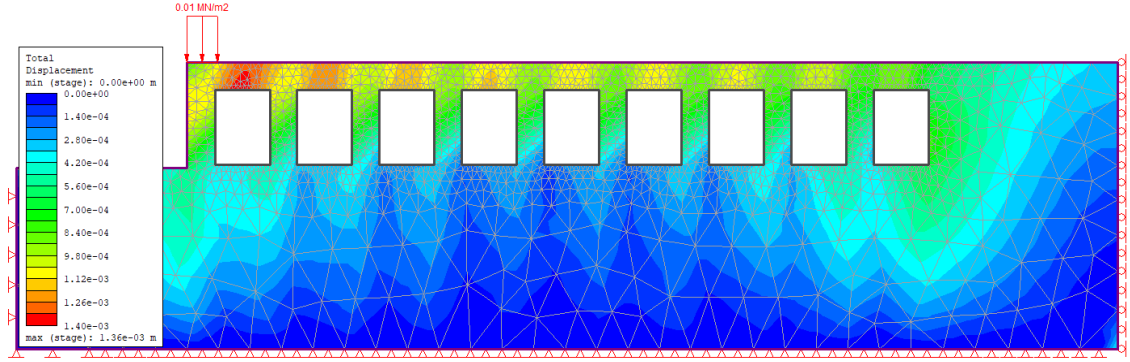
Şekil 5.2 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



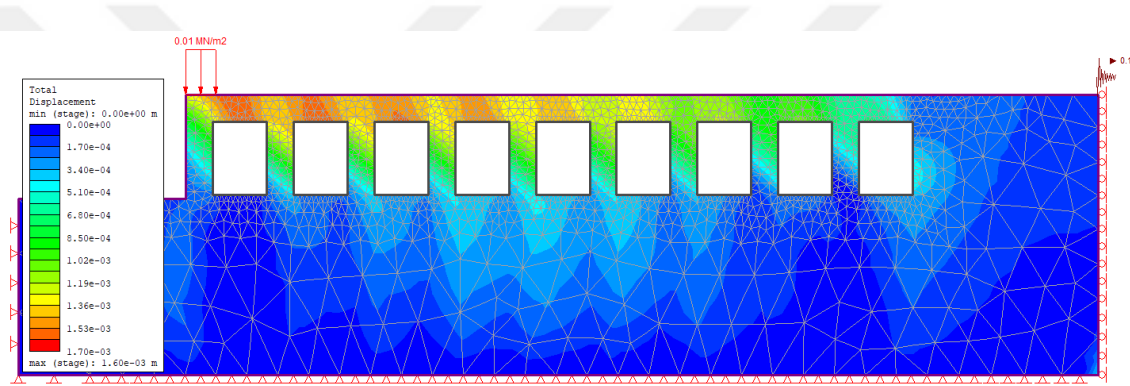
Şekil 5.3 . A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-  
Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 incelendiğinde A-A' kesit hattında statik durumda oluşabilecek maksimum asal gerilme 0.61 MPa iken, dinamik koşulda 0.66 MPa'ya yükselmektedir. Bunun yanı sıra çekme dayanımları açısından değerlendirildiğinde statik koşulda loca tavanlarında oluşan maksimum çekme gerilmesi -0.02 MPa'dır. Dinamik koşul için çekme gerilmesi -0.01 MPa'a düşmektedir.

A-A' kesit hattındaki statik ve dinamik koşul için belirlenen toplam yerdeğiştirme dağılımları Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te sunulmuştur. Söz konusu şekiller incelendiğinde toplam yerdeğiştirmelerin kaya oyma depoların giriş kesimine yakın kesimdeki loca tavanlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu yoğunlaşmada locaların üstünde çatı amaçlı yapılan kolondan kaynaklı yük aktarımının da önemli oranda etkisi bulunmaktadır. Statik koşulda localar etrafında oluşabilecek maksimum toplam yerdeğiştirme 1.4 mm'dir. Dinamik durumda yerdeğiştirme miktarı 1.7 mm'ye yükselmektedir. Toplam yerdeğiştirme dağılımlarında dikkat çeken diğer bir husus da statik koşulda toplam yerdeğiştirmeler en iç kesimdeki locaların etrafında dahi gözlenebilirken, dinamik yani depremlili durumda yerdeğiştirmelerin loca tavanlarında ve kaya oyma depoların koridor girişine doğru yoğunlaşmasıdır. Toplam yerdeğiştirme değerlerinin açıklık tavanındaki dağılımı Ek bölümünde sunulan grafikler üzerinde daha açık şekilde görülebilecektir.

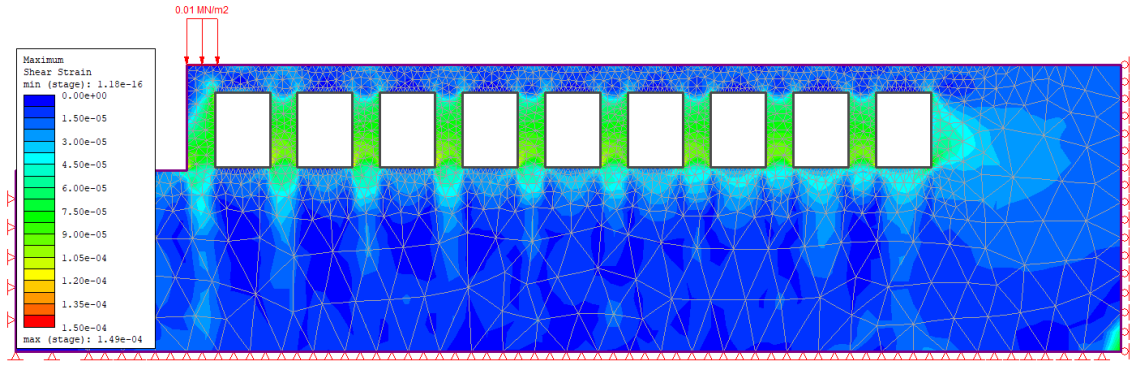


Şekil 5.4. A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

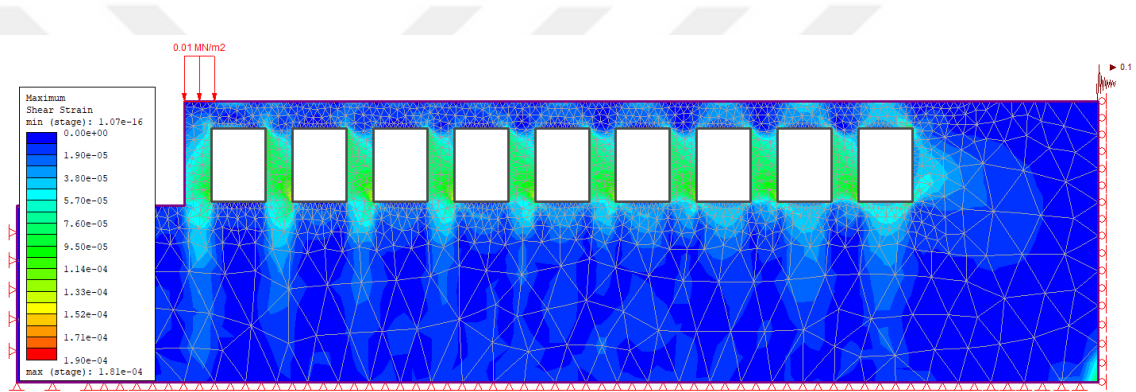


Şekil 5.5. A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

A-A' kesit hattındaki localar etrafında oluşacak maksimum maksaslama deformasyonu dağılımı statik ve dinamik koşullar için Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'te verilmektedir. Gerek depremlili ve gerekse depremsiz koşullar için incelenen modeldeki maksimum maksaslama deformasyonlarının dağılımına bakıldığında maksimum maksaslama deformasyonlarının localar arasındaki duvar kesimlerinde yoğunlaştığı görülecektir. Localar arasındaki bu duvarların aynı zamanda birer taşıyıcı eleman gibi davrandığı düşünülürse maksaslama gerilmelerinin bu bölümlerde gelişmesi oldukça olağandır. Statik ve dinamik koşullarda oluşan maksimum maksaslama deformasyonlarının değerleri arasında belirgin bir fark olmadığı da tespit edilmiştir.

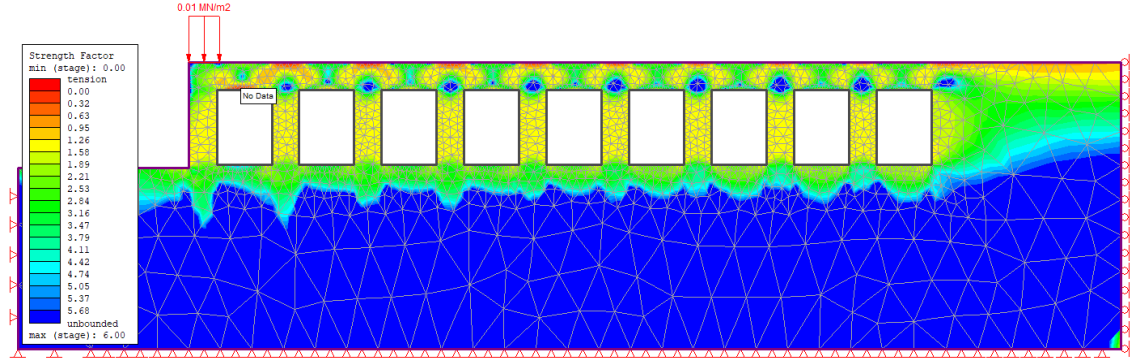


Şekil 5.6 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

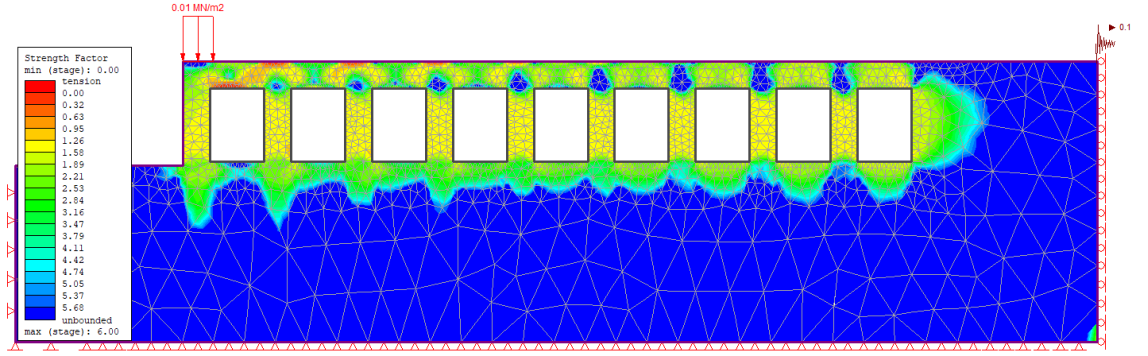


Şekil 5.7. A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

RS2 yazılımında dayanım faktörü (strength factor) belirli düzeydeki malzeme dayanımının, o düzeyde etkili olan gerilmeye oranı şeklinde ifade edilmektedir. Dayanım faktörünün 1'den yüksek olması, malzeme dayanımının etkili olan gerilme şartlarından daha yüksek olduğunun bu nedenle bir yenilmenin gerçekleşmeyeceğinin işareti olarak algılanabilir. Tersisi durum (dayanım faktörü <1) için ise malzemenin yenilmesi olasıdır. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da statik ve dinamik koşulda A-A' hattı boyunca elde edilen kaya oyma depo kesiti boyunca belirlenen dayanım faktörü dağılımları gösterilmektedir. Yapılan analizler sonucunda loca tavan kesimlerinde dayanım faktörü değerlerinin hem statik hem de dinamik koşul için 1'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Dayanım faktörü değerleri ilk ve son localarda daha düşükken, orta localara doğru bu değerler yükselmektedir. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'deki dayanım faktörü modellerinde loca tavanlarında gözlenen kırmızı renkli kesimler yenilecek kesimleri değil, çekme gerilmesi oluşan bölgeleri göstermektedir.



Şekil 5.8 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



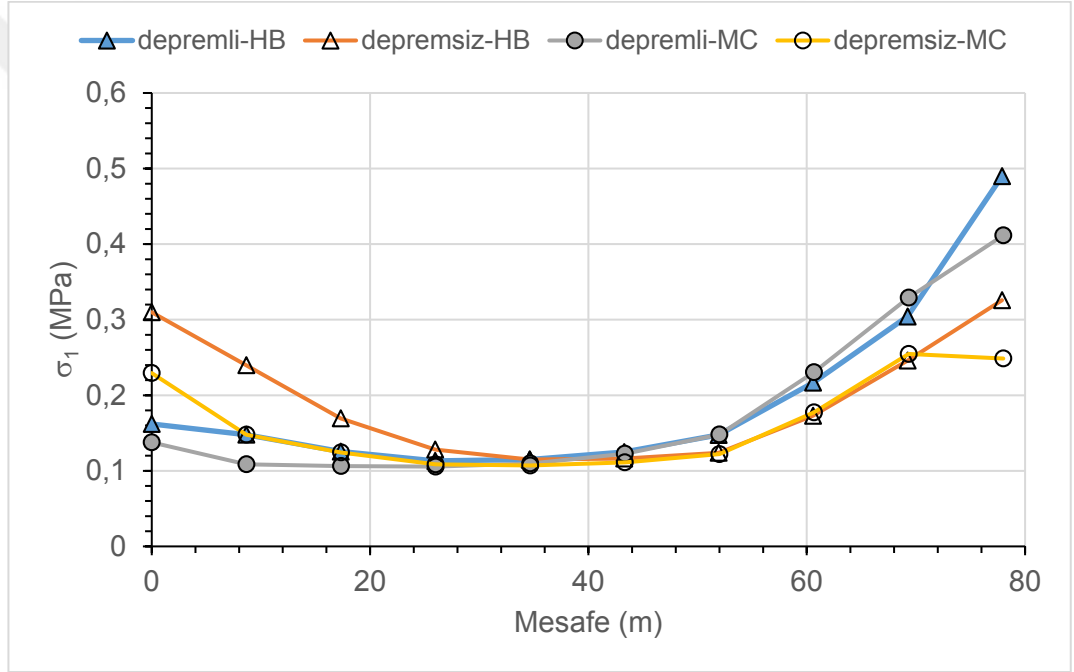
Şekil 5.9 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

### 5.1.1. A-A' Kesit hattı için Hoek-Brown (HB) ve Mohr-Coulomb (MC) yenilme ölçütleriyle gerçekleştirilen analiz sonuçlarının karşılaştırılması

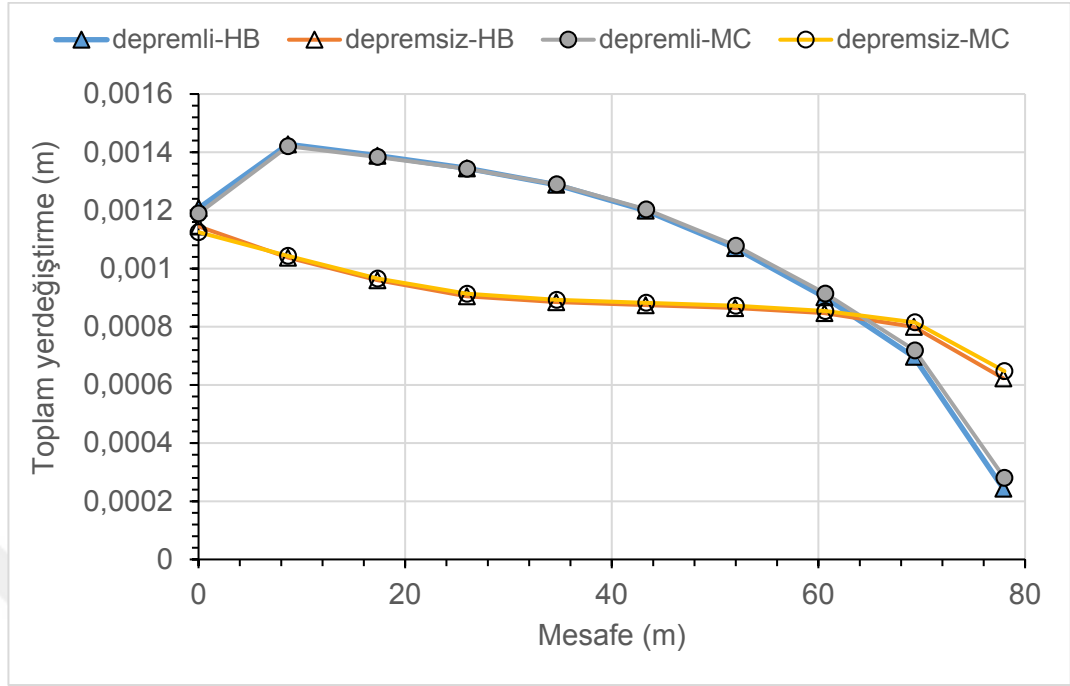
Daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere, sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilen analizlerde Genelleştirilmiş Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb yenilme ölçütleri kullanılmıştır. Söz konusu iki farklı yenilme ölçütünün analiz sonuçları üzerindeki etkisi bu bölümde değerlendirilmiştir. Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.13'de loca tavanlarında oluşan maksimum asal gerilme, toplam yerdeğiştirme ve dayanım faktörü değerlerinin tüm loca tavanını kesen hat boyunca değişimi farklı yenilme ölçütüne ve statik-dinamik koşullara göre verilmiştir. Şekil 5.12'de ise maksimum makaslama deformasyonu değerlerinin makaslama deformasyonlarının loca duvarlarında yoğunlaşması sebebiyle loca duvarlarını orta noktadan kesen bir hat boyunca değişimi gösterilmektedir.



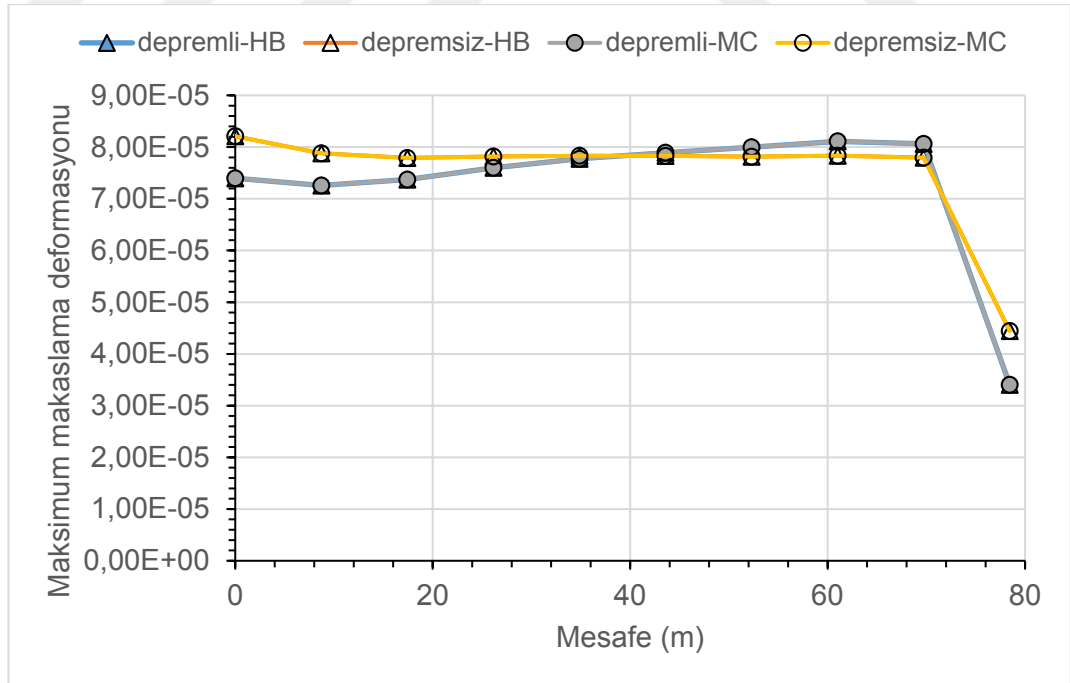
Şekil 5.10 incelendiğinde ilk locaların bulunduğu giriş kesimde (0 noktası) maksimum asal gerilme değerlerinin Hoek-Brown ölçütü ile hem depremlili hem de depremsiz koşul için daha yüksek olarak bulunduğu görülmektedir. Orta localara doğru (girişten 30-40 m'ler arası) her iki yenilme ölçütü ile benzer değerlerin elde edildiği görülmektedir ve dinamik etkenler maksimum asal gerilme üzerinde önemli bir etki yaratmamaktadır. Dip localara doğru ise yeniden maksimum asal gerilme değerlerinin yenilme ölçütüne ve statik-dinamik koşula bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Bu kesimde en yüksek gerilme değeri 0.5 MPa olarak dinamik koşul için Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre belirlenmiştir.



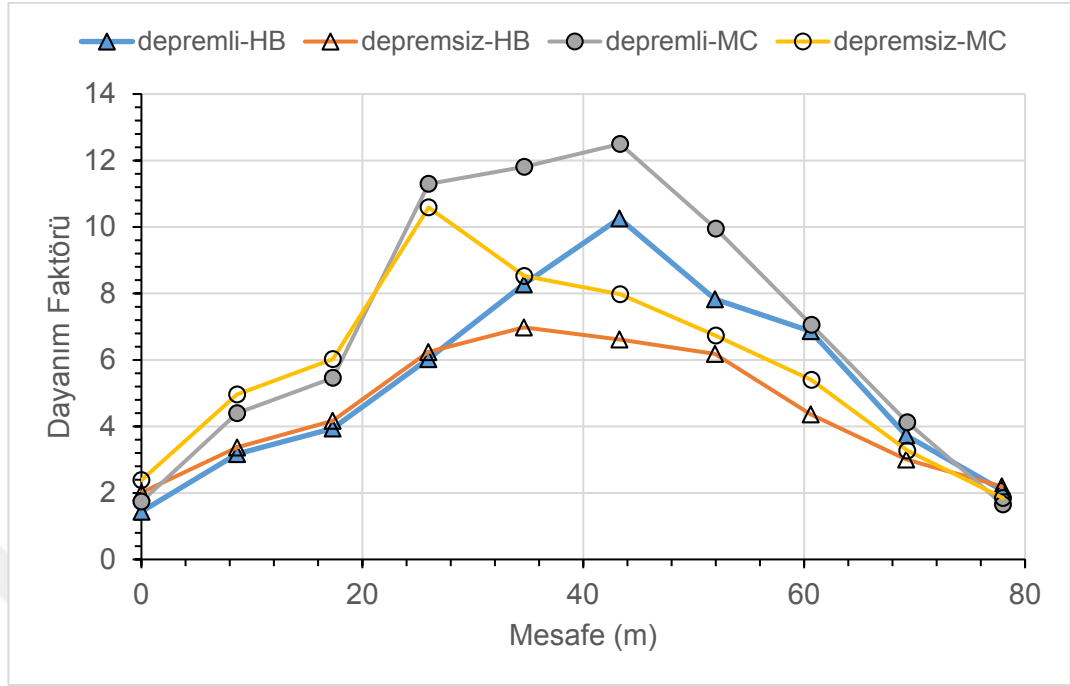
Şekil 5.10 A-A' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) değerlerinin değişimi



Şekil 5.11 A-A' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen toplam yerdeğiştirme değerlerinin değişimi



Şekil 5.12 . A-A' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca duvarlarında belirlenen maksimum maksaslama deformasyonu değerlerinin değişimi



Şekil 5.13 A-A' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen dayanım faktörü değerlerinin değişimi

Şekil 5.11'de sunulan loca tavanlarındaki toplam yerdeğiştirme dağılımı incelendiğinde ise her iki yenilme ölçütü ile neredeyse benzer değerlerin elde edildiği gözle çarpılmaktadır. Diğer bir ifadeyle yenilme ölçütü değişimi toplam yerdeğiştirmeler üzerinde etkili olmamıştır. Ancak, bu analizlerde dinamik koşullarda her iki yenilme ölçütünde de statik koşula oranla daha yüksek toplam yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Dinamik durumda başlangıç locaları ile dip localar arasındaki toplam yerdeğiştirme miktarları daha belirgin şekilde değişirken, statik koşulda ise dip localara doğru toplam yerdeğiştirme değişimi daha azdır.

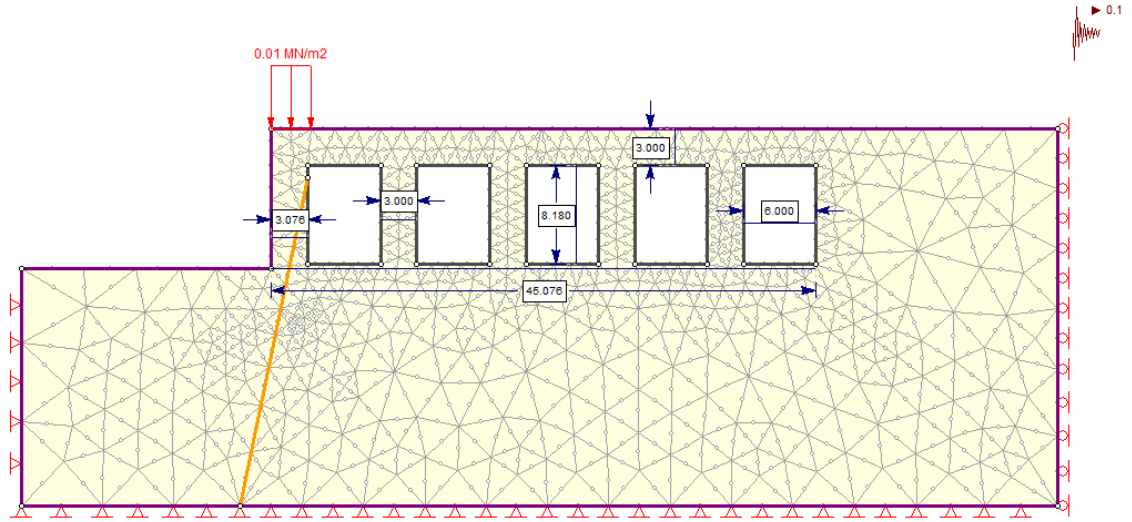
Şekil 5.12'de A-A' kesit hattındaki locaların duvar kesiminin ortasından geçen, diğer bir ifade ile localarının orta noktasından geçen hat üzerindeki maksimum makaslama deformasyonu değerlerinin değişimleri farklı yenilme ölçütlerine ve statik-dinamik koşullara göre sunulmuştur. Daha önce de vurgulandığı gibi, soğuk hava deposu için locaların oluşturulduğu kaya kütlelerinde maksimum makaslama deformasyonları taşıyıcı özelliğe sahip olan loca duvarlarında yoğunlaşmaktadır. Şekil 5.11'den de görüleceği üzere, toplam yerdeğiştirme değerlerinde olduğu gibi, her iki yenilme ölçütü ile yapılan analizler sonucunda oldukça benzer makaslama deformasyonu değerleri elde edilmiştir. Depremsiz (statik) koşullarda ilk localarda makaslama deformasyon değerleri biraz daha

yüksektir. Kaya oyma depoların orta bölümlerinden itibaren dinamik koşullardaki makaslama deformasyon değerleri yükselmiştir. Son locadan itibaren ise tekrar statik koşula ait maksimum makaslama deformasyonu değerleri yüksek olarak bulunmuştur.

Şekil 5.13’de dayanım faktörü değerlerinin loca tavanları boyunca değişimi verilmektedir. İncelenen parametreler arasında yenilme ölçütlerinin en belirgin şekilde etkili olduğu parametrenin dayanım faktörü olduğu dikkati çekmektedir. İlk ve son localarda yenilme ölçütünün etkisi daha azken, orta bölümdeki localara doğru yenilme ölçütünün sonuçlar üzerinde daha etkili olduğu dikkati çekmektedir. Orta bölümdeki localarda Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile yapılan hesaplamalarda daha yüksek dayanım faktörü değerleri elde edilmiştir. Özellikle dinamik koşulda MC yenilme ölçütü ile saptanan dayanım faktörü değeri 12’yi aşmaktadır. Aynı noktada HB yenilme ölçütü dayanım faktörü olarak 10 değerini sunmuştur. Statik koşullar için de MC yenilme ölçütü daha yüksek dayanım faktörü değeri ortaya koymaktadır. Sadece en son locada HB yenilme ölçütü değeri ile belirlenen dayanım faktörü, MC yenilme ölçütünden bulunan değere göre çok az miktarda yüksek bulunmuştur.

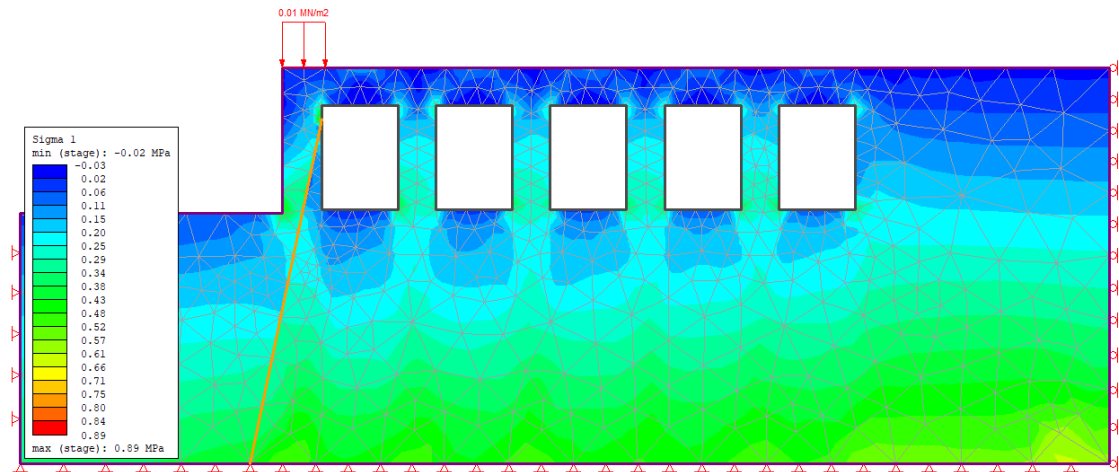
## **5.2. B-B’ Kesit hattı boyunca yapılan sonlu elemanlar analizleri**

B-B’ kesit hattına ait sonlu elemanlar yazılımında kullanılan model Şekil 5.12’de sunulmaktadır. Şekil 5.12’de sunulan model incelendiğinde, B-B’ kesit hattında 5 adet 6’şar m genişliğinde ve 8.20 m yüksekliğinde loca bulunduğu görülmektedir. Localar arası duvar kalınlığı diğer kesit hattında olduğu gibi 3 m’dir. Locaların üstünde yaklaşık olarak yatay bir topoğrafya bulunmakta olup, loca tavanlarının üzerindeki örtü yükü yüksekliği 3 m’dir. Öte yandan, arazi incelemeleri sırasında locaların giriş kesiminde bir adet süreksizlik gözlemlenmiş olup, bu süreksizlik loca tavanlarını kesmemektedir. Bu süreksizliğin makaslama dayanımı RS2 analizlerinde, Barton ve Bandis görgül yenilme ölçütü ile tanımlanmıştır. Buna göre, arazi incelemeleri sırasında yapılan Schmidt çekici deney sonuçları doğrultusunda süreksizlik yüzey dayanımı (JCS) 10 MPa, süreksizlik pürüzlülük katsayısı (JRC) 8, rezidüel sürtünme açısı ( $\phi_r$ ) 28 olarak dikkate alınmıştır.

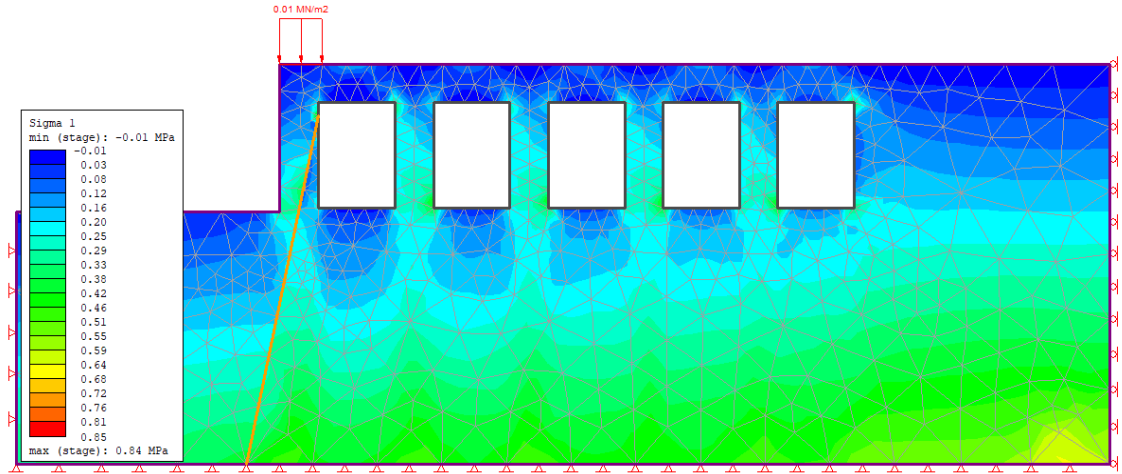


Şekil 5.14. B-B' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar

RS2 yazılımında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri sonucunda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre Tablo 4.2'deki veriler kullanılarak yapılan B-B kesitindeki analizler sonucunda veriler elde edilmiştir. Kaya oyma depo çevresinde bu veriler kullanılarak elde edilen statik (depremsiz) ve dinamik (depremlı) koşullarda oluşacak asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı sonuçları Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



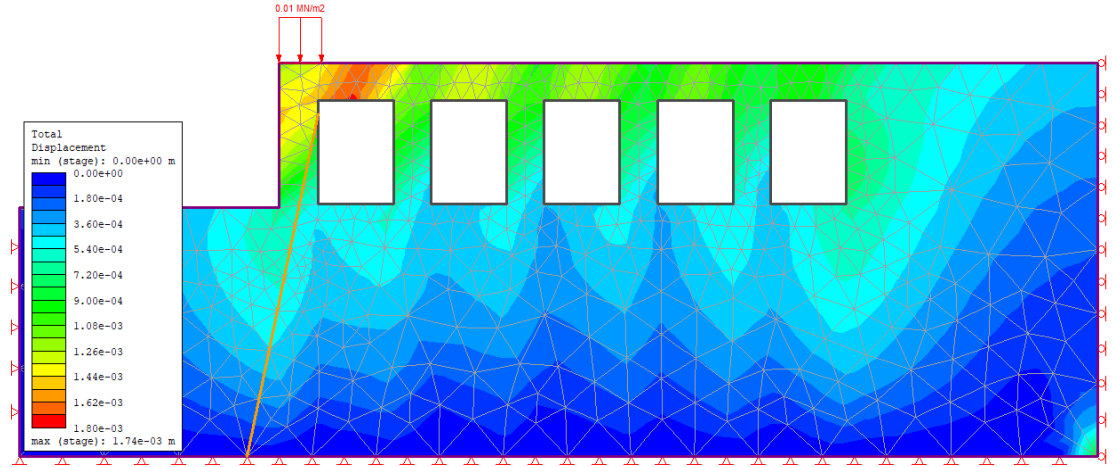
Şekil 5.15. B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



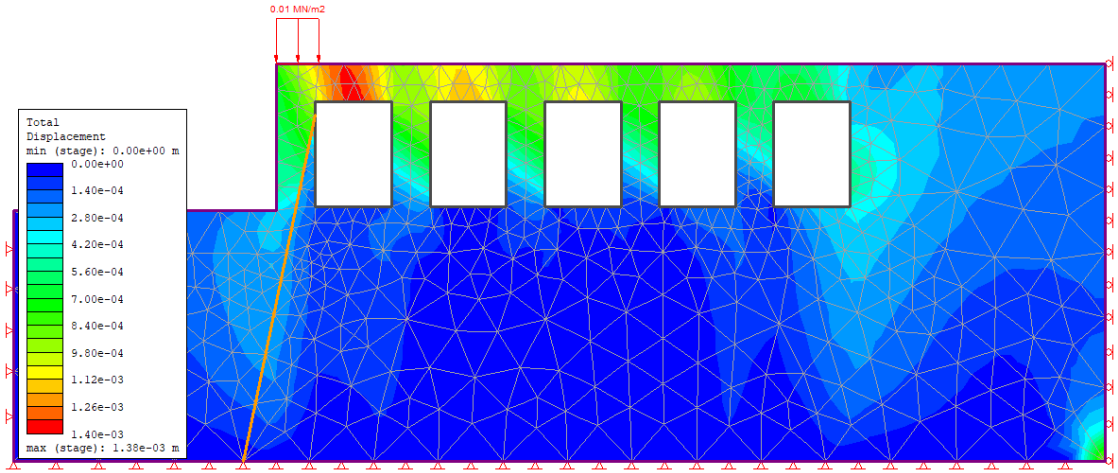
Şekil 5.16 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-  
Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'ya göre B-B' kesit hattında statik durumda oluşabilecek maksimum asal gerilme 0.89 MPa iken, dinamik koşulda bu değer 0.84 MPa'ya düşmektedir. Bunun yanı sıra çekme dayanımları açısından değerlendirildiğinde statik koşulda loca tavanlarında oluşan maksimum çekme gerilmesi -0.02 MPa'dır. Dinamik koşul için çekme gerilmesi -0.01 MPa'a düşmektedir.

B-B' kesit hattındaki statik ve dinamik koşul için belirlenen toplam yerdeğiştirme dağılım modeli Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de sunulmuştur. İki şekilde de görüldüğü gibi toplam yerdeğiştirmelerin kaya oyma depoların giriş kesimine yakın kesimdeki loca tavanlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu yoğunlaşmada locaların üstünde çatı amaçlı yapılan kolondan kaynaklı yük aktarımının önemli oranda etkisi bulunmaktadır. Statik koşulda localar etrafında oluşabilecek maksimum toplam yerdeğiştirme 1.74 mm'dir. Dinamik durumda yerdeğiştirme miktarı 1.38 mm'ye düşmektedir. Toplam yerdeğiştirme dağılımlarında dikkat çeken diğer bir husus da statik koşulda toplam yerdeğiştirmeler dinamik yani depremlilik durumda yerdeğiştirmelerden daha azdır. Aynı zamanda dinamik koşulda özellikle ilk loca tavanında yoğun bir yerdeğiştirme söz konusudur. Toplam yerdeğiştirme değerlerinin açıklık tavanındaki dağılımı Ek bölümünde sunulan grafikler üzerinde daha açık şekilde görülebilecektir. Son olarak, kaya oyma depoların girişindeki süreksizliğin loca tavanını ve loca ön duvarını kesmemesi sebebiyle önemli bir yerdeğiştirmeye neden olmamıştır.

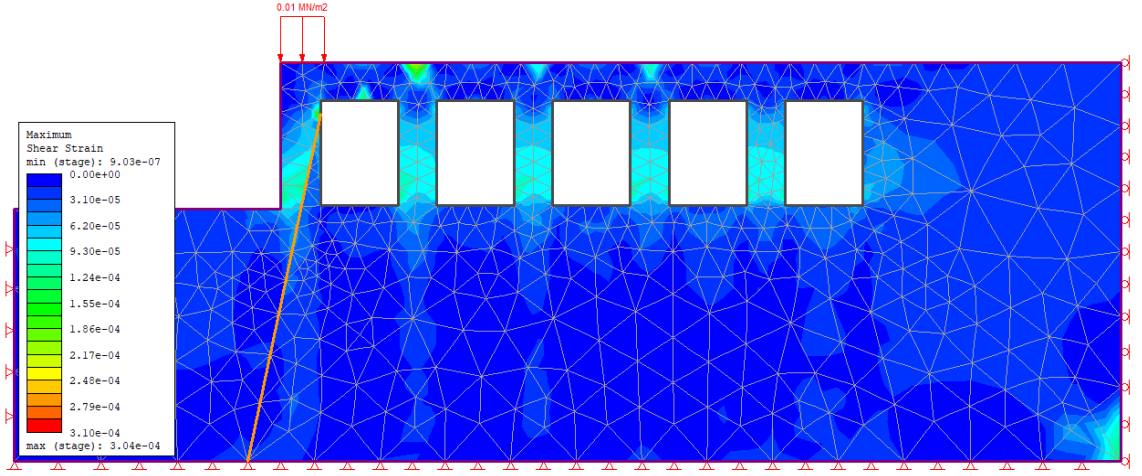


Şekil 5.17 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

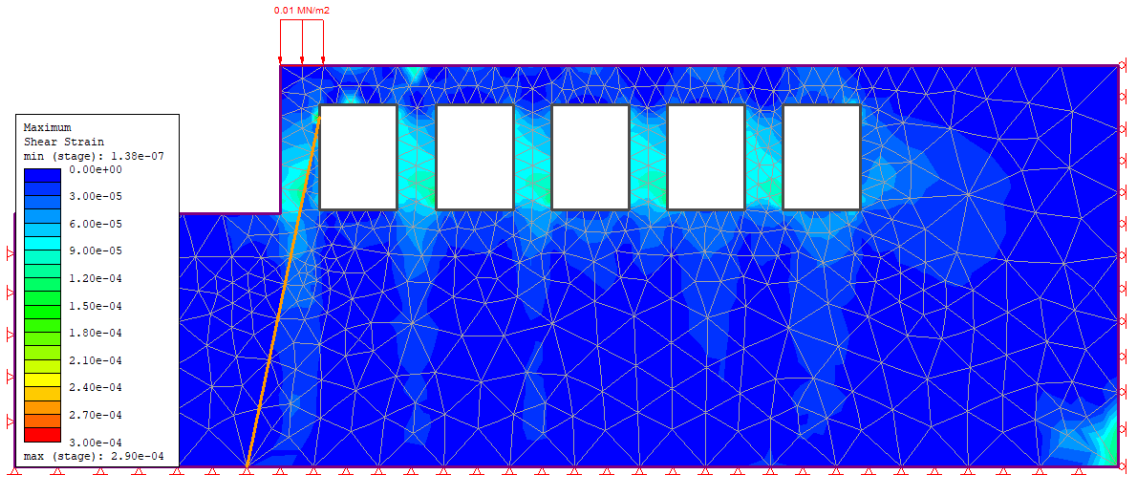


Şekil 5.18. B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

B-B' kesit hattındaki localar etrafında oluşacak maksimum makaslama deformasyonu dağılımını statik ve dinamik koşullar için Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de verilmektedir. B-B kesiti içinde A-A kesitinde olduğu gibi gerek dinamik ve gerek statik koşullar için incelenen modeldeki maksimum makaslama deformasyonlarının dağılımına bakıldığında maksimum makaslama deformasyonlarının yine localar arasındaki duvar kesimlerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Statik ve dinamik koşullarda oluşan maksimum makaslama deformasyonlarının değerleri arasında belirgin bir fark olmadığı da tespit edilmiştir.



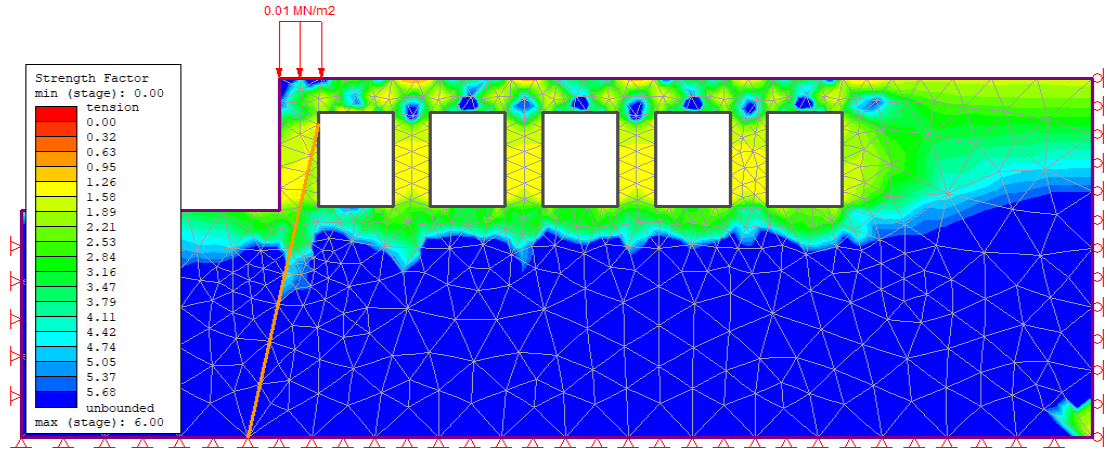
Şekil 5.19. B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



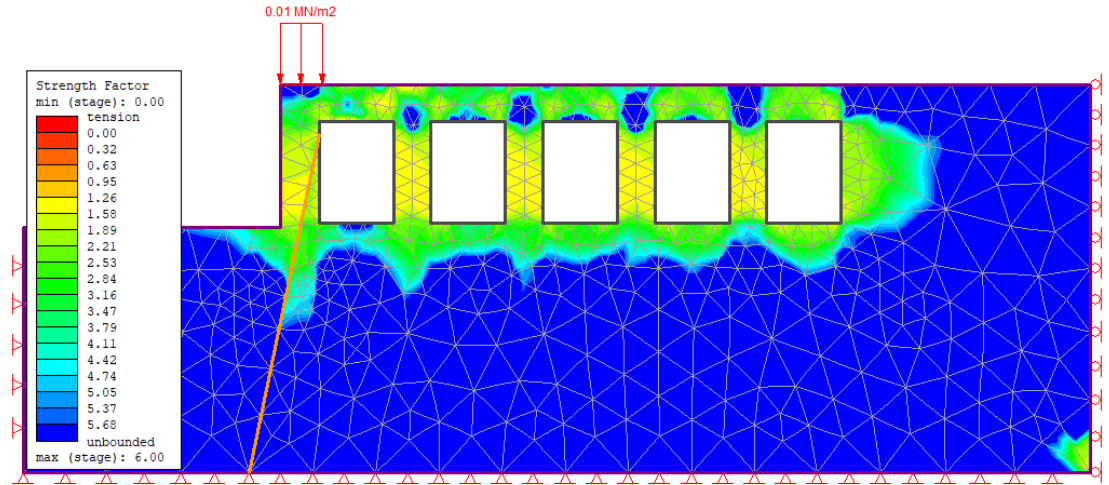
Şekil 5.20 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de statik ve dinamik koşulda B-B' hattı boyunca elde edilen kaya oyma depo kesiti boyunca belirlenen dayanım faktörü dağılımları gösterilmektedir. Elde edilen verilere göre loca tavan kesimlerinde dayanım faktörü değerlerinin hem statik hem de dinamik koşul için minimum dayanım faktörünün dahi 1'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre malzeme dayanımının yeterli olduğu söylenebilir. Dayanım faktörü değerleri ilk ve son localarda daha düşükken, orta localara doğru bu değerler yükselmektedir.





Şekil 5.21 B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



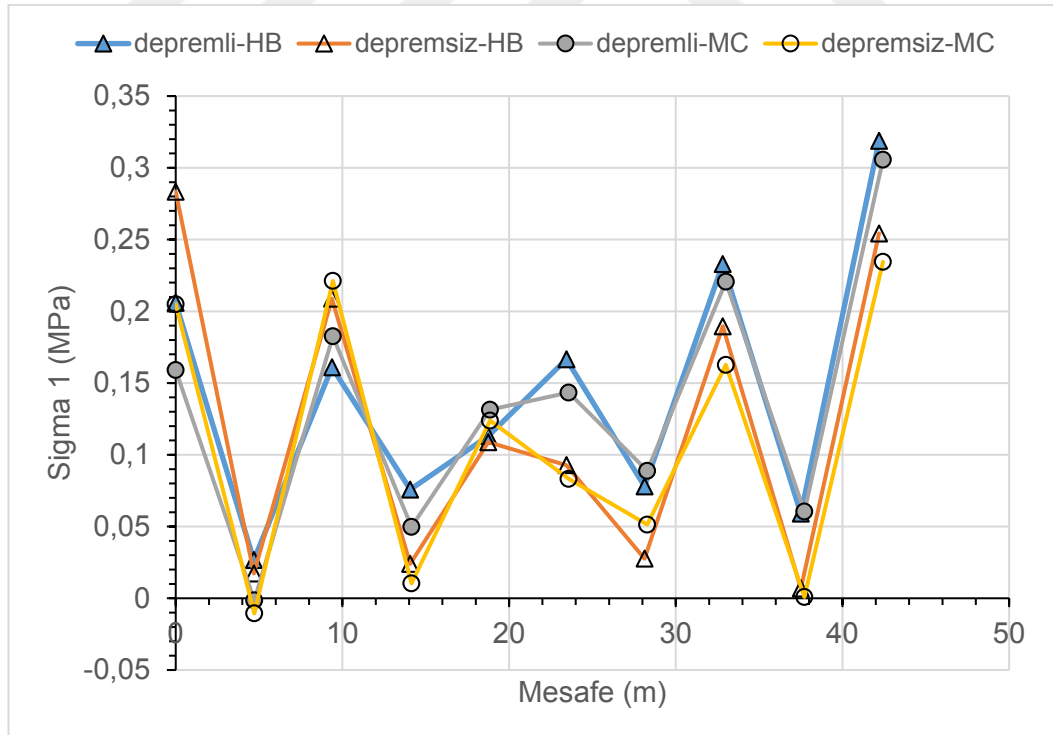
Şekil 5.22 B-B'kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

### 5.2.1. B-B' Kesit hattı için Hoek-Brown (HB) ve Mohr-Coulomb (MC) yenilme ölçütleriyle gerçekleştirilen analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Genelleştirilmiş Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb yenilme ölçütleri kullanılarak yapılan analizlerde farklı yenilme ölçütünün sonuçları üzerindeki etkisi B-B' hattı için bu bölümde değerlendirilmiştir. Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.26'da loca tavanlarında oluşan maksimum asal gerilme, toplam yerdeğiştirme ve dayanım faktörü değerlerinin tüm loca tavanını kesen hat boyunca değişimi farklı yenilme ölçütüne ve statik-dinamik koşullara göre verilmiştir. Şekil 5.25'te ise maksimum makaslama deformasyonu

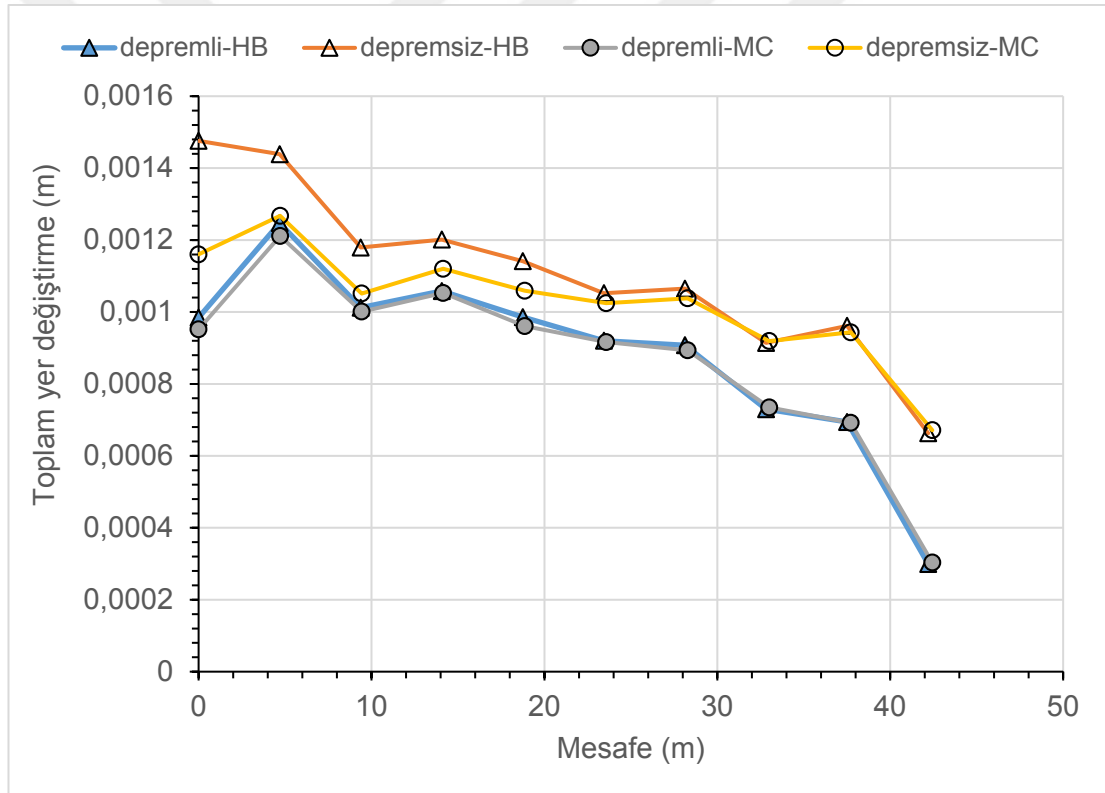
değerlerinin makaslama deformasyonlarının loca duvarlarında yoğunlaşması sebebiyle loca duvarlarını orta noktadan kesen bir hat boyunca değişimi gösterilmektedir.

Şekil 4.32’de Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb yenilme ölçütleri ile birbirine benzer bir asal gerilme dağılım grafiği ortaya konmuştur. Aynı zamanda dinamik ve statik koşullarda da  $\sigma_1$  değerleri arasında önemli bir farklılık bulunmamaktadır. Grafikte dikkati çeken en önemli husus giriş kısmından itibaren yaklaşık 5. metrede  $\sigma_1$  değerinin (-) değere düşmesidir. Bu sonuç, locanın bu kesiminde çekme gerilmelerinin oluştuğunu ifade etmektedir. Locaların orta kısımlarında doğru asal gerilmeler inişli çıkışlı bir grafik sergilemiştir. Bu durum, A-A’ kesit hattında gözlenen eğilimden biraz daha farklıdır. Bunun en önemli nedeni, bu kesit hattında grafik için elde edilen değerlerin loca tavan ortası ve loca kenarlarından elde edilmiş olmasıdır. Localar dikdörtgen kesitli planlandıklarından, loca tavan köşelerinde gerilim yoğunlaşmaları olması oldukça olağandır. Diğer bir ifade ile asal gerilmelerin arttığı kesimler loca tavan köşelerine denk gelmektedir.



Şekil 5.23B-B’ kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) değerlerinin değişimi

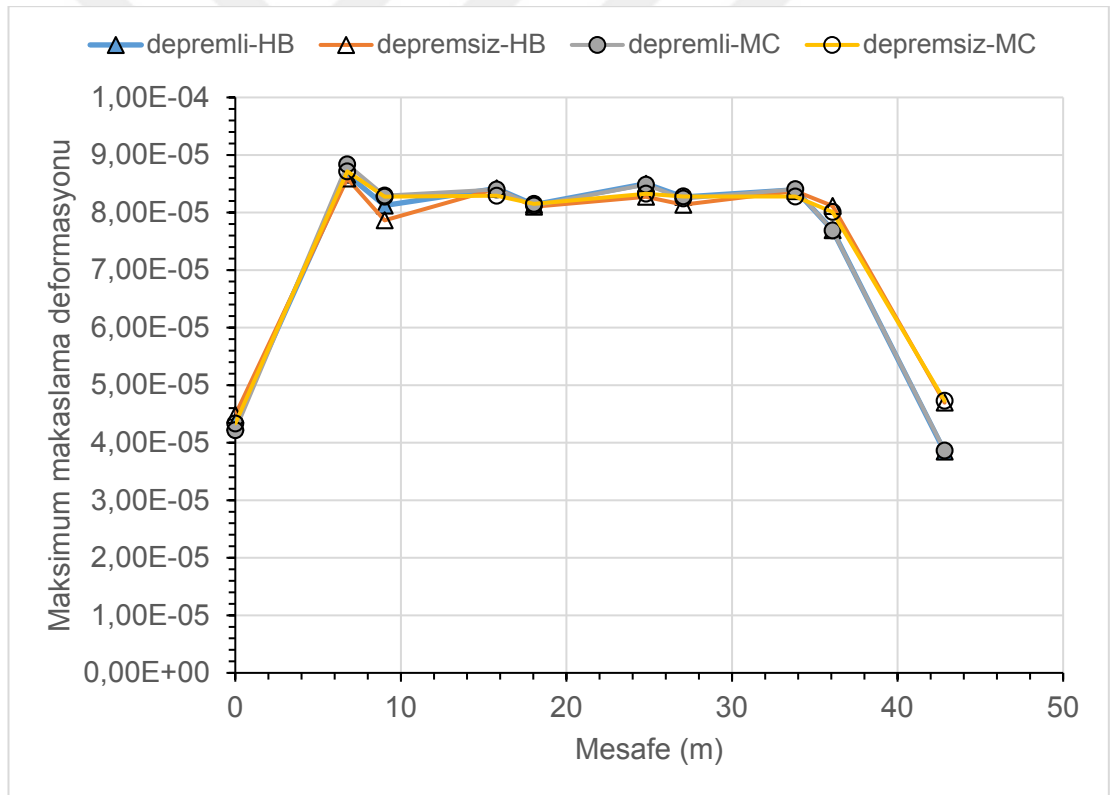
Şekil 5.24’de sunulan B-B kesitindeki yer değiştirme grafiğine baktığımızda Hoek-Brown yenilme ölçütü ile belirlenen depremsiz durumdaki yer değiştirme değeri depremlı duruma göre daha yüksektir. Toplam yer değiştirme dip localara doğru gidildikçe azalmaktadır. Bunun yanı sıra asal gerilme grafiğinde olduğu gibi toplam yer değiştirme grafiğinde de Hoek-Brown yenilme ölçütü ile Mohr-Coulomb yenilme ölçütü benzer sonuçlar sunmuştur. Sadece giriş kısmındaki localarda Hoek-Brown ölçütü depremsiz durumda daha yüksek toplam yerdeğiştirme değeri ortaya koymuştur. Başlangıç noktasındaki ve ilk locadaki toplam yerdeğiştirme değerlerinin diğer localara göre yüksek olması çatı yükünün ve giriş bölümündeki süreksizliğin yerdeğiştirme üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.24 B-B’ kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen toplam yerdeğiştirme değerlerinin değişimi

Şekil 5.25’de B-B’ kesit hattındaki localarda diğer bir ifade ile localarının orta noktasından geçen hat üzerindeki maksimum makaslama deformasyonu değerlerinin değişimleri farklı yenilme ölçütlerine ve statik-dinamik koşullara göre sunulmuştur. Daha önce de vurgulandığı gibi, soğuk hava deposu için locaların oluşturulduğu kaya kütlelerinde maksimum makaslama deformasyonları taşıyıcı özelliğe sahip olan loca

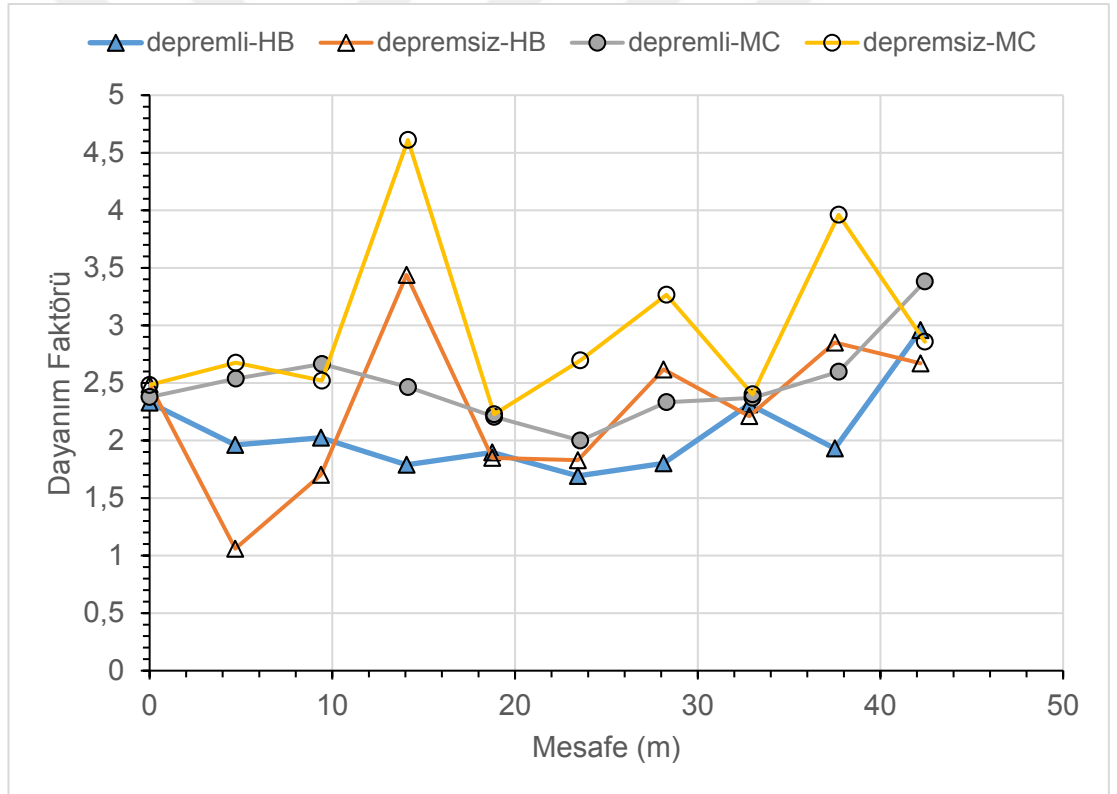
duvarlarında yoğunlaşmaktadır. Şekil 5.25'ten de görüleceği üzere, her iki yenilme ölçütü ile yapılan analizler sonucunda oldukça benzer maksimum makaslama birim deformasyonu değerleri elde edilmiştir. Depremlili (dinamik) ve depremsiz (statik) koşullarda ilk localarda makaslama deformasyon değerleri neredeyse birbirinin aynı iken 6. metreden sonra ani bir artış gözlenmiş, orta bölümlerinden itibaren dinamik koşullardaki makaslama deformasyon değerleri statik koşula göre biraz daha yükselmiştir. Son locadan itibaren ise statik koşul için maksimum makaslama deformasyonu değerleri biraz daha yüksek olarak bulunmuştur. Ancak her iki yenilme ölçütü ve her iki koşulda da son locaya doğru kaya kütlelerinin boşluklu yapısının azalmasına bağlı olarak maksimum makaslama deformasyonu da ani bir şekilde düşmektedir.



Şekil 5.25. B-B' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca duvarlarında belirlenen maksimum makaslama deformasyonu değerlerinin değişimi

Şekil 5.26'te dayanım faktörü değerlerinin loca tavanları boyunca değişimi verilmektedir. Her iki yenilme ölçütünün en belirgin şekilde etkili olduğu parametre bu kesit hattı için de yine dayanım faktörüdür. Localarda sonlu elemanlar yöntemine göre belirlenen dayanım faktörü değerleri değerlendirildiğinde Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre

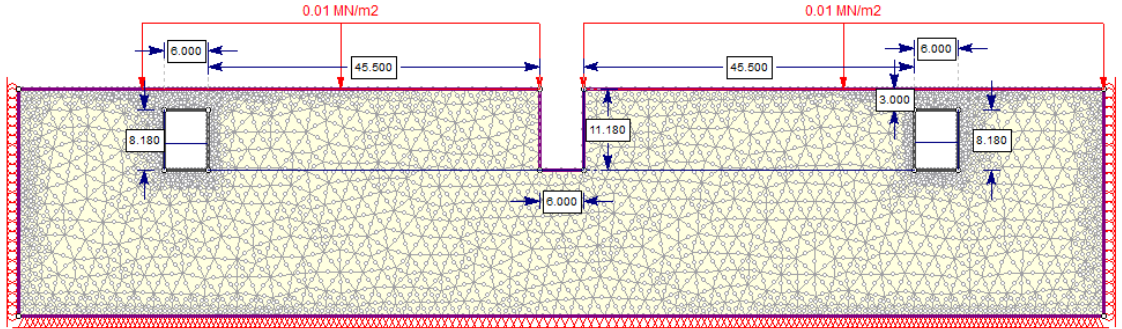
Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile yapılan hesaplamalar daha yüksek dayanım faktörü değerleri vermiştir. Özellikle statik koşulda MC yenilme ölçütü ile saptanan dayanım faktörü değeri 4.7'ye yaklaşırken, aynı noktada HB yenilme ölçütü ile 3.5 civarında bir dayanım faktörü elde edilmiştir. Dinamik koşullar için de MC yenilme ölçütü HB yenilme ölçütüne göre daha yüksek dayanım faktörü değeri ortaya koymaktadır. Dayanım faktörü grafiği genel olarak incelendiğinde dalgalı bir eğilim sergilemektedir. Zaman zaman localar boyunca dayanım faktörü değerleri düşerken, bazı bölümlerde yükselmektedir. Ancak genel olarak, dayanım faktörü değeri 1'in üzerindedir. Sadece, depremsiz durumda HB yenilme ölçütü ile giriş kısmındaki locada dayanım faktörü 1'e yaklaşmıştır.



Şekil 5.26. B-B' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen dayanım faktörü değerlerinin değişimi

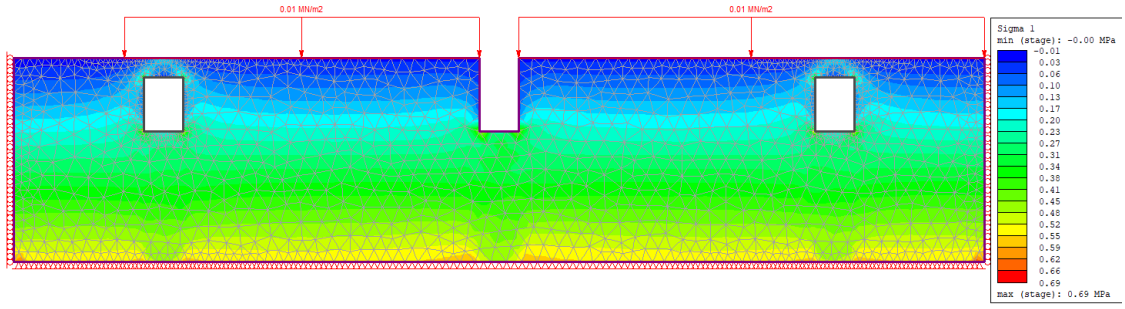
### 5.3. C-C' Kesit hattı boyunca yapılan sonlu elemanlar analizleri

C-C' kesit hattına ait RS2 yazılımında hazırlanan model Şekil 5.27'de sunulmaktadır. Şekil 5.27'de sunulan C-C' kesit hattı, locaların giriş kesimindeki duvar bölümünün üzerine denk gelmektedir. A-A' ve B-B' kesitleri kaya oyma depo localarını dik olarak keserken, C-C' kesiti localara paralel olacak şekilde 3 ayrı koridoru dik kesmektedir. Şekil 5.27'te sağ ve sol bölümünde gösterilen açıklıklar locaların giriş bölümündeki koridorları temsil etmektedir. Orta bölümde ise loca girişlerinin orta kesimindeki tavan kesim kaldırılarak loca kazıları gerçekleştirilecektir. Koridor boyutları 8.18 m yüksekliğinde ve 6'şar m genişliğindedir. Orta bölümdeki koridorda ise tavan olmadan yükseklik 11.18 m'ye yükselmektedir. Loca tavanlarının üzerindeki örtü yükü yüksekliği bu bölümde de 3 m'dir. Öte yandan, locaların ön bölümünde yapılacak çatı için oluşturulacak ayakların kaya oyma depo üzerinde oluşturacağı ilave gerilme ( $0.01 \text{ MN/m}^2$ ) tüm kesit boyunca etkili olmaktadır.

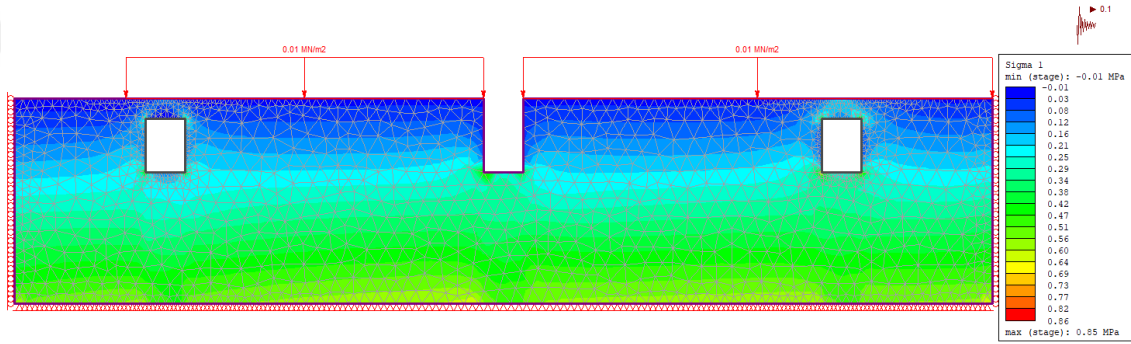


Şekil 5.27. C-C' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar

RS2 yazılımında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri sonucunda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütüne göre Tablo 4.2'deki veriler kullanılarak Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre kaya oyma depo çevresinde statik ve dinamik koşullarda oluşacak asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımları Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'da gösterilmektedir.



Şekil 5.28 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

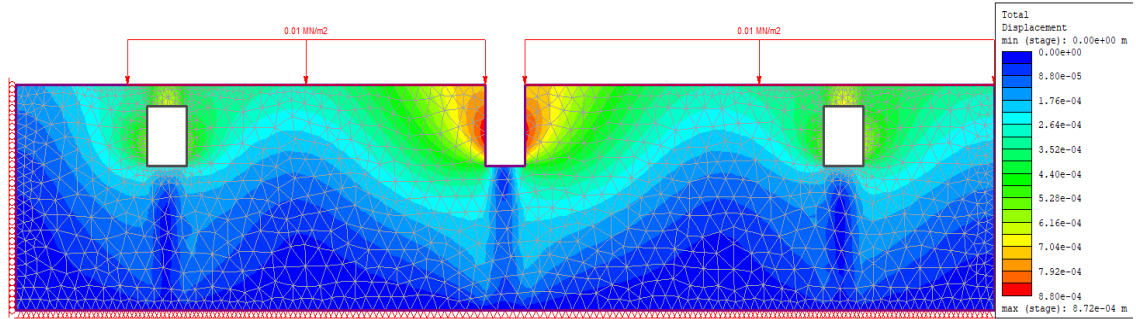


Şekil 5.29. C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

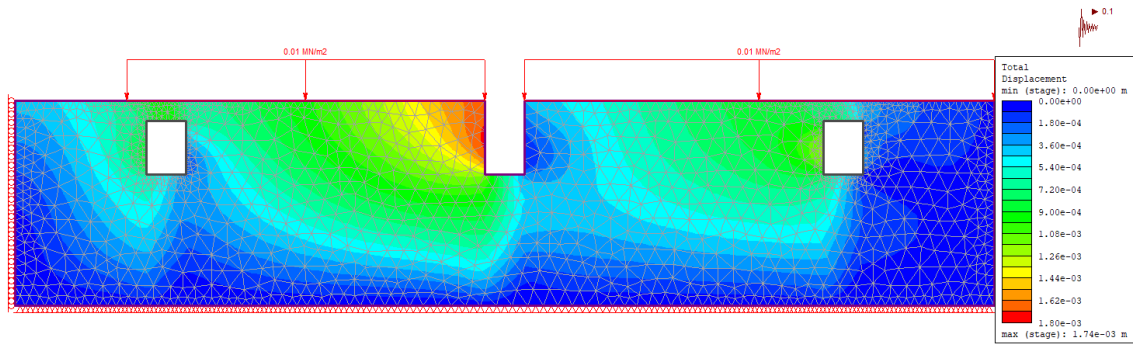
Şekil 5.28 ve Şekil 5.29 incelendiğinde C-C' kesit hattında statik durumda oluşabilecek maksimum asal gerilme 0.69 MPa iken, dinamik koşulda 0.85 MPa'ya yükselmektedir. Bunun yanı sıra çekme dayanımları açısından değerlendirildiğinde statik ve dinamik koşulda loca tavanlarında çekme gerilmesi oluşmamaktadır.

C-C' kesit hattındaki statik ve dinamik koşul için belirlenen toplam yerdeğiştirme dağılımları Şekil 5.30 ve Şekil 5.31'de sunulmuştur. Statik koşulda locaların koridor girişinde oluşabilecek maksimum toplam yerdeğiştirme 0.872 mm'dir. Dinamik durumda yerdeğiştirme miktarı 1.74 mm'ye yükselmektedir. Öte yandan, orta bölümdeki koridorda tavan kesiminin açık olması sebebiyle yerdeğiştirmeler orta koridor girişinde yoğunlaşmıştır. Statik koşulda orta koridorun her iki yan duvarında eşit bir yerdeğiştirme dağılımı gözlenirken, dinamik koşulda toplam yerdeğiştirmenin sol taraftaki duvarda yoğunlaştığı dikkati çekmektedir. Orta kısımdaki locaların girişinin üzerindeki bir nevi giriş vazifesi gören doğal örtü yükünün olmayışı toplam yerdeğiştirmelerin yan

duvarlarda yoğunlaşmasına sebep olan en önemli unsurdur. Dinamik durumdaki toplam yerdeğiştirme değeri statik duruma göre daha değişken bir durum sergilemiştir.



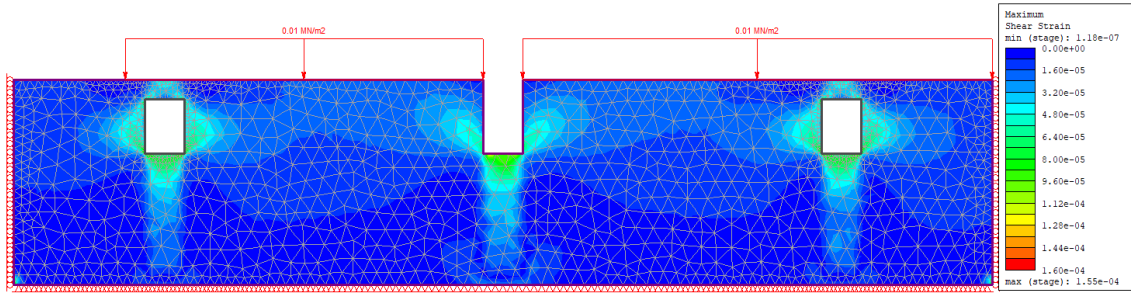
Şekil 5.30 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



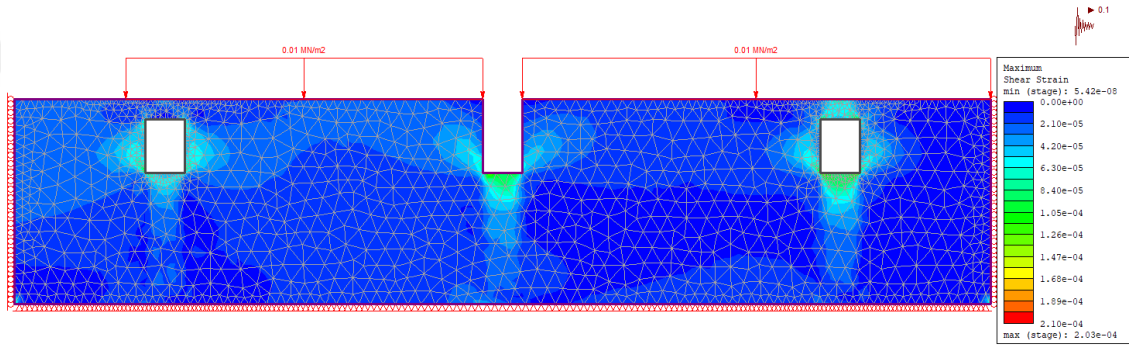
Şekil 5.31 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

C-C' kesit hattındaki localar etrafında oluşacak maksimum makaslama deformasyonu dağılımı depremsiz ve depremlı koşullar için Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'de gösterilmektedir. Gerek dinamik ve gerekse statik koşullar için incelenen modeldeki maksimum makaslama deformasyonlarının dağılımına bakıldığında maksimum makaslama deformasyonlarının sol ve sağ baştaki localar etrafında (tavan, taban ve yan duvarlar) arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda orta kısımdaki koridorda maksimum makaslama gerilmelerinin koridor tabanında arttığı gözlenmektedir. Statik ve dinamik koşullarda oluşan maksimum makaslama deformasyonlarının değerleri arasında belirgin bir fark olmadığı da saptanmıştır.



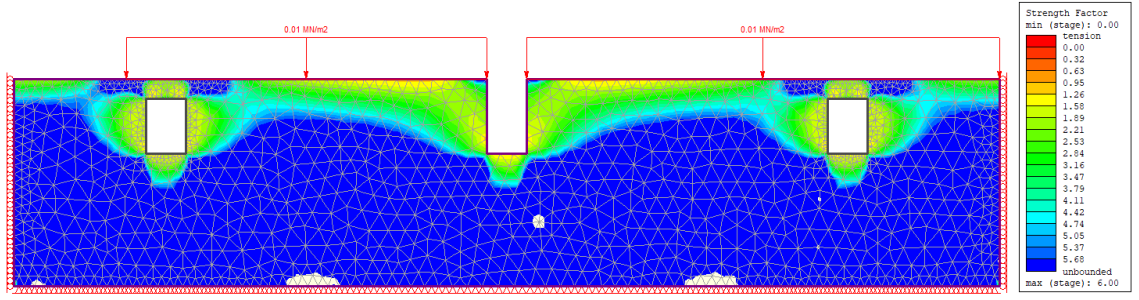


Şekil 5.32. C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

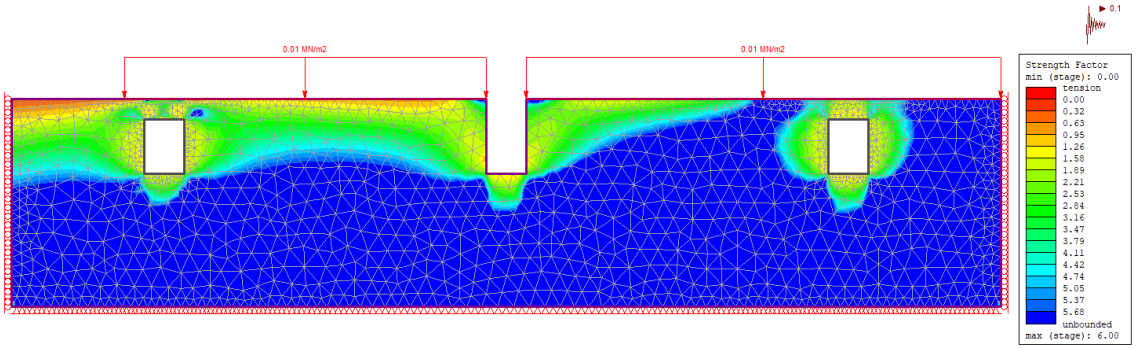


Şekil 5.33. C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'de statik ve dinamik koşulda C-C' hattı boyunca elde edilen kaya oyma depo kesiti boyunca belirlenen dayanım faktörü dağılımları gösterilmektedir. Yapılan analizler sonucunda loca tavan kesimlerinde dayanım faktörü değerlerinin hem statik hem de dinamik koşul için 1'den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum loca koridor girişinde çatıdan kaynaklı ilave statik gerilmeler ve dinamik koşulda deprem yüklerine bağlı olarak duraysızlık açısından bir sorun olmayacağını işaret etmektedir. Ancak, özellikle bu tür kaya oyma depolarda yüzey yakın kesimler atmosferik etkilere daha açık olduklarından zamana bağlı olarak kaya malzemesinde bir miktar dayanım kaybı olacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 5.34. C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

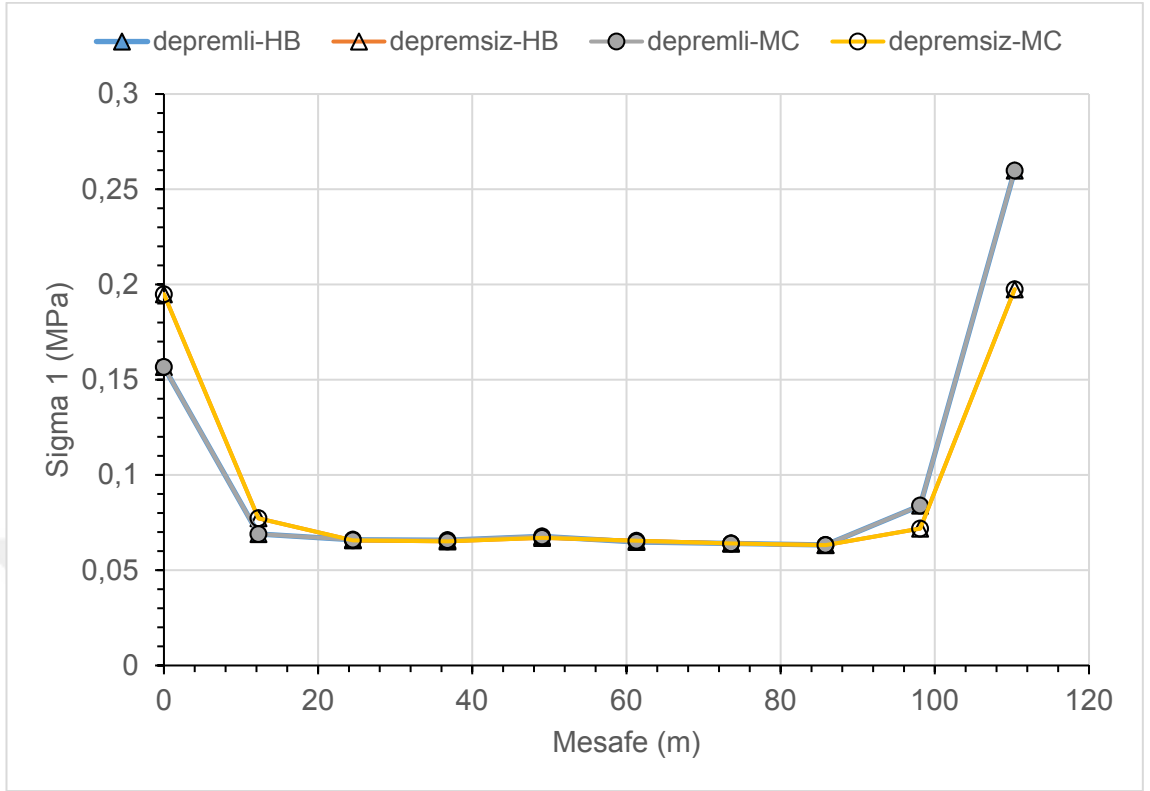


Şekil 5.35. C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

### 5.3.1. C-C' Kesit hattı için Hoek-Brown (HB) ve Mohr-Coulomb (MC) yenilme ölçütleriyle gerçekleştirilen analiz sonuçlarının karşılaştırılması

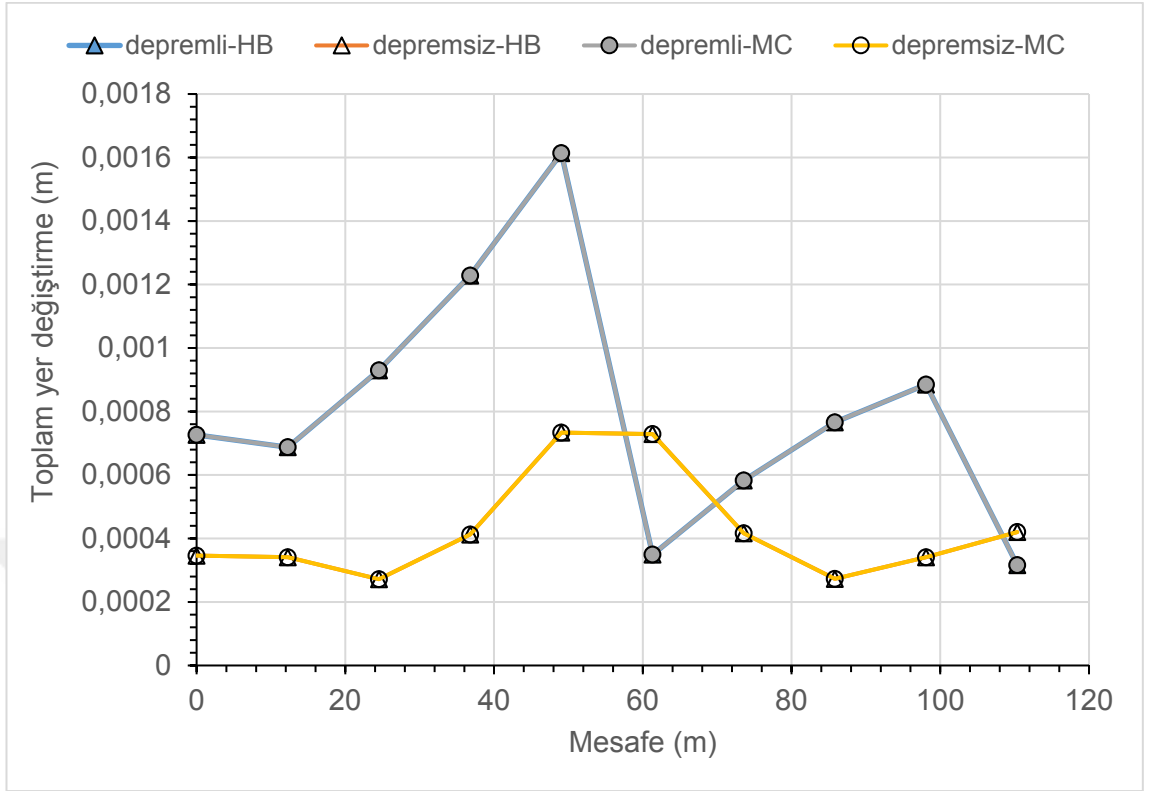
Şekil 5.36, Şekil 5.37 ve Şekil 5.39'da loca tavanlarında oluşan maksimum asal gerilme, toplam yerdeğiştirme ve dayanım faktörü değerlerinin tüm loca tavanını kesen hat boyunca değişimi farklı yenilme ölçütüne ve statik-dinamik koşullara göre verilmiştir. Şekil 5.38'de ise maksimum maksaslama deformasyonu değerlerinin loca duvarlarında ve tabanında yoğunlaşması sebebiyle loca duvarlarını tabandan kesen bir hat boyunca değişimi gösterilmektedir.

Şekil 5.36 incelendiğinde HB ve MC yenilme ölçütü ile yapılan analizlerde birebir aynı asal gerilme değerleri elde edilmiştir. Sağ ve sol koridorlardaki asal gerilme değerleri yükselirken orta koridoru da içine alan kesinde asal gerilme değeri daha düşük değerlerdedir ve sabit bir eğilim sergilemektedir. Bu kesimde en yüksek gerilme değeri 0.2 MPa olarak statik koşul için HB ve MC yenilme ölçütüne göre belirlenmiştir.



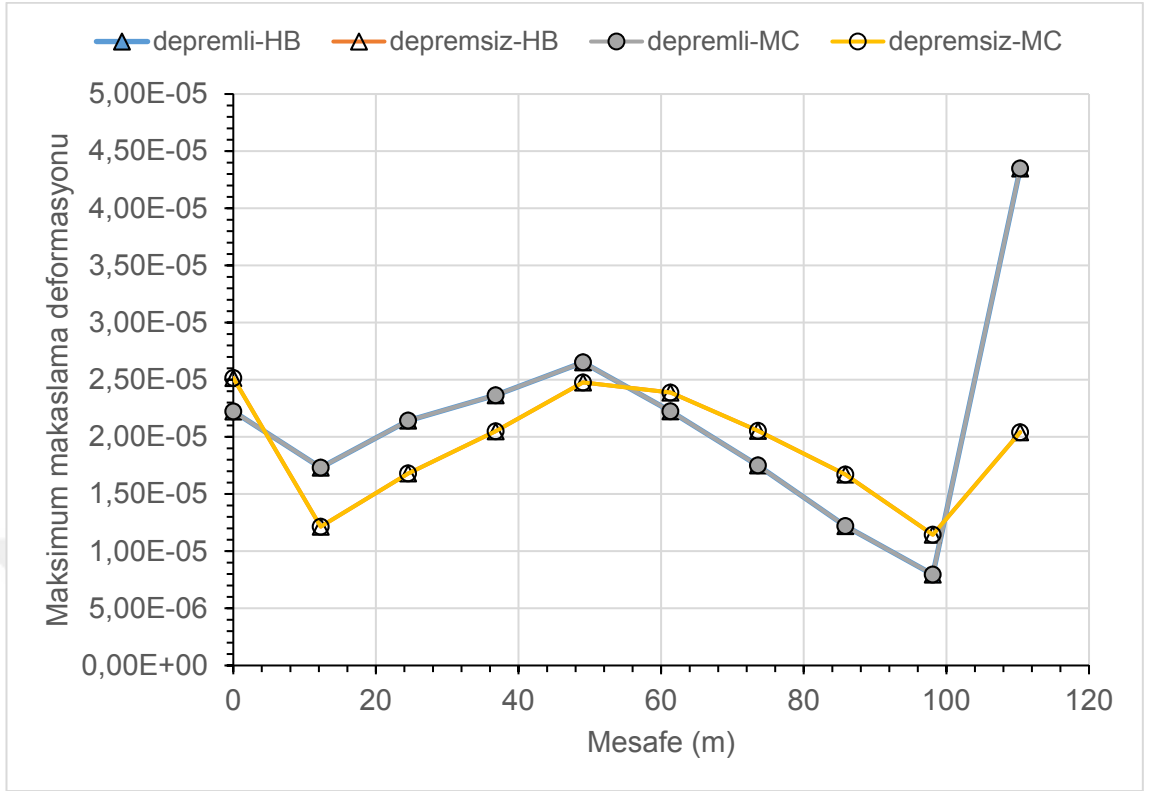
Şekil 5.36. C-C' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) değerlerinin değişimi

Şekil 5.37'de sunulan toplam yerdeğiştirme dağılımı incelendiğinde ise her iki yenilme ölçütü ile yine aynı değerlerin elde edildiği göze çarpmaktadır. Dinamik koşuldaki toplam yer değiştirme statik duruma göre daha yüksek değer göstermiştir. Yaklaşık 60. metredeki tavanı açık koridora denk gelen bölümde dinamik koşulda toplam yerdeğiştirmedeki ani artış ve ani azalış dikkat çekicidir. Aynı şekilde statik durumda da orta koridora doğru toplam yerdeğiştirme değeri artmış, sağdaki locaya doğru toplam yerdeğiştirme değeri giderek azalan ve daha sonra çok az bir artış gösteren eğilim sergilemiştir.



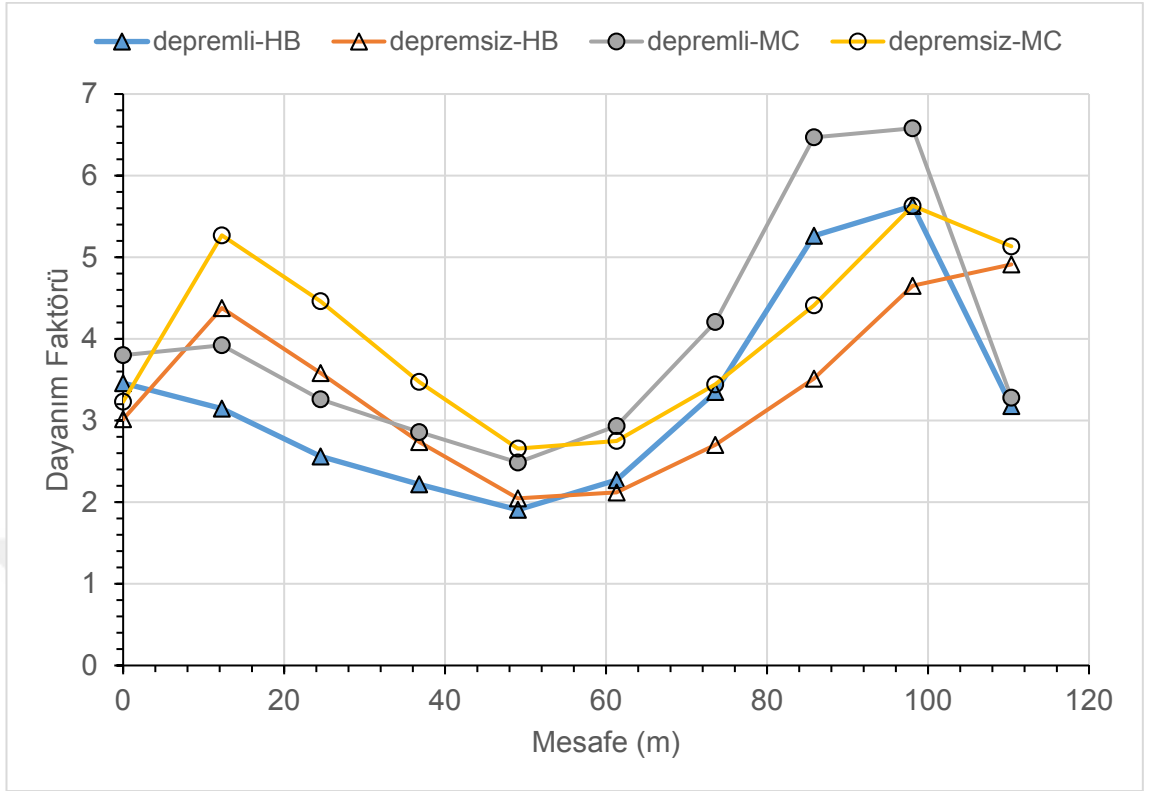
Şekil 5.37. C-C' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen toplam yerdeğiştirme değerlerinin değişimi

Şekil 5.38'de C-C' kesit hattındaki locaların duvar kesiminin tabanından geçen hat üzerindeki maksimum makaslama deformasyonu değerlerinin değişimleri farklı yenilme ölçütlerine ve statik-dinamik koşullara göre sunulmuştur. Grafik incelendiğinde HB ve MC yenilme ölçütlerinin makaslama birim deformasyonu sonuçları üzerinde etkili olmadığı görölmektedir. Her iki ölçütle de benzer maksimum makaslama deformasyonu değerleri elde edilmiştir. Ancak, depremlı ve depremsiz durum için kesit hattı boyunca farklı maksimum makaslama deformasyonu değerleri elde edilmektedir. Genel olarak bakıldığında tavan bölümü olmayan orta koridora doğru gerilme artışına da bağlı olarak makaslama deformasyonları artarken, sağ ve sol koridorlara doğru bu değerlerin azaldığı gözlemlenmiştir. Soldaki koridor kısmında depremlı (dinamik) koşuldaki değer daha yüksekken orta locadan sonra bu durum tam tersi davranış sergileyerek depremsiz (statik) koşuldaki değerin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.38 C-C' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca duvarlarında belirlenen maksimum makaslama deformasyonu değerlerinin değişimi

Şekil 5.39'da dayanım faktörü değerlerinin loca tavanları boyunca değişimi verilmektedir. Grafikler incelendiğinde dayanım faktörü için benzer eğilimler söz konusudur. Ancak, yenilme ölçütlerinin bu kesit hattı için de dayanım faktörü üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Soldaki koridordan orta koridora doğru dayanım faktörü değerleri genel olarak azalırken, orta koridordan sonra dayanım faktörü yükselmekte en son bölümde ise düşmektedir. Bu sonuçlar kaya oyma depolarda tavan varlığının genel dayanım üzerindeki olumlu etkisini işaret etmektedir. Öte yandan, ilk ve son koridorlarda yenilme ölçütünün dayanım faktörü üzerindeki etkisi daha belirgin, orta bölümdeki koridora doğru yenilme ölçütünün sonuçlar üzerinde daha az etkili olduğu dikkati çekmektedir. Kesit hattının çoğu bölümünde statik koşullardaki dayanım faktörü değerleri dinamik koşullara oranla daha yüksektir.



Şekil 5.39. C-C' kesit hattında HB ve MC yenilme ölçütlerine göre loca tavanlarında belirlenen dayanım faktörü değerlerinin değişim

## 6. BÖLÜM

### SONUÇLAR

Kayadan oyma yeraltı depolarının değerlendirmesi yaparken inceleme alanındaki ignimbiritlerin fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi ile işe başlandıktan sonra elde edilen verilerle inceleme alanındaki Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü ve Mohr-Coulomb (MC) Yenilme Ölçütü parametreleri belirlenmiştir. Tüm parametreleri nümerik analiz yapan RS2 programında inceleme alanından alınan 3 farklı kesit doğrultularında değerleri girerek çözümlenmesi yapılmıştır. Üç farklı kesit alınmasının sebebi ise farklı uzunluklarda farklı sayıda localardan farklı örtü yüklerine ve farklı dış yükler altında yenilme ölçütü kriterlerinin nasıl davranış sergileyeceğini detaylı bir şekilde görebilmektir. Yapılan çözümlenmeler sonucunda genel başlık olarak 4 adet veri elde edilmiştir. Bu başlıklar;

1. Kesit hatlarında oluşan maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı
2. Kesit hatlarında oluşan toplam yerdeğiştirme dağılımı
3. Kesit hatlarında oluşan maksimum makaslama deformasyonu dağılımı
4. Kesit hatlarında oluşan dayanım faktörü dağılımı şeklindedir.

Bu dört başlıktan oluşan sonuçlar ise kendi içerisinde depremlidepremsiz(dinamik)/depremsiz(statik) durumlar altında Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü değerleri ve Mohr-Coulomb (MC) Yenilme Ölçütü değerlerine göre değerlendirilmiştir.

Başlıklar altında değerlendirmeler yaparsak ilk olarak kesit hatlarında oluşan maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı sonuçlarından elde ettiğimiz veriler neticesinde depremlidepremsiz durumlar altında Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü değerleri ve Mohr-Coulomb (MC) Yenilme Ölçütü değerleri benzer davranış sergilemekle beraber Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü değerleri tüm kesitler değerlendirildiğinde asal gerilme sonuçları daha yüksek çıkmıştır.

İkinci olarak Kesit hatlarında oluşan toplam yerdeğiştirme dağılımı sonuçlarından elde ettiğimiz veriler neticesinde Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü değerleri ve Mohr-Coulomb (MC) Yenilme Ölçütü değerleri benzer ya da aynı davranış sergilemelerine rağmen tüm kesitlerde dinamik (depremlı) koşulda HB yenilme ölçütü değeri tüm kesitlerde yüksek çıkmıştır.

Üçüncü olarak Kesit hatlarında oluşan maksimum makaslama deformasyonu dağılımı sonuçlarına baktığımızda Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü değerleri ve Mohr-Coulomb (MC) Yenilme Ölçütü değerleri diğer parametlerde de olduğu gibi benzer davranışlar sergilemişlerdir. Fakat dinamik ve statik koşullar altında HB Yenilme Ölçütü ile MC Yenilme Ölçütü kesitlerde farklı maksimum değer sonuçları elde edilmiştir.

Son olarak Kesit hatlarında oluşan dayanım faktörü dağılımı sonuçlarını değerlendirdiğimizde Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü değerleri ve Mohr-Coulomb (MC) Yenilme Ölçütü değerleri benzer davranışlar sergilememişlerdir. Kesitlerde depremlı ve depremsiz koşullarda Mohr-Coulomb (MC) Yenilme Ölçütü değerlerine bakıldığında Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü değerlerine göre göz ardı edilemeyecek kadar daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumda yenilme ölçütlerinin etkisinin en değişik sonuçlar verdiği ve en etkili olduğu parametre dayanım faktörü parametresidir.

Genel anlamda tüm sonuçları değerlendirdiğimizde ilk iki parametrede Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü değerlerinin etkili olduğunu görsek Mohr-Coulomb (MC) Yenilme Ölçütü değerleri ile aradaki farkların çok az olduğunu söyleyebiliriz. Bu bağlamda yukarıda da bahsettiğimiz gibi bir kayadan oyma depo yapımında göz ardı edemeyeceğimiz farklar elde ettiğimiz parametre dayanım faktörü parametresidir. Bu parametre RS2 yazılımında belirli düzeydeki malzeme dayanımının, o düzeyde etkili olan gerilmeye oranı biçiminde ifade edilmektedir. Dayanım faktörünün 1'den daha yüksek olması, malzeme dayanımının etkisini göstermekte olan gerilme şartlarından yüksek olduğunun bu nedenle de bir yenilmenin olmayacağına işareti olarak algılanabilir. Bu inceleme alınanda tüm değerlerimiz 1'in üzerinde değerler vermektedir. Fakat tüm kaya yapıları için bu söz konusu olamayacağı için kaya



oyma yapısı nümerik analizler tasarlanırken tam tersi bir durum olabileceğini düşünerek Mohr-Coulomb (MC) Yenilme Ölçütü değerlerinin yüksek sonuçlar vereceğini hesaba katarak Hoek-Brown (HB) Yenilme Ölçütü değerlerinin verileri programlara tanımlanarak dayanım faktörünün 1'den daha yüksek değer verip vermeyeceğini kontrol etmeliyiz. Eğer dayanım faktörü 1'in altında bir sonuç vermiş ise malzeme dayanımının o noktadaki gerilme şartlarına göre düşük olacağını ve bir yenilme meydana geleceğini ifade etmektedir. Sonuç olarak inşaat mühendisliğinin amacı olan insan yaşamını, sağlığını ve yapıyı koruyarak insanlığın yaşam koşullarının geliştirmek adına ileride yapılacak olan kayadan oyma yapıların tasarımında bu veriler göz önüne alınarak çalışmalar sürdürülmelidir.



## KAYNAKÇA

1. Koçak B., “Yeraltı Kaya Yapılarının Denetimi Ve Yönlendirilmesinde Uzman Sistem Oluşturulması” , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kasım, 2006.
2. Yer-Su & Uğurum Mühendislik, “Mevzi İmar Planına Esas Jeolojik – Jeoteknik Etüt Raporu”, Nevşehir, 2017.
3. Yilmazer, I., “Engineering Geologic Factors İn The Design Of A Large Underground Structure İn A Tuff Sequence İn Cappadocia”, Engineering Geology, 40, 3-4, 235-241, 1995.
4. Berilgen, Mehmet, Doran B. ve Yıldırım A.B.S. “İkiz Metro Tünelleri Üzerinde Yer Alan Bir Yapıda Zemin Yapı Etkileşimi Analizi” Özel Konulu Sempozyum: Teoride Ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi, 2007.
5. Aktaş, S. Ş., “Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntem İle İnşa Edilen Bir Tünelin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Analizi Ve Değerlendirilmesi” Diss. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2009.
6. Öztürk, T., “The Potato Storage İn The Volcanic Tuff Storages İn Turkey”, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 27 (2), 113-120, Tokat, 2010.
7. Çeçen, Erdal E. ve İncecik M. “Metro Tünellerinde Uygulanan Şemsiye-Kemer Yönteminin Sayısal Analiz İTÜ Dergisi/D 7.4 ,2011.
8. Ulusay, R., Aydan, Ö., Geniş, M., “Stability Assessment Of Avanos Underground Congress Centre (Cappadocia, Turkey) İn Soft Tuffs Through An Integrated Scheme Of Rock Engineering Methods”, Springer-Verlag, S:1319-1320, Wien, 2013.
9. Özata, Ş., “Kapadokya Bölgesi Kaya Oyma Yapı Sorunları Ve Çözüm Önerileri” Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 3-138, 2015.
10. Koçak, Bülent ve Vardar M., “Yeraltı Kaya Yapılarının Denetimi Ve Yönlendirilmesinde Uzman Sistem Oluşturulması” İtüdergisi/D 7.1, 2011.

11. Öngen, Özgür ve Güzel A., “Farklı Kaya Sınıfları İçin Yapılan Sayısal Modelleme Çalışmalarının Karşılaştırılması-Örnek Uygulama-Comparison Of Numerical Modeling Studies Made For Different Rock Classes-A Case Study.” Celal Bayar Üniversitesi Fen Biliml.
12. Dinçer, İsmail, and Duru C., “Kayadan Oyma Yeraltı Depolarının Jeoteknik İncelemesi ve Sayısal Modellemesi”, Ms Thesis. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, 2019.
13. Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., Türkiye' de Tetis' in evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım, TJK Yerbilimleri Özel Dizisi No: 1, 75 s., Ankara, 1983.
14. Aydın, F., Kapadokya Volkanik Kompleksi'nin Gelişimi ve volkanizmanın bölge üzerindeki etkileri. 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, Ürgüp- Nevşehir, 2009.
15. Aydar, E., Schmitt, A. K., Çubukçu, H. E., Akin, L., Ersoy, O., Şen, E., Duncan, R. A. & Atici, G. “Correlation of ignimbrites in the central Anatolian volcanic province using zircon and plagioclase ages and zircon compositions” Journal of Volcanology and.
16. Göncüoğlu, M. C., Toprak, V., Kuşçu, İ., Erler, A., Olgun, E., “Orta Anadolu masifinin batı bölümünün jeolojisi”, Bölüm 1: Güney kesim, TPAO Rapor No: 3155, Ankara, 140 s., 1991.
17. Altay, Tülay, et al. "Temelli (Ankara) Neojen Havzasındaki Sedimanter Birimlerin Jeolojisi ve Mineralojisi ile ilgili İlk Verilerin Değerlendirilmesi." Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 17.3 (2017): 1096-1108.
18. Toprak, V., “Vent distribution and its relation to regional tectonics”, Cappadocian Volvanics, Turkey. J. Vol. Geotherm. Res., vol.85, p.55-67, 1998.
19. Atabey, E., “Kapadokya, Nevşehir ili ve ilçeleri, jeolojisi, maden ve enerji kaynakları, tıbbi jeolojik unsurları ve halk sağlığı” Tıbbi Jeoloji Kitabı, 2013.
20. Korkanç M., “İgnimbiritlerin Jeomekanik Özelliklerinin Yapı Taşı Olarak Kullanımına Etkisi: Nevşehir Taşı”, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 49-60, 31.1, 2007.
21. Toprak ve Göncüoğlu Mc “Tectonic Control On The Development Of Neogene-Quaternary Central Anatolian Volcanic Province, Turkey”, Geol J 28:357–369, 1993.

22. Toprak ve Keller J, Schumacher R., “Volcano-Tectonic Features of The Cappadocian Volcanic Province”, In: International Volcanological Congress-Iavcei, Excursion Guide, Ankara, 1994.
23. Aydan, Ö., “Seismic Characteristics And The Occurrence Pattern Of Turkish Earthquakes”, Turkish Earthquake Foundation Report No. Tdv/Tr 97–007, Istanbul, 1997.
24. Aydan, Ö., Ulusay, R., “Geotechnical And Environmental Characteristics Of Man-Made Underground Structures İn Cappadocia”, Turkey. Eng Geol 69(3/4):245–272, 2003.
25. Aydan, Ö., Ulusay R., “Geomechanical Evaluation Of Derinkuyu Antique Underground City And Its İmplications İn Geoengineering”, Rock Mech Rock Eng 46:731–754, 2013.
26. İnternet: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı “2021 Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası” ,<https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>.
27. Rukhaiyar, Saurav and Samadhiya N. K., “Triaxial Strength Behaviour Of Rockmass Satisfying Modified Mohr-Coulomb And Generalized Hoek-Brown Criteria”, International Journal Of Mining Science And Technology 901-915, 28.6.2018.
28. Ladanyi, B., “Use Of The Long-Term Strength Concept İn The Determination Of Ground Pressure On Tunnel Linings”, Proc., 3rd Congress Of Isrm, National Academy Of Sciences. Vol. 2. 1974.
29. Hoek, Evert and Brown E.T., “Empirical Strength Criterion For Rock Masses”, Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering 106.Asce 15715, 1980.
30. Sheorey, P. R., Biswas A. and V. D. Choubey., “An Empirical Failure Criterion For Rocks And Jointed Rock Masses”, Engineering Geology, 141-159, 26.2 1989.
31. Singh, Mahendra, Raj A. and Singh B., “Modified Mohr–Coulomb Criterion For Non-Linear Triaxial And Polyaxial Strength Of İntact Rocks” International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences, 546-555, 48.4, 2011.
32. Hoek, Evert, Carranza-Torres C. and Corkum B., “Hoek-Brown Failure Criterion-2002 Edition”, Proceedings Of Narms-Tac, 267-273, 1.1 2002.
33. Hoek, E., “Strength of Rock and Rock Masses”, 4-16, 1994.

34. Hoek, E., Kaiser P. K. and Bawden W. F., “Support Of Underground Excavations”, Hard Rock, 1995.
35. Hoek, Evert and Brown E. T., “Kaya Kütlesi Mukavemetinin Pratik Tahminleri” , Uluslararası Kaya Mekaniği Ve Madencilik Bilimleri Dergisi 1165-1186, 34.8, 1997.
36. İnternet: “Hoek-Brown Görgül Yenilme Ölçütüne İlişkin Değişiklik Önerileri ve Benlerin Uygulanabilirliği”,  
[http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/71abbcc8fbb80bc\\_ek.pdf?dergi=JEOLOJ..](http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/71abbcc8fbb80bc_ek.pdf?dergi=JEOLOJ..)
37. Boyraz, “ Jeomekanik Parametrelerin Delme Ve Patlatmaya Etkisinin Araştırılması”, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
38. Yıldız, Ahmet, Et Al. "Orta Sakarya Havzasındaki Çarpışma Sonrası Kalko Alkalen Volkanizmanın, Mineralojik Ve Petrografik Özellikleri,(Sarıcakaya-Eskişehir)." Journal Of Science And Technology Of Dumlupınar University 030 (2013): 64-80.
39. Bostancı, Meliha, And Dinçer İ., “İgnimbiritlerin (Nevşehir Bölgesi) Kapiler Su Emme Davranışlarının İncelenmesi”, Ms Thesis. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, 2016.
40. İnternet: “1900-2020 Yılları Arası Çalışma Alanı Civarında Gözlenen Depremler”,  
<https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu#>.
41. Sülükçü, Selma., “Kapadokya Bölgesi'ndeki Kayadan Oyma Yeraltı Depolarının Duraylılığının Değerlendirilmesi”, 2019.
42. Aydan, Ö., Ulusay, R., “Geomechanical Evaluation Of Derinkuyu Antique Underground City And Its Implications İn Geoengineering”, Rock Mech Rock Eng 46, 731-754, 2012.
43. Atabey, E., “1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Kayseri H19 (K33) Paftası”, MTA Genel Müdürlüğü, 1989.

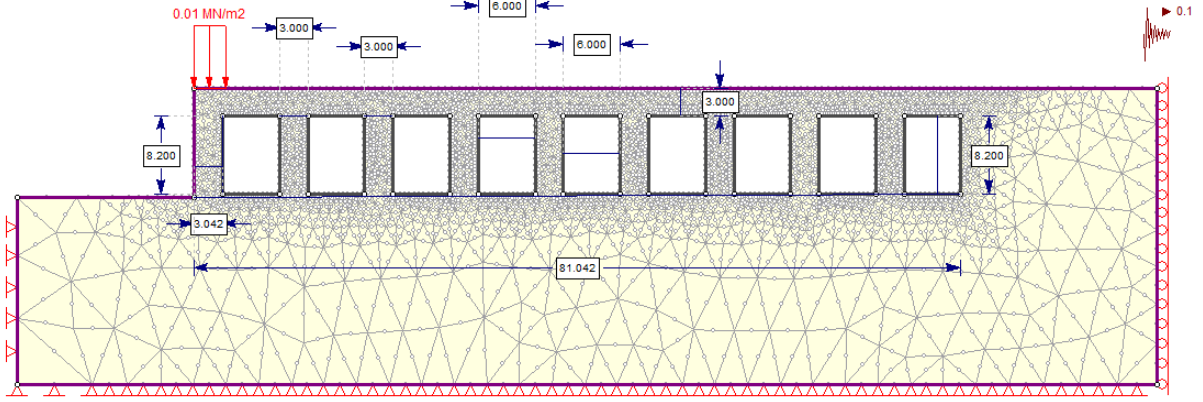


## **EKLER**

**(A-A', B-B' ve C-C' Kesit Hatlarına Ait**

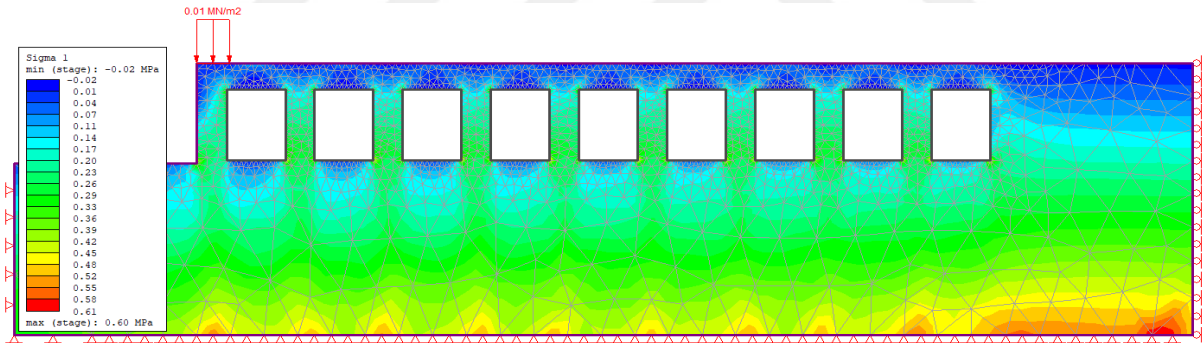
**Sonlu Elemanlar Analizi Sonuçları)**

## 1. A-A' KESİT HATTI BOYUNCA GERÇEKLEŞTİRİLEN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI

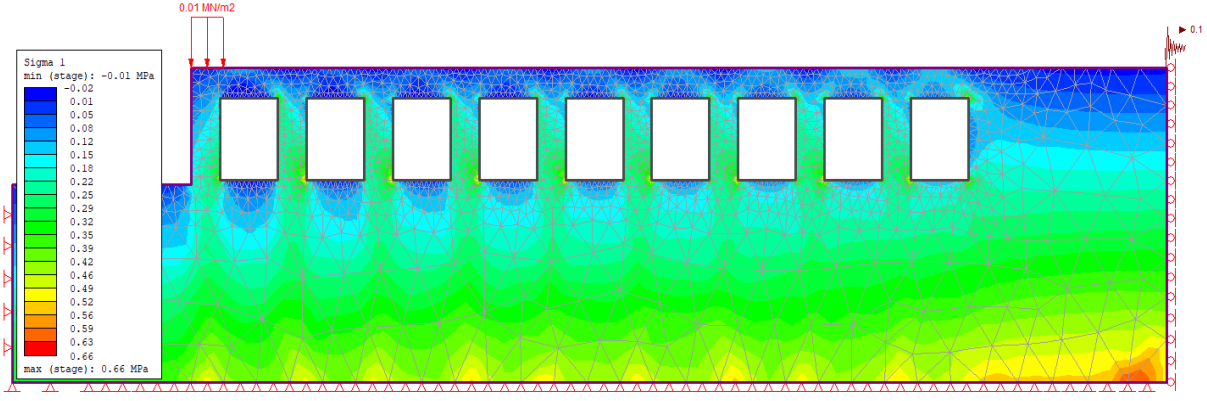


Ek 1.1 A-A' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar

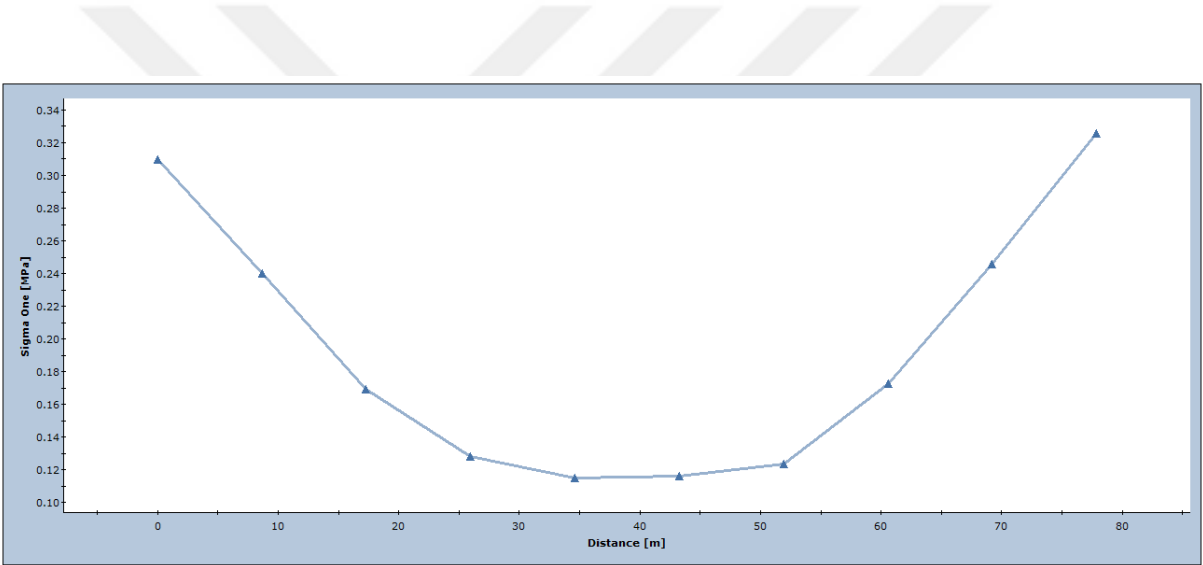
## 1.2. HOEK-BROWN GÖRGÜL YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI



Ek 1.2 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

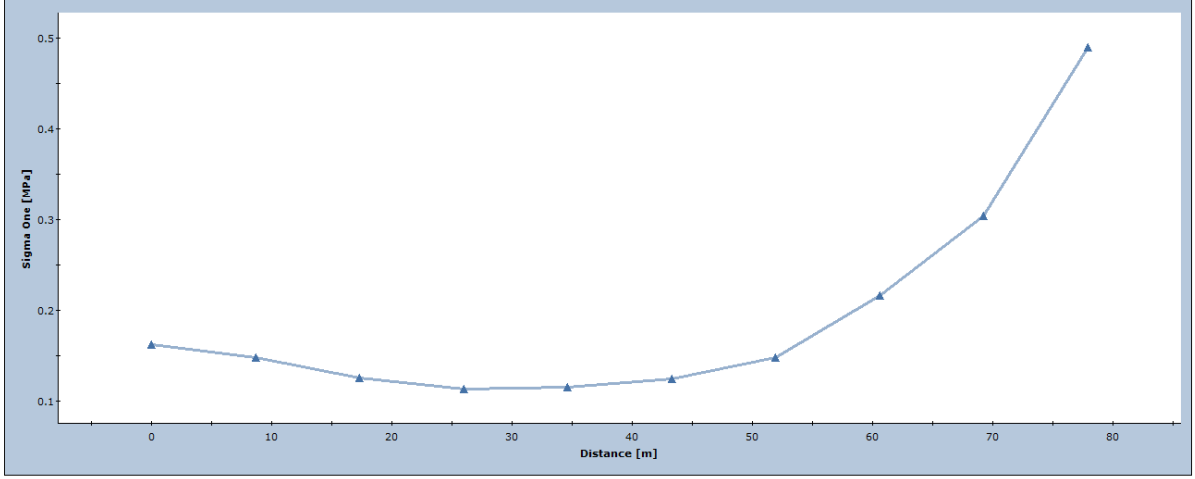


Ek 1.3 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

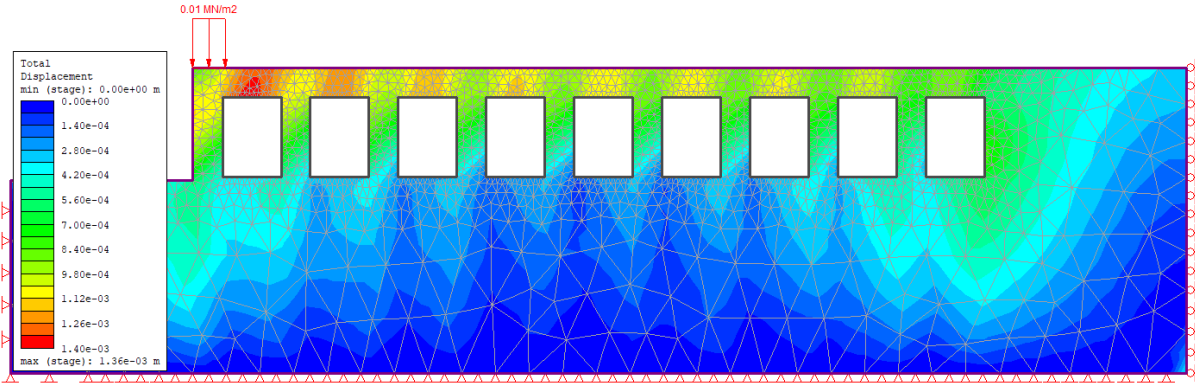


Ek 1.4 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

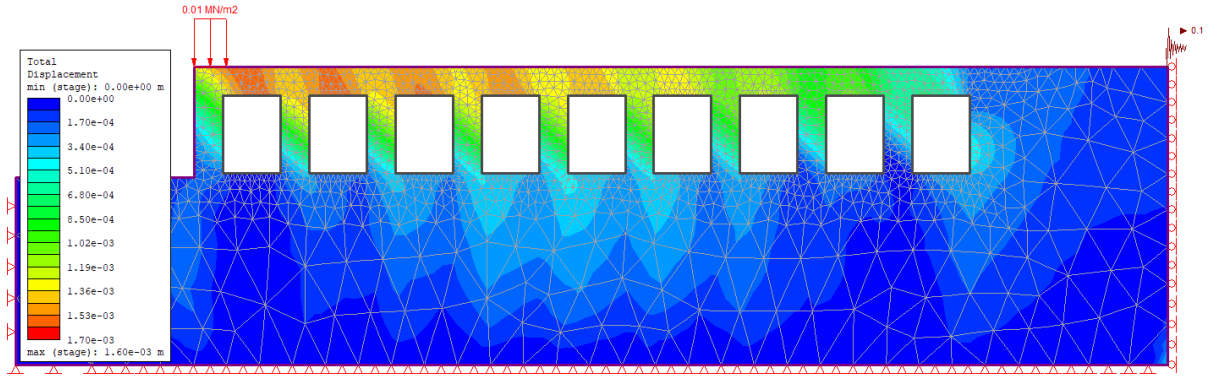




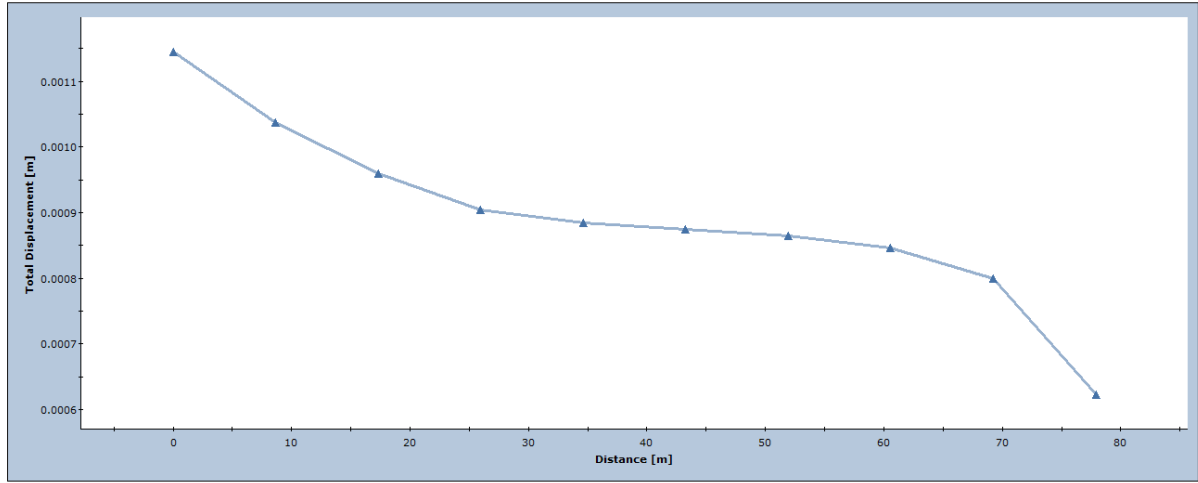
Ek 1.5 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



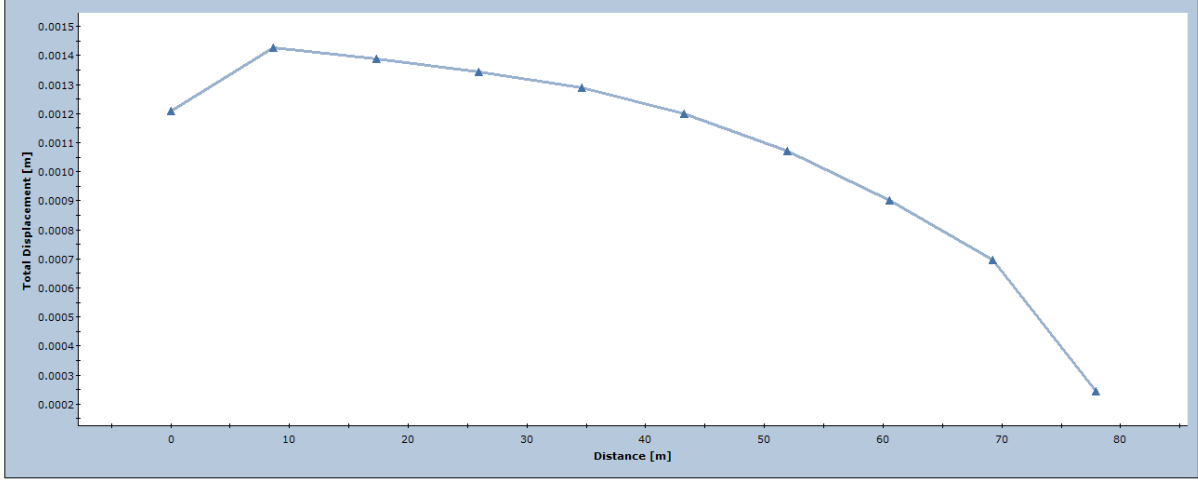
Ek 1.6 A-A' kesit hattında toplam yerdeğişirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



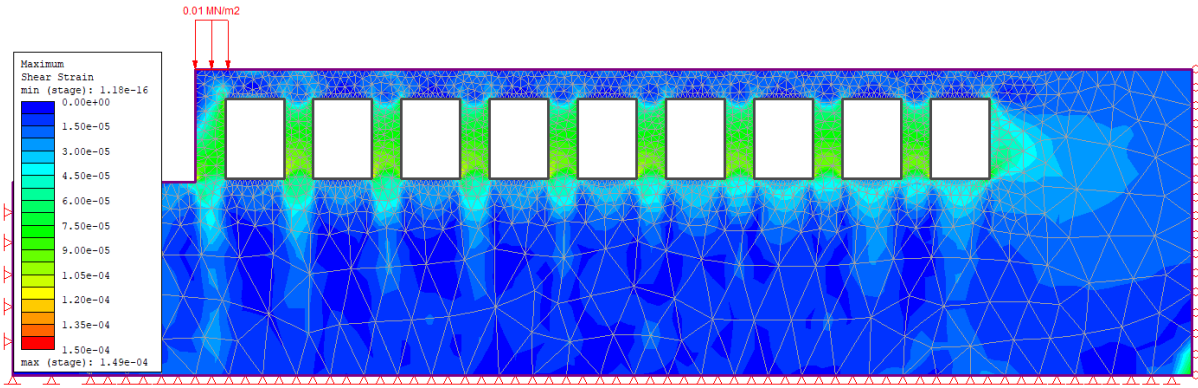
Ek 1.7 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



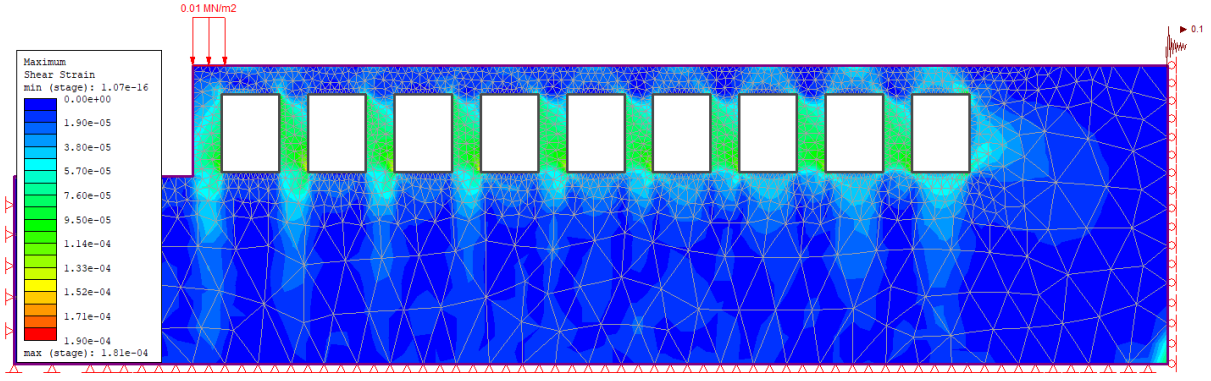
Ek 1.8 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



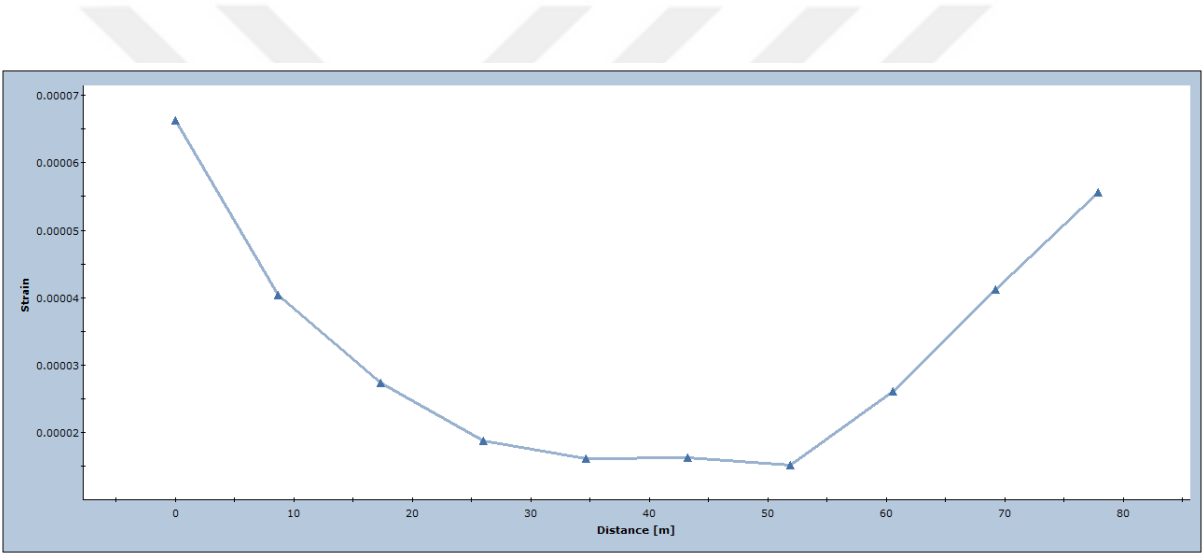
Ek 1.9 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



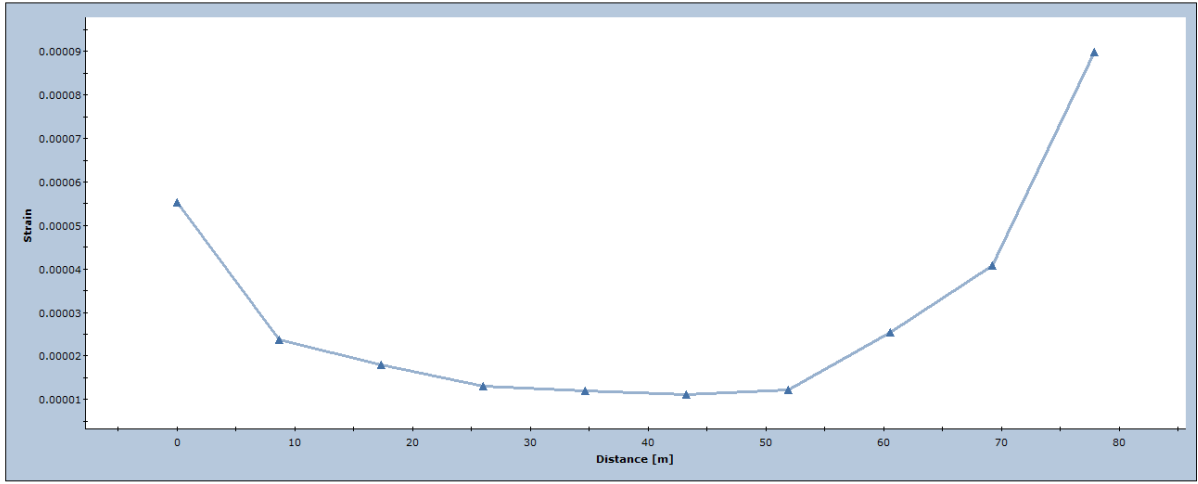
Ek 1.10 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



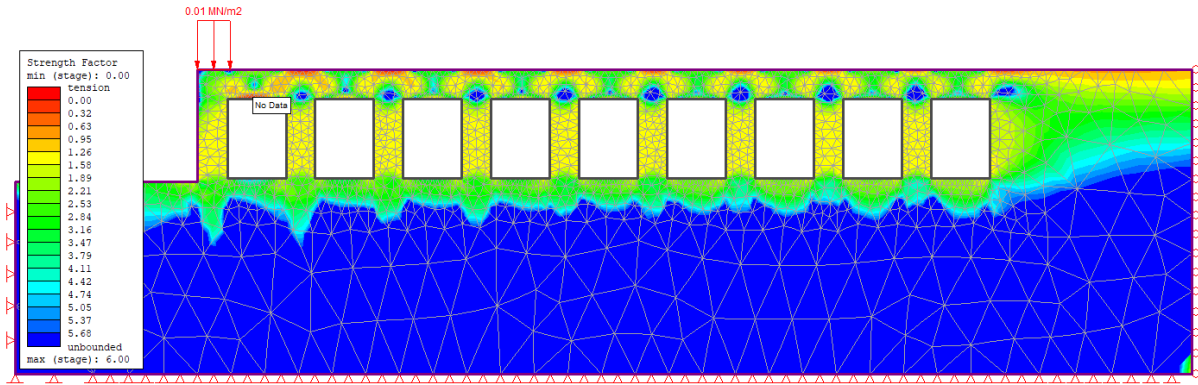
Ek 1.11 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



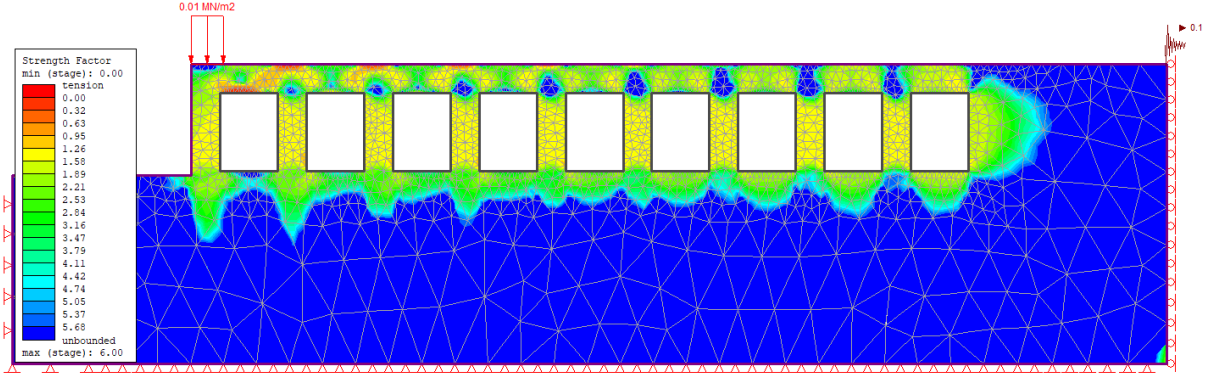
Ek 1.12 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirimenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



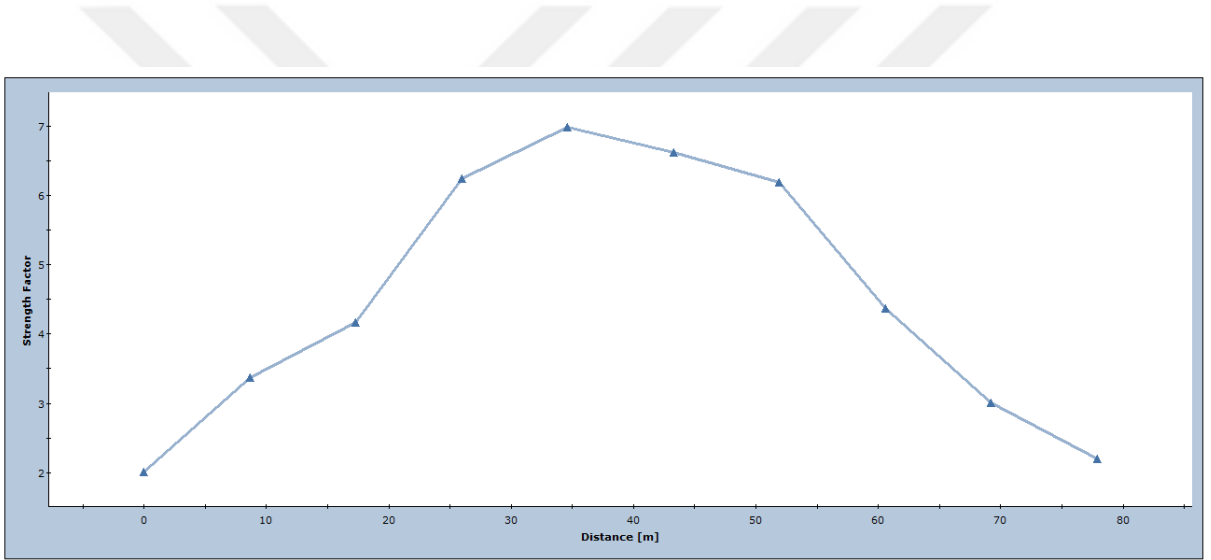
Ek 1.13 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme lt ile)



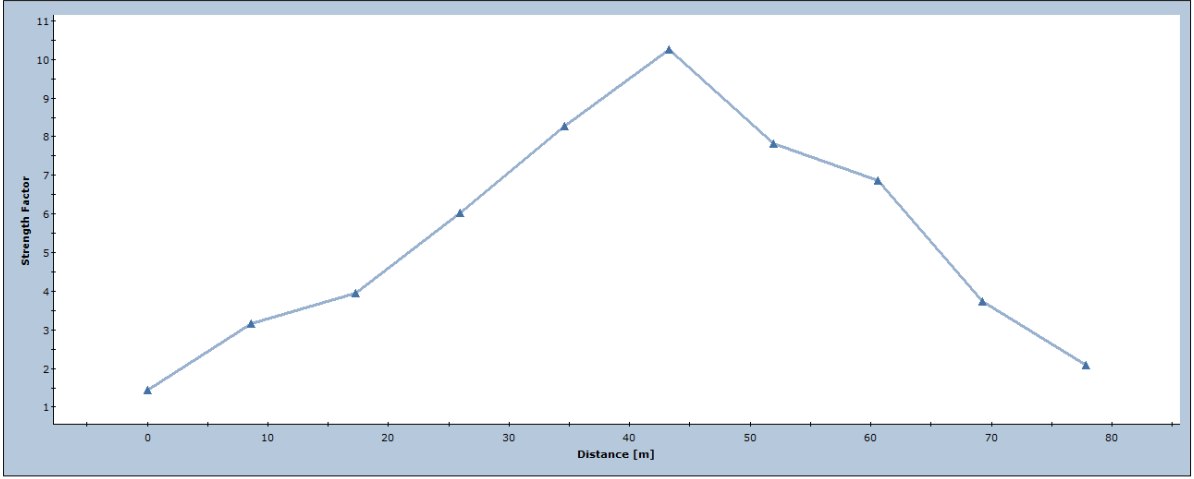
Ek 1.14 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme lt ile)



Ek 1.15 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

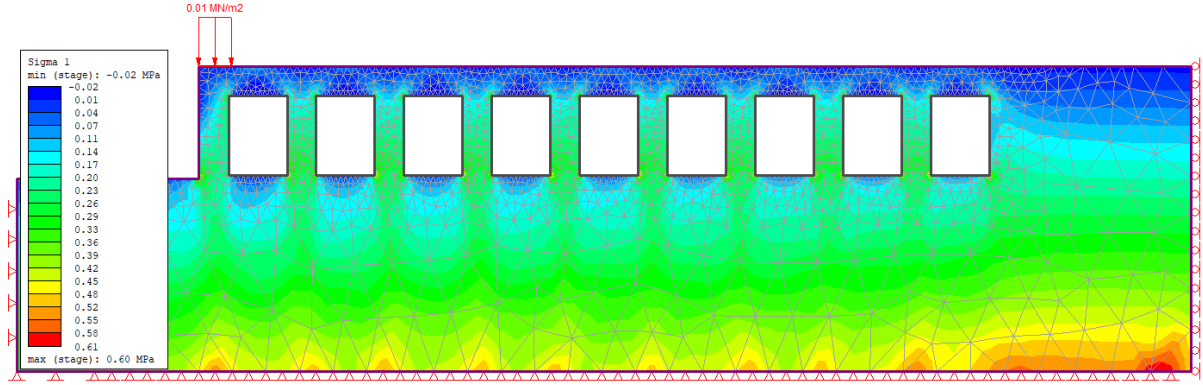


Ek 1.16 A-A' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

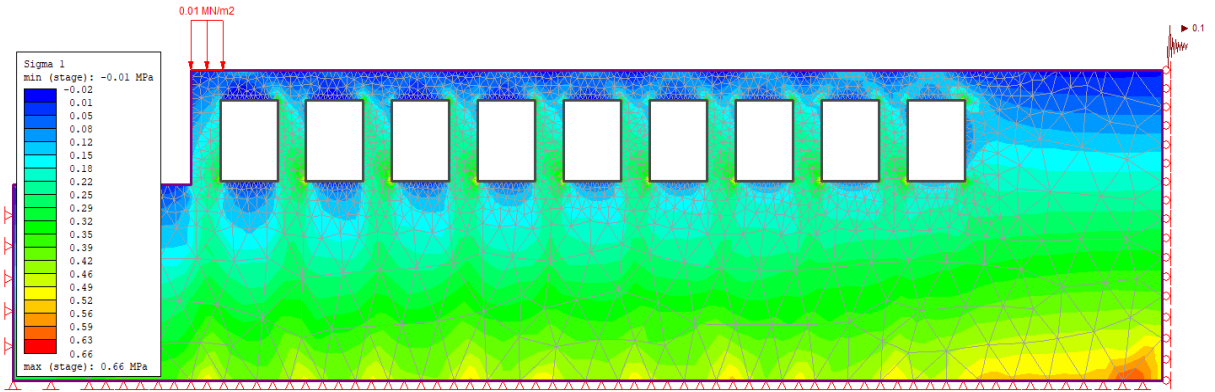


Ek 1.17 A-A' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

### 1.3. MOHR-COULOMB YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI

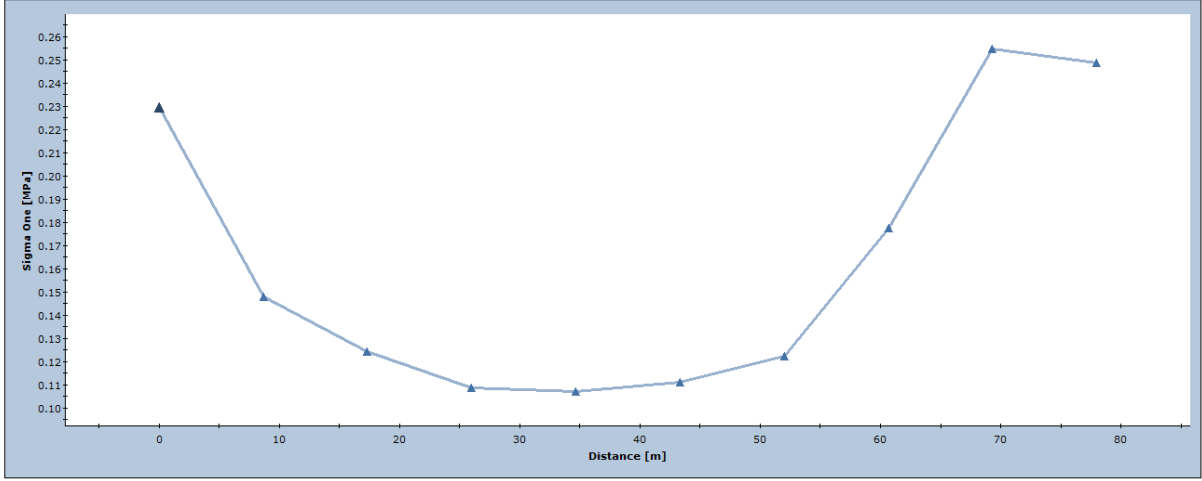


Ek 1.18 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)

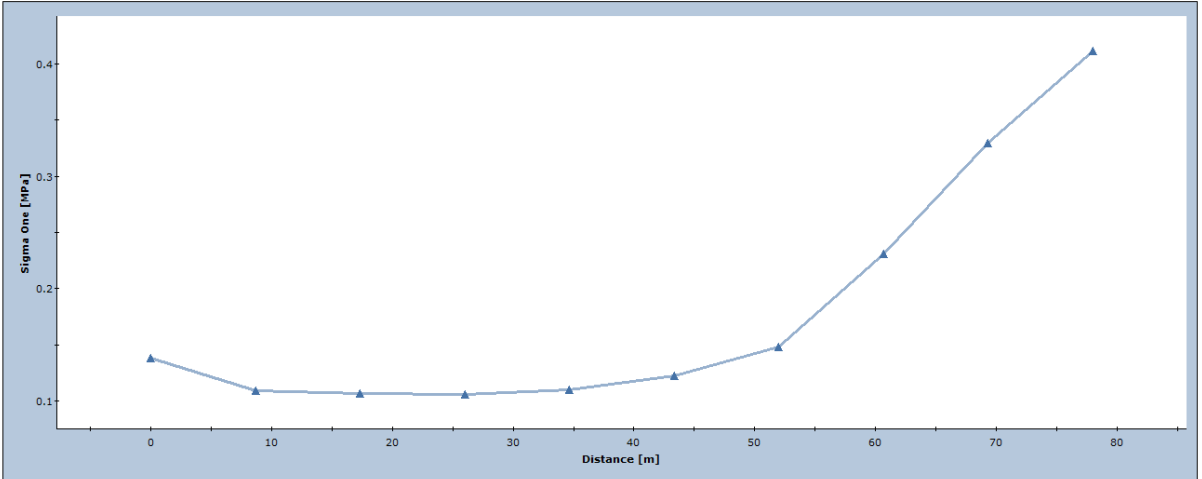


Ek 1.19 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)

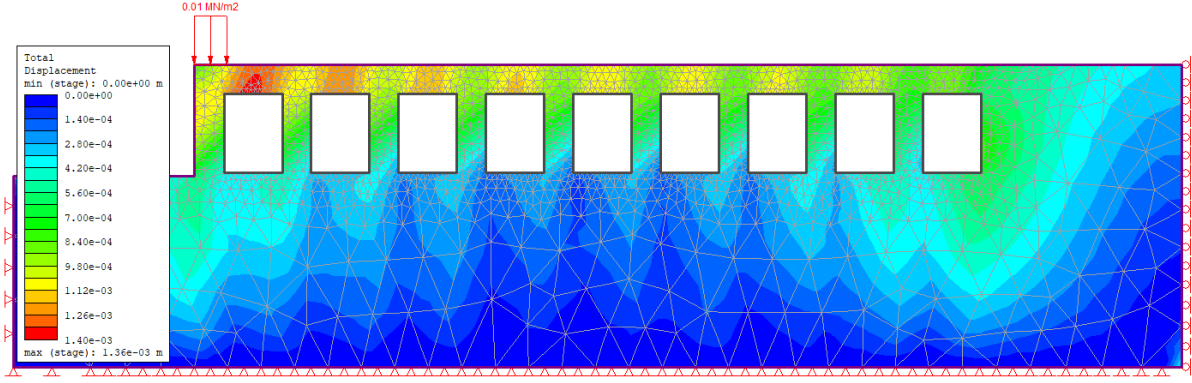




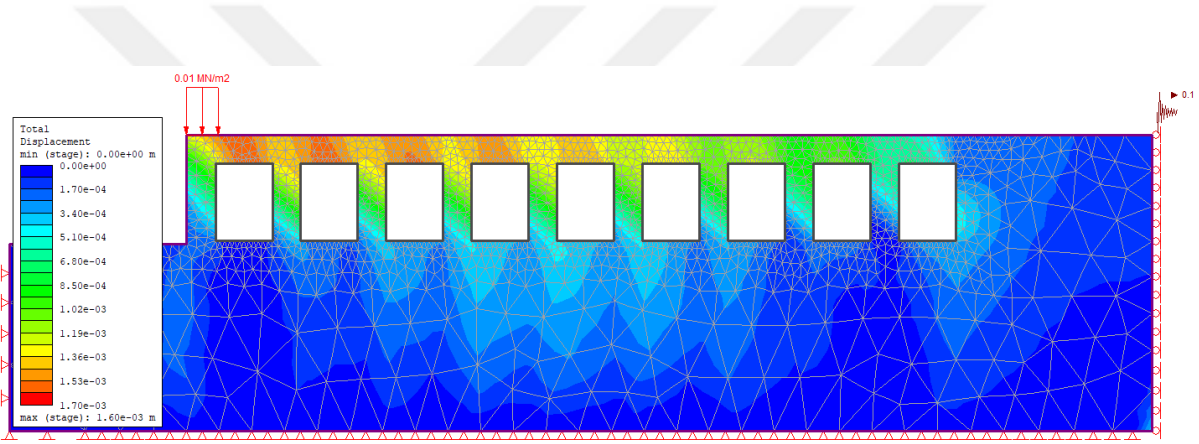
Ek 1.20 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



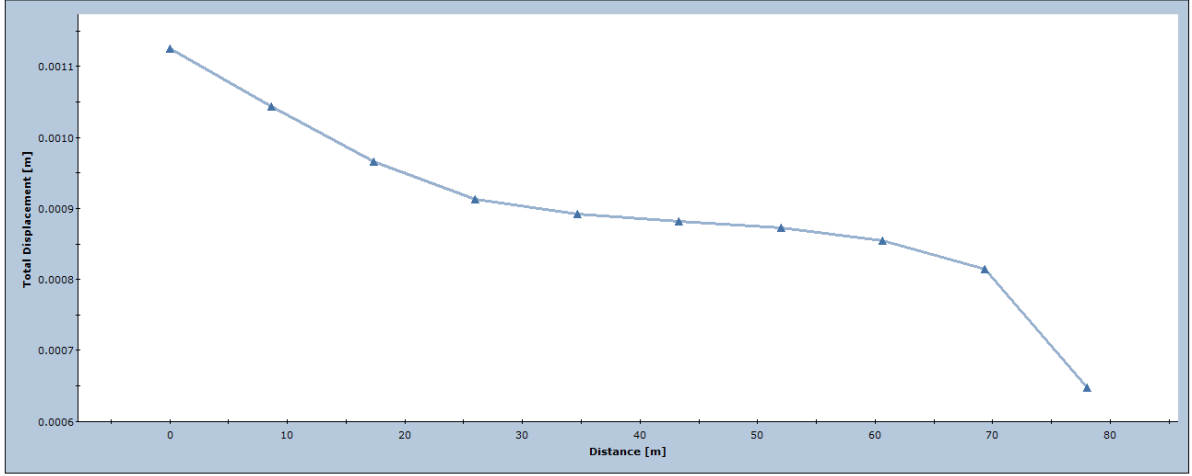
Ek 1.21 A-A' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



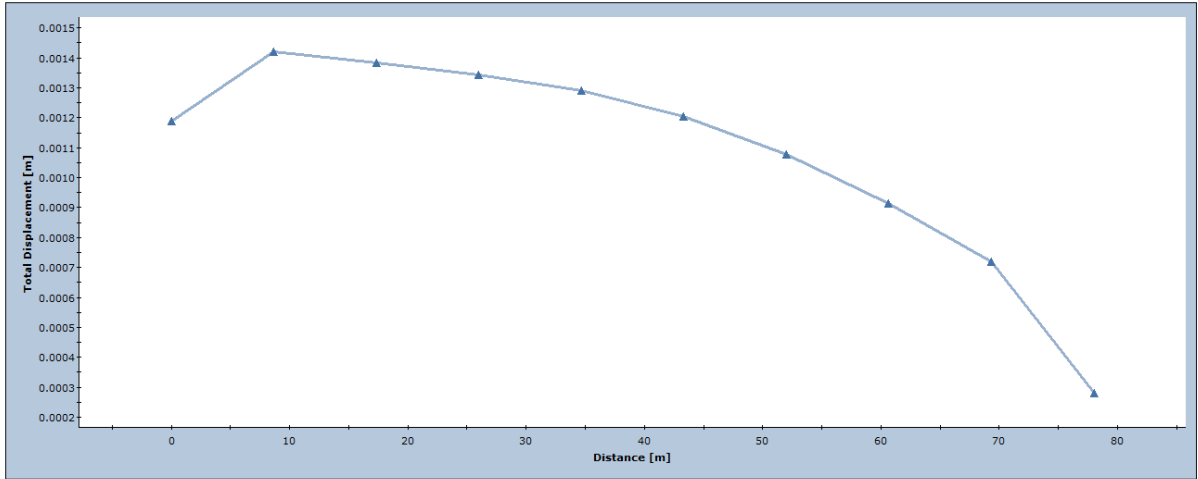
Ek 1.22 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



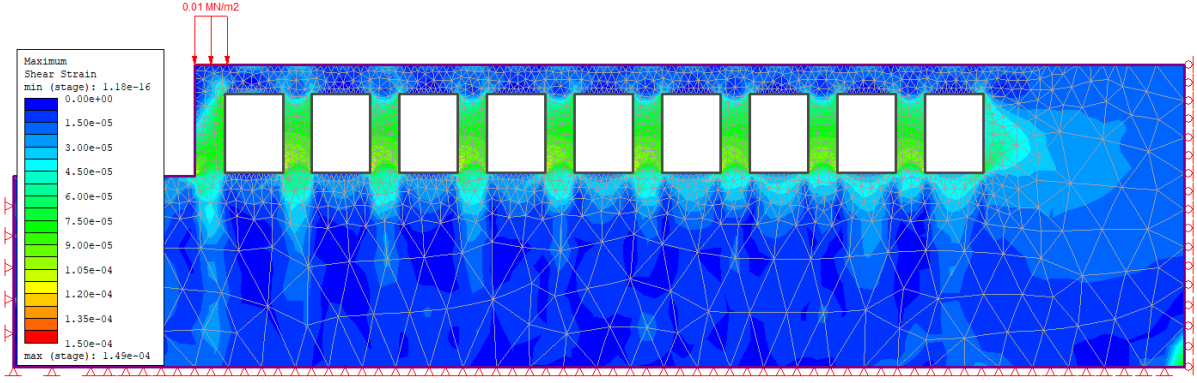
Ek 1.23 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



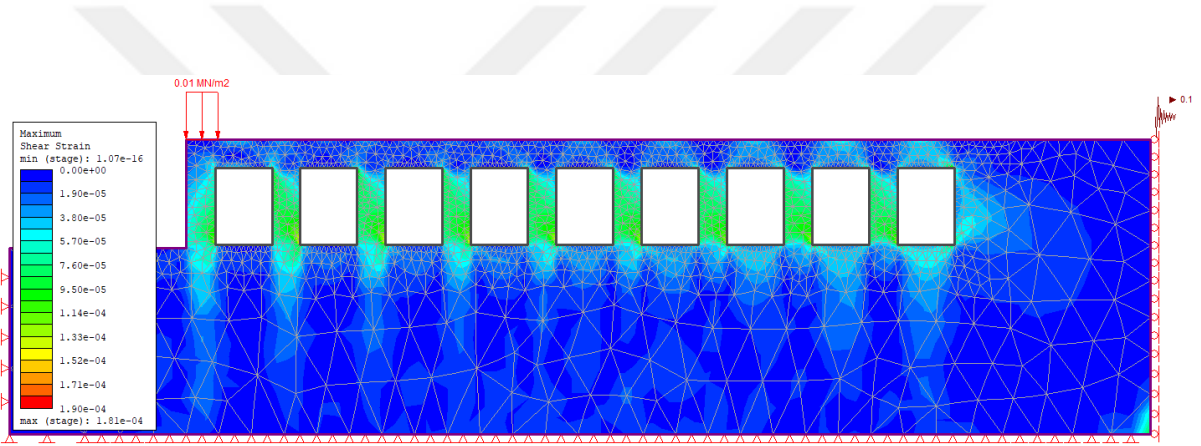
Ek 1.24 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



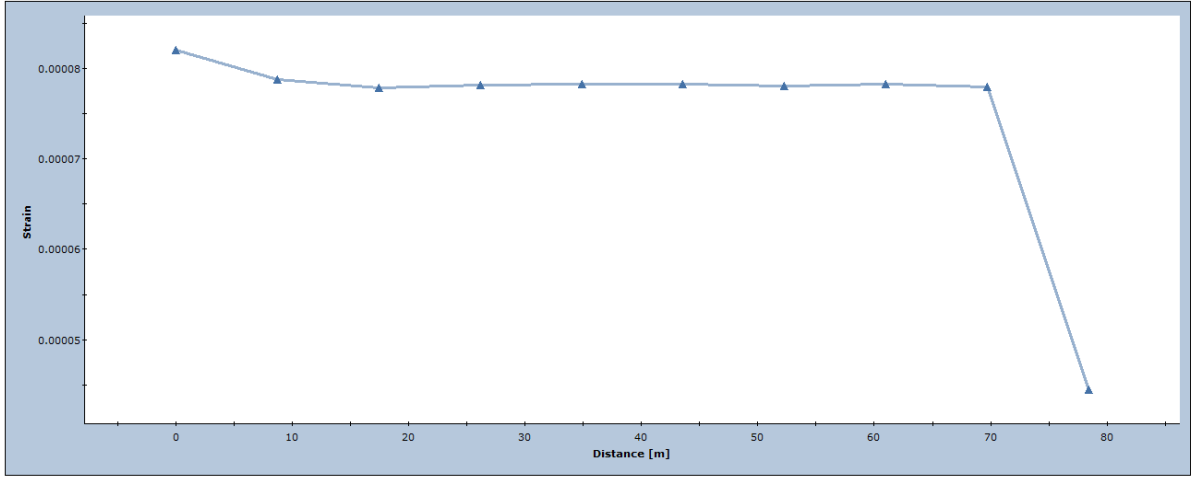
Ek 1.25 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



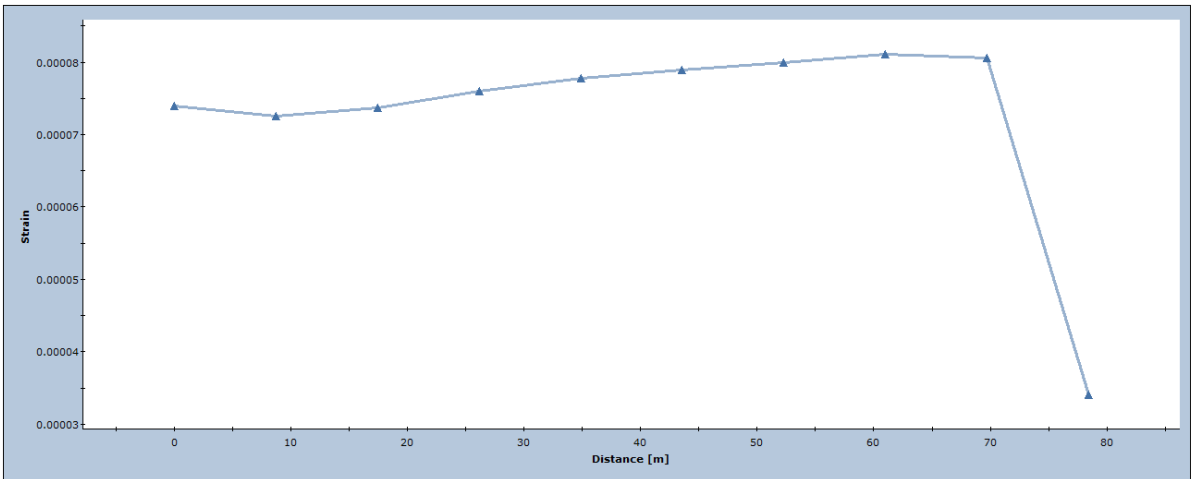
Ek 1.26 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



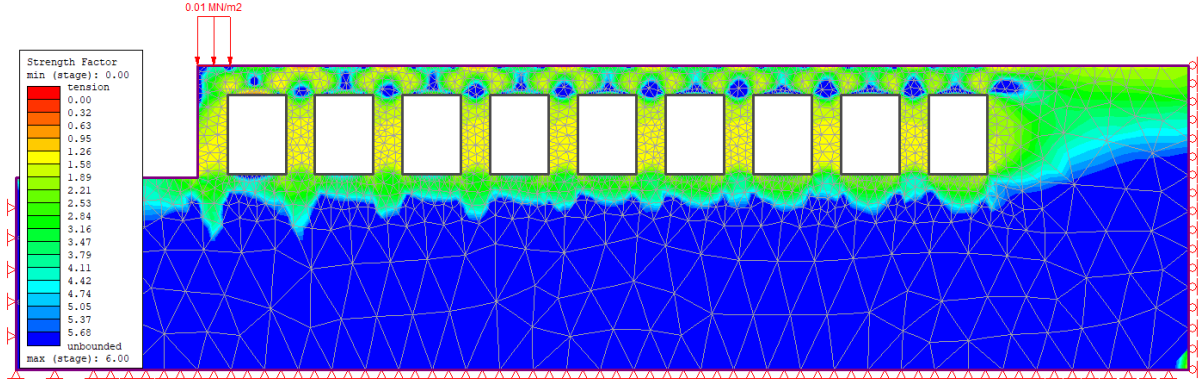
Ek 1.27 A-A' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



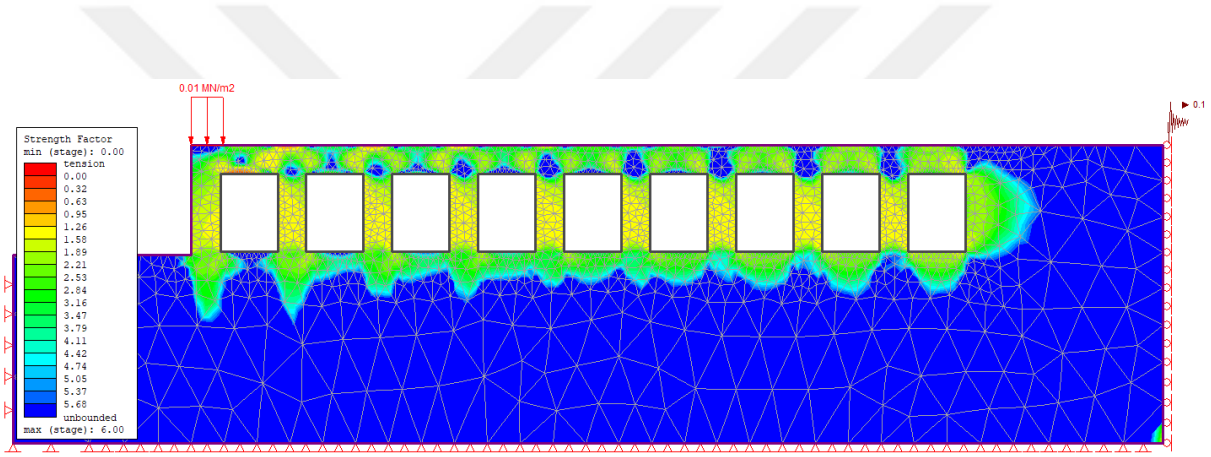
Ek 1.28 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme lt ile)



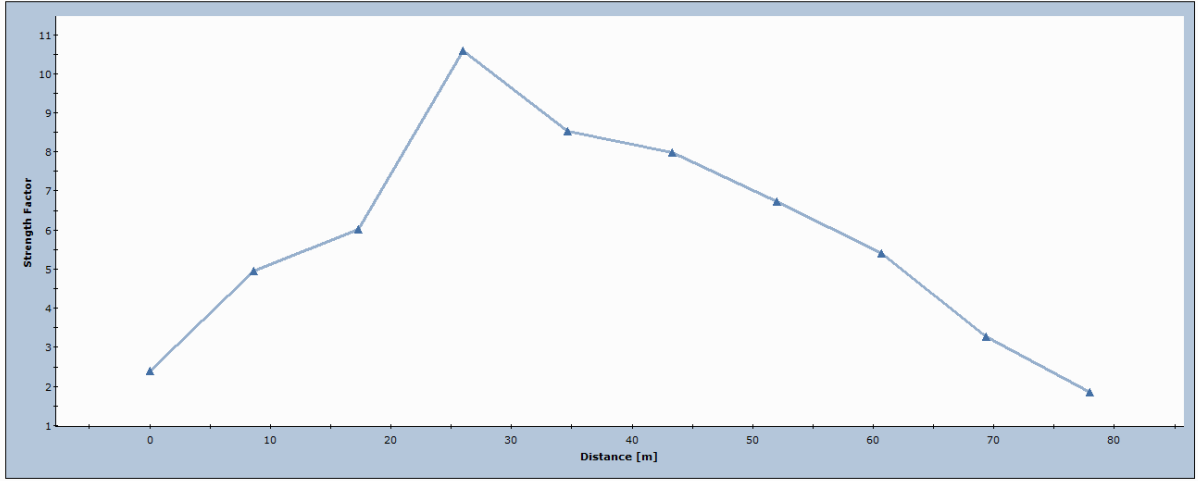
Ek 1.29 A-A' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme lt ile)



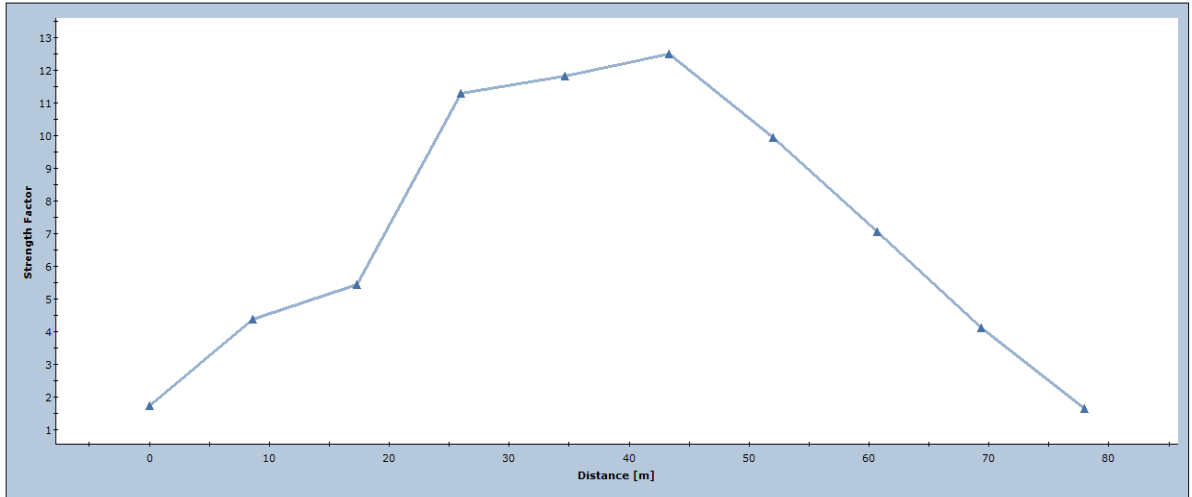
Ek 1.30 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



Ek 1.31 A-A' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)

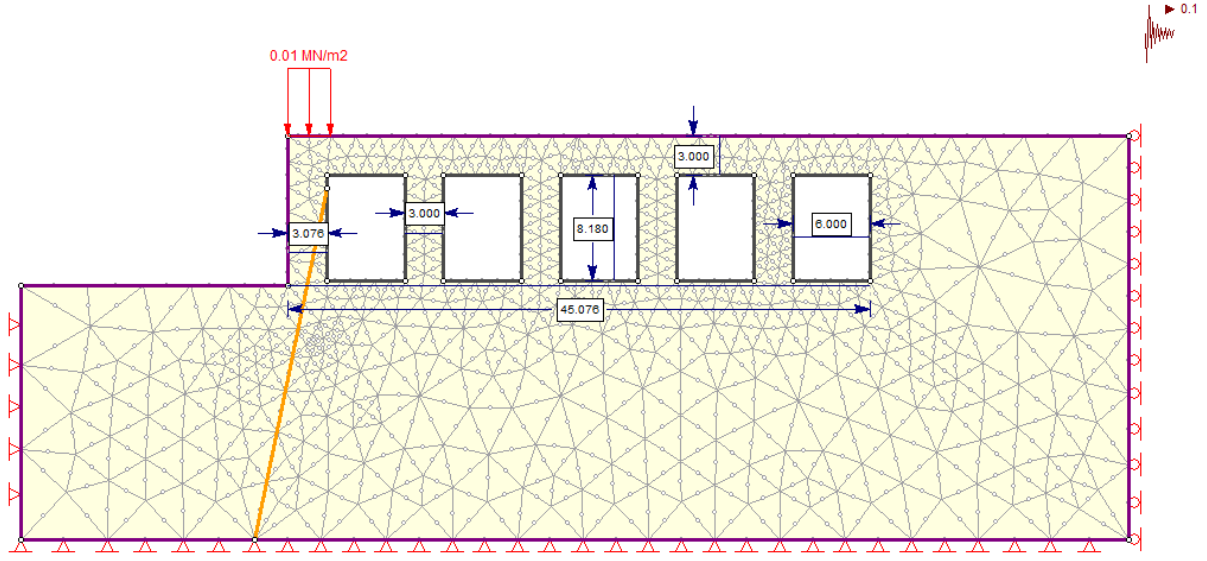


Ek 1.32 A-A' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



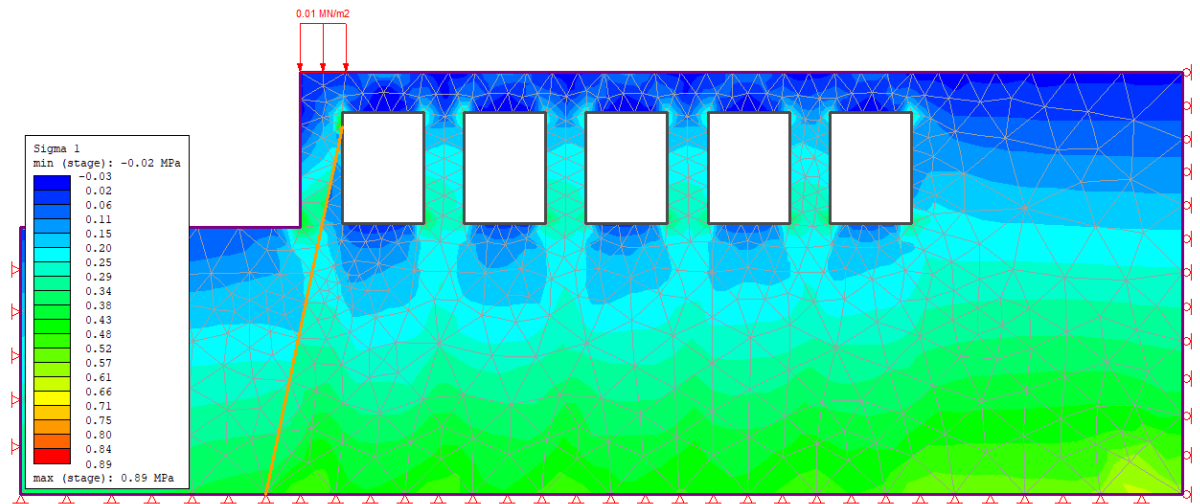
Ek 1.33 A-A' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)

## 2. B-B' KESİT HATTI BOYUNCA GERÇEKLEŞTİRİLEN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI



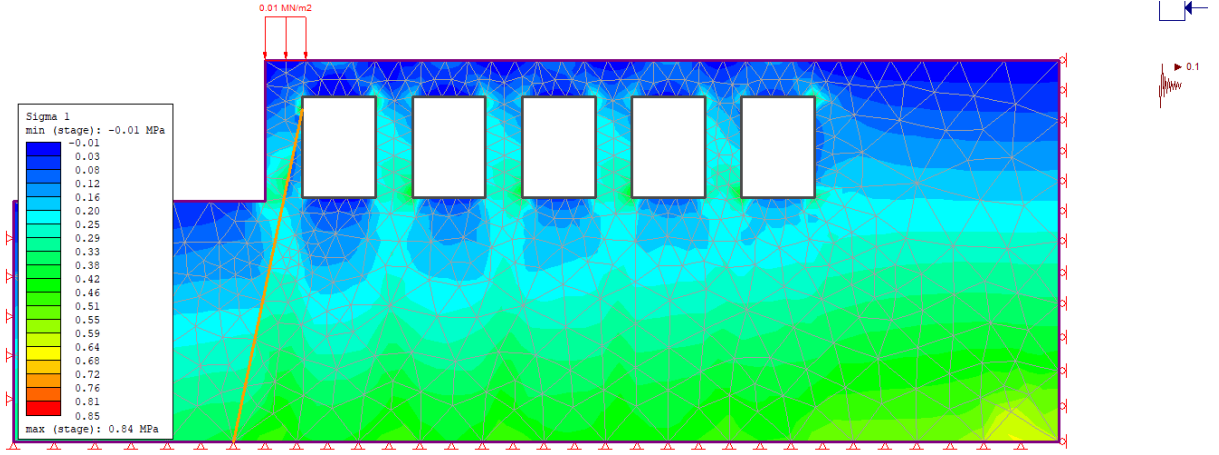
Ek 2.1 B-B' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar

### 2.1. HOEK-BROWN GÖRGÜL YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI

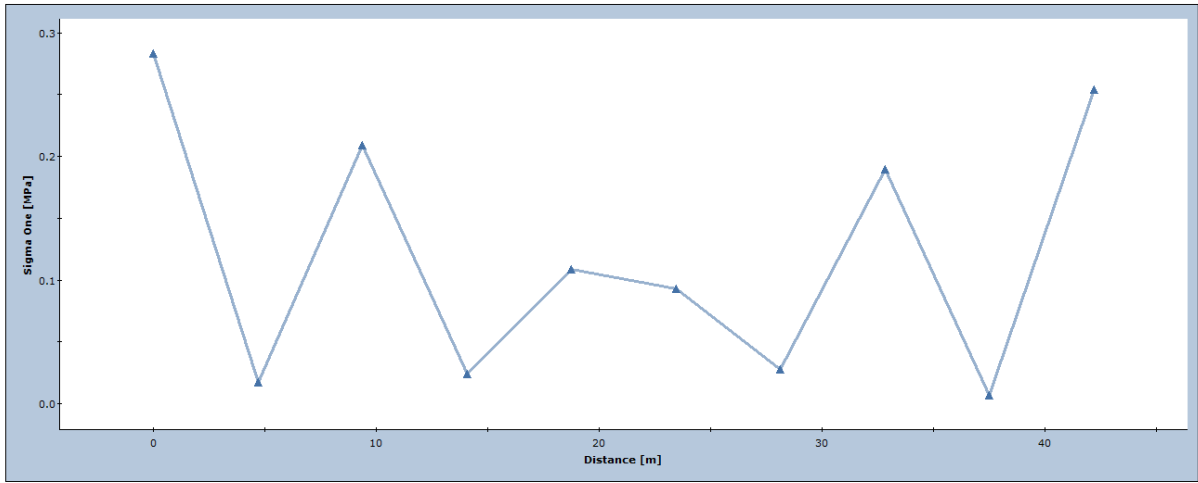


Ek 2.2 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

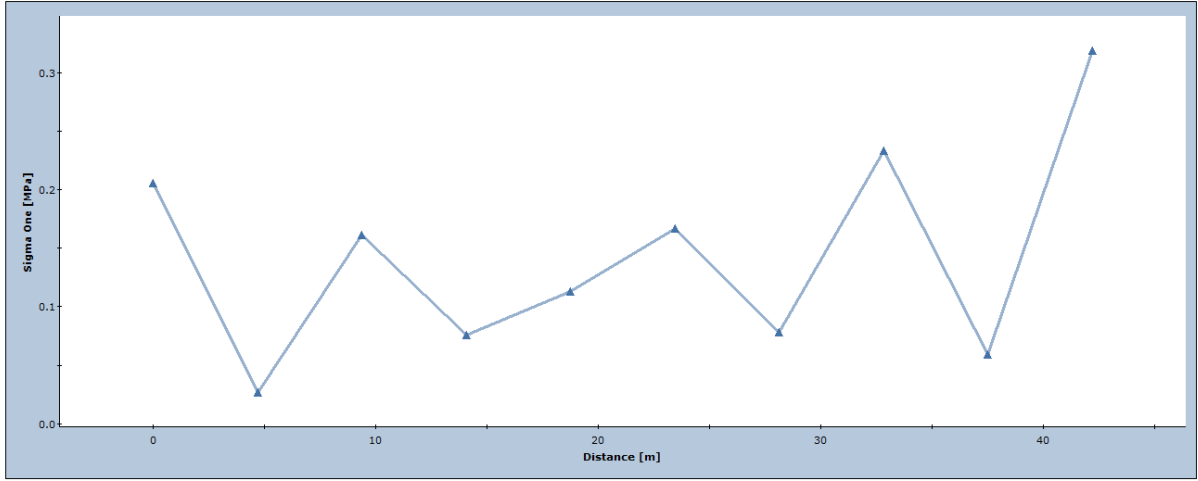




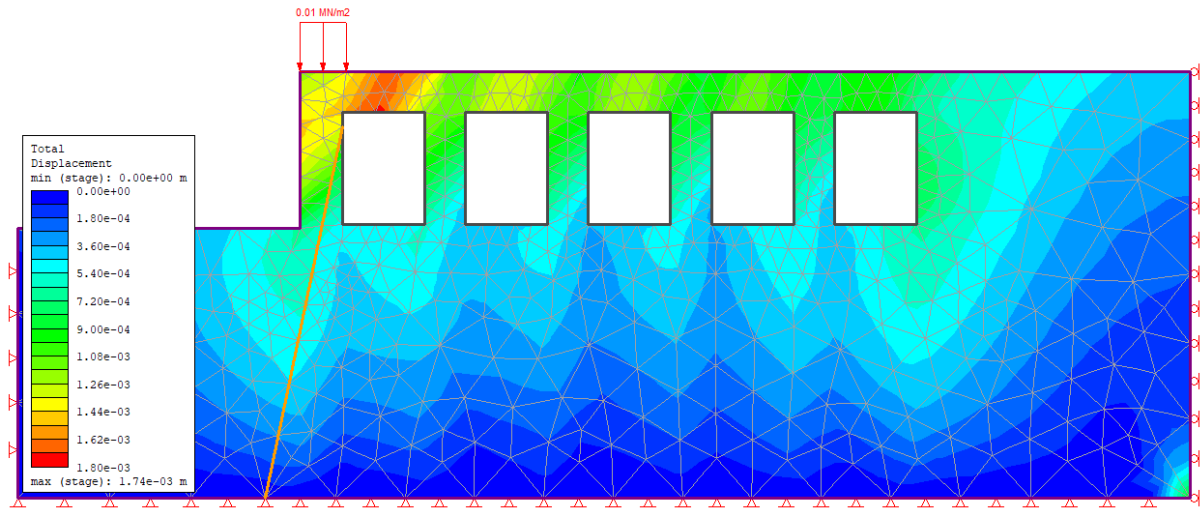
Ek 2.3 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



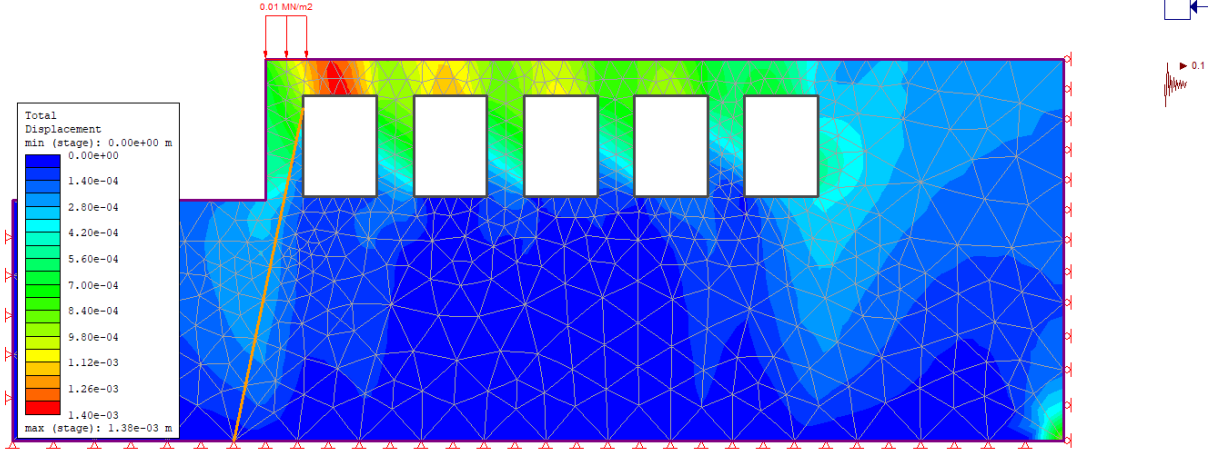
Ek 2.4 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



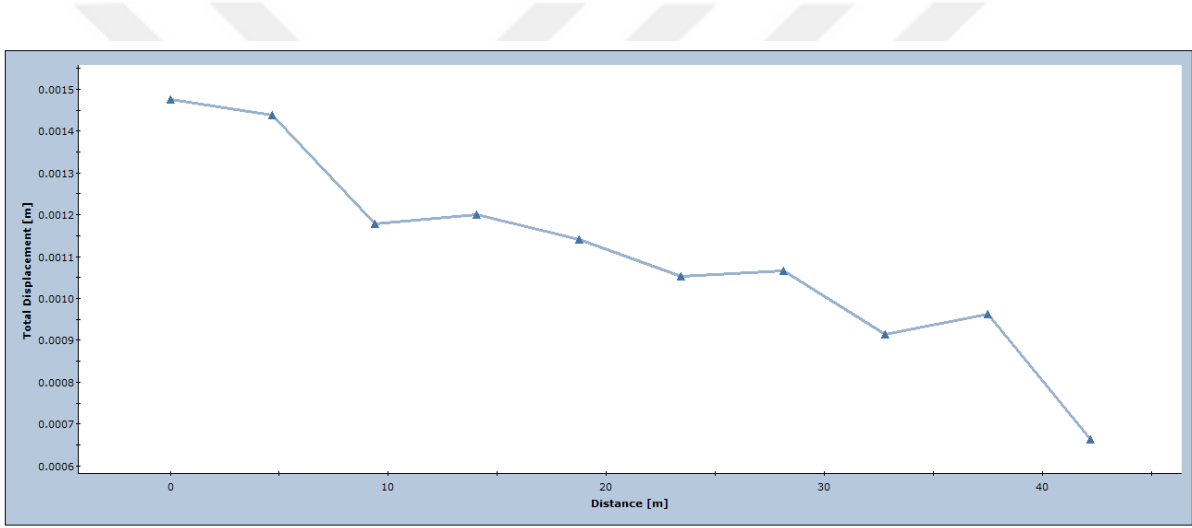
Ek 2.5 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



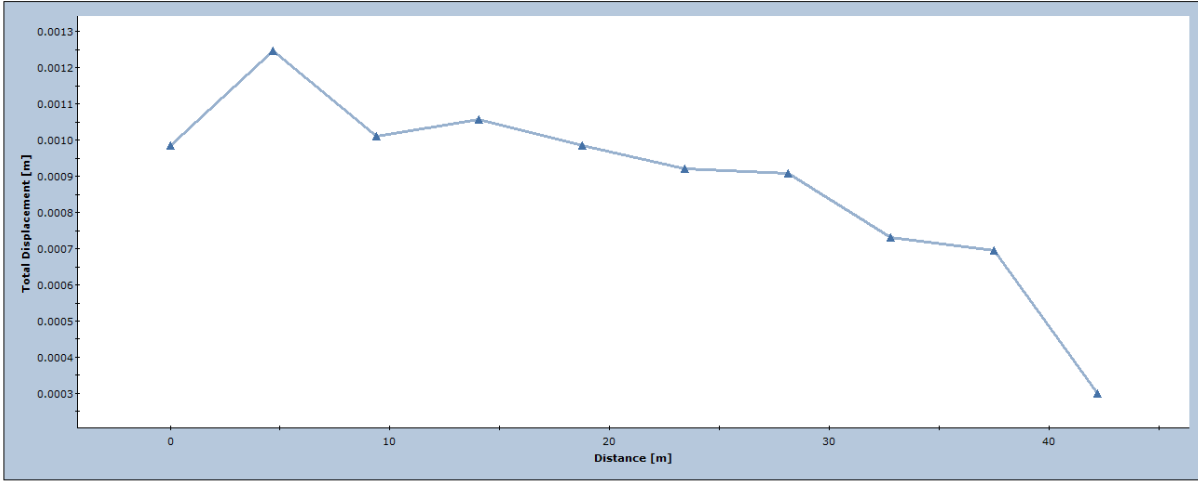
Ek 2.6 B-B' kesit hattında toplam yerdeğişirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



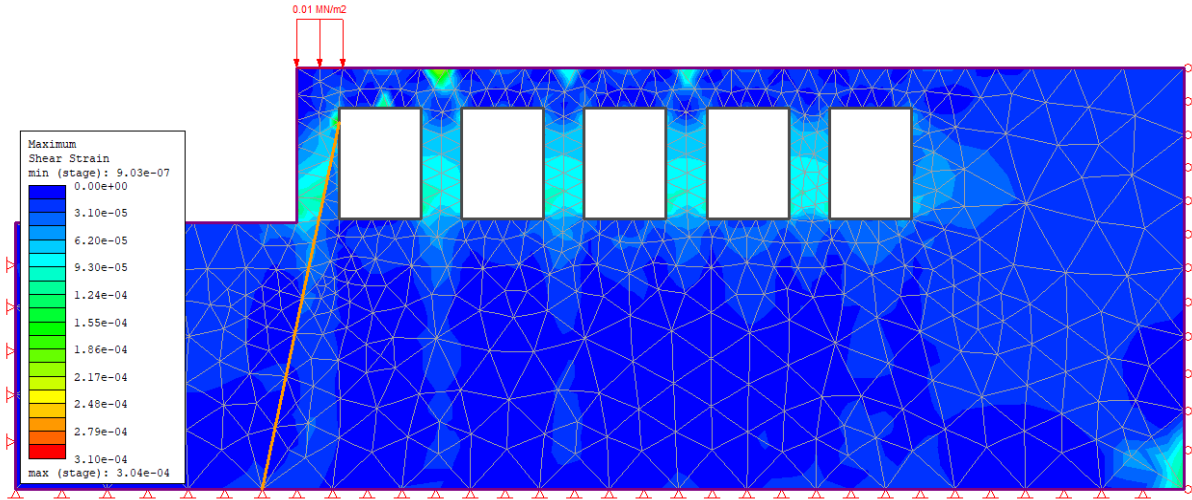
Ek 2.7 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



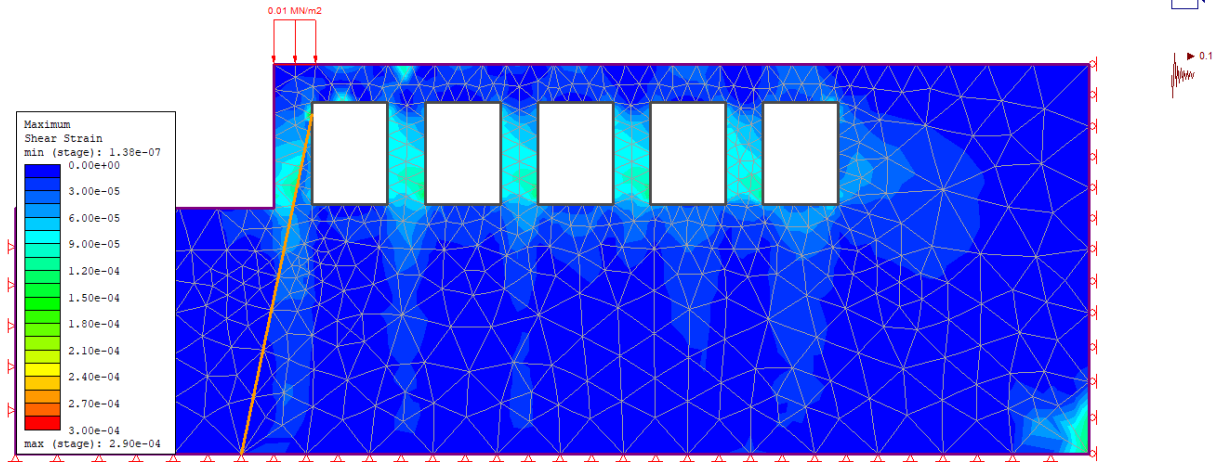
Ek 2.8 B-B' kesit hattında toplam yer değiştirmerinin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



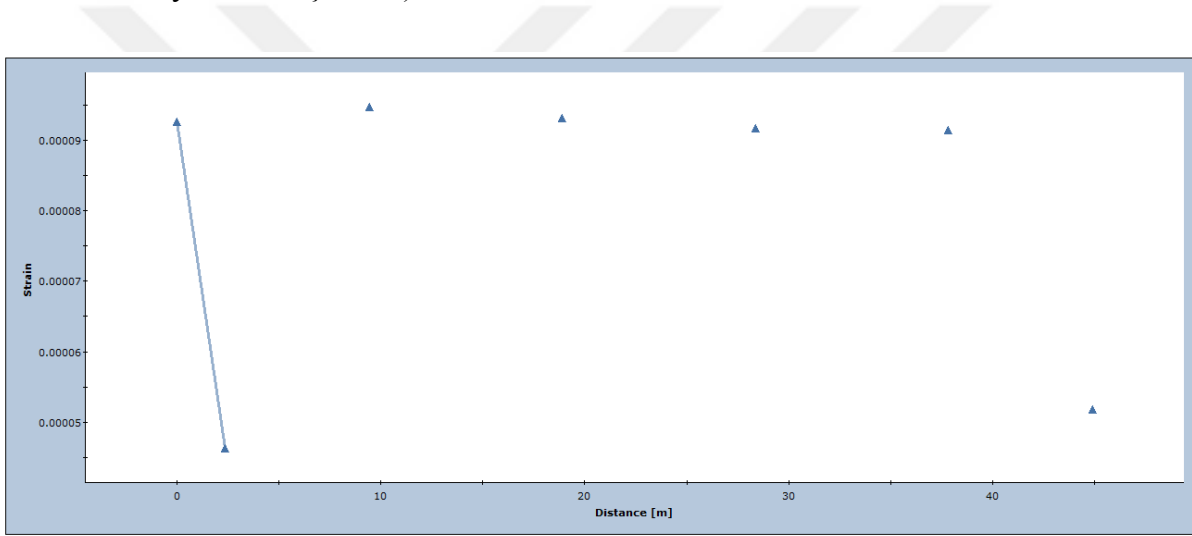
Ek 2.9 B-B' kesit hattında toplam yer değiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme olęütü ile)



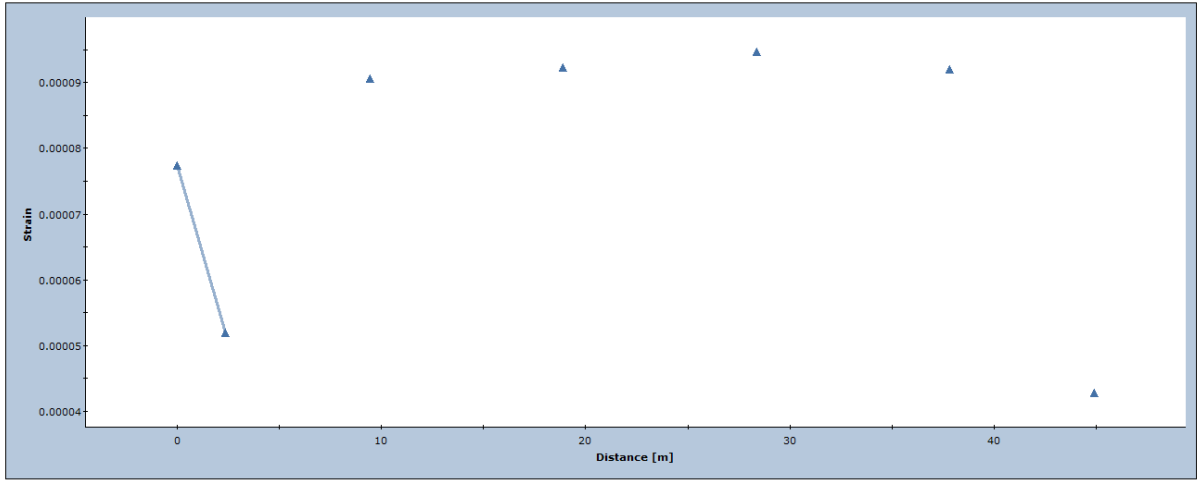
Ek 2.10 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme olęütü ile)



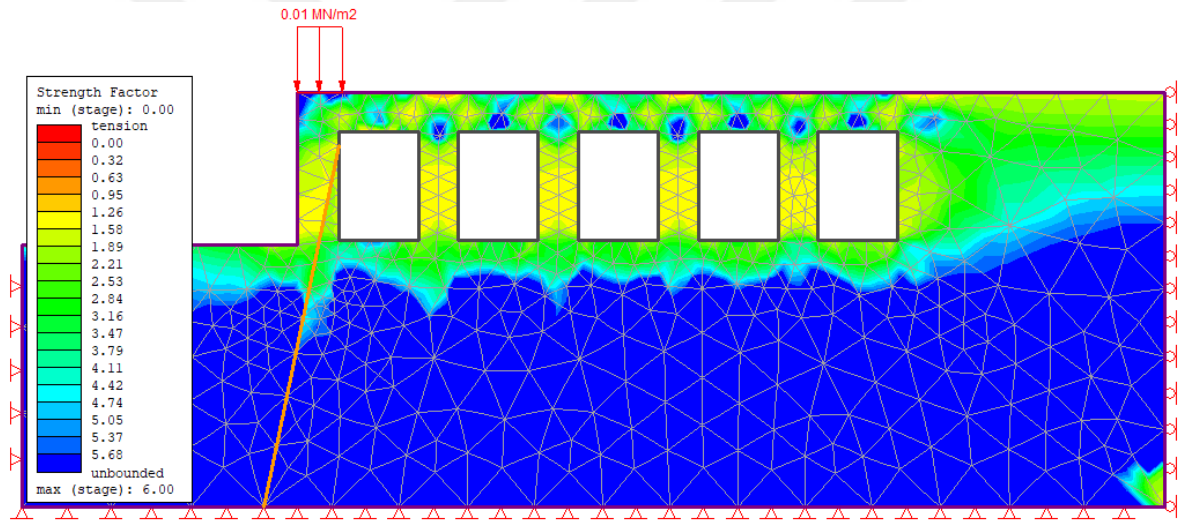
Ek 2.11 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



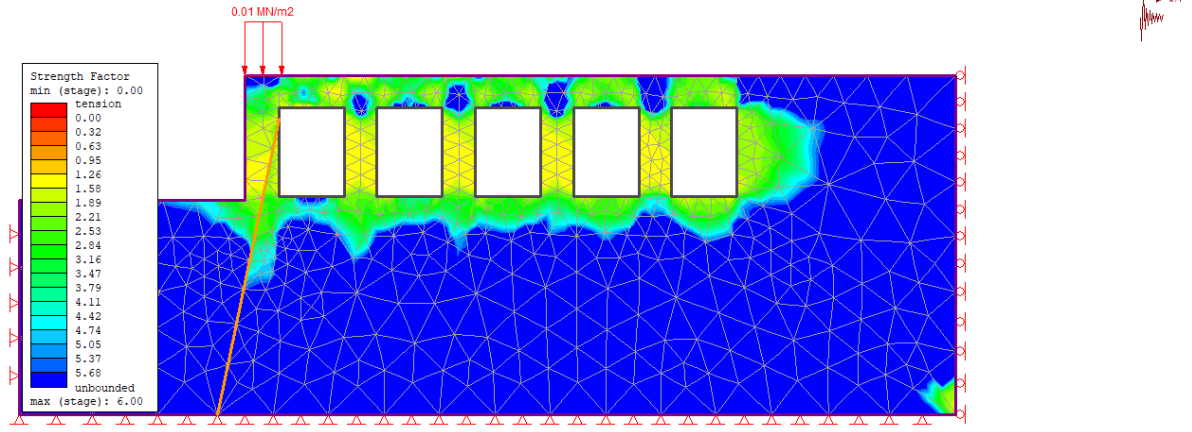
Ek 2.12 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



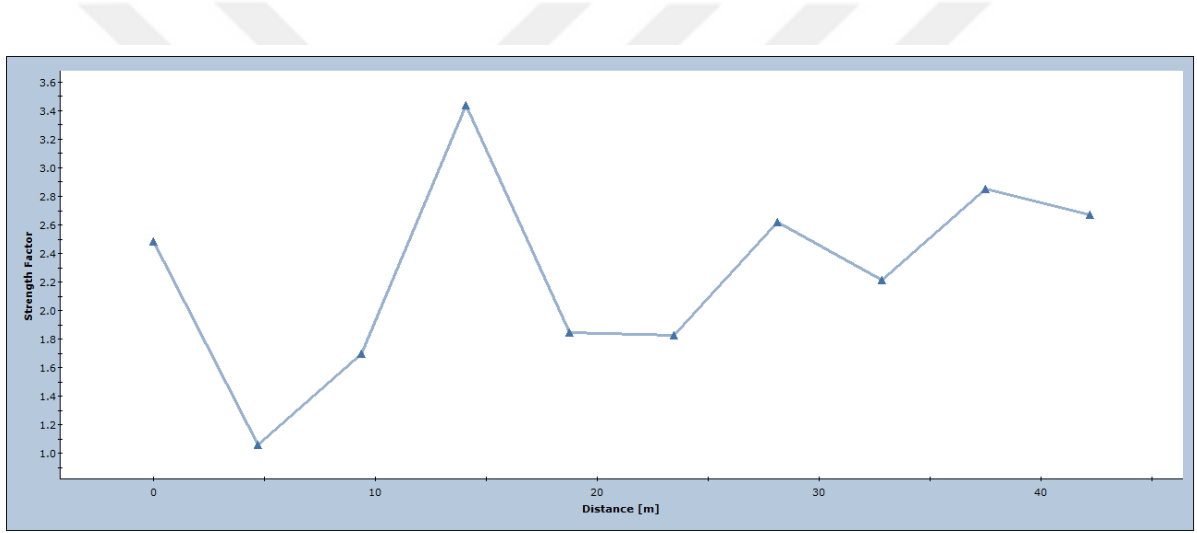
Ek 2.13 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



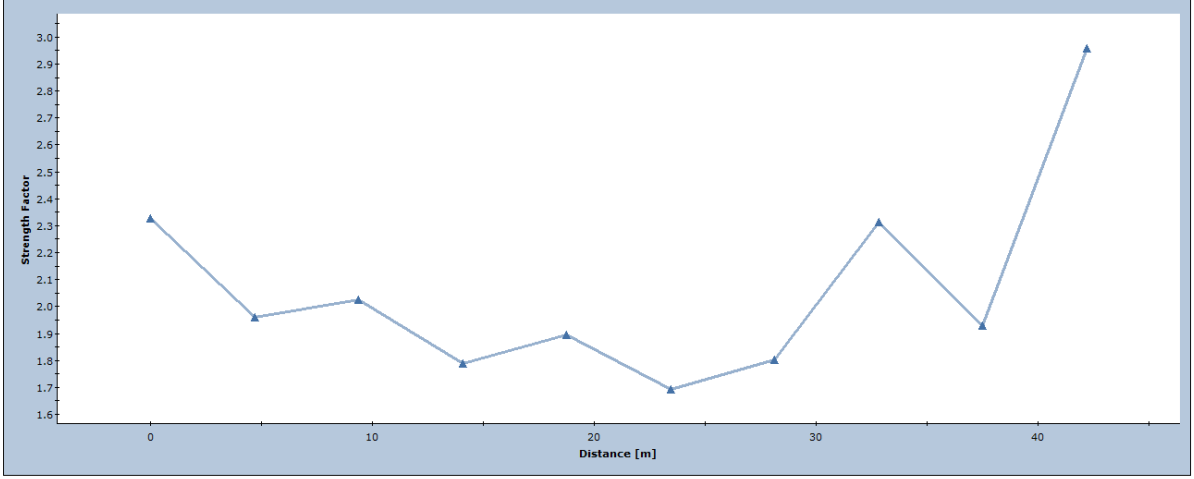
Ek 2.14 B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



Ek 2.15 B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



Ek 2.16 B-B' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

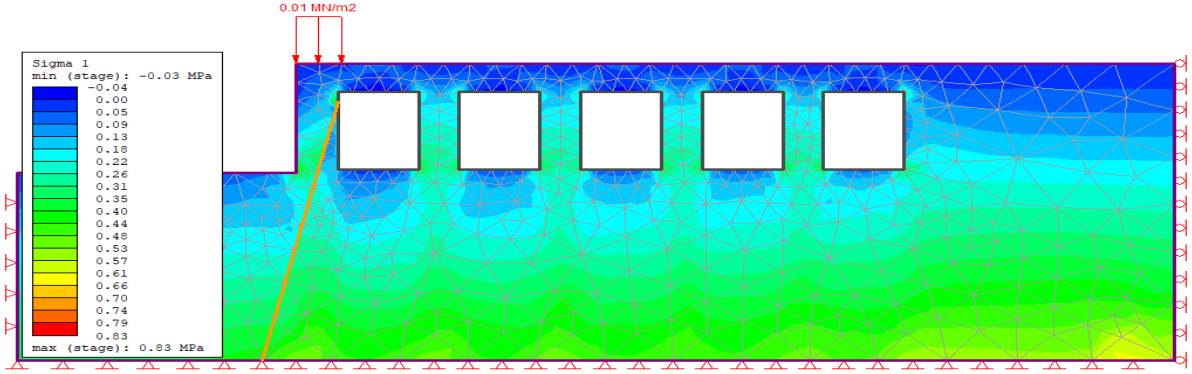


Ek 2.17 B-B' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

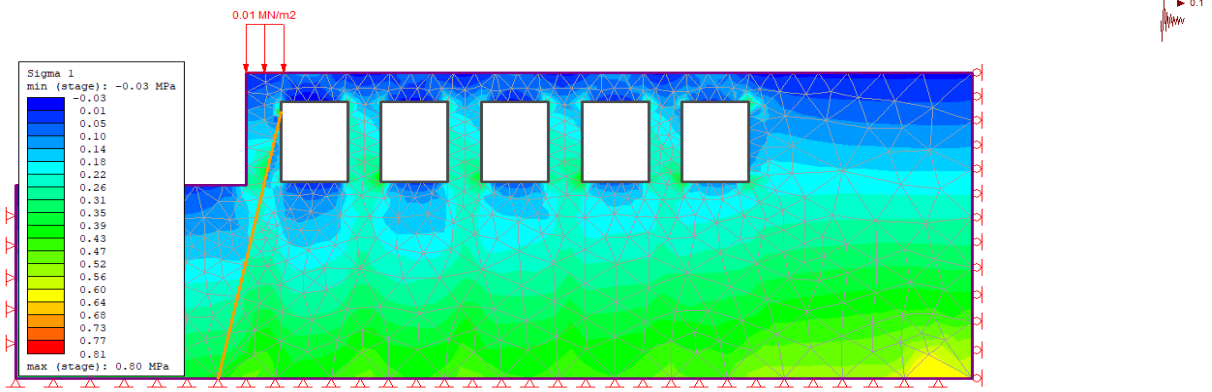




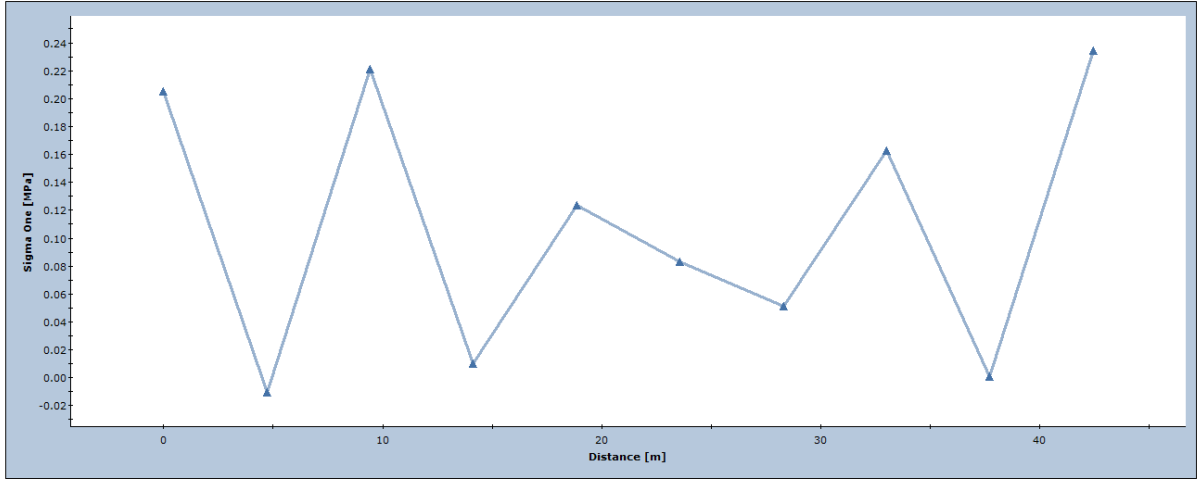
## 2.2. MOHR-COULOMB YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI



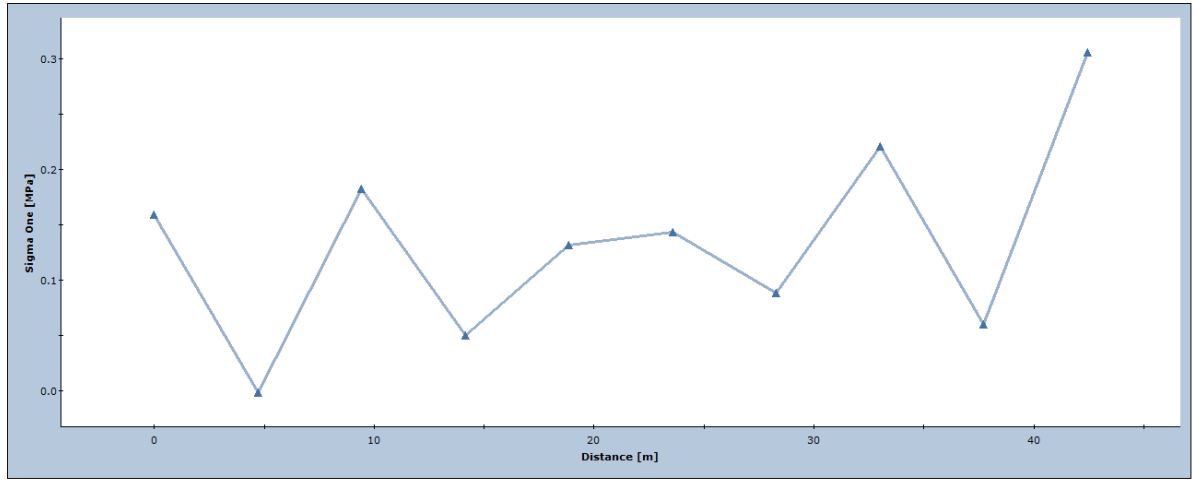
Ek 2.18 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



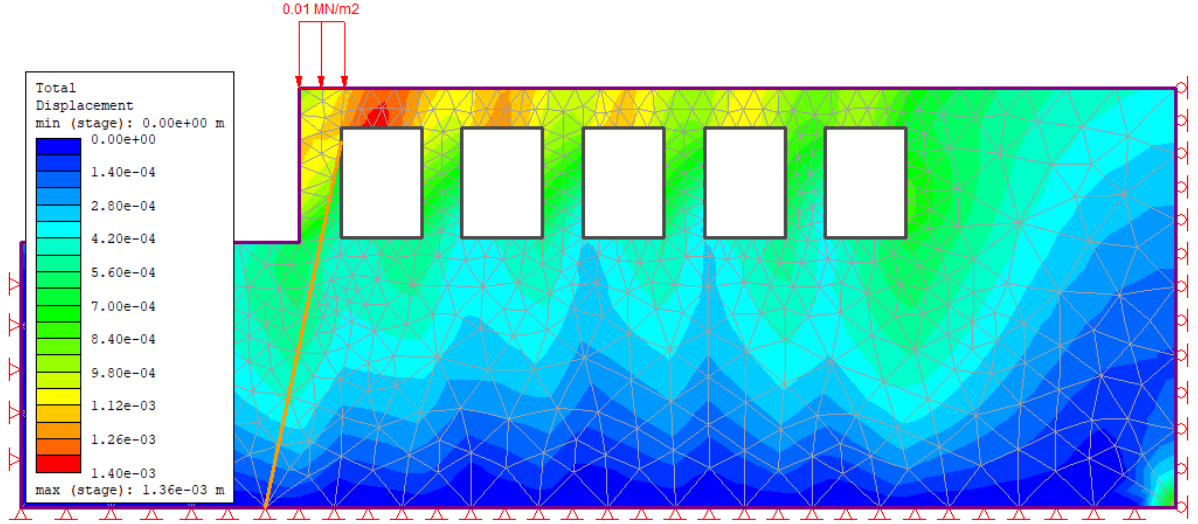
Ek 2.19 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



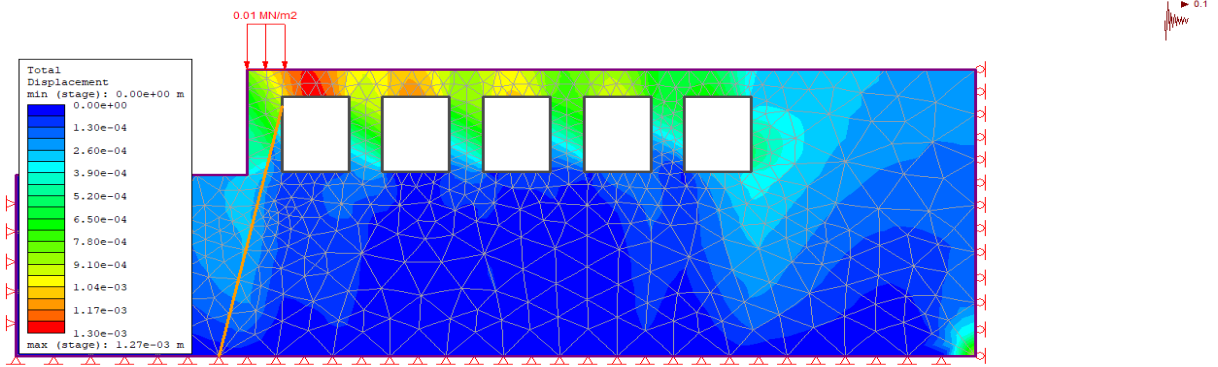
Ek 2.20 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



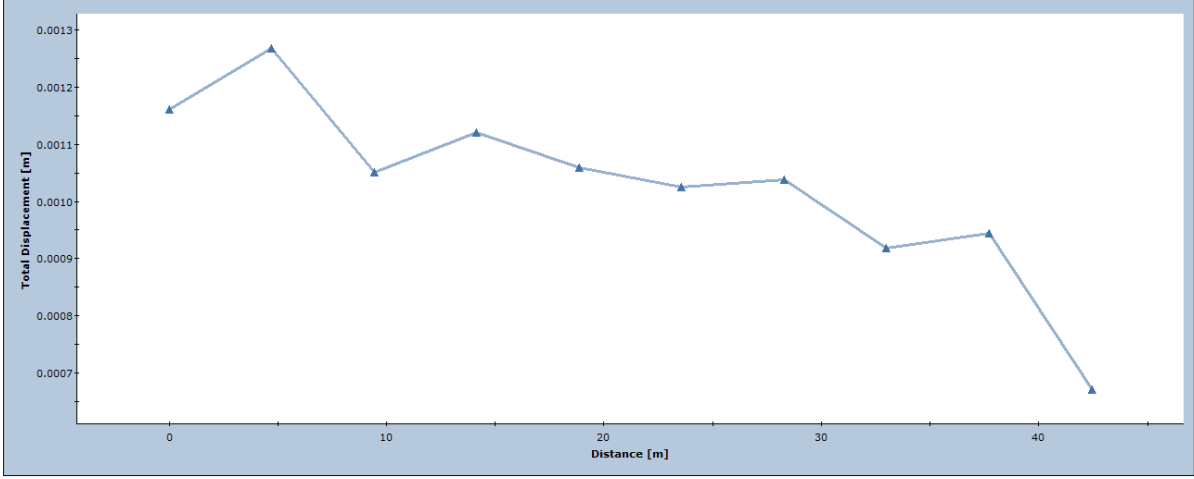
Ek 2.21 B-B' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



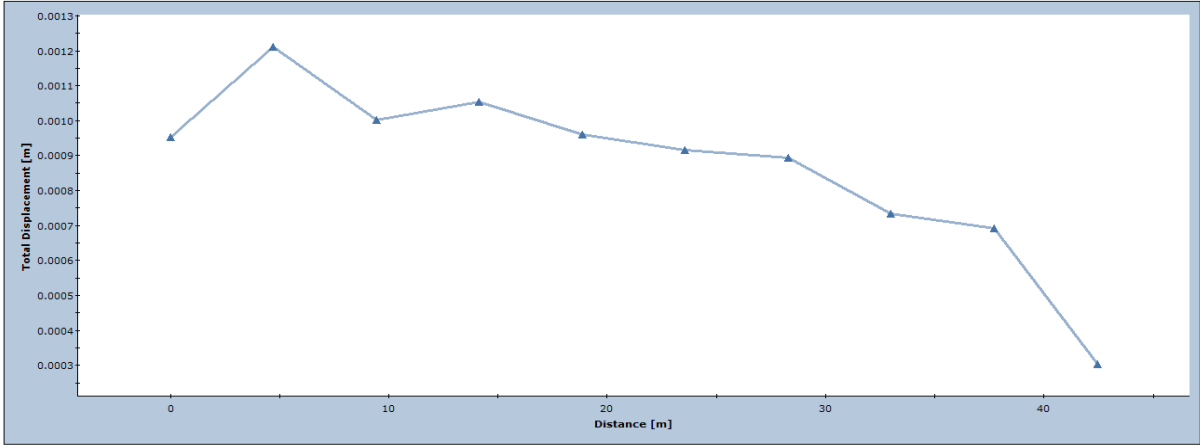
Ek 2.22 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



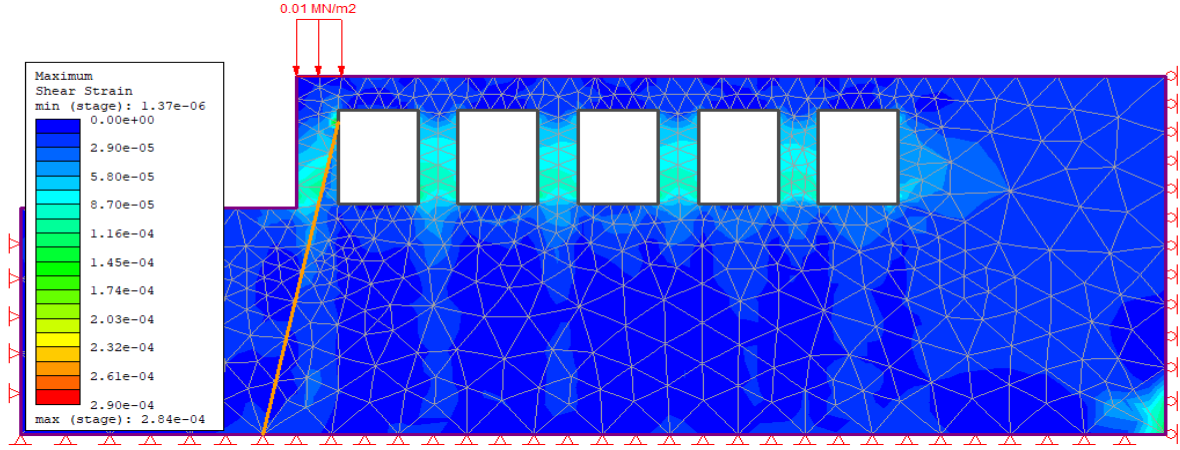
Ek 2.23 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



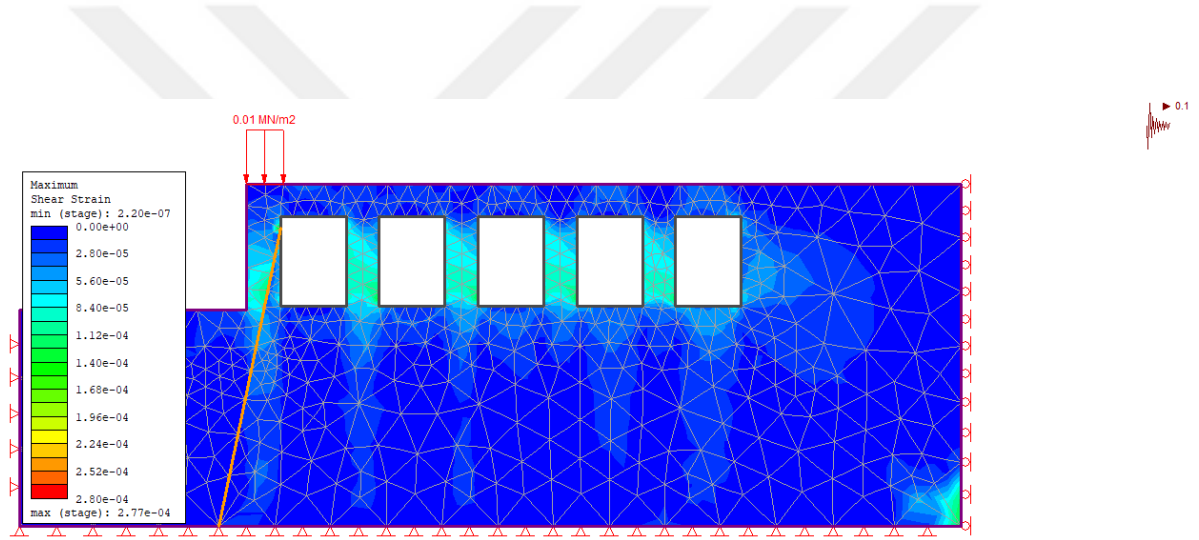
Ek 2.24 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirimenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



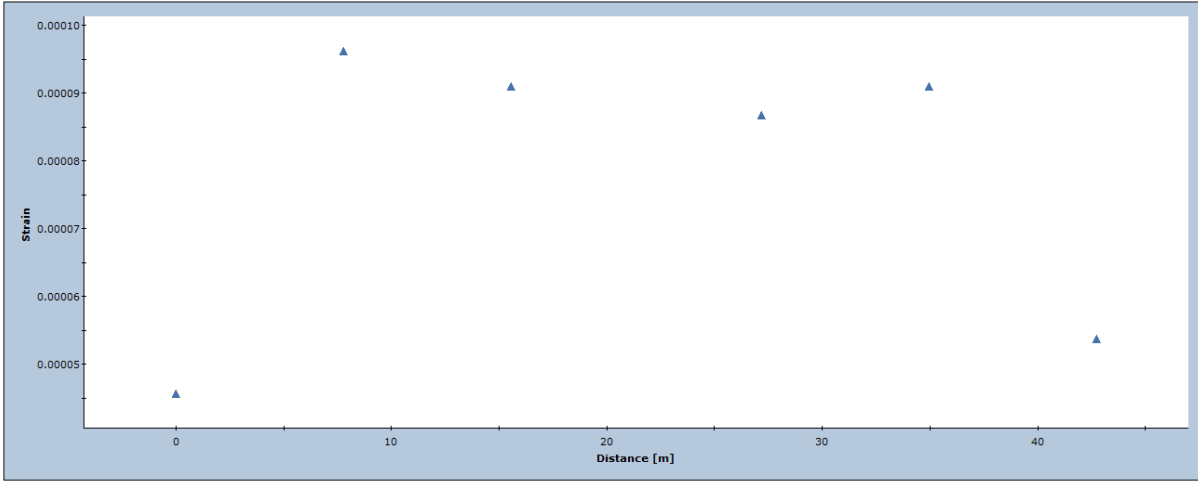
Ek 2.25 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirimenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



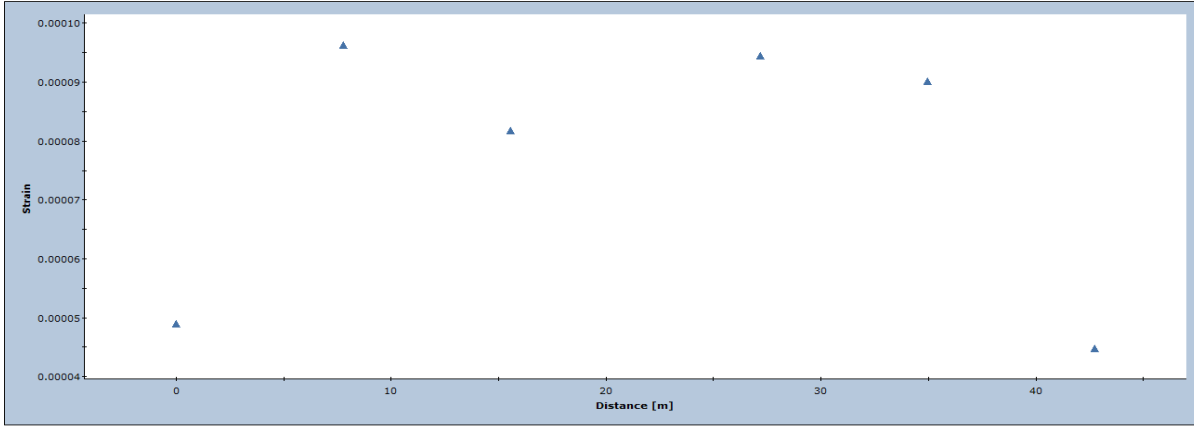
Ek 2.26 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



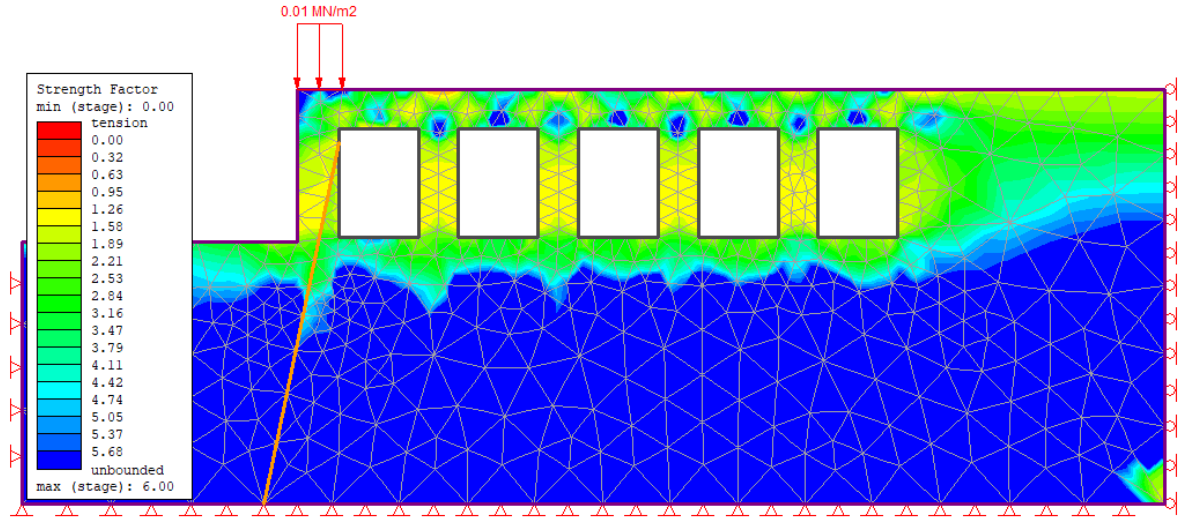
Ek 2.27 B-B' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



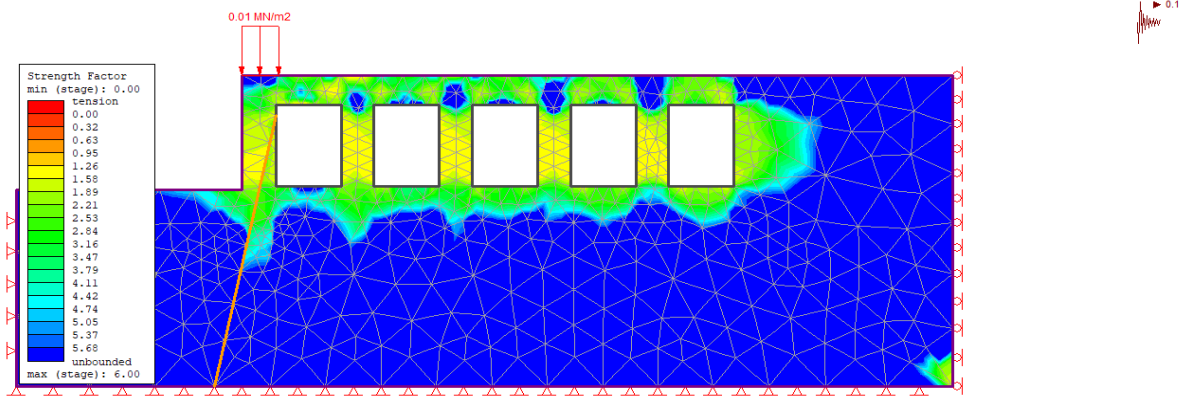
Ek 2.28 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme lt ile)



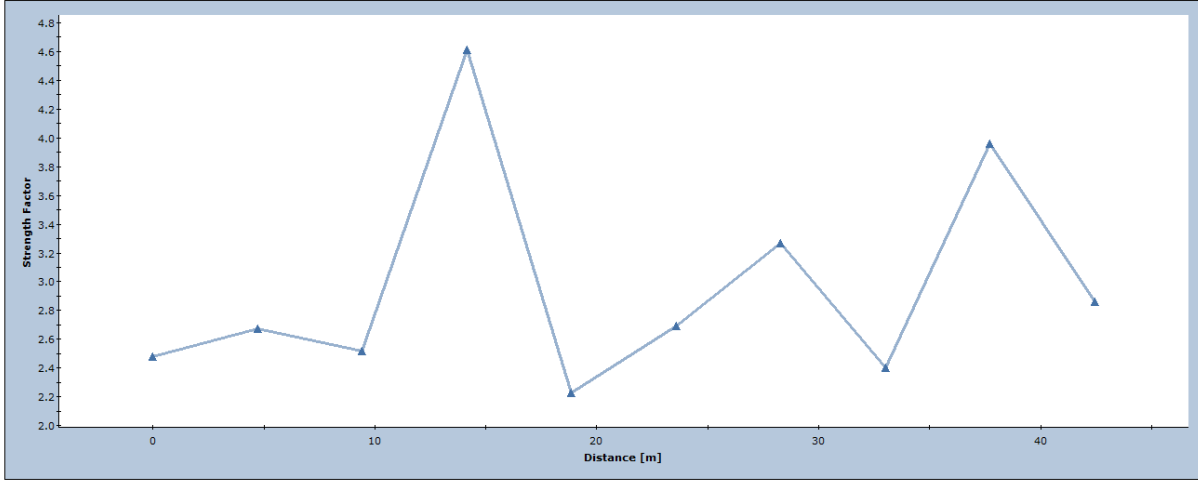
Ek 2.29 B-B' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme lt ile)



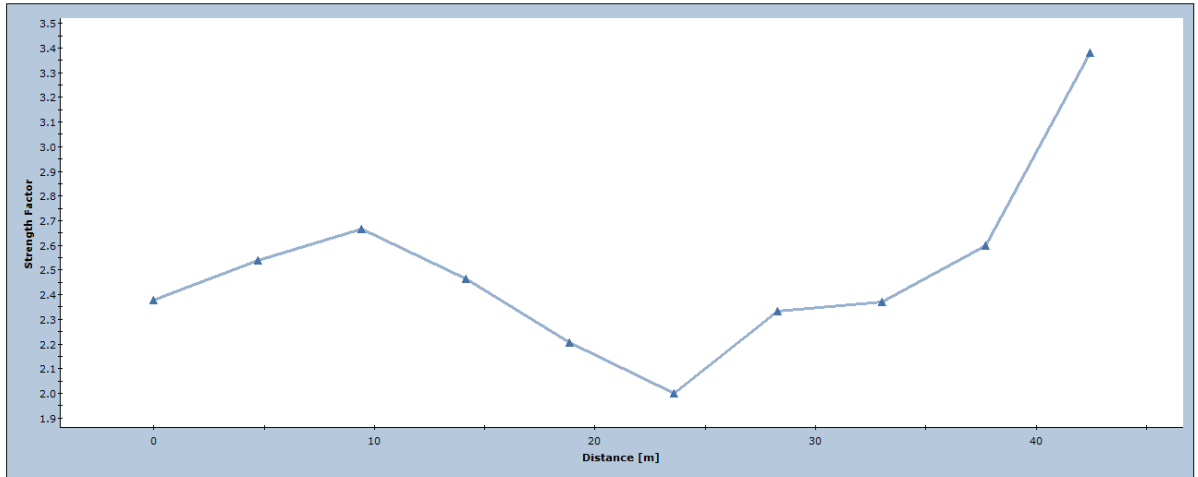
Ek 2.30 B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



Ek 2.31B-B' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



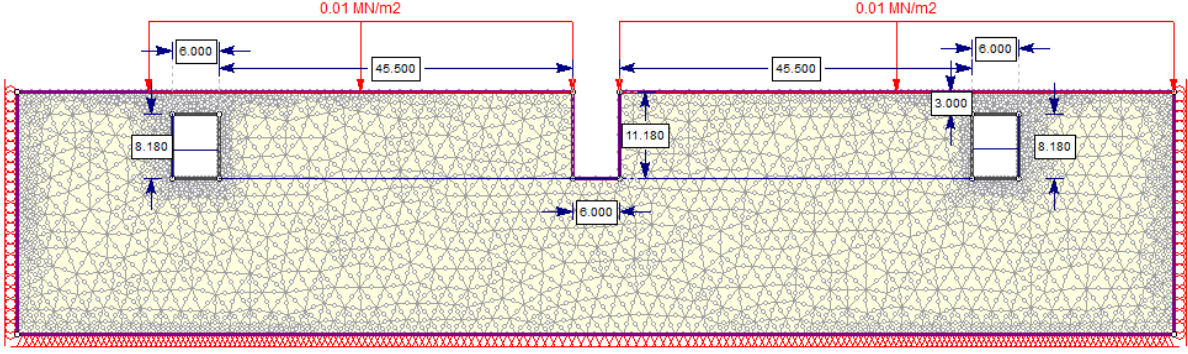
Ek 2.32 B-B' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



Ek 2.33 B-B' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)

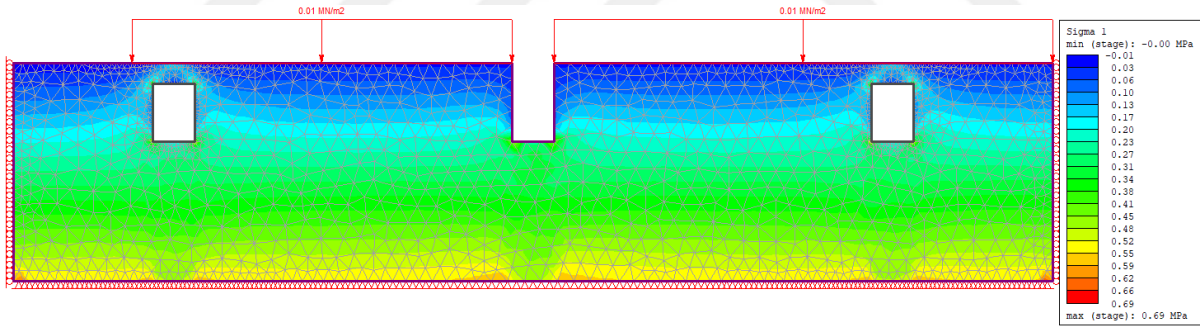


### 3. C-C' KESİT HATTI BOYUNCA GERÇEKLEŞTİRİLEN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI

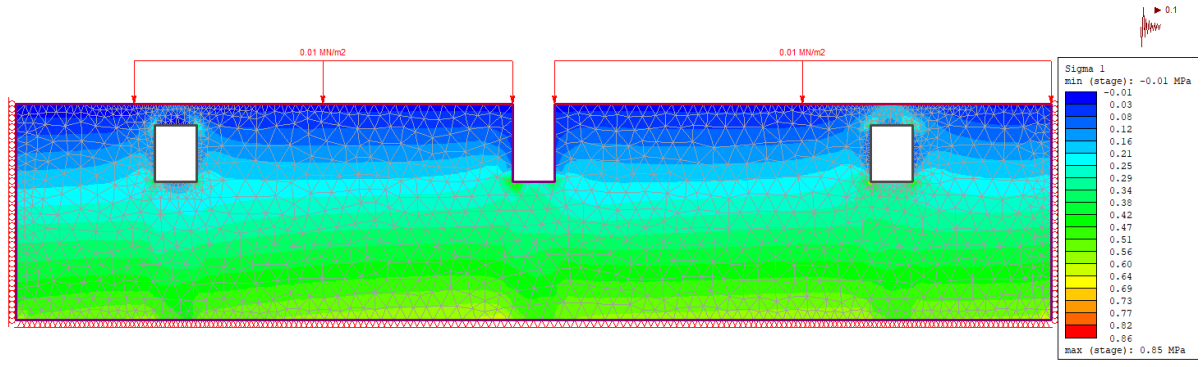


Ek 3.1 C-C' kesit hattı boyunca sonlu elemanlar analizinde kullanılan modele ait boyutlar

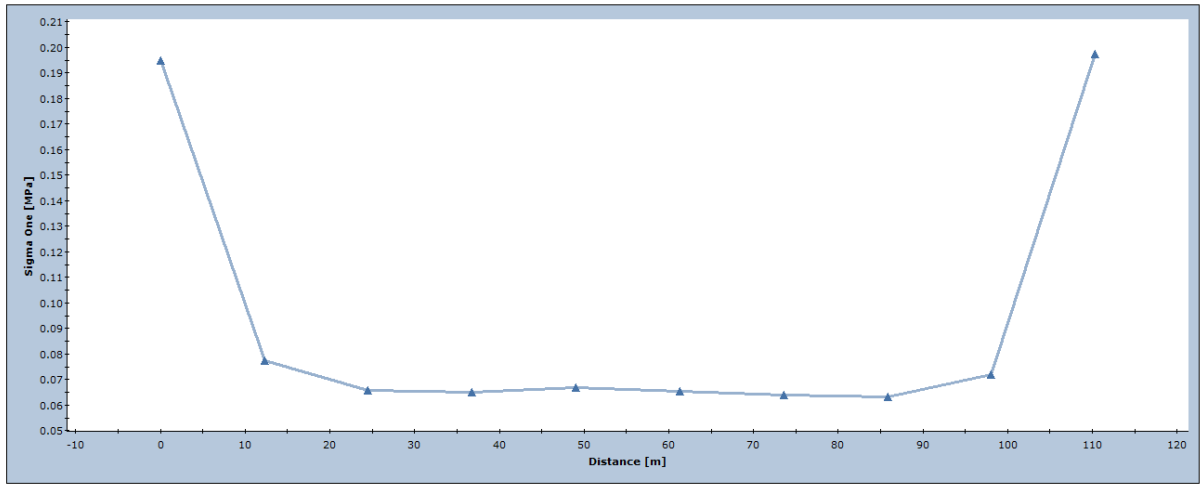
### 3.1. HOEK-BROWN GÖRGÜL YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI



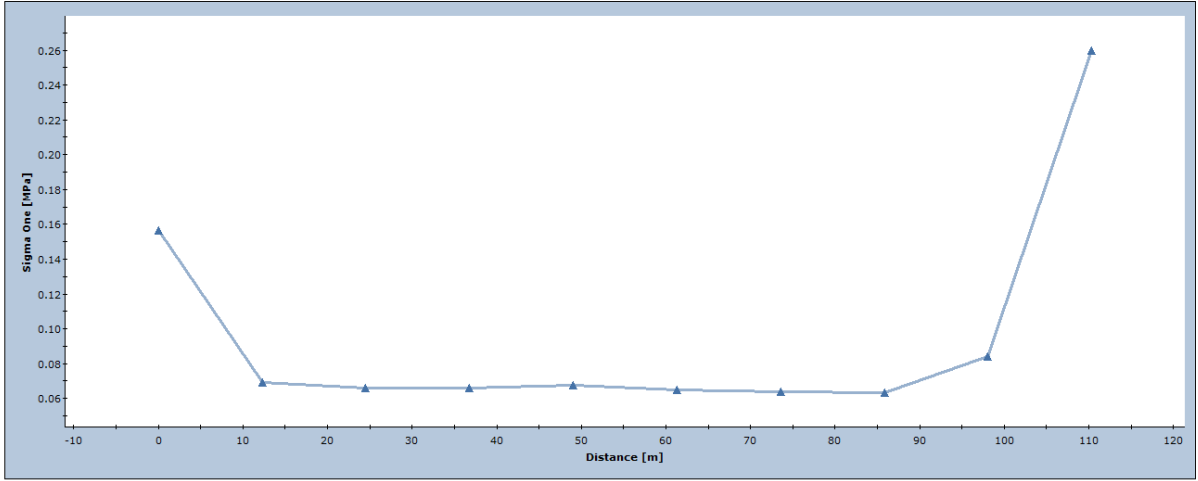
Ek 3.2 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



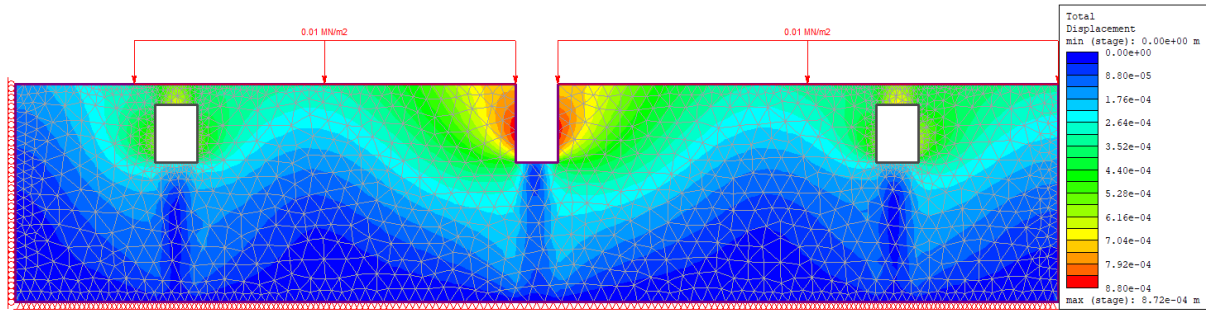
Ek 3.3 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



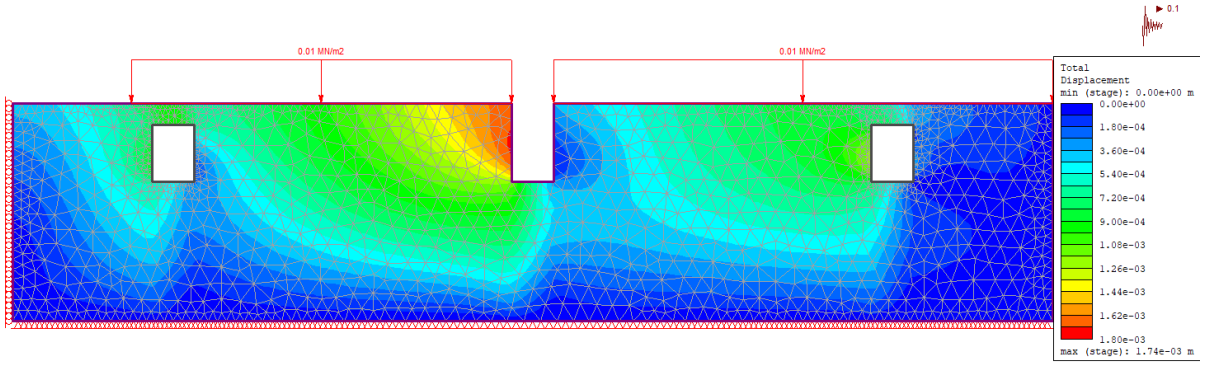
Ek 3.4 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



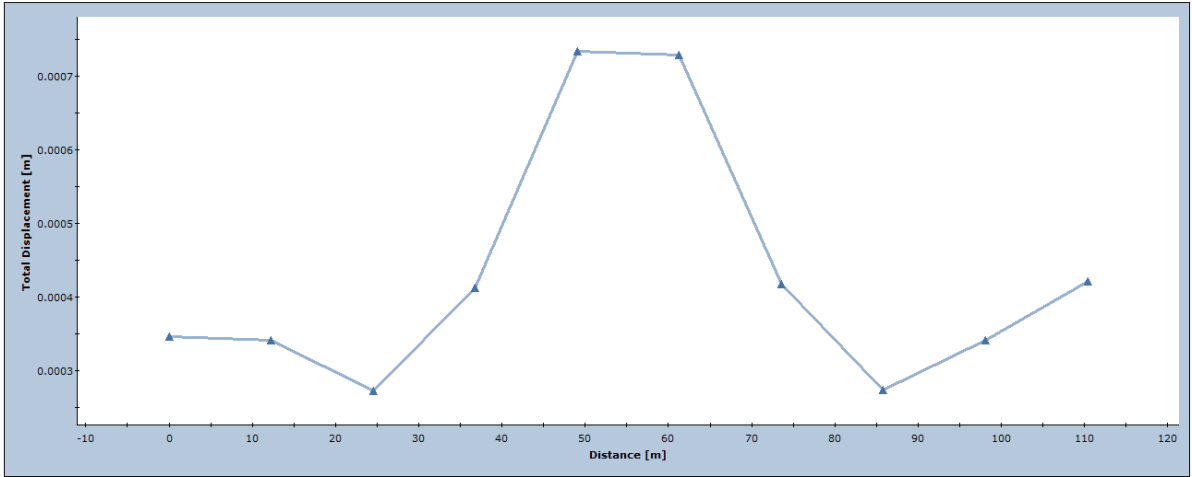
Ek 3.5 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



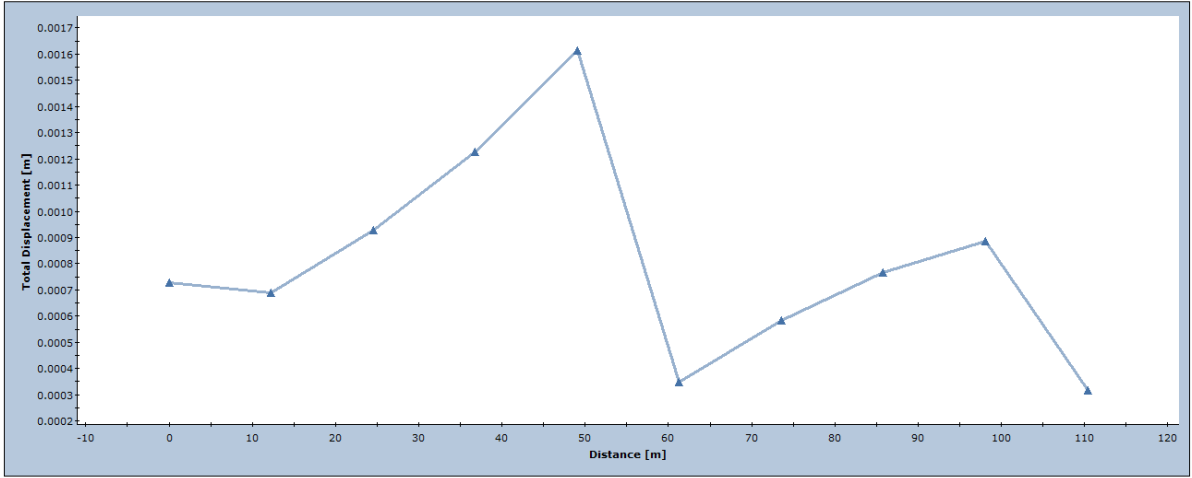
Ek 3.6 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



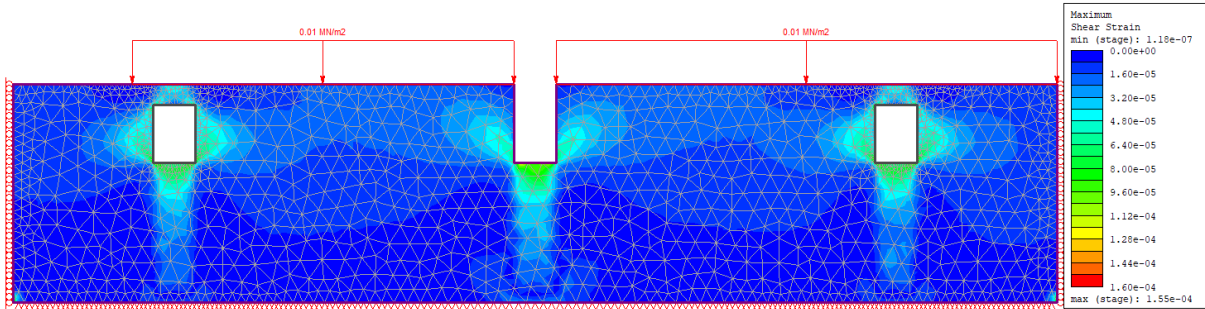
Ek 3.7 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



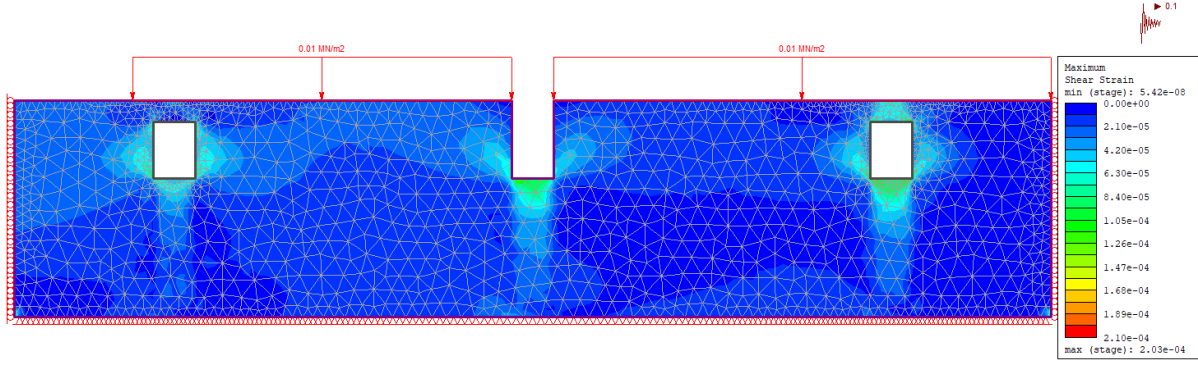
Ek 3.8 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



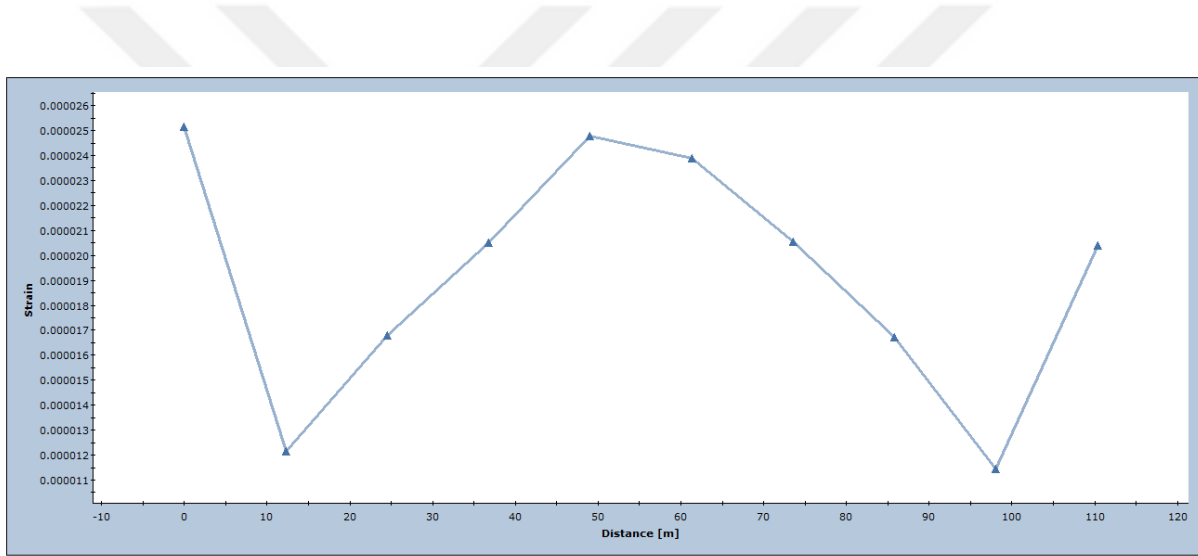
Ek 3.9 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



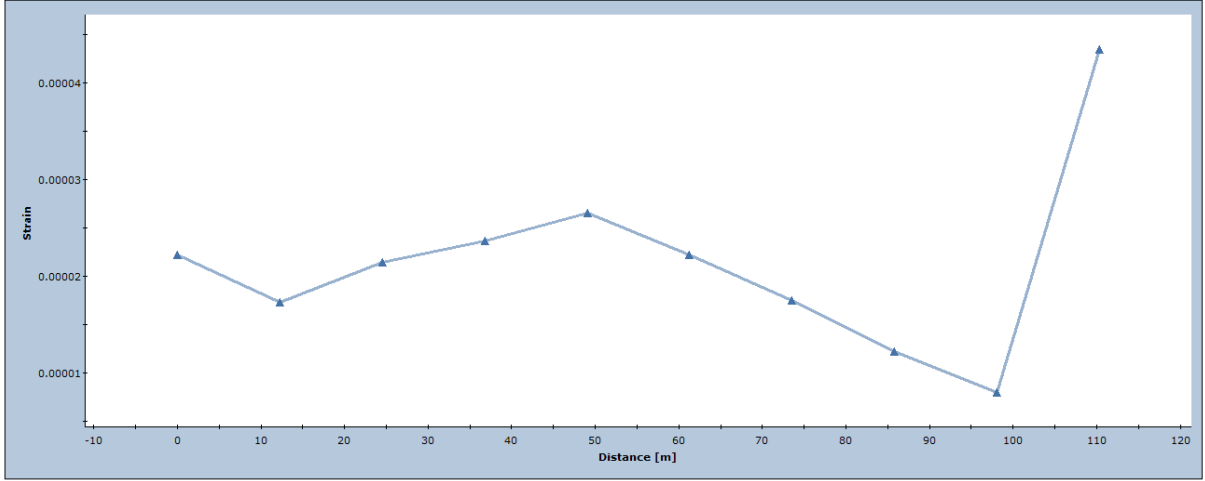
Ek 3.10 C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



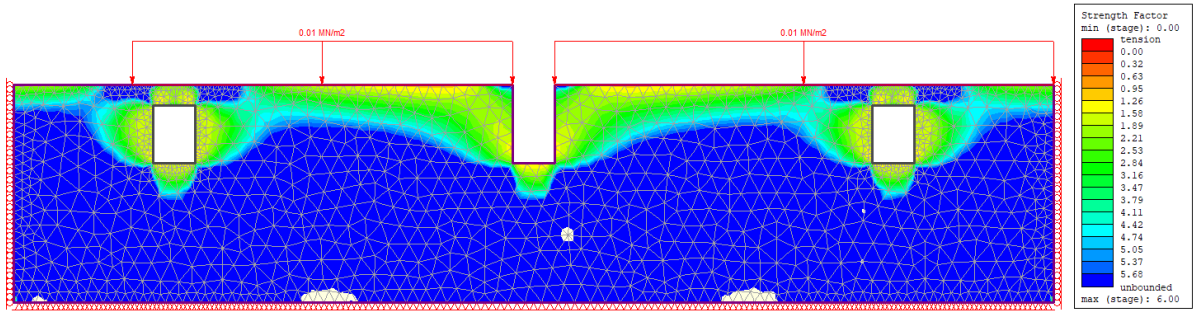
Ek 3.11 C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



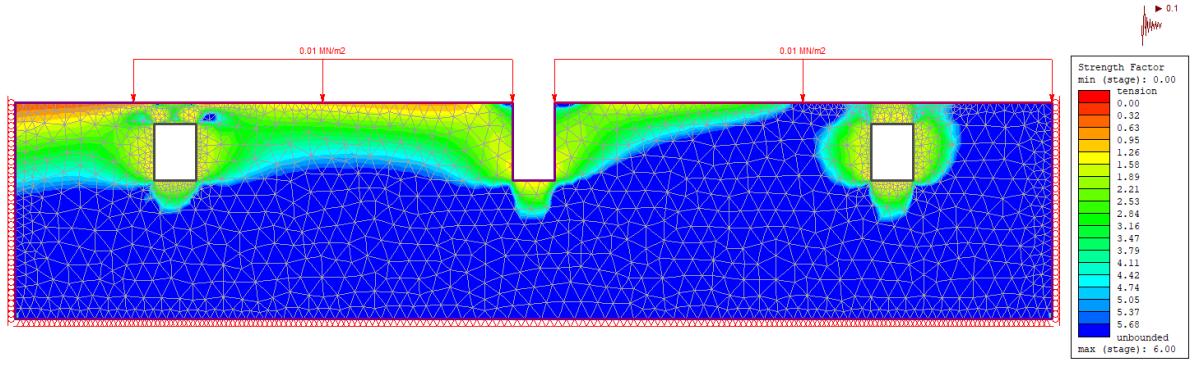
Ek 3.12 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geöen hat boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



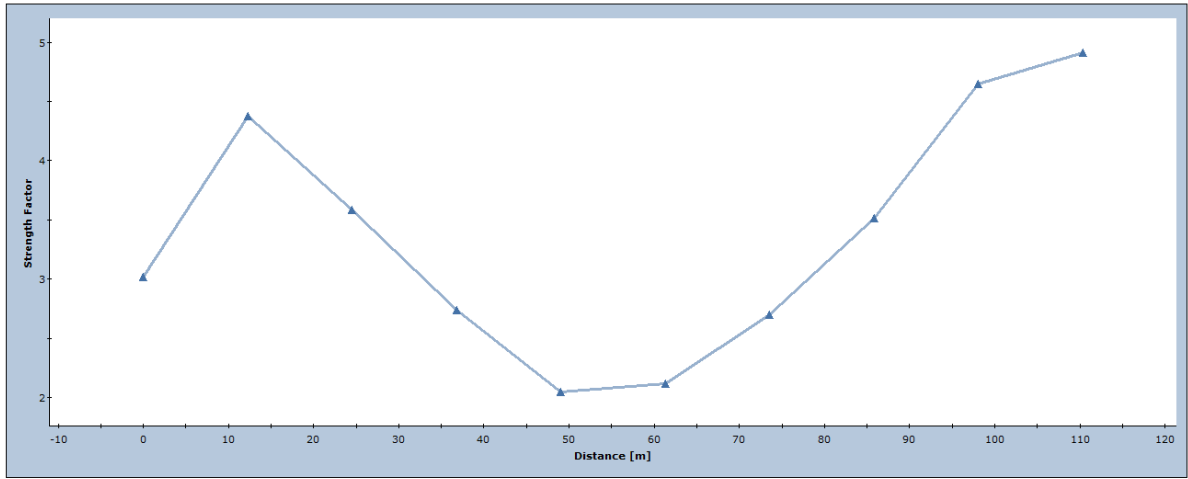
Ek 3.13 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



Ek 3.14 C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

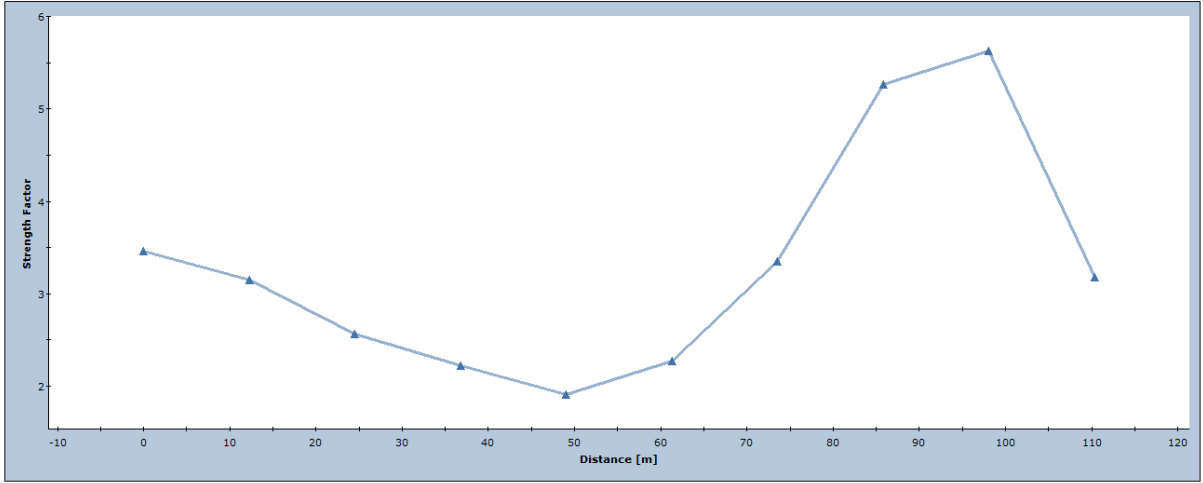


Ek 3.15 C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



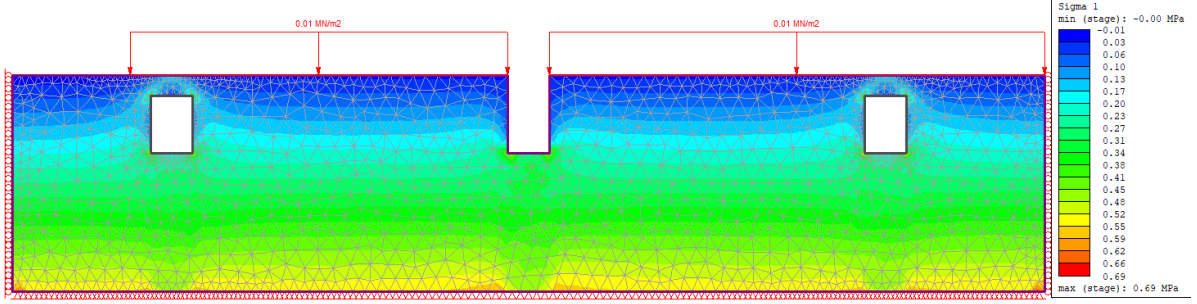
Ek 3.16 C-C' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)



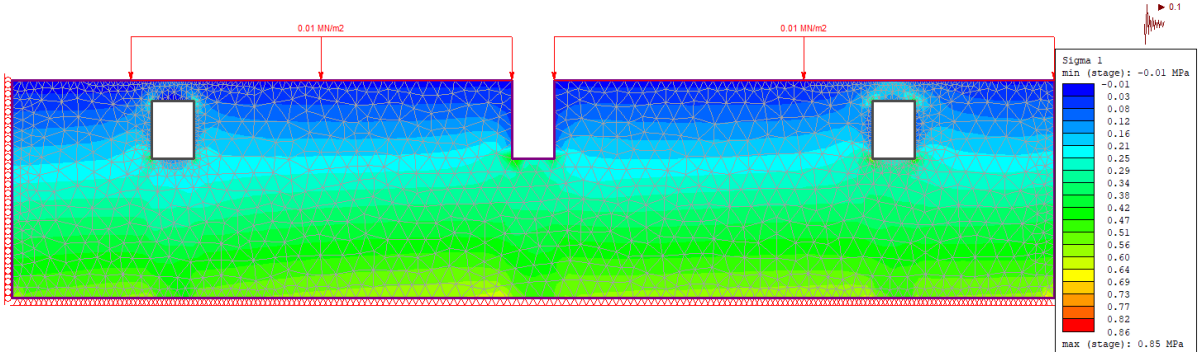


Ek 3.17 C-C' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul-Hoek-Brown yenilme ölçütü ile)

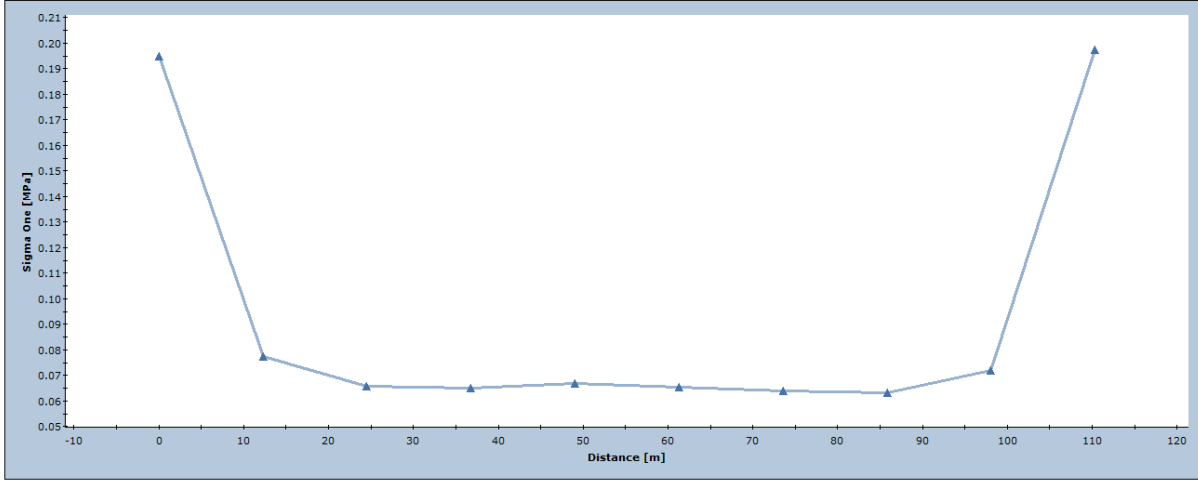
### 3.2. MOHR-COULOMB YENİLME ÖLÇÜTÜ KULLANILARAK YAPILAN SONLU ELEMANLAR ANALİZ SONUÇLARI



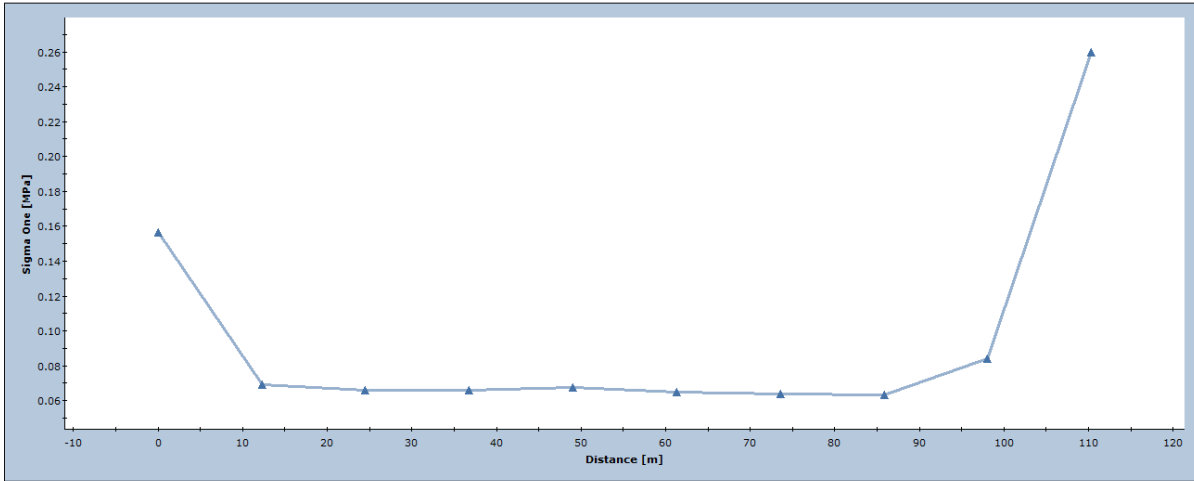
Ek 3.18 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (statik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



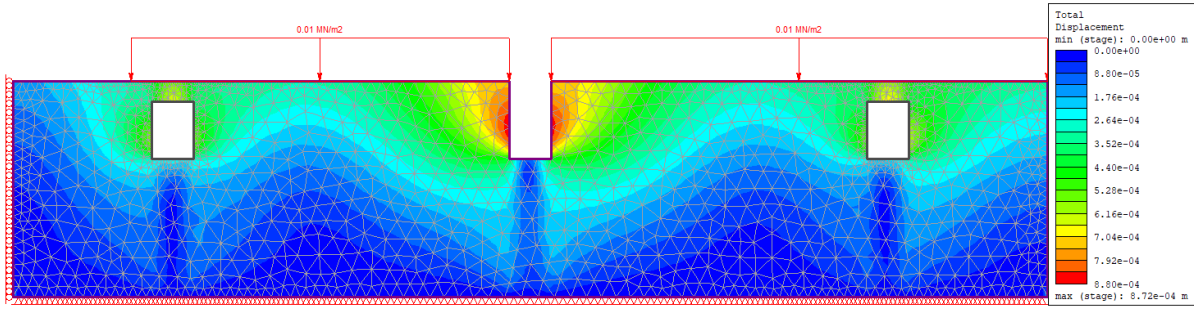
Ek 3.19 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilme ( $\sigma_1$ ) dağılımı (dinamik koşul-Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



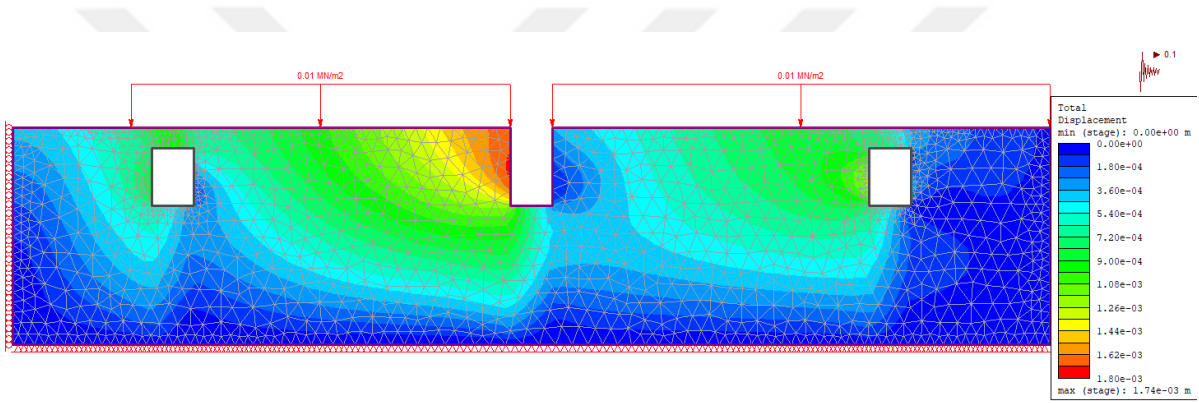
Ek 3.20 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



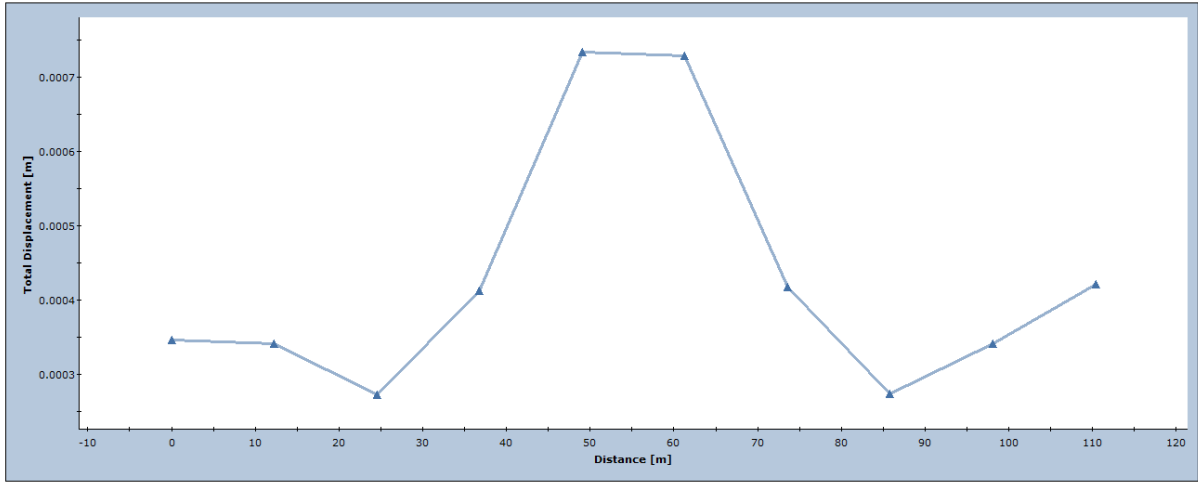
Ek 3.21 C-C' kesit hattında maksimum asal gerilmenin ( $\sigma_1$ ) loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



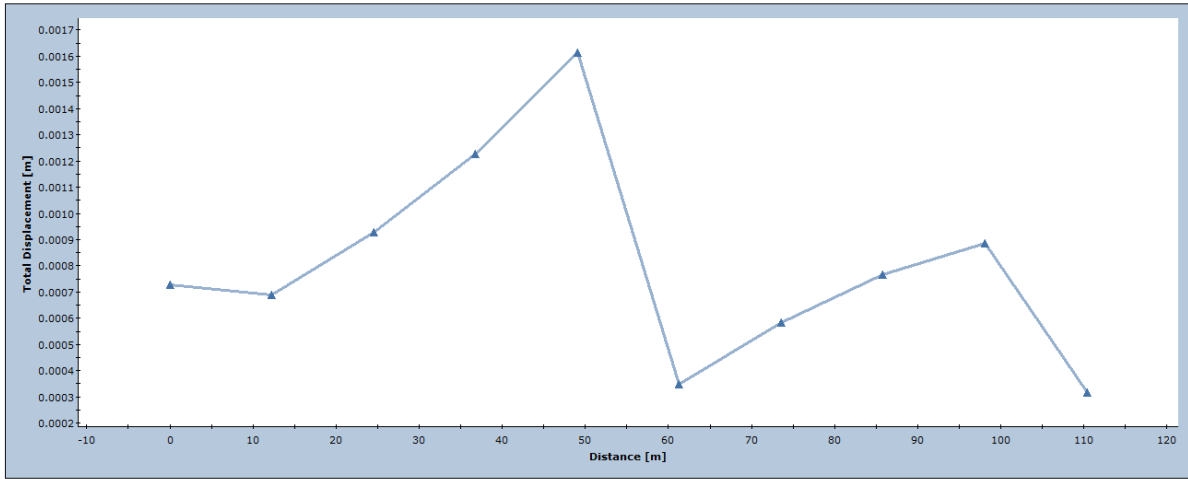
Ek 3.22 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



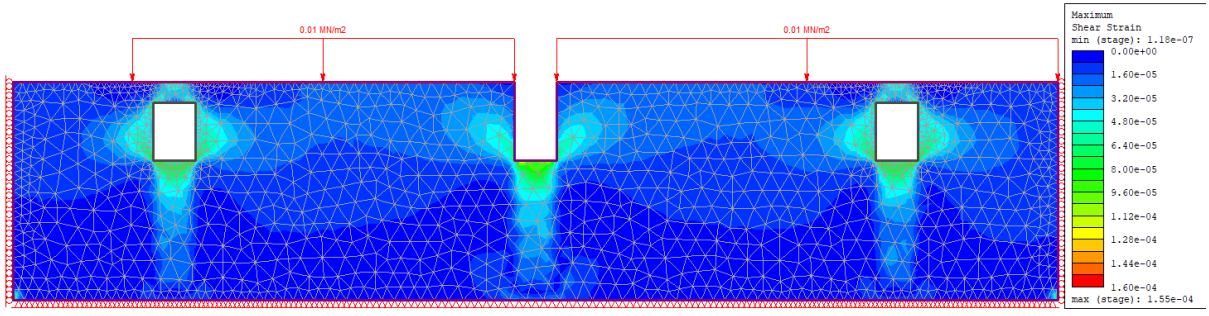
Ek 3.23 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirme dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



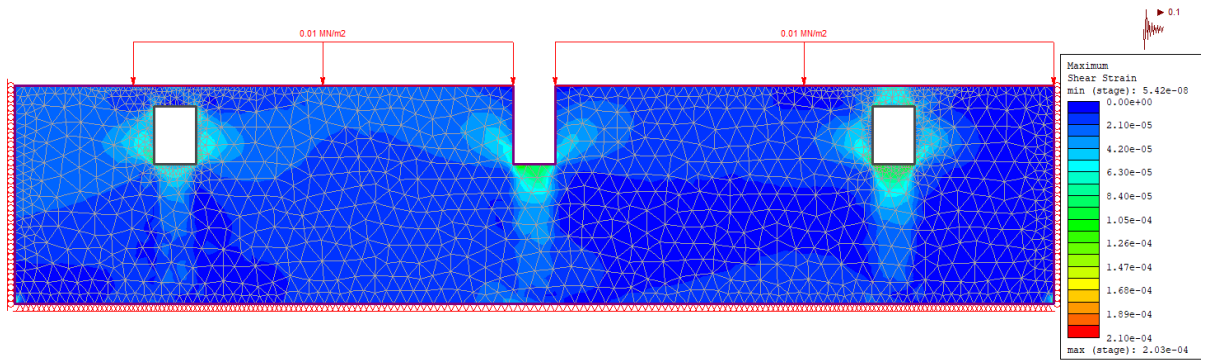
Ek 3.24 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



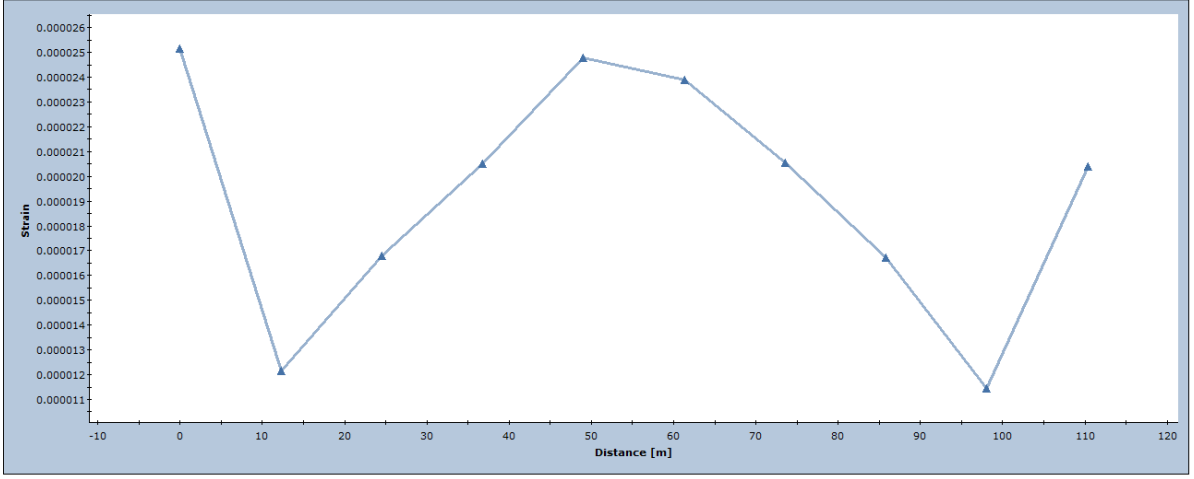
Ek 3.25 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



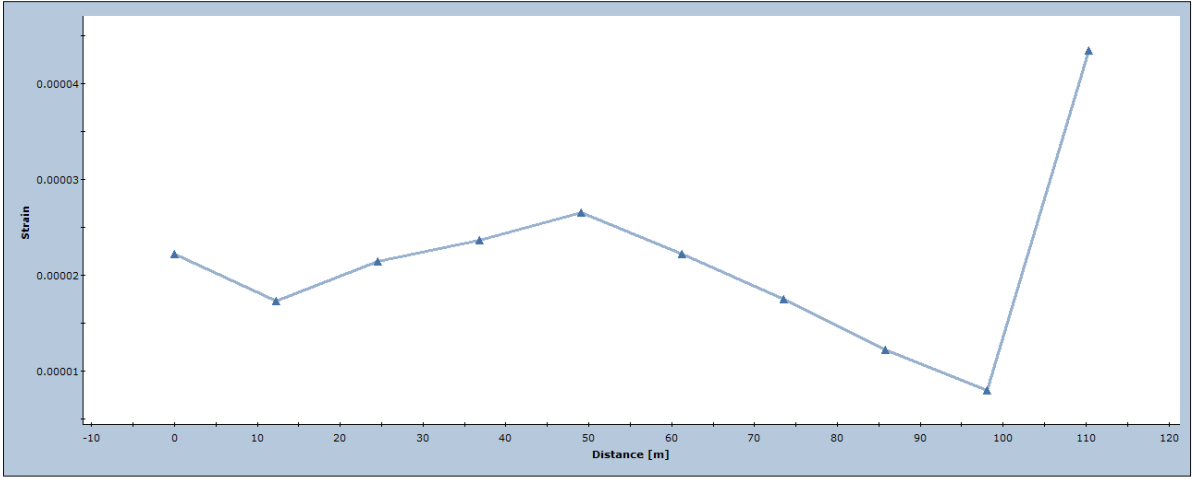
Ek 3.26 C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



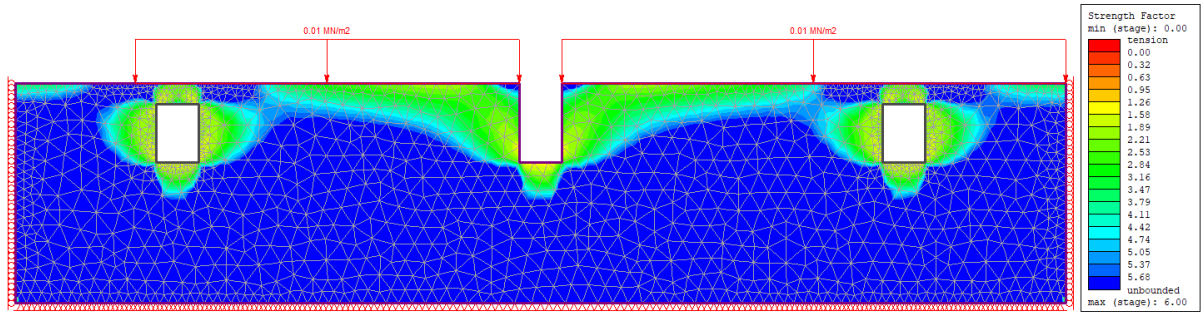
Ek 3.27 C-C' kesit hattında maksimum makaslama deformasyonu dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



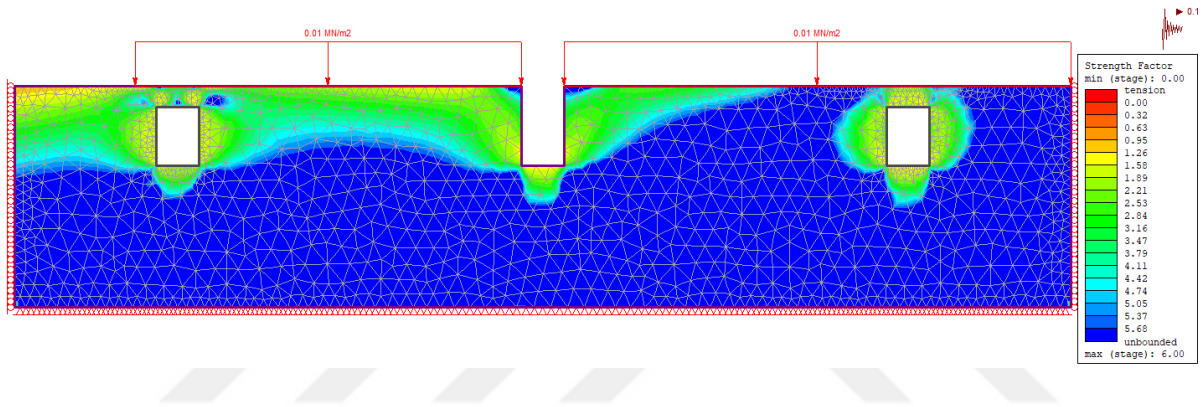
Ek 3.28 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme lt ile)



Ek 3.29 C-C' kesit hattında toplam yerdeğiştirmenin localar ortasından geçen hat boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme lt ile)

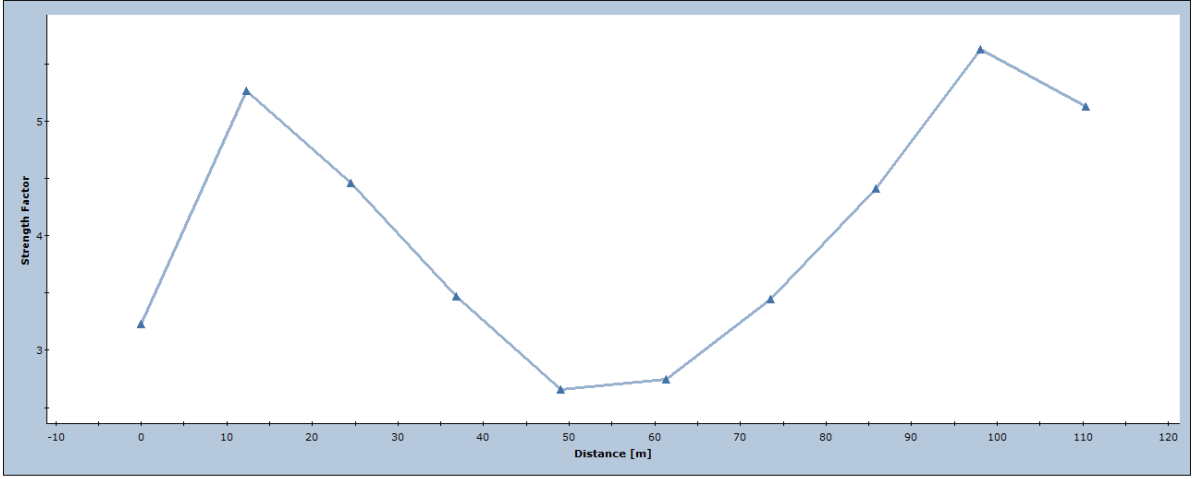


Ek 3.30 C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)

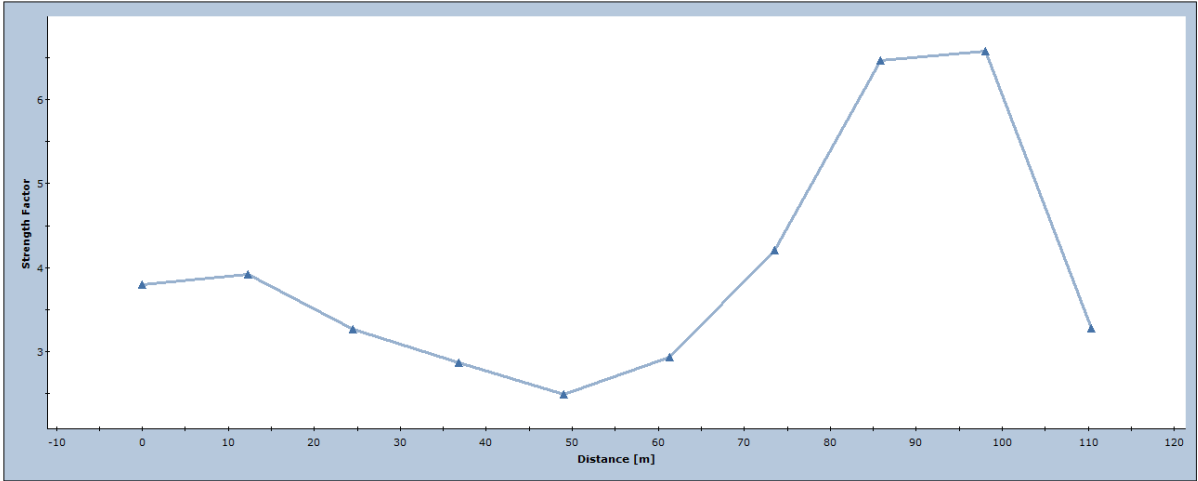


Ek 3.31 C-C' kesit hattında dayanım faktörü dağılımı (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)





Ek 3.32 C-C' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (statik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)



Ek 3.33 C-C' kesit hattında dayanım faktörünün loca tavan kotu boyunca değişimi (dinamik koşul- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile)