T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAİRESEL MADEN KUYULARINDA BETON TAHKİMAT KALINLIĞININ PARAMETRİK SAYISAL ANALİZLER YARDIMIYLA BELİRLENMESİ

Said Shahzada HUSSAINI

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Bölümü AnaBilim Dalı

Ağustos-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Said Shahzada HUSSAINI tarafından hazırlanan "DAİRESEL MADEN KUYULARINDA BETON TAHKİMAT KALINLIĞININ PARAMETRİK SAYISAL ANALİZLER YARDIMIYLA BELİRLENMESİ" adlı tez çalışması 09/08/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Melih GENİŞ	.....
Danışman Prof. Dr. İhsan ÖZKAN	.....
Üye Doç. Dr. Niyazi BİLİM	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

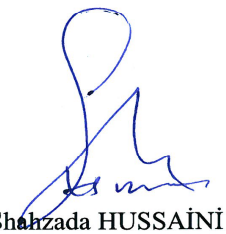
Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Said Shahzada HUSSAİNİ

Tarih:09.08.2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DAİRESEL MADEN KUYULARINDA BETON TAHKİMAT KALINLIĞININ PARAMETRİK SAYISAL ANALİZLER YARDIMIYLA BELİRLENMESİ

Said Shahzada HUSSAINI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Prof. Dr. İhsan ÖZKAN

2017, 167 Sayfa

Jüri
Danışman: Prof. Dr. İhsan ÖZKAN
Prof. Dr. Melih GENİŞ
Doç. Dr. Niyazi BİLİM

Yeraltı maden ocaklarında kuyu duraylılığı çok önemlidir. Kuyu cidarında yapılacak olan tahkimat bunu sağlayabilmektedir. Bu tez çalışmasında, 9m çaplı ve 900m derinliğe ulaşan düşey bir kuyunun beton tahkimat kalınlıkları, iki boyutlu sayısal analizler ile belirlenmiştir. Sayısal analizlerde farklı derinlik (Z), tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}), kaya kütle sınıflama sistemi (M-RMR), kuyu kazısında patlatmaya dayalı çevre kayacın örselenme durumu (D) parametreleri kullanılmıştır. 9m çaplı kuyunun sırasıyla 100, 300, 500, 700 ve 900 metrelerinin her birinde M-RMR değerinin 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 olduğu durumlarda ve tek eksenli basma dayanımınları 25 MPa, 50 MPa, 75 MPa, 100 MPa koşulu altında ve ayrıca patlatmaya dayalı kuyu çevre kayaçlarında oluşan örselenme (D=0 ve D=0.5) durumuna bağlı sayısal analizler sonlu elemanlar yöntemini kullanan Phase2 programı ile yapılmıştır. Sonuç olarak parametrik bu çalışmada, toplam 400 senaryo analiz edilmiştir. Her bir senaryo için C20 sınıfı beton ile optimum beton tahkimat kalınlıkları (t_c) belirlenmiştir. Phase2 yazılımından sırasıyla, en büyük asal gerilme (σ_1), toplam yerdeğiştirme (U), kuyu çevre kayacında oluşan yenilen element sayısı ve yenilme bölgesi kalınlığı (h_t) belirlenmiştir. Oluşturulan veri tabanı yardımıyla beton tahkimat tasarımı için bütünleyici 40 abak hazırlanmıştır. Kaya kütle sınıflama değerinin (M-RMR) bilinmesi durumunda; geliştirilen ilgili abak kullanılarak kuyu çevre kayacında yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton tahkimat kalınlığı (t_c) ve bu beton tahkimatın uygulanması sonucunda kuyu cidarında oluşacak yerdeğiştirme miktarı (U) belirlenebilmektedir. Ayrıca geliştirilen bütünleyici yaklaşımı ifade eden abaklarda yer alan grafiklerde sunulan (M-RMR) - h_t ve (M-RMR) – U davranışlarını tanımlayan matematiksel eşitlikler SPSS programı kullanılarak geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton tahkimat, Maden kuyusu, Matematiksel model, Sayısal çözümlemeler, Beton tahkimat için tasarım abağı

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION BY PARAMETRIC NUMERICAL ANALYSIS OF CONCRETE SUPPORT THICKNESS IN CIRCULAR MINE SHAFTS

Said Shahzada HUSSAINI

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MINING ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Ihsan OZKAN

2017, 167 Pages

Jury
Prof. Dr. Ihsan OZKAN
Prof. Dr. Melih GENİŞ
Doç. Dr. Niyazi BİLİM

Stability in underground shafts is very important. Shaft lining can supply it. In this study, the concrete support thicknesses of a vertical shaft of 9 m diameter and reaching a depth of 900 m were determined by 2D numerical analysis. In numerical analysis different depths (Z), uniaxial compressive strength (σ_{ci}), rock mass classification system (M-RMR) and also the surrounding rocks situation based on blasting (D) parameters were used. In each of the nine-meter-diameter shafts has 100, 300, 500, 700 and 900 meters where the M-RMR value is 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 and the uniaxial compresive strength 25 MPa, 50 MPa, 75 MPa ve 100 MPa and also situation formed in shafts surrounding rocks based on blasting (D = 0 and D = 0.5) the numerical analysis were made by Phase2 software using finite elements method. As a result, in this parametric study, a total of 400 scenarios were analysis. The optimum thickness (t_c) of concrete support with C20 class concrete have been identified for each scenario. The maximum principal stresses (σ_1), total diplacment (U), the number of yielded elements formed in the surrounding rocks and thickness of yielded region (h_t) respectively were determined. Using Phase2 software 400 integrated charts were prepared. By data base to determine of concret support thickness If the rock mass classification value (M-RMR) is known the thickness of yielded surrounding rocks (h_t), concrete support thickness (t_c) the total of diplacment (U) to be formed in the shaft can be determined. Also, the mathematical models were developed by SPSS software for (M-RMR) vs h_t and (M-RMR) vs U behaviors given in graphs presented in charts expressed the integrated approach.

Keywords: Concrete support, Design chart for concrete support, Mathemacial model, Mine shaft, Numerical analysis

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, yeraltı maden ocaklarının vaz geçilmez unsur olan düşey maden kuyularının duyarlılığında önemli olan bir unsur beton tahkimatların boyutlandırması üzerinde yapılmıştır. Bu tez çalışmasında gerçek bir düşey maden kuyusundan elde edilen verileri kullanılmamış ancak ik botutlu sayısal analiz yapabilen numarik program Phase2 kullanılarak bir seri parametrik analizler yapılmıştır. Bu çerçevede oluşturulan farklı 400 adet durum için sayısal çözümlemeler yapılmış ve sonuçları değerlendirilerek bu yüksek lisans tezinde sunulmuştur.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında değerli yardımlarını esirgemeyen tez çalışmanın Prof. Dr. İhsan Özkan, Maden Mühendisliği Bölüm imkanlarının kullanılmasına izin veren bölüm öğretim üyelerine, tezimin değerlendirilmesinde katkıları olan tez Jüri üyeleri Prof. Dr. Melih Geniş ve Doç. Dr. Niyazi Bilim'e tezin yazılı eser haline getirilmesinde değerli yardımlarını esirgemeyen Arş. Grv. Mehmet Mesutoğlu'na ve değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Said Shahzada HUSSAİNİ
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1.GİRİŞ **12**

1.1. Problemin Tanımı 12
1.2. Çalışmanın Amacı 12
1.3. Çalışmanın İçeriği 12

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **14**

2.1. Giriş 14
2.2. Maden Kuyuları 14
2.2.1. Kuyularda havalandırma 15
2.2.2. Kuyu açma yöntemleri 16
2.2.3. Kuyu türleri 18
2.2.4. Kuyu kesiti şekilleri 22
2.2.5. Maden kuyusunun yerinin belirlenmesi 23
2.2.6. Kuyu tahkimatı 23
2.3. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri 26
2.3.1. RMR kaya kütle sınıflama sistemi 28
2.3.2. Q kaya kütle sınıflama sistemi 30
2.3.3. M-RMR kaya kütle sınıflama sistemi 31
2.4. Sayısal Çözümleme Yaklaşımları 35
2.5. Kuyu Beton Tahkimat Yaklaşımları 38
2.5.1. Elastik teoriye göre beton kalınlık hesaplanması 38
2.5.2. Görgül yaklaşımlara göre beton kalınlıklarının hesaplaması 38
2.6. RocLab Programı 40
2.7. İstatistiksel Analizler İçin SPSS 41

3. MATERYAL VE YÖNTEM **43**

3.1. Genel 43
3.2. Kaya Kütlesi İçin Girdi Parametrelerin Hazırlanması 43
3.2.1. TEBD değeri 25 MPa ve örselenme değeri D=0 ve 0.5 durum için RocLab program çıktıları 44
3.2.2. TEBD değeri 50 MPa ve örselenme değeri D=0 ve 0.5 koşulu altında RocLab program çıktıları 50
3.2.3. TEBD değeri 75 MPa ve örselenme değeri D=0 ve 0.5 koşulu altında RocLab program çıktıları 56

3.2.4. TEBD değeri 100 MPa ve örselenme Değeri D=0 ve 0.5 koşulu altında RocLab program çıktıları 62
3.3. Beton Tahkimata Ait Girdi Parametrelerinin Belirlenmesi 68

4. DAİRESEL DÜŞEY MADEN KUYULARINDA BETON TAHKİMAT KALINLIĞININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER 69

4.1. Genel 69
4.2. İki Boyutlu Phase2 Modelin Hazırlanması 69
4.3. Modelde Kullanılan Kaya Kütle Özellikleri 70
4.4. Modelde Kullanılan Beton Malzeme Özellikleri 72
4.5. Örnek Sayısal Çözümleme 73
4.5.1. Derinlik 100m, TEBD değeri 25 MPa ve M-RMR=50 koşulu altında örselenme derecesi (D) 0 için analiz sonuçları (Senaryo 5) 73
4.5.2. Derinlik 100m, TEBD değeri 25 MPa ve M-RMR=50 koşulu altında örselenme derecesi (D) 0.5 için Analiz Sonuçları (Senaryo 45) 80
4.6. Sayısal Çözümleme Sonuçları 85
4.6.1. Derinlik 100m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 1-80) 85
4.6.2. Derinlik 300m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 81-160) 92
4.6.3. Derinlik 500m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 161-240) 98
4.6.4. Derinlik 700m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 241-320) 104
4.6.5. Derinlik 900m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 321-400) 110
4.7. Genel Değerlendirme 116
4.7.1. TEBD değeri 25 MPa durumunda hasarsız kazı (D=0) ve hasarlı Kazı (D=0.5) çalışmalarında optimum beton tahkimat kalınlıkları (t_c). 116
4.7.2. TEBD değeri 50MPa durumunda hasarsız kazı (D=0) ve hasarlı Kazı (D=0.5) çalışmalarında optimum beton tahkimat kalınlıkları (t_c). 118
4.7.3. TEBD değeri 75 MPa durumunda hasarsız kazı (D=0) ve hasarlı Kazı (D=0.5) çalışmalarında optimum beton tahkimat kalınlıkları (t_c). 120
4.7.4. TEBD değeri 100 MPa durumunda hasarsız kazı (D=0) ve hasarlı Kazı (D=0.5) çalışmalarında optimum beton tahkimat kalınlıkları (t_c). 123

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 126

5.1. Genel 126
5.2. Sayısal Çözümleme Sonuçlarının Analitik Değerlendirmesi 126
5.3. Optimum Beton Kalınlığını Belirlenmesine Yönelik Bir Yaklaşım 129
5.4. İstatistiksel Analizler 131
5.4.1. M-RMR ve h_t arasındaki davranışın modellenmesi 131
5.4.2. M-RMR ve U arasındaki davranışın modellenmesi 134

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 137

6.1. Sonuçlar 137
6.2. Öneriler 139

KAYNAKLAR 140

EKLER 143

ÖZGEÇMİŞ.....167

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A, B	: SPSS yardımıyla belirlenen istatistiksel katsayılar
β	: Kuyu eğimi
c	: Kohezyon (KPa)
D	: Kazıya bağlı örselenme durumu
E_i	: Sağlam kaya malzemesini elastik modulu (MPa)
E_m	: Kaya kütlesine ait elastik modul (MPa)
E_c	: Beton malzemsinin elastik modul (MPa)
E_i	: Kaya malzemesinin elastik modulu
f_c	: Beton malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (MPa)
M-RMR	: Yeniden Düzenlenen Kaya Kütle Sınıflama Sistemi
m_b, s ve a	: kaya kütle sabitleri
m_i	: Sağlam malzeme kayasine ait Hoek-Brown sabiti
h_t	: Yenilme bölge kalınlığı (cm)
t_c	: Optimum beton tahkimat kalınlığı (cm)
K_c	: Beton malzemesinin elastik katılığı (MPa/m)
K_s	: Beton malzemesinin elastik katılığı (MPa/m)
r	: Kuyu yarıçapı (m)
P_{smax}	: Beton tahkimata etkileyeck basınç gerilmesi (MPa)
P_{scmax}	: Beton tahkimatın taşıyacağı maksimum gerilme (MPa)
P_s^{max}	: Beton tahkimatın yenilmeden önce taşıyabileceği en yüksek basınç (MPa)
P_0	: Hidrostatik birincil gerilme (MPa)
U	: Yerleştirme miktarı (mm)
ϕ	: İçsel sürtünme açısı (^{o})
σ_t	: Kaya kütlesinin çekme dayanımı (MPa)
σ_{cm}	: Kaya kütlesinin basma dayanımı (MPa)
γ	: Birim hacim ağırlığı (MN/m^3)
σ_{cc}	: Beton malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (Pa)
σ_3	: En küçük asal gerilme
σ_{tc}	: Beton malzemsinin çekme dayanımı (MPa)
ν	: Kaya malzemesinin poisson oranı
ν_c	: Beton malzemesinin poisson oranı
Z	: Derinlik (m)

Kısaltmalar

A_B	: Arazi gerilime faktörü
A_b	: Patlatnaya dayalı düzeltme kat sayısı
A_S	: Jeolojik yapı faktörü
A_w	: Büyük süreksizlik ve zayıflık düzlemlerine bağlı düzeltme kat sayısı
F_c	: Suda dağılma dayanımına bağlı bir katsayı (0.7-1.15)
SRF	: Gerilme indirgeme katsayısı
S	: Patlatma bağlı faktör
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
HÇ	: Hava çıkış yönü
HG	: Hava giriş yönü

RMR	: Kaya Kütle İndeksi
RQD	: Deere'in kaya kalite belirteci
I_{PLT}	: Nokta yükleme dayanımına bağlı indeks değeri (0-15)
$I_{\sigma c}$	: Tek eksenli basınç dayanımına bağlı indeks değeri (0-15))
I_{RQD}	: RQD (Rock Quality Designation) değerine bağlı indeks değeri (0-20)
I_{JS}	: Süreksizlikler arası mesafeye bağlı indeks değeri (0-20)
I_{JC}	: Süreksizlikler arası durum indeks değeri (0-30)
I_{GW}	: Yeraltı su durumuna bağlı indeks değeri (0-15)
I_{OI}	: Eklem takım konumuna bağlı indeks değeri
Jn	: Süreksizlik takım sayısı
Jr	: Süreksizlik pürüzlülük durumu
Ja	: Süreksizlik ayrışma durumu
Jw	: Süreksizlik suyu indirgeme değişken faktörü
M-RMR	: Yeniden Düzenlenen Kaya Kütle İndeksi
MR	: Modül oranı
P_i	: Tahkimat basıncı (MPa)
Q	: Tünelcilik Niteliği Belirteci
TEBD, σ_{ci}	: Kaya tek eksenli basma dayanımı (MPa)
σ_z	: Düşey birincil arazi gerilmesi (MPa)
σ_{h2}	: Yatay birincil arazi gerilmesi (MPa)
YES	: Yenilen elemenet sayısı

1.GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Yeraltı madenciliğinde maden ocağının yeryüzü ile en az iki bağlantısı olmak zorundadır. Bu nedenle yeraltı maden kuyuları yeraltı madenciliğinin vazgeçilmez bir unsurudur. Bu kuyulardan bir tanesi ihraç kuyusu diğeri kirli hava çıkış kuyusudur. Yeraltı maden ocağı için gerekli temiz hava, basınçlı hava, elektrik ana hatları, tahkimat malzemelerinin ocağa indirilmesi ve üretilen cevherin yeryüzüne nakli ihraç kuyusu yardımıyla yapılabilmektedir. Bu nedenle kuyu ömrü ve duraylılığı son derece önem kazanmaktadır. Maden kuyularında yetersiz tahkimata bağlı olarak oluşan duraylılık problemlerinin yaşandığı maden ocaklarında üretim tamamıyla durabilmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Yeraltı maden ocaklarında sığ derinliklerde genel olarak kare ve dikdörtgen kesit seçilirken derinlik artıkça arazi gerilmeleri nedeniyle daha çok dairesel kesit tercih edilmektedir. Dairesel kesitli kuyularda tahkimat unsuru olarak duraylılığı sağlamak amacıyla genelde beton tahkimat kullanılmaktadır. Beton tahkimat tasarımında, derinlik, kaya kütle özellikleri, arazi gerilmeleri ve kullanılan beton malzemesinin mekanik özellikleri etken parametreler olarak sıralanabilir. Tasarım mühendisleri tahkimat elemanı olan beton malzeme özelliklerini değiştirebileceği gibi beton kalınlıklarını değiştirebilmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında farklı kaya kütlesi özellikleri ve derinlikleri dikkate alınarak sabit beton malzeme özelliklerinde gerekli beton tahkimat kalınlıklarının iki boyutlu sayısal analizler ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Sayısal analizlerde iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemini kullanan Phase2 (Rocscience, 2002) programı kullanılmıştır.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Altı temel bölümden bu tez çalışmasında birinci bölümde prablemin tanımı, çalışmanın amacı çalışmanın içeriği sunulmuştur. İkinci bölümünde, maden kuyuları, kaya kütle sınıflama sistemleri, sayısal çözümleme yaklaşımları, kuyu beton tahkimat yaklaşımları, Roclab programı, istatiksel analizler için SPSS hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde kaya kütlesi için girdi parametrelerin hazırlanması, beton tahkimata ait girdi parametrelerinin belirlenmesi sunulmuştur. Dördüncü bölümde iki boyutlu Phase2 yazılımı için modelin hazırlanması, modelde kullanılan kaya kütle özellikleri, modelde kullanılan beton malzeme özellikleri, örnek sayısal çözümleme, sayısal çözümleme sonuçları, genel değerlendirmeler verilmiştir ve sonuç olarak Sayısal çözümleme sonuçlarının anlalitik değerlendirmesi, optimum beton kalınlığını belirlenmesine yönelik bir yaklaşım, istatiksel analizler beşinci bölümde sunulurken altıncı bölümde bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Giriş

Yeraltı madencilik çalışmalarında düşey kuyuların ana görevleri; yeraltı çalışmaları için gerekli temiz havanın, tahkimat malzemelerinin, basınçlı havanın, haberleşme ve aydınlatma amaçlı iletim hatlarının yeraltına iletilmesinde ve ayrıca yeraltından üretilen cevherin yeryüzüne nakliyesinde bir yol görevi görmektir. Kuyu açma, büyük hazırlıkların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Kuyu, istenilen derinliğe ulaştıktan sonra kuyudan itibaren diğer hazırlıklara geçilmektedir. Kuyunun açıldığı kayaç sağlam ve az su gelirine sahipse normal kuyu açma yöntemleri uygulanır. Buna karşı kayaç sağlam değilse veya fazla su gelirine sahipse veya bu iki husus birlikte etki ediyorsa özel kuyu açma yöntemlerinin uygulanışı zorunlu hale gelmektedir (Saltoğlu, 1976). Kuyu kesitleri kare, dikdörtgen, daire ve elips olarak sıralanabilir. Kuyunun birinci işlevi nakliye ise en uygun kesit kare ve dikdörtgen kesit olmaktadır. Ancak duyarlılık açısından bakalırsa, yeraltı arazi gerilmelerinin en uygun dağılım gösterdiği kesitin dairesel kesit olduğu bilinmektedir. Bu nedenle sığ derinliklerde kare ve dikdörtgen kesit tercih edilirken derinliğin arttığı madenlerde genelde daire kesit tercih edilmektedir. Maden kuyusu açma çalışmalarında, tahkimat tasarım çalışmalarında, kaya kütle özellikleri, derinlik ve beton tahkimat özellikleri öncelikle önem kazanmaktadır (Saltoğlu, 1976) .

Mühendislik hizmetleriyle yeryüzünde ve yeraltında kaya kütlesi içerisinde yapılan mühendislik yapılarında duraylılık konusu, mühendisler tarafından oldukça önem verilmektedir. Duraylılık analizlerinde iki temel yaklaşım mevcuttur. Bunlar görgül ve sayısal tasarım yaklaşımları olarak adlandırılmaktadır. Görgül yaklaşımlar ölçme, izleme ve tecrübeye dayalı geliştirilmiş yaklaşımlardır. Sayısal yaklaşımlar genel olarak kaya malzemesinin mekanik özelliklerini (E, υ, c, ϕ, σ_c gibi) geliştirilen matematiksel yaklaşımlarda kullanarak, tahkimatsız ve tahkimatlı koşullar altında duraylılık çözümlenmeleri yapabilmektedir (Bieniawski, 1989).

2.2. Maden Kuyuları

Kuyuların düz galeriler gibi bazı görevleri vardır. Kuyu görevleri kazılan cevherin yerüstüne çıkarılması, gerekli havanın ocağa girip dışarı çıkması, işçilerin

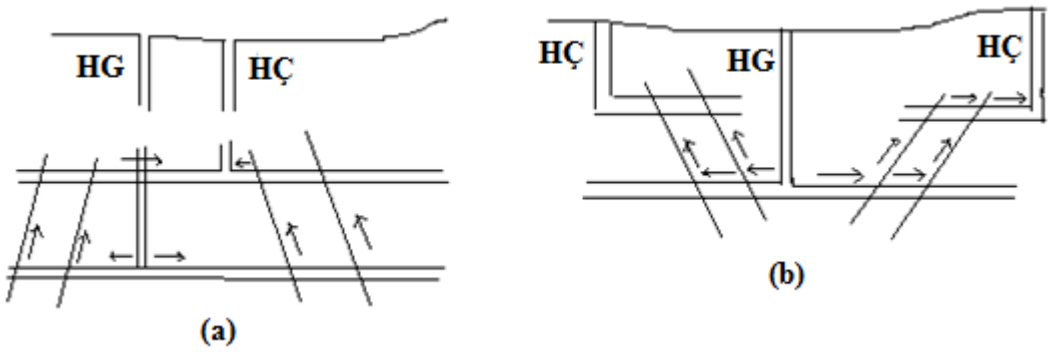
ocağa giriş çıkışlarına yardımcı olması, ocakta kullanılacak makina ve malzemelerin indirilmesi ile gerekli su, basınçlı hava borularının ve elektrik kablolarının döşenileceği yeri sağlaması gibi hususlardır. Yaptığı göreve göre de isimlendirilir. Örneğin hava giriş kuyusu, hava çıkış kuyusu (nefeslik), nakliyat, havalandırma kuyuları gibi. Genellikle emniyet yönünden bir maden işletmesinde en azından iki kuyu bulunmalıdır. Bunlardan biri nakliyat veya hava giriş kuyusu, diğeri ise hava çıkış kuyusudur. Bu sayı ocağın gereksinmelerine göre daha da artabilmektedir. Bu gereksinimlerin başında ocak için gerekli olan hava gereksinmesi gelir. İşçi sayısı ve üretim miktarı fazlalaştıkça ve kuyu derinleştikçe gerekli olan hava miktarı da buna bağlı olarak fazlalaşır. Ayrıca ek olarak açılacak kuyular hava gereksinmesini karşıladığı gibi nakliyat yollarının da kısalmasını sağlarlar. Fazla sayıda kuyu açılması ancak kuyu nakliyatının düşük olması halinde uygulanır. Madencilikte açılan kuyular genellikle düşey konumdadır. İşletilen maden yatağının yerüstüyle uzanımı varsa, cvher damarının eğimine göre yatık ve eğimli kuyular tercih edilmektedir. Yatık kuyular düşük eğimlerde, eğimli kuyular ise büyük eğimlerde açılan kuyulardır .

Madencilikte görülen kuyu derinlikleri değişik olmaktadır. Taş kömürü ocakları için İngiltere'de 900 m, Almanya'da 1200 m, Amerika'da ise 200 m derinliğe kadar açılmaktadır. Metalik cevher yataklarında derinlikler daha da fazla olup 1500 - 2400 m arasındadır. Çok fazla derinliklere ancak jeotermik gradyenin büyük ve ısı artışının az olduğu zaman ulaşılabilir. Örneğin Hindistandaki Kolar altın madeninde jeotermik gradyen 120 m/derece olduğu için burada 3000 m derinlikte üretim yapılabilmektedir (Saltoğlu, 1976).

2.2.1. Kuyularda havalandırma

Havalandırma gereksinimelerine göre yeraltı maden işletmelerinde bulunması gereken asgari sayıdaki kuyuların yerleri, farklı olabilmektedir. Yeraltı maden ocaklarında açılan kuyu kompozisyonları Şekil 2.1'de sunulmuştur. Öncelikle düşünülen nakliyat (Hava giriş (HG)) ve havalandırma kuyularının (Hava çıkış (HÇ)) yan yana bulunmaları halidir (Şekil 2.1a). Merkezi havalandırma diye isimlendirilen bu yöntemde, hava nakliyat kuyusundan girdikten sonra en derin düzeye gelir, buradan açılan galerileri dolaştıktan sonra üst yoldan geçerek hava çıkış (HÇ) kuyusuna ulaşır. Maden yatağı yaygın bir durum arzediyorsa yan yana bulunan kuyularla havalandırma yeterli olmayabilir. Bu durumda hava çıkış (HÇ) kuyusu sayısı arttırılarak bunlar

yatağın sınırına yakın yerlerde açılır. Çevreden havalandırma olarak adlandırılan bu yöntemde hava, nakliyat kuyusundan (hava giriş kuyusu-HG) girer, galerileri dolaşır ve daha sonra çıkış kuyularından (HÇ) atmosfer atılır (Şekil 2.1b). Bu iki havalandırma yönteminin birbirlerine göre bazı üstünlükleri vardır. Merkezi havalandırma diye isimlendirilen bu yöntemde iş yeri merkezileşmiş ve kuyu tesisleri aynı bir yerde toplanmıştır (Şekil 2.1a). İkinci yöntemde ise aynı yerlerde tesis kurma zorunluluğu vardır (Şekil 2.1b). Fakat bunun yanında insan nakliyatı daha kolay yapılımaktadır. Fakat daha önemli olan husus yeraltında yapılan üretim çalışmasıdır. Üretim yapılırken takip edilecek sıra önce üst damarın, daha sonra altandaki cevher damarının alınmasıdır. Bu da çevreden havalandırmada (Şekil 2.1b) havanın geçmesini sağlamak için üretimi bitmiş olan kısımlardaki taş galeriyi sağlam bir şekilde tutmak zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır (Saltoğlu, 1976).



Şekil 2.1. Havalandırma şekilleri (Saltoğlu, 1976)

2.2.2. Kuyu açma yöntemleri

Kuyu kazısında su geliri 0,5 m^3/dak'nın üzerine çıktığı zaman özel kuyu açma yöntemlerinin uygulanması zorunlu hale gelmektedir. Su gelirinin 0,5 m^3/dak'nın altındaki miktarlarda olması durumunda kuyu tabanında açılacak bir çukurda açılarak suyun toplanması sağlanır. Buradan tulumbalarla kuyu dışına basılır veya kovalarla dışarı çekilerek boşaltılır. Çizelge 2.1'de değişik kuyu açma yöntemleri sunulmuştur. Bu çizelgede kayaç durumu, derinlik, su geliri, tahkimat malzemesi ve kuyu kesit şekline göre karşılaştırması verilmiştir. (Saltoğlu, 1976).

Madencilikte açılan kuyular genellikle düşey kuyulardır. Eğer maden yatağının yerüstü ile bağlantısı varsa damarın eğimine göre, yatık, eğimli ve kırık kuyularda açılabilir. Madencilik için açılan kuyu derinlikleri farklılıklar içermektedir.Günümüzde

4000m'ye kadar açılabilmektedir. Örneğin Tou Tona altın madeni 3.9 km derinliktedir. Ülkemizde en derin maden kuyuları Zonguldak kömür havzasında bulunmaktadır (800-1000m). Ülkemizde genel olarak kuyu derinlikleri 50-200m arasındadır. Kuyu açmayı gösteren tipik bir resim Şekil 2.2'de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Değişik kuyu açma yöntemleri (Saltoğlu, 1976).

Kuyu Açma Yöntemleri	Kaya Kütlesi Durumu	Derinlik m	Su geliri m^3/dak	Tahkimat şekli	Kuyu kesiti
Normal kuyu açma	Sağlam	Her derinlikte	0-0,5	Ahşap,demir, Tuğla,beton, çelik levha v. b.	Dikdörtgen, kare, daire
Sürme duvarlı kuyu açma	Zayıf	25	Her gelirde	Ahşap veya çelik levha	Dikdörtgen, kare, daire
Çakma kuyu	Zayıf	30	Her gelirde	Tuğla,beton, çelik levha	Daire
Su düzeyini indirme	Zayıf	10-15	Her gelirde	Ahşap,demir, Tuğla,beton, çelik levha v.b.	Dikdörtgen, kare, daire
Dondurma	Her kayaç	Her derinlikte	Her gelirde	Tuğla,beton, çelik levha	Daire
Çimentolama	Sağlam çatlaklı	Her derinlikte	Her gelirde	Tuğla,beton, çelik levha	Daire
Sondaj	Zayıf, kumlu	400	Her gelirde	Çelik levha	Daire



Şekil 2.2. Düşey kuyu açma çalışmalarına ait tipik bir görünüm (www.PilingContractors.com, 2017)

2.2.3. Kuyu türleri

Yeraltı madencilik uygulamalarında kutular önemli bir unsurdur. Maden kuyuları kendi aralarında düşey, yatık, eğimli ve kırık kuyular olarak sınıflanmaktadır. Bunlar aşağıda sunulmuştur.

2.2.3.1. Düşey kuyular

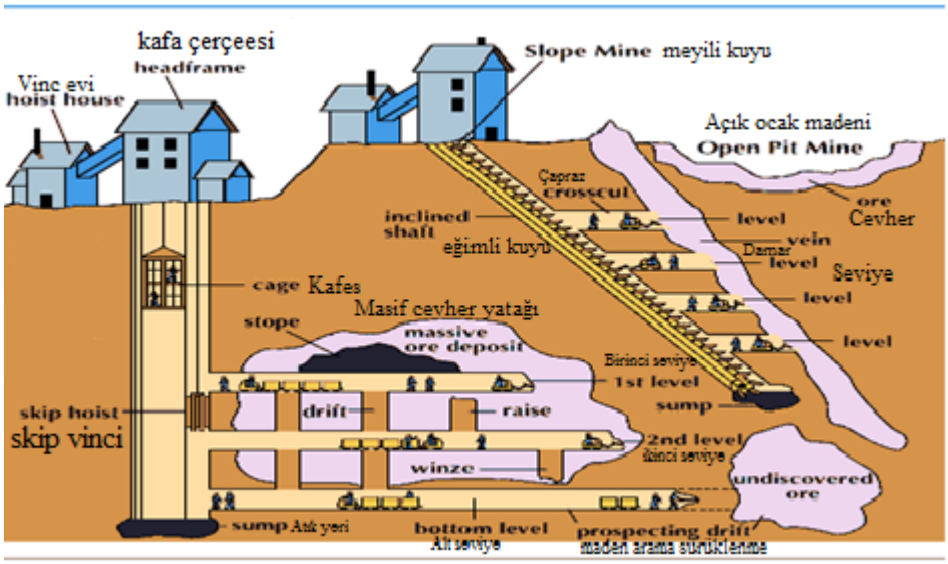
Düşey kuyular, maden yatağının üzerinde çok kalın örtü tabakası bulunması halinde bir başta ifade ile maden yatağının elerliğinin fazla olması durumunda açılması zorunlu olan kuyulardır. Diğer kuyu tiplerine kıyasla varılmak istenen noktaya en kısa yoldan ulaşıldığı için gerek açılması kısa sürede olmakta, gerekse halat, boru, kablo gibi donanımlara az gereksinme duyulmaktadır. Ayrıca tahkimat açısından önemli bir ifade yer çekimi ile ayni yönde açıldığı için yan duvarlarda az basınç görürdür. Kazısı kolay jeolojik tabakalarda ilerleme hızı yüksek olmakta ve sağlam durması için bırakılacak kuyu topuk miktarı da azalmaktadır. Kuyu içersinde nakliye için kullanılan kafes veya skip askıda tutulduğundan hareket ettirilmesi daha kolay olmaktadır. Halatların yere sürünerek aşınması söz konusu olmamaktadır. Hızlı bir şekilde nakliyat olanağı sağlanmakta ve fazla derinliğe inilebilmektedir. Bu üstünlükleri yanında kuyunun maden yatağına varıncaya kadar tamamen taş içersinde açıldığı için yatak hakkında bir fikir vermemekte, damarın eğimli olması durumunda ise kuyu dibinden sürülecek galeri boyu uzamaktadır. Ayrıca kuyu nakliyat donanımlarının kurulması zorunludur (Saltoğlu, 1976). Şekil 2.3 düşey bir kuyuyu ve damarda sürülen galerileri göstermektedir



Şekil 2.3 Düşey kuyu (www.gettyimages.com, 2017)

2.2.3.2. Eğimli kuyular

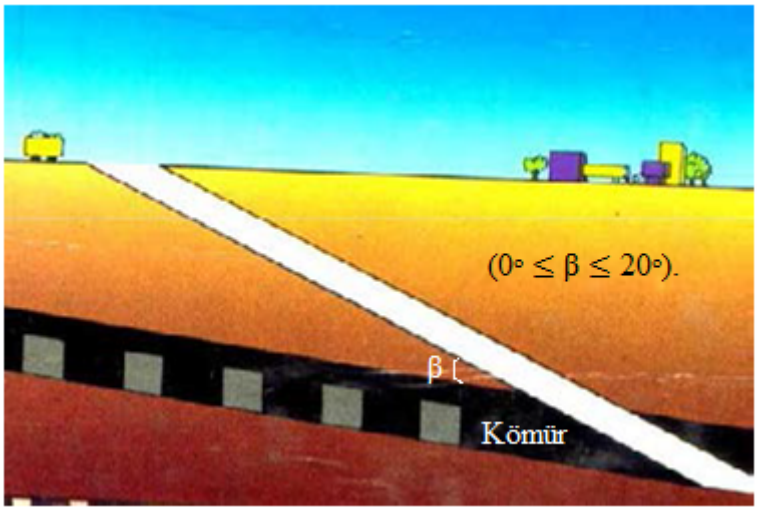
Eğimi fazla ($20^o \leq \beta \leq 90^o$) ve ayni eğimde devam eden ve uygun kayaç yapısı gösteren maden yataklarında eğimli kuyular başarı ile kullanılabilmektedir. Şekil 2.4 böyle bir kuyunun durumunu göstermektedir. Düşey maden kuyusu açılmış olsaydı, kuyulardan itibaren sürülecek galerilerin boyu daha da uzun olacaktı. Eğimli kuyu damarın içinde de açılabilir. Damar içersinde açılan meyili kuyularda ayrıca taş içindeki galeriye hiç gerek olmamakta, istenilen derinliğe inildikten sonra, damar içinde sağ ve sol yaparak üretim hazırlıklarına başlanabilmektedir. Eğimli kuyunun sakıncalı yönü, aynı derinlik için boyunun 1/sin'α kadar daha uzun olmasıdır. Örneğin 45° lik bir eğimlide 100 m lik kuyuya, karşı 142 m lik eğimli kuyu açmak zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında boru, halat, kablo, ray v.b. malzemelerin daha uzun alınması zorunda kalınmaktadır. Ayrıca kuyu kesitinin yan duvarları düşey durmamasından dolayı büyük basınç altında kalırlar. Nakliyat yönünden sakıncası daha da fazladır. Kafes veya skip nakliyatına uygun olmadığı gibi gerek halat, gerekse kafes ve gidajlarda aşınma çok fazla olur. Halatla çekilen vagonlar ray üzerinde kuyu kafesi kadar hız yapamaz. Bu bakımdan ancak 300 - 400m derinliğe kadar belirli uygulanabilir (Saltoğlu, 1976).



Şekil 2.4. Eğimli Kuyu (www.oryktosploutos.net, 2017)

2.2.3.4. Yatık kuyu (Desandre)

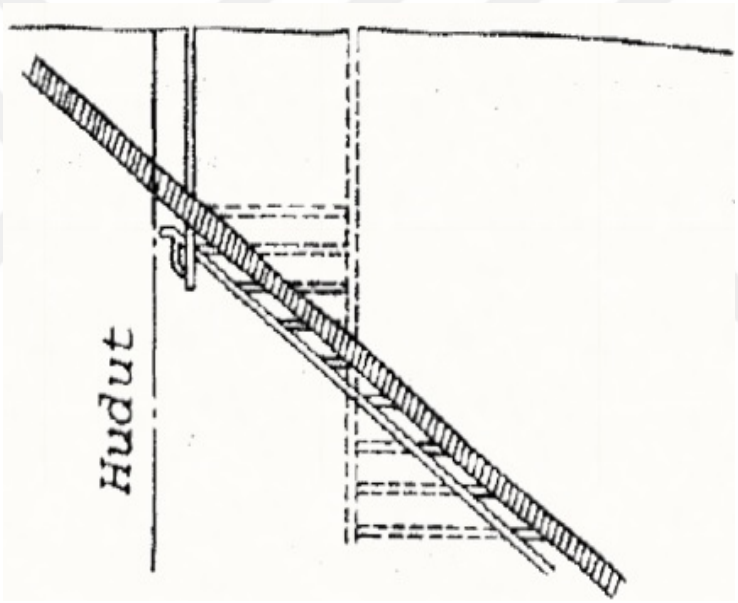
Bu tip kuyular az eğimli galeriler diye de isimlendirilmektedir ($0^o \leq \beta \leq 20^o$). Düz yada eğimli tabakalaşma gösteren bir arazide eğimi düşük olan maden yatakları için daha çok tercih edilmektedir. Bu tip koyularda nakliyat ya vinçle yapılmakta veya bandlar ile yapılmaktadır. Bu kuyular 100 -150m derinliğe kadar ekonomik olabilmektedir. Şekil 2.5 bir damarın tabanında açılmış olan yatık kuyuyu göstermektedir. Kayacın dayanıklı olması halinde yatık kuyu damarın içersinde de açılabilmektedir (Ünalan, 2012).



Şekil 2.5. Yatık Kuyu (www.uky.edu.com, 2017)

2.2.3.4. Kırık kuyular

Yer yüzünden derinde olup aynı zamanda belirli bir eğime sahip maden yatakları için kullanılmaktadır. Derine inildikçe maden yatağına ulaşmak için sürülen galerilerin uzunluğundan tasarruf etmek için uygulanan bir kuyu şeklidir. Bunun bir kısmı düşey kuyu bir kısmı eğik yada eğimli kuyu da olabilir (Şekil 2.6). Bu tip kuyular, maden yatağının derinliği ve eğimi gibi beklenmeyen şartlar ile karşılaşılması halinde zorunlu olarak düşünülecek bir husustur. Eğimli kuyuların yukarıda anlatılan sakıncalarına ek olarak, eğim değişikliği olan yerlerde ek donanıma ihtiyaç duyulması ve bu kısımlarda halat aşınmasının fazla olması belirlenebilir. Şekil 2.6. kırık kuyuyu dikey kuyu ile karşılaştırmalı olarak göstermektedir.



Şekil 2.6. Kırık kuyu (Saltoğlu, 1976)

Avantajları;

•300-400m gibi sığ derinliklerde ekonomik bir seçenek özelliğindedir.

•Taş içinde galeriye gerek olmadığı için istenilen derinliğe inildikten sonra üretim hazırlıklarına başlanabilir.

•Damarın içinde açılması halinde, yatırımlarda rahatlık ve yatak hakkında ön bilgi sağlar.

•Özel nakil donanımlarına gerek olmayışı nedeniyle yatırımlarda rahatlık sağlar.

•Yan duvarlar dikey durmadığından büyük basınç altında olurlar.

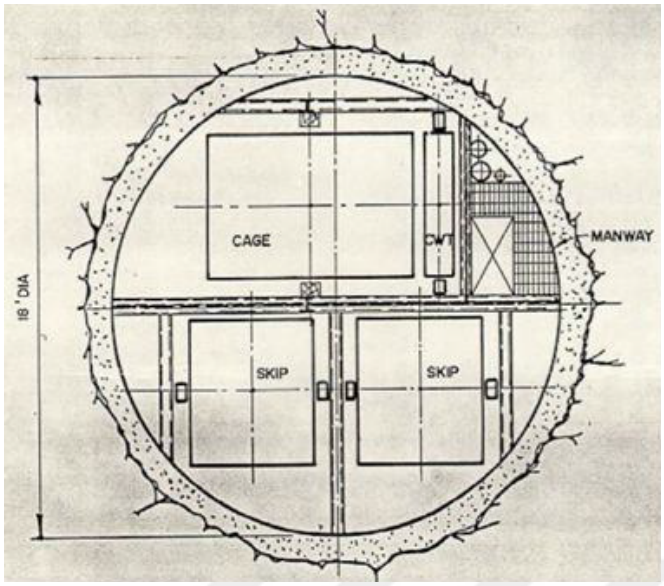
•Kafes ve skip nakliyatına uygun değildir (Saltoğlu, 1976).

2.2.4. Kuyu kesiti şekilleri

Kuyunun açılacağı yer saptandıktan sonra kuyunun kesiti, nakliyat ve havalandırma gereksinmelerine göre hesaplanmaktadır. Kuyu kesitinin şekli, büyüklüğü ve içersindeki bölümlerin tertibi gerek teknik, gerekse ekonomik düşüncelerin ışığı altında yapılmaktadır. Kuyunun görevi yeraltı ile yerüstü arasındaki bağıntıyı sağlamak olduğu için, kesitin boyutlandırmasında bu hususlar ayrı ayrı değerlendirilmekte ve ona göre kesit hesaplanmaktadır. Kuyunun görevini tam olarak yapabilmesi için içerisinde kafes veya skip, merdiven, su atımı boruları, basınçlı hava boruları, dolgu malzemesini indirecek borular, elektrik ve telefon kablolarının yerleştirileceği bölümler ile havanın geçmesini sağlayacak açıklığın bulunması gerekmektedir. Bir kuyuda mevcut olabilecek bu ünitelere göre kesitin nihai büyüklüğü hesaplanmaktadır (Saltoğlu, 1976).

Kuyu kesiti şekilleri kare, dikdörtgen, daire, elips ve kemerli dörtgen olabilir. Kesit alanının, faydalı kesit alanına oranı kare kesitinde 1 olarak alınırsa, bu oranlar kemerli dörtgen kesitinde 1,22; elips kesitinde 1,27; daire kesitinde ise 1,30 olmaktadır. Bir başka en kullanılışlısı kare, en kullanışsızı ise daire kesittir. Kare kesitli kuyular kısa derinlikler ve yatık kuyular için uygundur. Nakliyat için tek bir bölüm, insan yolu ve diğer boru donanımlar için ikinci bir bölüm yeterli geliyorsa kare kesiti uygundur. Bölüm sayıları arttıkça, kare kesiti dikdörtgen kesitine dönüştürülmektedir. Örneğin Güney Afrika'daki altın madeni ocaklarında 5-7 gözlü kuyular mevcut olup, bunların 4-6 tanesi kafes ve skip nakliyatı için ayrılmıştır. Kare kesitli kuyular sert kayaçlı metalik cevher işletmelerinde geniş ölçüde kullanmaktadır. Dikdörtgen kesitli kuyular ise kare kesitli olanlara kıyasla daha üstündür (Saltoğlu, 1976).

En sık rastlanan kuyu türü dairesel ve elips kesitli kuyu tipidir. Sığ madenlerden, çok derin madenlere kadar geniş bir yelpaze de tercih edilmektedir. Geniş bir çalışma alanı sunulmaktadır. Dairesel kesit genel olarak, kuyu genişliğinin beş metreyi aştığı durumlarda kullanılır. Kuyuyu çevreleyen kayaların kuyunun yan yüzeyine yaptığı baskıyı, olabildiğince eşit yayması dairesel kesitli kuyularda bir avantajdır. Dairesel kuyu kesiti genel olarak Şekil 2.7'de görüldüğü biçimdedir. Kazısı en kolay olan kuyudur. Kuyu kazmak için tasarlanmış olan sondaj (core drilling) makinesi için kazı çok kolaydır. Kuyuyu çevreleyen kazı yüzeyi aynı açıda olduğundan, makinanın kuyuyu açması basittir. Bu makina kesiti bir matkap gibi deldiği için dairesel kesitli kuyunun açılmasında kolaylık sağlanmaktadır (Ünalan, 2012). Dairesel ve diğer kuyularda delme-patlatma yöntemi ile kazı da sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2.7. Dairesel maden kuyusu (Ünalan, 2012).

2.2.5. Maden kuyusunun yerinin belirlenmesi

Yüzey topoğrafyası, kuyunun yerinin belirlenmesinde ilk dikkat edilmesi gereken unsurdur. Maden çalışmalarını destekleyen ve cevher çıkarılması sırasında en efektif kullanılabilecek noktaya açılmalıdır. Madenin bir gölün altında olması gibi ekstrem durumlarda, yine bu göz önünde bulundurularak kuyunun yeri tayin edilmelidir. İkincil olarak, kuyunu geçeceği kaya birimleri mekanik özelliklerine dikkat edilmelidir. Daha sonra maden yatağının yaygınlığına dikkat edilerek yapılması gereken kaç adet kuyu açılacağına karar vermektir. Bir yeraltı maden ocağı için en az açılacak kuyu sayısı ikidir. Bunlardan biri madencilerin taşındığı, cevherin kova sistemiyle çıkarıldığı ve temiz havanın ocağa gönderildiği ana kuyudur. İkincisi ise kirli havanın ocaktan atılmasını sağlayan havalandırma kuyusudur. Maden büyüdükçe, kuyu sayısı buna bağlı olarak artmaktadır (Ünalan, 2012).

2.2.6. Kuyu tahkimatı

Kuyu derinleştikçe, kuyu yan duvarında yıkıntılara meydan vermemek ve kuyunun sağlam kalmasını sağlamak için tahkimat yapmak zorunludur. Tahkimat masrafları kuyu maliyetine oldukça büyük oranda etki etmektedir. Bazen tahkimat masrafları kuyu açma masraflarından da fazla olur. Genellikle uygulanacak tahkimat

türünün seçimi, kuyu kesitinin şekli ve büyüklüğü ile kuyunun açılacak derinliğine bağlı olmaktadır. Kare kesitli kuyularda ahşap, daire kesitinde ise beton veya tuğla, duvarlı tahkimat kullanılmaktadır. Bunların dışında çelik levhalarla kuyunun kaplanması da söz konusu olmaktadır. Kuyuda tahkimatında yapılırken, özellikle beton veya tuğla duvarlı tahkimat şekli uygulanırken, bazı kısıtlayıcı hususlar ortaya çıkmaktadır. Bunların başında, kuyu dibinde zaten dar olan bir kesitte, tahkimat işçilerinin de ayrıca çalıştırılması zorımluluğudur. Bu durum kuyu ilerleme randımanına büyük ölçüde etki etmektedir. Öte yandan yapılan beton veya örülen duvar, kazı amaçlı yapılan patlatmalardan dolayı hasara uğrayabilir. Önemli sorunlardan bir diğeri ise kuyu açma genellikle yukardan aşağı açıldığı halde betonlama veya duvarlama işlemi aşağıdan yukarı doğru yapılmasıdır (Ünalan, 2012).

Bu sebeple kuyu yaklaşık 20-30m açıldıktan sonra, alttan itibaren tahkimat duvarlama ile yapılıyorsa tuğla duvarın kendisini tutabileceği bir girinti kayaç içersinde yapılır ve daha sonra sonra duvar örülmeye başlanır. Eğer yan duvar kendini tutamayacak durumda ise geçici olarak çelik levhalarla duvarın emniyete alınması gereklidir. Kuyu dibinde kazı çalışmaları devam ettiği zaman, duvarlama (tahkimat) işinin de birlikte yürtülmesi için duvarlama platformu kullanılmaktadır (Saltoğlu, 1976). Değişik kuyu açma yöntemlerinin kayaç durumu, derinlik, su geliri, tahkimat malzemesi ve kuyu kesit şekline göre ahşap, demir, tuğla, beton, çelik levha v.b. gibi tahkimat tipleri uygulanır (Çizelge 2.1). Kuyu tahkimat, ile ilgili bazı resimler Şekil 2.8'da sunulmuştur.

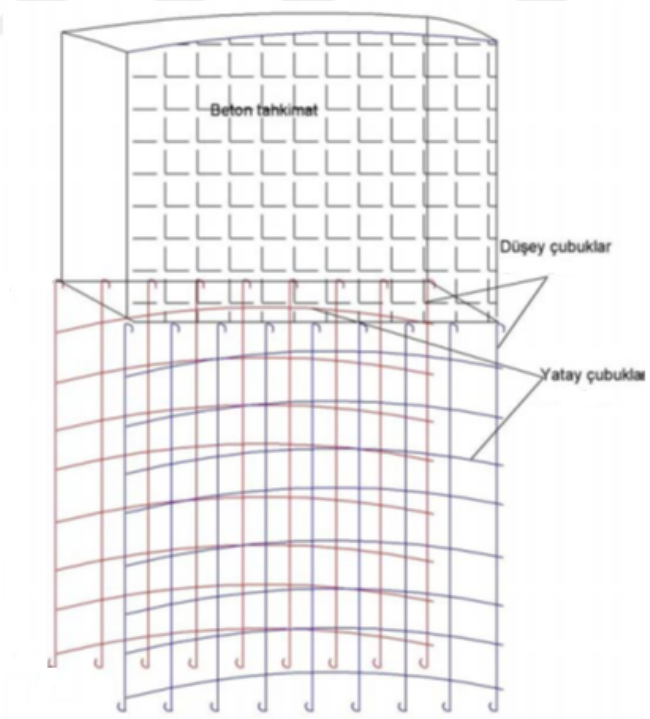


Şekil 2.8. Maden kuyularında beton tahkimat (www.groundstability.com, 2017)

Madencilik çalışmalarında, betonun tahkimat malzemesi olarak kullanımı oldukça yaygındır. Genellikle beton tahkimatın kullanım yerleri;

- Kuyu ve galeri kaplamaları
- Taban yolu takviyeleri
- Yapay tavan dolgusu
- Su ve yangın barajlarıdır

Beton bilindiği gibi çekme dayanımının çok düşük olması nedeniyle sadece basınç yüklenerek çalıştırılan bir malzemedir. Bazı yükleme durumlarında sistem içinde oluşacak çekme gerilmelerini karşılamak için kaplamaya donatı adı verilen büyük çelik çubuklar yerleştirilmektedir. Beton ve çelikten oluşturulan bileşik malzemeye "betonarme" denilmektedir. Bu taşıyıcı malzemede betonla çelik çubukların aralarında oluşturdukları aderans (bağlantı kuvveti) sayesinde beton basınç gerilmelerine, çelik çubuklar ise çekme gerilmelerine karşı çalışırlar (Birön ve Arıoğlu, 1980). Patlatma ve çıkan pasa nakliyesi yapıldıktan sonra kuyu tahkimatı yapılmaktadır. Beton tahkimatta profil demir çubuklar kullanılmaktadır (Şekil 2.9). Profil demir çubuklar yatay ve düşey parçalardan oluşmaktadır ve iki sıra halinde bir ağ şeklinde örülmektedir (Acun, 2009).



Şekil 2.9. Profil demir çubukların arına yerleştirilmesinin bir kesiti (Acun, 2009)

2.3. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri

Yeraltı ve yerüstü kaya mühendislik yapılarının özellikle tahkimat tasarım çalışmalarında ihtiyaç duyulan girdi parametrelerinin belirlenmesinde kaya kütle sınıflama çalışmaları sıklıkla kullanılmaktadır. Proje çalışmalarında genel olarak RMR (Bieniawski, 1973; Bieniawski, 1989) ve Q (Barton ve ark., 1974) sınıflama sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde otuza yakın geliştirilmiş olan sınıflama sistemi mevcuttur. Bunların büyük bir çoğunluğu RMR (Rock Mass Rating - Kaya Kütle İndeksi) ve Q (Rock Mass Quality - Kaya Kalite İndeksi) sınıflama sistemlerinin özel kaya yapıları için yeniden düzenlenmesi ile ortaya çıkmıştır. Özellikle zayıf tabakalı, kil içerikli anisotropik ve kırıklı kaya kütlelerinde, RMR ve Q sınıflama sistemlerine ait bazı kütle parametrelerinin belirlenmesinde yetersiz kaldığını belirleyen Ünal ve Özkan (1990), M-RMR (Modified Rock Mass Rating-Yeniden Düzenlenen Kaya Kütle indeksi) sınıflama sistemini geliştirmişlerdir (Bieniawski, 1989).

Mühendislik hizmetleriyle yeryüzünde ve yeraltında kaya kütlesi içerisinde yapılan mühendislik yapılarında duraylılık konusu, mühendisler tarafından oldukça önemsenmektedir. Duraylılık analizlerinde iki temel yaklaşım mevcuttur. Bunlar görgül ve sayısal tasarım yaklaşımları olarak adlandırılmaktadır.

Sayısal yaklaşımlar genel olarak kaya malzemesinin mekanik özelliklerini (E, υ, c, ϕ, σ_c gibi) geliştirilen matematiksel yaklaşımlarda kullanarak tahkimatsız ve tahkimatlı koşullar altında duraylılık çözümlenmeleri yapabilmektedir. Görgül yaklaşımlar ise mühendislik tecrübeleri, gözlemleri ve sezgileriyle geliştirilen kılavuz abaklar yardımıyla tahkimat önerilerinde bulunabilmektedir. Günümüzde her iki yöntemle de duraylılık analizleri yapılabilmektedir. Ancak jeolojik unsurların çok olduğu karışık kaya ortamlarının sayısal analizlerinde kaya ortamının modellenmesi zor olduğu için görgül yaklaşımlar bu tür kaya yapılarında daha yaygın kullanılmaktadır. Bununla birlikte ilk geliştirilen sayısal yaklaşımlarda sadece kaya malzemesinin mekanik özelliklerinin (E, υ, c, ϕ, σc gibi) dikkate alınması sayısal yaklaşımı sınırlayan bir etken olmuştur. Günümüzde bu problemi fark eden araştırmacılar kaya malzemesine ait mekanik özellikler yanında kaya kütlesine ait mekanik özellikleri (Em, σ_{cm}, m, s gibi)'de kullanabilen sayısal yaklaşımlar geliştirmişlerdir (Bieniawski, 1989).

Özkan ve ark. (2012)'a göre sayısal tasarım yaklaşımlarında yapılan son gelişmeler ile günümüzde proje mühendisleri daha çok kaya kütle sınıflama sistemleri yardımıyla kaya malzeme ve kütle özelliklerini belirlemekte ve görgül tasarım

yaklaşımlarına bağlı tahkimat tasarımları yapmakta daha sonra ise görgül yaklaşımları ile belirledikleri tahkimat önerilerini sayısal çözümlemeler ile denetlemektedirler. Projenin uygulamaya alınmasından sonra yapılacak gözlem ve saha ölçüm çalışmaları yardımıyla duraylılık analizlerinde gerekli görüldüğü takdirde geriye dönük analizler yapılmakta böylece istenen en uygun tahkimat sistemi belirlenmiş olmaktadır. Bundan dolayı proje mühendisleri görgül yaklaşımlara ön tasarım yaklaşımı ismini de vermektedirler. Gözlem, ölçüm, tecrübe ve mühendislik yargıları sonucu elde edilen bulguların birleştirilmesiyle geliştirilen kaya kütle sınıflama sistemleri niceliksel (sayısal) olarak kaya kütlesi özelliklerini ve tahkimat gereksinimlerini sahada belirlemek için kullanılmaktadır (Bieniawski, 1989). Günümüzde geliştirilen temel kaya kütle sınıflama sistemleri Çizelge 2.2'de sunulmuştur. Çizelge 2.2'de verilen sınıflandırma sistemlerinden RMR ve Q sınıflama sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. RMR ve Q sınıflama sistemlerine bağlı olarak geliştirilen yeni sistemler ise Çizelge 2.3'de verilmiştir. Bu tez çalışmasında dikkate alınacak M-RMR sınıflama sistemi hakkında genel bilgiler ve ayrıca RMR ve Q hakkında kısa bir bilgi aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Geliştirilen temel kaya kütle sınıflama sistemleri (Özkan, 1995).

No	Sınıflama Sisteminin Adı	Geliştirildiği ülke	Uygulama Alanları
1	Kaya Yükü	A.B.D.	Çelik destekli tüneller
2	Desteksiz Durma Süresi	Avusturalya	Tünelcilik
3	NATM (Yeni Avusturya Tünelcilik Yöntemi)	Avusturya	Tünelcilik
4	RQD	A.B.D.	Karot loglama, tünelcilik
5	RSR	A.B.D.	Tünelcilik
6	RMR	G. Afrika	Tüneller, madenler, (şevler, temeller.)
7	Q	Norveç	Tüneller ve yeraltı boşlukları, madencilik
8	Dayanım Boyut	Kanada	Tünelcilik
9	Temel Jeoteknik Sınıflama	Uluslararası	Genel amaçlı
10	MBR	A.B.D.	Sert kaya madenciliği
11	RMS	İsveç	Metal madenciliği
12	Birleştirilmiş Sınıflama Sistemi	A.B.D.	Genel iletişim amaçlı
13	RMZ	Çin	Kömür madenciliği
14	RTR	A.B.D.	Tünelcilik, madencilik, şevler
15	SGDM	Kanada	Madencilik
16	GC	Portekiz	Kömür madenciliği
17	CMRR	A.B.D.	Kömür madenciliği
18	RFI	Hindistan	Kömür madenciliği
19	RMi	Norveç	Tünelcilik

Çizelge 2.3. RMR ve Q sistemine bağlı geliştirilen sınıflama sistemleri (Özkan, 1995)

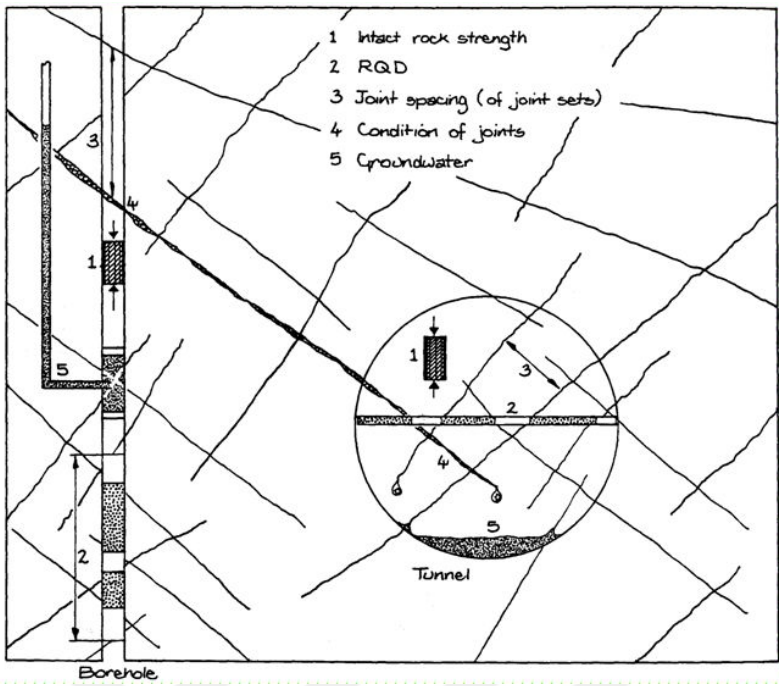
	Geliştirildiği Ülke	Uygulama Alanları
RMR SİSTEMİ İLE İLGİLİ DEĞİŞİKLİK ÖNEREN SİSTEMLER	Afrika	Sökülebilirlik
	G. Afrika	Madencilik
	G. Afrika	Bozunabilirlik
	Hindistan	Kömür madenciliği
	İspanya	Tünelcilik
	A.B.D.	Sert kaya madenciliği
	Japonya	Tünelcilik
	Portekiz	Temeller
	İspanya	Tünelcilik
	A.B.D.	Kömür madenciliğinde tavan saplaması
	İspanya	Şev duraylılığı
DÜZELTİLMİŞ RMR ‘85	A.B.D.	Kömür madenciliği
	A.B.D.	Delinebilirlik
BASİTLEŞTİRİLMİŞ RMR ‘85	Sri Lanka	Madencilik
	A.B.D	Taranabilirlik
	Hindistan	Kömür madenciliği
	Kanada	Şev duraylılığı
M-RMR	Türkiye	Maden galerileri, şevler, kuyular, Tüneller
Düzeltilmiş RMR '93	Hindistan	Kömür madenciliği
Q Sistemi ile ilgili değişiklikler	G. Afrika	Kazılabilirlik
	G. Afrika	Tünelcilik
Modifiye Q	Norveç	Tüneller, yer altı boşlukları, madencilik
	Hindistan	Kömür madenciliği

2.3.1. RMR kaya kütle sınıflama sistemi

RMR Sınıflama Sistemi Bieniawski tarafından 1973 yılında geliştirilmiştir (Bieniawski, 1973). Sistem, 1973’ten 1989’a kadar yeni verilerle desteklenerek bazı değişikliklere uğramış ve son şeklini 1989’da almıştır (Bieniawski, 1989).Tüneller, büyük yeraltı açıklıkları, maden işletmeleri, şevler ve temellerle ilgili 351 değişik uygulamadan derlenen verilerin ve yapılan gözlemlerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi, yöntemin bugünkü şeklini almasında en önemli araçlar olmuştur.

RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında Şekil 2.10’de belirtilen 6 parametre esas alınmaktadır.

1. Kayacın tek eksenli basma dayanımı (σ_c)
2. RQD
3. Süreksizlik aralığı
4. Süreksizliklerin durumu (devamlılık, pürüzlülük, dolgu, bozunma, açıklık)
5. Yeraltısuyu koşulları
6. Süreksizliklerin yönelimi



Şekil 2.10. RMR kaya kütlesi sınıflama sisteminde kullanılan parametreler (www.slideserve.com, 2017)

Sistemin uygulanması için, kaya kütlesi belirli özellikleri açısından benzerlik taşıyan yapısal bölgelere ayrılmaktadır. Kaya türünün veya süreksizlikler arası mesafenin düzenli olduğu yapısal bölgelerle yaygın olarak karşılanabilmektedir. Pek çok durumda yapısal bölgelerin sınırları; fay ve dayk gibi ana süreksizlikler olmaktadır. Yapısal bölgeler belirlendikten sonra, kazı aynaları boyunca veya sondajlı bir çalışma yapılıyorsa her ilerlemede sınıflandırmanın gerektirdiği parametreler tayin edilmektedir. Belirlenen parametreler kullanılarak temel, düzeltilmiş ve tasarım RMR indeks değerleri belirlenebilmektedir. RMR sınıflama indeks değeri 0-100 arasında değişmektedir (Bieniawski, 1989). RMR sınıflama sistemine ait eşitlikler aşağıda sunulmuştur.

$$\text{Temel RMR} = [I_{\sigma c}]+[I_{RQD}]+[I_{JS}]+[I_{JC}]+[I_{GW}] \quad (2.1)$$

$$\text{Düzeltilmiş RMR} = [\text{Temel RMR}]+[I_{OI}] \quad (2.2)$$

$$\text{Tasarım RMR} = [\text{Düzeltilmiş RMR}] * [A_B * A_S * S] \quad (2.3)$$

Burada

I_{JS}: Süreksizlikler arası mesafeye bağlı indeks değeri

I_{JC}: Süreksizlikler arası durum indeks değeri

I_{GW}: Yeraltı su durumuna bağlı indeks değeri

$I_{\sigma c}$: Tek eksenli basınç dayanımına bağlı indeks değeri

I_{OI}: Eklem takım konumuna bağlı indeks değeri (maden galeri ve tüneller için)

A_b: Arazi gerilimleri

S: Patlatma

As: Jeolojik yapı

RQD: Deere'in kaya kalite belirteci

İnşaat mühendisliği ile ilgili projelerde süreksizliklerin yönelimi ile ilgili düzeltmenin yapılması genellikle yeterlidir. Buna karşın, RMR sınıflama sisteminin yaygın şekilde kullanıldığı madencilik uygulamalarında kazı işlemleri oldukça dinamik süreçleri kapsar ve birbirini değişik yönlerde kesen yeraltı açıklıklarını gerektirebilir. Bu durumda arazi gerilimleri (A_B), patlatma (S) ve jeolojik yapı (A_S) faktörlerinin dikkate alınması gerekir. Bu faktörler kullanılarak nihai RMR değerlerinin belirlenmesi gerekir. A_B, A_S ve S parametrelerinin Eşitlik 2.3'deki çarpımı 0.5'ten küçük olması durumunda bu değer 0.5 alınmalıdır (Bieniawski, 1989).

2.3.2. Q kaya kütle sınıflama sistemi

Q-Sistemi, Norveç Jeoteknik Enstitüsü (NGI) araştırmacılarından Barton, Lien, Lunde (1974) tarafından ortaya konmuştur. Bu sistemin, kaya sınıflama çalışmalarına büyük katkısı olmuştur. Öncelikle, İskandinavya'da tünellerde gerçekleştirilen 200 ayrı inceleme ve değerlendirmeye dayanmaktadır. İkincisi, niceliksel bir sınıflama sistemidir ve üçüncüsü, sınıflama sonucunda tahkimat tasarımı önermektedir. Kaya kütlesinin değerini belirten Q değeri (Tünelcilik Niteliği Belirteci) aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi tanımlanmaktadır (Barton ve ark., 1974).

$$Q = (RQD/Jn)\ (Jr/Ja)\ (Jw/SRF) \quad (2.4)$$

Burada

RQD : Deere'in kaya kalite belirteci

Jn : Süreksizlik takım sayısı

Jr : Süreksizlik pürüzlülük durumu

Ja : Süreksizlik ayrışma durumu

Jw : Süreksizlik suyu indirgeme değişken faktörü

SRF : Gerilme indirgeme katsayısı

Barton ve arkadaşları (1974), Eşitlik 2.4'de bulunan 3 ifadeyi ise ayrıca aşağıdaki gibi birimsiz olarak tanımlamışlardır.

Blok Boyutu = (RQD / Jn) (2.5)

Bloklar Arası Makaslama Dayanımı = (Jr / Ja) (2.6)

Etken Gerilme = (Jw / SRF) (2.7)

Barton ve arkadaşlarının (1974) önerdiği Q sistem yardımıyla yeraltı maden galerileri ve tüneller için tahkimat tasarımı yapılabilmektedir. Aynı zamanda (Grimstad ve Barton, 1993). Kaya saplamaları ve beton tahkimat tasarımında basit bir kullanımı olan bir grafiksel yaklaşım önermişlerdir. Bu yardımıyla kaya saplama boyu ve aralığı beton tahkimat kalınlığı belirlenebilmektedir.

2.3.3. M-RMR kaya kütle sınıflama sistemi

Ünal ve Özkan, 1989-2005 yılları arasında ülkemizde ETİBANK–Bigadiç-Simav kolemanit, TKİ-OAL-Çayırhan kömür, Çayeli Bakır İşletmesi-ÇBİ bakır ve ETİBANK-Beypazarı-Trona maden ocaklarında karşılaşılaşılan kaya kütlesinin RMR (Bieniawski, 1973; Bieniawski, 1989) ve Q sınıflandırma indeks değerlerini belirlenmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalarında araştırmacılar, özellikle zayıf, anizotropik, tabakalı, kil içerikli ve çatlaklı kaya bölgelerinde kütle parametrelerinin belirlenmesinde RMR ve Q sistemlerinin yetersiz kaldığını tespit etmişlerdir. Karşılaşılan problemi aşmak amacıyla araştırmacılar tarafından M-RMR sınıflama sistemini geliştirilerek uygulayıcı mühendislere sunulmuştur. Zayıf, anizotropik, tabakalı, kil içerikli, çatlaklı kaya yapıları için geliştirilen M-RMR sistemine ait değerlendirmeler araştırmacılar tarafından çeşitli yurt içi ve dışı yayınlarda (Ünal ve Özkan, 1988; Ozkan, 1989; Ünal ve Özkan, 1990; Ünal ve ark., 1992; Özkan, 1995; Ozkan ve Unal, 1996) ayrıntıları ile sunulmuştur. Bieniawski 1996 yılında yapmış olduğu bir değerlendirmede RMR<20 olması koşulunda M-RMR değerlerinin dikkate alınmasının yerinde olacağını belirtmektedir (Bieniawski, 1996). Benzer bir uyarı Ulusay tarafından RMR<40 olması durumunda M-RMR sınıflama sonuçlarına itibar edilmesi yönünde yapılmıştır (Özkan ve ark., 2012). M-RMR sınıflama sistemi için Ünal ve Özkan (1990) tarafından önerilen eşitlik aslında üç parçadan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla Temel M-RMR, Düzeltilmiş M-RMR ve Tasarım M-RMR olarak adlandırılabilir. Bunlar aşağıda sunulmuştur.

Temel M-RMR = Fc $[I_{PLT}]+[I_{RQD}]+[I_{JC}]+[I_{JS}]+[I_{GW}]+[I_{OI}]$ (2.8)

Düzeltilmiş M-RMR = [Temel M-RMR] + $[I_{OI}]$ (2.9)

Burada;

Fc : Suda dağılma dayanımına bağlı bir katsayı (0.7-1.15)

I_{PLT} : Nokta yükleme dayanımına bağlı indeks değeri (0-15)
($I_{\sigma c}$:Tek eksenli basınç dayanımına bağlı indeks değeri (0-15))

I_{RQD} : RQD (Rock Quality Designation) değerine bağlı indeks değeri (0-20)

I_{JS} : Süreksizlikler arası mesafeye bağlı indeks değeri (0-20)

I_{JC} : Süreksizlikler arası durum indeks değeri (0-30)

I_{GW} : Yeraltı su durumuna bağlı indeks değeri (0-15)

I_{OI} : Eklem takım konumuna bağlı indeks değeri (maden galeri ve tüneller için : 0-(-12))

Yukarıdaki eşitlikte belirtilen parametreler Çizelge 2.4 ve Şekil 2.11 yardımıyla belirlenebilmektedir. Tasarım M-RMR değerini belirlemek için arazi gerilmeleri, jeolojik unsurlar (fay, süreksizlik gibi) ve galeri açma yöntemi (galeri açma makineleri veya delme-patlatma) ile ilgili indeks değerlerinin Temel M-RMR değeri ile çarpılması gerekmektedir (Çizelge 2.5). Ancak M-RMR sisteminde önerilen bu parametre indeks değerleri, RMR sisteminden farklıdır.

Tasarım M-RMR= [Temel RMR] * $[A_b*A_w]$ (2.10)

Burada;

A_b : Patlatmaya dayalı düzeltme katsayısı (0.80-1.0)

A_w : Büyük süreksizlik düzlemi ve zayıflık düzlemlerine dayalı düzeltme katsayısı (0.70-1.0)

Çizelge 2.4. Eklem takımları arası duruma ait indeks değerlerin belirlenmesi - I_{JC} (Ünal ve Özkan, 1990)

I_{JC} sağlam kaya bölgeleri için -ISTR (ICR ≥ 25 %)

Parametre	Koşul		İndeks
Bozunma W	Hiç Bozunmamış		8
	Az Bozunmuş		7
	Orta Bozunmuş		6
	Çok Bozunmuş		4
	Çok Fazla Bozunmuş		2
	Çok Aşırı Bozunmuş		0
Pürüzlülük R	Dalgalı	Çok Pürüzlü	8
		Pürüzlü	6
		Az Pürüzlü	4
		Düz	2
		Kaygan	1
	Düzlemsel	Çok Pürüzlü	4
		Pürüzlü	3
		Az Pürüzlü	2
		Düz	1
		Kaygan	0
Devamlılık C	Çok Az Devamlı		3.5
	Az Devamlı		3
	Orta Devamlı		2
	Yüksek Devamlı		1.5
	Çok Yüksek Devamlı		1
Açıklık A	0.0-0.01 mm		4
	0.01-1 mm		3
	1.0-5.0 mm		2
	> 5mm		0
Dolgu F	Dolgu Yok		1
	0.0-1.0 mm		4
	1.0-5.0 mm (hard)		3.5
	1.0-5.0 mm (soft)		3.0
	> 5.0 mm (hard)		2.0
	> 5.0 mm (soft)		0.0

I_{JC} kırıklı kaya bölgeleri için -BSTR (ICR<25%)

BSTR	Tanım	İndeks (bs)
BSTR1	Eğer toprak yapısında ise (büyük kum-çakıl)	0
BSTR2	Eğer kırıklı kaya ve küçük çakıl taneleri içeriyorsa (~1cm)	2
BSTR3	Eğer 2-3 cm boyutlarında kırıklı kaya parçaları içeriyorsa	4
BSTR4	Eğer 10cm'den daha kısa karot parçaları içeriyorsa	6
BSTR5	Eğer 10 cm'den daha büyük bir yada daha fazla karot parçaları içeriyorsa	8

Eklem takımları arası duruma ait Eşitlikler

1) Eğer ICR>25 % ve F=1 (dolgu yok)

$I_{JC} = W+R+(C*A*F)$

2) Eğer ICR>25 % ve F≠1 (dolgu var)

$I_{JC} = 0$ F=0

$I_{JC} = 2+(C*F)$ F=2

$I_{JC} = 4+(C*F)$ F=3

$I_{JC} = 6+(C*F)$ F=3.5

$I_{JC} = 8+(C*F)$ F=4

3) Eğer ICR≤25 % ve F=1 (dolgu yok)

$I_{JC} = bs+(W/2)+8$

4) Eğer ICR≤25 % ve F≠1 (dolgu var)

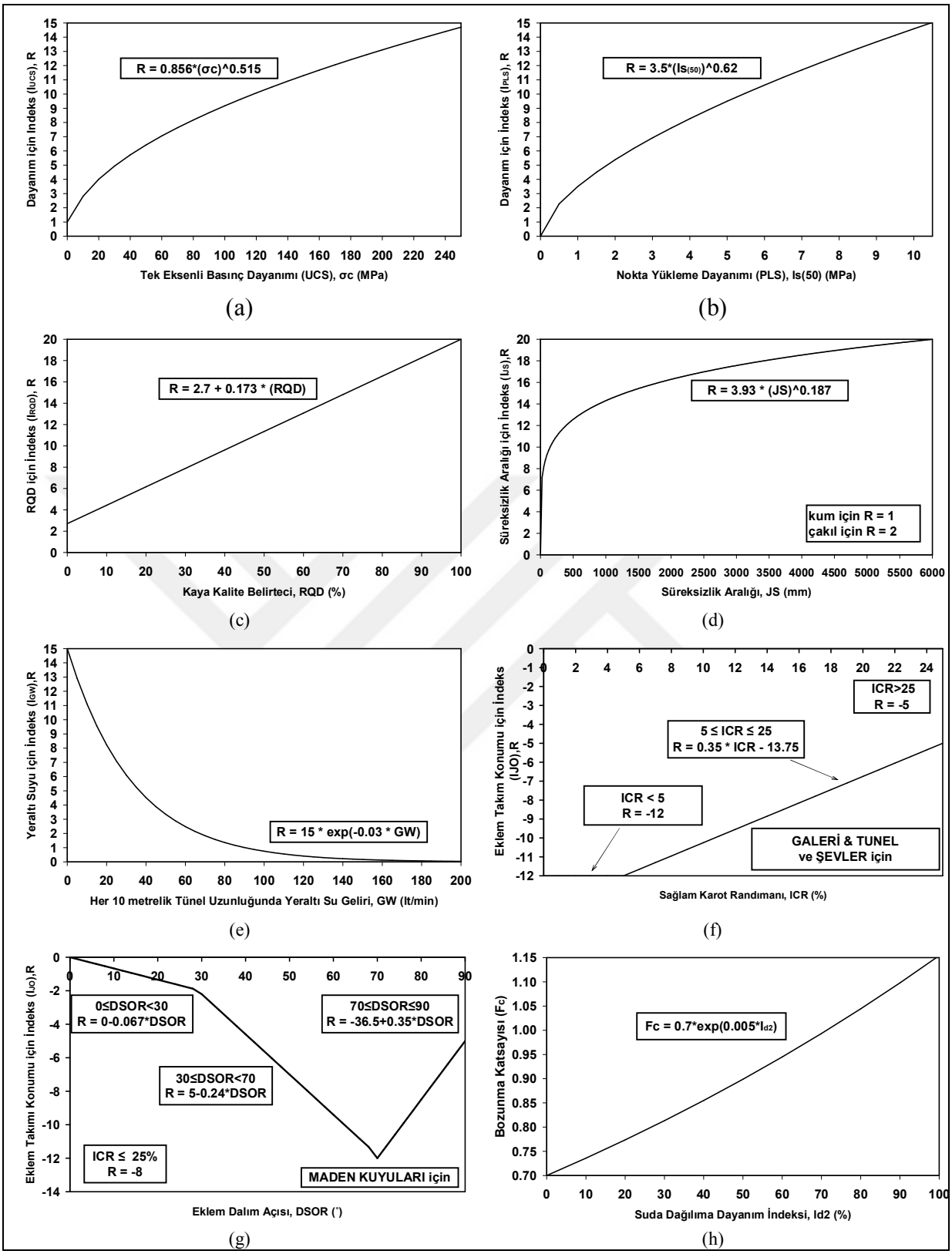
$I_{JC} = 0$ F=0

$I_{JC} = 4$ F=2

$I_{JC} = (bs/2)+(W/2)$ F=3

$I_{JC} = (bs/2)+(W/2)+4$ F=3.5

$I_{JC} = bs+(W/2)+4$ F=4



Şekil 2.11. M-RMR sistemi tarafından sınıflandırma parametreleri için önerilen aralıklar ve indeks değerleri (Ünal ve Özkan, 1990)

Çizelge 2.5. Patlatma (A_b) ve büyük süreksizlik düzlemleri için düzeltme katsayıları (A_w) (Ünal ve Özkan, 1990).

Patlatma Hasarı için Düzeltme (A_b)		Büyük Süreksizlikler ve Zayıflık Düzlemleri için Düzeltme(A_w)	
Patlatma Hasarı	Düzeltme Katsayısı (A_b)	Zayıflık	Düzeltme Katsayısı (A_w)
Patlatma yok	1.0	Zayıflık Düzlemi yok	1.0
Az Hasarlı Patlatma	0.95	Katı Dayk	0.90
Orta Hasarlı Patlatma	0.90	Yumşak Çemberli Zonlar	0.85
Kötü Patlatma	0.85	Ana Kaya ile Cevher Kontak Zonları Yada Homojen Olmayan Tavan Kayası	0.80
Çok Kötü Patlatma	0.80	Kıvrımlar,Senklinal,Antiklinal	0.75
		Fay Zonu	0.70

2.4. Sayısal Çözümleme Yaklaşımları

Sayısal gerilme çözümlemeleri maden mühendisliğinde de gün geçtikçe diğer mühendislik dallarında olduğu kadar daha yaygın uygulama alanları bulmaktadır Yöntemin avantajları arasında, gerilme yığılmalarının ve olası yenilme bölgelerinin önceden kestirimi sağlamak, çevre açıklıklar veya yapılarla etkileşimin sonuçları konusunda tasarımcıya ipuçları vermek ve alınması ön görülen kaya mühendislik yapısının tahkimat önlemleri karşısında yapının uygulanan tahkimata olumlu veya olumsuz tepkisini önceden kestirmek sayılabilir. Kaya Mühendislik yapılarının sayısal çözümlemelerini yüksek doğruluk oranlarında gerçekleştirmeye yönelik geliştirilmiş henüz tek bir yöntem mevcut değildir.

Bu nedenle, problemlerin çozümüne yönelik olarak, arazinin yapısal özelliklerine göre bir veya bir kaç yöntem uygulanabilmektedir. Olumsuzlıklara rağmen yöntem, gerçekçi sonuçlar verebilmektedir. Sayısal yöntemler diğer yöntemlere oranla daha az maliyete ihtiyaç duyduğu ve birçok farklı alanlarda da kullanılabilmesi yönünden, kısa süre içerisinde hızlıca gelişerek yayılmıştır. Sayısal yöntemler madencilikte; galeri, kuyu, kazı arını, şev gibi önemli özelliğe sahip bölgelerin tasarımlarında, kazı öncesi, kazı sırası ve sonrası için gerilme durumları kestiriminde, arazi davranışı analizi hesaplamalarında kullanılmaktadır.

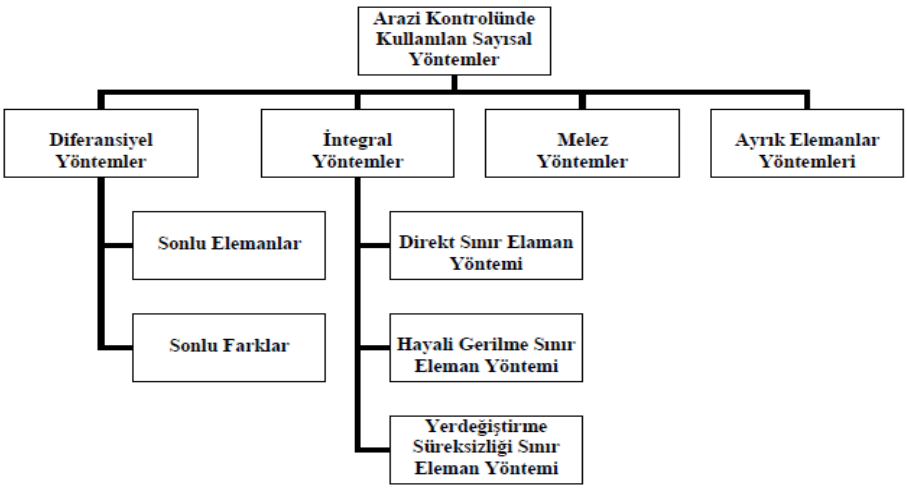
Günümüzde yaygın kullanılan sayısal çözümleme programları sonlu eleman, sonlu farklar, sınır eleman, ayrık elemanlar ile çalışmaktadır (Şekil 2.12). Zaman ve ekonomiklik bakımından pahalı labratoar ve arazide gerçekleştirilen deneysel çalışmalar

yerine sayısal benzetimler üzerinde çalışmak daha kolaydır. Pek çok mühendis ve bilim insanı uğraştıkları bir fiziksel olayı matematiksel olarak formüle etmek ve oluşturdukları matematiksel modeli de sayısal olarak çözmek istemektedir (Kalenderli, 1996). Kaya mühendislik yapılarını tahkimat tasarım çalışmalarında sayısal yöntemleri kullanırken uygun malzeme parametrelerini ve birincil gerilme durumunu belirlemek oldukça zor olup yüksek deneyim gerektirmektedir. Bir kez doğru model oluşturulduğu ve uygun fonksiyonlar kurulduğu zaman (Şekil 2.13) tasarım üzerindeki değişik parametrelerin etkisini ve değişen jeolojik koşullar altında tasarımın yeterliliğini araştırmak için girdi parametrelerini değiştirmek yeterli olmaktadır (Norconsult, 2008).

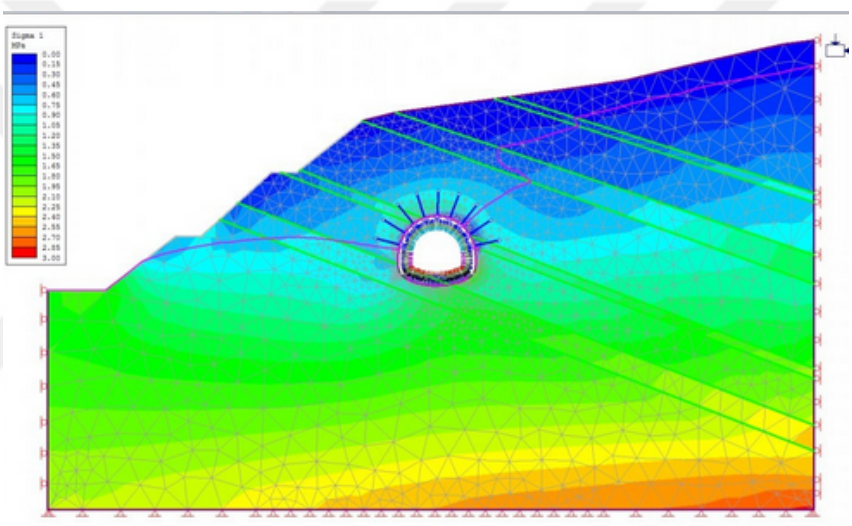
Phase2 programı sonlu elemanlar yöntemine dayalı zemin veya kaya ortamında yapılan yeraltı ve yerüstü yapıları için düzlem birim şekil değiştirme durumunda iki boyutlu ve eksenel simetri durumunda kısmen üç boyutlu gerilme çözümlemeleri yapabilmektedir. Yeraltı açıklıkları için beton, püskürtme beton, kaya saplaması, çelik tahkimat ve bunların kombinasyonlarından oluşan tahkimatlar için gerilme çözümlemeleri yapılmaktadır.

Matematiksel temele dayalı olan Sayısal yöntemler diferansiyel ve integral yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Diferansiyel yöntemler kendi içersinde, sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır. İntegral yöntemler, direkt sınır eleman yöntemi, hayali gerilme sınır eleman yöntemi ve yerdeğiştirme süreksizliği sınır eleman yöntemi olmak üzere üç ayrı bölümde incelenmektedir. Diferansiyel ve İntegral yöntemlerin birleştirilmesi ve her ikisinin avantajlarından yararlanılması ile melez (hibrit) yöntem geliştirilmesi ayrık elemanlar yöntemlerin gerilme hesaplamasını diferansiyel yönteme dayanarak yaptığı halde içinde birçok yeni kavram içermesinden dolayı ayrı bir sınıf olarak kabul edilebilir (Özşen, 2009).

Günümüzde kullanılan sayısal çözümleme yazılımlarına bazı örnekler Çizelge 2.6'de verilmiştir.



Şekil 2.12. Arazi kontrolünde kullanılan sayısal yöntemlerin sınıflandırılması.



Şekil 2.13. Phase2 programı ile elde edilen sayısal çözümlemelere tipik bir örnek. (Rocscience, 2002).

Çizelge 2.6. Arazi kontrolünde kullanılan bazı sayısal çözümleme programları.

Program İsmi	**Yönetim**	**Yazan Fırma**
Visage	Solu Eleman	Bharü Engineering, Kanada
Super Sap	Sonlu Eleman	Bharü Engineering, Kanada
Flac2D,3D	Entegre Sonlu Farklar	itasca Mineapolis, ABD
Examine2D,3D	Sınır Eleman	Toranto üniversitesi, Kanada
Examine Tab	Sınır Eleman	Toranto üniversitesi, Kanada
3DBEM	Sınır Eleman	Mine Modelling Ltd, Ontario, Kanada
UDEC	Ayrık Elemanlar	Itasca Mineapolis, ABD
3DEC	Ayrık Elemanlar	Itasca Mineapolis, ABD
BEFE	Melez	University of Quennsland, Avustralya
PHASE2D	Melez	Toranto Üniversitesi, Kanada
PFC2D	Ayrık Elemanlar	Itasca Mineapolis, ABD
Plaxis,2D, 3D	Sonlu Eleman	PLAXIS, Hollanda

2.5. Kuyu Beton Tahkimat Yaklaşımları

Dairesel maden kuyularının tahkimat çalışmalarında tahkimat elemanı olarak beton tahkimat sıklıkla kullanılmaktadır. Elastik teori ve görgül yaklaşımlara dayalı olarak literatürde verilen bağıntılar aşağıda sunulmuştur.

2.5.1. Elastik teoriye göre beton kalınlık hesaplanması

Elastik teoriye göre beton kalınlıklarının hesaplanmasına yönelik eşitlikler aşağıda sunulmuştur (Carranza-Torres ve Fairhurst, 1999).

$$P_s^{max} = \frac{\sigma_{cc}}{2}\left[\frac{(r-t_c)^2}{r^2}\right] \tag{2.11}$$

$$t_c = r\left[1-\sqrt{1-\frac{2P_s^{max}}{\sigma_{cc}}}\right] \tag{2.12}$$

$$K_s = \frac{E_c}{(1-\nu_c)r}\,\frac{r^2-(r-t_c)^2}{(1-2\nu_c)r^2+(r-t_c)^2} \tag{2.13}$$

Burada;

P_s^{max} : Beton tahkimatın yenilmeden önce taşıyabileceği en yüksek basınç gerilmesi(MPa)

σ_{cc} : Beton malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (MPa)

r : Düşey kuyu yarıçapı (m)

t_c : Beton tahkimat kalınlığı (m)

E_c : Beton malzemesinin Elastik Modülü (MPa)

ν_c : Poisson oranı

K_s : Beton malzemesinin elastik katılığı (MPa/m)

2.5.2. Görgül yaklaşımlara göre beton kalınlıklarının hesaplaması

Dairesel maden kuyularının beton tahkimat analizlerinde edinilen tecrübe ve gözlemlere bağlı olarak geliştirilen görgül beton tahkimat kalınlıklarının hesaplamalarına yönelik geliştirme eşitlikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1) Unrug yaklaşımı (Unrug, 1992)

$$t_c = r\left(\sqrt{\frac{f_c}{f_c - \sqrt{3}nP_o}} - 1\right) \quad (2.14)$$

Burada;

f_c : beton malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (MPa)

r : maden kuyunun yaıçapı (m)

t_c : beton tahkimat kalınlığı (cm)

n : betonun çalışma koşullarına bağlı bir katsayı

2) Arıoğlu yaklaşımı (Arıoğlu, 1982)

$$t_c = r(e^{2.04P_0/fc} - 1) \quad (2.15)$$

Burada

f_c : beton malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (MPa)

r : maden kuyunun yarıçapı (cm)

t_c : beton tahkimat kalınlığı (cm)

3) Heise yaklaşımı (Arıoğlu, 1970)

$$t_c = \frac{P_0 r}{f_c} \quad (2.16)$$

Burada;

f_c : beton malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (MPa)

r : maden kuyunun yarıçapı (m)

t_c :beton tahkimat kalınlığı (cm)

Yukarıda sıralanan (Unrug, 1992) ve Heise (Arıoğlu, 1970) yaklaşımlarında kullanılan P_0 (Beton tahkimata gelecek basınç, MPa) değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

4) Kopex yaklaşımı (Corporation, 1998)

$P_0 = 0.013\ Z$ (MPa) Su içerikli kum malzemeler için (2.17)

$P_0 = 0.017\ Z$ (MPa) kil malzemeler için (2.18)

5) Protodjakonow yaklaşımı (Arıoğlu, 1970)

$$P_0 = \gamma Z \tan^2\left(\frac{90 - \Phi}{2}\right) \quad (2.19)$$

Burada;

Z: Yüzeyden derinlik (m)

ɤ : Kaya yoğunluğu (MN/m^3)

ϕ :İçsel sürtünme açısı (°)

P_0 : Beton tahkimata gelecek basınç (MPa)

6) Haynes yaklaşımı (Vergne, 2003)

$$P_{sc\,max} = f_c\left(2.17\frac{t_c}{d} - 0.04\right) \quad (2.20)$$

Burada;

f_c : beton malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (MPa)

d : Maden kuyu çapı (m)

t_c :beton tahkimat kalınlığı (cm)

$P_{sc\,max}$: beton tahkimatın taşıyacağı max gerilme (MPa)

7) Güler yaklaşımı (Güler, 2013)

$$\frac{P_i}{\sigma_{ci}} = 0.0161 - 0.000718 * GSI + 0.241 * \frac{\sigma_z}{\sigma_{ci}} + 0.162 * \frac{\sigma_{hz}}{\sigma_{ci}} \quad (2.21)$$

Burada;

σ_{ci} : Kaya malzemenin tek eksenli basma dayanımı (MPa)

GSI: Jeolojik Dayanım İndeksi

σ_z : Düşey birincil arazi gerilmesi (MPa)

σ_{h2} : Yatay birincil arazi gerilmesi (MPa)

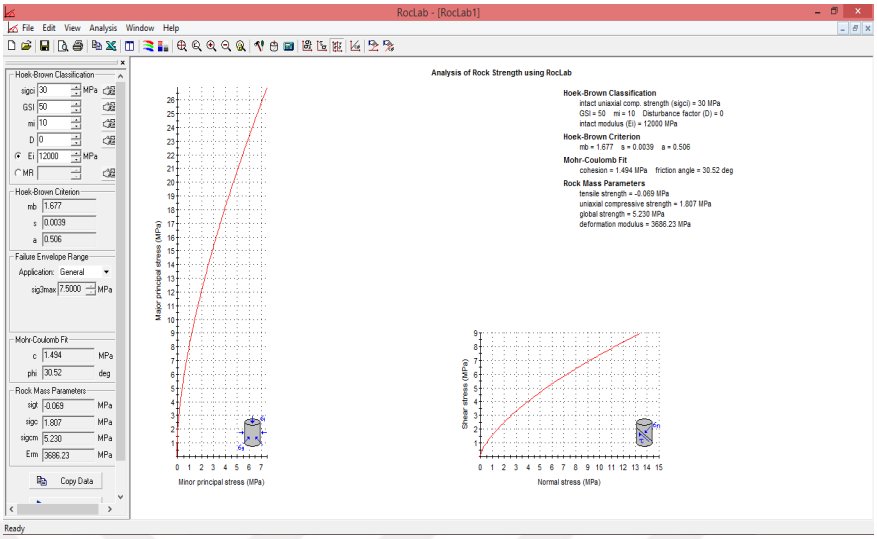
Z : Yüzeyden derinlik (m)

P_i : Tahkimat basıncı (MPa)

2.6. RocLab Programı

RocLab (Rocscience, 2002), genelleştirilmiş Hoek-Brown yenilme ölçütünün son sürümün olup temel kaya kütle parametrelerini belirlemek için hazırlanan bir yazılım programıdır. RocLab yazılımı Hoek-Brown yenilme ölçütünün basit bir sayısal uygulamasını sağlar, Kullanıcılar kaya malzeme özelliklerini (σ_{ci}, GSI, m_i, D, E_i) programa yüklemeleri ile ölçütte kullanılan kaya kütle sabitleri (m_b, s, a) kolayca belirleyebilmektedir. Ayrıca Mohr-Coulomb (M-C) ve Hoek-Brown (H-B) yenilme zarfılarını grafiksel olarak vererek kullanıcılara (c, ϕ) değerlerini sunabilmektedir. Kaya

kütle parametrelerini değiştirerek değişimin etkisi Şekil 2.14'te görüldüğü gibi görsel olarak kolayca izlenebilmektedir (Rocscience, 2002).

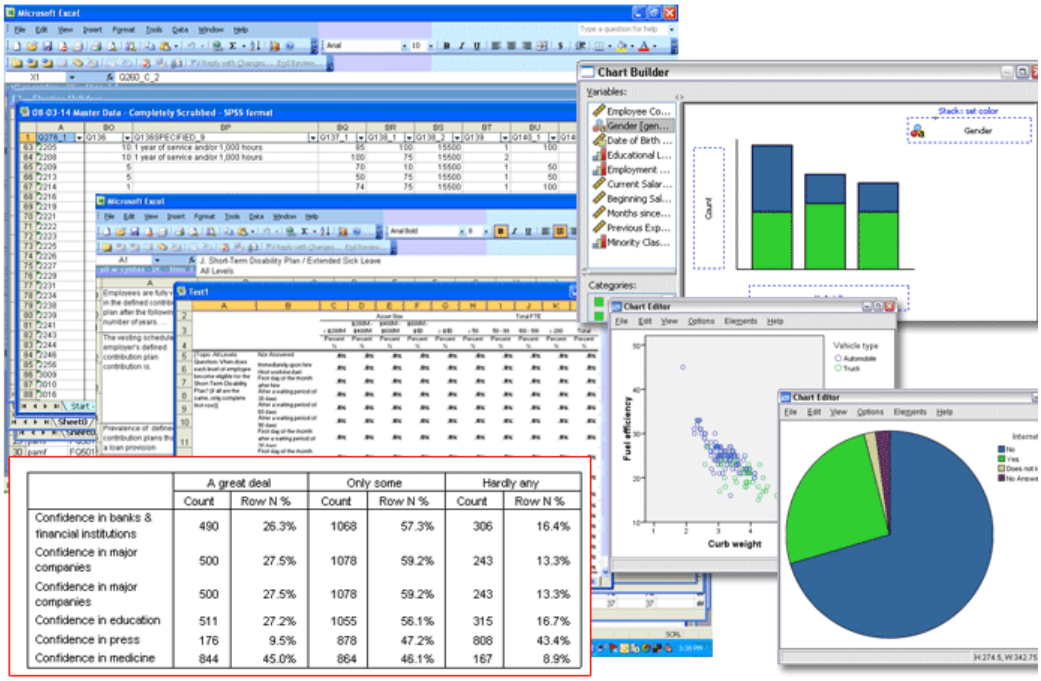


Şekil 2.14. Roclob programın görüntüsü (Rocscience, 2002)

2.7. İstatistiksel Analizler İçin SPSS

SPSS programı başta anket analizleri olmak üzere sağlık bilimleri ve fen bilimleri alanlarında da elde edilen bazı ölçümlerin analiz edilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Verilerin sayısal olarak dağılımlarının (adet bazında) belirlenmesinde frekans analizi kullanılmaktadır. Elde edilen verilere ilişkin ortalama, standart sapma, mod, medyan gibi değerlerin hesaplanmasında ise tanımlayıcı istatistik bilgilerinden yararlanılır. Frekans analizi ile tanımlayıcı istatistikler temel analizler olup kolaylıkla yapılabilmektedir. Karşılaştırma ya da ilişki analizleri parametrik ve non parametrik adında iki grup altında toplanmaktadır. Parametrik ya da son parametrik analizlerin kullanıp kullanılmayacağı belirli kriterlere bağlıdır. Bu kriterlerin başında verilerin normal dağılıma uygun olup olmaması ve homojen olup olmaması gelmektedir. Kısacası normal dağılım/homojenlik, veri seti verilerinin birbirlerine ne kadar yakın ya da uzak olduğunu, bir başka deyişle ne kadar dağınık olduğunu tanımlar. Karşılaştırma analizlerine ek olarak regresyon ve korelasyon gibi ilişki analizleri de SPSS programında yapılabilmektedir. Regresyon analizleri sadece normal dağılım gösteren verilere uygulanırken, korelasyon analizi hem normal dağılım gösteren hem de normal

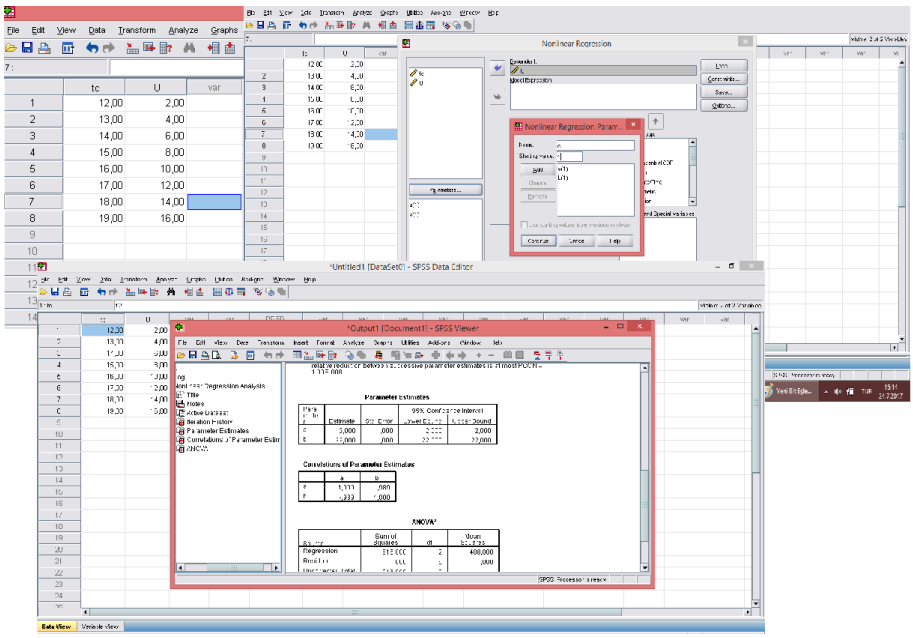
dağılım göstermeyen verilere uygulanabilmektedir (Şekil 2.15) (www.akademidestek.com, 2017).



	A great deal		Only some		Hardly any	
	Count	Row N %	Count	Row N %	Count	Row N %
Confidence in banks & financial institutions	490	26.3%	1068	57.3%	306	16.4%
Confidence in major companies	500	27.5%	1078	59.2%	243	13.3%
Confidence in major companies	500	27.5%	1078	59.2%	243	13.3%
Confidence in education	511	27.2%	1055	56.1%	315	16.7%
Confidence in press	176	9.5%	878	47.2%	808	43.4%
Confidence in medicine	844	45.0%	864	46.1%	167	8.9%

Şekil 2.15. SPSS programından örnekler (www.akademidestek.com, 2017)

Regresyon analizindeki kullanılan SPSS yazılımına ait tipik bir uygulamada kullanıllan ara yüzler Şekil 2.16'de sunulmuştur.



Şekil 2.16. SPSS programı ile tipik bir uygulamaya ait ara yüzler.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genel

Bu bölümde sayısal çözümleme çalışmalarında kullanılan kaya kütlesi için girdi parametrelerinin ve beton tahkimata yönelik girdi parametrelerin hazırlanması sunulmuştur.

3.2. Kaya Kütlesi İçin Girdi Parametrelerin Hazırlanması

Bu tez çalışmasında dairesel kesitli maden kuyusunun iri taneli kumtaşı içerisinde açıldığı kabul edilmiştir. Kuyu çapı (2r) 9m ve derinliği (Z) 900m seçilmiştir. Bu çerçevede RocLab (Rocscience, 2002) programı kullanılarak iri taneli kumtaşı kaya birimi için aşağıda sıralanan iki temel parametre tespit edilmiştir.

1. Genelleştirilmiş Hoek-Brown (Hoek ve ark., 1992) yenilme ölçütünde kullanılan sağlam kaya sabiti (m_i) değeri iri taneli kumtaşı kaya birimi için 10 olduğu tespit edilmiştir.
2. İri taneli kumtaşı kaya birimine ait MR (Modül oranı) değerinin 200 olduğu tespit edilmiştir.

Sayısal çözümlemelerde kullanılacak girdi parametrelerinin hazırlanmasında temel olarak derinlik (Z, m), kaya malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}, MPa), kaya kütle sınıflama sistemi (M-RMR) ve kuyu açılırken örselenme durumunu gösteren sabit (D) dikkate alınmıştır. Bu değerlere ait aralıklar aşağıda verilmiştir.

1. Derinlik (Z) parametresine ait analizlerde 100m, 300m, 500m, 700m ve 900m dikkate alınmıştır.
2. Kaya malzemesinin tek eksenli basma dayanımı-TEBD (σ_{ci}, MPa) parametresine ait analizlerde TEBD değerleri 25 MPa, 50 MPa, 75 MPa ve 100 MPa alınmış ve her derinlik (Z) için ayrı ayrı dikkate alınmıştır.
3. Kaya kütle sınıflama sistemi (M-RMR) parametresine ait analizlerde M-RMR değerleri sırasıyla 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 alınmış her derinlik (Z) ile her dayanım (σ_{ci}) için dikkate alınmıştır.
4. Kuyu açılırken örselenme durumunu gösteren sabit (D) için örselenmemiş durum ait 0 değeri dikkate alınırken patlatmaya bağlı yenilmiş durum için D=0.5 hesaplamalara dahil edilmiştir.

Yukarıda özetlenen ana parametrelere ait girdi verilerinin tespiti için RocLab (Rocscience, 2002) programı kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.2.1. TEBD değeri 25 MPa ve örselenme değeri D=0 ve 0.5 durum için RocLab program çıktıları

Model olarak seçilen iri taneli kumtaşı kaya birimi için parametrik analizde ilk önce tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 25 MPa ve kayacın örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 olduğu varsayılmıştır. Bu varsayıma göre sayısal analizlerde kullanılacak RocLab (Rocscience, 2002) program çıktı aralıkları topluca Çizelge 3.1'de sunulmuştur. Ayrıca her bir M-RMR değeri için belirlenen tüm değerler sırasıyla Çizelge 3.2-3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 25 MPa ve kayacın örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5'e göre RocLab çıktılarına ait aralıklar.

σ_{ci} = 25 MPa ve D=0		σ_{ci} = 25 MPa ve D=0.5	
M-RMR	10 - 100	M-RMR	10 - 100
Derinlik (m)	100 - 900	Derinlik (m)	100 - 900
MR	200	MR	200
m_b	0.402 - 10	m_b	0.138 - 10
s	0.0000454 - 1	s	0.0000614 - 1
a	0.5 - 0.585	a	0.5 - 0.585
c (MPa)	0.48 - 5.042	c (MPa)	0.48 - 5
ϕ (°)	17.98 - 42.95	ϕ (°)	11.1 - 42.95
σ_t (MPa)	(-2.5) - (-0.003)	σ_t (MPa)	(-2.5) - (-0.001)
σ_{cm} (MPa)*	0.072-25	σ_{cm} (MPa)*	0.022 - 25
σ_{cm} (MPa)**	1.321-23.163	σ_{cm} (MPa)**	0.704 - 23.163
E_m (MPa)	152.52 -4971.64	E_m (MPa)	120.52 - 3664.29
E_i (MPa)	5000	E_i (MPa)	5000
σ_3 max	2.5	σ_3 max	2.5
m_i	10	m_i	10

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı
**Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.2-3.6'e göre σ_{ci}=25 MPa ve D=0 koşulu altında kaya kütle sabitleri (m_b, s ve a), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), kaya kütlesinin çekme dayanımı (σ_t), kaya kütlesinin basma dayanımı (σ_{cm}), kaya kütlesinin Elastik modülünün sırasıyla; m_b =0.402-10, s=0.0000454-1, a=0.5-0.585, c=0.48-5.042 MPa, ϕ=17.98-42.95°, σ_t=(-2.5)-(-0.003) MPa, σ_{cm}=0.072-25 MPa (H-B), σ_{cm}=1.321-23.163 MPa (H-B) E_m=152.52-4971.64 MPa ve E_i=5000 MPa aralığında olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.2-3.6'da olduğu gibi Çizelge 3.7-3.11'de (σ_{ci}=25 MPa ve D=0.5 koşulu altında) sırasıyla; m_b = 0.138-10, s=0.0000614-1, a=0.5-0.585, c=0.48-5 MPa, ϕ=11.1-42.95°, σ_t=(-2.5)-(-0.001) MPa, σ_{cm}=0.022-25 MPa (H-B), σ_{cm}=0.704-23.163MPa (M-C), E_m=120.52-3664.29 MPa ve E_i=5000 MPa aralığında olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.2. Z=100m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ_3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
100	0	25	5000	200	10	10	0.402	0.0000454	0.585	6.25	0.48	17.98	-0.003	0.072	1.321	152.52
100	0	25	5000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	6.25	0.691	21.49	-0.006	0.199	2.03	228.36
100	0	25	5000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	6.25	0.88	24.6	-0.013	0.43	2.741	406.92
100	0	25	5000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	6.25	1.058	27.57	-0.027	0.827	3.492	798.26
100	0	25	5000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	6.25	1.245	30.52	-0.058	1.506	4.358	1535.93
100	0	25	5000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	6.25	1.468	33.45	-0.123	2.675	5.459	2600
100	0	25	5000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	6.25	1.778	36.31	-0.26	4.701	7.025	3664.07
100	0	25	5000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	6.25	2.28	39	-0.553	8.219	9.561	4401.74
100	0	25	5000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	6.25	3.207	41.31	-1.176	14.341	14.175	4793.08
100	0	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	42.95	-2.5	25	23.163	4971.64

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.3. Z=300m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
300	0	25	5000	200	10	10	0.402	4.54E05	0.585	6.25	0.48	17.98	-0.003	0.072	1.321	152.52
300	0	25	5000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	6.25	0.691	21.49	-0.006	0.199	2.03	228.36
300	0	25	5000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	6.25	0.88	24.6	-0.013	0.43	2.741	406.92
300	0	25	5000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	6.25	1.058	27.57	-0.027	0.827	3.492	798.26
300	0	25	5000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	6.25	1.245	30.52	-0.058	1.506	4.358	1535.93
300	0	25	5000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	6.25	1.468	33.45	-0.123	2.675	5.459	2600
300	0	25	5000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	6.25	1.778	36.31	-0.26	4.701	7.025	3664.07
300	0	25	5000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	6.25	2.28	39	-0.553	8.219	9.561	4401.74
300	0	25	5000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	6.25	3.207	41.31	-1.176	14.341	14.175	4793.08
300	0	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	42.95	-2.5	25	23.163	4971.64

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.4. Z=500m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
500	0	25	5000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	6.25	0.48	17.98	-0.003	0.072	1.321	152.52
500	0	25	5000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	6.25	0.691	21.49	-0.006	0.199	2.03	228.36
500	0	25	5000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	6.25	0.88	24.6	-0.013	0.43	2.741	406.92
500	0	25	5000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	6.25	1.058	27.57	-0.027	0.827	3.492	798.26
500	0	25	5000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	6.25	1.245	30.52	-0.058	1.506	4.358	1535.93
500	0	25	5000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	6.25	1.468	33.45	-0.123	2.675	5.459	2600
500	0	25	5000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	6.25	1.778	36.31	-0.26	4.701	7.025	3664.07
500	0	25	5000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	6.25	2.28	39	-0.553	8.219	9.561	4401.74
500	0	25	5000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	6.25	3.207	41.31	-1.176	14.341	14.175	4793.08
500	0	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	42.95	-2.5	25	23.163	4971.64

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.5. Z=700m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
700	0	25	5000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	6.25	0.48	17.98	-0.003	0.072	1.321	152.52
700	0	25	5000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	6.25	0.691	21.49	-0.006	0.199	2.03	228.36
700	0	25	5000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	6.25	0.88	24.6	-0.013	0.43	2.741	406.92
700	0	25	5000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	6.25	1.058	27.57	-0.027	0.827	3.492	798.26
700	0	25	5000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	6.25	1.245	30.52	-0.058	1.506	4.358	1535.93
700	0	25	5000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	6.25	1.468	33.45	-0.123	2.675	5.459	2600
700	0	25	5000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	6.25	1.778	36.31	-0.26	4.701	7.025	3664.07
700	0	25	5000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	6.25	2.28	39	-0.553	8.219	9.561	4401.74
700	0	25	5000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	6.25	3.207	41.31	-1.176	14.341	14.175	4793.08
700	0	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	42.95	-2.5	25	23.163	4971.64

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.6. Z=900m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
900	0	25	5000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	6.25	0.48	17.98	-0.003	0.072	1.321	152.52
900	0	25	5000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	6.25	0.691	21.49	-0.006	0.199	2.03	228.36
900	0	25	5000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	6.25	0.88	24.6	-0.013	0.43	2.741	406.92
900	0	25	5000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	6.25	1.058	27.57	-0.027	0.827	3.492	798.26
900	0	25	5000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	6.25	1.245	30.52	-0.058	1.506	4.358	1535.93
900	0	25	5000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	6.25	1.468	33.45	-0.123	2.675	5.459	2600
900	0	25	5000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	6.25	1.778	36.31	-0.26	4.701	7.025	3664.07
900	0	25	5000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	6.25	2.28	39	-0.553	8.219	9.561	4401.74
900	0	25	5000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	6.25	3.207	41.31	-1.176	14.341	14.175	4793.08
900	0	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	42.95	-2.5	25	23.163	4971.64

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.7. Z=100m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
100	0.5	25	5000	200	10	10	0.138	0.00000614	0.585	6.25	0.29	11.1	-0.001	0.022	0.704	120.02
100	0.5	25	5000	200	20	10	0.222	0.0000233	0.544	6.25	0.464	14.85	-0.003	0.076	1.207	149.31
100	0.5	25	5000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	6.25	0.637	18.4	-0.006	0.191	1.766	220.05
100	0.5	25	5000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	6.25	0.812	21.99	-0.015	0.418	2.406	384.47
100	0.5	25	5000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	6.25	1.001	25.68	-0.034	0.858	3.184	734.71
100	0.5	25	5000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	6.25	1.226	29.49	-0.081	1.711	4.204	1359.46
100	0.5	25	5000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	6.25	1.531	33.35	-0.191	3.365	5.68	2187.16
100	0.5	25	5000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	6.25	2.024	37.08	-0.45	6.58	8.134	2938.79
100	0.5	25	5000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	6.25	2.977	40.42	-1.061	12.822	12.893	3420.58
100	0.5	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	49.95	-2.5	25	23.163	3664.29

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.8. Z=300m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
300	0.5	25	5000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	6.25	0.29	11.1	-0.001	0.022	0.704	120.02
300	0.5	25	5000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	6.25	0.464	14.85	-0.003	0.076	1.207	149.31
300	0.5	25	5000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	6.25	0.637	18.4	-0.006	0.191	1.766	220.05
300	0.5	25	5000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	6.25	0.812	21.99	-0.015	0.418	2.406	384.47
300	0.5	25	5000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	6.25	1.001	25.68	-0.034	0.858	3.184	734.71
300	0.5	25	5000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	6.25	1.226	29.49	-0.081	1.711	4.204	1359.46
300	0.5	25	5000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	6.25	1.531	33.35	-0.191	3.365	5.68	2187.16
300	0.5	25	5000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	6.25	2.024	37.08	-0.45	6.58	8.134	2938.79
300	0.5	25	5000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	6.25	2.977	40.42	-1.061	12.822	12.893	3420.58
300	0.5	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	49.95	-2.5	25	23.163	3664.29

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.9. Z=500m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
500	0.5	25	5000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	6.25	0.29	11.1	-0.001	0.022	0.704	120.02
500	0.5	25	5000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	6.25	0.464	14.85	-0.003	0.076	1.207	149.31
500	0.5	25	5000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	6.25	0.637	18.4	-0.006	0.191	1.766	220.05
500	0.5	25	5000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	6.25	0.812	21.99	-0.015	0.418	2.406	384.47
500	0.5	25	5000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	6.25	1.001	25.68	-0.034	0.858	3.184	734.71
500	0.5	25	5000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	6.25	1.226	29.49	-0.081	1.711	4.204	1359.46
500	0.5	25	5000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	6.25	1.531	33.35	-0.191	3.365	5.68	2187.16
500	0.5	25	5000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	6.25	2.024	37.08	-0.45	6.58	8.134	2938.79
500	0.5	25	5000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	6.25	2.977	40.42	-1.061	12.822	12.893	3420.58
500	0.5	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	49.95	-2.5	25	23.163	3664.29

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.10. Z=700m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
wZ (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
700	0.5	25	5000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	6.25	0.29	11.1	-0.001	0.022	0.704	120.02
700	0.5	25	5000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	6.25	0.464	14.85	-0.003	0.076	1.207	149.31
700	0.5	25	5000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	6.25	0.637	18.4	-0.006	0.191	1.766	220.05
700	0.5	25	5000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	6.25	0.812	21.99	-0.015	0.418	2.406	384.47
700	0.5	25	5000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	6.25	1.001	25.68	-0.034	0.858	3.184	734.71
700	0.5	25	5000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	6.25	1.226	29.49	-0.081	1.711	4.204	1359.46
700	0.5	25	5000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	6.25	1.531	33.35	-0.191	3.365	5.68	2187.16
700	0.5	25	5000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	6.25	2.024	37.08	-0.45	6.58	8.134	2938.79
700	0.5	25	5000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	6.25	2.977	40.42	-1.061	12.822	12.893	3420.58
700	0.5	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	49.95	-2.5	25	23.163	3664.29

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.11. Z=900m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
900	0.5	25	5000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	6.25	0.29	11.1	-0.001	0.022	0.704	120.02
900	0.5	25	5000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	6.25	0.464	14.85	-0.003	0.076	1.207	149.31
900	0.5	25	5000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	6.25	0.637	18.4	-0.006	0.191	1.766	220.05
900	0.5	25	5000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	6.25	0.812	21.99	-0.015	0.418	2.406	384.47
900	0.5	25	5000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	6.25	1.001	25.68	-0.034	0.858	3.184	734.71
900	0.5	25	5000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	6.25	1.226	29.49	-0.081	1.711	4.204	1359.46
900	0.5	25	5000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	6.25	1.531	33.35	-0.191	3.365	5.68	2187.16
900	0.5	25	5000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	6.25	2.024	37.08	-0.45	6.58	8.134	2938.79
900	0.5	25	5000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	6.25	2.977	40.42	-1.061	12.822	12.893	3420.58
900	0.5	25	5000	200	100	10	10	1	0.5	6.25	5.042	49.95	-2.5	25	23.163	3664.29

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

3.2.2. TEBD değeri 50 MPa ve örselenme değeri D=0 ve 0.5 koşulu altında RocLab program çıktıları

Bu sınır şartları altında gerçekleştirilen parametrik analizde ilk önce model olarak seçilen iri taneli kumtaşı kaya birimi ilk önce tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 50 MPa ve kayacın örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 olduğu varsayılmıştır. Çizelge 3.12'de bu varsayıma göre gerçekleştirilecek sayısal analizlerde kullanılacak RocLab (Rocscience, 2002) program çıktıları topluca sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 3.12-3.22'de her bir M-RMR değeri için kullanılan girdi verileri detaylıca verilmiştir.

Çizelge 3.12. Tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 50 MPa ve kayacın örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5'e göre RocLab çıktılarına ait aralıklar.

σ_{ci} = 50MPa ve D=0		σ_{ci} = 50MPa ve D=0.5	
M-RMR	10 - 100	M-RMR	10 - 100
Derinlik (m)	100 - 900	Derinlik (m)	100 - 900
MR	200	MR	200
m_b	0.402 - 10	m_b	0.138 - 10
s	0.0000454 - 1	s	0.0000614 - 1
a	0.5 - 0.585	a	0.5 - 0.585
c (MPa)	0.96 - 10.084	c (MPa)	0.48 - 5
ϕ (°)	17.98 - 42.95	ϕ (°)	11.1 - 42.95
σ_t (MPa)	(-5) - (-0.006)	σ_t (MPa)	(-5) – (-0.002)
σ_{cm} (MPa)*	0.143 - 50	σ_{cm} (MPa)*	0.045 - 50
σ_{cm} (MPa)**	2.641 - 46.325	σ_{cm} (MPa)**	1.409 - 46.325
E_m (MPa)	305.04 - 9943.28	E_m (MPa)	240.05 - 7328.58
E_i (MPa)	10000	E_i (MPa)	10000
σ_3 max	12.5	σ_3 max	12.5
m_i	10	m_i	10

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı
**Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.13-3.17'de göre σ_{ci} = 50 MPa ve D=0 durumu altında kaya kütle sabitleri (m_b, s ve a), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), kaya kütlesinin çekme dayanımı (σ_t), kaya kütlesinin basma dayanımı (σ_{cm}), kaya kütlesinin Elastik modülü değerleri verilmiştir. Bu verilerin sırasıyla; m_b =0.402-10, s=0.0000454-1, a=0.5-0.585, c=0.96-10.084 MPa, ϕ=17.98-42.95°, σ_t=(-5)-(-0.006) MPa, σ_{cm}=0.143-50 MPa (H-B), σ_{cm}=2.641-46.325 MPa (M-C), E_m=305.04-9943.28 MPa ve E_i=10000 MPa aralığında olduğu anlaşılmaktadır.

TEBD σ_{ci}=50 MPa ve D=0.5 koşulu altında kaya kütle sabitleri (m_b, s ve a), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), kaya kütlesinin çekme dayanımı (σ_t), kaya kütlesinin basma dayanımı (σ_{cm}), kaya kütlesinin Elastik modülü değerleri sırasıyla çizelge 3.18-3.22'de sunulmuştur. Bu çizelgelerden m_b=0.138-10, s=0.0000614-1, a=0.5-0.585, c=0.48-5 MPa, ϕ=11.1-42.95°, σ_t=(-5)-(-0.002) MPa, σ_{cm}=0.045-50 MPa (H-B), σ_{cm}=1.409-46.325 MPa (M-C), E_m=240.05-7328.58 MPa ve E_i=10000 MPa aralığında olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.13. Z=100m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
100	0	50	10000	200	10	10	0.402	0.0000454	0.585	12.5	0.96	17.98	-0.006	0.143	2.641	305.04
100	0	50	10000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	12.5	1.383	21.49	-0.012	0.398	4.061	456.72
100	0	50	10000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	12.5	1.76	24.6	-0.026	0.86	5.481	813.83
100	0	50	10000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	12.5	2.116	27.57	-0.054	1.654	6.984	1596.52
100	0	50	10000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	12.5	2.49	30.52	-0.115	3.011	8.717	3071.86
100	0	50	10000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	12.5	2.936	33.45	-0.245	5.35	10.918	5200
100	0	50	10000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	12.5	3.555	36.31	-0.521	9.401	14.051	7328.14
100	0	50	10000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	12.5	4.56	39	-1.107	16.438	19.123	8803.48
100	0	50	10000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	12.5	6.414	41.31	-2.352	28.681	28.35	9586.17
100	0	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	9943.28

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.14. Z=300m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	mi	mb	s	a	σ3max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σt (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
300	0	50	10000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	12.5	0.96	17.98	-0.006	0.143	2.641	305.04
300	0	50	10000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	12.5	1.383	21.49	-0.012	0.398	4.061	456.72
300	0	50	10000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	12.5	1.76	24.6	-0.026	0.86	5.481	813.83
300	0	50	10000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	12.5	2.116	27.57	-0.054	1.654	6.984	1596.52
300	0	50	10000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	12.5	2.49	30.52	-0.115	3.011	8.717	3071.86
300	0	50	10000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	12.5	2.936	33.45	-0.245	5.35	10.918	5200
300	0	50	10000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	12.5	3.555	36.31	-0.521	9.401	14.051	7328.14
300	0	50	10000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	12.5	4.56	39	-1.107	16.438	19.123	8803.48
300	0	50	10000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	12.5	6.414	41.31	-2.352	28.681	28.35	9586.17
300	0	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	9943.28

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.15. Z=500m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
500	0	50	10000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	12.5	0.96	17.98	-0.006	0.143	2.641	305.04
500	0	50	10000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	12.5	1.383	21.49	-0.012	0.398	4.061	456.72
500	0	50	10000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	12.5	1.76	24.6	-0.026	0.86	5.481	813.83
500	0	50	10000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	12.5	2.116	27.57	-0.054	1.654	6.984	1596.52
500	0	50	10000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	12.5	2.49	30.52	-0.115	3.011	8.717	3071.86
500	0	50	10000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	12.5	2.936	33.45	-0.245	5.35	10.918	5200
500	0	50	10000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	12.5	3.555	36.31	-0.521	9.401	14.051	7328.14
500	0	50	10000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	12.5	4.56	39	-1.107	16.438	19.123	8803.48
500	0	50	10000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	12.5	6.414	41.31	-2.352	28.681	28.35	9586.17
500	0	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	9943.28

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.16. Z=700m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
700	0	50	10000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	12.5	0.96	17.98	-0.006	0.143	2.641	305.04
700	0	50	10000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	12.5	1.383	21.49	-0.012	0.398	4.061	456.72
700	0	50	10000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	12.5	1.76	24.6	-0.026	0.86	5.481	813.83
700	0	50	10000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	12.5	2.116	27.57	-0.054	1.654	6.984	1596.52
700	0	50	10000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	12.5	2.49	30.52	-0.115	3.011	8.717	3071.86
700	0	50	10000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	12.5	2.936	33.45	-0.245	5.35	10.918	5200
700	0	50	10000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	12.5	3.555	36.31	-0.521	9.401	14.051	7328.14
700	0	50	10000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	12.5	4.56	39	-1.107	16.438	19.123	8803.48
700	0	50	10000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	12.5	6.414	41.31	-2.352	28.681	28.35	9586.17
700	0	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	9943.28

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.17. Z=900m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
900	0	50	10000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	12.5	0.96	17.98	-0.006	0.143	2.641	305.04
900	0	50	10000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	12.5	1.383	21.49	-0.012	0.398	4.061	456.72
900	0	50	10000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	12.5	1.76	24.6	-0.026	0.86	5.481	813.83
900	0	50	10000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	12.5	2.116	27.57	-0.054	1.654	6.984	1596.52
900	0	50	10000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	12.5	2.49	30.52	-0.115	3.011	8.717	3071.86
900	0	50	10000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	12.5	2.936	33.45	-0.245	5.35	10.918	5200
900	0	50	10000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	12.5	3.555	36.31	-0.521	9.401	14.051	7328.14
900	0	50	10000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	12.5	4.56	39	-1.107	16.438	19.123	8803.48
900	0	50	10000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	12.5	6.414	41.31	-2.352	28.681	28.35	9586.17
900	0	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	9943.28

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.18. Z=100m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
100	0.5	50	10000	200	10	10	0.138	0.00000614	0.585	12.5	0.58	11.1	-0.002	0.045	1.409	240.05
100	0.5	50	10000	200	20	10	0.222	0.0000233	0.544	12.5	0.929	14.85	-0.005	0.151	2.414	298.62
100	0.5	50	10000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	12.5	1.274	18.41	-0.012	0.382	3.533	440.09
100	0.5	50	10000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	12.5	1.623	21.99	-0.029	0.836	4.812	768.94
100	0.5	50	10000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	12.5	2.002	25.68	-0.069	1.717	6.368	1469.42
100	0.5	50	10000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	12.5	2.452	29.49	-0.162	3.422	8.407	2718.92
100	0.5	50	10000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	12.5	3.062	33.35	-0.382	6.73	11.36	4374.31
100	0.5	50	10000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	12.5	4.048	37.08	-0.9	13.159	16.269	5877.59
100	0.5	50	10000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	12.5	5.955	40.42	-2.122	25.664	25.787	6841.16
100	0.5	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	7328.58

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.19. Z=300m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
300	0.5	50	10000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	12.5	0.58	11.1	-0.002	0.045	1.409	240.05
300	0.5	50	10000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	12.5	0.929	14.85	-0.005	0.151	2.414	298.62
300	0.5	50	10000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	12.5	1.274	18.41	-0.012	0.382	3.533	440.09
300	0.5	50	10000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	12.5	1.623	21.99	-0.029	0.836	4.812	768.94
300	0.5	50	10000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	12.5	2.002	25.68	-0.069	1.717	6.368	1469.42
300	0.5	50	10000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	12.5	2.452	29.49	-0.162	3.422	8.407	2718.92
300	0.5	50	10000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	12.5	3.062	33.35	-0.382	6.73	11.36	4374.31
300	0.5	50	10000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	12.5	4.048	37.08	-0.9	13.159	16.269	5877.59
300	0.5	50	10000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	12.5	5.955	40.42	-2.122	25.664	25.787	6841.16
300	0.5	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	7328.58

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.20. Z=500m, için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
500	0.5	50	10000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	12.5	0.58	11.1	-0.002	0.045	1.409	240.05
500	0.5	50	10000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	12.5	0.929	14.85	-0.005	0.151	2.414	298.62
500	0.5	50	10000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	12.5	1.274	18.41	-0.012	0.382	3.533	440.09
500	0.5	50	10000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	12.5	1.623	21.99	-0.029	0.836	4.812	768.94
500	0.5	50	10000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	12.5	2.002	25.68	-0.069	1.717	6.368	1469.42
500	0.5	50	10000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	12.5	2.452	29.49	-0.162	3.422	8.407	2718.92
500	0.5	50	10000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	12.5	3.062	33.35	-0.382	6.73	11.36	4374.31
500	0.5	50	10000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	12.5	4.048	37.08	-0.9	13.159	16.269	5877.59
500	0.5	50	10000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	12.5	5.955	40.42	-2.122	25.664	25.787	6841.16
500	0.5	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	7328.58

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.21. Z=700m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σt (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
700	0.5	50	10000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	12.5	0.58	11.1	-0.002	0.045	1.409	240.05
700	0.5	50	10000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	12.5	0.929	14.85	-0.005	0.151	2.414	298.62
700	0.5	50	10000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	12.5	1.274	18.41	-0.012	0.382	3.533	440.09
700	0.5	50	10000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	12.5	1.623	21.99	-0.029	0.836	4.812	768.94
700	0.5	50	10000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	12.5	2.002	25.68	-0.069	1.717	6.368	1469.42
700	0.5	50	10000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	12.5	2.452	29.49	-0.162	3.422	8.407	2718.92
700	0.5	50	10000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	12.5	3.062	33.35	-0.382	6.73	11.36	4374.31
700	0.5	50	10000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	12.5	4.048	37.08	-0.9	13.159	16.269	5877.59
700	0.5	50	10000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	12.5	5.955	40.42	-2.122	25.664	25.787	6841.16
700	0.5	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	7328.58

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.22. Z=900m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
900	0.5	50	10000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	12.5	0.58	11.1	-0.002	0.045	1.409	240.05
900	0.5	50	10000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	12.5	0.929	14.85	-0.005	0.151	2.414	298.62
900	0.5	50	10000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	12.5	1.274	18.41	-0.012	0.382	3.533	440.09
900	0.5	50	10000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	12.5	1.623	21.99	-0.029	0.836	4.812	768.94
900	0.5	50	10000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	12.5	2.002	25.68	-0.069	1.717	6.368	1469.42
900	0.5	50	10000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	12.5	2.452	29.49	-0.162	3.422	8.407	2718.92
900	0.5	50	10000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	12.5	3.062	33.35	-0.382	6.73	11.36	4374.31
900	0.5	50	10000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	12.5	4.048	37.08	-0.9	13.159	16.269	5877.59
900	0.5	50	10000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	12.5	5.955	40.42	-2.122	25.664	25.787	6841.16
900	0.5	50	10000	200	100	10	10	1	0.5	12.5	10.084	42.95	-5	50	46.325	7328.58

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

3.2.3. TEBD değeri 75 MPa ve örselenme değeri D=0 ve 0.5 koşulu altında RocLab program çıktıları

Model olarak seçilen iri taneli kumtaşı kaya birimi için tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 75 MPa ve kayacın örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 olduğu bu parametrik analizde ilk önce varsayılmıştır. Bu kabula göre sayısal analizlerde kullanılacak RocLab (Rocsience, 2002) program ile belirlenen çıktı aralıkları topluca Çizelge 3.23'te sunulmuştur. Bununla birlikte her bir M-RMR değeri için belirlenen tüm değerler sırasıyla Çizelge 3.24-3.33'te verilmiştir.

Çizelge 3.23. Tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 75 MPa ve kayacın örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5'e göre RocLab çıktılarına ait aralıklar.

σ_{ci} =75 MPa ve D=0		σ_{ci} =75 MPa ve D=0.5	
M-RMR	10 - 100	M-RMR	10 - 100
Derinlik (m)	100 - 900	Derinlik (m)	100 - 900
MR	200	MR	200
m_b	0.402 - 10	m_b	0.138 - 10
s	0.0000454 - 1	s	0.0000614 - 1
a	0.5 - 0.585	a	0.5 - 0.585
c (MPa)	1.44 - 15.126	c (MPa)	0.869 - 15.126
ϕ (°)	17.98 - 42.95	ϕ (°)	11.1 - 42.95
σ_t (MPa)	(-7.5) - (-0.008)	σ_t (MPa)	(-7.5) – (-0.003)
σ_{cm} (MPa)*	0.215 - 75	σ_{cm} (MPa)*	0.067 - 75
σ_{cm} (MPa)**	3.962 - 69.488	σ_{cm} (MPa)**	2.113 - 69.488
E_m (MPa)	457.56 - 14914.93	E_m (MPa)	360.07 - 10992.88
E_i (MPa)	15000	E_i (MPa)	15000
σ_3 max	18.5	σ_3 max	18.5
m_i	10	m_i	10

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı
**Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.24-3.28'e göre σ_{ci}=75 MPa ve D=0 durumu için kaya kütle sabitleri (m_b, s ve a), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), kaya kütlesinin çekme dayanımı (σ_t), kaya kütlesinin basma dayanımı (σ_{cm}), kaya kütlesinin Elastik modülü değerleri sırasıyla; m_b= 0.402-10, s=0.0000454-1, a=0.5-0.585, c=1.44-15.126 MPa, ϕ=17.98-42.95°, σ_t=(-7.5)-(-0.008) MPa, σ_{cm}=0.215-75 MPa (H-B), σ_{cm}=3.962-69.48 MPa (M-C), E_m=457.56-14914.93 MPa ve E_i=15000 MPa dır.

Çizelge 3.24-3.28'de olduğu gibi Çizelge 3.29-3.33'de (σ_{ci}=75 MPa ve D=0.5 koşulu altında) sırasıyla; m_b=0.138-10, s=0.0000614-1, a=0.5-0.585, c=0.869-15.126 MPa, ϕ=11.1-42.95°, σ_t=(-7.5)-(-0.003) MPa, σ_{cm}=0.067-75 MPa (H-B), σ_{cm}=2.113-69.488 MPa (M-C), E_m=360.07-10992.88 MPa ve E_i=15000 MPa aralığında olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.24. Z=100m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
100	0	75	15000	200	10	10	0.402	0.0000454	0.585	18.75	1.44	17.98	-0.008	0.215	3.962	457.56
100	0	75	15000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	18.75	2.074	21.49	-0.018	0.597	6.091	685.07
100	0	75	15000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	18.75	2.639	24.6	-0.038	1.29	8.222	1220.75
100	0	75	15000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	18.75	3.174	27.57	-0.081	2.48	10.476	2394.78
100	0	75	15000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	18.75	3.735	30.52	-0.173	4.517	13.075	4607.79
100	0	75	15000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	18.75	4.405	33.45	-0.368	8.026	16.377	7800
100	0	75	15000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	18.75	5.333	36.31	-0.781	14.102	21.076	10992.21
100	0	75	15000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	18.75	6.841	39	-1.66	24.657	28.684	13205.22
100	0	75	15000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	18.75	9.621	41.31	-3.529	43.022	42.525	14379.25
100	0	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	14914.93

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.25. Z=300m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
300	0	75	15000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	18.75	1.44	17.98	-0.008	0.215	3.962	457.56
300	0	75	15000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	18.75	2.074	21.49	-0.018	0.597	6.091	685.07
300	0	75	15000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	18.75	2.639	24.6	-0.038	1.29	8.222	1220.75
300	0	75	15000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	18.75	3.174	27.57	-0.081	2.48	10.476	2394.78
300	0	75	15000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	18.75	3.735	30.52	-0.173	4.517	13.075	4607.79
300	0	75	15000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	18.75	4.405	33.45	-0.368	8.026	16.377	7800
300	0	75	15000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	18.75	5.333	36.31	-0.781	14.102	21.076	10992.21
300	0	75	15000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	18.75	6.841	39	-1.66	24.657	28.684	13205.22
300	0	75	15000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	18.75	9.621	41.31	-3.529	43.022	42.525	14379.25
300	0	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	14914.93

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.26. Z=500m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	$*\sigma_{cm}$ (MPa)	$**\sigma_{cm}$ (MPa)	E_m (MPa)
500	0	75	15000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	18.75	1.44	17.98	-0.008	0.215	3.962	457.56
500	0	75	15000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	18.75	2.074	21.49	-0.018	0.597	6.091	685.07
500	0	75	15000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	18.75	2.639	24.6	-0.038	1.29	8.222	1220.75
500	0	75	15000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	18.75	3.174	27.57	-0.081	2.48	10.476	2394.78
500	0	75	15000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	18.75	3.735	30.52	-0.173	4.517	13.075	4607.79
500	0	75	15000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	18.75	4.405	33.45	-0.368	8.026	16.377	7800
500	0	75	15000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	18.75	5.333	36.31	-0.781	14.102	21.076	10992.21
500	0	75	15000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	18.75	6.841	39	-1.66	24.657	28.684	13205.22
500	0	75	15000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	18.75	9.621	41.31	-3.529	43.022	42.525	14379.25
500	0	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	14914.93

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.27. Z=700m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	$*\sigma_{cm}$ (MPa)	$**\sigma_{cm}$ (MPa)	E_m (MPa)
700	0	75	15000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	18.75	1.44	17.98	-0.008	0.215	3.962	457.56
700	0	75	15000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	18.75	2.074	21.49	-0.018	0.597	6.091	685.07
700	0	75	15000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	18.75	2.639	24.6	-0.038	1.29	8.222	1220.75
700	0	75	15000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	18.75	3.174	27.57	-0.081	2.48	10.476	2394.78
700	0	75	15000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	18.75	3.735	30.52	-0.173	4.517	13.075	4607.79
700	0	75	15000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	18.75	4.405	33.45	-0.368	8.026	16.377	7800
700	0	75	15000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	18.75	5.333	36.31	-0.781	14.102	21.076	10992.21
700	0	75	15000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	18.75	6.841	39	-1.66	24.657	28.684	13205.22
700	0	75	15000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	18.75	9.621	41.31	-3.529	43.022	42.525	14379.25
700	0	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	14914.93

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.28. Z=900m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σt (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
900	0	75	15000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	18.75	1.44	17.98	-0.008	0.215	3.962	457.56
900	0	75	15000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	18.75	2.074	21.49	-0.018	0.597	6.091	685.07
900	0	75	15000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	18.75	2.639	24.6	-0.038	1.29	8.222	1220.75
900	0	75	15000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	18.75	3.174	27.57	-0.081	2.48	10.476	2394.78
900	0	75	15000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	18.75	3.735	30.52	-0.173	4.517	13.075	4607.79
900	0	75	15000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	18.75	4.405	33.45	-0.368	8.026	16.377	7800
900	0	75	15000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	18.75	5.333	36.31	-0.781	14.102	21.076	10992.21
900	0	75	15000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	18.75	6.841	39	-1.66	24.657	28.684	13205.22
900	0	75	15000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	18.75	9.621	41.31	-3.529	43.022	42.525	14379.25
900	0	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	14914.93

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.29. Z=100m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
100	0.5	75	15000	200	10	10	0.138	0.00000614	0.585	18.75	0.869	11.1	-0.003	0.067	2.113	360.07
100	0.5	75	15000	200	20	10	0.222	0.0000233	0.544	18.75	1.393	14.85	-0.008	0.227	3.621	447.93
100	0.5	75	15000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	18.75	1.911	18.41	-0.019	0.573	5.299	660.14
100	0.5	75	15000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	18.75	2.435	21.99	-0.044	1.254	7.218	1153.4
100	0.5	75	15000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	18.75	3.003	25.68	-0.103	2.575	9.553	2204.13
100	0.5	75	15000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	18.75	3.678	29.49	-0.243	5.133	12.611	4078.38
100	0.5	75	15000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	18.75	4.53	33.35	-0.573	10.095	17.039	6561.47
100	0.5	75	15000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	18.75	6.073	37.08	-1.351	19.739	24.403	8816.38
100	0.5	75	15000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	18.75	8.932	40.42	-3.183	38.496	38.68	10261.73
100	0.5	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	10992.88

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.30. Z=300m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3max$	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
300	0.5	75	15000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	18.75	0.869	11.1	-0.003	0.067	2.113	360.07
300	0.5	75	15000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	18.75	1.393	14.85	-0.008	0.227	3.621	447.93
300	0.5	75	15000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	18.75	1.911	18.41	-0.019	0.573	5.299	660.14
300	0.5	75	15000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	18.75	2.435	21.99	-0.044	1.254	7.218	1153.4
300	0.5	75	15000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	18.75	3.003	25.68	-0.103	2.575	9.553	2204.13
300	0.5	75	15000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	18.75	3.678	29.49	-0.243	5.133	12.611	4078.38
300	0.5	75	15000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	18.75	4.53	33.35	-0.573	10.095	17.039	6561.47
300	0.5	75	15000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	18.75	6.073	37.08	-1.351	19.739	24.403	8816.38
300	0.5	75	15000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	18.75	8.932	40.42	-3.183	38.496	38.68	10261.73
300	0.5	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	10992.88

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.31. Z=500m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
500	0.5	75	15000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	18.75	0.869	11.1	-0.003	0.067	2.113	360.07
500	0.5	75	15000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	18.75	1.393	14.85	-0.008	0.227	3.621	447.93
500	0.5	75	15000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	18.75	1.911	18.41	-0.019	0.573	5.299	660.14
500	0.5	75	15000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	18.75	2.435	21.99	-0.044	1.254	7.218	1153.4
500	0.5	75	15000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	18.75	3.003	25.68	-0.103	2.575	9.553	2204.13
500	0.5	75	15000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	18.75	3.678	29.49	-0.243	5.133	12.611	4078.38
500	0.5	75	15000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	18.75	4.53	33.35	-0.573	10.095	17.039	6561.47
500	0.5	75	15000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	18.75	6.073	37.08	-1.351	19.739	24.403	8816.38
500	0.5	75	15000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	18.75	8.932	40.42	-3.183	38.496	38.68	10261.73
500	0.5	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	10992.88

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.32. Z=700m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
700	0.5	75	15000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	18.75	0.869	11.1	-0.003	0.067	2.113	360.07
700	0.5	75	15000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	18.75	1.393	14.85	-0.008	0.227	3.621	447.93
700	0.5	75	15000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	18.75	1.911	18.41	-0.019	0.573	5.299	660.14
700	0.5	75	15000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	18.75	2.435	21.99	-0.044	1.254	7.218	1153.4
700	0.5	75	15000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	18.75	3.003	25.68	-0.103	2.575	9.553	2204.13
700	0.5	75	15000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	18.75	3.678	29.49	-0.243	5.133	12.611	4078.38
700	0.5	75	15000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	18.75	4.53	33.35	-0.573	10.095	17.039	6561.47
700	0.5	75	15000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	18.75	6.073	37.08	-1.351	19.739	24.403	8816.38
700	0.5	75	15000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	18.75	8.932	40.42	-3.183	38.496	38.68	10261.73
700	0.5	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	10992.88

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.33. Z=900m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σt (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
900	0.5	75	15000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	18.75	0.869	11.1	-0.003	0.067	2.113	360.07
900	0.5	75	15000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	18.75	1.393	14.85	-0.008	0.227	3.621	447.93
900	0.5	75	15000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	18.75	1.911	18.41	-0.019	0.573	5.299	660.14
900	0.5	75	15000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	18.75	2.435	21.99	-0.044	1.254	7.218	1153.4
900	0.5	75	15000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	18.75	3.003	25.68	-0.103	2.575	9.553	2204.13
900	0.5	75	15000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	18.75	3.678	29.49	-0.243	5.133	12.611	4078.38
900	0.5	75	15000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	18.75	4.53	33.35	-0.573	10.095	17.039	6561.47
900	0.5	75	15000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	18.75	6.073	37.08	-1.351	19.739	24.403	8816.38
900	0.5	75	15000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	18.75	8.932	40.42	-3.183	38.496	38.68	10261.73
900	0.5	75	15000	200	100	10	10	1	0.5	18.75	15.126	42.95	-7.5	75	69.488	10992.88

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

3.2.4. TEBD değeri 100 MPa ve örselenme Değeri D=0 ve 0.5 koşulu altında RocLab program çıktıları

Bu bölümde sunulan parametrik analizde ilk önce model olarak seçilen iri taneli kumtaşı kaya birimi için tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 100 MPa ve kayacın örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 olduğu varsayılmıştır. Bu varsayıma göre sayısal analizlerde kullanılacak RocLab (Rocscience, 2002) program çıktıları topluca Çizelge 3.34'de sunulmuştur. Ayrıca Çizelge 3.35-3.44'de ise her bir M-RMR değeri için kullanılacak değerler verilmiştir.

Çizelge 3.34. Tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 100 MPa ve kayacın örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5'e göre RocLab çıktılarına ait aralıklar.

σ_{ci} =100 MPa ve D=0		σ_{ci} =100 MPa ve D=0.5	
M-RMR	10 - 100	M-RMR	10 - 100
Derinlik (m)	100 - 900	Derinlik (m)	100 - 900
MR	200	MR	200
m_b	0.402 - 10	m_b	0.138 - 10
s	0.0000454 - 1	s	0.0000614 - 1
a	0.5 - 0.585	a	0.5 - 0.585
c (MPa)	1.92 - 20.168	c (MPa)	1.159 - 20.168
ϕ (°)	17.98 - 42.95	ϕ (°)	11.1 - 42.95
σ_t (MPa)	(-10) - (-0.011)	σ_t (MPa)	(-10) - (-0.004)
σ_{cm} (MPa)*	0.287 - 100	σ_{cm} (MPa)*	0.089 - 100
σ_{cm} (MPa)**	5.282 - 92.651	σ_{cm} (MPa)**	2.817 - 92.651
E_m (MPa)	610.08 - 19886.57	E_m (MPa)	480.09 - 14657.17
E_i (MPa)	20000	E_i (MPa)	20000
σ_3 max	25	σ_3 max	25
m_i	10	m_i	10

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı
**Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

TEBD değeri σ_{ci}=100 MPa ve D=0 olması durumu için kaya kütle sabitleri (m_b, s ve a), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), kaya kütlesinin çekme dayanımı (σ_t), kaya kütlesinin basma dayanımı (σ_{cm}), kaya kütlesinin Elastik modülü değerleri Çizelge 3.35 ve 3.39'de sırasıyla verilmiştir. Bu çizelgelerden sunulan girdi parametre değerleri sırasıyla m_b=0.402-10, s=0.0000454-1, a=0.5-0.585, c=1.92-20.168 MPa, ϕ=17.98-42.95°, σ_t=(-10)-(-0.011) MPa, σ_{cm}=0.287-100 MPa (H-B), σ_{cm}=5.282-92.651 MPa (M-C), E_m=610.08 19886.57 MPa ve E_i=20000 MPa olduğu anlaşılmaktadır.

TEBD değeri σ_{ci}=100 MPa ve D=0.5 olduğu durama ait girdi parametreleri Çizelge 3.40 ve 3.44) de sunulmuştur. Kaya kütle sabitleri (m_b, s ve a), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), kaya kütlesinin çekme dayanımı (σ_t), kaya kütlesinin basma dayanımı (σ_{cm}), kaya kütlesinin Elastik modülü Çizelge 3.40-3.44'de sırasıyla; m_b=0.138-10, s=0.0000614-1, a=0.5-0.585, c=1.159-20.168 MPa, ϕ=11.1-42.95°, σ_t=(-10)-(-0.004) MPa, σ_{cm}=0.089-100 MPa (H-B), σ_{cm}=2.817-92.651 MPa (M-C), E_m=480.09-14657.17 MPa ve E_i=20000 MPa aralığında olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.35. Z=100m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
100	0	100	20000	200	10	10	0.402	0.0000454	0.585	25	1.92	17.98	-0.011	0.287	5.282	610.08
100	0	100	20000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	25	2.765	21.49	-0.024	0.796	8.121	913.43
100	0	100	20000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	25	3.519	24.6	-0.051	1.72	10.963	1627.66
100	0	100	20000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	25	4.232	27.57	-0.108	3.307	13.968	3193.04
100	0	100	20000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	25	4.98	30.52	-0.231	6.023	17.433	6143.72
100	0	100	20000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	25	5.873	33.45	-0.49	10.701	21.836	10400
100	0	100	20000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	25	7.111	36.31	-1.042	18.802	28.102	14656.28
100	0	100	20000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	25	9.121	39	-2.214	32.876	38.245	17606.96
100	0	100	20000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	25	12.828	41.31	-4.705	57.363	56.7	19172.34
100	0	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	19886.57

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.36. Z=300m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
300	0	100	20000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	25	1.92	17.98	-0.011	0.287	5.282	610.08
300	0	100	20000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	25	2.765	21.49	-0.024	0.796	8.121	913.43
300	0	100	20000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	25	3.519	24.6	-0.051	1.72	10.963	1627.66
300	0	100	20000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	25	4.232	27.57	-0.108	3.307	13.968	3193.04
300	0	100	20000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	25	4.98	30.52	-0.231	6.023	17.433	6143.72
300	0	100	20000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	25	5.873	33.45	-0.49	10.701	21.836	10400
300	0	100	20000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	25	7.111	36.31	-1.042	18.802	28.102	14656.28
300	0	100	20000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	25	9.121	39	-2.214	32.876	38.245	17606.96
300	0	100	20000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	25	12.828	41.31	-4.705	57.363	56.7	19172.34
300	0	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	19886.57

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.37. Z=500m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
500	0	100	20000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	25	1.92	17.98	-0.011	0.287	5.282	610.08
500	0	100	20000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	25	2.765	21.49	-0.024	0.796	8.121	913.43
500	0	100	20000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	25	3.519	24.6	-0.051	1.72	10.963	1627.66
500	0	100	20000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	25	4.232	27.57	-0.108	3.307	13.968	3193.04
500	0	100	20000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	25	4.98	30.52	-0.231	6.023	17.433	6143.72
500	0	100	20000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	25	5.873	33.45	-0.49	10.701	21.836	10400
500	0	100	20000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	25	7.111	36.31	-1.042	18.802	28.102	14656.28
500	0	100	20000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	25	9.121	39	-2.214	32.876	38.245	17606.96
500	0	100	20000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	25	12.828	41.31	-4.705	57.363	56.7	19172.34
500	0	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	19886.57

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.38. Z=700m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
700	0	100	20000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	25	1.92	17.98	-0.011	0.287	5.282	610.08
700	0	100	20000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	25	2.765	21.49	-0.024	0.796	8.121	913.43
700	0	100	20000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	25	3.519	24.6	-0.051	1.72	10.963	1627.66
700	0	100	20000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	25	4.232	27.57	-0.108	3.307	13.968	3193.04
700	0	100	20000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	25	4.98	30.52	-0.231	6.023	17.433	6143.72
700	0	100	20000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	25	5.873	33.45	-0.49	10.701	21.836	10400
700	0	100	20000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	25	7.111	36.31	-1.042	18.802	28.102	14656.28
700	0	100	20000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	25	9.121	39	-2.214	32.876	38.245	17606.96
700	0	100	20000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	25	12.828	41.31	-4.705	57.363	56.7	19172.34
700	0	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	19886.57

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.39. Z=900m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σt (MPa)	$*\sigma_{cm}$ (MPa)	$**\sigma_{cm}$ (MPa)	E_m (MPa)
900	0	100	20000	200	10	10	0.402	4.54E-05	0.585	25	1.92	17.98	-0.011	0.287	5.282	610.08
900	0	100	20000	200	20	10	0.574	0.0001	0.544	25	2.765	21.49	-0.024	0.796	8.121	913.43
900	0	100	20000	200	30	10	0.821	0.0004	0.522	25	3.519	24.6	-0.051	1.72	10.963	1627.66
900	0	100	20000	200	40	10	1.173	0.0013	0.511	25	4.232	27.57	-0.108	3.307	13.968	3193.04
900	0	100	20000	200	50	10	1.677	0.0039	0.506	25	4.98	30.52	-0.231	6.023	17.433	6143.72
900	0	100	20000	200	60	10	2.397	0.0117	0.503	25	5.873	33.45	-0.49	10.701	21.836	10400
900	0	100	20000	200	70	10	3.425	0.0357	0.501	25	7.111	36.31	-1.042	18.802	28.102	14656.28
900	0	100	20000	200	80	10	4.895	0.1084	0.501	25	9.121	39	-2.214	32.876	38.245	17606.96
900	0	100	20000	200	90	10	6.997	0.3292	0.5	25	12.828	41.31	-4.705	57.363	56.7	19172.34
900	0	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	19886.57

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.40. Z=100m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	$*\sigma_{cm}$ (MPa)	$**\sigma_{cm}$ (MPa)	E_m (MPa)
100	0.5	100	20000	200	10	10	0.138	0.00000614	0.585	25	1.159	11.1	-0.004	0.089	2.817	480.09
100	0.5	100	20000	200	20	10	0.222	0.0000233	0.544	25	1.857	14.85	-0.011	0.303	4.828	597.23
100	0.5	100	20000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	25	2.547	18.41	-0.025	0.763	7.066	880.19
100	0.5	100	20000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	25	3.247	21.99	-0.058	1.672	9.625	1537.87
100	0.5	100	20000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	25	4.004	25.68	-0.138	3.434	12.737	2938.84
100	0.5	100	20000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	25	4.904	29.49	-0.324	6.844	16.815	5437.83
100	0.5	100	20000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	25	6.213	33.35	-0.764	13.46	22.719	8748.62
100	0.5	100	20000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	25	8.097	37.08	-1.801	26.318	32.538	11755.17
100	0.5	100	20000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	25	11.91	40.42	-4.244	51.328	51.574	13682.31
100	0.5	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	14657.17

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.41. Z=300m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MP)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
300	0.5	100	20000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	25	1.159	11.1	-0.004	0.089	2.817	480.09
300	0.5	100	20000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	25	1.857	14.85	-0.011	0.303	4.828	597.23
300	0.5	100	20000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	25	2.547	18.41	-0.025	0.763	7.066	880.19
300	0.5	100	20000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	25	3.247	21.99	-0.058	1.672	9.625	1537.87
300	0.5	100	20000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	25	4.004	25.68	-0.138	3.434	12.737	2938.84
300	0.5	100	20000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	25	4.904	29.49	-0.324	6.844	16.815	5437.83
300	0.5	100	20000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	25	6.213	33.35	-0.764	13.46	22.719	8748.62
300	0.5	100	20000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	25	8.097	37.08	-1.801	26.318	32.538	11755.17
300	0.5	100	20000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	25	11.91	40.42	-4.244	51.328	51.574	13682.31
300	0.5	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	14657.17

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.42. Z=500m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	$\sigma 3$ max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
500	0.5	100	20000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	25	1.159	11.1	-0.004	0.089	2.817	480.09
500	0.5	100	20000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	25	1.857	14.85	-0.011	0.303	4.828	597.23
500	0.5	100	20000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	25	2.547	18.41	-0.025	0.763	7.066	880.19
500	0.5	100	20000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	25	3.247	21.99	-0.058	1.672	9.625	1537.87
500	0.5	100	20000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	25	4.004	25.68	-0.138	3.434	12.737	2938.84
500	0.5	100	20000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	25	4.904	29.49	-0.324	6.844	16.815	5437.83
500	0.5	100	20000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	25	6.213	33.35	-0.764	13.46	22.719	8748.62
500	0.5	100	20000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	25	8.097	37.08	-1.801	26.318	32.538	11755.17
500	0.5	100	20000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	25	11.91	40.42	-4.244	51.328	51.574	13682.31
500	0.5	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	14657.17

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.43. Z=700m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σ_t (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
700	0.5	100	20000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	25	1.159	11.1	-0.004	0.089	2.817	480.09
700	0.5	100	20000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	25	1.857	14.85	-0.011	0.303	4.828	597.23
700	0.5	100	20000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	25	2.547	18.41	-0.025	0.763	7.066	880.19
700	0.5	100	20000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	25	3.247	21.99	-0.058	1.672	9.625	1537.87
700	0.5	100	20000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	25	4.004	25.68	-0.138	3.434	12.737	2938.84
700	0.5	100	20000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	25	4.904	29.49	-0.324	6.844	16.815	5437.83
700	0.5	100	20000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	25	6.213	33.35	-0.764	13.46	22.719	8748.62
700	0.5	100	20000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	25	8.097	37.08	-1.801	26.318	32.538	11755.17
700	0.5	100	20000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	25	11.91	40.42	-4.244	51.328	51.574	13682.31
700	0.5	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	14657.17

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

Çizelge 3.44. Z=900m için analizlerde dikkate alınan kaya kütle parametreleri (D=0.5)

		Kaya malzeme ve kütle özellikleri				Hoek, Wood ve Shah (1992) kaya kütle parametreleri				RocLab program çıktısı (Rocscience, 2002)						
Z (m)	D	σ_{ci} (MPa)	Ei (MPa)	MR	M-RMR	m_i	m_b	s	a	σ3 max	c_m (MPa)	ϕ_m (°)	σt (MPa)	*σ_{cm} (MPa)	**σ_{cm} (MPa)	E_m (MPa)
900	0.5	100	20000	200	10	10	0.138	6.14E-06	0.585	25	1.159	11.1	-0.004	0.089	2.817	480.09
900	0.5	100	20000	200	20	10	0.222	2.33E-05	0.544	25	1.857	14.85	-0.011	0.303	4.828	597.23
900	0.5	100	20000	200	30	10	0.357	0.0001	0.522	25	2.547	18.41	-0.025	0.763	7.066	880.19
900	0.5	100	20000	200	40	10	0.574	0.0003	0.511	25	3.247	21.99	-0.058	1.672	9.625	1537.87
900	0.5	100	20000	200	50	10	0.925	0.0013	0.506	25	4.004	25.68	-0.138	3.434	12.737	2938.84
900	0.5	100	20000	200	60	10	1.489	0.0048	0.503	25	4.904	29.49	-0.324	6.844	16.815	5437.83
900	0.5	100	20000	200	70	10	2.397	0.0183	0.501	25	6.213	33.35	-0.764	13.46	22.719	8748.62
900	0.5	100	20000	200	80	10	3.858	0.0695	0.501	25	8.097	37.08	-1.801	26.318	32.538	11755.17
900	0.5	100	20000	200	90	10	6.211	0.2636	0.5	25	11.91	40.42	-4.244	51.328	51.574	13682.31
900	0.5	100	20000	200	100	10	10	1	0.5	25	20.168	42.95	-10	100	92.651	14657.17

*Genelleştirilmiş Hoek-Brown (H-B) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı **Mohr-Coulomb (M-C) yenilme ölçütünden tek eksenli basma dayanımı

3.3. Beton Tahkimata Ait Girdi Parametrelerinin Belirlenmesi

Hazır betonda basınç dayanımı sınıfları, silindir ve küp örnekler için topluca Çizelge 3.45'de verilmiştir (TS-11222, 2001).

Betonun malzemesinin elastiste modülünün belirlenmesi için çeşitli görgül eşitlikler literatürde sunulmuştur. Normal dayanımlı betonların elastisite modülünün tahmin edilmesinde sıklıkla kullanılan görgül bağıntılar aşağıda verilmiştir (Demir ve ark., 2007):

$E_c = 3.25 \sqrt{\sigma_{cc}} + 14$ (TS-500, 2000) (3.1)

$E_c = 4.73 \sqrt{\sigma_{cc}}$ (ACI318-95, 1996) (3.2)

Eşitlik 3.1 ve 3.2 ile verilen bu bağıntılarda σ_{cc}'nın birimi MPa ve E_c 'nin birimi is GPa'olarak alınmaktadır.

Çizelge 3.35. Beton dayanım sınıfları ve mekanik özellikleri (ACI318-95, 1996 ; TS-500, 2000; TS-11222, 2001 ; Demir ve ark., 2007; Arslan ve Aydemir, 2008)

Beton Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Silindirikörnek) σ_{cc} (MPa)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Kübik örnek) σ_{cc} (MPa)	Çekme Dayanımı σ_{tc} (MPa)	Elastisite Modülü E_c (MPa) Eşitlik (3.1)	Elastisite Modülü E_c (MPa) Eşitlik (3.2)	Elastisite Modülü E_c (MPa)
C14	14	16	1.3	26160	17698	26150
C16	16	20	1.4	27000	18920	27000
C18	18	22	1.5	27789	20068	27500
C20	20	25	1.6	28534	21153	28000
C25	25	30	1.8	30250	23650	30000
C30	30	37	1.9	31800	25907	32000
C35	35	45	2.1	33227	27983	33000
C40	40	50	2.2	34555	29915	34000
C45	45	55	2.3	35800	31730	36000
C50	50	60	2.5	36980	33446	37000

Beton için Poisson oranı (ν_c) genel olarak 0.15-0.25 arasında değişmektedir. Analiz çalışmalarında bu oran betonlar için 0.20 olarak kullanılmaktadır (Carranza-Torres ve Fairhurst, 1999; Arslan ve Aydemir, 2008). Sayısal çözümlemelerde, C20 betonun elasto-plastik malzeme davranışı gösterdiği varsayımı yapılmıştır. Betonun malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı 20 MPa, çekme dayanımı 1.6 MPa, kalıcı tek eksenli basınç dayanımı 5 MPa, kalıcı çekme dayanımı 0 MPa, Young Modülü 28GPa ve Poisson oranı ise 0.2 olarak alınmıştır.

4. DAİRESEL DÜŞEY MADEN KUYULARINDA BETON TAHKİMAT KALINLIĞININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER

4.1. Genel

İki boyutlu Phase2 yazılımı için modelin hazırlanması, örnek sayısal çözümleme, sayısal çözümleme sonuçları, genel değerlendirmeler bu bölümde sunulmuştur.

4.2. İki Boyutlu Phase2 Modelin Hazırlanması

Bu bölümde, düşey dairesel kesitli maden kuyularının beton tahkimat kalınlıklarının belirlenmesine yönelik parametrik sayısal çözümleme sonuçları sunulmuştur. Bu amaç doğrultusunda bir model hazırlanmıştır. Bu modelde dairesel kesitli kuyu çapı (2r) 9m kabul edilmiştir. Kuyu kesitinden dolayı etkilenecek kaya kütle mesafesinin kuyu çapının yaklaşık 10 katı (10x9=90m) olacağı kabul edilmiştir. Bir başka ifade ile kuyu kesitinden etkilenecek bölgenin kuyu çevresinden itibaren 90 metrelik bölge olduğu bu bölgenin de Şekil 4.1'de görüldüğü üzere kuyu çevresine paralel olduğu var sayılmıştır. Modeli çevreleyen sınırın rijit olduğu kabul edilmiştir.

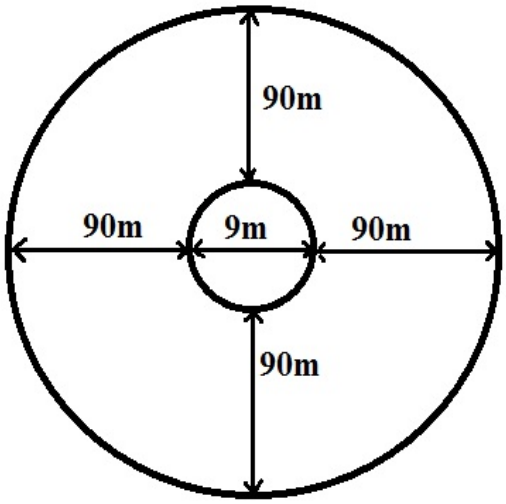
Hazırlanan modelde mesh tipi radial ve element tipi 4 noded quadrilaterals seçilmiştir. Etkin arazi gerilmelerinin sabit olduğu (P_0=Pz = Px = Py) varsayılmıştır. Bu çalışmada derinlik (Z) 100m, 300m, 500m, 700m ve 900m alındığı için sabit arazi gerilmeleri sırasıyla 2.5 MPa, 7.5 MPa, 12.5 MPa, 17.5 MPa ve 22.5 MPa olduğu aşağıda verilen temel eşitlikten hesaplanmıştır.

$$P_0 = Z\gamma \tag{4.1}$$

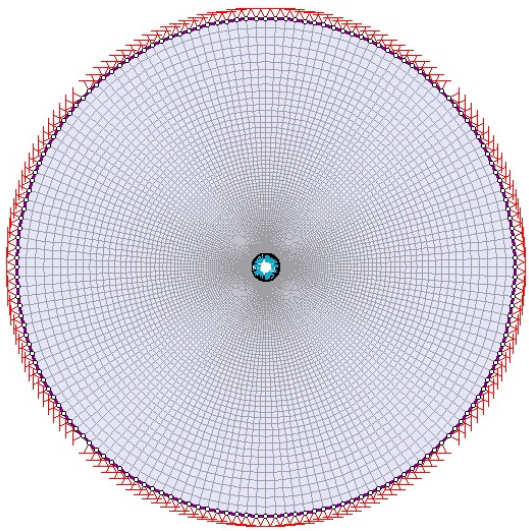
Burada P_0 düşey birincil gerilme (MPa), Z derinlik (m) ve γ birim hacim ağırlığı (MN/m^3)'dır.

Tahkimatlı ve tahkimatsız koşullarda yapılan sayısal analizlerde tahkimatsız durum için 2 aşama (stage), tahkimatlı durum için 3 aşama (stage) planlanmıştır. Tahkimatsız durumda birinci aşama kazı öncesi olurken ikinci aşama kazı sonrası ancak tahkimat yapılmamış durumu yansıtmaktadır. Tahkimatlı durumda birinci aşama kazı öncesi, ikinci aşama kazı sonrası (tahkimatsız) iken üçüncü aşamada tahkimatın

yapıldığı var sayılmıştır. Bu duruma göre beklenen yerdeğiştirme miktarıları (U), kazı öncesinde toplam yerdeğiştirme miktarının %0 kadarı olacağı (Stage-1), kazı yaptıktan sonra (tahkimat öncesinde) %70 kaderı olacağı (Stage-2), tahkimat sonrasında ise geriye kalan %30, (Stage-3) kadarı olacağı kabul edilmiştir (Geniş ve Acun, 2015; Geniş ve Derin, 2016). Sonlu elemanlar ile yapılan sayısal anaizlerde kaya kütlesi ve beton malzemesinin elastik kusursuz plastik davranış gösterdiği kabul edilmiştir



(a) Modelin şematik ölçeksiz görümü

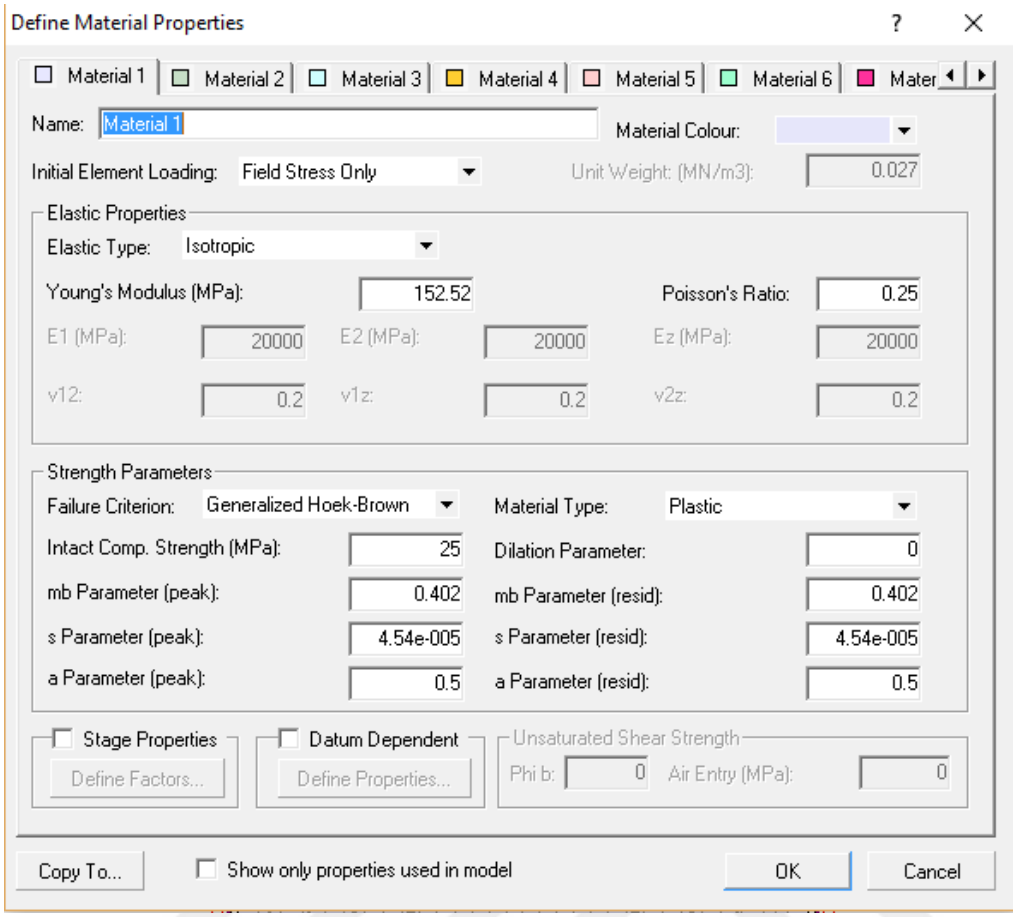


(b) Modelin Phase2 yazılımındaki ölçekli görünümü

Şekil 4.1. Hazırlanan model

4.3. Modelde Kullanılan Kaya Kütle Özellikleri

İki boyutlu düzlemde sayısal analiz yapabilen Phase2 yazımı için hazırlanan modelde kullanmak amacıyla kabul edilen kaya birimi iri taneli kumtaşı için kaya kütle özellikleri topluca Bölüm 3'de sunulmuştur. Şekil 4.2'de Phase2 yazılımında geçerli olan kaya kütle parametrelerinin işlendiği örnek ara yüz görülmektedir. Şekil 4.2'de sunulan tipik bir örneğe ait veriler Bölüm 3'de sunulan Çizelge 3.2'de görülmektedir (Z=100m, σ_{ci} =25 MPa, M-RMR=10 ve D=0).



Şekil 4.2. Tipik bir kaya kütle parametrelerinin girildiği Phase2 ara yüzü

Sayısal analizlerde Bölüm 2'de detaylı olarak verilen Genelleştirilmiş Hoek-Brown (Hoek ve ark., 1992) yenilme ölçütü dikkate alınmıştır. Hoek-Brown yenilme ölçütünde sağlam kaya malzeme sabiti iri taneli kumtaşı için m_i değeri 10 alınmıştır. Bunun için RocLab (Rocscience, 2002). Bununla birlikte sadece arazi gerilmelerinin etkin olduğu varsayılmıştır. Maden kuyusunun kazılmasında çevre kayaların kazıya bağlı olarak örselenme derecesi (D), makine ile kazıya bağlı hasarsız (D=0) ve patlatmaya bağlı orta derecede hasarlı (D=0.5) olarak kabul edilmiştir.

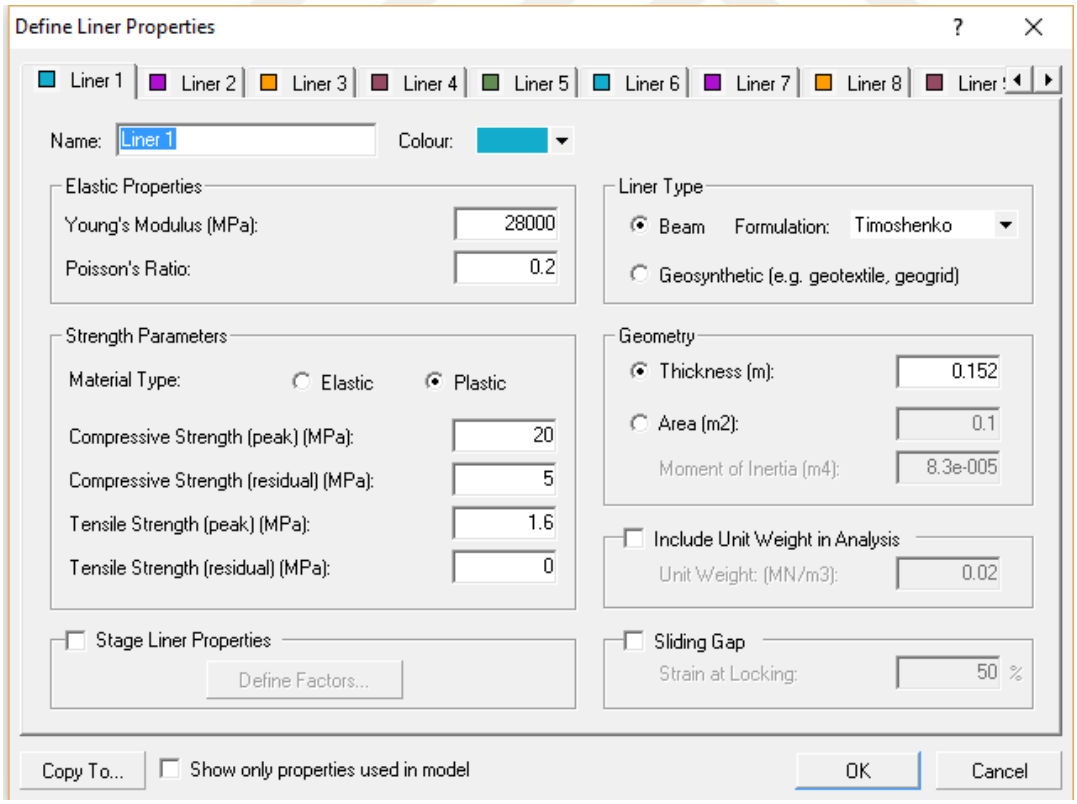
Bu tez çalışmasında Şekil 4.2'de verilen tipik örnekteki gibi Bölüm 3'de sunulan tüm veriler yardımıyla toplam 400 adet ara yüz hazırlanmış sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Bir başka ifade ile her bir derinlikte (Z) hazırlanan 80 adet senaryo için analiz yapılırken toplamda 400 farklı koşul için sayısal analizler yapılmıştır.

4.4. Modelde Kullanılan Beton Malzeme Özellikleri

İki boyutlu düzlemde sayısal analiz yapabilen Phase2 yazımı için hazırlanan modelde kullanmak amacıyla C20 sınıfı betona ait mekanik özellikler topluca Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Şekil 4.3'de ise beton özelliklerinin girildiği Pahase2 ara yüzü görülmektedir. Bu çalışmada Şekil 4.3'de görülen beton kalınlığı her bir analiz koşulunda (toplam analiz veya senaryo sayısı 400 adet) sistematik olarak değiştirilerek beton tahkimatın yenilmediği optimum beton kalınlığı (t_c) belirlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.1. Modelde kullanılan beton melzeme özellikleri

Elastik özellikler	Young Modülü - E_{cc} (MPa)	28000
	Poisson Oranı	0.2
Dayanım parametreleri	Basma Dayanımı - σ_{cc} (En büyük) (MPa)	20
	Basma Dayanımı (Kalıcı) (MPa)	5
	Çekme Dayanımı (En büyük) (MPa)	1.6
	Çekme Dayanımı (Kalıcı) (MPa)	0
Kaplama türü	Beam	Timoshanko
Geometri	Kalınlık	0.152



Şekil 4.3. C20 sınıfı beton malzeme özelliklerinin girildiği Phase2 ara yüzü

4.5. Örnek Sayısal Çözümleme

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen sayısal analizlere ait tipik bir örnek takip eden bölümde sunulmuştur. Analizlerde;

i. Derinlik (Z) bazında 5 analiz grubu dikkate alınmıştır (Z=100m, 300m, 500m, 700m ve 900m)
ii. Tek eksenli basma dayanımı, TEBD (σ_{ci}) bazında 4 ayrı değer dikkate alınmıştır (σ_{ci} =25 MPa, 50 MPa, 75 MPa ve 100 MPa)
iii. Yeniden düzenlenmiş kaya kütle indeksi (M-RMR) bazında 10 adet grup dikkate alınmıştır (M-RMR = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100)
iv. Kuyu cidarındaki örselenme durumu için 2 grup dikkate alınmıştır (D= 0 ve 0.5)

Yukarıda belirtilen parametrelere göre sadece derinlik 100 m için toplam 80 adet sayısal analize konu olan senaryo oluşmaktadır. Analiz edilen diğer derinliklerde dikkate alınırsa (Z = 300m, 500m, 700m ve 900m) ayrı ayrı analize tabi tutulan toplamda 400 adet senaryo ortaya çıkmaktadır. Ancak her bir senaryo için optimum beton tahkimat kalınlığını belirleyebilmek amacıyla yaklaşık 10 kez sayısal analiz yapılmıştır. Her bir analizde beton tahkimat kalınlığı Phase2 (Rocscience, 2002) yazılımına girilmiş bu tahkimatın yenilip yenilmediği kontrol edilmiştir. Eğer beton tahkimat yenilmiş ise bir sonraki analizde sadece beton tahkimat kalınlığı artırılmıştır. Sonuç olarak 400 adet senaryo için optimum beton kalınlığını bulmak amacıyla toplamda yaklaşık 4000 adet sayısal analiz Phase2 (Rocscience, 2002) programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu 400 adet senaryo için tahkimatsız koşul altında da analizler yapılmıştır.

Bu bölümde tahkimatlı koşul altında 400 adet senaryodan sadece bir tanesi aşağıda örnek olarak sunulmuştur. Bu örnek çözümde kuyu cidarındaki örselenme durumu (D) 0 ve 0.5 olarak alınmıştır.

4.5.1. Derinlik 100m, TEBD değeri 25 MPa ve M-RMR=50 koşulu altında örselenme derecesi (D) 0 için analiz sonuçları (Senaryo 5)

Örnek olarak verilen sayısal analizde derinlik (Z) 100m, tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 25 MPa, Yeniden Düzenlenen Kaya Kütle İndeksi (M-RMR) 50 ve kuyu cidarındaki kazıya bağlı örselenme (D) 0 alınmıştır. Bu örnek çözümde C20 beton sınıfı ile beton tahkimat kalınlığı rastgele (t_c) sırasıyla 0.005m, 0.0055m ve 0.006m alınmıştır.

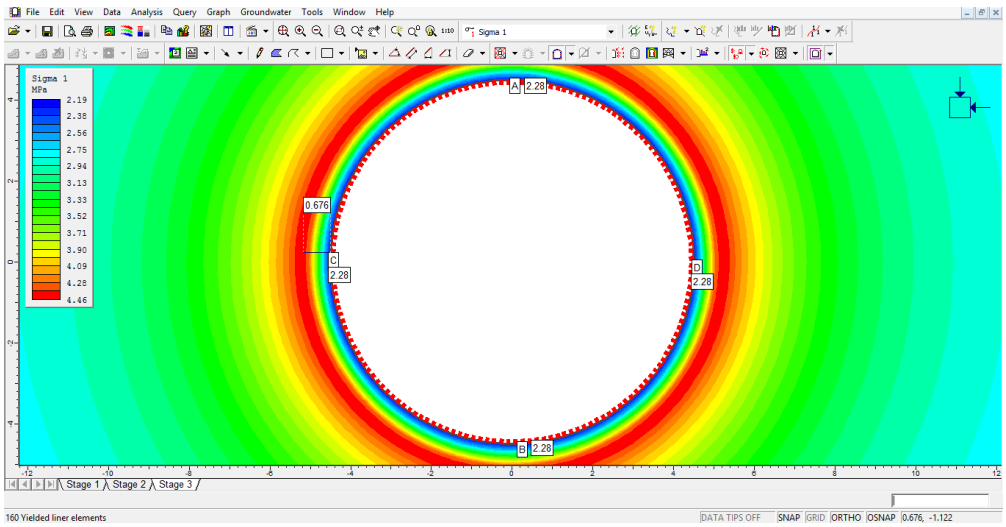
4.5.1.1. Beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.005m olması durumunda sayısal analiz sonuçları

Belirlenen koşul altında ilk önce beton tahkimat kalınlığı (t_c) rastgele 0.005m alınmıştır. Bu durum için yapılan sayısal analiz sonuçlarına ait tipik birer çıktı sırasıyla Şekil 4.4 ve 4.5'de sunulmuştur. Bu tasarım çıktılarına göre kuyu cidarında belirlenen 4 noktada oluşan en büyük asal gerilme (σ_1) ve toplam yerdeğiştirme (U) Çizelge 4.1'de görülmektedir.

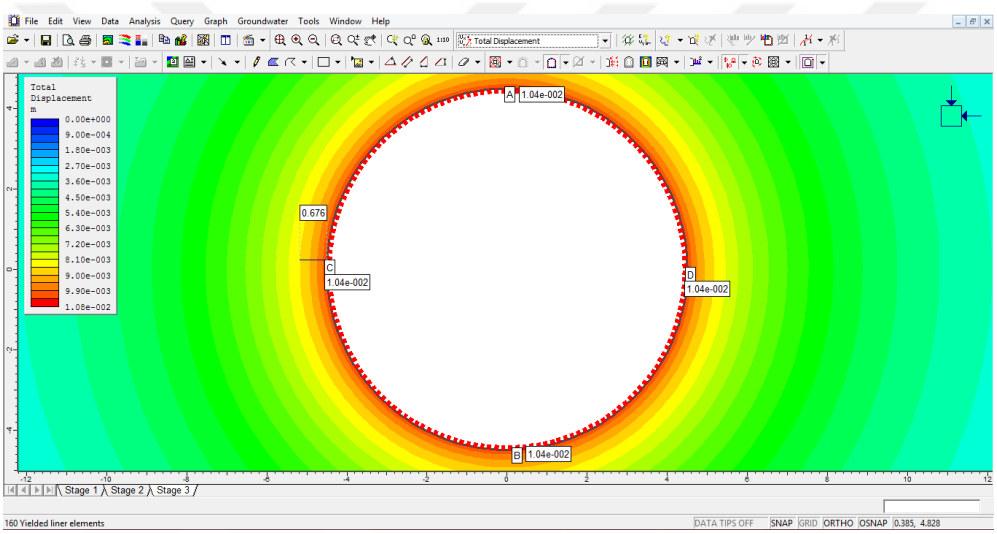
Sunulan örnek Phase2 çıktılarında (Şekil 4.4, 4.5) sadece tahkimatlı durumda Aşama-3 (stage-3) için elde edilen sayısal analiz sonuçları verilmiştir. Tahkimatsız ve tahkimatlı durum için Aşama-2 (stage-2)'ye göre elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Şekil 4.4, 4.5 ve Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere seçilen beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.005m için beton tahkimat yenilmektedir. Sunulan Phase2 sayısal çözümleme sonuçlarında beton tahkimata bakılırsa beton tahkimatın kırmızı renk ile ifade edildiği bunun da beton tahkimatın yenildiğini gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.4, 4.5). Başka bir ifade ile beton tahkimat kuyu cidarında yenilmiş kaya kütlesinin oluşturduğu yükü taşıyamamıştır. Bu durum aynı zamanda Çizelge 4.1'de verilen beton tahkimattaki yenilen element sayısının tahkimatlı Aşama-3 için 160 adet olmasından da anlaşılmaktadır.

Şekil 4.4'de kuyu cidarının A, B, C ve D noktalarında en büyük asal gerilme değerinin (σ_1 , MPa) 2.28 MPa olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.5'de görülen A, B, C ve D noktalarında toplam yerdeğiştirme (U, m) değerinin 0.0104m olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Beton tahkimat kalınlığı 0.005m için σ_1 göre Phase2 analiz çıktısı



Şekil 4.5 Beton tahkimat kalınlığı 0.005m için toplam yerdeğiştirme (U)'ye göre Phase2 analiz çıktısı

Çizelge 4.1. Z=100m, σ_{ci} = 25 MPa, M-RMR = 50 ve D = 0 koşulu altında beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.005m için sayısal analiz sonuçları

Aşama (Stage)	Kuyu Cidarındaki Analiz Noktası	σ_1 (MPa)	U (m)	Kaya Kütlesinde Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)	Beton Tahkimatta Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)
Tahkimatsız Aşama-2	A	1.95	0.0104	0.675 (YES=480)	-
	B	2.10	0.0104		
	C	1.95	0.0104		
	D	1.95	0.0104		
Tahkimatlı Aşama-2	A	1.89	0.0069	0.459 (YES=320)	-
	B	1.89	0.0069		
	C	1.89	0.0069		
	D	1.89	0.0069		
Tahkimatlı Aşama-3	A	2.28	0.0104	0.676 (YES=480)	0.005 (YES=160)
	B	2.28	0.0104		
	C	2.28	0.0104		
	D	2.28	0.0104		

YES: Yenilen Element Sayısı

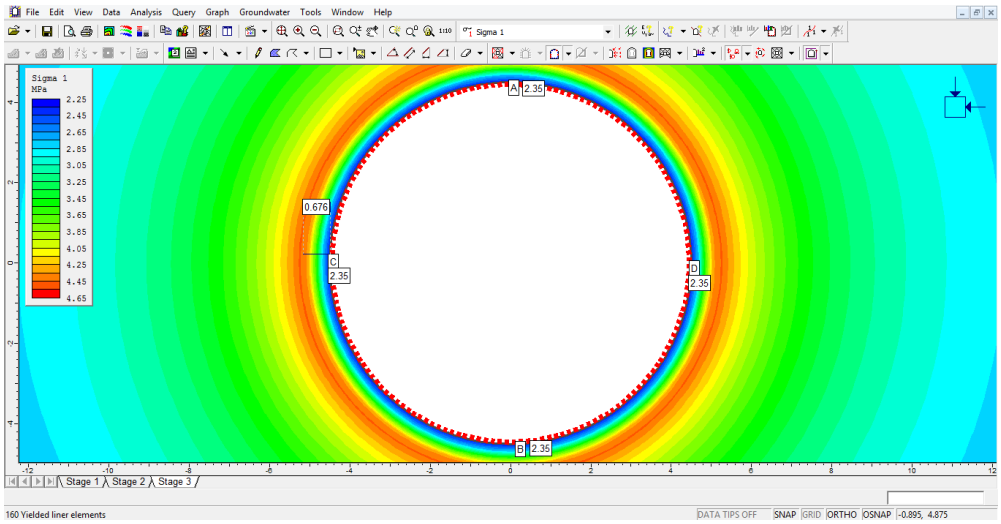
4.5.1.2. Beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.0055m için sayısal analiz sonuçları

Derinlik (Z) 100m, tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 25 MPa, Yeniden Düzenlenen Kaya Kütle İndeksi (M-RMR) 50 ve kuyu cidarındaki kazıya bağlı örselenme (D) 0 koşulu altında ilk önce beton tahkimat kalınlığı (t_c) rastgele 0.0055m alınmış ancak bir üsst bölümde anlatıldığı üzere beton tahkimat yenilmişti. Burada aynı koşul altında sadece beton kalınlığı 0.0055m'ye çıkartılarak analizle tekrarlanmıştır. Bu durum için yapılan sayısal analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4.6 ve 4.7'da sunulmuştur. Bu tasarım çıktılarına göre kuyu cidarında oluşan en büyük asal gerilme(σ_1) ve toplam yerdeğiştirme miktarı (U) Çizelge 4.2'de görülmektedir.

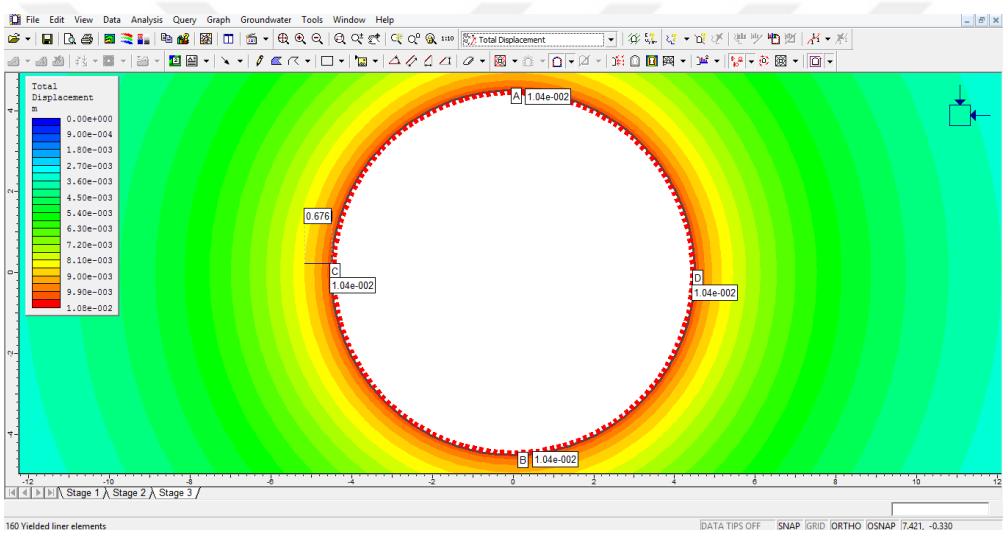
Sunulan örnek Phase2 çıktılarında (Şekil 4.6, 4.7) sadece tahkimatlı durumda Aşama-3 (stage-3) için elde edilen sayısal analiz sonuçları verilmiştir. Tahkimatsız ve tahkimatlı durum için Aşama-2 (stage-2)'ye ait elde edilen sonuçlar topluca Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Şekil 4.6, 4.7 ve Çizelge 4.2'de görüldüğü üzere seçilen beton kalınlığı (t_c) 0.0055m için beton tahkimat yenilmektedir. Sunulan Phase2 sayısal çözümleme sonuçlarında beton tahkimata bakılırsa beton tahkimatın kırmızı renk ile ifade edildiği bunun da beton tahkimatın yenildiğini gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.6, 4.7). tasarlanan ile beton tahkimat, kuyu cidarında yenilmiş kaya kütlesinin oluşturduğu yüklü taşıyamamıştır. Bu durum aynı zaman da Çizelge 4.2'de verilen beton tahkimattaki yenilen element sayısının tahkimatlı Aşama-3 için 160 adet olmasından da anlaşılmaktadır.

Şekil 4.6'de kuyu cidarının A, B, C ve D noktalarında en büyük asal gerilme değerinin (σ_1 , MPa) 2.35 MPa olduğu, Şekil 4.7'de görülen A, B, C ve D noktalarında toplam yerdeğiştirme (U, m) değerinin 0.0104m olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. Beton tahkimat kalınlığı 0.0055m için σ1 göre Phase2 analiz çıktısı



Şekil 4.7. Beton tahkimat kalınlığı 0.0055m için toplam yerdeğiştirme (U)'ye göre Phase2 analiz çıktısı

Çizelge 4.2. Z=100m, σ_{ci} = 25 MPa, M-RMR = 50 ve D = 0 koşulu altında beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.0055m için sayısal analiz sonuçları

Aşama (Stage)	Kuyu Cidarındaki Analiz Noktası	σ_1 (MPa)	U (m)	Kaya Kütlesinde Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)	Beton Tahkimatta Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)
Tahkimatsız Aşama-2	A	1.95	0.0104	0.675 (YES=480)	-
	B	2.10	0.0104		
	C	1.95	0.0104		
	D	1.95	0.0104		
Tahkimatlı Aşama-2	A	1.89	0.0069	0.459 (YES=320)	-
	B	1.89	0.0069		
	C	1.89	0.0069		
	D	1.89	0.0069		
Tahkimatlı Aşama-3	A	2.35	0.0104	0.652 (YES=480)	0.0055 (YES=160)
	B	2.35	0.0104		
	C	2.35	0.0104		
	D	2.35	0.0104		

YES: Yenilen Element Sayısı

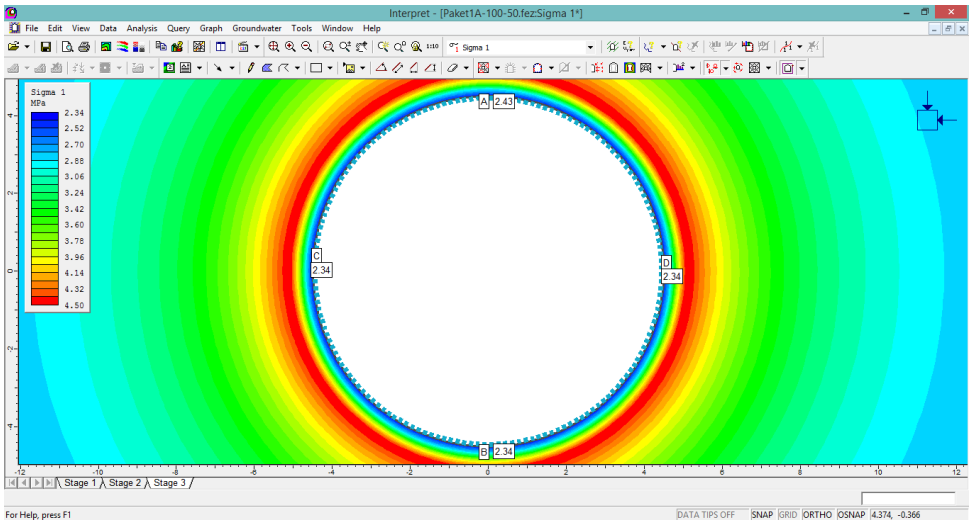
4.5.1.3. Beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.006m için sayısal analiz sonuçları

Beton tahkimat kalınlığı aynı koşul için alınan durumunda beton tahkimatin yenildiği bir üste sunulan bölümde görülmüştür. Bu kez beton kalınlığı 0.006m alınmıştır. Bu durum için yapılan sayısal analiz sonuçlarına ait tipik birer çıktı sırasıyla Şekil 4.8 ve 4.9'da sunulmuştur. Bu tasarım çıktılarına göre kuyu cidarında belirlenen 4 noktada oluşan en büyük gerilme (σ_1) ve toplam yerdeğiştirme miktarı (U) Çizelge 4.3'de görülmektedir.

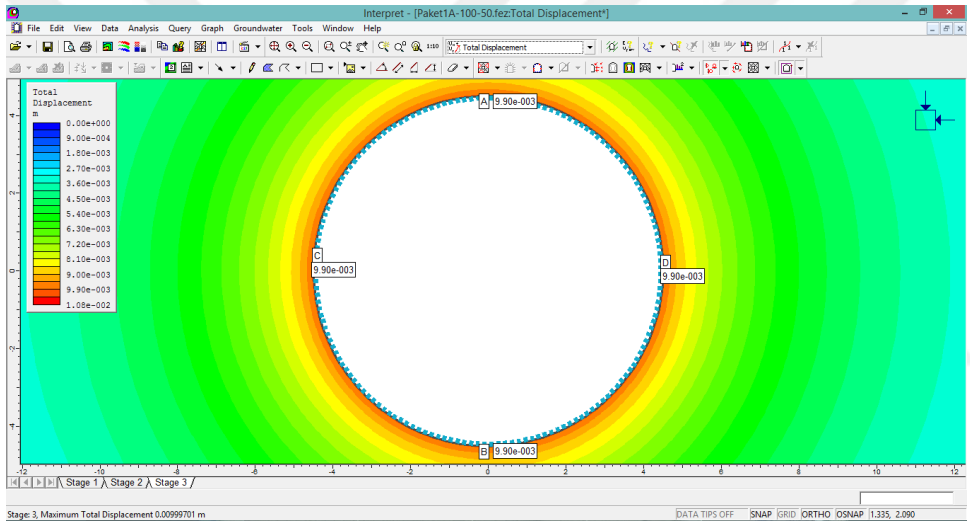
Sunulan örnek Phase2 çıktılarında (Şekil 4.8, 4.9) sadece tahkimatlı durumda Aşama-3 (stage-3) için elde edilen sayısal analiz sonuçları verilmiştir. Tahkimatsız ve tahkimatlı durum için Aşama-2 (stage-2)'ye göre elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'de görülmektedir.

Şekil 4.8, 4.9 ve Çizelge 4.3'de görüldüğü üzere seçilen beton kalınlığı (t_c) 0.006m için beton tahkimat yenilmemiştir. Bu beton tahkimat kalınlığı optimum beton tahkimat kalınlığı olarak tanımlanabilecektir. Sunulan Phase2 sayısal çözümleme sonuçlarında beton tahkimata bakılırsa beton tahkimatın mavi renk ile ifade edildiği bunun da beton tahkimatın yenilmediğini gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.8, 4.9). Başka bir ifade ile beton tahkimat kuyu cidarında yenilmiş kaya kütlesinin oluşturduğu yüklü taşıyabilmiştir. Bu durum aynı zaman da Çizelge 4.3'de verilen beton tahkimattaki yenilen element sayısının tahkimatlı Aşama-3 için 0 adet olmasından da anlaşılmaktadır.

Şekil 4.8'de kuyu cidarının A, B, C ve D noktalarında en büyük asal gerilme değerinin (σ_1 , MPa) 2.23 MPa olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.9'de görülen A, B, C ve D noktalarında toplam yerdeğiştirme (U, m) değerinin 0.00909m olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.8. Beton tahkimat kalınlığı 0.006m için σ_1 göre Phase2 analiz çıktısı



Şekil 4.9. Beton tahkimat kalınlığı 0.006m için toplam yerdeğiştirme (U)'ye göre Phase2 analiz çıktısı

Çizelge 4.3. Z=100m, σ_{ci} = 25 MPa, M-RMR = 50 ve D = 0 koşulu altında beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.006m için sayısal analiz sonuçları

Aşama (Stage)	Kuyu Cidarındaki Analiz Noktası	σ_1 (MPa)	U (m)	Kaya Kütlesinde Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)	Beton Tahkimatta Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)
Tahkimatsız Aşama-2	A	1.95	0.0104	0.675 (YES=480)	-
	B	2.10	0.0104		
	C	1.95	0.0104		
	D	1.95	0.0104		
Tahkimatlı Aşama-2	A	1.89	0.0069	0.467 (YES=320)	-
	B	1.89	0.0069		
	C	1.89	0.0069		
	D	1.89	0.0069		
Tahkimatlı Aşama-3	A	2.23	0.00909	0.649 (YES=480)	0 (YES=0)
	B	2.23	0.00909		
	C	2.23	0.00909		
	D	2.23	0.00909		

YES: Yenilen Element Sayısı

4.5.2. Derinlik 100m, TEBD değeri 25 MPa ve M-RMR=50 koşulu altında örselenme derecesi (D) 0.5 için Analiz Sonuçları (Senaryo 45)

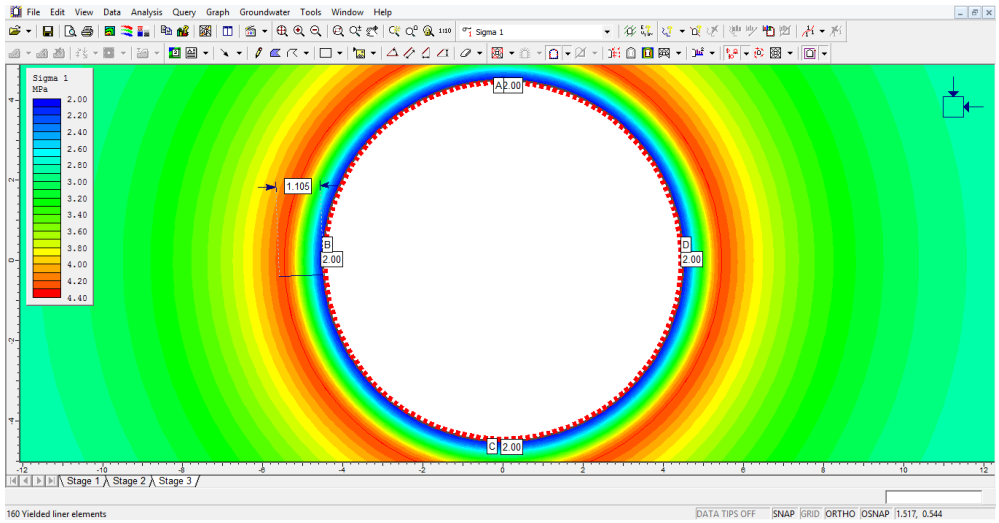
Örnek olarak verilen sayısal analizde derinlik (Z) 100m, tek eksenli basma dayanımı TEBD (σ_{ci}) 25 MPa, Yeniden Düzenlenen Kaya Kütle İndeksi (M-RMR) 50 ve kuyu cidarındaki patlatmalı kazıya bağlı örselenme (D) 0.5 alınmıştır. Bu örnek çözümde beton tahkimat kalınlığı sırasıyla (t_c) 0.068m, 0.073m ve 0.078m seçilmiştir. Örnek çözümlemede C20 beton sınıfı kullanılmıştır.

4.5.2.1. Beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.068 m için sayısal analiz sonuçları

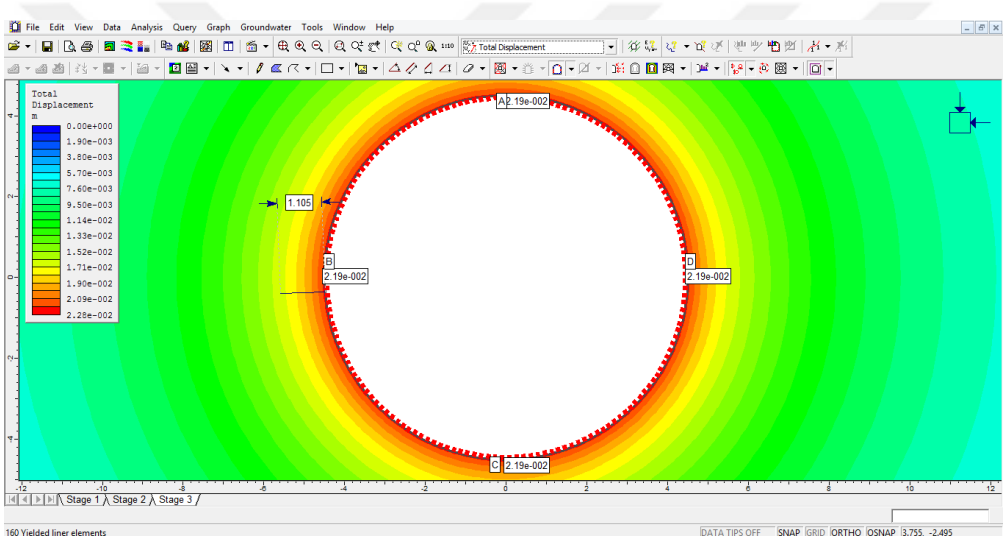
Derinlik (Z) 100m, tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) 25 MPa, Yeniden Düzenlenen Kaya Kütle İndeksi (M-RMR) 50 ve kuyu cidarındaki patlatmalı kazıya bağlı örselenme (D) 0.5 koşulu altında ilk önce beton tahkimat kalınlığı (t_c) rastgele 0.068m alınmıştır. Sunulan örnek Phase2 çıktılarında (Şekil 4.10, 4.11) sadece tahkimatlı durumda Aşama-3 (stage-3) için elde edilen sayısal analiz sonuçları verilmiştir. Tahkimatsız ve tahkimatlı durum için Aşama-2 (stage-2)'ye ait elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'de görülmektedir.

Şekil 4.10, 4.11 ve Çizelge 4.4'de görüldüğü üzere seçilen beton kalınlığı (t_c) 0.068m için beton tahkimat yenilmektedir. Sunulan Phase2 sayısal çözümleme sonuçlarında beton tahkimata bakılırsa beton tahkimatın yenildiğini gösteren kırmızı renk ile ifade edildiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.10, 4.11). Başka bir ifade ile beton tahkimat kuyu cidarında yenilmiş kaya kütlesinin oluşturduğu yüklü taşıyamamıştır. Bu durum aynı zaman da Çizelge 4.4'de verilen beton tahkimattaki yenilen element sayısının tahkimatlı Aşama-3 için 160 adet olmasından da anlaşılmaktadır.

Şekil 4.10'de kuyu cidarının A, B, C ve D noktalarında en büyük asal gerilme değerinin (σ_1 , MPa) 2 MPa olduğu, Şekil 4.11'de görülen A, B, C ve D noktalarında toplam yerdeğiştirme (U, m) değerinin 0.0219m olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.10. Beton tahkimat kalınlığı 0.068m için σ_1 göre Phase2 analiz çıktısı



Şekil 4.11. Beton tahkimat kalınlığı 0.068m için toplam yerdeğiştirme (U)'ye göre Phase2 analiz çıktısı

Çizelge 4.4. Z=100m, σ_{ci} = 25 MPa, M-RMR = 50 ve D = 0.5 koşulu altında beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.068m için sayısal analiz sonuçları

Aşama (Stage)	Kuyu Cidarındaki Analiz Noktası	σ_1 (MPa)	U (m)	Kaya Kütlesinde Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)	Beton Tahkimatta Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)
Tahkimatsız Aşama-2	A	0.90	0.0270	1.505 (YES=1120)	-
	B	0.90	0.0270		
	C	0.90	0.0270		
	D	0.90	0.0270		
Tahkimatlı Aşama-2	A	1.08	0.0168	1.105 (YES=800)	-
	B	1.08	0.0168		
	C	1.08	0.0168		
	D	1.08	0.0168		
Tahkimatlı Aşama-3	A	2	0.0219	0.649 (YES=800)	0.068 (YES=160)
	B	2	0.0219		
	C	2	0.0219		
	D	2	0.0219		

YES: Yenilen Element Sayısı

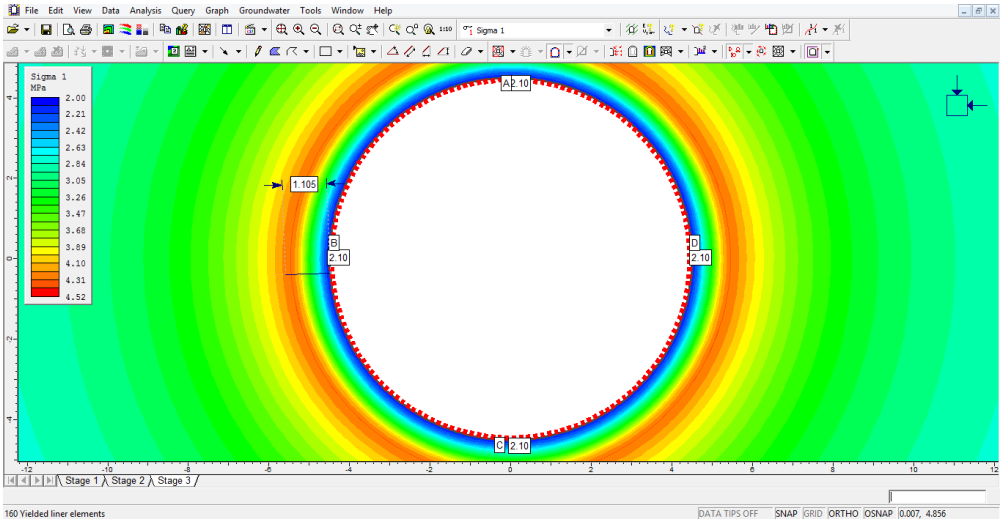
4.5.2.2. Beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.073m için sayısal analiz sonuçları

Bir üst bölümde dikkate alınan beton kalınlığını (t_c = 0.068m) yeterli gelmediği belirlendiği için bu bölümde beton kalınlığı 0.073m alınmıştır. Bu durum için yapılan sayısal analiz sonuçlarına ait tipik birer çıktı sırasıyla Şekil 4.12 ve 4.13'de sunulmuştur. Bu tasarım çıktılarına göre kuyu cidarında belirlenen 4 noktada oluşan en büyük asal gerilme (σ_1), toplam yerdeğiştirme (U) Çizelge 4.5'de görülmektedir.

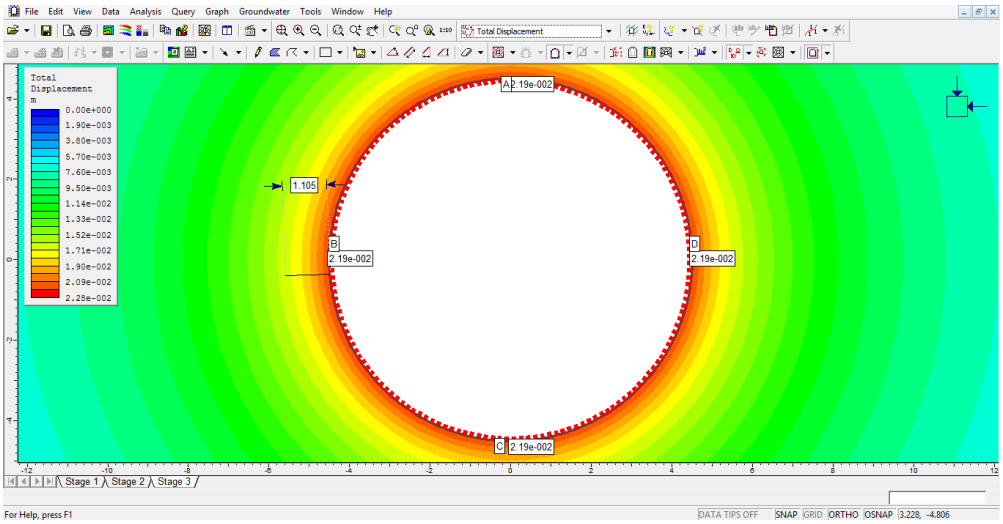
Sunulan örnek Phase2 çıktılarında (Şekil 4.12, 4.13) sadece tahkimatlı durumda Aşama-3 (stage-3) için elde edilen sayısal analiz sonuçlarını verilmiştir. Tahkimatsız ve tahkimatlı durum için Aşama-2 (stage-2)'ye göre elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'de sunulmuştur.

Şekil'de sonulan sonuçlara dikket edilirse seçilen beton kalınlığı (t_c) 0.073m için beton tahkimat yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. Sunulan Phase2 sayısal çözümleme sonuçlarında beton tahkimata bakılırsa beton tahkimatın kırmızı renk ile ifade edildiği bunun da beton tahkimatın yenildiğini gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.12, 4.13). seçilen beton tahkimat kalınlığının (t_c = 0.078m) kuyu cidarında yenilmiş kaya kütlesinin oluşturduğu kaya yükünü taşıyamamıştır.

Şekil 4.12'de kuyu cidarının A, B, C ve D noktalarında en büyük asal gerilme değerinin (σ_1 , MPa) 2.10 MPa olduğu, Şekil 4.13'de görülen A, B, C ve D noktalarında toplam yerdeğiştirme (U, m) değerinin 0.0219m olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.12. Beton tahkimat kalınlığı 0.073m için σ_1 göre Phase2 analiz çıktısı



Şekil 4.13. Beton tahkimat kalınlığı 0.073m için toplam yerdeğiştirme (U) göre Phase2 analiz çıktısı

Çizelge 4.5. Z=100m, σ_{ci}= 25 MPa, M-RMR = 50 ve D = 0.5 koşulu altında beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.073m için sayısal analiz sonuçları

Aşama (Stage)	Kuyu Cidarındaki Analiz Noktası	σ_1 (MPa)	U (m)	Kaya Kütlesinde Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)	Beton Tahkimatta Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)
Tahkimatsız Aşama-2	A	0.90	0.0270	1.505 (YES=1120)	-
	B	0.90	0.0270		
	C	0.90	0.0270		
	D	0.90	0.0270		
Tahkimatlı Aşama-2	A	1.08	0.0168	1.077 (YES=800)	-
	B	1.08	0.0168		
	C	1.08	0.0168		
	D	1.08	0.0168		
Tahkimatlı Aşama-3	A	2.10	0.0219	1.077 (YES=800)	0.073 (YES=160)
	B	2.10	0.0219		
	C	2.10	0.0219		
	D	2.10	0.0219		

YES: Yenilen Element Sayısı

4.5.2.3. Beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.078m için sayısal analiz sonuçları

Beton tahkimat kalınlığı 0.073m olması durumunda seçilen beton tahkimatın yenildiği bir üst bölümde belirlenmiştir. Bunun üzerine beton tahkimat kalınlığı 0.078m'ye çıkarılarak yeniden analizler gerçekleştirilmiştir.

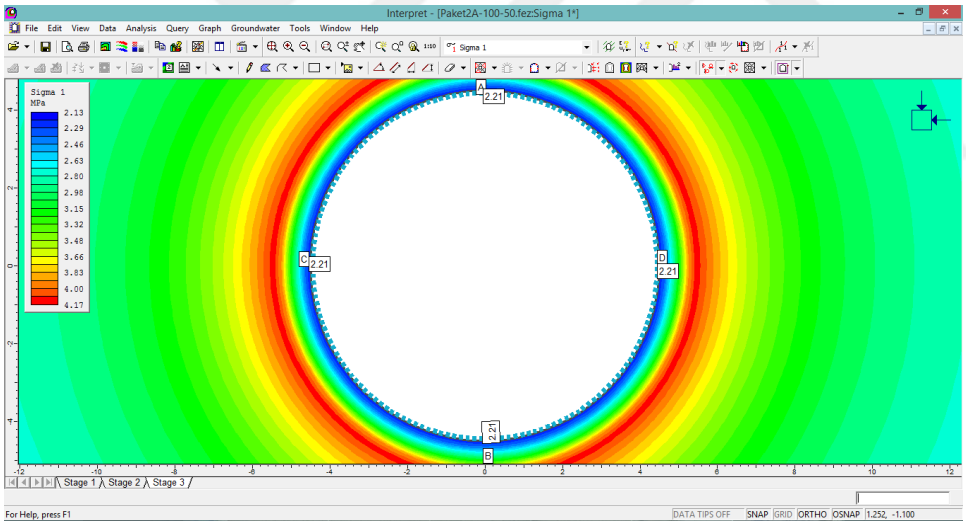
Bu durum için yapılan sayısal analiz sonuçları sırasıyla Şekil 4.14 ve 4.15'de sunulmuştur. Bu tasarım çıktılarına göre kuyu cidarında oluşan en büyük gerilme (σ_1) ve toplam yerdeğiştirme (U) Çizelge 4.6'de görülmektedir.

Şekil 4.14 ve 4.15'de sunulan örnek Phase2 çıktılarında sadece tahkimatlı duruma ait Aşama-3 (stage-3) için elde edilen sayısal analiz sonuçları verilmiştir.

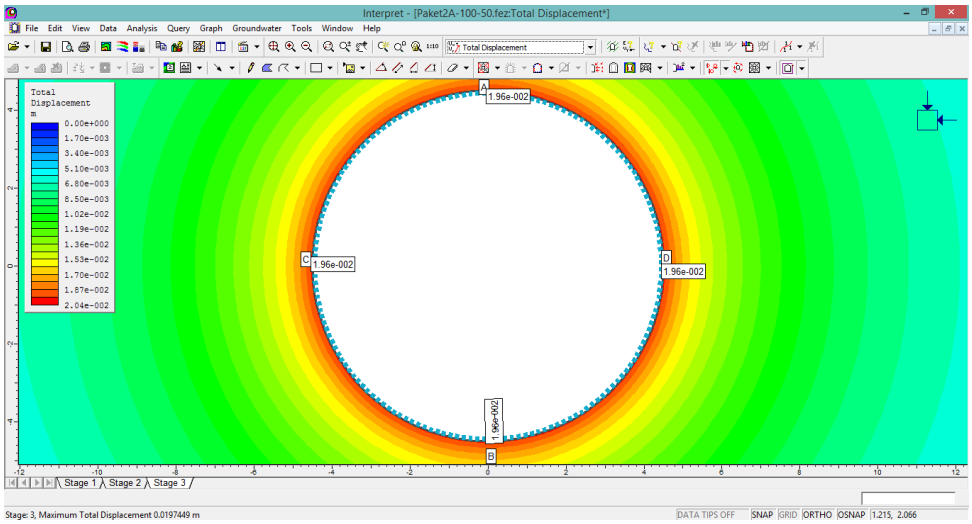
Tahkimatsız ve tahkimatlı durum için Aşama-2 (stage-2)'ye ait elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'de görülmektedir.

Şekil 4.14, 4.15 ve Çizelge 4.6'de görüldüğü üzere seçilen beton kalınlığı (t_c) 0.078m için beton tahkimat yenilmemektedir. Bu beton tahkimat kalınlığı optimum beton tahkimat kalınlığı olarak tanımlanabilecektir. Sunulan Phase2 sayısal çözümleme sonuçlarında beton tahkimata bakılırsa beton tahkimatın mavi renk ile ifade edildiği bunun da beton tahkimatın yenilmediğini gösterdiği anlaşılmaktadır (Şekil 4.14, 4.15). Seçilen beton kalınlığı kuyu cidarında yenilmiş kaya kütlesinin oluşturduğu kaya yüklünü taşıyabilmiştir. Çizelge 4.6'de verilen beton tahkimattaki yenilen element sayısının tahkimatlı Aşama-3 için 0 adet olduğu da anlaşılmaktadır.

Kuyu cidarında alınan A, B, C ve D noktalarında en büyük asal gerilme değerinin (σ_1 , MPa) 2.21 MPa olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.14). Aynı noktalarda (A, B, C ve D) toplam yerdeğiştirme (U, m) değerinin 0.0196m olduğu görülmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.14. Beton tahkimat kalınlığı 0.078m için σ_1 göre Phase2 analiz çıktısı



Şekil 4.15. Beton tahkimat kalınlığı 0.078m için toplam yerdeğiştirme (U) göre Phase2 analiz çıktısı

Çizelge 4.6. Z=100m, σ_{ci}= 25 MPa, M-RMR = 50 ve D = 0.5 koşulu altında beton tahkimat kalınlığı (t_c) 0.078m için sayısal analiz sonuçları

Aşama (Stage)	Kuyu Cidarındaki Analiz Noktası	σ_1 (MPa)	U (m)	Kaya Kütlesinde Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)	Beton Tahkimatta Yenilme Bölgesi Kalınlığı (m)
Tahkimatsız Aşama-2	A	0.90	0.0270	1.505 (YES=1120)	-
	B	0.90	0.0270		
	C	0.90	0.0270		
	D	0.90	0.0270		
Tahkimatlı Aşama-2	A	1.08	0.0168	1.084 (YES=800)	-
	B	1.08	0.0168		
	C	1.08	0.0168		
	D	1.08	0.0168		
Tahkimatlı Aşama-3	A	2.21	0.0196	1.084 (YES=800)	0 (YES=0)
	B	2.21	0.0196		
	C	2.21	0.0196		
	D	2.21	0.0196		

YES: Yenilen Element Sayısı

4.6. Sayısal Çözümleme Sonuçları

Bu bölümde toplamda 400 adet senaryo için yapılan sayısal analiz sonuçları topluca aşağıda sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

4.6.1. Derinlik 100m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 1-80)

Düşey maden kuyusunun 100m derinliğinde alınan iki boyutlu kesiti üzerinde yapılan analiz sonuçları topluca Çizelge 4.7 ve 4.8'de verilmiştir. Genel olarak iki ana sütundan oluşan bu çizelgelerde birinci sütunda temel tasarım girdi parametreleri

(derinlik, tek eksenli basma dayanımı, M-RMR, örselenme durumu) verilirken ikinci temel sütunda tasarım çıktı verileri (beton kalınlığı, en büyük asal gerilme, toplam yerdeğiştirme ve yenilme bölgesi kalınlığı) sunulmuştur.

Sayısal analizler yardımıyla hazırlanan Çizelge 4.7 ve 4.8 verileri kullanılarak sırasıyla Şekil 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21'de görülen grafikler hazırlanmıştır.

Derinlik (Z) 100m ve kuyunun hasarsız kazı (D=0) ile açılması durumunda C20 beton sınıfında optimum beton tahkimat kalınlıklarının farklı kaya dayanım (σ_{ci}) değerlerindeki M-RMR'ye bağlı davranışı Şekil 4.16'de görülmektedir. Benzer şekilde orta hasarlı patlatma (D=0.5) koşulu altındaki beton kalınlıklarının değişimi Şekil 4.17'da sunulmuştur. Bu şekillere göre beton tahkimat kalınlıkları sistematik bir şekilde M-RMR değerleri arttıkça üstel karekterde azalmaktadır. Benzer şekilde kayacın tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) arttıkça gerekli beton kalınlığı azalmaktadır. Bununla birlikte M-RMR değerinin genelde 50'nin üstünde olması durumunda gerekli beton tahkimat kalınlıkları (t_c) sıfır olmaktadır.

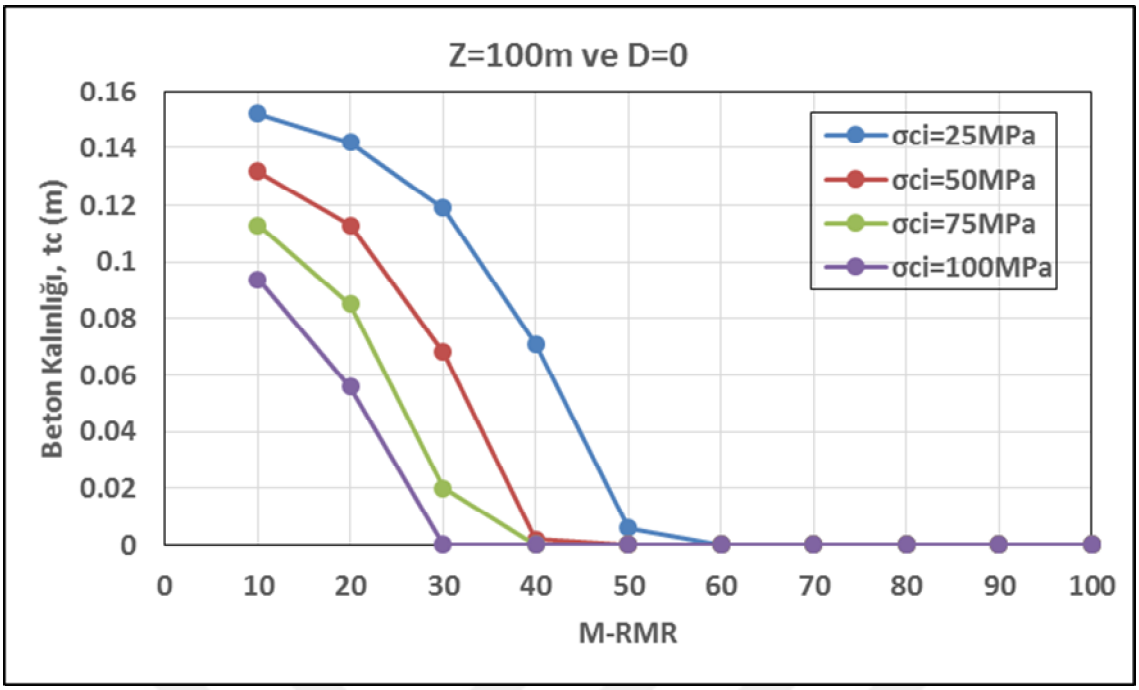
Şekil 4.18-4.21'de sunulan grafiklerde de gerekli beton tahkimat kalınlığı M-RMR değerleri arttıkça exponential karekterde azalmaktadır. Analizlere tabi tutulan kaya dayanımlarının artması ile genelde M-RMR değerinin 50'nin üzerinde olması durumunda gerekli beton tahkimat kalınlığı sıfır olmaktadır. Bununla birlikte kuyunun açılmasında kullanılan patlatmanın hasar derecesi arttıkça gerekli beton kalınlığı artmaktadır.

Çizelge 4.7. Z=100m derinliği, D=0 ve P_0 = 2.5 MPa koşulu altında sayısal analiz sonuçları

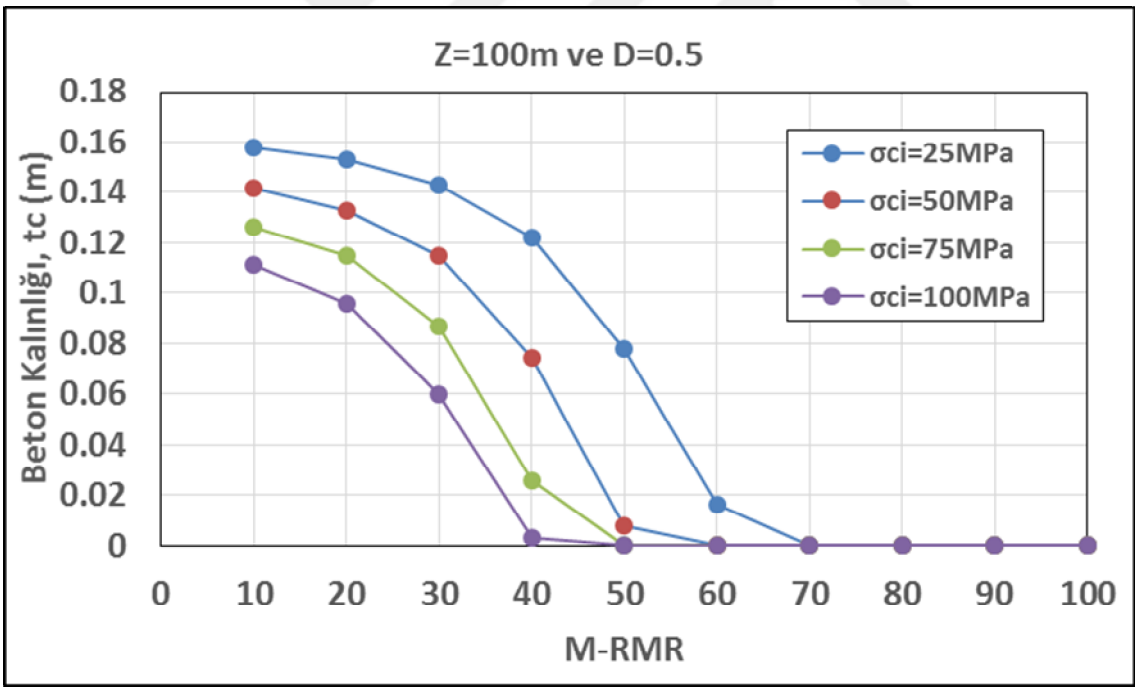
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo NO	t_c (m)	σ_1 (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
100	25	10	0	1	0.152	1.0	3.30e-001	6.727	3680
		20		2	0.142	1.20	1.72e-001	3.969	2560
		30		3	0.119	1.31	9.20e-002	2.793	1920
		40		4	0.071	1.51	4.20e-002	1.741	1280
		50		5	0.006	2.21	1.96e-002	1.105	800
		60		6	0	2.89	1.08e-002	0.659	480
		70		7	0	4.23	6.30e-003	0.236	160
		80		8	0	4.82	4.60e-003	0	0
		90		9	0	4.82	4.00e-003	0	0
		100		10	0	4.82	3.80e-003	0	0
	50	10	0	11	0.142	1.35	5.00e-002	1.510	1120
		20		12	0.133	1.65	3.00e-002	0.854	640
		30		13	0.115	2.47	1.61e-002	0.656	480
		40		14	0.074	2.70	9.20e-002	0.455	320
		50		15	0.008	4.23	4.60e-003	0.276	160
		60		16	0	4.82	2.70e-003	0	0
		70		17	0	4.82	1.84e-003	0	0
		80		18	0	4.82	1.54e-003	0	0
		90		19	0	4.82	1.43e-003	0	0
		100		20	0	4.82	1.38e-003	0	0
	75	10	0	21	0.113	1.65	3.00e-002	0.856	640
		20		22	0.085	2.08	1.96e-002	0.650	480
		30		23	0.02	3.33	1.15e-002	0.458	320
		40		24	0	3.80	6.00e-002	0.273	160
		50		25	0	4.82	3.00e-003	0	0
		60		26	0	4.82	1.80e-003	0	0
		70		27	0	4.82	1.27e-003	0	0
		80		28	0	4.82	1.04e-003	0	0
		90		29	0	4.82	9.45e-004	0	0
		100		30	0	4.82	9.20e-004	0	0
	100	10	0	31	0.094	2.21	2.19e-002	0.661	480
		20		32	0.056	2.80	1.43e-002	0.457	320
		30		33	0	3.14	8.80e-003	0.457	320
		40		34	0	4.75	4.40e-003	0.286	160
		50		35	0	4.82	2.28e-003	0	0
		60		36	0	4.82	1.32e-002	0	0
		70		37	0	4.82	9.20e-004	0	0
		80		38	0	4.82	7.70e-004	0	0
		90		39	0	4.82	7.35e-004	0	0
		100		40	0	4.82	6.90e-004	0	0

Çizelge 4.8. Z=100m derinliği, D=0.5 ve P_0 = 2.5 MPa koşulu altında sayısal analiz sonuçları

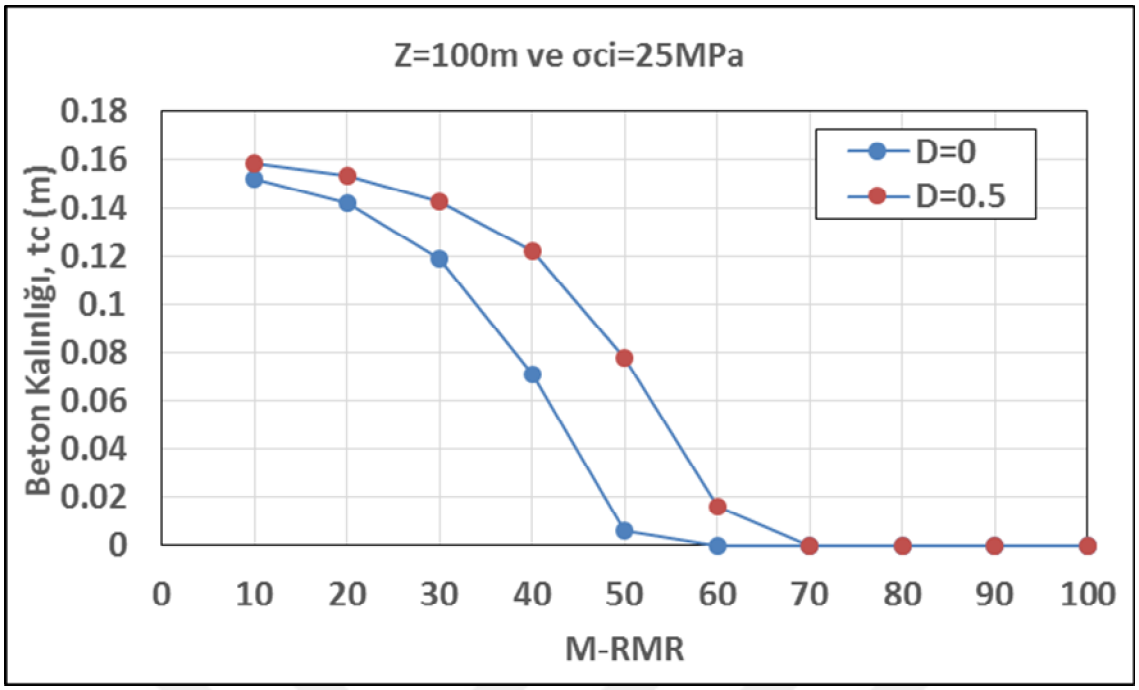
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo No	t_c (m)	σ_1 (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
100	25	10	0.5	41	0.158	1.0	3.30e-001	6.712	3680
		20		42	0.153	1.20	1.72e-001	4.003	2560
		30		43	0.143	1.20	9.20e-002	2.795	1920
		40		44	0.122	1.51	4.20e-002	1.747	1280
		50		45	0.078	2.21	1.96e-002	1.105	800
		60		46	0.016	2.98	1.08e-002	0.648	480
		70		47	0	4.23	6.30e-003	0.271	160
		80		48	0	4.82	4.80e-003	0	0
		90		49	0	4.82	4.00e-003	0	0
		100		50	0	4.82	3.80e-003	0	0
	50	10	0.5	51	0.142	1.20	9.90e-002	3.378	2240
		20		52	0.133	1.20	6.30e-002	2.257	1600
		30		53	0.115	1.72	3.45e-002	1.516	1120
		40		54	0.074	2.13	1.84e-002	0.854	640
		50		55	0.008	2.79	9.90e-003	0.462	320
		60		56	0	4.43	5.25e-003	0.272	160
		70		57	0	4.82	3.15e-002	0	0
		80		58	0	4.82	2.40e-003	0	0
		90		59	0	4.82	2.04e-003	0	0
		100		60	0	4.82	1.92e-003	0	0
	75	10	0.5	61	0.126	1.30	5.25e-002	2.245	1600
		20		62	0.115	1.50	3.45e-003	1.511	1120
		30		63	0.087	1.91	2.16e-002	0.855	640
		40		64	0.026	3.15	1.21e-002	0.458	320
		50		65	0	3.61	6.60e-003	0.269	160
		60		66	0	4.82	4.45e-003	0	0
		70		67	0	4.82	2.16e-003	0	0
		80		68	0	4.82	1.54e-003	0	0
		90		69	0	4.82	1.32e-003	0	0
		100		70	0	4.82	1.27e-003	0	0
	100	10	0.5	71	0.111	1.50	3.45e-002	1.754	1280
		20		72	0.096	1.65	2.55e-002	1.295	960
		30		73	0.06	2.48	1.54e-002	0.662	480
		40		74	0.003	2.70	9.90e-003	0.461	320
		50		75	0	4.75	4.80e-003	0.273	160
		60		76	0	4.82	2.55e-003	0	0
		70		77	0	4.82	1.54e-003	0	0
		80		78	0	4.82	1.15e-003	0	0
		90		79	0	4.82	9.90e-003	0	0
		100		80	0	4.82	9.20e-004	0	0



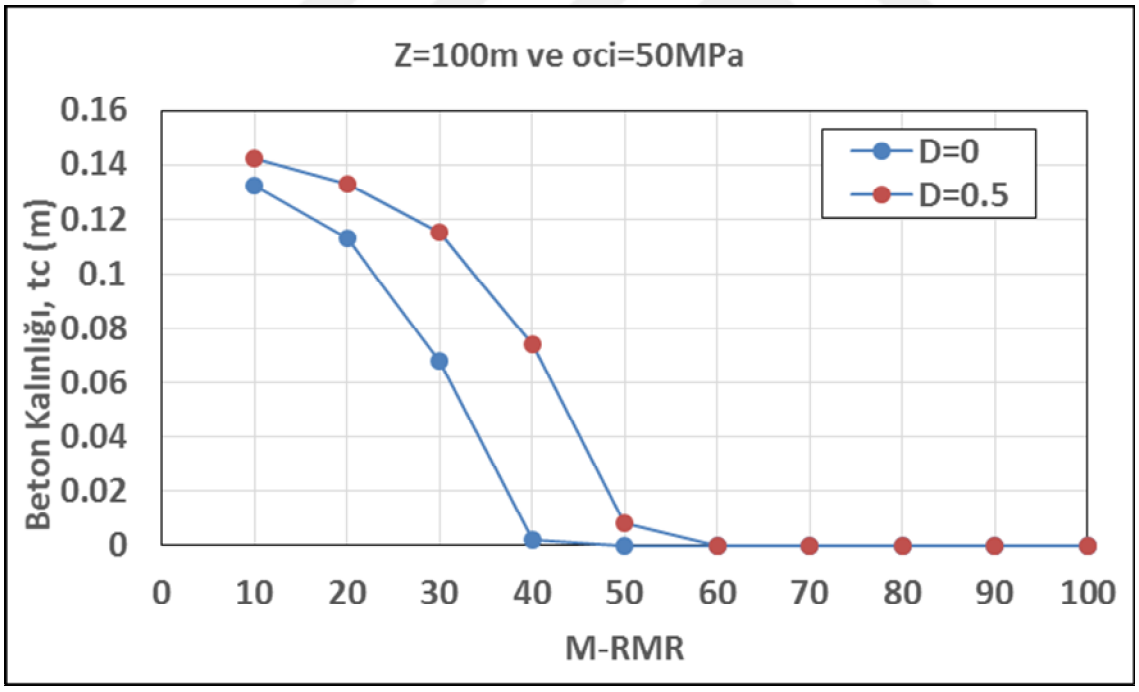
Şekil 4.16. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=100m ve D=0 olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



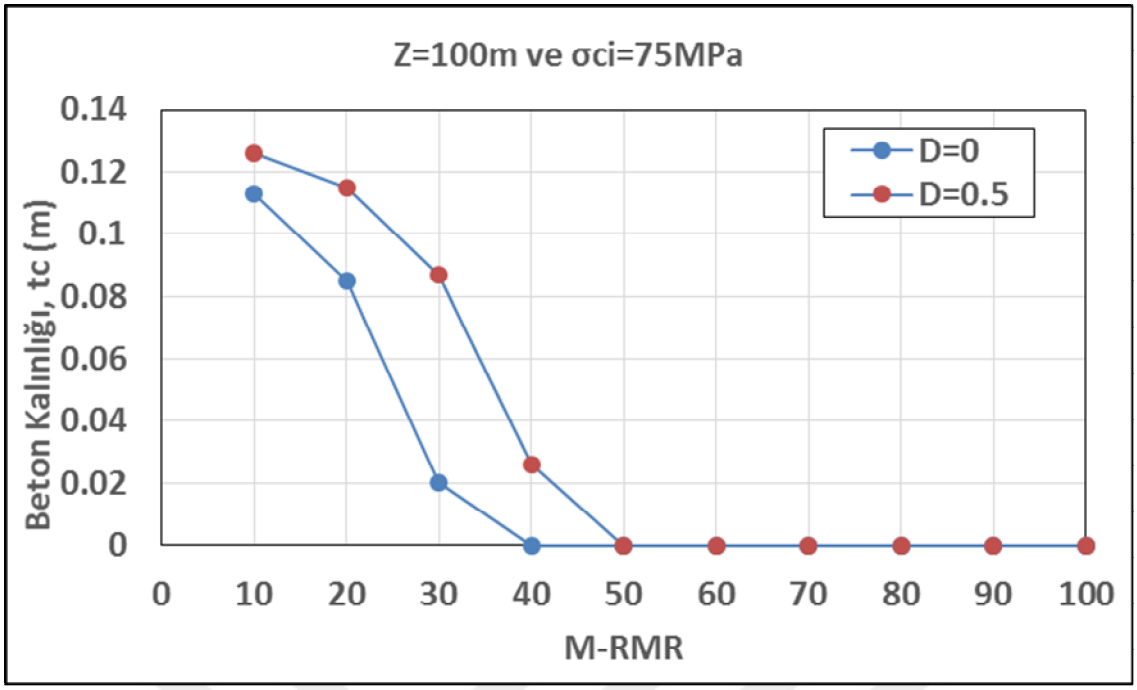
Şekil 4.17. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=100m ve D=0.5 olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



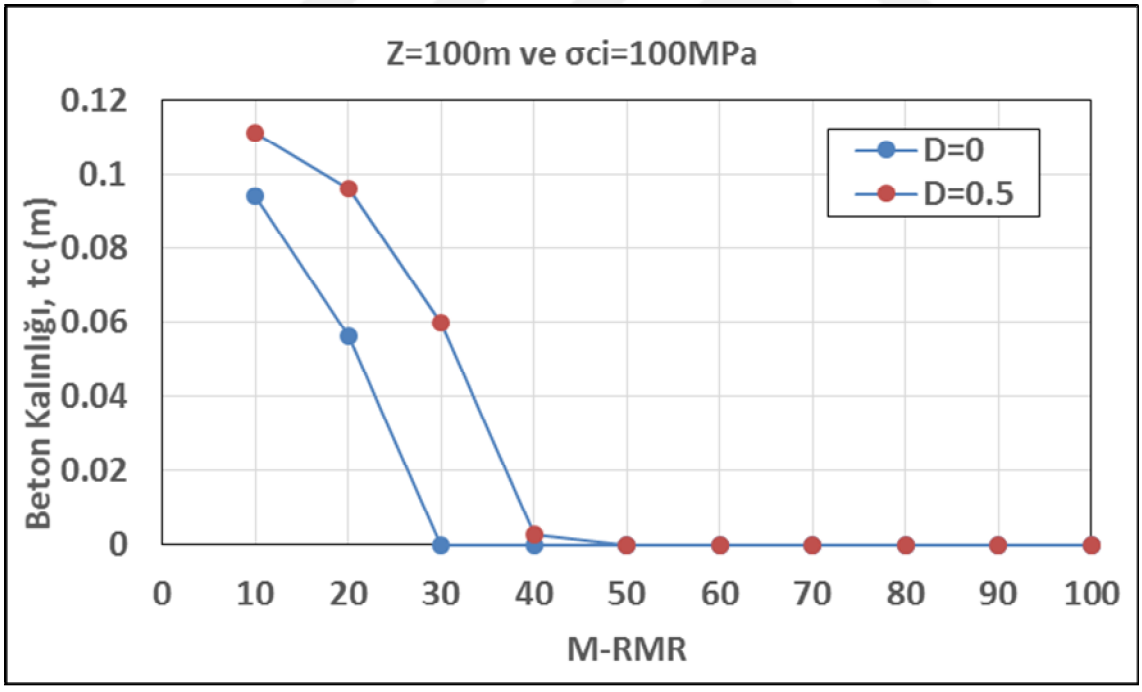
Şekil 4.18. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=100m ve σ_{ci} =25MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



Şekil 4.19. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=100m ve σ_{ci} =50 MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



Şekil 4.20. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=100m ve σ_{ci}=75 MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



Şekil 4.21. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=100m ve σ_{ci}=100 MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.

4.6.2. Derinlik 300m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 81-160)

Düşey maden kuyusunun 300m derinliğinde alınan iki boyutlu kesiti üzerinde Phase2 yardımıyla yapılan sayısal analiz sonuçları topluca Çizelge 4.9 ve 4.10'de verilmiştir. Genel olarak iki ana sütundan oluşan bu çizelgelerde derinlik, tek eksenli basma dayanımı, M-RMR, örselenme durumu birinci sütunda temel tasarım girdi parametreleri olarak verilirken ikinci temel sütunda tasarım çıktı verileri beton kalınlığı (t_c), en büyük asal gerilme (σ_1), toplam yerdeğiştirme (U) ve yenilme bölgesi kalınlığı (h_t) sunulmuştur.

Çizelge 4.9 ve 4.10 da sunulan veriler yardımıyla Şekil 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26 ve 4.27'de görülen grafikler hazırlarak sunulmuştur.

Şekil 4.22'de derinlik (Z) 300m ve kuyunun hasarsız kazı (D=0) ile açılması durumunda C20 beton sınıfında optimum beton tahkimat kalınlıklarının farklı kaya dayanım (σ_{ci}) değerlerindeki M-RMR'ye bağlı davranışı Şekil 4.22'de görülmektedir. Kuyu kazısında hasarlı patlatma (D=0.5) durumu için beton kalınlıklarının değişimi benzer şekilde Şekil 4.23'daki gibi hazırlanmıştır. Şekil 4.22 ve 4.23 de beton kalınlıkları (t_c) sistematik bir şekilde M-RMR değerleri arttıkça üstel karekterde azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda kayacın tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) arttıkça gerekli beton kalınlığı azalmaktadır. Bununla birlikte M-RMR değerinin genelde 50'nin üstünde olması durumunda gerekli beton kalınlıkları sıfır olmaktadır.

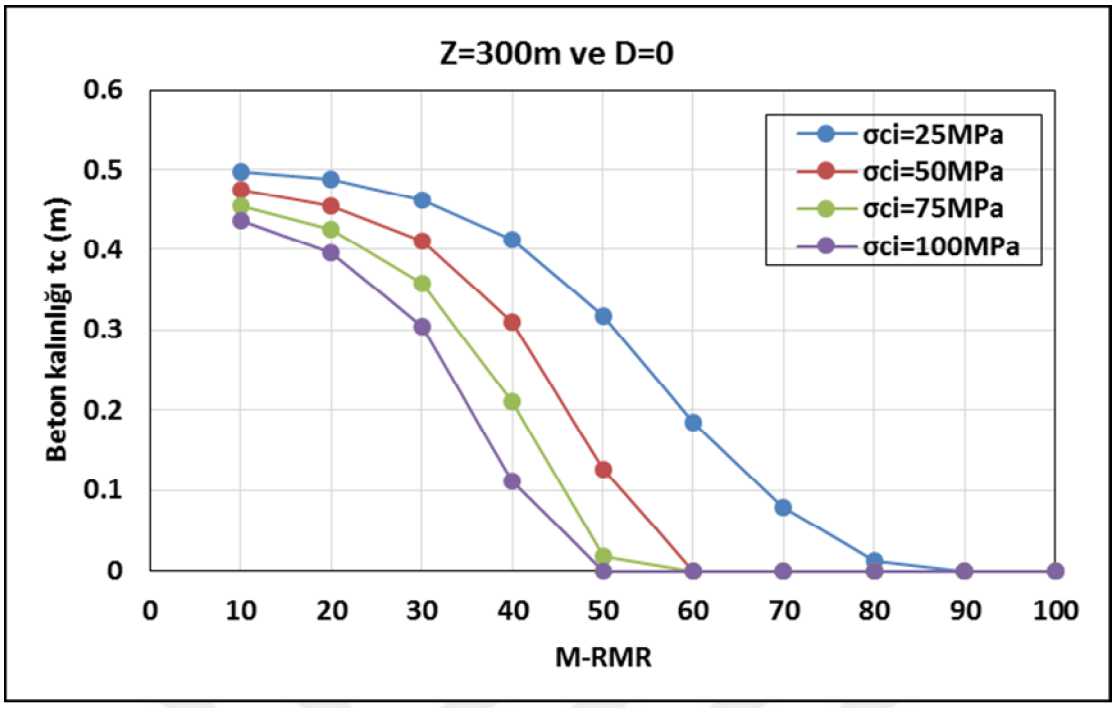
Seçilen beton tahkimat kalınlığı M-RMR değerleri azaldıkça üstel karekterde artmakta olduğu Şekil 4.24-4.27'de sunulan grafiklerde de görülmektedir. Analizlere tabi tutulan kaya malzemesinin tek eksenli basma dayanımlarının (σ_{ci}) artması ile genelde M-RMR değerinin 50'nin üzerinde olması durumunda gerekli beton tahkimat kalınlığı (t_c) sıfır olmaktadır. Aynı zamanda kuyunun kazılmasında kullanılan patlatmanın hasar derecesi (D) arttıkça gerekli beton kalınlığı buna bağlı artmaktadır.

Çizelge 4.9. Z=300m derinliği, D=0 ve P_0 = 7.5 MPa durumunda sayısal analiz sonuçları

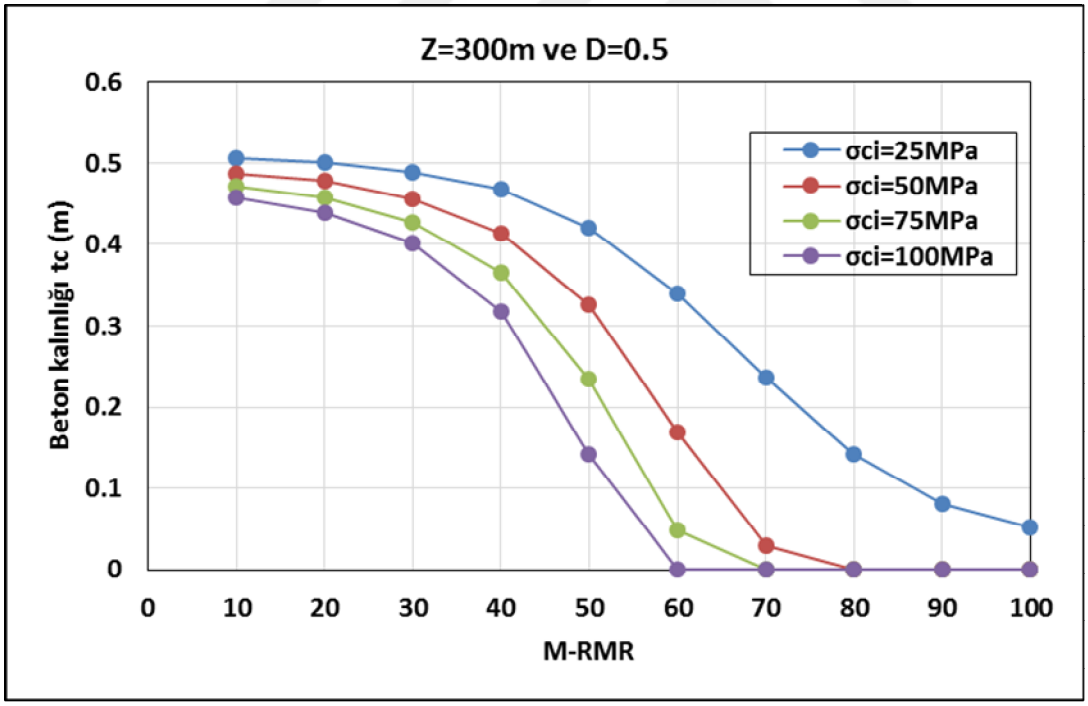
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo NO	t_c (m)	σ_1 (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
300	25	10	0	81	0.497	3.00	8.05e-001	7.076	3840
		20		82	0.488	3.00	3.80e-001	4.693	2880
		30		83	0.463	3.60	1.61e-001	3.393	2240
		40		84	0.412	3.90	6.90e-002	2.529	1760
		50		85	0.318	4.60	3.15e-002	1.750	1280
		60		86	0.185	6.75	1.73e-002	1.064	800
		70		87	0.079	8.75	1.20e-002	0.649	480
		80		88	0.013	10.80	9.90e-003	0.456	320
		90		89	0	14.40	8.40e-003	0	0
		100		90	0	14.40	8.40e-003	0	0
	50	10	0	91	0.476	3.15	2.30e-001	3.684	2400
		20		92	0.454	3.50	1.27e-001	2.537	1760
		30		93	0.41	4.20	6.00e-002	1.740	1280
		40		94	0.31	5.40	2.85e-002	1.283	960
		50		95	0.126	7.75	1.44e-002	0.857	640
		60		96	0	6.90	8.80e-002	0.659	480
		70		97	0	11.70	5.75e-002	0.271	160
		80		98	0	14.40	4.80e-003	0	0
		90		99	0	14.40	4.20e-003	0	0
		100		100	0	14.40	4.20e-003	0	0
	75	10	0	101	0.454	3.50	1.27e-001	2.517	1760
		20		102	0.425	3.85	7.20e-002	1.747	1280
		30		103	0.358	4.90	3.60e-002	1.296	960
		40		104	0.211	6.60	1.73e-002	0.860	640
		50		105	0.018	7.60	9.90e-003	0.652	480
		60		106	0	10.20	5.50e-003	0.459	320
		70		107	0	14.40	3.80e-003	0	0
		80		108	0	14.40	3.15e-003	0	0
		90		109	0	14.40	2.85e-003	0	0
		100		110	0	14.40	2.70e-003	0	0
	100	10	0	111	0.436	3.85	8.05e-002	2.005	1440
		20		112	0.396	3.85	5.00e-002	1.513	1120
		30		113	0.305	5.70	2.55e-002	0.857	640
		40		114	0.111	8.30	1.32e-002	0.657	480
		50		115	0	8.70	7.35e-003	0.460	320
		60		116	0	13.50	4.00e-003	0.257	160
		70		117	0	14.40	2.85e-003	0	0
		80		118	0	14.40	2.40e-003	0	0
		90		119	0	14.40	2.18e-003	0	0
		100		120	0	14.40	2.07e-003	0	0

Çizelge 4.10. Z=300m derinliği, D=0.5 ve P_0 =7.5 MPa durumunda sayısal analiz sonuçları

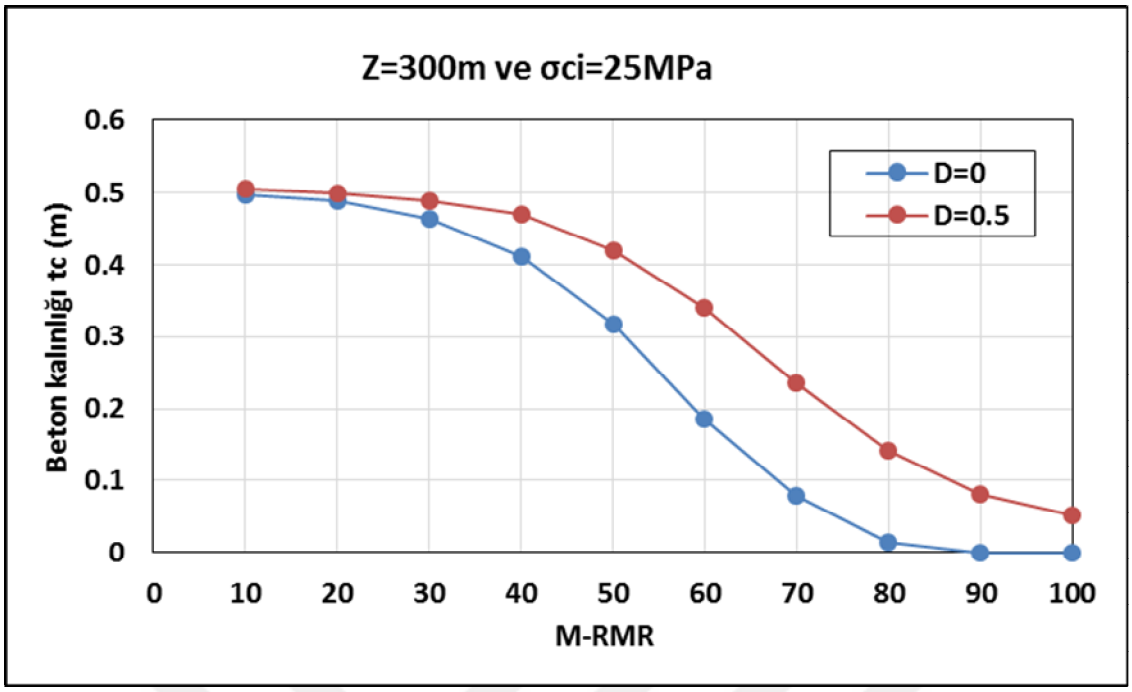
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo No	t_c (m)	σ_l (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
300	25	10	0.5	121	0.506	2.70	5.25e+000	25.813	7840
		20		122	0.5	2.70	1.84e+000	13.894	5760
		30		123	0.489	3.00	6.30e-001	8.013	4160
		40		124	0.469	3.30	2.28e-001	4.691	2880
		50		125	0.42	4.20	8.40e-002	3.085	2080
		60		126	0.341	4.80	3.60e-002	1.752	1280
		70		127	0.236	6.60	1.96e-002	1.066	800
		80		128	0.142	11	1.32e-002	0.459	320
		90		129	0.081	14.40	1.15e-002	0	0
		100		130	0.051	14.40	1.10e-002	0	0
	50	10	0.5	131	0.487	2.70	8.40e-001	10.678	4960
		20		132	0.479	3.00	3.80e-001	6.219	3520
		30		133	0.457	3.30	1.72e-001	4.018	2560
		40		134	0.414	4.20	7.35e-002	2.517	1760
		50		135	0.326	5.40	3.15e-002	1.516	1120
		60		136	0.17	7.50	1.54e-002	0.852	640
		70		137	0.029	9.60	9.90e-003	0.459	320
		80		138	0	14.40	6.90e-003	0	0
		90		139	0	14.40	6.00e-003	0	0
		100		140	0	14.40	5.75e-003	0	0
	75	10	0.5	141	0.471	3.00	3.30e-001	6.636	3680
		20		142	0.458	3.60	1.72e-001	4.007	2560
		30		143	0.427	4.20	9.20e-002	2.796	1920
		40		144	0.366	4.60	4.20e-002	1.748	1280
		50		145	0.234	6.75	1.96e-002	1.064	800
		60		146	0.048	8.70	1.08e-002	0.653	480
		70		147	0	12.60	6.60e-003	0.270	160
		80		148	0	14.40	4.60e-003	0	0
		90		149	0	14.40	4.00e-003	0	0
		100		150	0	14.40	3.80e-003	0	0
	100	10	0.5	151	0.458	3.40	1.84e-001	5.056	3040
		20		152	0.44	3.70	1.10e-001	3.075	2080
		30		153	0.401	4.30	6.00e-002	1.988	1440
		40		154	0.318	5.10	2.85e-002	1.286	960
		50		155	0.142	8.00	1.43e-002	0.665	480
		60		156	0	9.30	8.05e-003	0.459	320
		70		157	0	12.60	4.75e-003	0.270	160
		80		158	0	14.40	3.60e-003	0	0
		90		159	0	14.40	3.00e-003	0	0
		100		160	0	14.40	2.85e-003	0	0



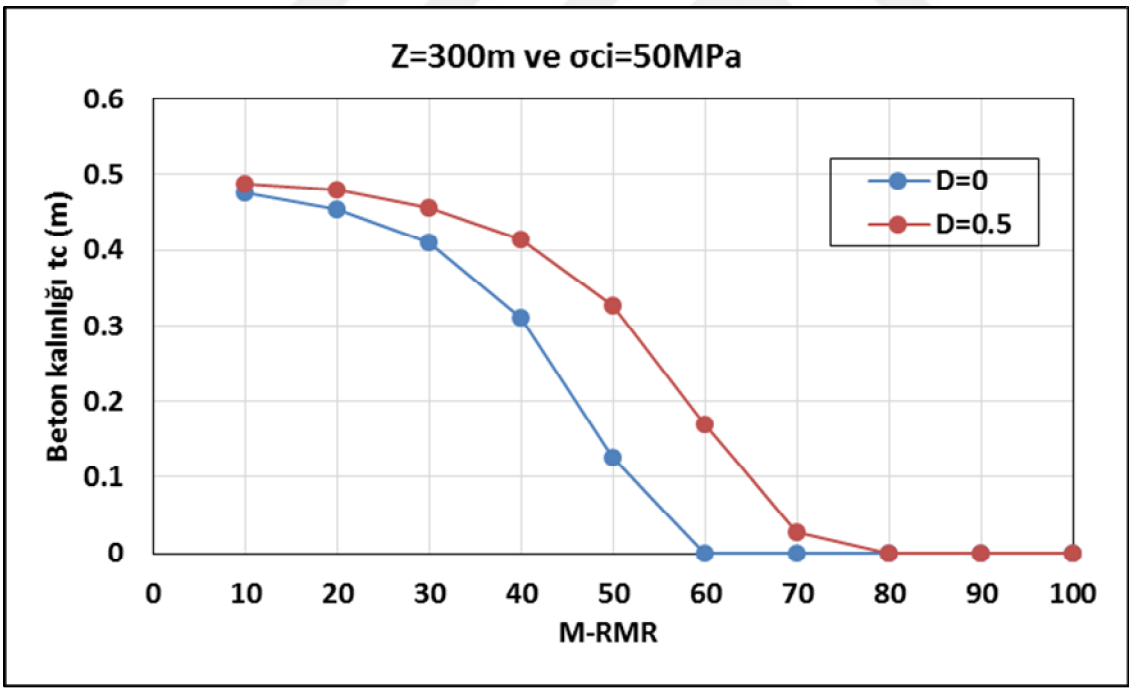
Şekil 4.22. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=300m ve D=0 olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



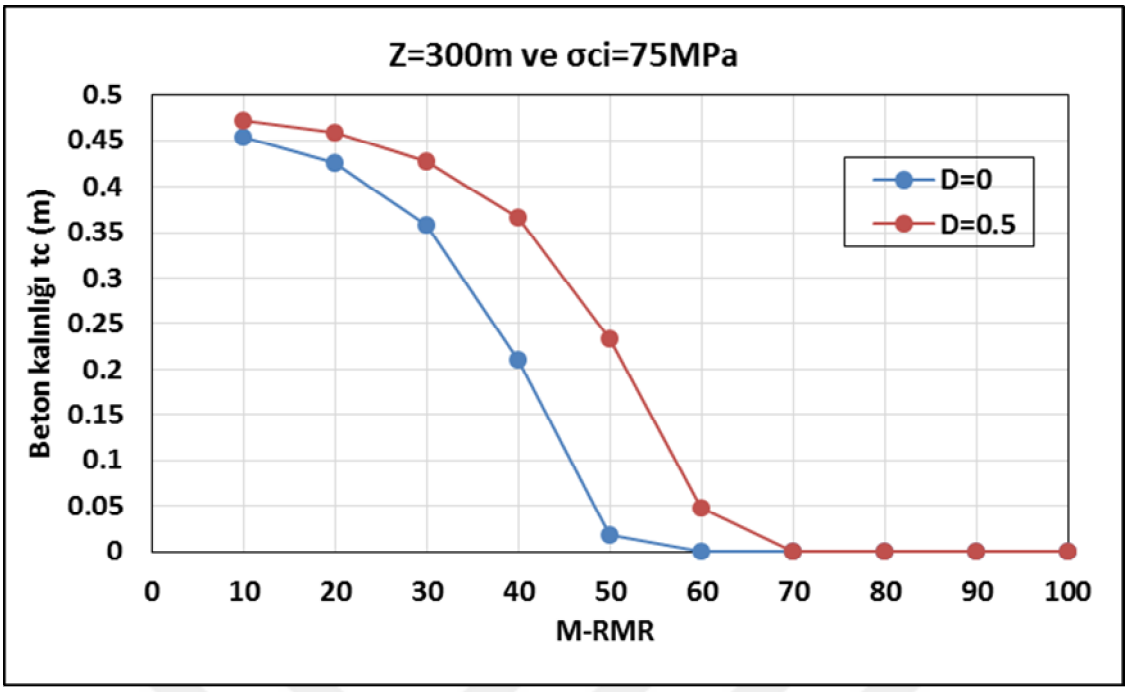
Şekil 4.23. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=300m ve D=0.5 koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



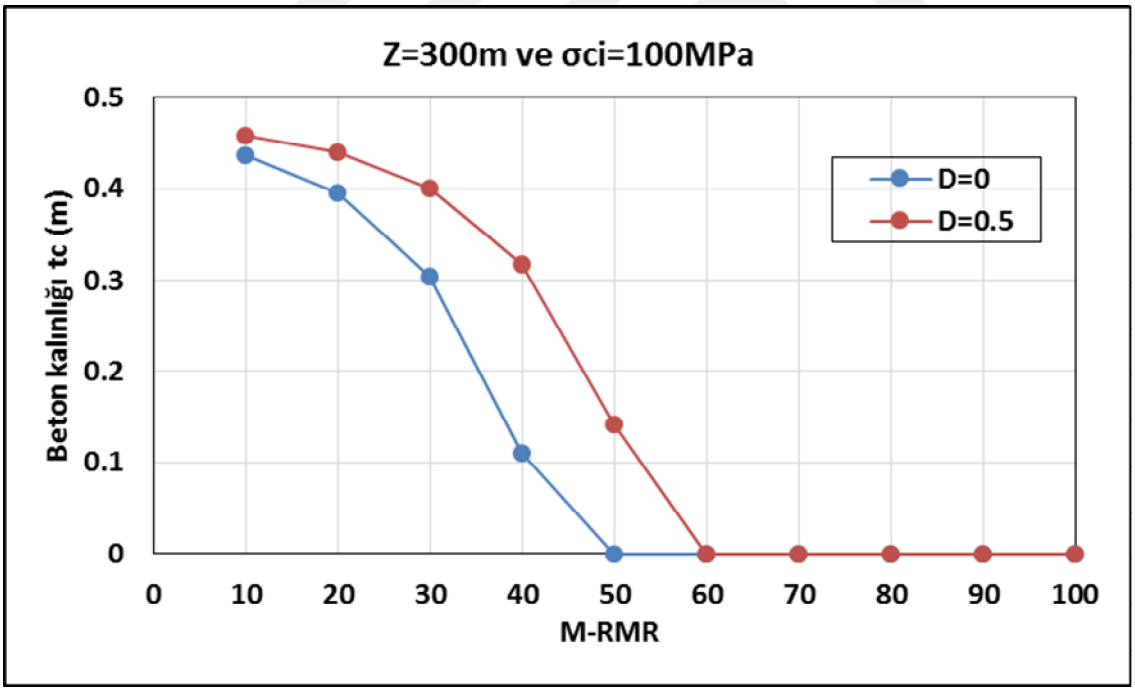
Şekil 4.24. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=300m ve σ_{ci}=25 MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.25. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=300m ve σ_{ci}=50 MPa koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.26. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=300m ve σ_{ci}=75 MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.27. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=300m ve σ_{ci}=100 MPa koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı

4.6.3. Derinlik 500m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 161-240)

Düşey maden kuyusunun 500m derinliğinde alınan iki boyutlu kesiti üzerinde oluşturan 80 analiz ayrı senaryo için yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.11 ve 4.12'de topluca verilmiştir. Genel olarak iki ana sütundan oluşan bu çizelgelerde birinci sütunda temel tasarım girdi parametreleri (derinlik, tek eksenli basma dayanımı, M-RMR, örselenme durumu) verilmiştir. Aynı çizelgede ikinci temel sütunda ise tasarım çıktı verileri (beton kalınlığı, en büyük asal gerilme , toplam yerdeğiştirme ve yenilme bölgesi kalınlığı) sunulmuştur.

Sayısal analizler yardımıyla belirlenen ve Çizelge 4.11 ve 4.12 sunulan veriler kullanılarak yardımıyla Şekil 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32 ve 4.33 görülen grafikler hazırlanmıştır.

Derinlik (Z) 500m ve kuyunun hasarsız kazı (D=0) ile açılması durumunda C20 beton sınıfında optimum beton tahkimat kalınlıklarının farklı kaya dayanım (σ_{ci}) değerlerindeki M-RMR'ye bağlı davranışı Şekil 4.28'de görülmektedir. Benzer şekilde hasarlı patlatma (D=0.5) koşulu altındaki beton kalınlıklarının değişimi ise Şekil 4.29'da sunulmuştur. Bu hazırlanan grafiklere göre beton kalınlıklarının sistematik bir şekilde M-RMR değerleri arttıkça üstel bir karekterde azaldığı tespit edilmktedir. Kayacın tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) arttıkça gerekli beton kalınlığı değerleri azalmaktadır. Bununla birlikte M-RMR değerinin genelde 60'nın üstünde olması durumunda gerekli beton kalınlıkları sıfır olmaktadır.

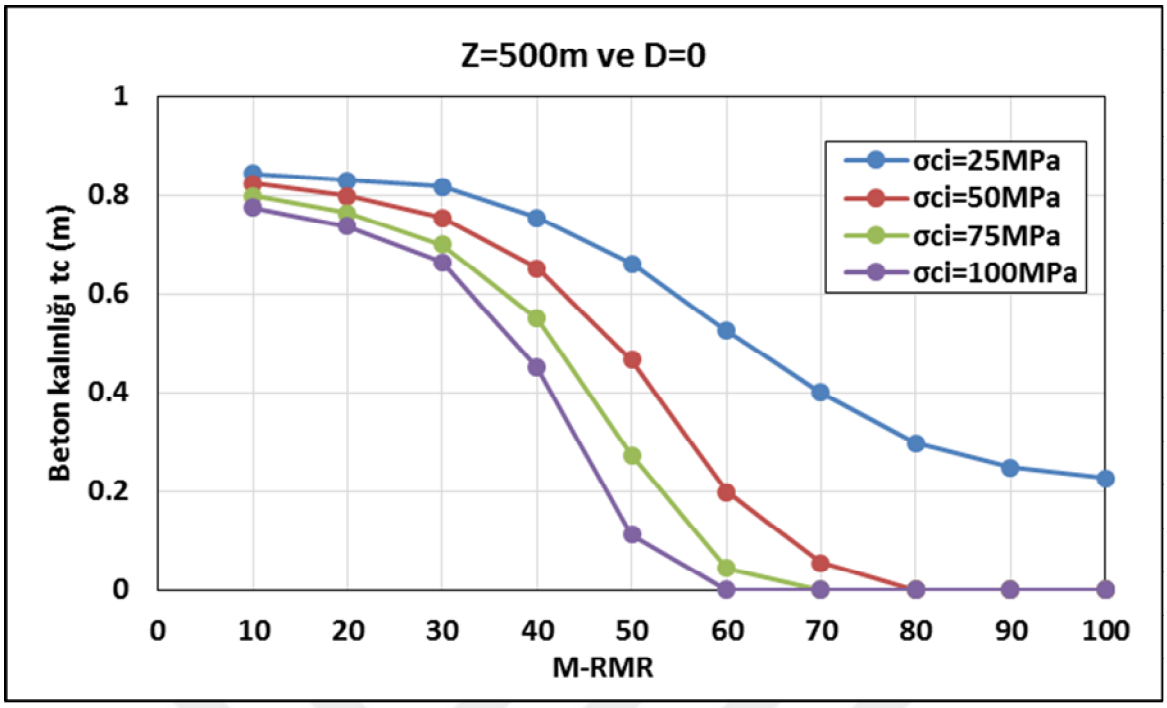
Şekil 4.30-4.33'de sunulan grafiklerde de gerekli beton tahkimat kalınlığı M-RMR değerleri arttıkça üstel karekterde azaldığı dikkat çekmektedir. Analizlere tabi tutulan kaya dayanımlarının artması durumunda özellikle 50, 75 ve 100 MPa değerlerinde genelde M-RMR değerinin 60'nın üzerinde olması halinde gerekli beton kalınlığı sıfır olmaktadır. Aynı zamanda kuyunun açılmasında kullanılan patlatmanın hasar derecesi artması ile gerekli beton kalınlığı artmaktadır.

Çizelge 4.11. Z=500m derinliği, D=0 ve P_0 = 12.5 MPa olması durumunda sayısal analiz sonuçları

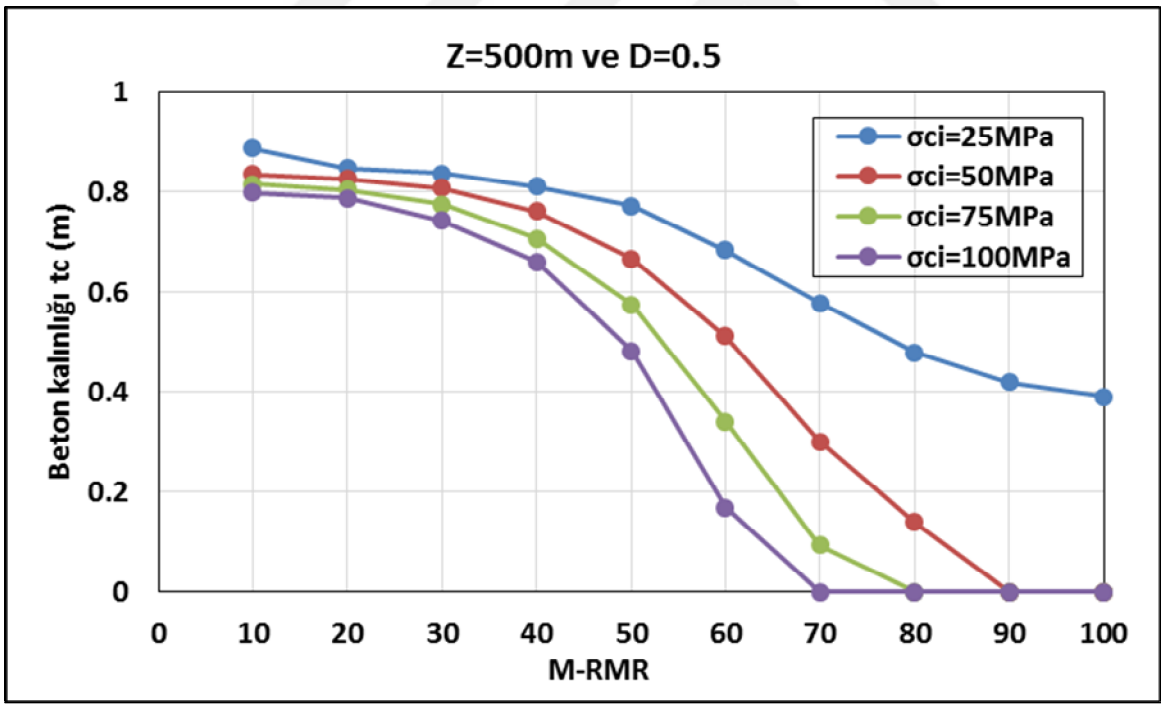
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo NO	t_c (m)	σ_1 (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
500	25	10	0	161	0.843	4.50	2.70e+000	13.201	5600
		20		162	0.83	4.50	1.10e+000	8.494	4320
		30		163	0.817	5.50	4.00e-001	5.429	3200
		40		164	0.755	5.50	1.54e-001	4.008	2560
		50		165	0.661	7.50	6.60e-002	2.797	1920
		60		166	0.525	8.50	3.15e-002	1.755	1280
		70		167	0.4	10.35	2.07e-002	1.294	960
		80		168	0.298	15.60	1.50e-002	0.661	480
		90		169	0.248	21.15	1.32e-002	0.269	160
		100		170	0.226	23.50	1.27e-002	0	0
	50	10	0	171	0.824	5.00	5.50e-001	5.821	3360
		20		172	0.799	4.95	2.85e-001	4.006	2560
		30		173	0.754	6.10	1.27e-001	2.796	1920
		40		174	0.652	7.50	5.25e-002	1.994	1440
		50		175	0.465	9.00	2.55e-002	1.291	960
		60		176	0.199	13.20	1.44e-002	0.861	640
		70		177	0.054	14.40	9.90e-003	0.649	480
		80		178	0	19.85	8.05e-003	0.269	160
		90		179	0	24.00	7.35e-003	0	0
		100		180	0	24.00	6.90e-003	0	0
	75	10	0	181	0.799	5.50	2.70e-001	4.007	2560
		20		182	0.764	6.05	1.50e-001	2.802	1920
		30		183	0.7	7.10	6.90e-002	2.00	1440
		40		184	0.55	8.50	3.15e-002	1.285	960
		50		185	0.273	11.25	1.61e-002	0.857	640
		60		186	0.044	11.50	9.90e-003	0.656	480
		70		187	0	18.20	6.60e-003	0.459	320
		80		188	0	24.00	5.25e-003	0	0
		90		189	0	24.00	4.75e-003	0	0
		100		190	0	24.00	4.60e-002	0	0
	100	10	0	191	0.775	5.50	1.76e-001	3.090	2080
		20		192	0.738	5.50	9.90e-002	2.247	1600
		30		193	0.664	6.60	4.75e-002	1.514	1120
		40		194	0.45	10.00	2.19e-002	1.068	800
		50		195	0.112	13.20	1.21e-002	0.654	480
		60		196	0	13.95	7.35e-003	0.461	320
		70		197	0	22.60	4.80e-003	0.272	160
		80		198	0	24.00	4.00e-003	0	0
		90		199	0	24.00	3.60e-003	0	0
		100		200	0	24.00	3.45e-003	0	0

Çizelge 4.12. Z=500m derinliği, D=0.5 ve P_0 = 12.5 MPa koşulu altında sayısal analiz sonuçları

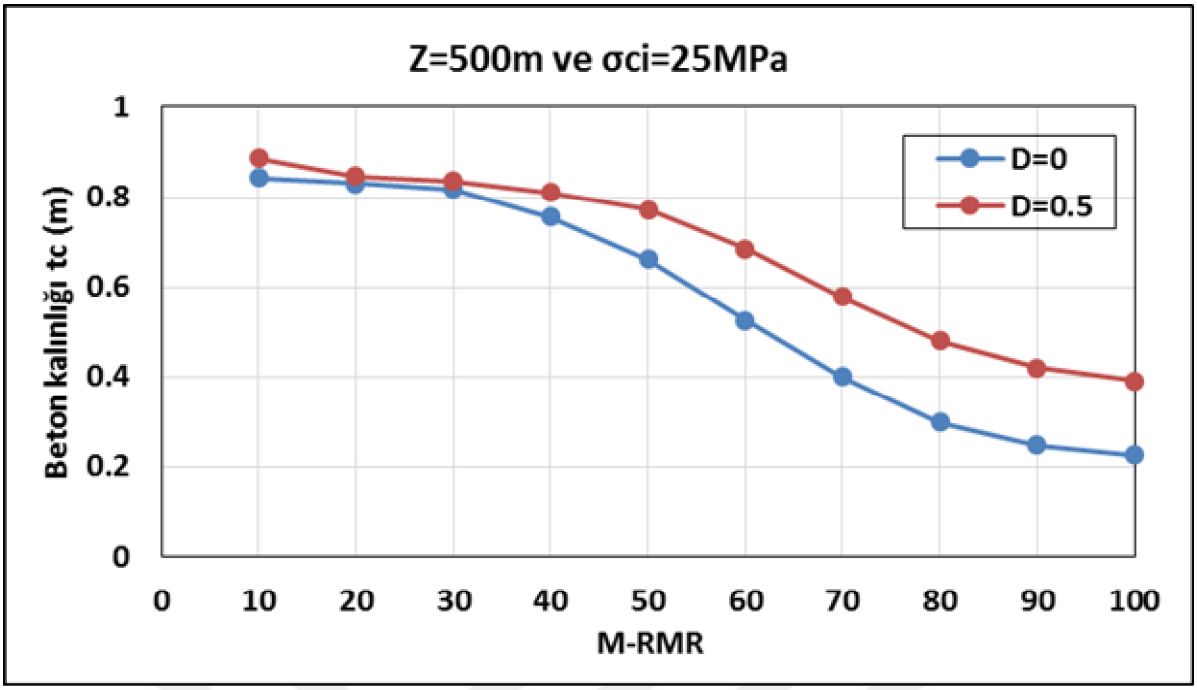
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo No	t_c (m)	σ_1 (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
500	25	10	0.5	201	0.886	4.40	1.54e+001	41.849	9600
		20		202	0.847	4.50	7.00e+000	25.879	7840
		30		203	0.836	4.50	2.19e+000	14.635	5920
		40		204	0.81	5.00	6.30e-001	8.509	4320
		50		205	0.771	6.00	1.96e-001	4.685	2880
		60		206	0.684	7.00	7.35e-002	2.800	1920
		70		207	0.578	8.00	3.60e-002	1.745	1280
		80		208	0.48	12.00	2.30e-002	0.854	640
		90		209	0.42	18.80	1.80e-002	0.271	160
		100		210	0.39	22.50	1.61e-002	0	0
	50	10	0.5	211	0.834	4.60	3.30e+000	20.544	7040
		20		212	0.825	4.50	1.20e+000	11.272	5120
		30		213	0.806	5.10	4.40e-001	6.643	3680
		40		214	0.76	5.50	1.65e-001	4.010	2560
		50		215	0.667	7.00	6.30e-002	2.517	1760
		60		216	0.511	9.10	2.85e-002	1.518	1120
		70		217	0.301	14.00	1.54e-002	0.852	640
		80		218	0.14	19.80	1.15e-002	0.268	160
		90		219	0	24.00	9.90e-003	0	0
		100		220	0	24.00	9.60e-003	0	0
	75	10	0.5	221	0.815	4.50	1.10e+000	12.534	5440
		20		222	0.803	5.00	4.75e-001	7.078	3840
		30		223	0.774	6.00	1.96e-001	4.339	2720
		40		224	0.707	6.00	8.80e-002	2.754	1920
		50		225	0.575	7.60	3.60e-002	1.745	1280
		60		226	0.341	11.25	1.73e-002	0.854	640
		70		227	0.093	15.75	1.10e-002	0.453	320
		80		228	0	22.60	7.70e-003	0.270	160
		90		229	0	24.00	6.60e-003	0	0
		100		230	0	24.60	6.60e-003	0	0
	100	10	0.5	231	0.798	5.00	5.50e-001	9.016	4480
		20		232	0.786	5.50	2.70e-001	5.057	3040
		30		233	0.742	6.00	1.27e-001	3.380	2240
		40		234	0.66	7.10	5.75e-002	1.987	1440
		50		235	0.482	9.00	2.55e-002	1.287	960
		60		236	0.169	14.40	1.32e-002	0.647	480
		70		237	0	12.60	8.80e-002	0.654	480
		80		238	0	24.60	6.00e-002	0	0
		90		239	0	24.60	5.00e-003	0	0
		100		240	0	24.60	4.80e-003	0	0



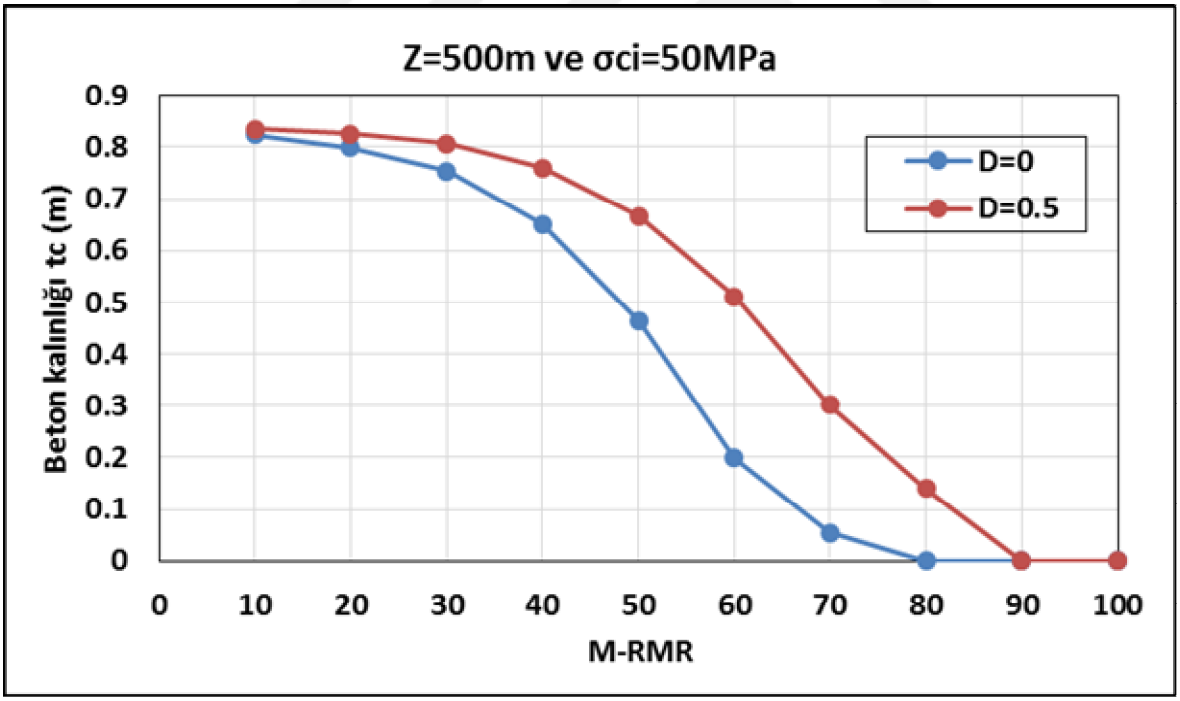
Şekil 4.28. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=500m ve D=0 koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



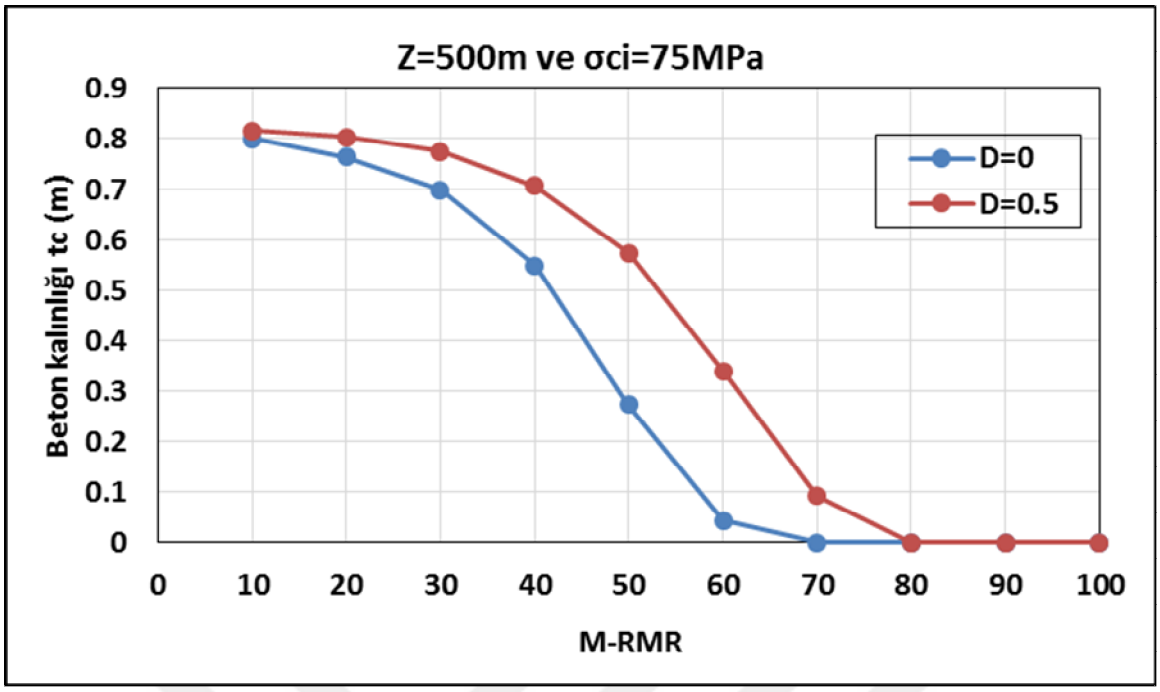
Şekil 4.29. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=500m ve D=0.5 olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



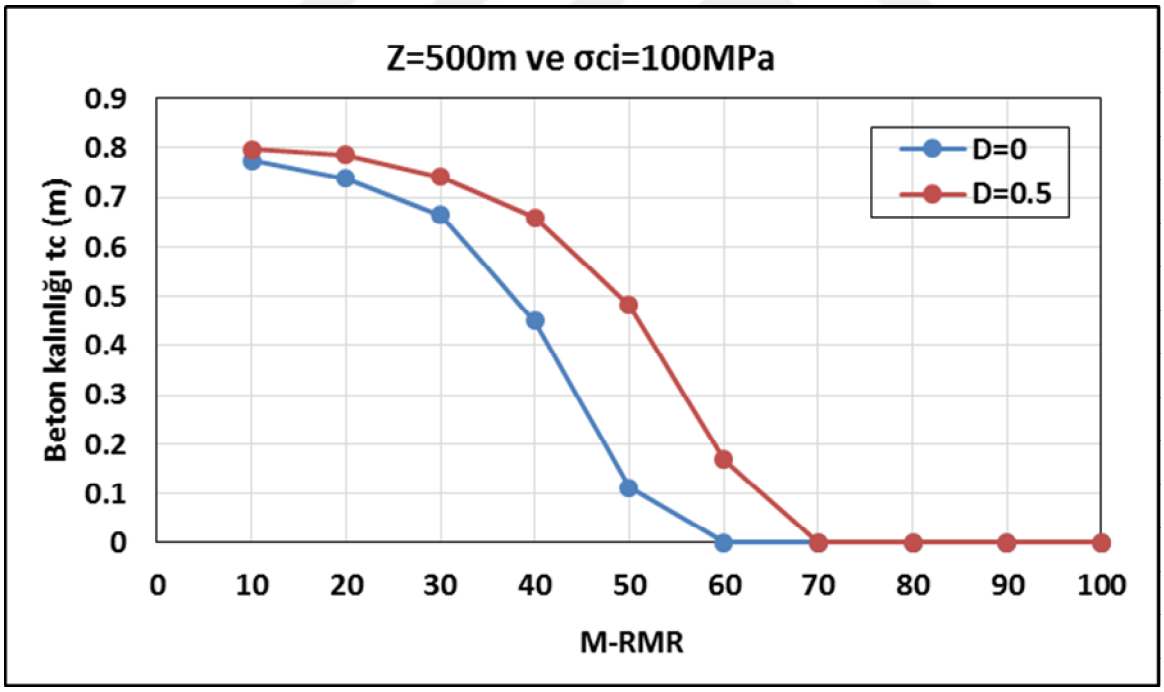
Şekil 4.30. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=500m ve σ_{ci}=25 MPa koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.31. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=500m ve σ_{ci}=50 MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.31. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=500m ve σ_{ci}=75 MPa koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.33. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=500m ve σ_{ci}=100 MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı

4.6.4. Derinlik 700m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 241-320)

Phase2 yardımıyla gerçekleştirilen sayısal çözümleme sonuçlarında düşey maden kuyusunun 700m derinliğinde alınan iki boyutlu kesiti üzerinde yapılan analizler için Çizelge 4.13 ve 4.14'de topluca verilmiştir. Bu sunulan iki çizelgede iki ana sütun bulunmaktadır. Bu çizelgelerde derinlik, tek eksenli basma dayanımı, M-RMR, örselenme durumu birinci sütunda temel tasarım girdi parametreleri olarak verilirken ikinci temel sütunda tasarım çıktı verileri beton kalınlığı, en büyük asal gerilme, toplam yerdeğiştirme ve yenilme bölgesi kalınlığı sunulmuştur.

Sayısal analizler yardımıyla hazırlanan Çizelge 4.13 ve 4.14 verileri kullanılarak Şekil 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38 ve 4.39'de görülen grafikler hazırlanmıştır.

Şekil 4.34'de derinlik (Z) 700m ve kuyunun hasarsız kazı (D=0) ile açılması durumunda C20 beton sınıfında optimum beton tahkimat kalınlıklarının farklı kaya dayanım (σ_{ci}) değerlerindeki M-RMR'ye bağlı davranışı sunulmuştur. Benzer şekilde Şekil 4.45'de kuyu kazısında hasarlı patlatma (D=0.5) durumunda beton kalınlıklarının değişimi verilmiştir. Her iki sunulan grafikten beton kalınlıklarının (t_c) sistematik bir şekilde M-RMR değerleri arttıkça üstel karekterde azaldığı görülmektedir. Kayacın tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) artması ile gerekli beton tahkimat kalınlığının (t_c) azaldığı aynı grafiklerden tepit edilmektedir. Bununla birlikte M-RMR değerinin genelde 70'nin üstünde olması durumunda gerekli beton kalınlıkları sıfır olmaktadır.

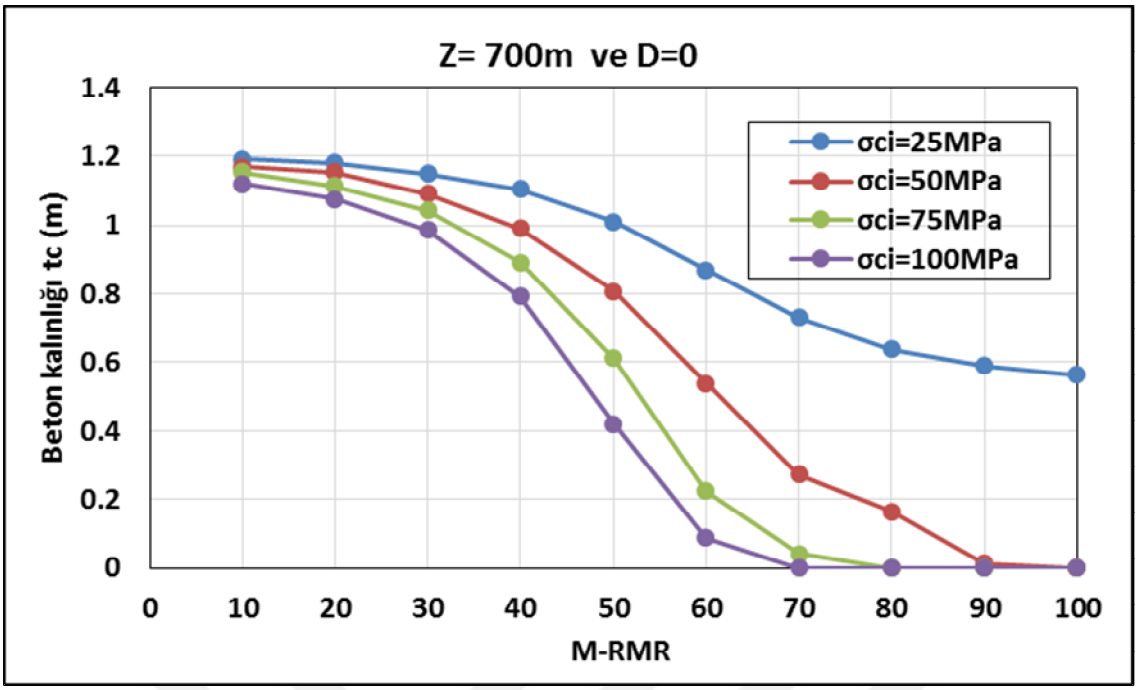
Gerekli beton tahkimat kalınlığı (t_c) M-RMR değerleri arttıkça üstel karekterde azalmaktadır. Bu durum Şekil 4.36-4.39'de sunulan grafiklerde de görülmektedir. Analizlere tabi tutulan kaya malzemenin tek eksenli basma dayanımlarının (σ_{ci}) artması ile özellikle 75 ve 100 MPa değerlerinde M-RMR değerinin 70'nin üzerinde olması koşulu altında gerekli beton kalınlığı sıfır olmaktadır. Bununla birlikte kuyunun açılmasında kullanılan patlatmanın hasar derecesi (D) artması ile gerekli beton kalınlığı buna bağlı olarak artmaktadır.

Çizelge 4.13. Z=700m derinliği, D=0 ve P_0 = 17.5 MPa koşulu altında sayısal analiz sonuçları

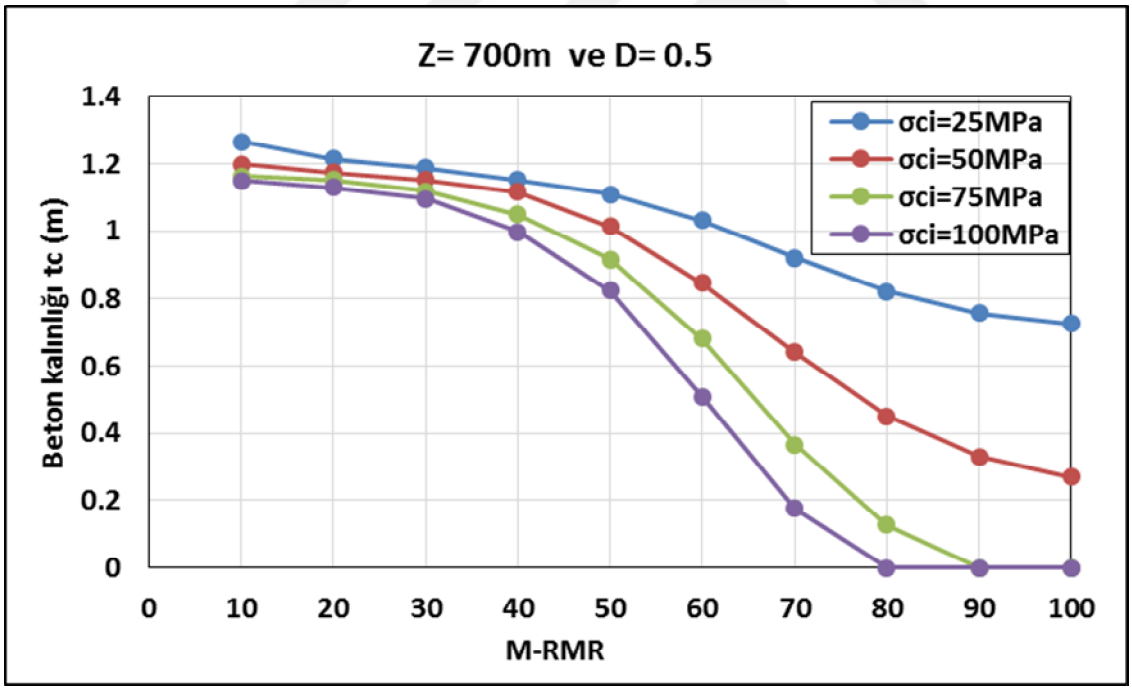
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo NO	t_c (m)	σ_1 (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
700	25	10	0	241	1.191	5.85	6.60e+001	19.601	6880
		20		242	1.18	6.30	2.40e+000	12.536	5440
		30		243	1.149	7.00	8.40e-001	8.002	4160
		40		244	1.106	7.00	2.85e-001	5.439	3200
		50		245	1.01	11.50	1.21e-001	3.688	2400
		60		246	0.869	10.50	5.25e-002	2.524	1760
		70		247	0.73	13.20	3.15e-002	1.755	1280
		80		248	0.638	15.40	2.19e-002	1.069	800
		90		249	0.589	22.00	1.84e-002	0.457	320
		100		250	0.564	31.80	1.65e-002	0	0
	50	10	0	251	1.169	6.30	1.15e-000	8.504	4320
		20		252	1.153	7.00	5.00e-001	5.433	3200
		30		253	1.092	10.40	2.30e-001	4.013	2560
		40		254	0.992	8.40	9.20e-002	2.749	1920
		50		255	0.809	9.90	4.00e-002	1.994	1440
		60		256	0.539	13.65	2.07e-002	1.291	960
		70		257	0.272	20.35	1.38e-002	0.656	480
		80		258	0.165	25.20	1.10e-002	0.462	320
		90		259	0.013	32.65	9.90e-003	0.272	160
		100		260	0	34.40	9.90e-003	0	0
	75	10	0	261	1.153	7.10	5.00e-001	5.432	3200
		20		262	1.115	7.70	2.40e-001	3.678	2400
		30		263	1.044	9.20	1.15e-001	2.796	1920
		40		264	0.892	9.90	5.00e-002	2.006	1440
		50		265	0.613	13.00	2.30e-002	1.288	960
		60		66	0.224	18.15	1.32e-002	0.852	640
		70		267	0.041	19.80	9.60e-003	0.654	480
		80		268	0	29.25	7.35e-003	0.272	160
		90		269	0	34.40	6.60e-003	0	0
		100		270	0	34.40	6.60e-003	0	0
	100	10	0	271	1.121	7.50	3.00e-001	4.014	2560
		20		272	1.077	7.50	1.86e-001	3.079	2080
		30		273	0.986	9.10	7.35e-002	1.994	1440
		40		274	0.792	11.70	3.30e-002	1.518	1120
		50		275	0.421	15.60	1.65e-002	0.856	640
		60		276	0.088	17.40	1.04e-002	0.656	480
		70		277	0	24.00	6.90e-003	0.460	320
		80		278	0	34.40	5.50e-003	0	0
		90		279	0	34.40	5.00e-003	0	0
		100		280	0	34.40	5.00e-003	0	0

Çizelge 4.14. Z=700m derinliği, D=0.5 ve P_0 = 17.5 MPa koşulu altında sayısal analiz sonuçları

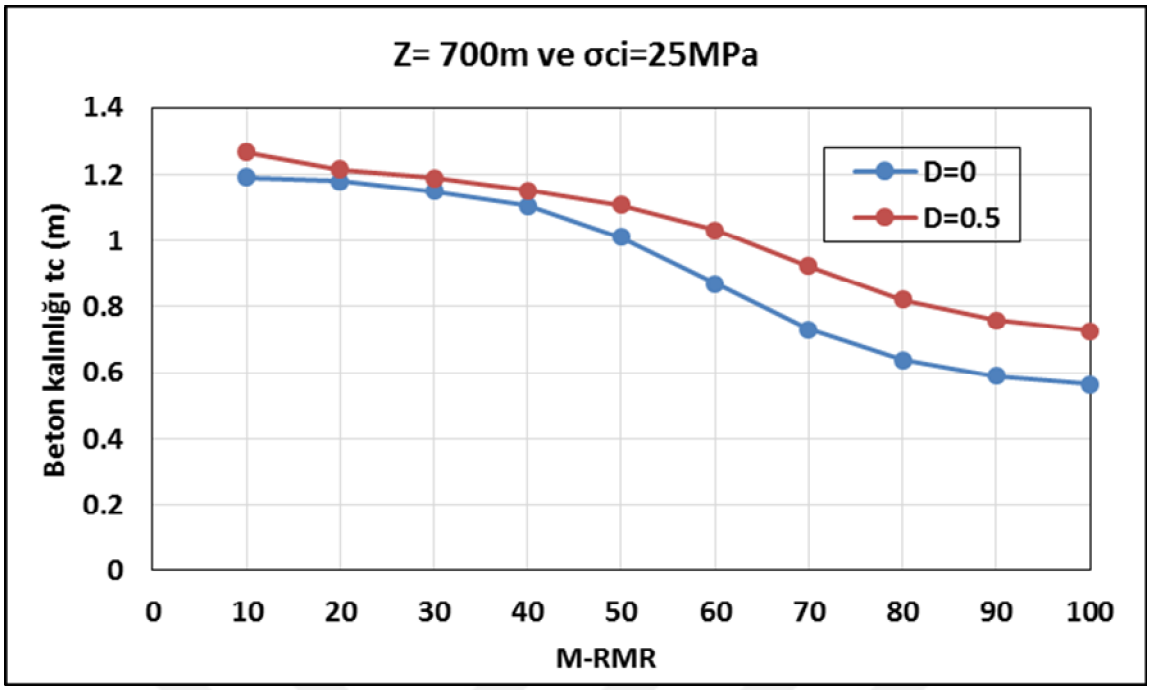
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo No	t_c (m)	σ_1 (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
700	25	10	0.5	281	1.266	6.50	3.45e+001	56.271	10720
		20		382	1.215	6.00	1.68e+001	38.506	9280
		30		383	1.188	5.85	5.25e+000	21.510	7200
		40		384	1.153	6.50	1.44e+000	12.505	5440
		50		385	1.109	7.00	3.80e-001	7.081	3840
		60		386	1.032	8.40	1.32e-001	4.008	2560
		70		387	0.922	1.50	5.75e-002	2.520	1760
		80		388	0.822	14.85	3.45e-002	1.511	1120
		90		389	0.758	21.00	2.40e-002	0.654	480
		100		390	0.726	31.20	2.19e-002	0	0
	50	10	0.5	391	1.198	6.10	7.70e+000	30.919	8480
		20		392	1.174	6.50	2.70e+000	16.955	6400
		30		393	1.151	6.30	9.20e-001	9.529	4640
		40		394	1.117	7.70	3.00e-001	5.423	3200
		50		395	1.014	9.10	1.05e-001	3.378	2240
		60		396	0.848	11.05	4.60e-002	2.251	1600
		70		397	0.642	15.95	2.30e-002	1.064	800
		80		398	0.452	22.55	1.54e-002	0.461	320
		90		399	0.331	32.65	1.32e-002	0	0
		100		340	0.271	32.65	1.21e-002	0	0
	75	10	0.5	341	1.163	5.85	2.70e+000	18.664	6720
		20		342	1.152	6.30	9.90e-001	10.103	4800
		30		343	1.118	7.00	3.80e-001	6.231	3520
		40		344	1.05	8.40	1.50e-001	3.667	2400
		50		345	0.916	9.80	5.75e-002	2.258	1600
		60		346	0.681	13.00	2.55e-002	1.286	960
		70		347	0.367	19.80	1.50e-002	0.654	480
		80		348	0.126	27.95	1.10e-002	0.269	160
		90		349	0	34.40	9.60e-003	0	0
		100		350	0	34.40	8.80e-003	0	0
	100	10	0.5	351	1.149	6.60	1.21e+000	13.187	5600
		20		352	1.129	7.00	5.25e-001	7.542	4000
		30		353	1.095	8.40	2.19e-001	4.346	2720
		40		354	0.998	8.40	9.45e-002	3.078	2080
		50		355	0.826	10.60	3.80e-002	1.749	1280
		60		356	0.51	15.60	1.84e-002	1.069	800
		70		357	0.176	17.70	1.20e-002	1.654	480
		80		358	0	30.55	8.40e-003	0.268	160
		90		359	0	34.40	7.20e-003	0	0
		100		320	0	34.40	6.60e-003	0	0



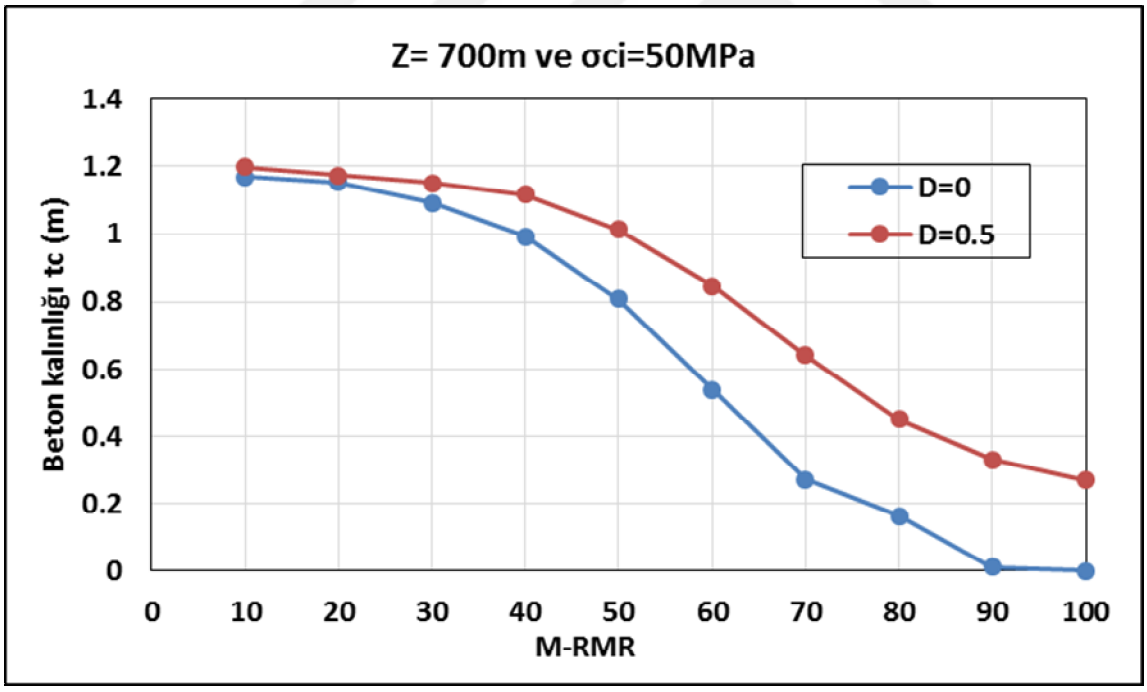
Şekil 4.34. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=700m ve D=0 durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



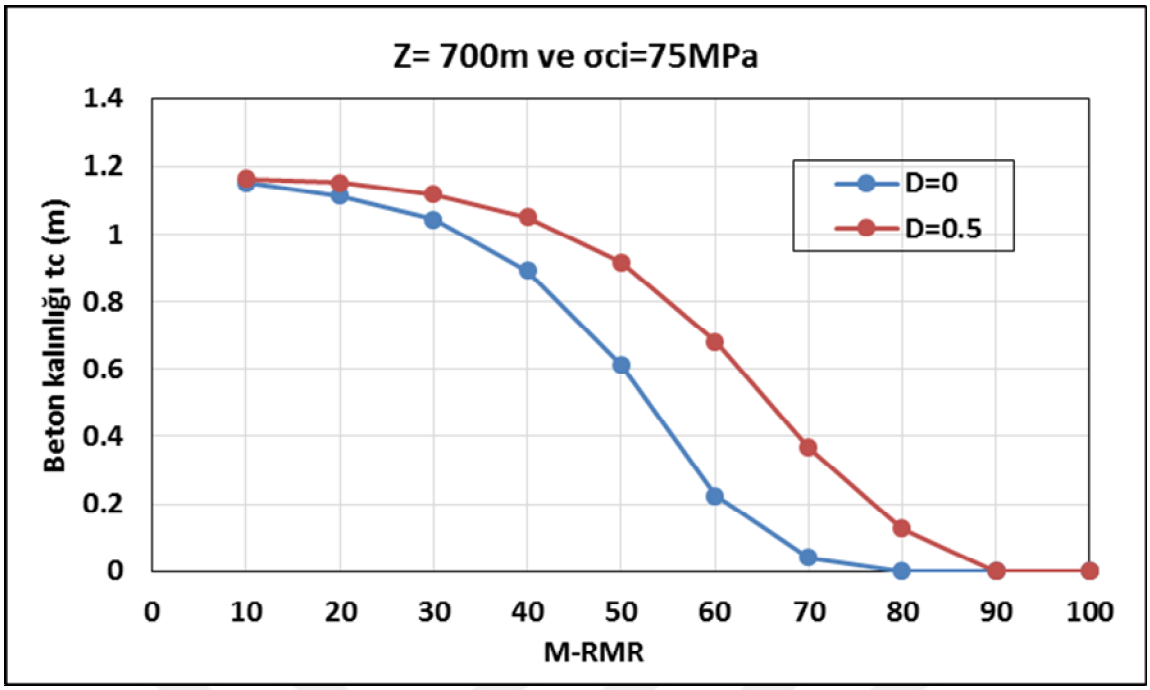
Şekil 4.35. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=700m ve D=0.5 koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



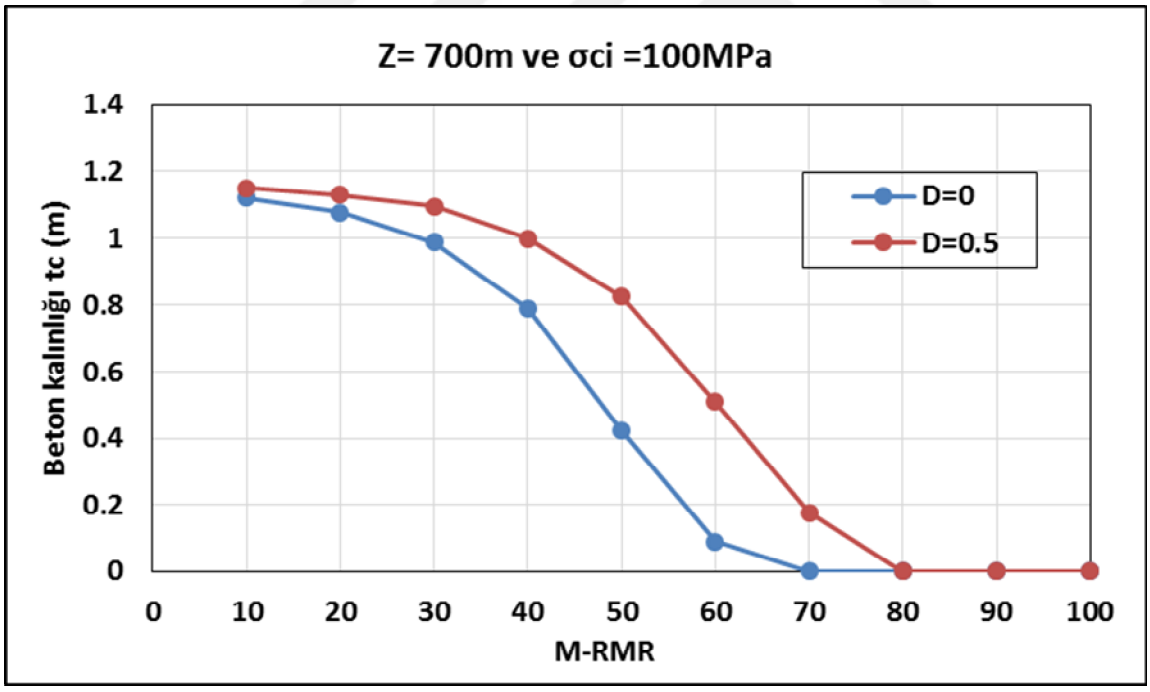
Şekil 4.36. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=700m ve σ_{ci}=25 MPa durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.37. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=700m ve σ_{ci}=50 MPa koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.38. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=700m ve σ_{ci}=75 MPa durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.39. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=700m ve σ_{ci}=100 MPa koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı

4.6.5. Derinlik 900m ve örselenme derecesi (D) 0 ve 0.5 koşulu altında sayısal analiz sonuçları (Senaryo 321-400)

Model düşey maden kuyusunun 900m derinliğinde alınan iki boyutlu kesiti üzerinde yapılan Phase2 sayısal analiz sonuçları topluca Çizelge 4.15 ve 4.16'de sunulmuştur. Genel olarak iki ana sütundan oluşan bu çizelgelerde birinci sütunda temel tasarım girdi parametreleri (derinlik, tek eksenli basma dayanımı, M-RMR, örselenme durumu) verilirken ikinci temel sütunda tasarım çıktı verileri (beton kalınlığı, en büyük asal gerilme, toplam yerdeğiştirme ve yenilme bölgesi kalınlığı) verilmiştir.

Çizelge 4.15 ve 4.16 sunulan veriler kullanılarak Şekil 4.40, 4.41, 4.42, 4.43, 4.44 ve 4.45 görülen grafikler Sayısal analizler yardımıyla hazırlanmıştır.

Şekil 4.40 derinlik (Z) 900m ve kuyunun hasarsız kazı (D=0) ile açılması durumunda C20 beton sınıfında optimum beton tahkimat kalınlıklarının farklı kaya dayanım (σ_{ci}) değerlerindeki M-RMR'ye bağlı davranışı göstermektedir. Benzer şekilde hasarlı patlatma (D=0.5) koşulu altındaki beton kalınlıklarının değişimi Şekil 4.41'da görülmektedir. Bu şekillere göre beton tahkimat kalınlıkları sistematik bir şekilde M-RMR değerleri arttıkça üstel karekterde azalmaktadır. Kayacın tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}) arttıkça gerekli beton kalınlığı azalmaktadır. Bununla birlikte M-RMR değerinin genelde 80'nin üstünde olması durumunda gerekli beton kalınlıkları sıfır olmaktadır.

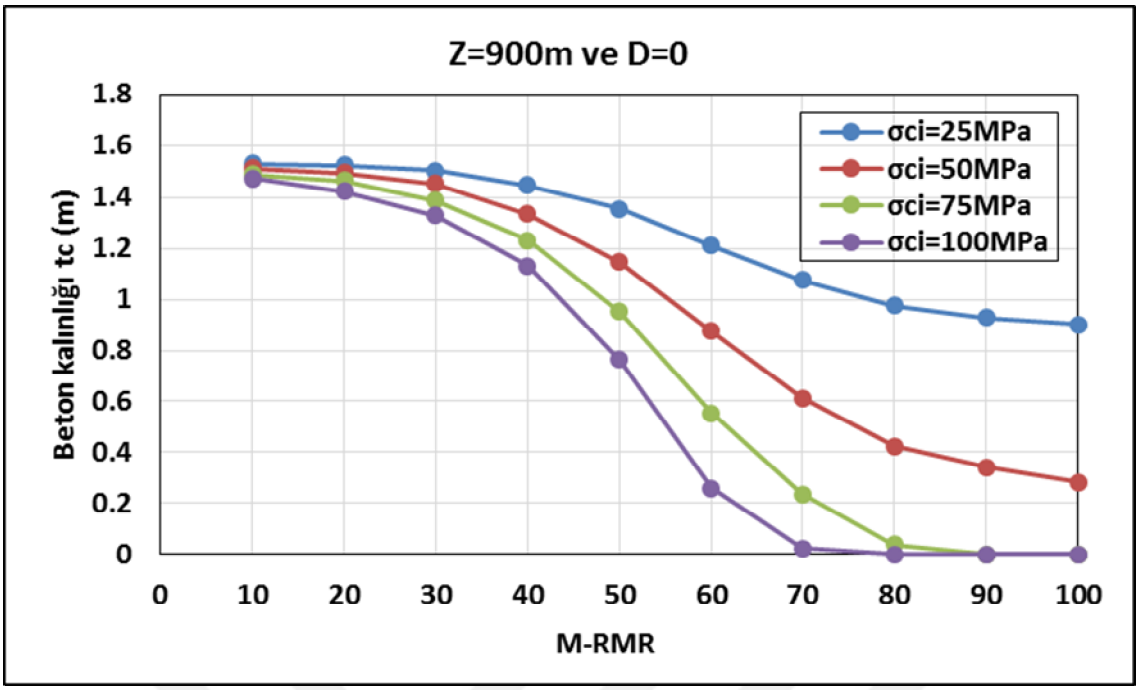
Şekil 4.42-4.45'de sunulan grafiklerde görüldüğü üzere gerekli beton tahkimat kalınlığı M-RMR değerleri arttıkça üstel karekterde azalmaktadır. Analizlere tabi tutulan kaya malzemesinin TEBD değeri özellikle 75 ve 100 MPa olması durumunda genelde M-RMR değerinin 80'nin üzerinde olması ile birlikte gerekli beton kalınlığı azalarak sıfır olmaktadır. Bununla birlikte kuyunun açılmasında kullanılan patlatmanın hasar derecesi (D) arttıkça gerekli beton kalınlığı artmaktadır.

Çizelge 4.15. Z=900m derinliği, D=0 ve P_0 = 22.5 MPa koşulu altında sayısal analiz sonuçları

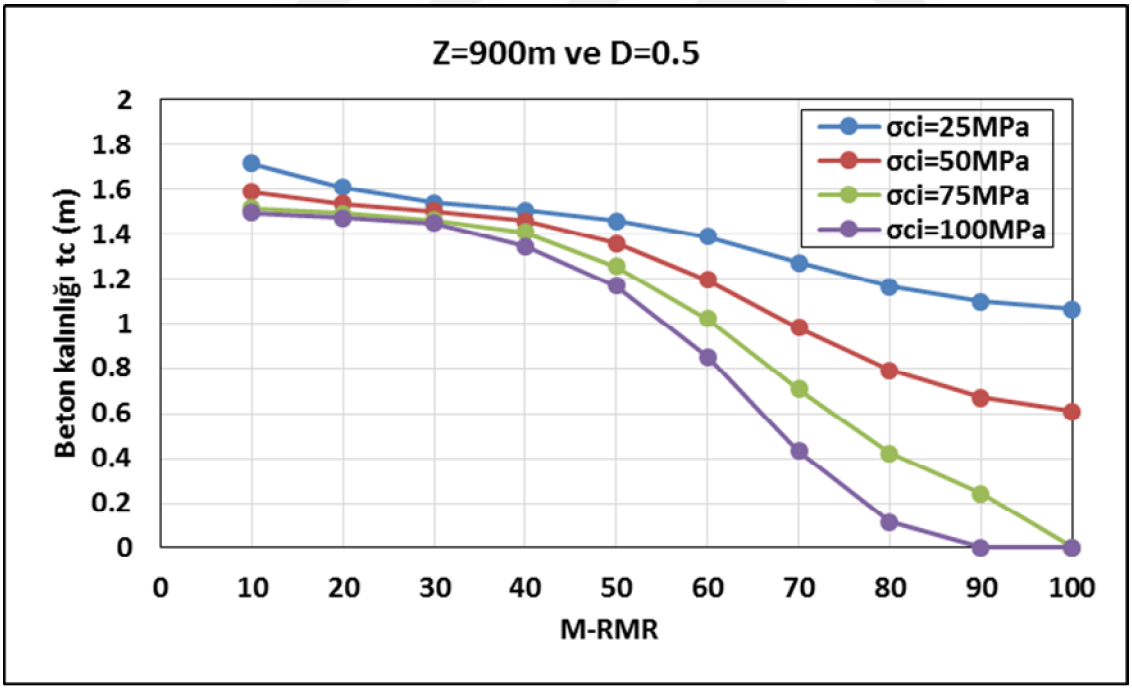
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo NO	t_c (m)	σ_1 (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
900	25	10	0	321	1.529	8.00	1.32e+001	27.056	8000
		20		322	1.523	7.65	4.60e+000	16.939	6400
		30		323	1.502	8.60	1.43e+000	10.675	4960
		40		324	1.448	9.00	4.60e-001	7.095	3840
		50		325	1.356	10.20	1.72e-001	4.695	2880
		60		326	1.21	12.00	8.05e-002	3.371	2240
		70		327	1.076	14.40	4.40e-002	2.260	1600
		80		328	0.976	18.90	3.00e-002	1.505	1120
		90		329	0.927	23.60	2.40e-002	0.852	640
		100		330	0.901	35.70	2.07e-002	0.271	160
	50	10	0	331	1.513	7.65	2.07e+000	11.261	5120
		20		332	1.493	9.00	8.80e-001	7.522	4000
		30		333	1.452	9.90	3.30e-001	5.041	3040
		40		334	1.335	10.90	1.32e-001	3.675	2400
		50		335	1.147	12.75	5.50e-002	2.511	1760
		60		336	0.875	14.45	2.85e-002	1.753	1280
		70		337	0.613	20.40	1.76e-002	1.063	800
		80		338	0.425	24.00	1.54e-002	0.651	480
		90		339	0.343	41.60	1.21e-002	0.269	160
		100		340	0.283	43.00	1.20e-002	0	0
	75	10	0	341	1.487	9	8.40e-001	7.137	3840
		20		342	1.463	10	3.80e-001	4.711	2880
		30		343	1.387	10.80	1.61e-001	3.409	2240
		40		344	1.232	12.75	6.90e-002	2.504	1760
		50		345	0.951	14.60	3.15e-002	1.763	1280
		60		346	0.554	19.50	1.73e-002	1.057	800
		70		347	0.237	25.90	1.20e-002	0.664	480
		80		348	0.039	32.0	9.90e-002	0.459	320
		90		349	0	43.60	8.80e-003	0	0
		100		350	0	43.60	8.40e-003	0	0
	100	10	0	351	1.474	9.00	4.60e-001	5.047	3040
		20		352	1.422	9.90	2.40e-001	3.690	2400
		30		353	1.329	11.80	1.10e-001	2.517	1760
		40		354	1.132	13.30	4.60e-002	1.748	1280
		50		355	0.764	17.00	2.28e-002	1.282	960
		60		356	0.259	23.25	1.27e-002	0.855	640
		70		357	0.024	24.30	9.20e-003	0.652	480
		80		358	0	38.25	7.35e-003	0.268	160
		90		359	0	43.60	6.60e-003	0	0
		100		360	0	43.60	6.30e-003	0	0

Çizelge 4.16. Z=900m derinliği, D=0.5 ve P_0 = 22.5 MPa koşulu altında sayısal analiz sonuçları

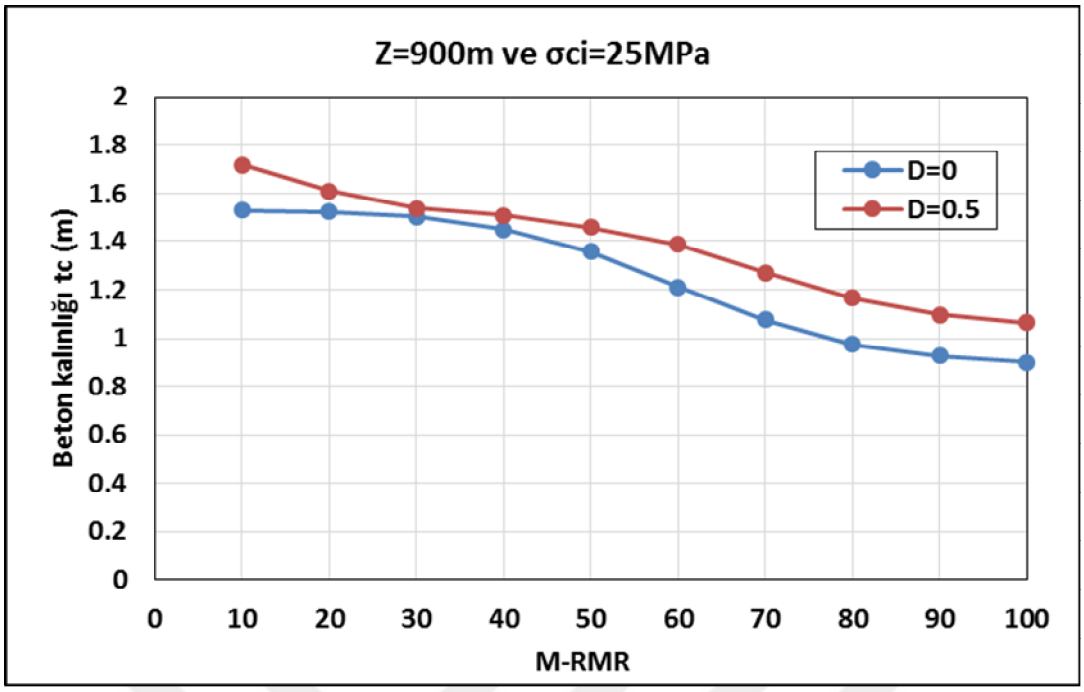
Tasarım Girdi Verisi					Tasarım Çıktı Verisi				
Z (m)	σ_{ci} (MPa)	M-RMR	D	Senaryo No	t_c (m)	σ_1 (MPa)	U (m)	Yenilme bölgesi Kalınlığı (m)	Yenilen Element Sayısı
900	25	10	0.5	361	1.716	9.00	5.25e+001	66.271	11360
		20		362	1.61	8.40	2.70e+001	45.565	9920
		30		363	1.538	80.00	1.04e+001	29.571	8320
		40		364	1.507	8.50	2.55e+000	16.130	6240
		50		365	1.459	8.50	6.60e-001	9.001	4480
		60		366	1.387	35.60	2.70e-002	0.270	160
		70		367	1.27	12.90	8.40e-002	3.068	2080
		80		368	1.165	13.60	5.00e-002	1.748	1280
		90		369	1.098	23.30	3.30e-002	0.856	640
		100		370	1.063	35.60	2.70e-002	0.270	160
	50	10	0.5	371	1.588	8.25	1.27e+001	38.538	9280
		20		372	1.535	8.10	5.25e+000	22.650	7360
		30		373	1.501	8.60	1.54e+000	12.572	5440
		40		374	1.459	9.45	5.00e-001	7.096	3840
		50		375	1.358	10.80	1.61e-001	4.351	2720
		60		376	1.196	12.60	6.30e-002	2.791	1920
		70		377	0.982	17.25	3.15e-002	1.507	1120
		80		378	0.79	24.70	2.04-002	0.854	640
		90		379	0.669	36.80	1.61e-002	0.283	160
		100		380	0.608	40.80	1.50e-002	0	0
	75	10	0.5	381	1.516	8.00	5.00e+000	25.856	7840
		20		382	1.493	8.50	1.84e+000	13.868	5760
		30		383	1.462	9.0	6.30e-001	7.995	4160
		40		384	1.41	9.90	2.19e-001	4.691	2880
		50		385	1.254	11.90	8.40e-002	3.077	2080
		60		386	1.02	14.55	3.60e-002	1.746	1280
		70		387	0.706	20.45	1.96e-002	1.067	800
		80		388	0.424	33.60	1.32e-002	0.470	320
		90		389	0.243	42.30	1.15e-002	0	0
		100		390	0	40.80	9.90e-003	0	0
	100	10	0.5	391	1.496	8.50	2.30e+000	15.842	6560
		20		392	1.471	8.60	9.20e-001	10.094	4800
		30		393	1.448	9.90	3.45e-001	5.428	3200
		40		394	1.345	10.80	1.38e-001	3.695	2400
		50		395	1.167	13.60	5.50e-002	2.255	1600
		60		396	0.849	16.90	2.55e-002	1.294	960
		70		397	0.434	21.00	1.56e-002	1.066	800
		80		398	0.116	36.00	1.08e-003	0.268	160
		90		399	0	43.60	9.20e-003	0	0
		100		400	0	43.60	8.40e-003	0	0



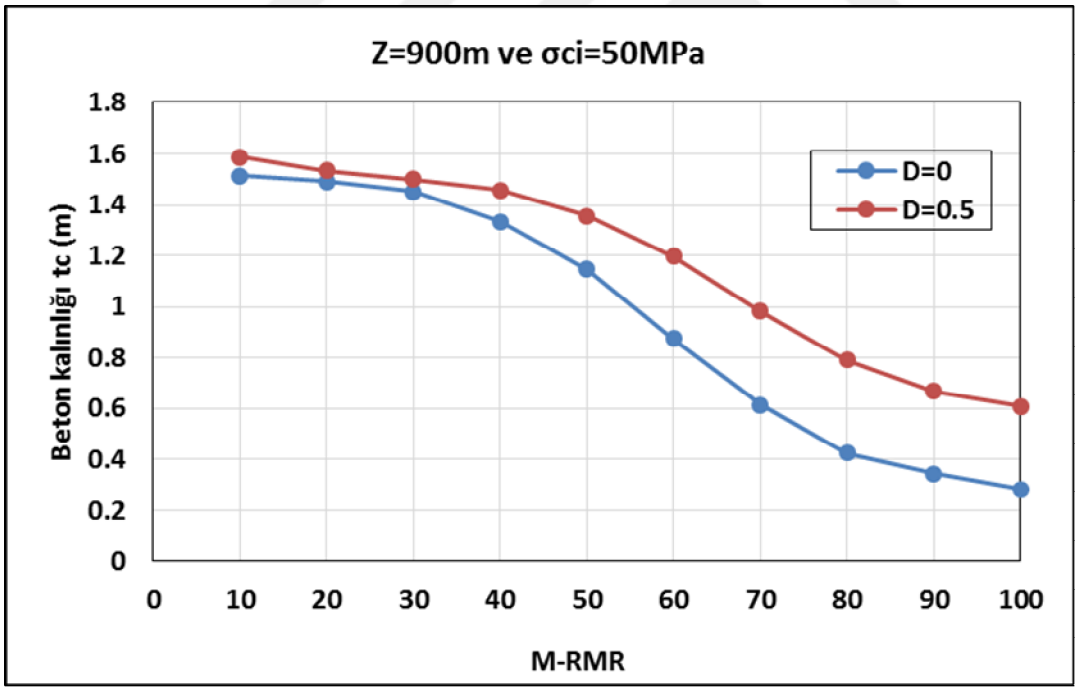
Şekil 4.40. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=900m ve D=0 olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



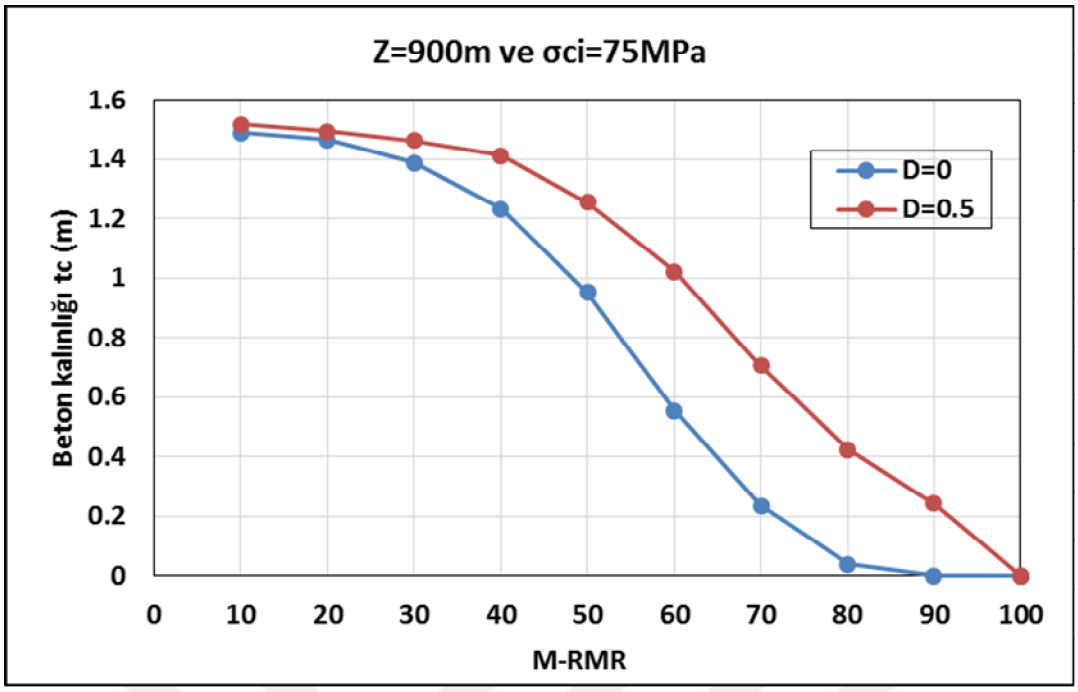
Şekil 4.41. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=900m ve D=0.5 koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı.



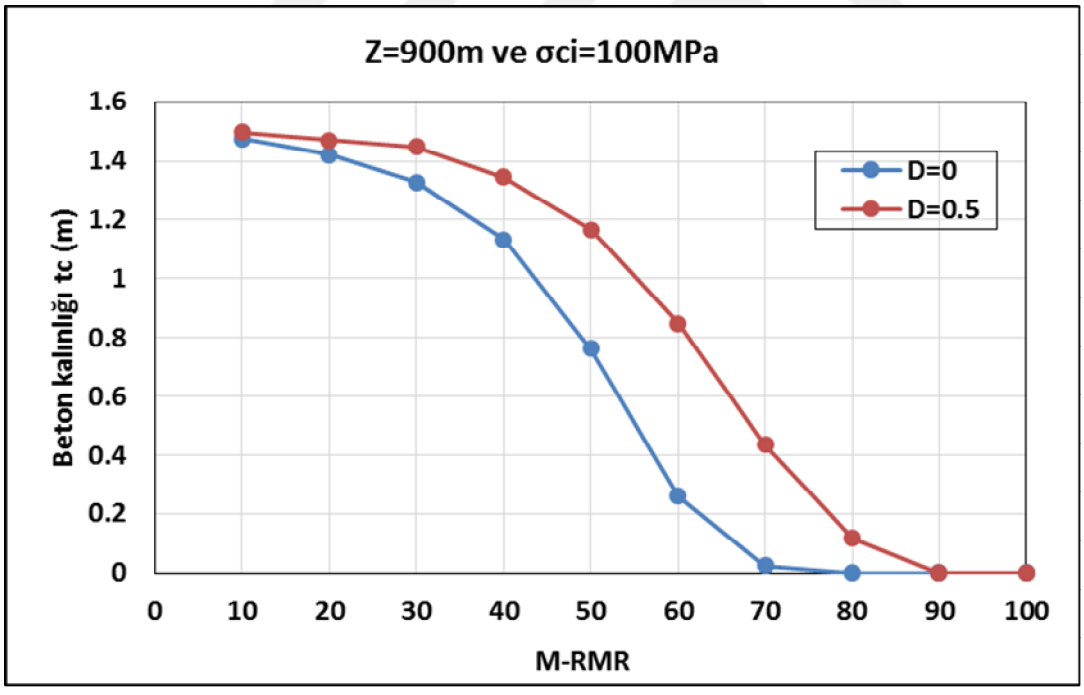
Şekil 4.42. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=900m ve σ_{ci}=25 MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.43. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=900m ve σ_{ci}=50 MPa koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.44. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=900m ve σ_{ci}=75 MPa olması durumunda farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı



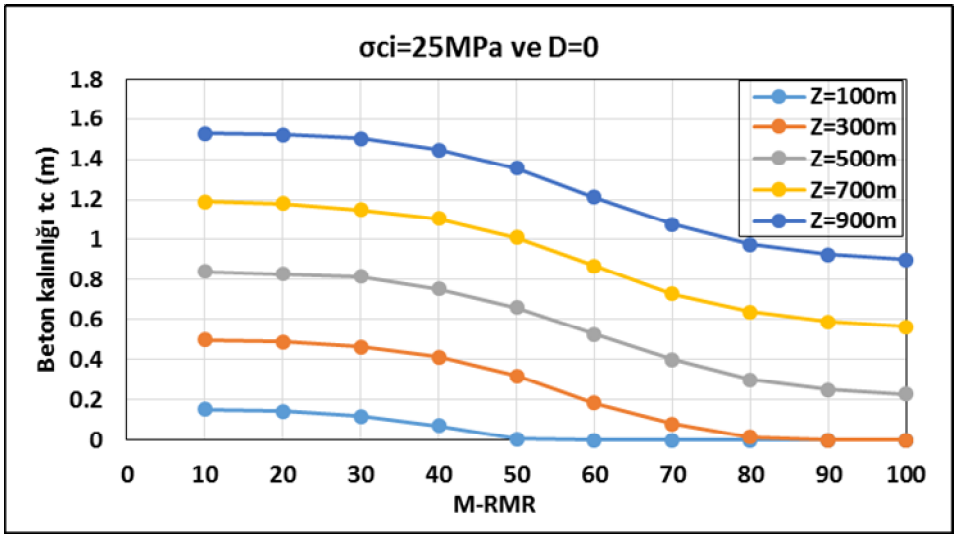
Şekil 4.45. Tahkimat beton kalınlıklarının Z=900m ve σ_{ci}=100 MPa koşulu altında farklı kaya dayanım değerlerinde M-RMR'ye bağlı davranışı

4.7. Genel Değerlendirme

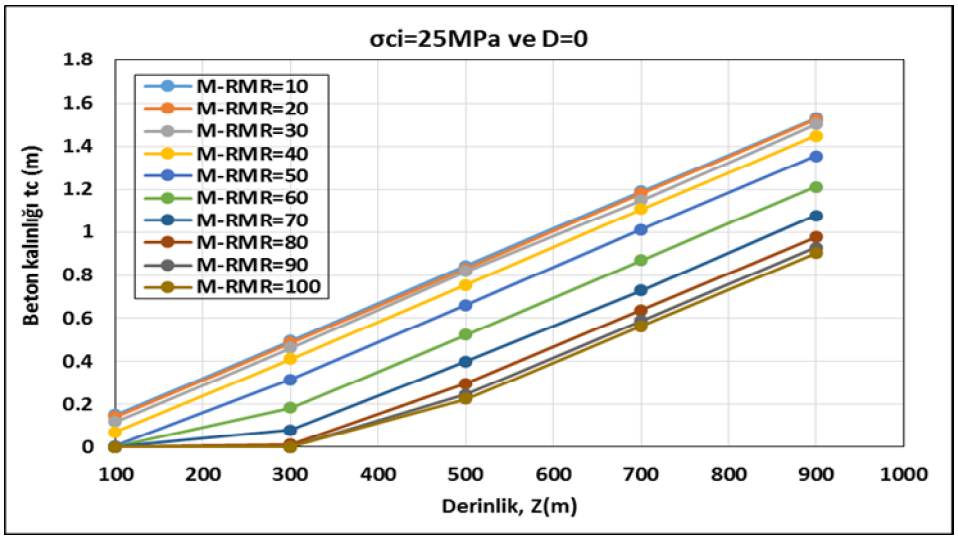
Bu başlık altında TEBD (Tek Eksenli Basma Dayanımı) değerleri sırasıyla 25 MPa, 50 MPa, 75 MPa ve 100 MPa için hasarsız ve hasarlı kazıya (D) ait sayısal analizler yardımıyla belirlenen C20 beton sınıfında optimum beton tahkimat kalınlıkları hakkında bilgileri sunulmuştur.

4.7.1. TEBD değeri 25 MPa durumunda hasarsız kazı (D=0) ve hasarlı Kazı (D=0.5) çalışmalarında optimum beton tahkimat kalınlıkları (t_c).

Tek eksenli basma dayanımı 25 MPa olması durumunda hasarsız kazı (D=0) koşulu için sayısal analizler yardımıyla beton kalınlık değişimleri gösteren iki ayrı grafik (Şekil 4.46 ve 4.47) hazırlanmıştır (Senaryo No: 1-10, 81-90, 161-170, 241-250, 321-330). Şekil 4.46'de M-RMR değerleri artarken beton kalınlığı değerlerinin azaldığı bununla birlikte derinlik değerlerinin artmasıyla beton kalınlıklarının sistematik bir şekilde azaldığı görülmektedir. Şekil 4.47'de görüldüğü üzere derinlik arttıkça beton kalınlık değerleri artmakta buna karşı M-RMR değerleri arttıkça gerekli beton kalınlık değerleri azalmaktadır.

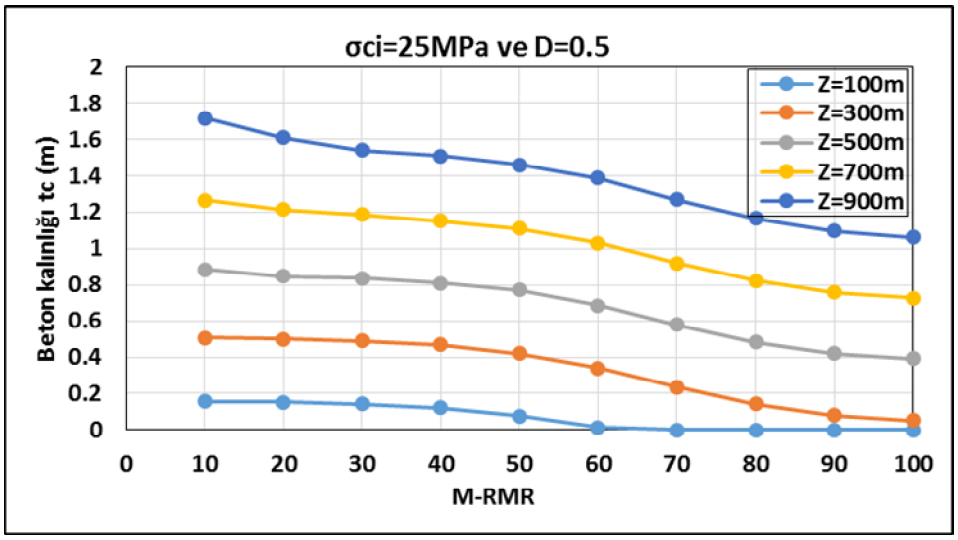


Şekil 4.46. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0 ve σ_{ci} =25 MPa olması durumunda M-RMR'ye bağlı davranışı

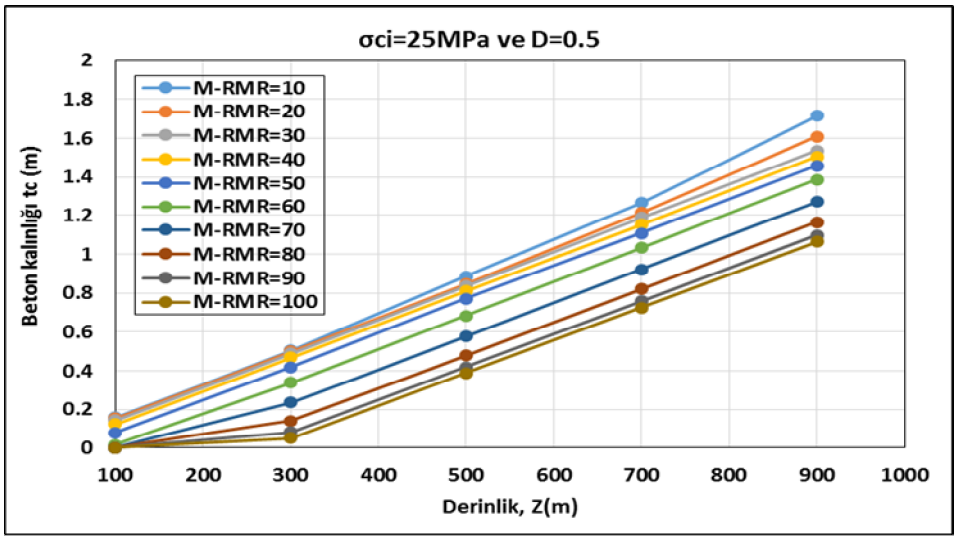


Şekil 4.47. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0 ve σ_{ci}=25 MPa koşulu altında M-RMR'ye bağlı davranışı

Sayısal analizler için tek eksenli basma dayanımı 25MPa olması ve hasarlı kazı (D=0.5) koşulu için beton kalınlıklarındaki (t_c) değişimleri Şekil 4.48 ve 4.49 verilmiştirştır (senaryo No: 41-50, 121-13, 201-210, 281-290, 361-370). Şekil 4.48'de M-RMR değerleri artarken beton kalınlığı değerlerinin azaldığı aynı zamanda derinlik değerlerinin azalmasıyla beton kalınlıklarının sistematik bir şekilde azaldığı görülmektedir. Derinlik arttıkça beton kalınlık değerlerinin arttığı buna karşı M-RMR değerlerinin artması ile gerekli beton tahkimat kalınlık (t_c) değerlerinin azaldığı Şekil 4.49'de görülmektedir.



Şekil 4.48. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0.5 ve σ_{ci}=25 MPa olması durumunda M-RMR'ye bağlı davranışı

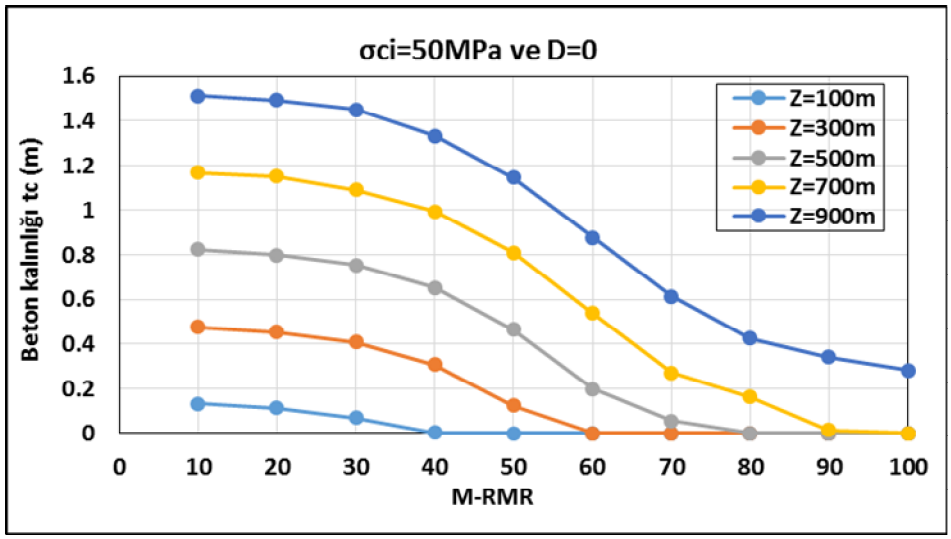


Şekil 4.49. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0.5 ve σ_{ci} =25 MPa koşulu altında M-RMR'ye bağlı davranışı

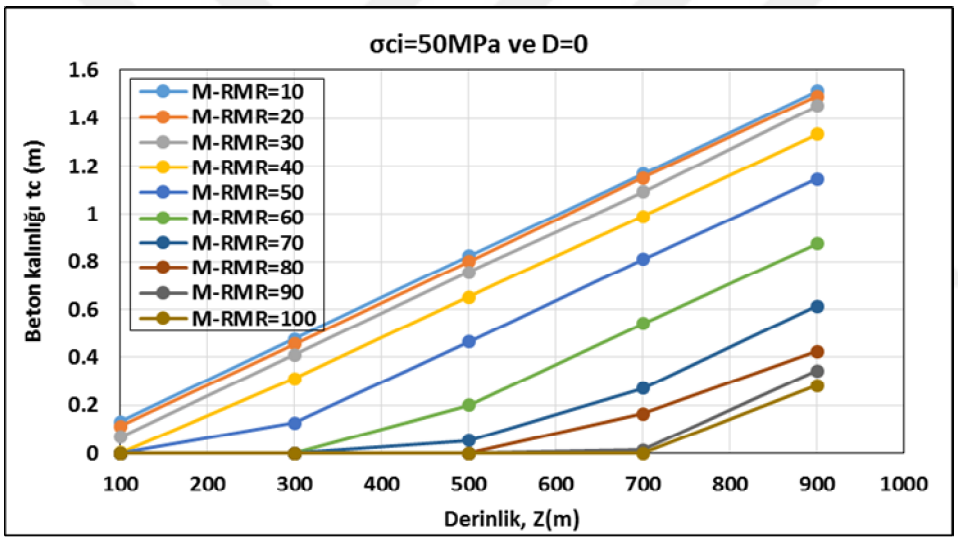
Hasarsız (D=0) ve hasarlı durum (D=0.5) için hazırlanan grafikler (Şekil 4.46, 4.47, 4.48, 4.49) karşılaştırıldığında aynı şartlar altında hasarlı durum için gerekli beton kalınlıklarının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

4.7.2. TEBD değeri 50MPa durumunda hasarsız kazı (D=0) ve hasarlı Kazı (D=0.5) çalışmalarında optimum beton tahkimat kalınlıkları (t_c).

Tek eksenli basma dayanımı 50 MPa iken hasarsız kazı (D=0) durumu için sayısal analizler yardımıyla beton kalınlık değişimleri gösteren iki ayrı grafik Şekil 4.50 ve 4.51'de hazırlanmıştır. Bu grafikler senaryo No: 11-20, 91-100, 171-180, 251-260 ve 331-340 için hazırlanmıştır. Şekil 4.50'de M-RMR değerleri azalırken beton kalınlığı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte derinlik değerlerinin artmasıyla beton kalınlıklarının sistematik bir şekilde azaldığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.51'te görüldüğü üzere derinlik değerlerinin azalması ve M-RMR değerlerinin artması ile gerekli beton kalınlık değerlerinin azaldığı anlaşılmaktadır.

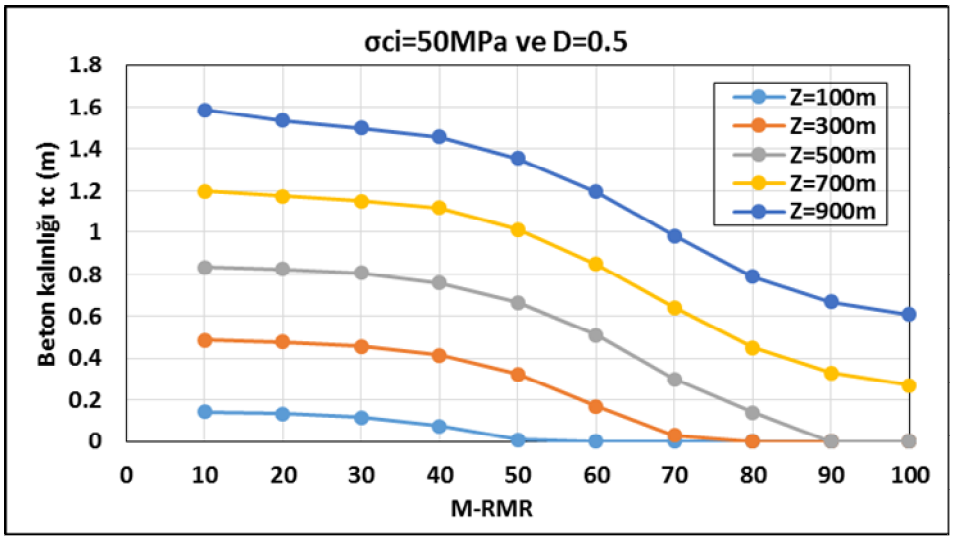


Şekil 4.50. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0 ve σ_{ci}=50 MPa durumu için M-RMR'ye bağlı davranışı

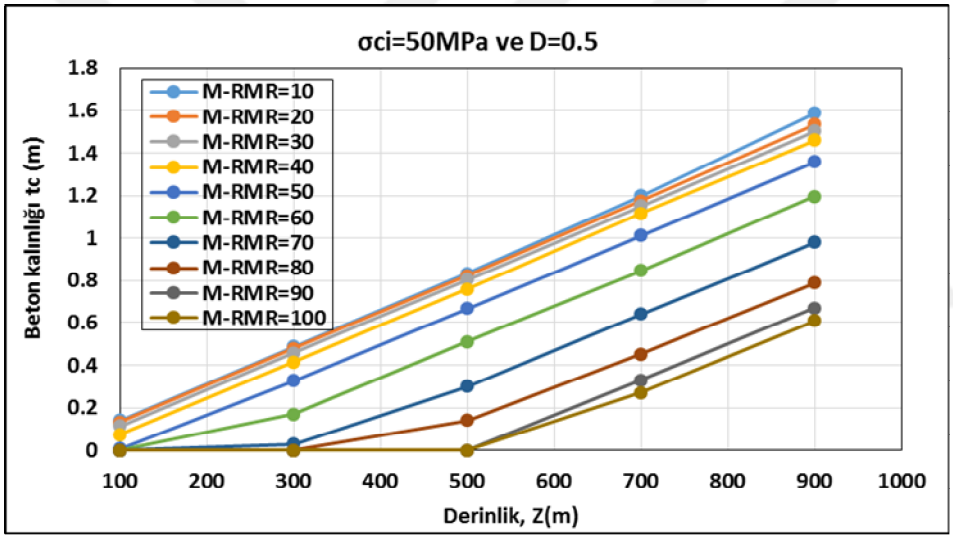


Şekil 4.51. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0 ve σ_{ci}=50 MPa koşulu için M-RMR'ye bağlı davranışı

Sayısal analizler için tek eksenli basma dayanımı 50 MPa olması durumunda hasarlı kazı (D=0.5) durumu için beton kalınlık (t_c) değişimleri iki ayrı grafik üzerinde gösterilmiştir. (Şekil 4.52 ve 4.53) bu gerçekler senaryo No: 51-60, 131-140, 211-220, 291-300 ve 361-380 için hazırlanmıştır. Şekil 4.52'da M-RMR değerleri azalırken beton kalınlığı değerlerinin arttığı bunula birlikte derinlik değerlerinin artmasıyla beton kalınlıklarının sistematik bir şekilde azaldığı görülmektedir. Şekil 4.53'de görüldüğü üzere derinlik azaldıkça beton kalınlık değerleri azalmakta buna karşı M-RMR değerleri azaldıkça gerekli beton tahkimat kalınlık (t_c) değerlerinin artmaktadır.



Şekil 4.52. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0.5 ve σ_{ci} =50 MPa durumu altında M-RMR'ye bağlı davranışı



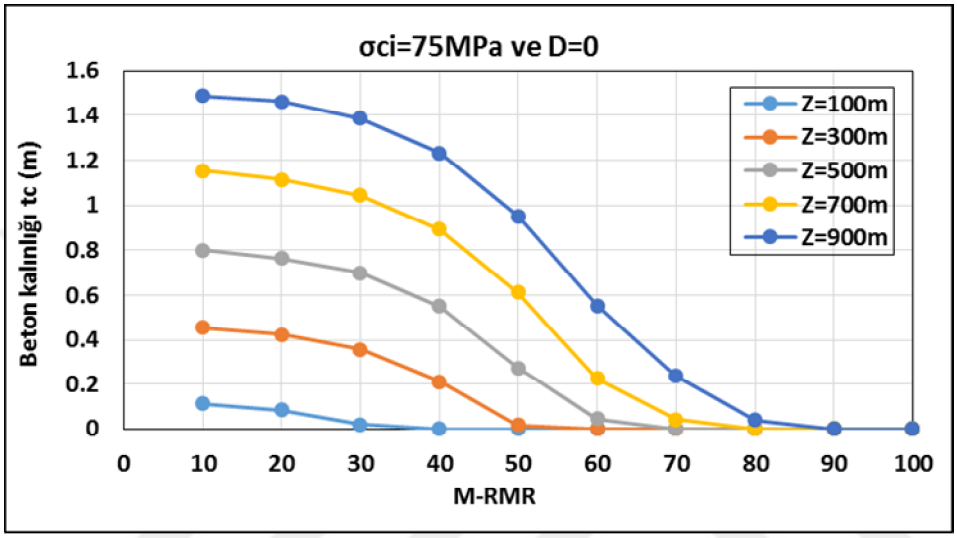
Şekil 4.53. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0.5 ve σ_{ci} =50 MPa koşulu için M-RMR'ye bağlı davranışı

Hasarsız (D=0) ve hasarlı kazı çalışma durum için (D=0.5) için hazırlanan grafikler (Şekil 4.50-4.53) karşılaştırıldığında aynı şartlar altında hasarlı (D=0.5) durum için gerekli beton kalınlıklarının daha fazla olduğu görülmektedir.

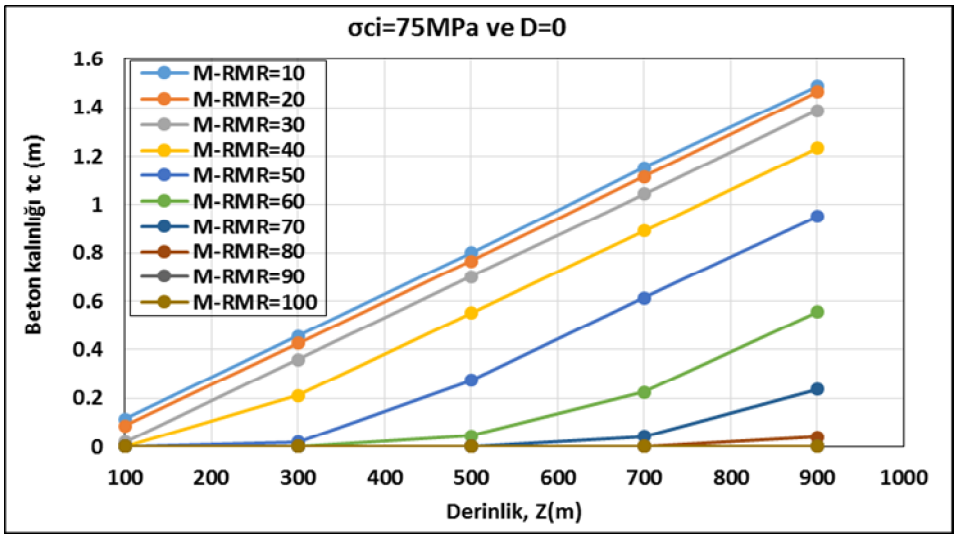
4.7.3. TEBD değeri 75 MPa durumunda hasarsız kazı (D=0) ve hasarlı Kazı (D=0.5) çalışmalarında optimum beton tahkimat kalınlıkları (t_c).

Senaryo No: 21-30, 101-110, 181-190, 261-270 ve 341-350 (D=0 ve ve σ_{ci} =75 MPa) için gerçekleştirilen analizler yardımıyla belirlenen beton kalınlık değişimleri

Şekil 4.54 ve 4.55'de sunulmuştur. Şekil 4.54'de görüldüğü üzere M-RMR değerleri artarken beton kalınlığı değerlerinin azaldığı bununla birlikte derinlik değerlerinin artmasıyla beton kalınlıklarının sistematik bir şekilde azaldığı görülmektedir. Şekil 4.55'de derinlik arttıkça beton kalınlık değerleri artmakta olduğu buna karşı M-RMR değerleri arttıkça gerekli beton tahkimat kalınlıklarının (t_c) azalmakta olduğu anlaşılmaktadır.



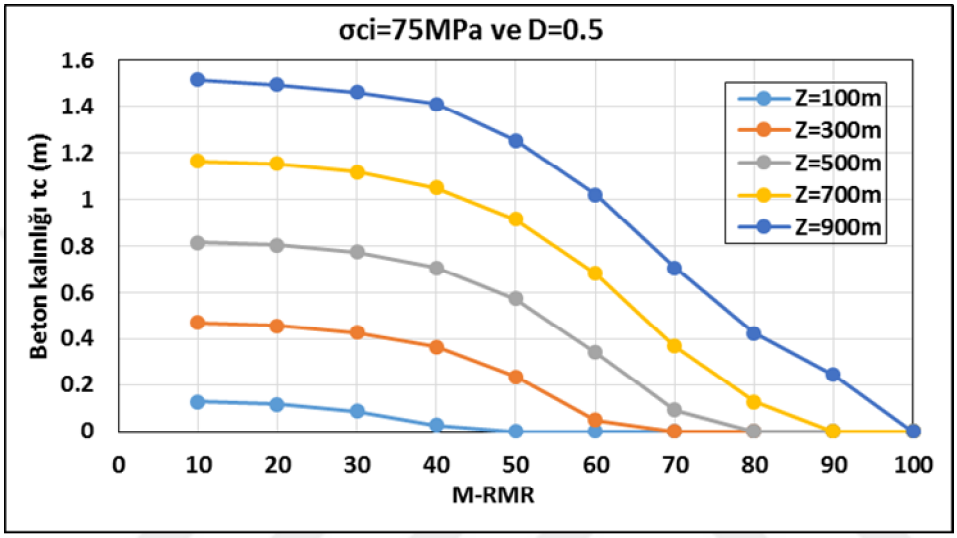
Şekil 4.54. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0 ve σ_{ci}=75 MPa olması durumunda M-RMR'ye bağlı davranışı



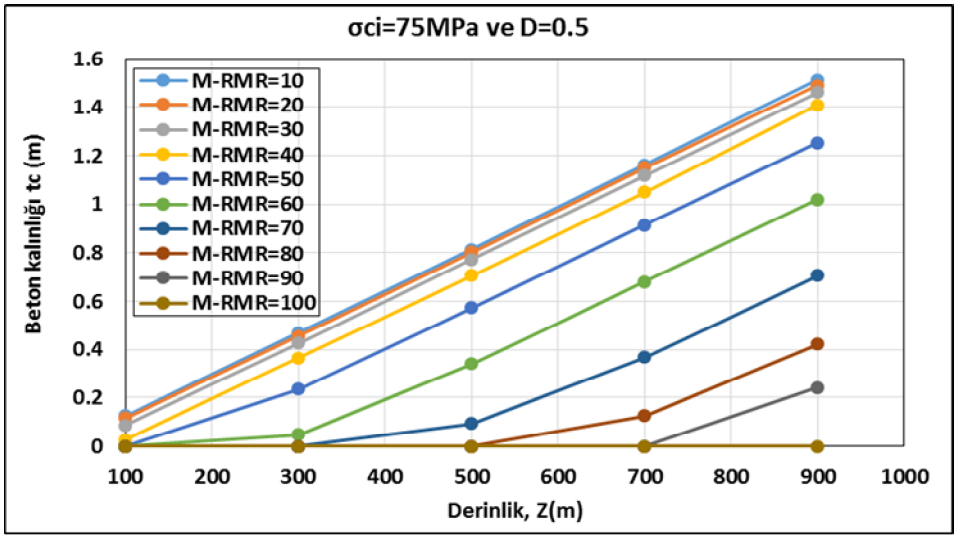
Şekil 4.55. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0 ve σ_{ci}=75 MPa koşulu M-RMR'ye bağlı davranışı

Hasarlı kazı ve sayısal analizler için tek eksenli basma dayanımı 75 MPa olması durumun (D=0.5) koşulu için beton kalınlık (t_c) değişimleri Şekil 4.56 ve 4.57'de

sunulan iki ayrı grafik üzerinde gösterilmiştir (Senaryo No: 61-70, 141-150, 221-230, 301-310 ve 381-390). Şekil 4.56'de M-RMR değerleri artarken beton kalınlığı değerlerinin azaldığı aynı zamanda derinlik değerlerinin artmasıyla beton kalınlıklarının sistematik bir şekilde arttığı görülmektedir. Şekil 4.57'de görüldüğü üzere derinlik arttıkça beton kalınlık değerleri arttığı buna karşı M-RMR değerleri azaldıkça gerekli beton tahkimat kalınlık (t_c) değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.56. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0.5 ve σ_{ci}=75 MPa olması durumunda M-RMR'ye bağlı davranışı

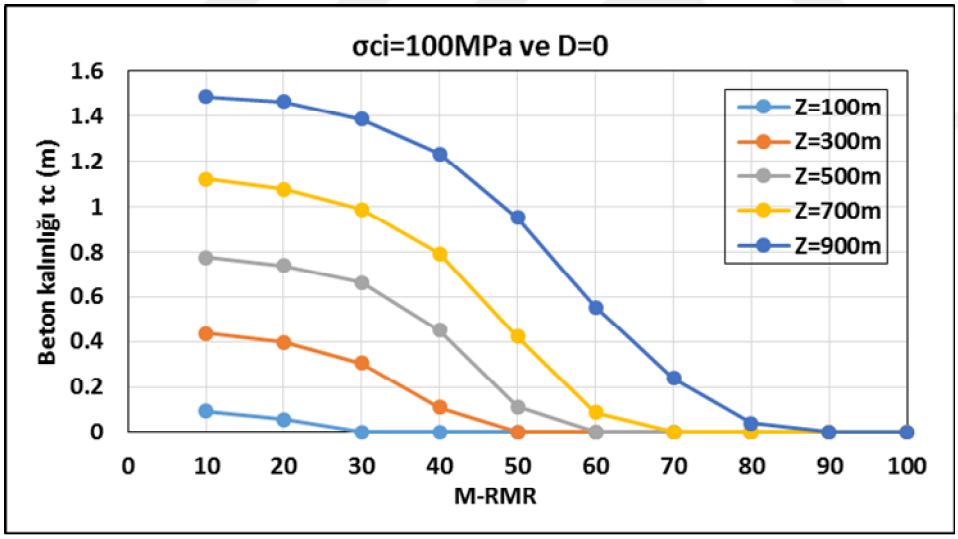


Şekil 4.57. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0.5 ve σ_{ci}=75 MPa koşulu için M-RMR'ye bağlı davranışı

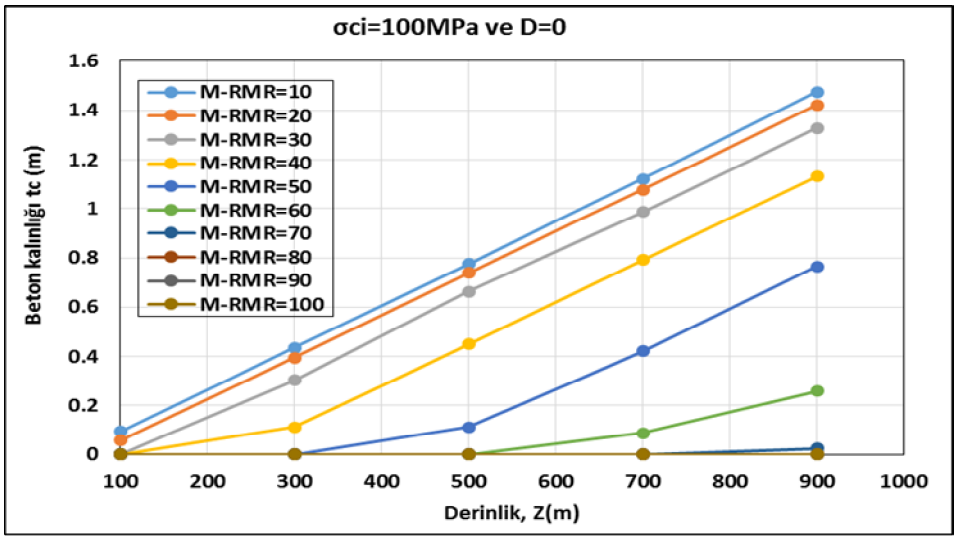
Şekil 4.54, 4.55, 4.56 ve 4.57'de hasarsız (D=0) ve hasarlı kazı durum (D=0.5) için hazırlanan grafiklerde hasarlı durum için gerekli beton kalınlıklarının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

4.7.4. TEBD değeri 100 MPa durumunda hasarsız kazı (D=0) ve hasarlı Kazı (D=0.5) çalışmalarında optimum beton tahkimat kalınlıkları (t_c).

Tek eksenli basma dayanımı 100 MPa durumunda hasarsız kazı (D=0) koşulu için sayısal analizler yardımıyla beton kalınlık değişimleri gösteren iki ayrı grafik Şekil 4.58 ve 4.59'de sunulmuştur (senaryo No: 31-40, 111-120, 191-200, 271-280 ve 351-360). M-RMR değerlerinın azalması durumunda beton kalınlığı değerlerinin arttığı bununla birlikte derinlik değerlerinin azalması ile beton kalınlıklarının sistematik bir şekilde azaldığı Şekil 4.58'de görülmektedir. Şekil 4.59'de görüldüğü üzere derinlik değerleri azaldıkça beton kalınlık değerlerinin azalmakta olduğu buna karşı M-RMR değerlerinin azalmasıla gerekli beton kalınlık değerlerinin anlaşılmaktadır.

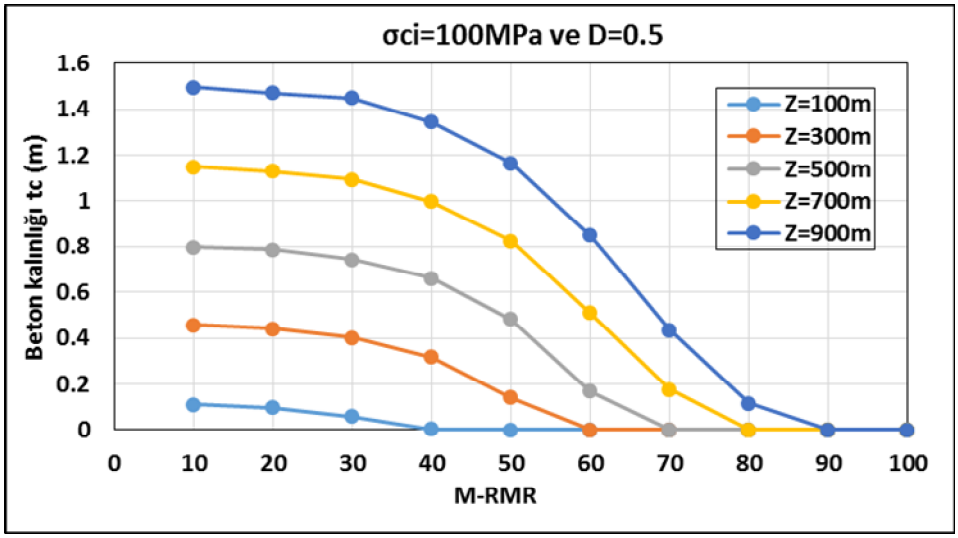


Şekil 4.58. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0 ve σ_{ci}=100 MPa olması durumunda M-RMR'ye bağlı davranışı

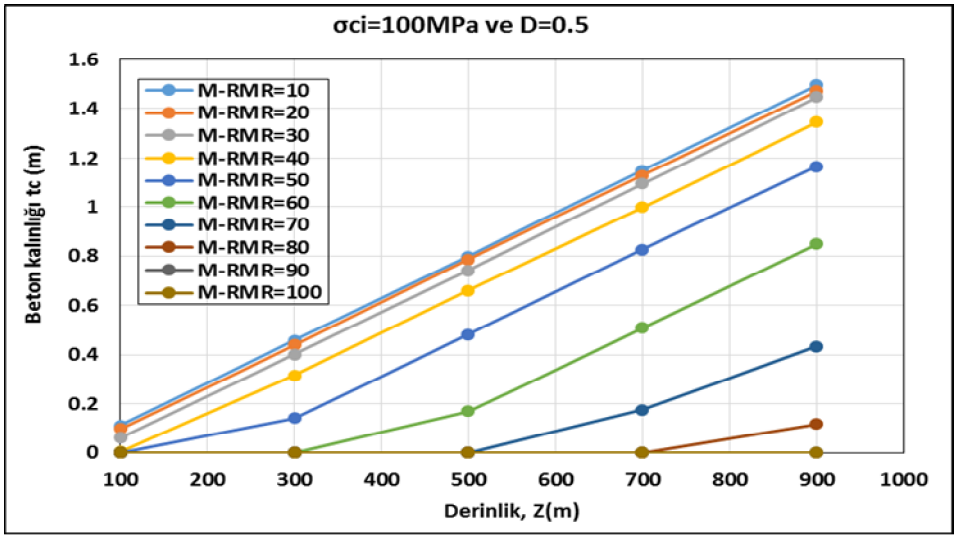


Şekil 4.59. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0 ve σ_{ci}=100 MPa koşulu altında M-RMR'ye bağlı davranışı

Sayısal analizler için tek eksenli basma dayanımı 100 MPa olması durumunda hasarlı kazı (D=0.5) durumu için beton kalınlık (t_c) değişimleri iki ayrı grafik üzerinde gösterilmiştir. (Şekil 4.60 ve 4.61). Bu iki grafik senaryo No: 71-80, 151-160, 231-240, 311-320 ve 391-400 için hazırlanmıştır. Şekil 4.60'da M-RMR değerleri azalırken beton kalınlığı değerlerinin arttığı aynı zamanda derinlik değerlerinin artmasıyla beton kalınlıklarının sistematik bir şekilde arttığı görülmektedir. Derinlik değerleri azaldıkça beton kalınlık değerlerinin azalmakta olduğu buna karşı M-RMR değerleri azaldıkça gerekli beton tahkimat kalınlık (t_c) değerlerinin artmakta olduğu Şekil 4.61'den anlaşılmaktadır.



Şekil 4.60. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0.5 ve σ_{ci}=100 MPa olması durumunda M-RMR'ye bağlı davranışı



Şekil 4.61. Tahkimat beton kalınlıklarının farklı derinlikte, D=0.5 ve σ_{ci} =100 MPa koşulu altında M-RMR'ye bağlı davranışı

Hasarsız (D=0) ve hasarlı (D=0.5) kazıya bağlı durum için hazırlanan grafikler (Şekil 4.58, 4.59, 4.60 ve 4.61) karşılaştırıldığında, hasarsız durum (D=0) için gerekli olan beton kalınlıklarının hasarlı kazıya (D=0.5) göre daha az olduğu anlaşılmaktadır.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Genel

Bu bölümde sayısal çözümlemelere bağlı analitik değerlendirmeler C20 beton sınıfında optimum beton tahkimat kalınlığının belirlenmesine yönelik bir yaklaşım, yöntemin geliştirilmesine yönelik yapılan istatistiksel analizler sunulmuştur.

5.2. Sayısal Çözümleme Sonuçlarının Analitik Değerlendirmesi

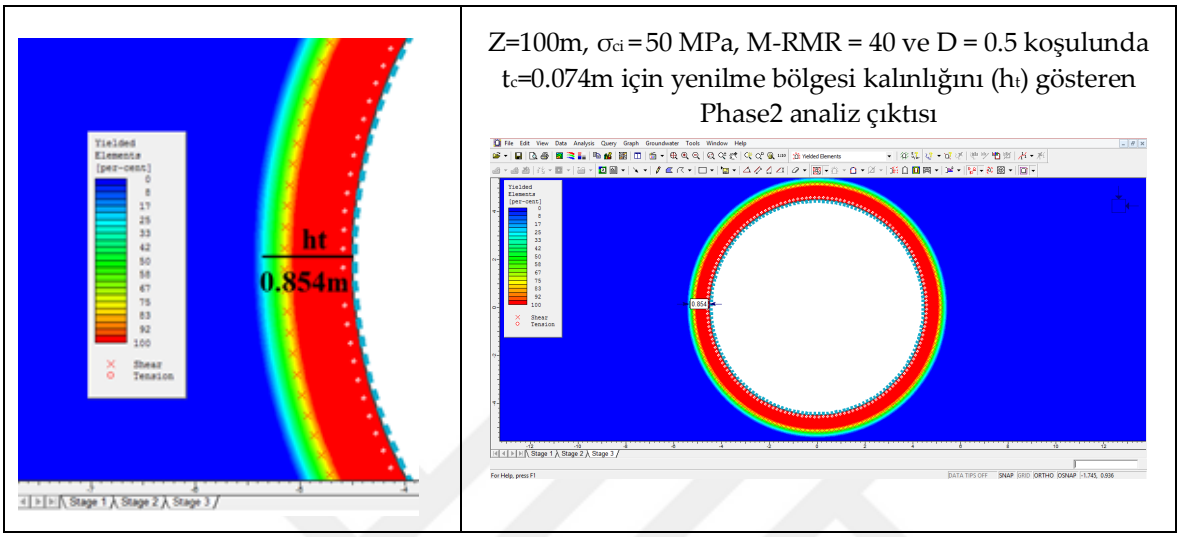
İki boyutlu sayısal çözümleme yapabilen Phase2 yazılımı ile yapılan analiz sonuçları topluca Bölüm 4'te sunulmuştur. Modelde dairesel kuyu kesiti cidarında sırasıyla belirlenen yenilme bölgesi kalınlığı (h_t) ve yerdeğiştirme (U) değerleri her bir koşul için (farklı M-RMR değerlerinde) kritik beton kalınlığında belirlenmiştir.

Düşey kuyu etrafında hasarlı (D=0) ve hasarsız kazıya (D=0.5) bağlı olarak oluşan yenilme bölgesi bu çalışmada h_t olarak tanımlanmıştır. Şekil 5.1'de belirtilen yenilme bölgesi (h_t) kaya kütlesine (M-RMR), derinlik (Z) ve beton tahkimat kalınlığına (t_c) bağlı olarak azalmakta yada artmaktadır. Bu sonuç Phase2 program çıktısında makaslama ve çekme gerilmelerinin işaretlenmesi ile en büyük gerilme (σ_1) ve yerdeğiştirme (U) gibi grafiksel sunumlarda görülebilmektedir. Bu çalışmada bu bölge ölçekli olarak Şekil 5.1'de görüldüğü üzere ölçülmüştür.

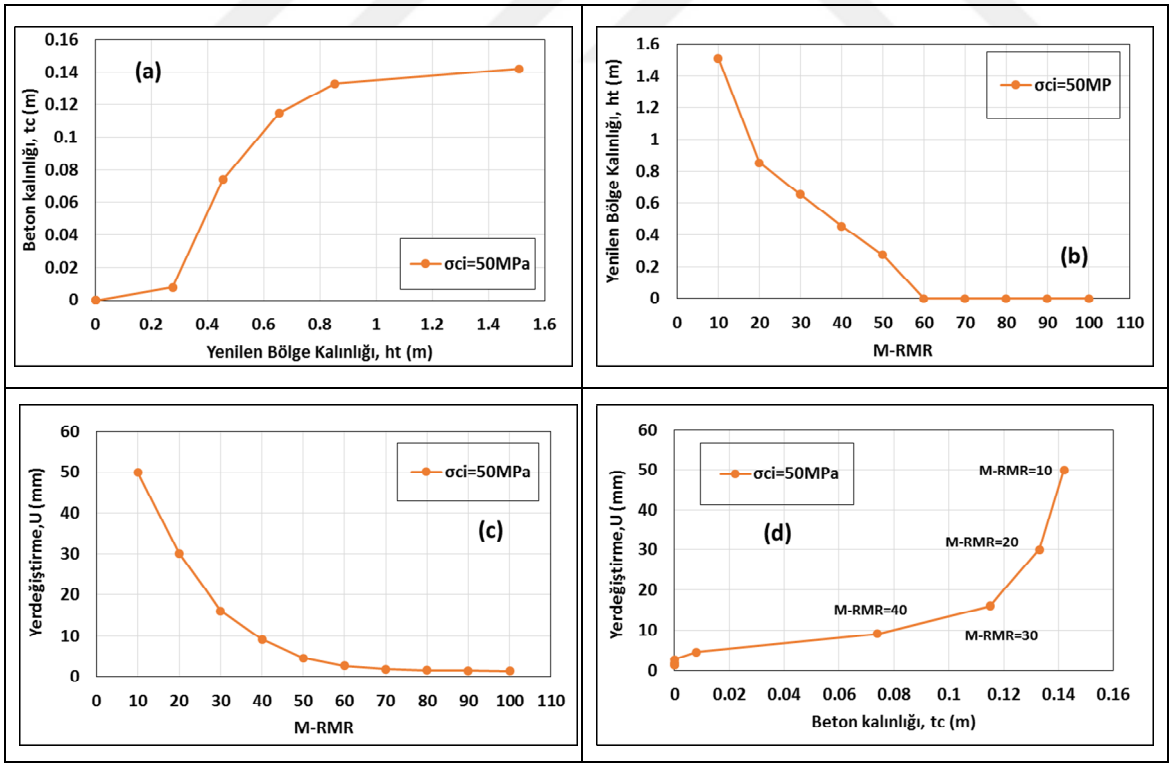
Bu bölümde sunulmak amacıyla hazırlanan tipik örnekte Z=100m, σ_{ci} =50 MPa ve D=0 koşulu için belirlenen M-RMR - h_t, ve M-RMR – U davranışları Şekil 5.2'de sunulmuştur. Hazırlanan grafiklerden görüldüğü üzere (Şekil 5.2a) M-RMR değerleri küçüldükçe yenilme bölgesi kalınlığı (h_t) artmaktadır.

M-RMR'ye bağlı oluşan yenilme bölgesi kalınlıklarının (h_t) artması durumunda gerekli olan optimum beton kalınlıkları artmaktadır (Şekil 5.2b). M-RMR değerleri arttıkça kuyu cidarında oluşan yerdeğiştirme miktarının azaldığı belirlenmiştir (Şekil 5.2d). Belirlenen bu optimum beton kalınlıklarında ise azalan M-RMR değerlerine bağlı olarak tahkimatın müsade ettiği yerdeğiştirme değerlerinin büyüdüğü anlaşılmaktadır (Şekil 5.2c).

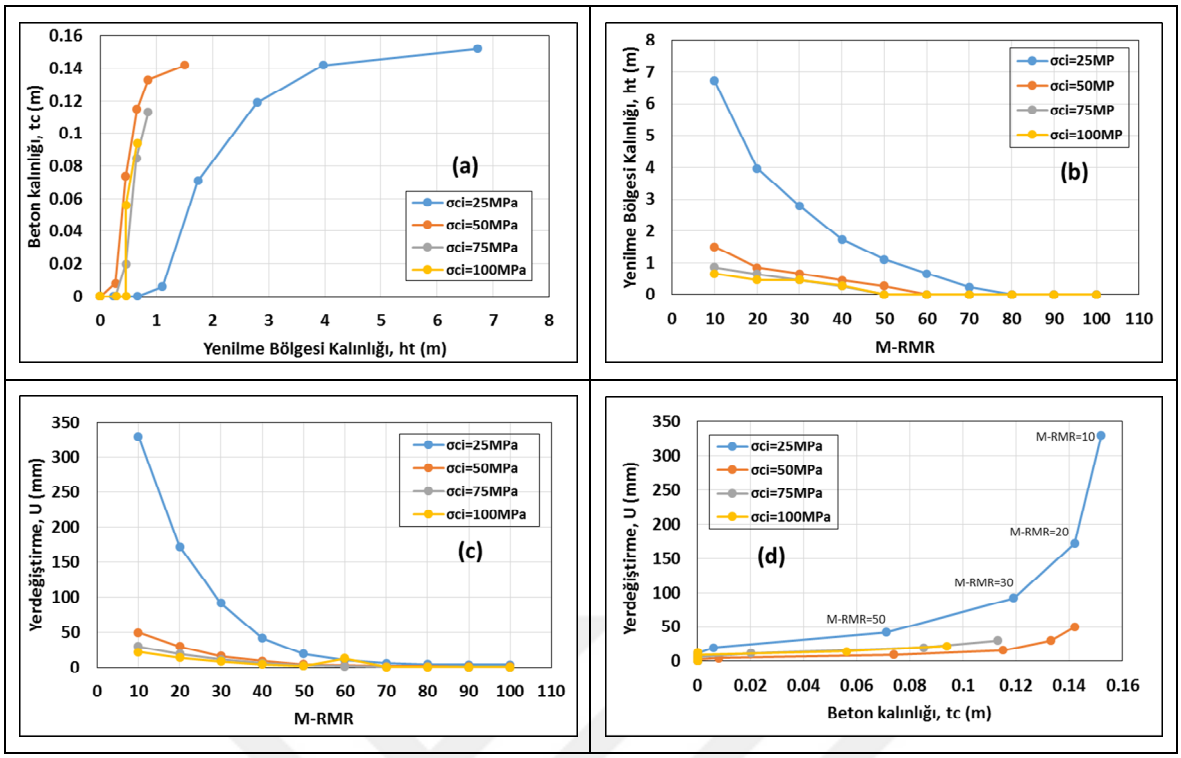
Z=100 ve D=0 ve 0.5 koşulu için kaya malzeme dayanımı sırasıyla 25 MPa, 50 MPa, 75 MPa ve 100 MPa için hazırlanan grafikler topluca Şekil 5.3, ve 5.4'de verilmiştir benzer davranışların sergilendiği gözlenmiştir. Diğer derinliklere ait sonuçlar EK-1'de sunulmuştur.



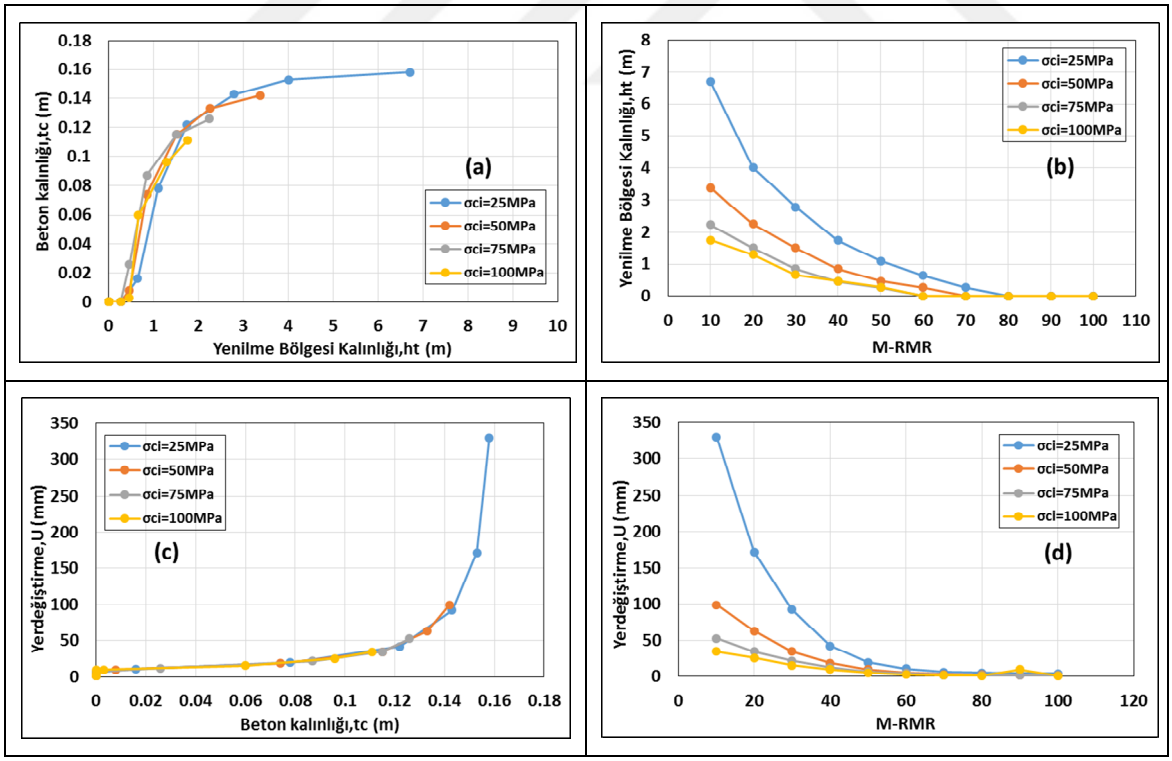
Şekil 5.1. Yenilme bölgesi kalınlığını (h_t) gösteren tipik bir şekil



Şekil 5.2. Z=100m ve D=0 koşulunda kuyu etrafında oluşan h_t, t_c, ve U davranışı



Şekil 5.3. Z=100m ve D=0 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı



Şekil 5.4. Z=100m ve D=0.5 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı

5.3. Optimum Beton Kalınlığını Belirlenmesine Yönelik Bir Yaklaşım

Yukarıda sunulan tipik grafikler (Şekil 5.3, 5.4 ve EK-1) incelenerek bütünleyeci bir yaklaşım geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımın 4 aşamadan oluşması planlanmıştır. Bu yaklaşımda bir mühendisin abak üzerinden kolayca tasarım sonuçlarına ulaşması hedeflenmiştir. Bu aşamalar aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

Aşama-1: M-RMR değerinin bilinmesi durumunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığının (h_t) belirlenmesi,

Aşama-2: Belirlenen yenilme bölgesi kalınlığına (h_t) bağlı olarak gerekli olan optimum beton tahkimat kalınlığının (t_c) belirlenmesi,

Aşama-3: Tesbit edilen optimum beton kalınlığına (t_c) bağlı olarak müsade edilen yerdeğiştirme (U) miktarının belirlenmesi

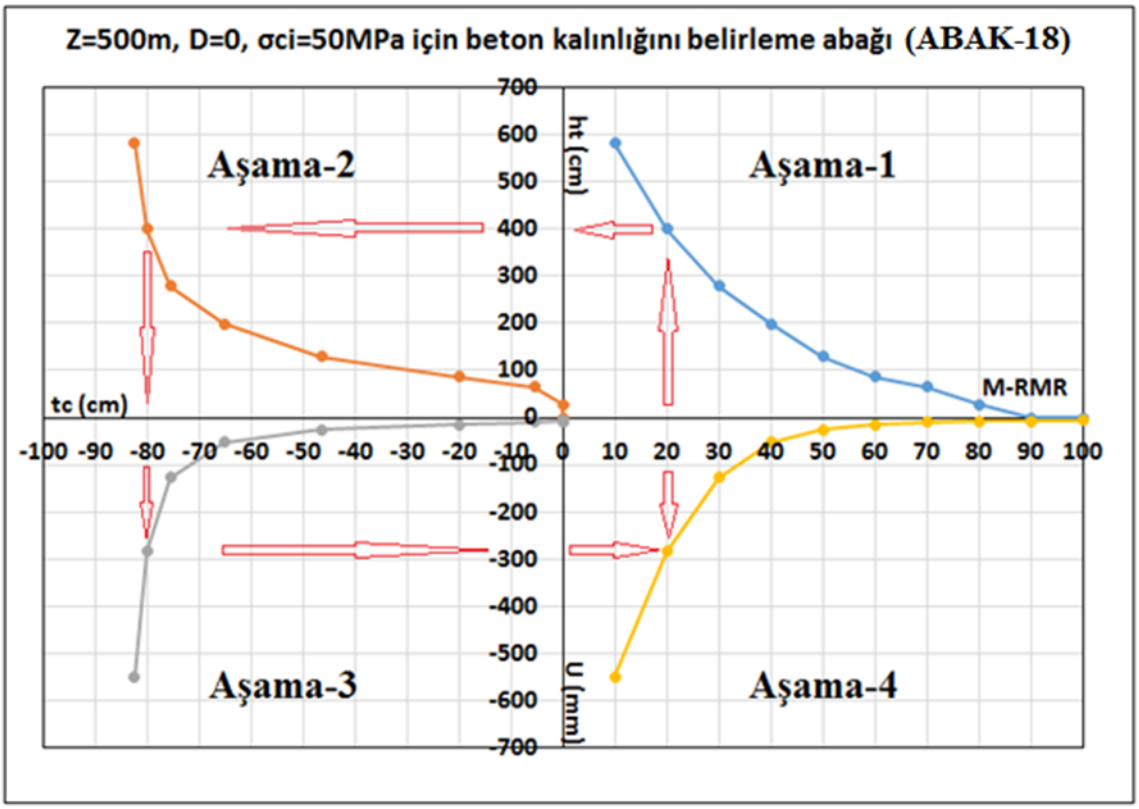
Aşama-4: M-RMR değerine bağlı olarak belirlenen yerdeğiştirme (U) değerinin Aşama-3'den bulunan yerdeğiştirme değeriyle çakıştırması

Yukarıda ifade edilen algoritmayı gösteren tipik bir örnek, Z=500m, D=0 ve kaya dayanımı (σ_{ci}) 50 MPa koşulu için hazırlanan bütünleyeci yaklaşım abağı ile Şekil 5.5'de verilmiştir. Bu şekilde bütünleyici grafiği hazırlayabilmek için t_c, ve U değerleri negatif alınmıştır. Gerçekte bu değerler pozitif değerler taşınmaktadır.

Şekil 5.5'de sunulan abakta çözümleme için oklarla belirtilen saatin ters yönünde hareket edilmektedir. Örneğin M-RMR değeri 20 iken tasarım mühendisi bu abaktan kolaylıkla kuyu etrafındaki yenilme bölgesi kalınlığının (h_t) 400.6cm, bunu tahkim etmek için gerekli beton ahkimat kalınlığının (t_c) 79.9cm, bu tahkimatın uygulaması neticesinde oluşacak yerdeğiştirme (U) miktarının ise 285.0mm olacağını belirliyebilecektir.

Şekil 5.5'de sunulan abaktan farklı M-RMR değerleri için ht, t_c ve U değerleri belirlenerek aşağıdaki Çizelge 5.1 hazırlanmıştır.

Farklı derinliklerde (Z=100m, 300m, 500m, 700m, 900m) elde edilen sayısal çözümleme sonuçlarına bağlı Şekil 5.5'deki gibi toplam 40 adet abak geliştirilmiştir. Bu abaklar sırasıyla Ek-2 de sunulmuştur. Çizelge 5.1'de örnek abak için (ABAK-18) verilen sonuçlar diğer abaklar içinde hazırlanması ve bunlar topluca EK-2'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Z=500m, D=0 ve kaya dayanımı (σ_{ci}) 50 MPa koşulu altında bütünleyeci yaklaşım

Çizelge 5.1. Z=500m, D=0 ve kaya dayanımı (σ_{ci}) 50 MPa koşulu altında hazırlanan Şekil 5.5'den elde edilen veriler (ABAK-18).

M-RMR	Yenilme bölgesi kalınlığı	Beton tahkimat kalınlığı	Beklenen yerdeğiştirme
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	582.1	82.4	550.0
20	400.6	79.9	285.0
30	279.6	75.4	127.0
40	199.4	65.2	52.5
50	129.1	46.5	25.5
60	86.1	19.9	14.4
70	64.9	5.4	9.9
80	26.9	0	8.05
90	0	0	7.35
100	0	0	6.9

5.4. İstatistiksel Analizler

Bu tez çalışmasında hazırlanan veri tabanı yardımıyla M-RMR ve kuyu cıdarında oluşan kaya kütle yenilme bölgesi (h_t) arasındaki davranış ile M-RMR ve optimum beton tahkimatın müsaade edeceği yerdeğiştirme (U) arasındaki davranışı açıklayan matematiksel modellerin geliştirilmesine çalışılmıştır. Bunun için istatistiksel analiz yapabilen SPSS (SPSS, 2007) programından faydalanılmıştır. Geliştirilen eşitliklere ait modeller sırasıyla aşağıda verilmiş ve tanımlanmıştır. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen parametrik analizlerde kuyu çapının (2r) 9m alındığı daha önce belirtilmiştir.

5.4.1. M-RMR ve h_t arasındaki davranışın modellenmesi

Şekil 5.5'de sunulan ABAK-18'de belirtilen Aşama-1'de görüldüğü üzere sınıflama sistemi M-RMR'ye bağlı yenilme bölge kalınlıklarına (h_t) ait davranışlar aşağıda sunulan matematiksel model ile tanımlanmıştır.

$$h_t = A \frac{\sigma_{ci}}{P_0} \left[\frac{100-(M-RMR)}{100}\right]^B \qquad (5.1)$$

Burada;

h_t : Yenilme bölge kalınlığı (cm)

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

P_0 : Düşey birincil gerilme (MPa)

M-RMR : Yeniden düzenlenen kaya kütle sınıflama sistemi

A ve B : SPSS yardımıyla belirlenen istatistiksel katsayı

Eşitlik 5.1'de kullanılan düşey birincil gerilme (P_0) aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmiştir.

$$P_0 = Z\,\gamma \qquad (5.2)$$

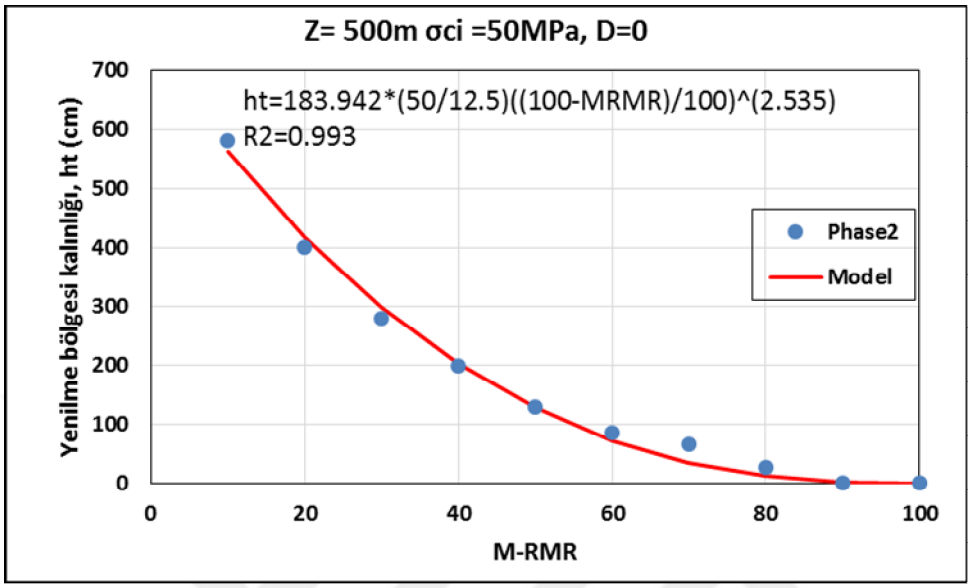
Burada

P_0 : Düşey birincil gerilme (MPa)

Z : Derinlik (m)

γ : Birim hacim ağırlığı (MN/m^3)

Yukarıda sunulan Eşitlik 5.1'e ait performansı modelin Şekil 5.5'de sunulan ABAK-18'de verilen Aşama-1'e ait grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. ABAK-18 (Şekil 5.5)'de Aşama-1 için sunulan M-RMR - h_t davranışı ve matematiksel model performansı

Sunulan Şekil 5.6'de görüldüğü üzere Phase2 verisi ile model verisi arasındaki ilişkiyi gösteren regrasyon değeri (R^2) 0.993'dir. Bu tez çalışması ile geliştirilen 40 adet abağın (EK-2) Aşama-1'lerine ait matematiksel model sonuçları topluca aşağıdaki Çizelge 5.2 ve 5.3'de sunulmuştur. Sunulan çizelgelerde görüldüğü üzere istatisitiksel regrasyon (R^2) değerleri 0.926-0.998 arasındadır. Ancak unutulmamaktadır ki, burda verilen A, B istatiksel katsayıları sadece idealleştirilmiş parametrik değerlere bağlıdır.

Çizelge 5.2. Geliştirilen 40 Abakta yer alan Aşama-1 için M-RMR-h_t ve davranışına ait matematiksel model katsayıları (D=0)

Abak No	Z (m)	σ_{ci} (MPa)	$P_0=P_z$ (MPa)	A	B	R^2
1	100	25	2.5	92.241	3.330	0.993
2	100	50	2.5	10.341	3.331	0.982
3	100	75	2.5	4.257	3.322	0.968
4	100	100	2.5	2.322	2.856	0.926
5	300	25	7.5	262.368	2.454	0.990
6	300	50	7.5	69.822	2.531	0.993
7	300	75	7.5	32.085	2.511	0.990
8	300	100	7.5	20.331	2.827	0.991
9	500	25	12.5	852.12	2.846	0.985
10	500	50	12.5	183.942	2.535	0.993
11	500	75	12.5	85.464	2.569	0.993
12	500	100	12.5	50.229	2.602	0.997
13	700	25	17.5	1818.819	3.023	0.986
14	700	50	17.5	372.186	2.595	0.988
15	700	75	17.5	156.096	2.363	0.992
16	700	100	17.5	90.693	2.463	0.994
17	900	25	22.5	3286.8	3.182	0.985
18	900	50	22.5	640.593	2.623	0.988
19	900	75	22.5	265.041	2.474	0.990
20	900	100	22.5	141.876	2.362	0.992

Çizelge 5.3. Geliştirilen 40 Abakta yer alan Aşama-1 için M-RMR-h_t ve davranışına ait matematiksel model katsayıları (D=0.5)

Abak No	Z (m)	σ_{ci} (MPa)	$P_0=P_z$ (MPa)	A	B	R^2
21	100	25	2.5	92.007	3.312	0.993
22	100	50	2.5	23.976	3.329	0.999
23	100	75	2.5	11.385	3.850	0.997
24	100	100	2.5	6.498	3.509	0.990
25	300	25	7.5	1198.116	4.373	0.991
26	300	50	7.5	228.582	3.650	0.994
27	300	75	7.5	90.963	3.288	0.994
28	300	100	7.5	53.451	3.487	0.995
29	500	25	12.5	3140.802	3.931	0.997
30	500	50	12.5	778.347	4.192	0.992
31	500	75	12.5	306.018	3.897	0.992
32	500	100	12.5	161.523	3.736	0.989
33	700	25	17.5	5785.407	3.594	0.997
34	700	50	17.5	1690.038	4.416	0.993
35	700	75	17.5	657.405	4.172	0.992
36	700	100	17.5	335.691	3.851	0.986
37	900	25	22.5	8465.364	3.294	0.998
38	900	50	22.5	2654.721	4.165	0.995
39	900	75	22.5	1201.914	4.390	0.991
40	900	100	22.5	517.428	3.668	0.993

5.4.2. M-RMR ve U arasındaki davranışın modellenmesi

Şekil 5.5'de tipik bir örnek olarak sunulan ABAK-18'de yer alan Aşama-4 için verilen M-RMR ve U davranışına tanımlayan matematiksel modele ait istatistiksel analizler SPSS yardımıyla yapılmıştır. Elde edilen en iyi model Eşitlik 5.3'de sunulmuştur.

$$U = A\frac{\sigma_{ci}}{P_0}\left[\frac{100-(M-RMR)}{100}\right]^B \quad (5.3)$$

Burada;

U : Beklenen yerleştirme miktarı (mm)

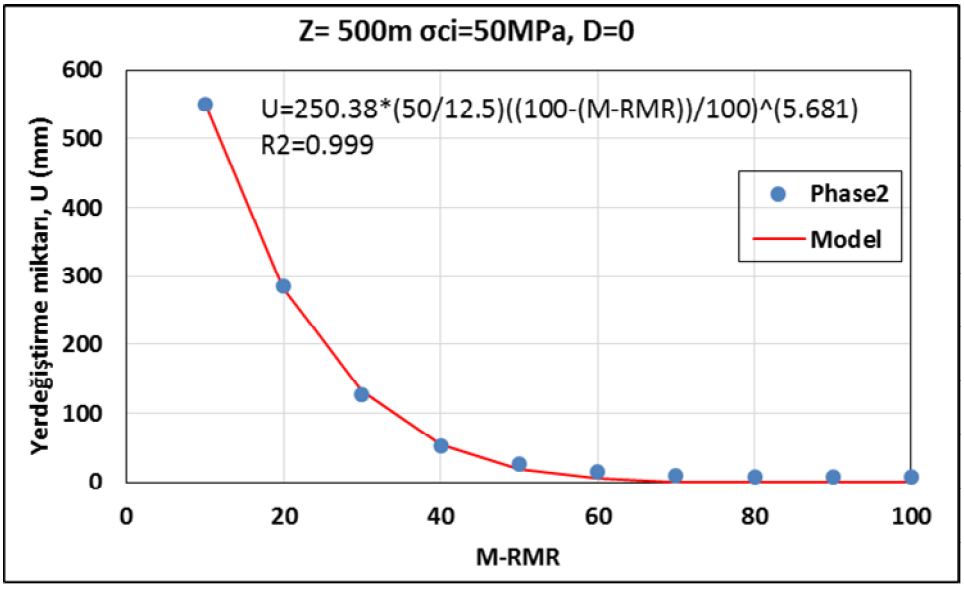
σ_{ci} : Kaya malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (MPa)

P_0 : Düşey birincil gerilme (MPa)

M-RMR : Yeniden Düzenlenen Kaya Kütle Sınıflama Sistemi

A, B : SPSS yardımıyla belirlenen istatistiksel katsayı

Eşitlik 5.3'de belirtilen modelin performansı için tipik bir örnek Şekil 5.7'de verilmiştir. Sunulan örnek grafik Şekil 5.5'de verilen Aşama-4 içindir. Şekil 5.7'den görüldüğü üzere matematiksel modelin başarısı oldukça iyidir.



Şekil 5.7. ABAK-18 (Şekil 5.5)'de sunulan M-RMR-U davranışı ve matematiksel modelin başarısı

Bu tez çalışmasından elde edilen verilere dayalı olarak geliştirilen 40 abakta konumlanan Aşama-4'e ait davranışı ((M-RMR)-U) gösteren Eşitlik 5.3'deki matematiksel model katsayıları topluca Çizelge 5.4 ve 5.5'de verilmiştir. Çizelgelerde sunulan regrasyon (R^2) değerlerinin 0.993-0.999 arasında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.4. Önerilen 40 Abakta verilen Aşama-4'de belirlenen M-RMR - U ve davranışına ait matematiksel model katsayıları (D=0)

Abak No	Z (m)	σ_{ci} (MPa)	$P_0=P_z$ (MPa)	A	B	R^2
1	100	25	2.5	56.331	5.148	0.998
2	100	50	2.5	3.888	4.251	0.996
3	100	75	2.5	1.494	3.801	0.996
4	100	100	2.5	0.81	3.723	0.995
5	300	25	7.5	467.019	6.280	0.999
6	300	50	7.5	59.166	5.122	0.997
7	300	75	7.5	21.06	4.821	0.997
8	300	100	7.5	9.549	4.317	0.996
9	500	25	12.5	2978.982	7.526	0.999
10	500	50	12.5	250.38	5.681	0.999
11	500	75	12.5	78.012	5.200	0.998
12	500	100	12.5	37.269	5.001	0.997
13	700	25	17.5	11151	8.380	1
14	700	50	17.5	803.538	6.620	0.998
15	700	75	17.5	215.739	5.892	0.998
16	700	100	17.5	90.801	5.034	0.993
17	900	25	22.5	30213	8.867	0.100
18	900	50	22.5	1984.095	7.189	0.999
19	900	75	22.5	499.374	6.525	0.999
20	900	100	22.5	186.165	5.572	0.998

Çizelge 5.5. Önerilen 40 abakta verilen Aşama-4'de belirlenen M-RMR - U ve davranışına ait matematiksel model katsayıları (D=0.5)

Abak No	Z (m)	σ_{ci} (MPa)	$P_0=P_z$ (MPa)	A	B	R^2
21	100	25	2.5	56.331	5.148	0.998
22	100	50	2.5	7.587	4.035	0.998
23	100	75	2.5	2.511	3.486	0.997
24	100	100	2.5	1.224	3.139	0.996
25	300	25	7.5	3913.587	8.659	0.999
26	300	50	7.5	245.331	6.378	0.999
27	300	75	7.5	56.331	5.148	0.998
28	300	100	7.5	22.014	4.428	0.998
29	500	25	12.5	16551	7.206	0.999
30	500	50	12.5	1967.706	8.278	0.999
31	500	75	12.5	375.741	6.850	0.999
32	500	100	12.5	126.009	5.796	0.999
33	700	25	17.5	50139	6.844	0.997
34	700	50	17.5	6719.247	8.688	1
35	700	75	17.5	1476.783	8.122	0.999
36	700	100	17.5	432.648	6.819	0.999
37	900	25	22.5	92340	6.268	0.998
38	900	50	22.5	13086	7.832	0.999
39	900	75	22.5	3603.006	8.332	1
40	900	100	22.5	1146.96	7.578	0.999

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu yüksek lisans tez çalışmasında aşağıda sırasıyla verilen parametreler dikkate alarak hazırlanan 400 adet senaryo için bir seri sayısal analiz yapılmış ve değerlendirilmiştir. Parametrik analizde dikkate alınan parametrelerde ve bu parametreler aşağıda verilmiştir

i. Derinlik (Z) parametresi 100m, 300m, 500m, 700m ve 900m olarak dikkate alınmıştır.
ii. Kaya malzemesinin tek eksenli basma dayanımı (σ_{ci}, MPa) parametresi 25 MPa, 50 MPa, 75 MPa ve 100 MPa olarak her derinlik (Z) için ayrı ayrı dikkate alınmıştır.
iii. Kaya kütle sınıflama sistemi (M-RMR) parametresi 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 değerleri her derinlik (Z) için ayrı ayrı dikkate alınmıştır.
iv. Kuyu açılırken örselenme durumunu gösteren sabit (D) için örselenmemiş koşuluna ait D=0 değeri dikkate alınırken yenilmiş durum için D=0.5 hesaplamalara dahil edilmiştir.
v. Kuyu çapı 9m alınmıştır.
vi. Optimum beton tahkimat kalınlıklarının (t_c) belirlenmesinde C20 beton sınıfı kullanılmıştır.
vii. Sonlu elemanlar ile yapılan sayısal anaizlerde kaya kütlesi ve beton malzemesinin elastik kusursuz plastik davranış gösterdiği kabul edilmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen veri tabanı dikkata alınarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

i. Hazırlanan 400 adet senaryonun her biri için tahkimatsız ve tahkimatlı koşul altında Phase2 çıktıları alınmıştır. Bu grafiklerden M-RMR değerleri azalırken optimum beton tahkimat kalınlıklarının (t_c) arttığı aynı zamanda kaya malzeme dayanımının azalması ile optimum beton tahkimat kalınlıklarının arttığı belirlenmiştir.
ii. Veri tabanı kullanılarak derinliğe bağlı optimum beton tahkimat kalınlıklarını veren grafikler hazırlanmıştır. Bu grafiklerden derinliğin

azalması ile optimum beton tahkimat kalınlıklarının arttığı aynı zamanda azalan M-RMR değerleri ile optimum beton tahkimat kalınlıklarının arttığı görülmüştür.

iii. Hazırlanan grafiklerden hasarlı kazıya bağlı (D=0.5) analiz sonuçlarına göre olması gereken optimum beton tahkimat kalınlıklarını hasarsız kazıya (D=0) bağlı durumuna göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

iv. Hazırlanan veri tabanı yardımıyla sırasıyla (M-RMR) - U davranışını sergileyen grafikler 400 senaryo için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Bu grafikler yardımıyla bütünleyici bir yaklaşım optimum beton tahkimat boyutlandırması için geliştirilmiştir. Sonuç olarak 9m çaplı düşey kuyular için 40 abakta kullanılan Aşama-1 ve Aşama-4'de ifade edilen davranışlar için matematiksel eşitlikler istatistiksel analizler yardımıyla geliştirilmiştir. Bu analizlerde SPSS 16.0 (2007) program kullanılmıştır.

1. Hazırlanan 40 abakta yer alan Aşama-1'de ifade edilen (M-RMR) - h_t davranışını açıklayan metematiksel modelin aşağıdaki gibi olduğu tespit edilmiştir.

$$h_t = A\frac{\sigma_{ci}}{P_o}\left[\frac{100-(M-RMR)}{100}\right]^B$$

Burada;

h_t : Yenilme bölge kalınlığı (cm)

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

P_0 : Düşey birincil gerilme (MPa)

M-RMR : Yeniden düzenlenen kaya kütle sınıflama sistemi

A ve B : SPSS yardımıyla belirlenen istatiksel katsayı

2. Hazırlanan 40 abakta yer alan Aşama-1'de ifade edilen (M-RMR) - U davranışını açıklayan metematiksel modelin aşağıdaki gibi olduğu tespit edilmiştir.

$$U = A\frac{\sigma_{ci}}{P_o}\left[\frac{100-(M-RMR)}{100}\right]^B$$

Burada;

U : Beklenen yerleştirme miktarı (mm)

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

P_0 : Düşey birincil gerilme (MPa)

M-RMR : Yeniden Düzenlenen Kaya Kütle Sınıflama Sistemi

A, B : SPSS yardımıyla belirlenen istatistiksel katsayı

Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen sonuçların tasarım girdi parametrelerinde ve çözümlemelerinde yapılan bazı idealleştirmelerin, sadece göz önünde bulundurulduğu koşullarda geçerli olacağı göz ardı edilmemelidir. Bu yüksek lisans tezinde önerilen yaklaşım ile belirlenen optimum beton tahkimat kalınlığına eşit ve daha büyük beton kalınlıklarının alınması, uygulayıcı mühendislerin dikkatine sunulmuştur.

6.2. Öneriler

Bu yüksek lisans çalışmasında düşey maden kuyusu çapı (2r) 9m, arazi gerilmelerin hidrostatik ($P_0=P_z=P_x=P_y$) kayanın tek eksenli basma dayanımı 25 MPa, 50 MPa, 75 MPa, 100 MPa hasarlı ve hasarsız kazının D=0 ve D=0.5 olması M-RMR değerlerinin sadece 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 olması durumu incelenmiştir. Bu sınır şartlarının dışında olan durumlar için benzer sayısal çözümlemeler yapılması ve bu tezde olduğu gibi ilgili abakların geliştirilmesi önerilir. Ayrıca gerçek bir maden kuyusundan alınarak ölçüm verileri ile sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması önerilir.

KAYNAKLAR

ACI318-95, 1996 Building code requirements for structural concrete. ACI Manual of Concrete Practice Part 3: Use of concrete in Buildings – Design, Specifications, and Related Topics, Detroit, Michigan.

Acun, D., 2009, Amasra Tarlaağzı Kuyusu Çevre Kaya Özellikleri ve Duraylılığının İncelenmesi, *Yük. Müh. Tezi, Zonguldak Karael-mas Üniv. Fen Bil. Enst. Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.*

Arıoğlu, E., 1970, Maden Kuyularının Kaplamalarına Gelen Radyal Basıncın Hesabı ve Kaplama Kalınlığının Tesbiti, *İTÜ Dergisi*, 36-41.

Arıoğlu, E., 1982, Maden Kuyusu Kaplama Kalınlığının Boyutlandırılmasına Rasyonel Bir Yaklaşım, *7. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi (pp. 367-383). Ankara: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.*

Arslan ve Aydemir, 2008, Arslan G ve Aydemir C Betonarme Proje, Ders Notları, Betonarme Proje, Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, *http://www.yildiz.edu.tr/~caydemir/betprj/betmek.pdf*.

Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J., 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, *Rock mechanics*, 6 (4), 189-236.

Bieniawski, Z., 1973, Engineering classification of jointed rock masses, *Civil Engineer in South Africa*, 15 (12).

Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering, John Wiley & Sons, p. 18.

Bieniawski, Z. T., 1996, Milestones in rock engineering: the Bieniawski jubilee collection, Balkema, p. 24.

Birön, C. ve Arıoğlu, E., 1980, Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, Birsen kitabevi, p.

Carranza-Torres, C. ve Fairhurst, C., 1999, The elasto-plastic response of underground excavations in rock masses that satisfy the Hoek–Brown failure criterion, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36 (6), 777-809.

Corporation, K., 1998, Geological Section and Pressure Diagram of Kozlu Shaft.

Demir , H, T. ve A, K., 2007, Demir F, Tekeli H and Korkmaz A The effects of elastic modulus on the relative story displacement limitations., *Journal of Engineering and Natural Sciences. Sigma,*, 25, .2,, 190-199.

Geniş, M. ve Acun, D., 2015, Kuyu duraylılığının analitik ve sayısal yöntemler ile karşılaştırmalı bir incelemesi, *Çukurova Ün. Müh. Mimar. Fak. Derg., 30 (2): 201*, 215.

Geniş, M. ve Derin, Z., 2016, Zonguldak-Üzülmez Tünellerinin Çevre Kaya Özelliklerinin Belirlenmesi ve Duraylılığının Değerlendirilmesi, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1), 144-151.

Grimstad ve Barton, 1993, Updating the Q-system for NMT. Proc. Int. Symp. on Sprayed Concrete, Fagernes, Norway 1993, Norwegian Concrete Association, Oslo, 20 p.

Güler, E., 2013, A methodology for lining design of circular mine shafts in different rock masses, *PhD thesis. Middle East Technical University, Ankara*.

Hoek, E., Wood, D. ve Shah, S., 1992, A modified Hoek–Brown failure criterion for jointed rock masses, *Rock Characterization: ISRM Symposium, Eurock'92, Chester, UK, 14–17 September 1992*, 209-214.

Kalenderli, Ö., 1996, Sonlu Elemanlar Yöntemi, *İTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi,İstanbul*, 228.

Norconsult, 2008, Analytical and Numerical Modelling, *Norconsult Engineering and Management Consultants*, 2.

Ozkan, I., 1989, Determination of classification parameters for weak and stratified rocks based on RMR and Q-systems, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, 156s.

Ozkan, I. ve Unal, E., 1996, A critical review on rock mass classification systems.3th Mechanics Symposium, Ankara, Turkey, 181-193

Özkan, I., Ünal, E. ve Ulusay, R., 2012, Weak Rock Mass Characterization By RMR And M-RMR Systems: A Comparative Study Based On the Cases From Mines In Turkey, *ISRM International Symposium-EUROCK 2012*.

Özkan, İ., 1995, Modified rock mass rating (M-RMR) system and roof behavior model, *Doktora Tezi, ODTÜ*, 370.

Özşen, H., 2009, Kaya tuzuna aİt kisa ve uzun dönemlİ mekanİk özellİklerİn belİrlenmesİ ve matematİksel modellenmesİ.

Rocscience, 2002, Phase2, *Toronto, Canada, http://www.rocscience.com/*.

Saltoğlu, S., 1976, Madenlerde hazırlık ve kazı işleri, *İstanbul Üniversite matbaası gümüşsuyu*, İTÜ, p. 178-188.

SPSS, 2007, Polar engineering and consulting, http://www.winwrap.com

TS-500, 2000, Enstitüsü, Türk StandartlarıBetonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye*.

TS-11222, 2001 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara., *Beton, Hazır Beton - Sınıflandırma, Özellikler, Performans, Üretim ve Uygunluk Kriterleri,*.

Unrug, K. F., 1992, Construction of development openings, *SME mining engineering handbook*, 2, 1580-1643.

Ünal, E. ve Özkan, İ., 1988, Zayıf-tabakalı-anizotropik-kil içerikli kaya kütleleri için kaya kütle karakteristiği, *Mühendislik Sempozyumu, Sivas*.

Ünal, E. ve Özkan, İ., 1990, Determination of Classification Parameters for Clay-bearing and Stratified Rock Mass, *Proceedings of the 9th International Conference on Ground Control in Mining*.

Ünal, E., Özkan, İ. ve Ulusay, R., 1992, Characterization of weak, stratified and clay-bearing rock masses, *Rock Characterization: ISRM Symposium, Eurock'92, Chester, UK, 14–17 September 1992*, 330-335.

Ünalan, M., 2012, Maden Kuyusu Asansörü Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programı, *İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ*.

Vergne, J., 2003, Hard Rock Miner's Handbook, Edition 5, *Ground water*, 15, 100.

www.akademidestek.com, 2017.

www.gettyimages.com, 2017.

www.groundstability.com, 2017.

www.oryktosploutos.net, 2017.

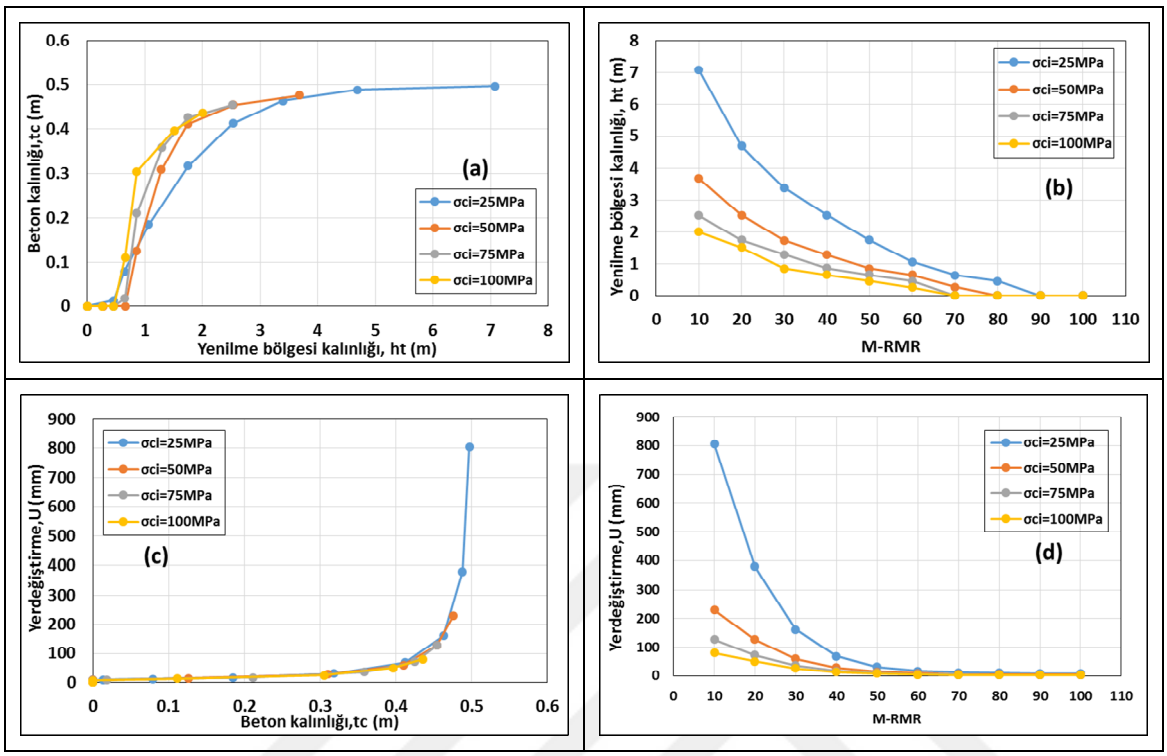
www.PilingContractors.com, 2017.

www.slideserve.com, 2017.

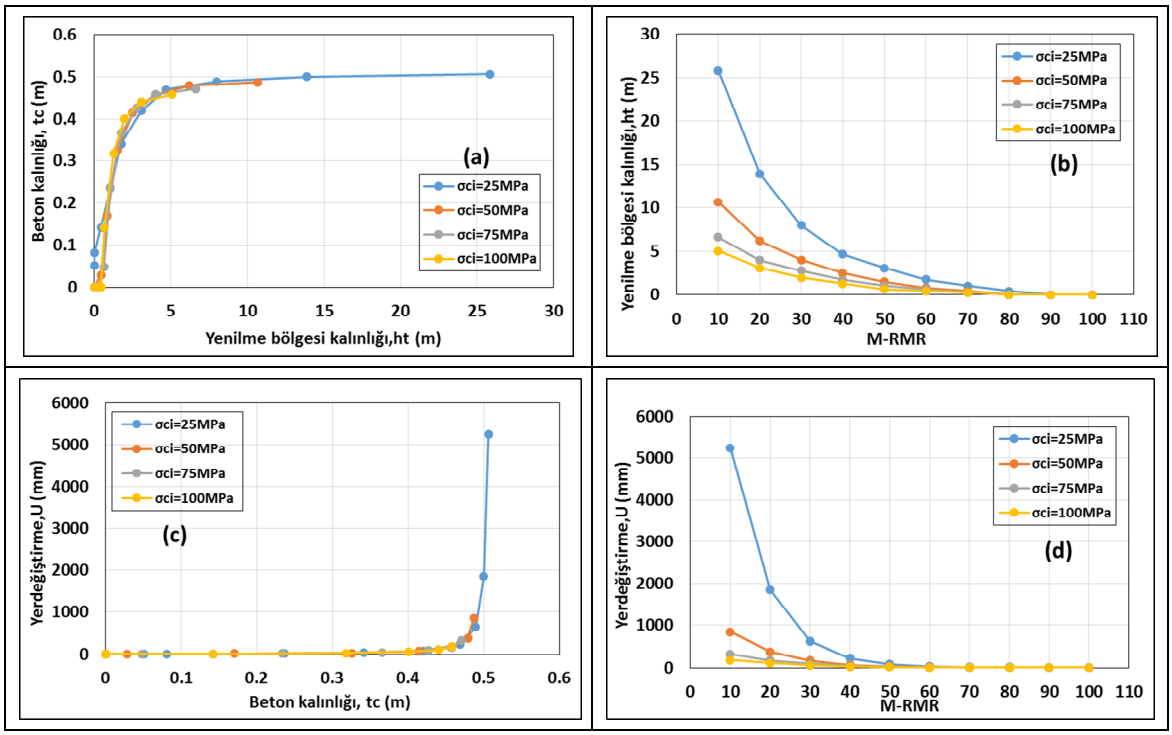
www.uky.edu.com, 2017.

EKLER

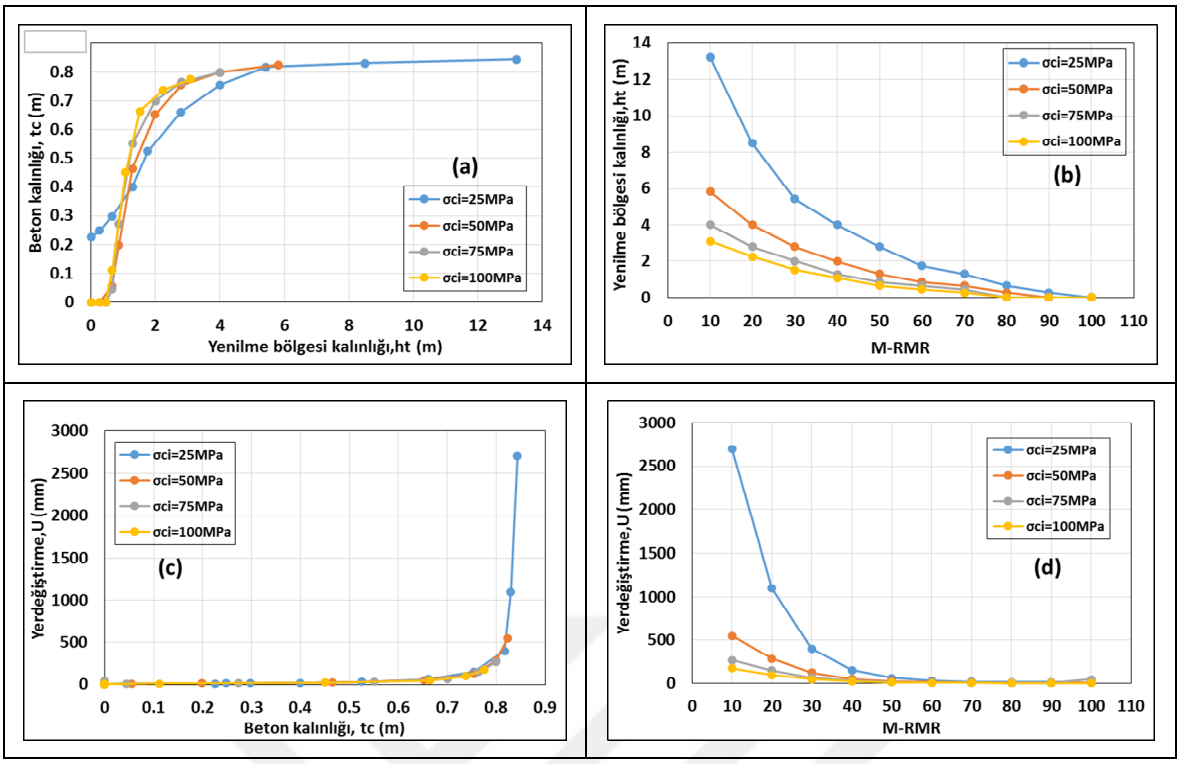
EK-1



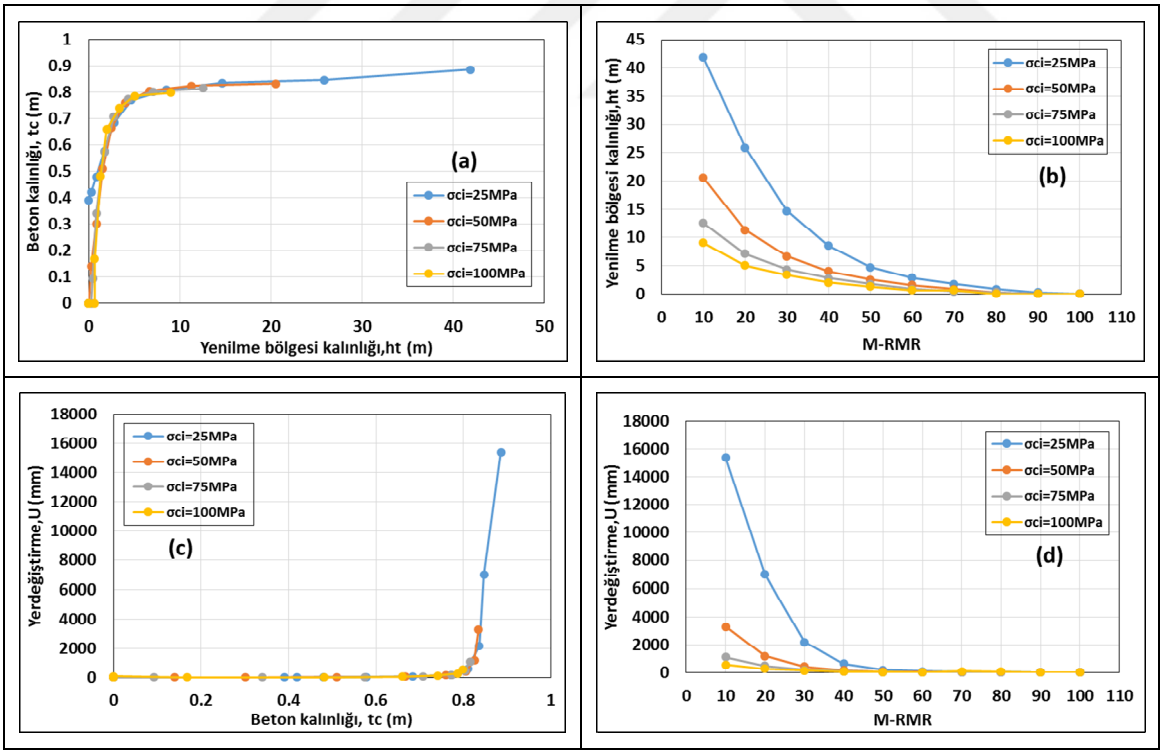
Z=300m ve D=0 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı



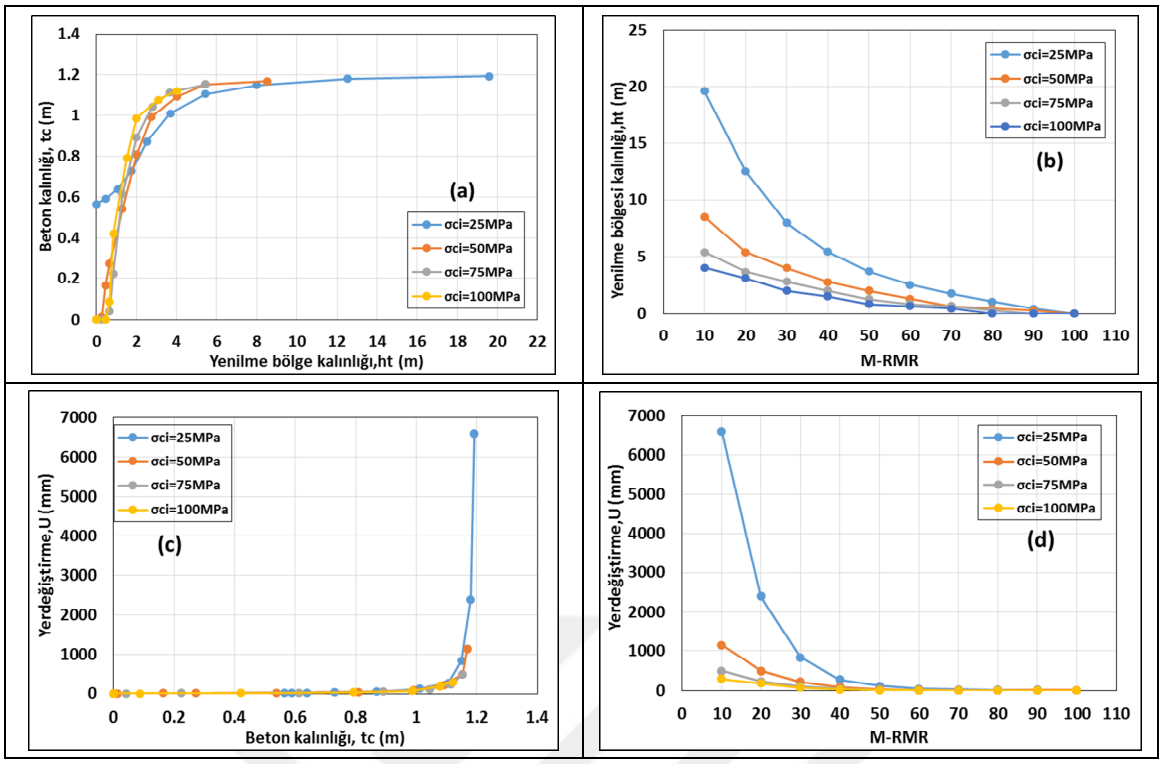
Z=300m ve D=0.5 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı



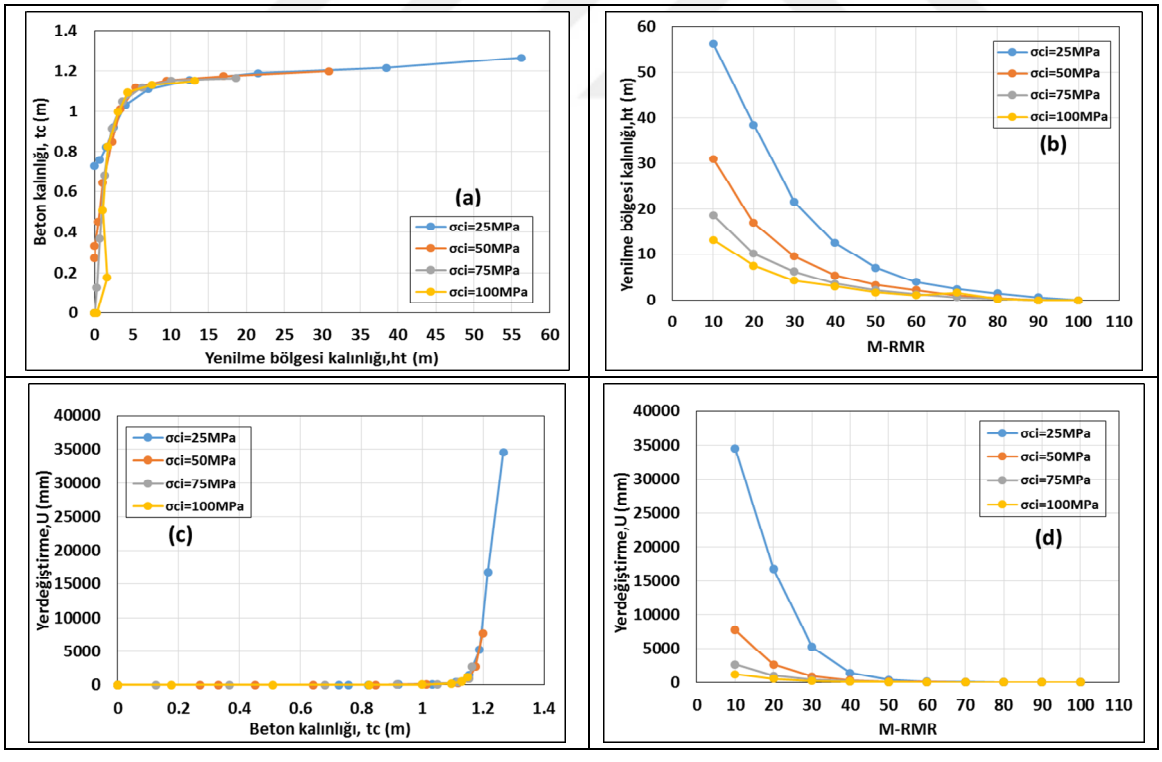
Z=500m ve D=0 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı



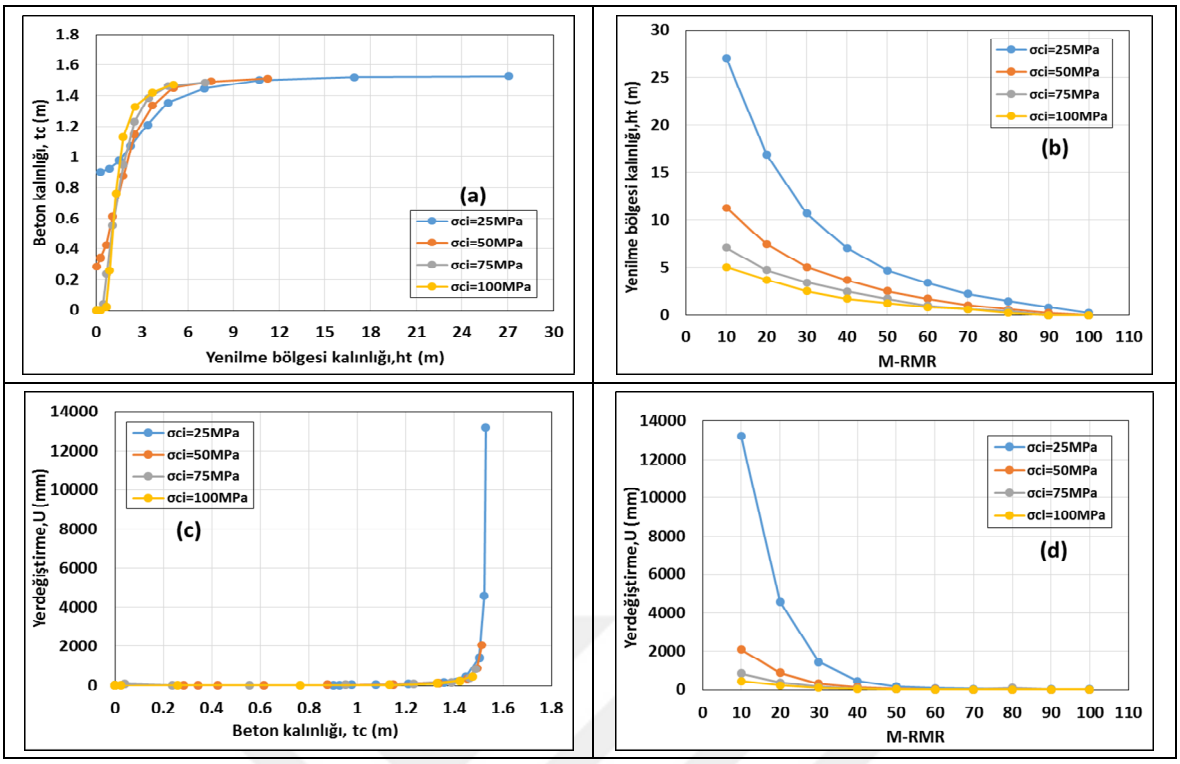
Z=500m ve D=0.5 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı



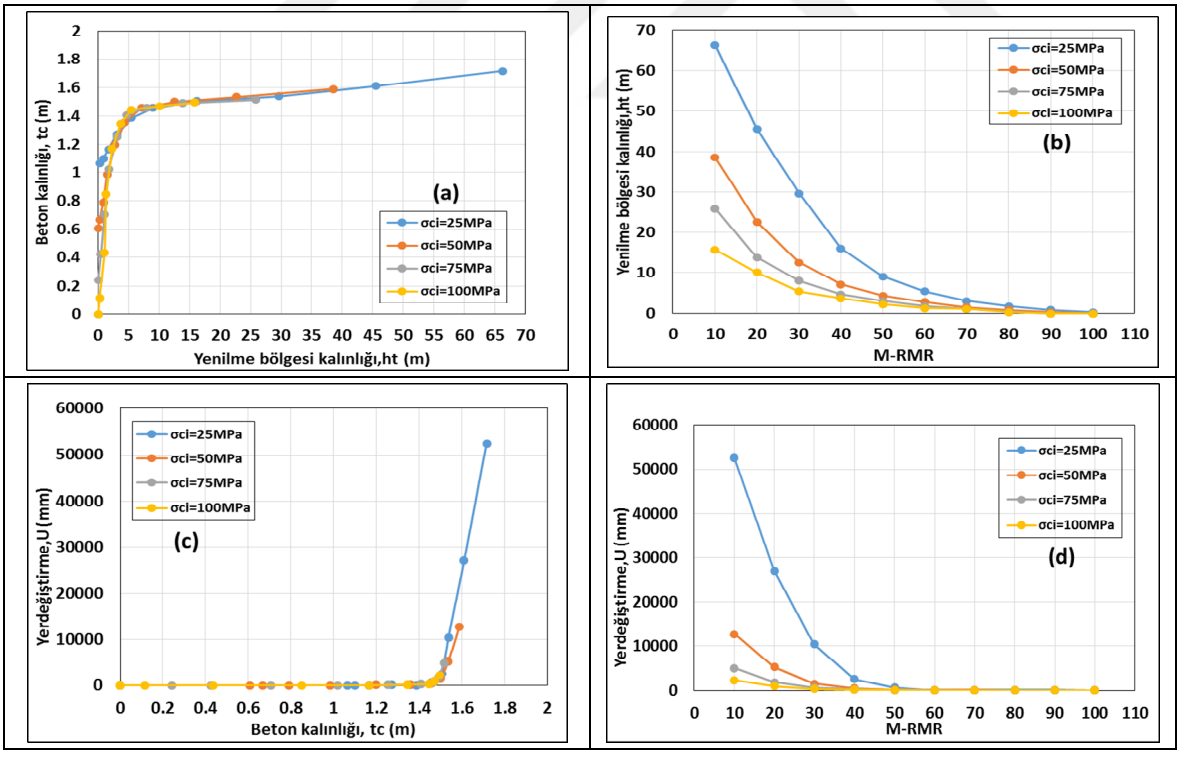
Z=700m ve D=0 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı



Z=700m ve D=0.5 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı

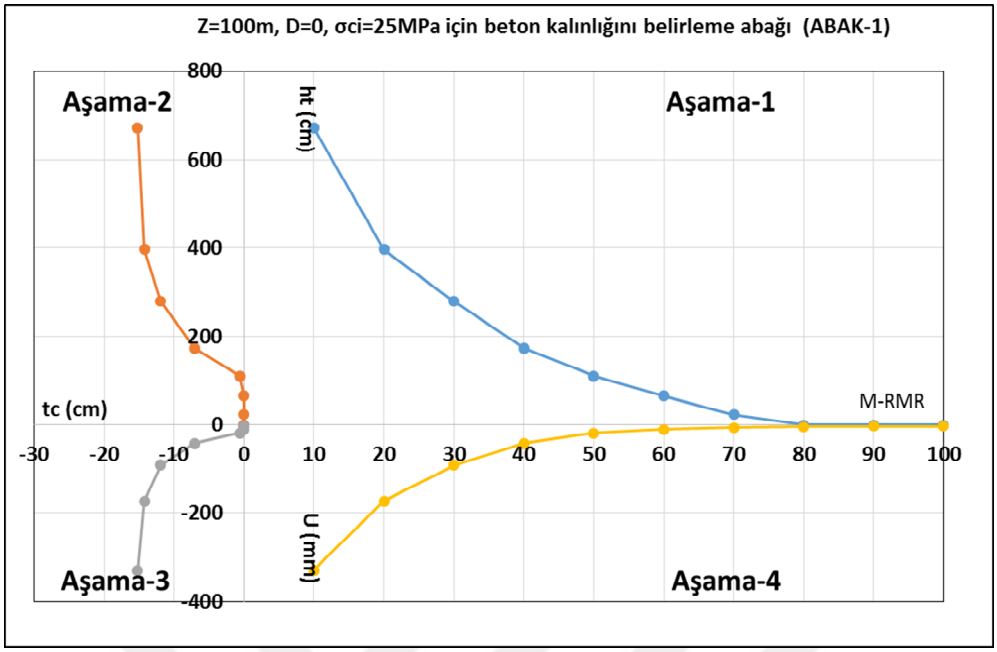


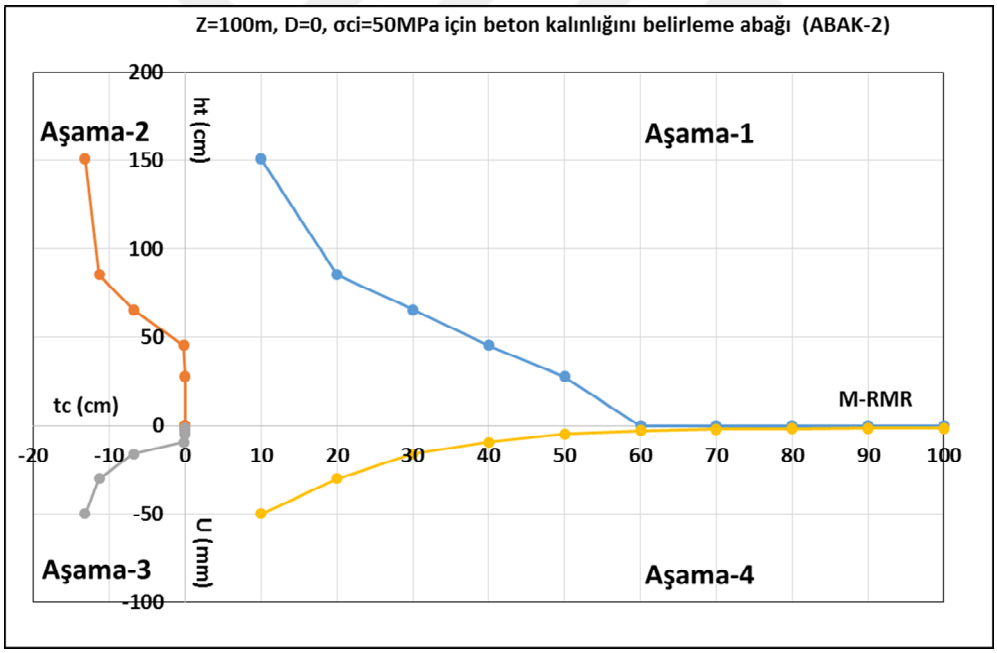
Z=900m ve D=0 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı



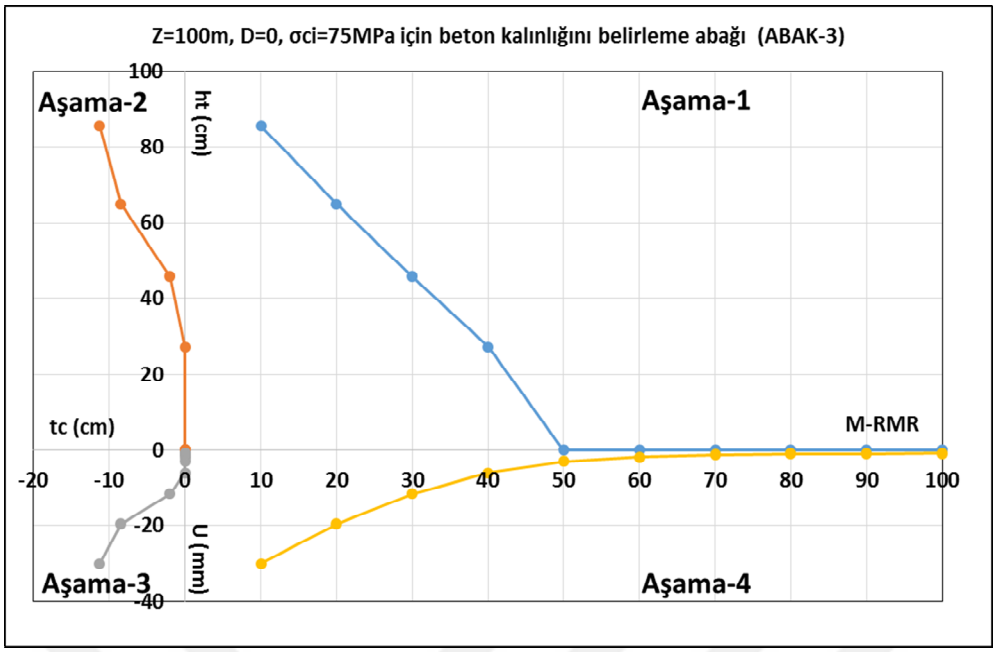
Z=900m ve D=0.5 koşulunda kuyu etrafında oluşan yenilme bölgesi kalınlığı (h_t), beton kalınlığı (t_c), yerdeğiştirme (U) davranışı

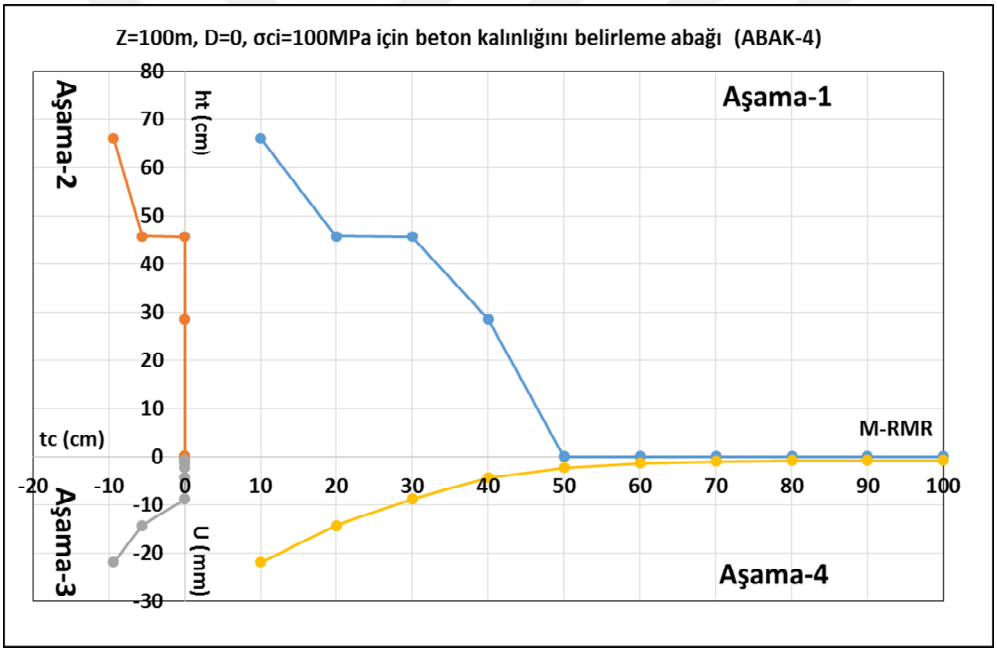
EK-2



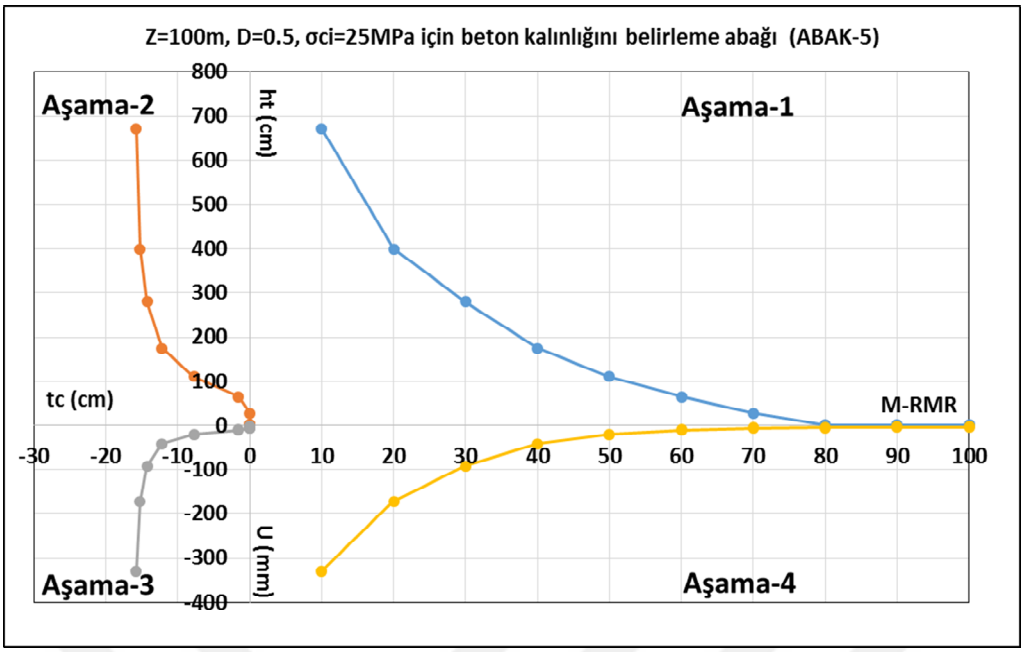


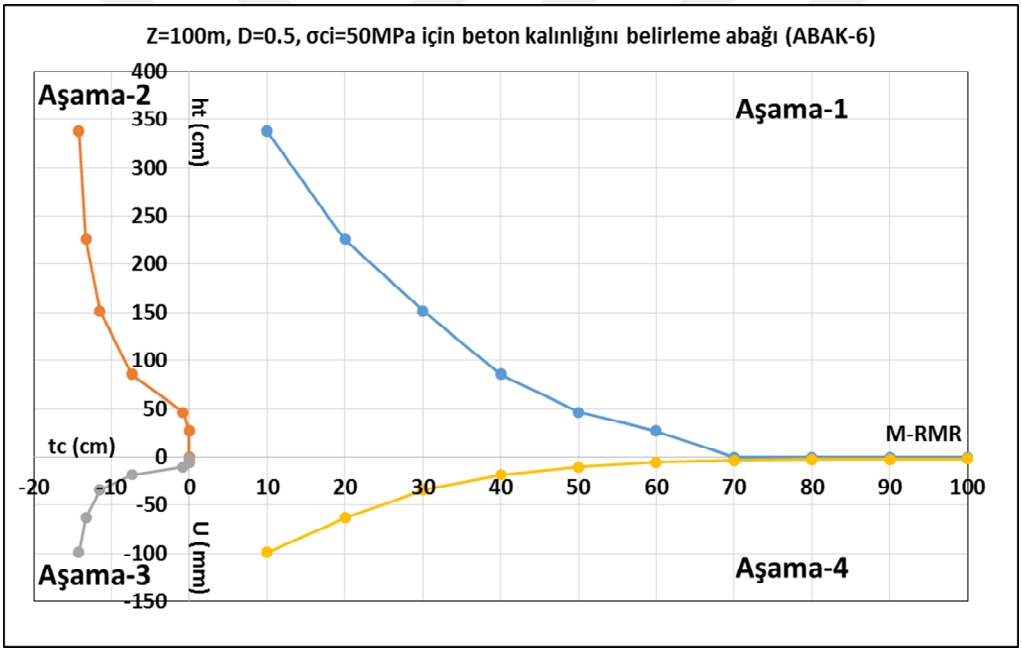
M-RMR	D=0 (ABAK-1)			D=0 (ABAK-2)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	672.7	15.2	330.00	151	13.2	50.00
20	396.9	14.2	172.00	85.4	11.3	30.00
30	279.3	11.9	92.00	65.6	6.8	16.10
40	174.1	7.1	42.00	45.5	0.2	9.20
50	110.5	0.6	19.60	27.6	0	4.60
60	65.9	0	10.80	0	0	2.70
70	23.6	0	6.30	0	0	1.84
80	0	0	4.60	0	0	1.54
90	0	0	4.00	0	0	1.43
100	0	0	3.80	0	0	1.38



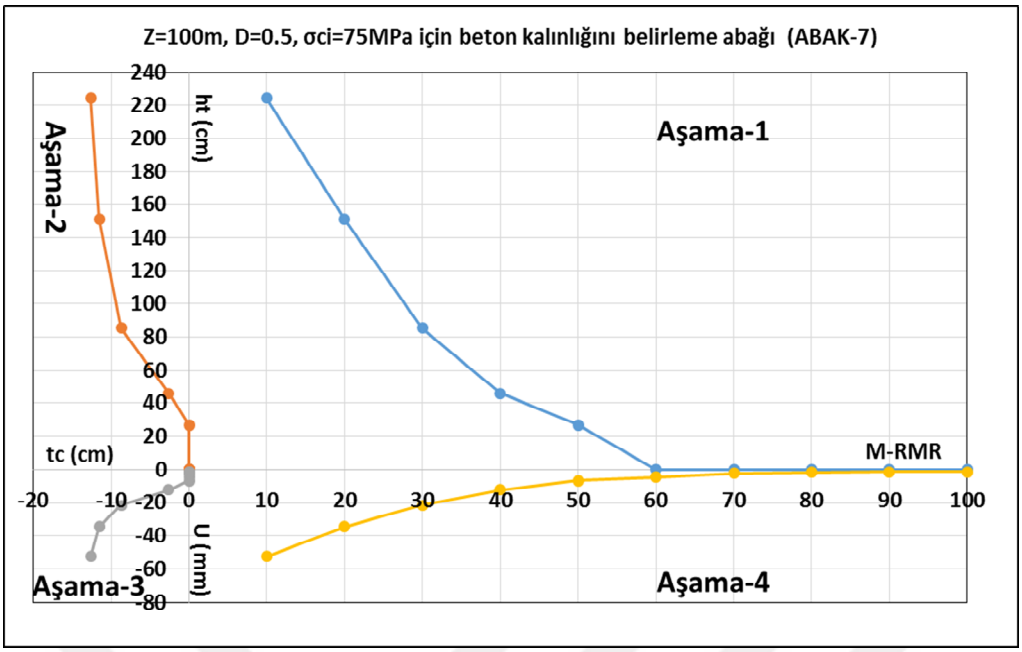


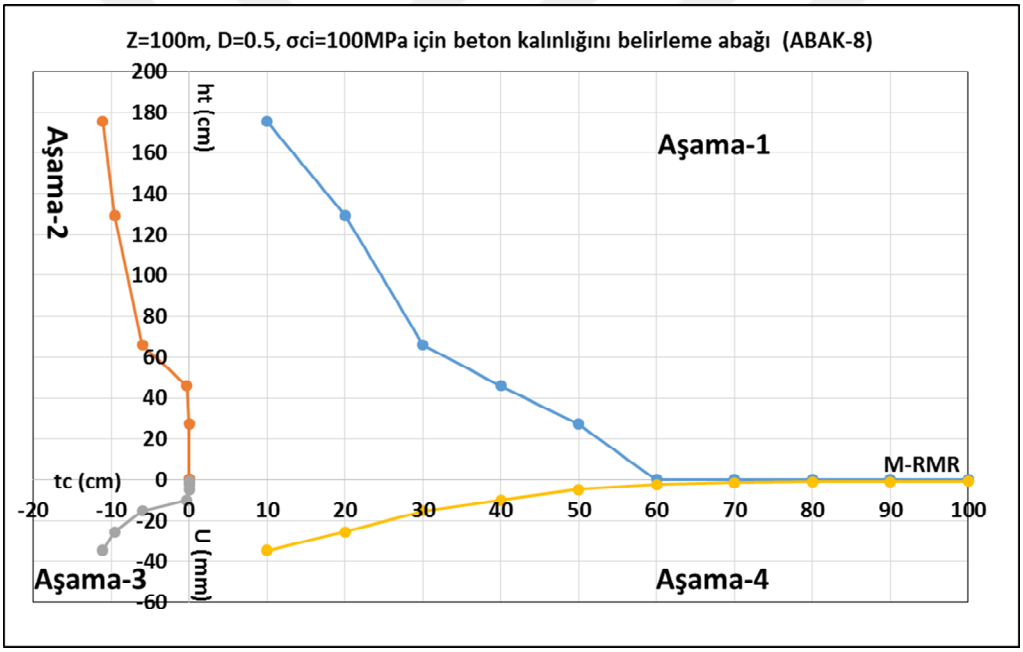
M-RMR	D=0 (ABAK-3)			D=0 (ABAK-4)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	85.6	11.3	30.00	66.1	9.4	21.90
20	65	8.5	19.60	45.8	5.6	14.30
30	45.8	2	11.50	45.7	0	8.80
40	27.3	0	6.00	28.6	0	4.40
50	0	0	3.00	0	0	2.28
60	0	0	1.80	0	0	1.32
70	0	0	1.27	0	0	0.92
80	0	0	1.04	0	0	0.77
90	0	0	0.95	0	0	0.74
100	0	0	0.92	0	0	0.69



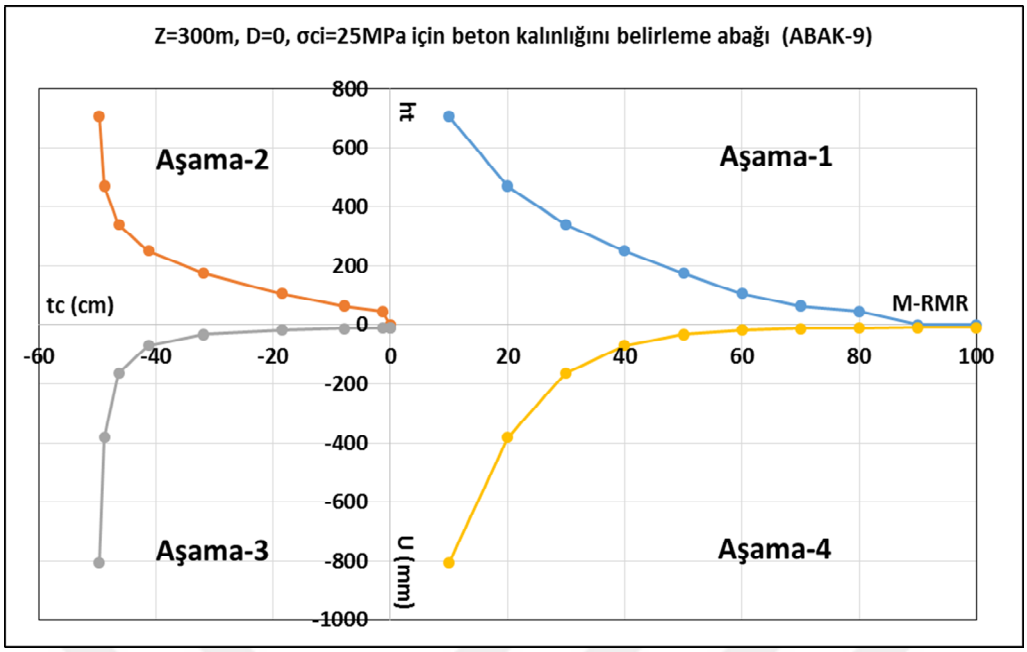


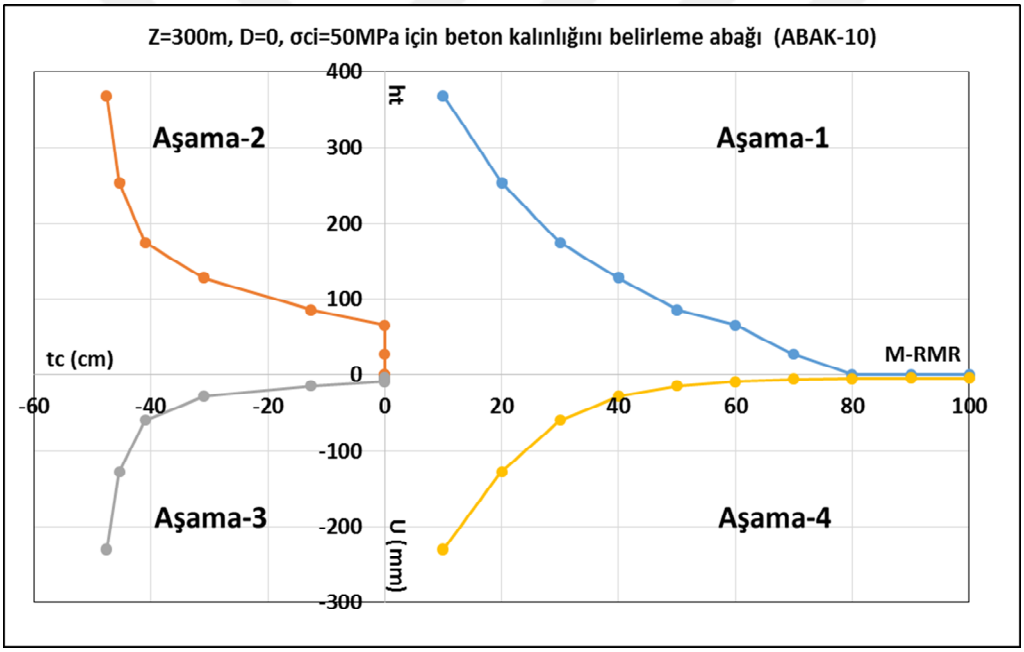
M-RMR	D=0.5 (ABAK-5)			D=0.5 (ABAK-6)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	671.2	15.8	330.00	337.8	14.2	99.00
20	400.3	15.3	172.00	225.7	13.3	63.00
30	279.5	14.3	92.00	151.6	11.5	34.50
40	174.7	12.2	42.00	85.4	7.4	18.40
50	110.5	7.8	19.60	46.2	0.8	9.90
60	64.8	1.6	10.80	27.2	0	5.25
70	27.1	0	6.30	0	0	3.15
80	0	0	4.80	0	0	2.40
90	0	0	4.00	0	0	2.04
100	0	0	3.80	0	0	1.92



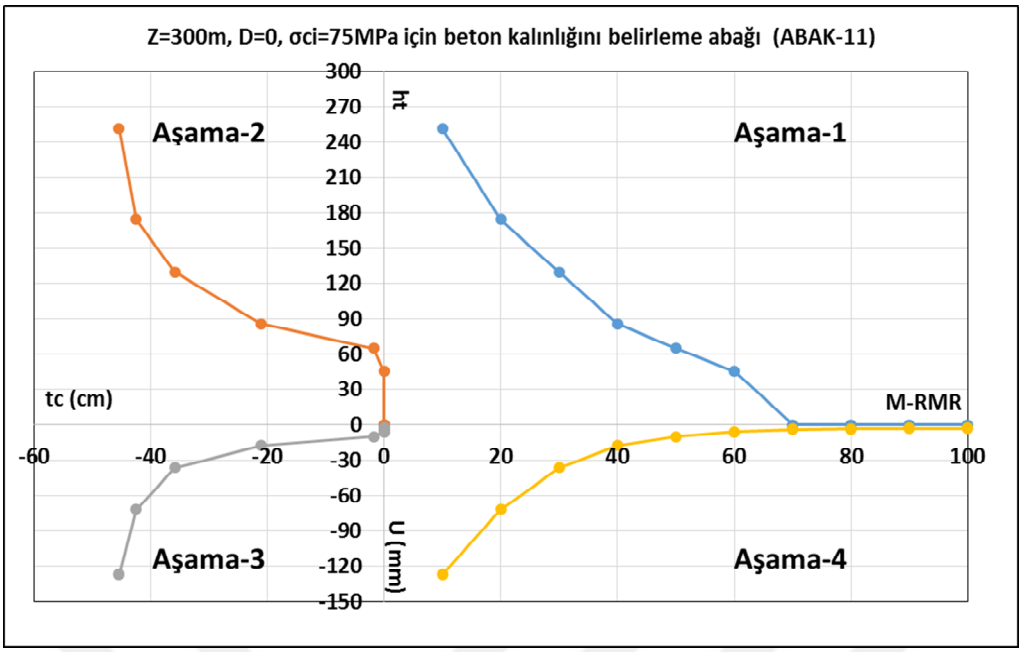


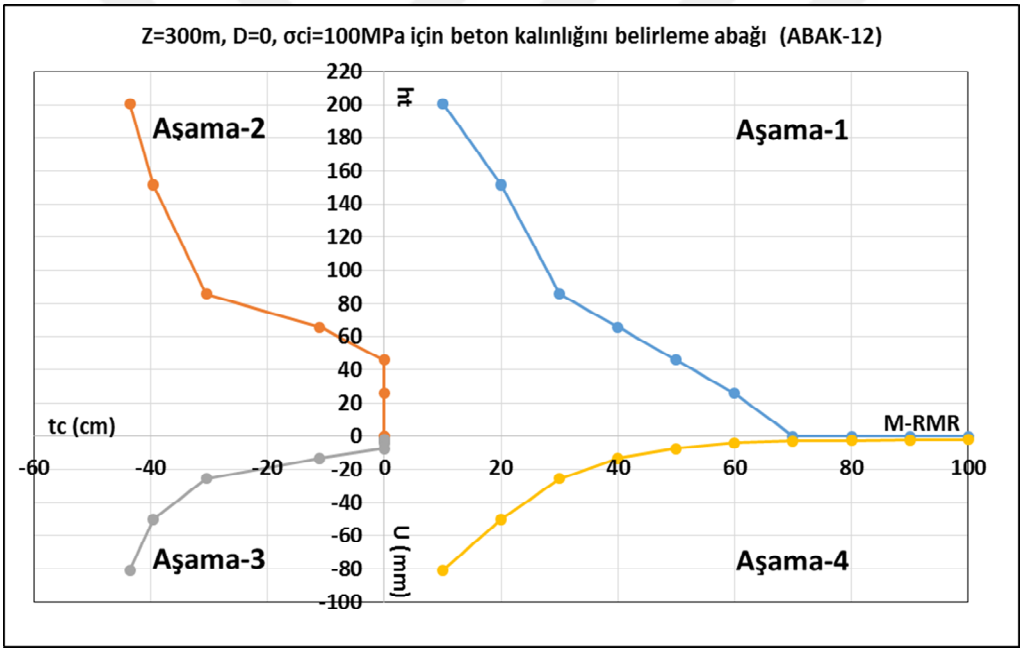
M-RMR	D=0.5 (ABAK-7)			D=0.5 (ABAK-8)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	224.5	12.6	52.50	175.4	11.1	34.50
20	151.1	11.5	34.50	129.5	9.6	25.50
30	85.5	8.7	21.60	66.2	6	15.40
40	45.8	2.6	12.10	46.1	0.3	9.90
50	26.9	0	6.60	27.3	0	4.80
60	0	0	4.45	0	0	2.55
70	0	0	2.16	0	0	1.54
80	0	0	1.54	0	0	1.15
90	0	0	1.32	0	0	0.99
100	0	0	1.27	0	0	0.92



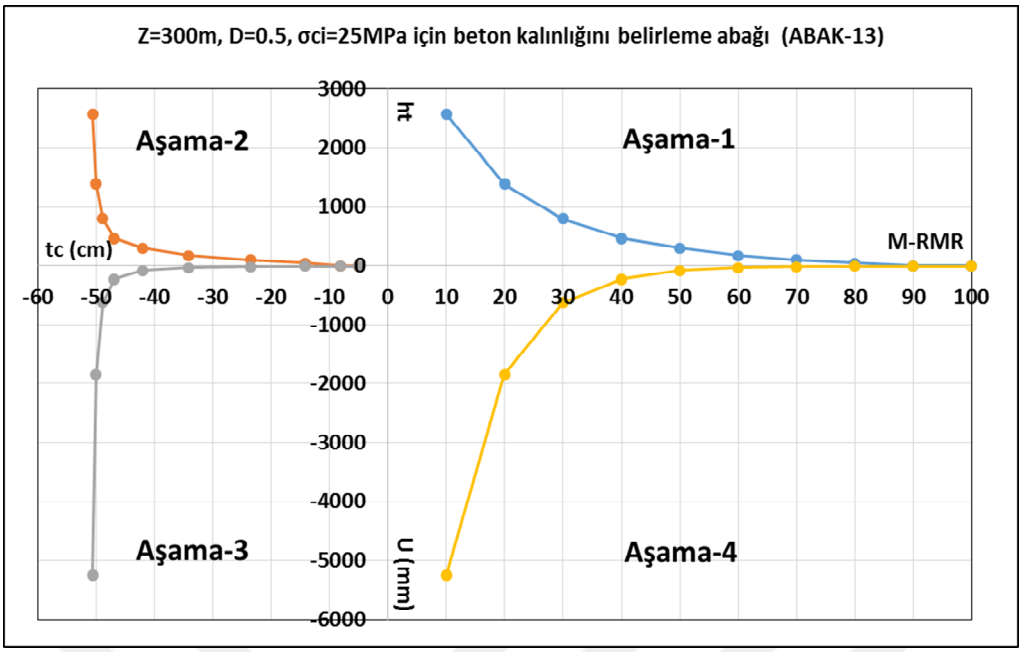


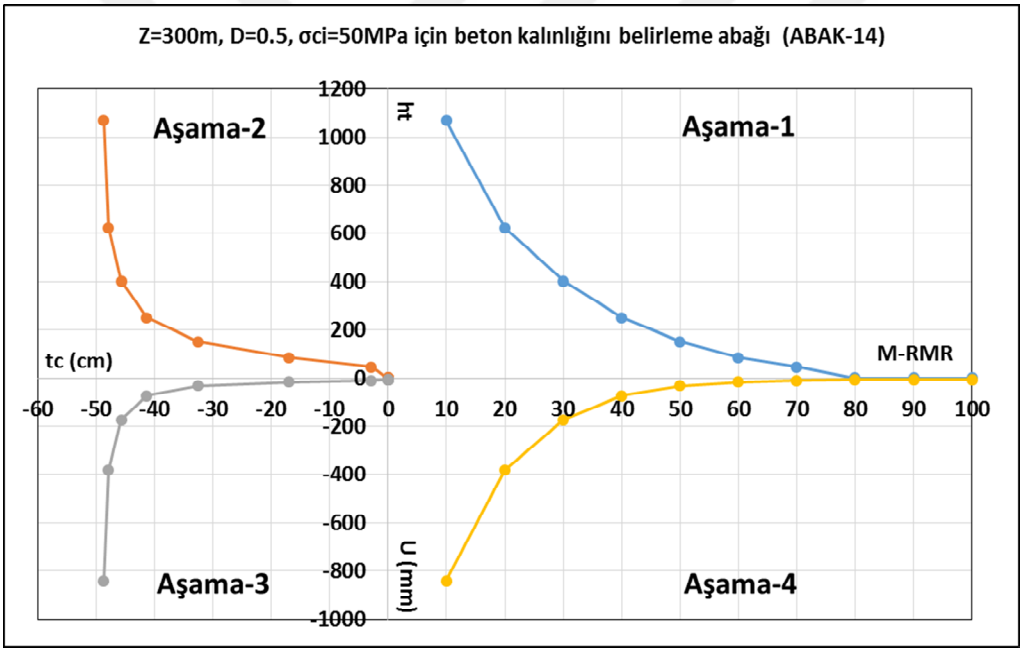
M-RMR	D=0 (ABAK-9)			D=0 (ABAK-10)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	707.6	49.7	805.00	368.4	47.6	230.00
20	469.3	48.8	380.00	253.7	45.4	127.00
30	339.3	46.3	161.00	174	41	60.00
40	252.9	41.2	69.00	128.3	31	28.50
50	175	31.8	31.50	85.7	12.6	14.40
60	106.4	18.5	17.30	65.9	0	8.80
70	64.9	7.9	12.00	27.1	0	5.75
80	45.6	1.3	9.90	0	0	4.80
90	0	0	8.40	0	0	4.20
100	0	0	8.40	0	0	4.20



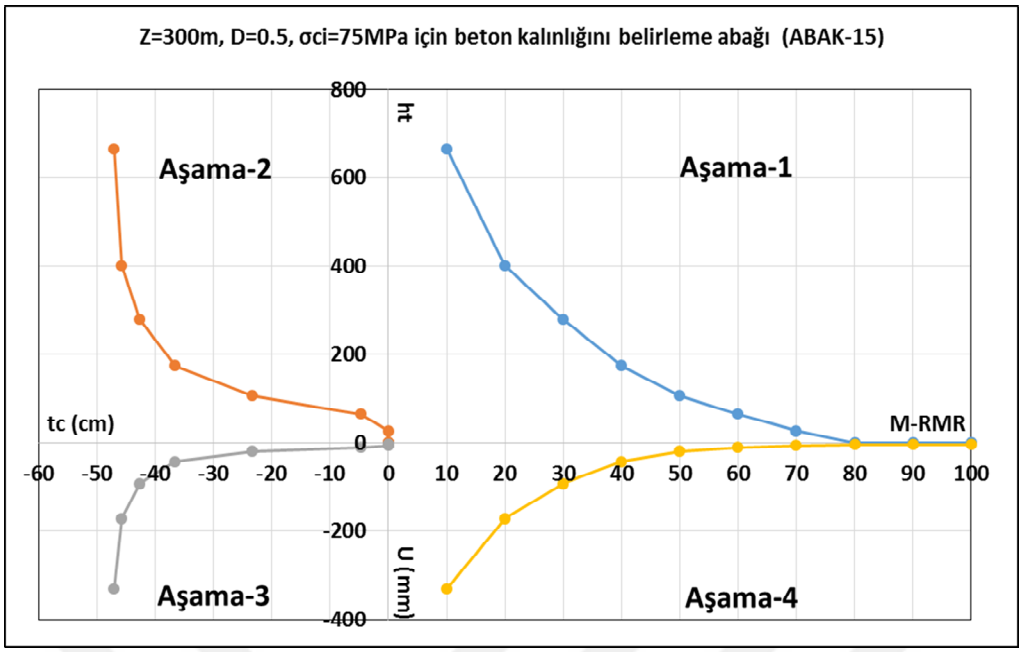


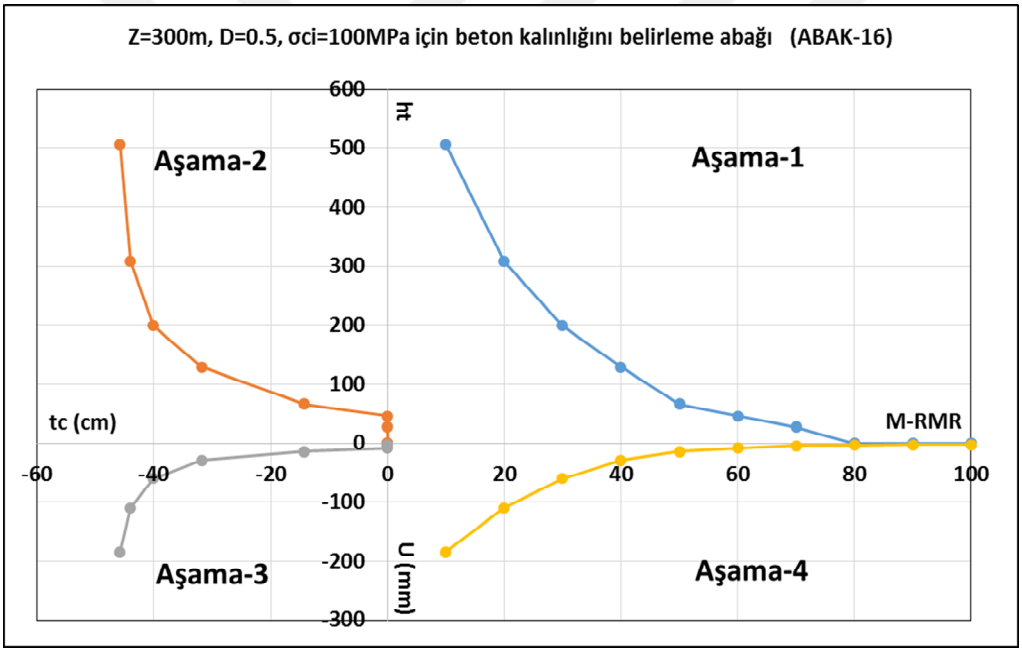
M-RMR	D=0 (ABAK-11)			D=0 (ABAK-12)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	251.7	45.4	127.00	200.5	43.6	80.50
20	174.7	42.5	72.00	151.3	39.6	50.00
30	129.6	35.8	36.00	85.7	30.5	25.50
40	86	21.1	17.30	65.7	11.1	13.20
50	65.2	1.8	9.90	46	0	7.35
60	45.9	0	5.50	25.7	0	4.00
70	0	0	3.80	0	0	2.85
80	0	0	3.15	0	0	2.40
90	0	0	2.85	0	0	2.18
100	0	0	2.70	0	0	2.07



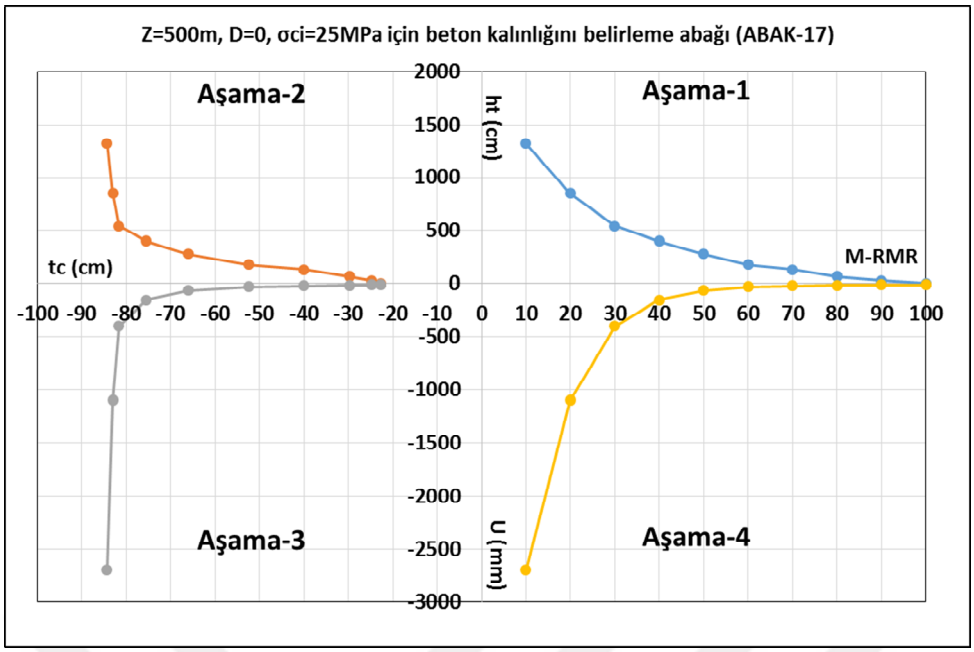


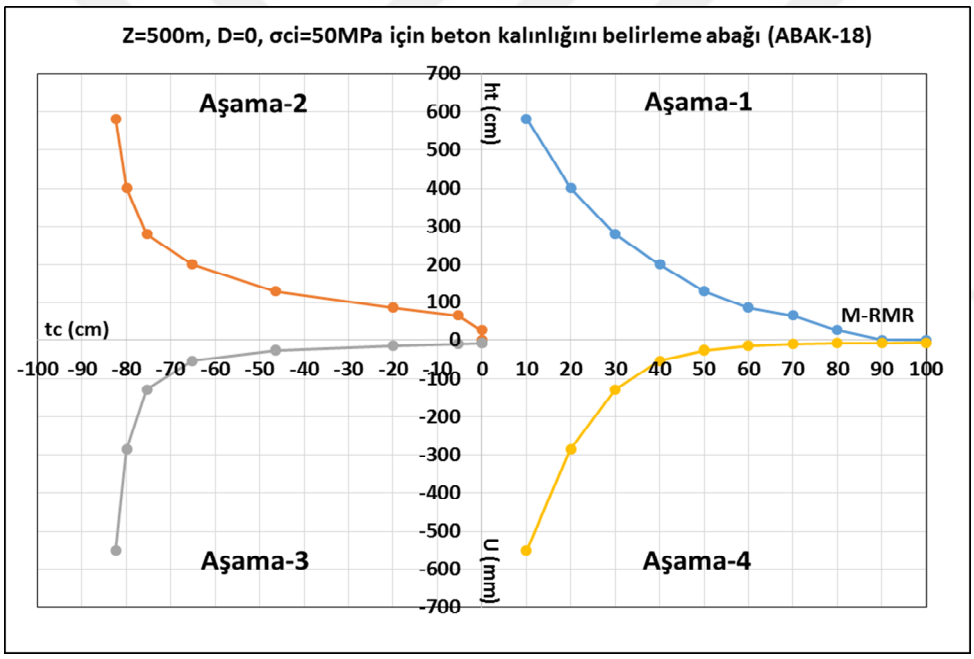
M-RMR	D=0.5 (ABAK-13)			D=0.5 (ABAK-14)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	2581.3	50.6	5250.00	1067.8	48.7	840.00
20	1389.4	50	1840.00	621.9	47.9	380.00
30	801.3	48.9	630.00	401.8	45.7	172.00
40	469.1	46.9	228.00	251.7	41.4	73.50
50	308.5	42	84.00	151.6	32.6	31.50
60	175.2	34.1	36.00	85.2	17	15.40
70	106.6	23.6	19.60	45.9	2.9	9.90
80	45.9	14.2	13.20	0	0	6.90
90	0	8.1	11.50	0	0	6.00
100	0	5.1	11.00	0	0	5.75



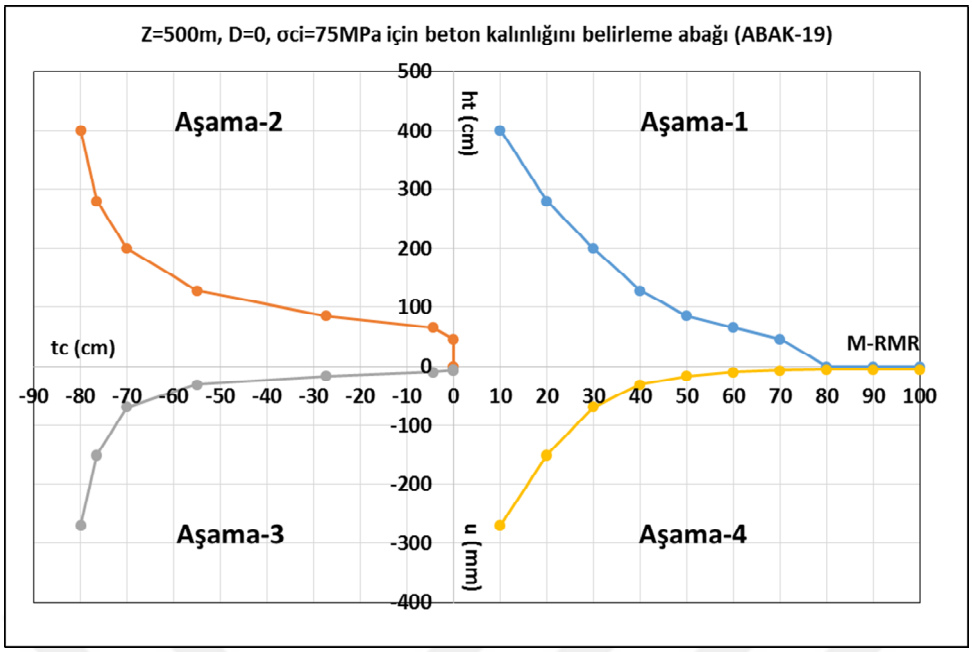


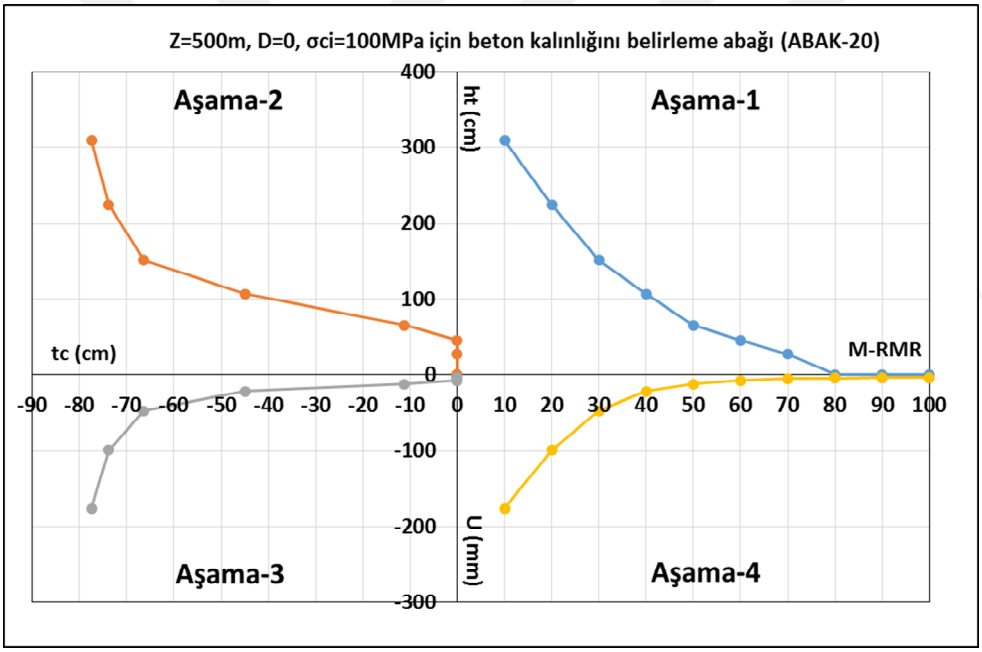
M-RMR	D=0.5 (ABAK-15)			D=0.5 (ABAK-16)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	2581.3	50.6	5250.00	1067.8	48.7	840.00
20	1389.4	50	1840.00	621.9	47.9	380.00
30	801.3	48.9	630.00	401.8	45.7	172.00
40	469.1	46.9	228.00	251.7	41.4	73.50
50	308.5	42	84.00	151.6	32.6	31.50
60	175.2	34.1	36.00	85.2	17	15.40
70	106.6	23.6	19.60	45.9	2.9	9.90
80	45.9	14.2	13.20	0	0	6.90
90	0	8.1	11.50	0	0	6.00
100	0	5.1	11.00	0	0	5.75



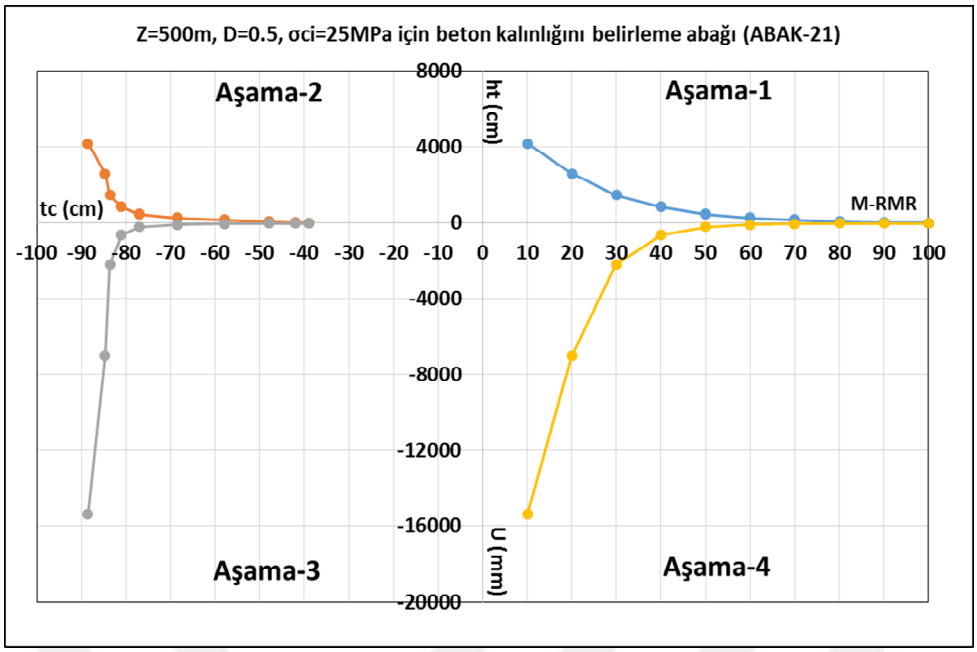


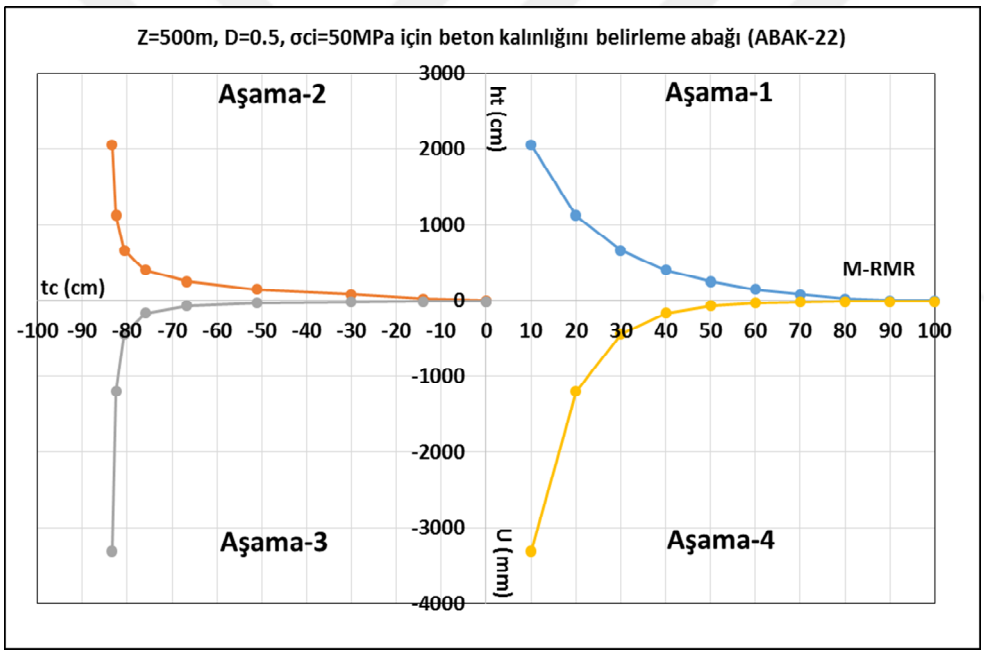
M-RMR	D=0 (ABAK-17)			D=0 (ABAK-18)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	1320.1	84.3	2700.00	582.1	82.4	550.00
20	849.4	83	1100.00	400.6	79.9	285.00
30	542.9	81.7	400.00	279.6	75.4	127.00
40	400.8	75.5	154.00	199.4	65.2	52.50
50	279.7	66.1	66.00	129.1	46.5	25.50
60	175.5	52.5	31.50	86.1	19.9	14.40
70	129.4	40	20.70	64.9	5.4	9.90
80	66.1	29.8	15.00	26.9	0	8.05
90	26.9	24.8	13.20	0	0	7.35
100	0	22.6	12.70	0	0	6.90



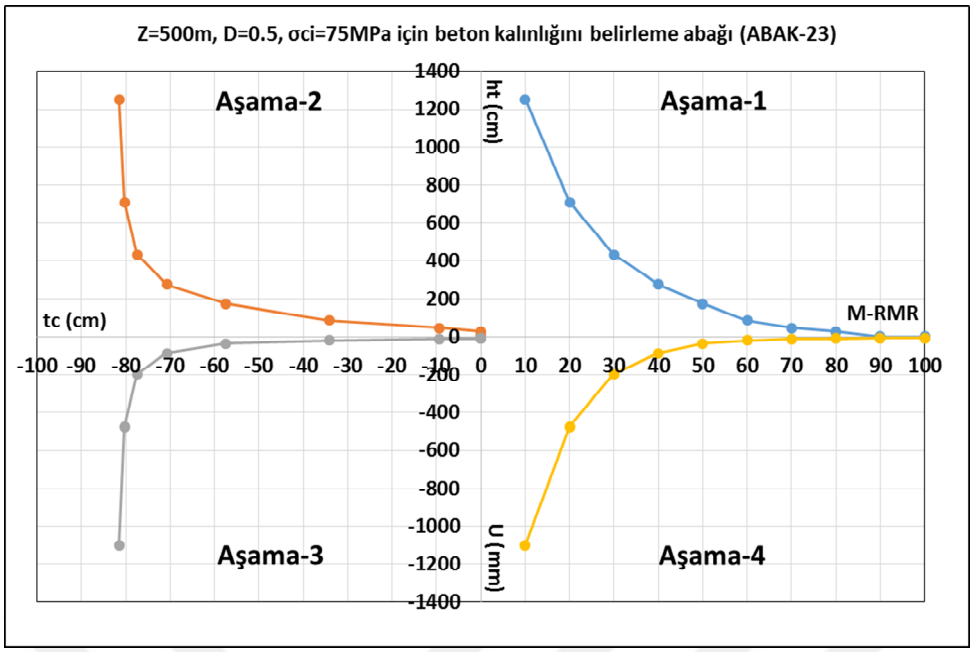


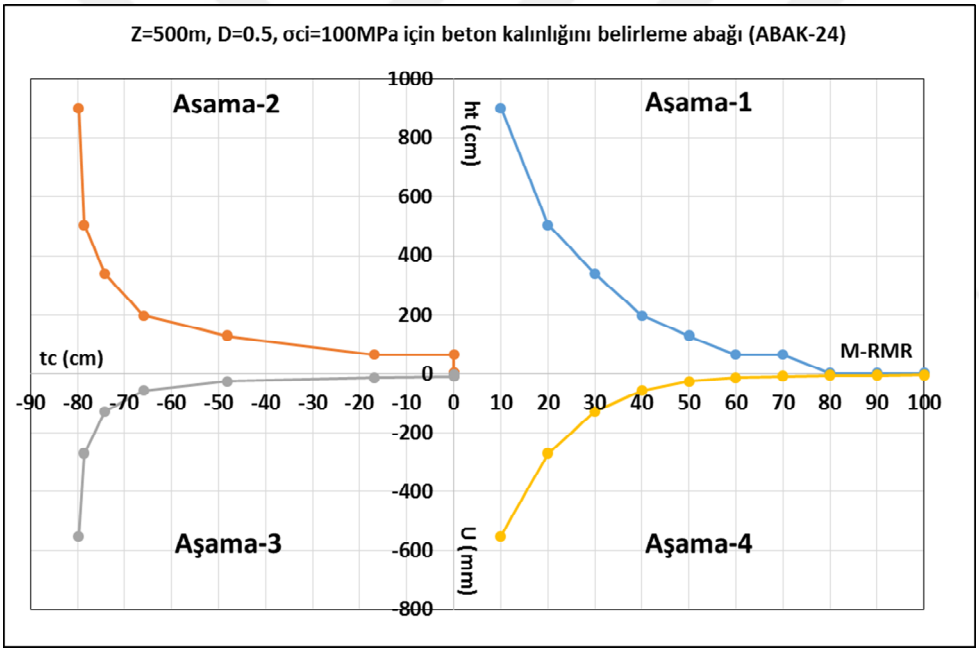
M-RMR	D=0 (ABAK-19)			D=0 (ABAK-20)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	400.7	79.9	270.00	309	77.5	176.00
20	280.2	76.4	150.00	224.7	73.8	99.00
30	200	70	69.00	151.4	66.4	47.50
40	128.5	55	31.50	106.8	45	21.90
50	85.7	27.3	16.10	65.4	11.2	12.10
60	65.6	4.4	9.90	46.1	0	7.35
70	45.9	0	6.60	27.2	0	4.80
80	0	0	5.25	0	0	4.00
90	0	0	4.75	0	0	3.60
100	0	0	4.60	0	0	3.45



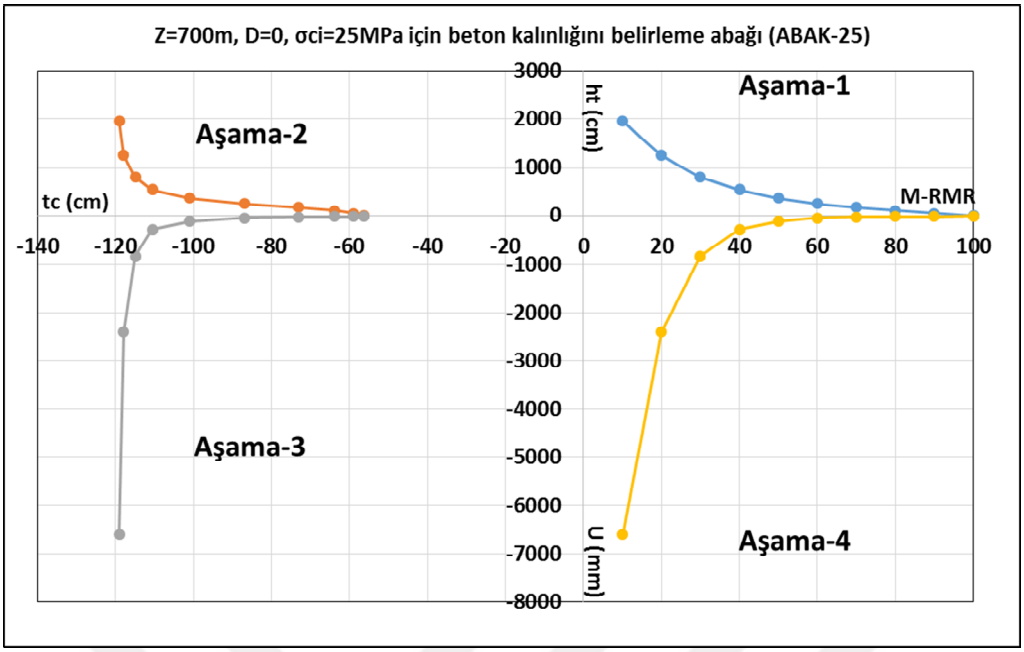


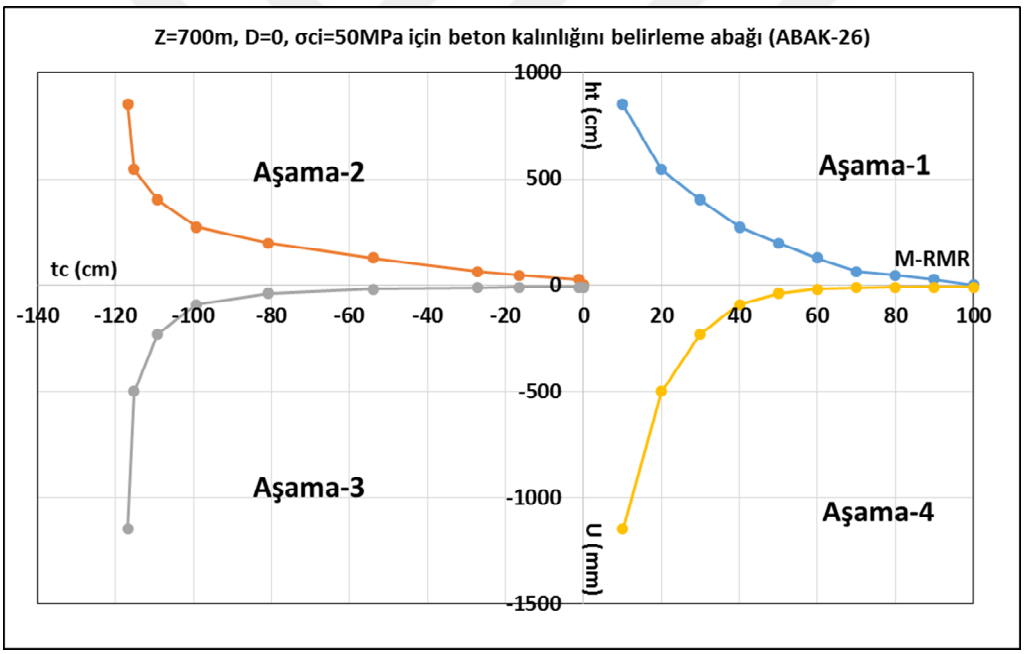
M-RMR	D=0.5 (ABAK-21)			D=0.5 (ABAK-22)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	4184.9	88.6	15400.00	2054.4	83.4	3300.00
20	2587.9	84.7	7000.00	1127.2	82.5	1200.00
30	1463.5	83.6	2190.00	664.3	80.6	440.00
40	850.9	81	630.00	401	76	165.00
50	468.5	77.1	196.00	251.7	66.7	63.00
60	280	68.4	73.50	151.8	51.1	28.50
70	174.5	57.8	36.00	85.2	30.1	15.40
80	85.4	48	23.00	26.8	14	11.50
90	27.1	42	18.00	0	0	9.90
100	0	39	16.10	0	0	9.60



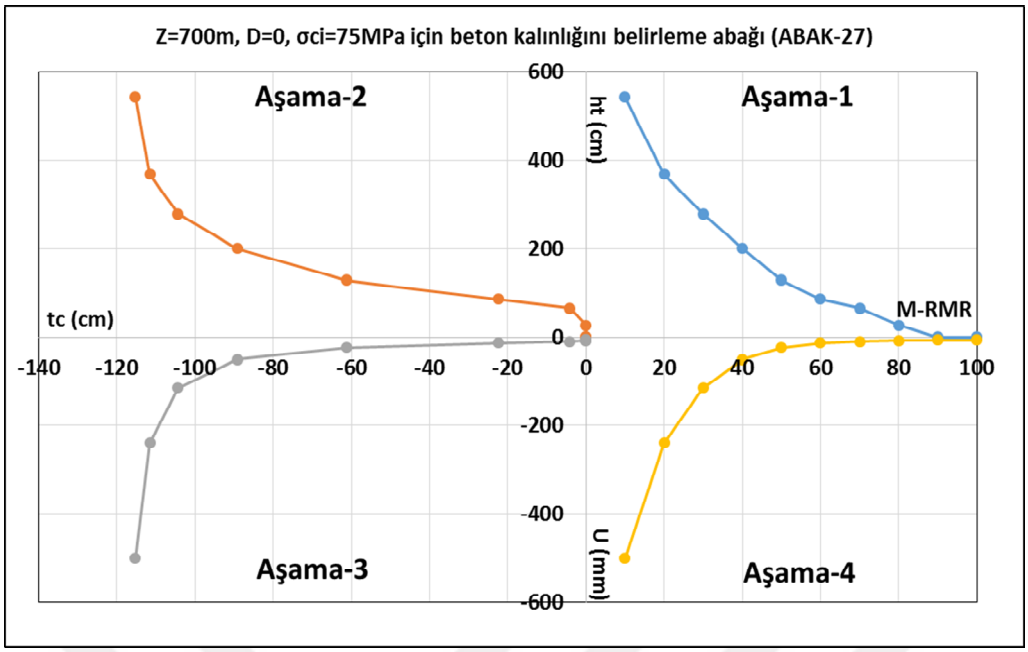


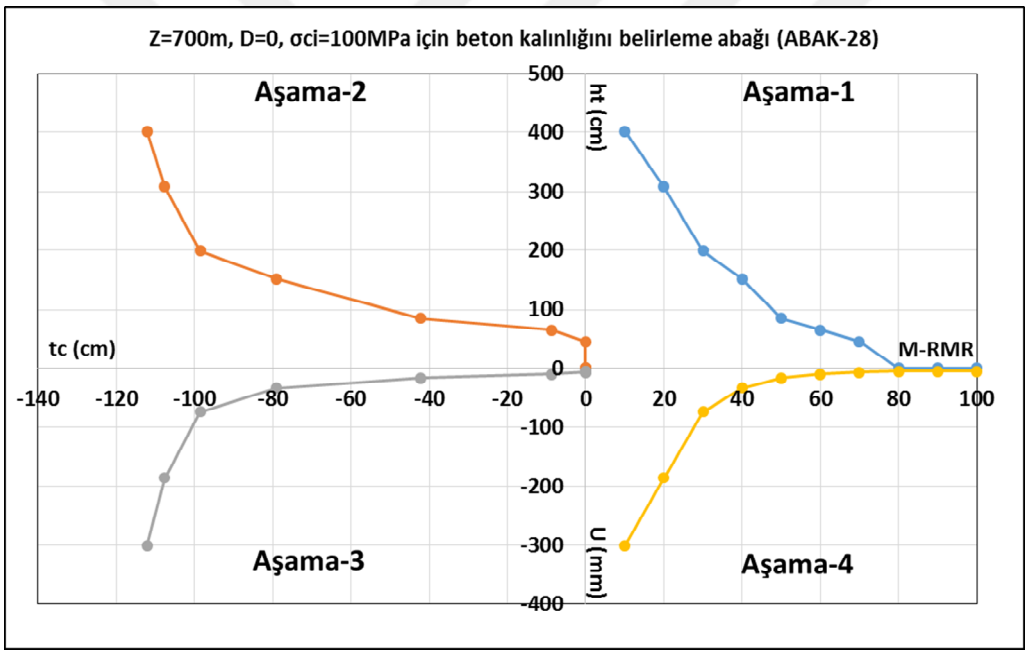
M-RMR	D=0.5 (ABAK-23)			D=0.5 (ABAK-24)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	1253.4	81.5	1100.00	901.6	79.8	550.00
20	707.8	80.3	475.00	505.7	78.6	270.00
30	433.9	77.4	196.00	338	74.2	127.00
40	275.4	70.7	88.00	198.7	66	57.50
50	174.5	57.5	36.00	128.7	48.2	25.50
60	85.4	34.1	17.30	64.7	16.9	13.20
70	45.3	9.3	11.00	65.4	0	8.80
80	27	0	7.70	0	0	6.00
90	0	0	6.60	0	0	5.00
100	0	0	6.60	0	0	4.80



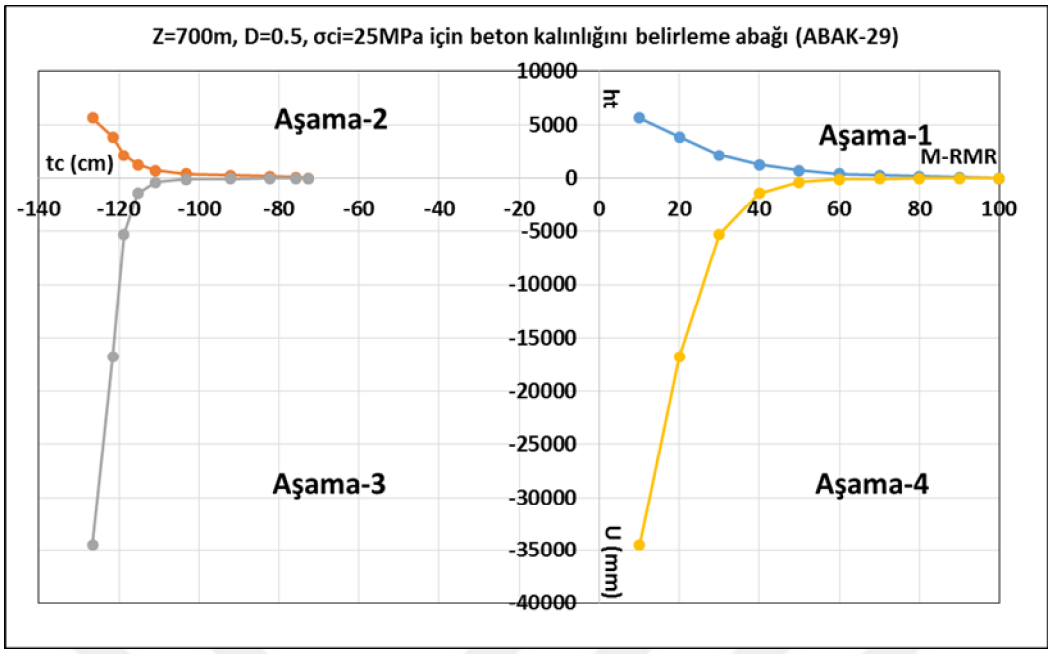


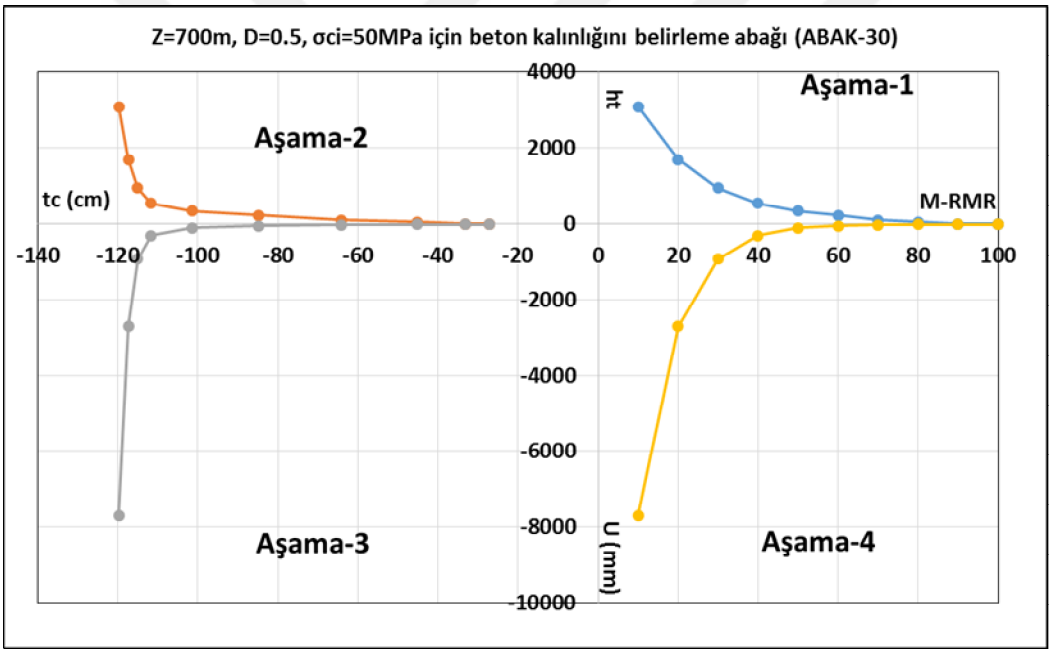
M-RMR	D=0 (ABAK-25)			D=0 (ABAK-26)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	1960.1	119.1	6600.00	850.4	116.9	1150.00
20	1253.6	118	2400.00	543.3	115.3	500.00
30	800.2	114.9	840.00	401.3	109.2	230.00
40	543.9	110.6	285.00	274.9	99.2	92.00
50	368.8	101	121.00	199.4	80.9	40.00
60	252.4	86.9	52.50	129.1	53.9	20.70
70	175.5	73	31.50	65.6	27.2	13.80
80	106.9	63.8	21.90	46.2	16.5	11.00
90	45.7	58.9	18.40	27.2	1.3	9.90
100	0	56.4	16.50	0	0	9.90



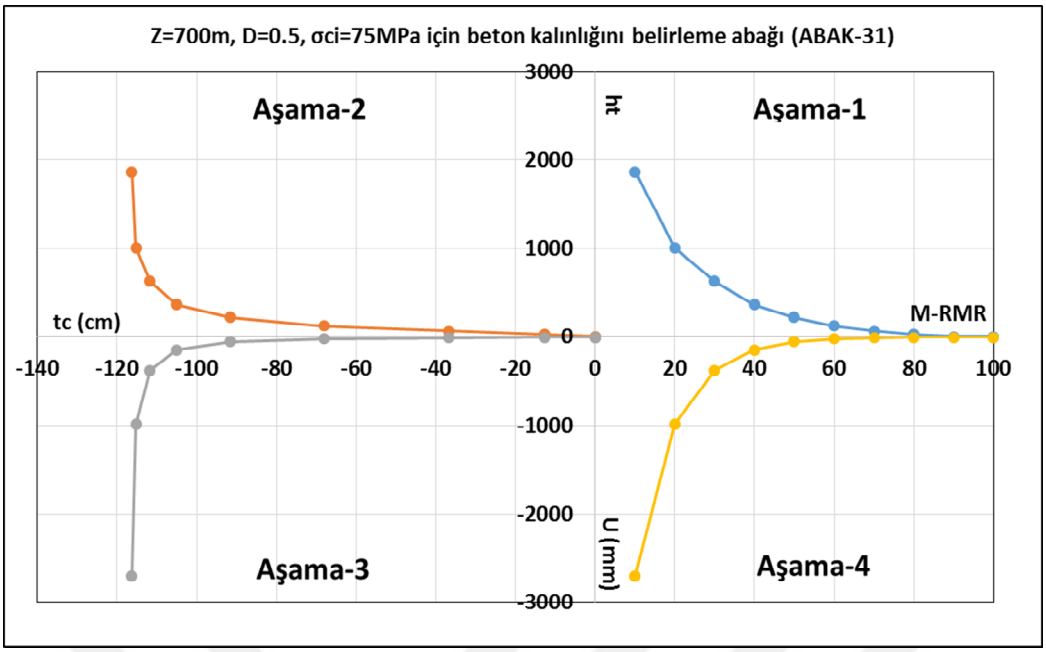


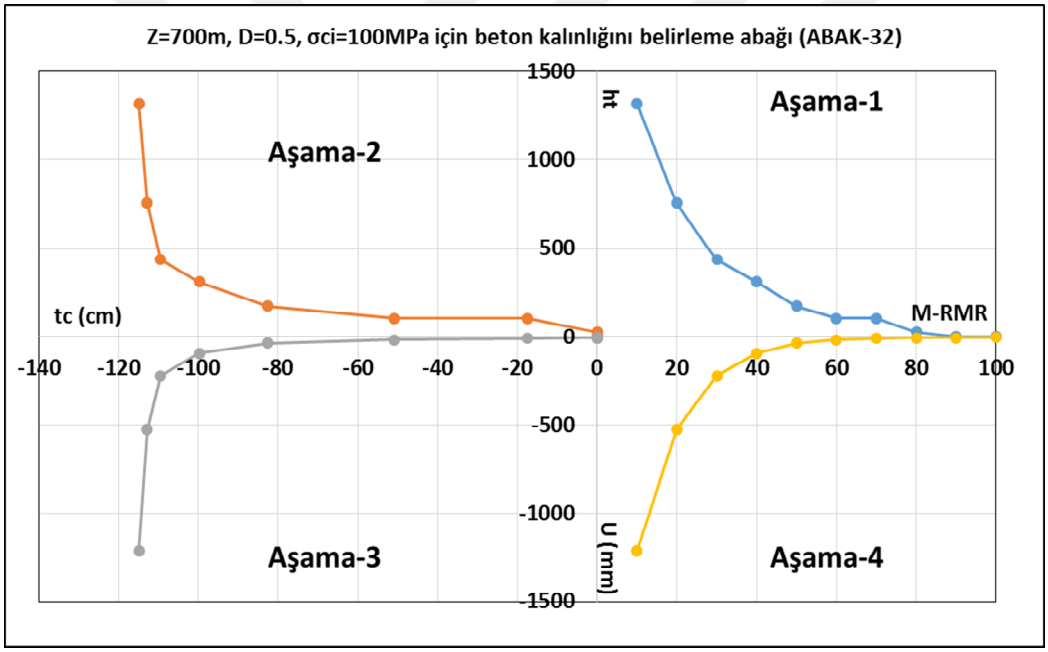
M-RMR	D=0 (ABAK-27)			D=0 (ABAK-28)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	543.2	115.3	500.00	401.4	112.1	300.00
20	367.8	111.5	240.00	307.9	107.7	186.00
30	279.6	104.4	115.00	199.4	98.6	73.50
40	200.6	89.2	50.00	151.8	79.2	33.00
50	128.8	61.3	23.00	85.6	42.1	16.50
60	85.2	22.4	13.20	65.6	8.8	10.40
70	65.4	4.1	9.60	46	0	6.90
80	27.2	0	7.35	0	0	5.50
90	0	0	6.60	0	0	5.00
100	0	0	6.60	0	0	5.00



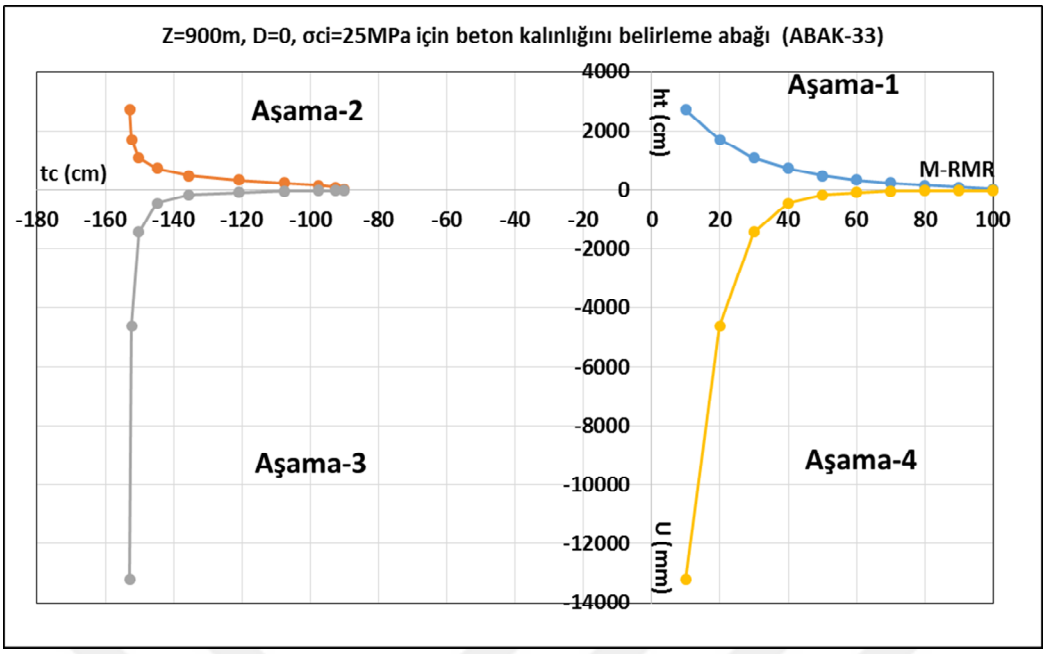


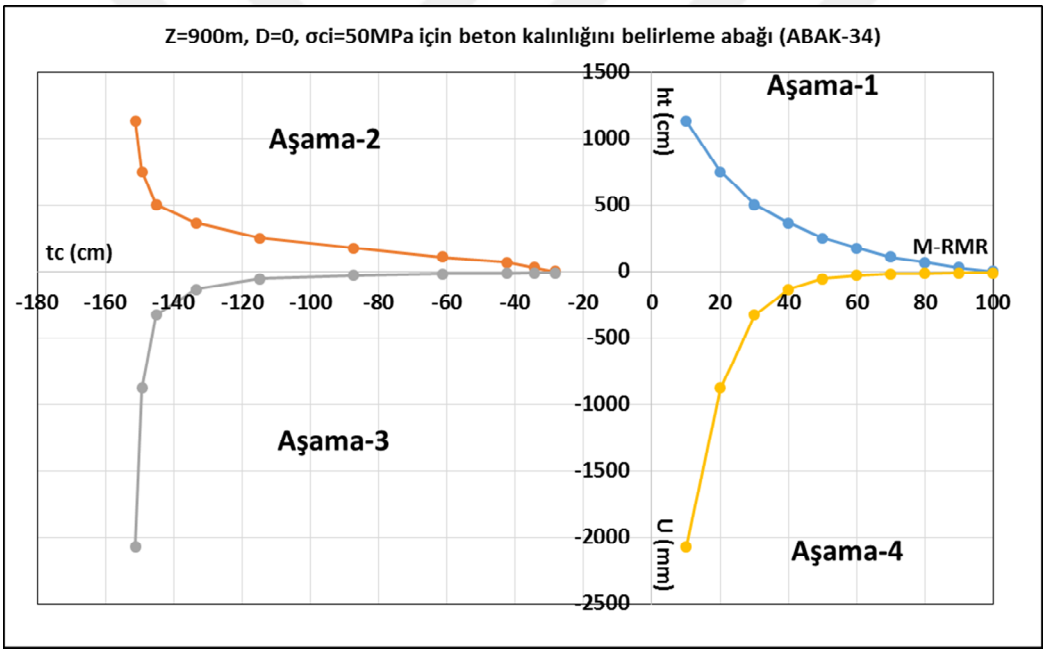
M-RMR	D=0.5 (ABAK-29)			D=0.5 (ABAK-30)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	5627.1	126.6	34500.00	3091.9	119.8	7700.00
20	3850.6	121.5	16800.00	1695.5	117.4	2700.00
30	2151	118.8	5250.00	952.9	115.1	920.00
40	1250.5	115.3	1440.00	542.3	111.7	300.00
50	708.1	110.9	380.00	337.8	101.4	105.00
60	400.8	103.2	132.00	225.1	84.8	46.00
70	252	92.2	57.50	106.4	64.2	23.00
80	151.1	82.2	34.50	46.1	45.2	15.40
90	65.4	75.8	24.00	0	33.1	13.20
100	0	72.6	21.90	0	27.1	12.10



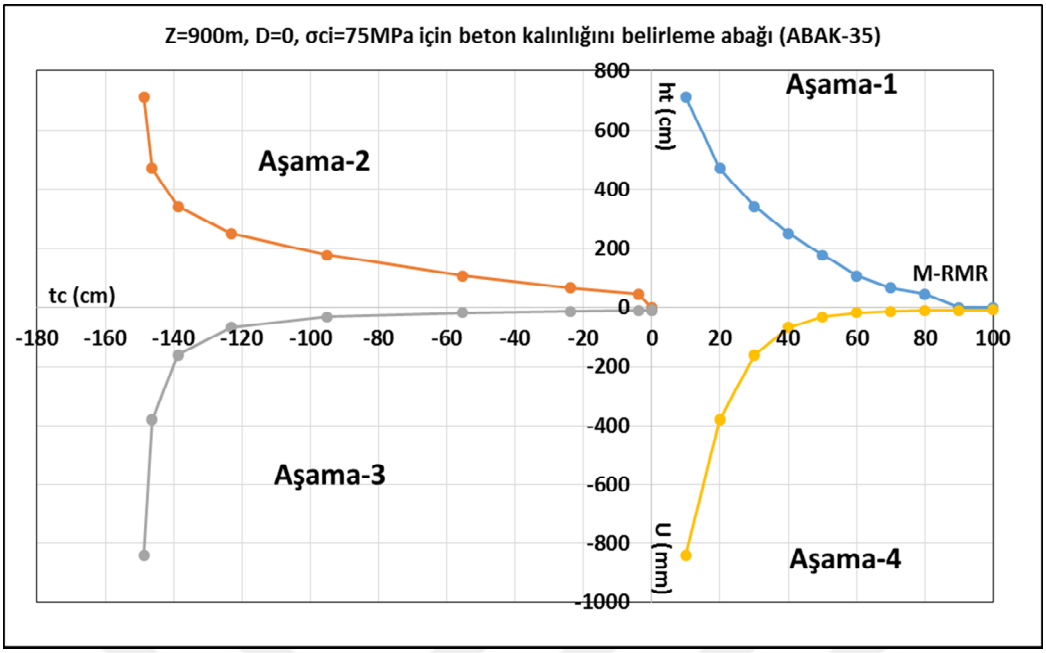


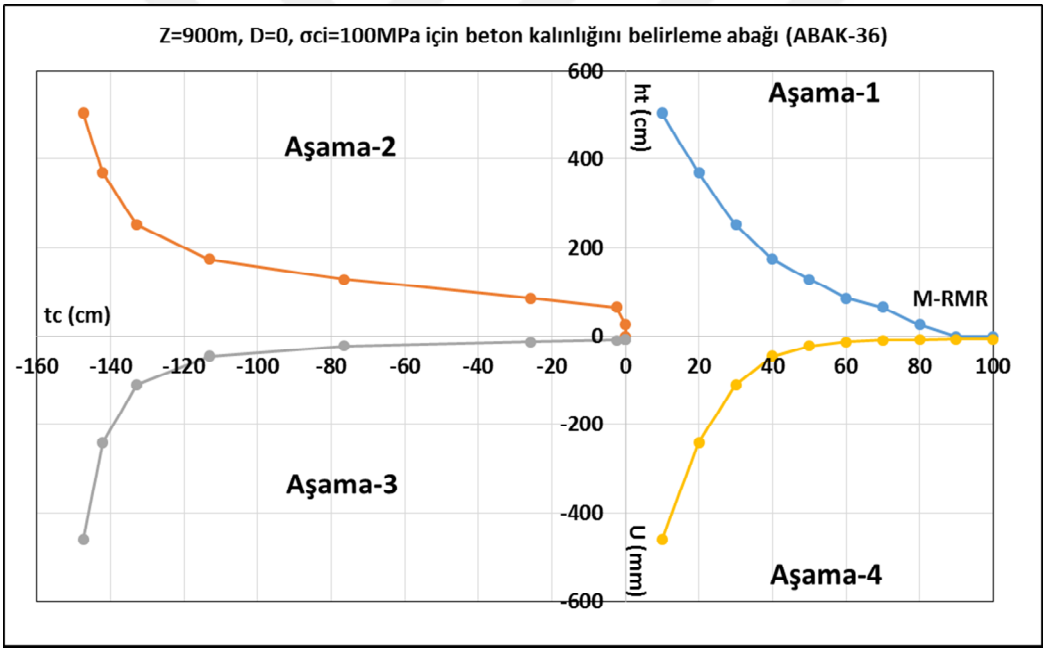
M-RMR	D=0.5 (ABAK-31)			D=0.5 (ABAK-32)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	1866.4	116.3	2700.00	1318.7	114.9	1210.00
20	1010.3	115.2	990.00	754.2	112.9	525.00
30	623.1	111.8	380.00	434.6	109.5	219.00
40	366.7	105	150.00	307.8	99.8	94.50
50	225.8	91.6	57.50	174.9	82.6	38.00
60	128.6	68.1	25.50	106.9	51	18.40
70	65.4	36.7	15.00	106.54	17.6	12.00
80	26.9	12.6	11.00	26.8	0	8.40
90	0	0	9.60	0	0	7.20
100	0	0	8.80	0	0	6.60



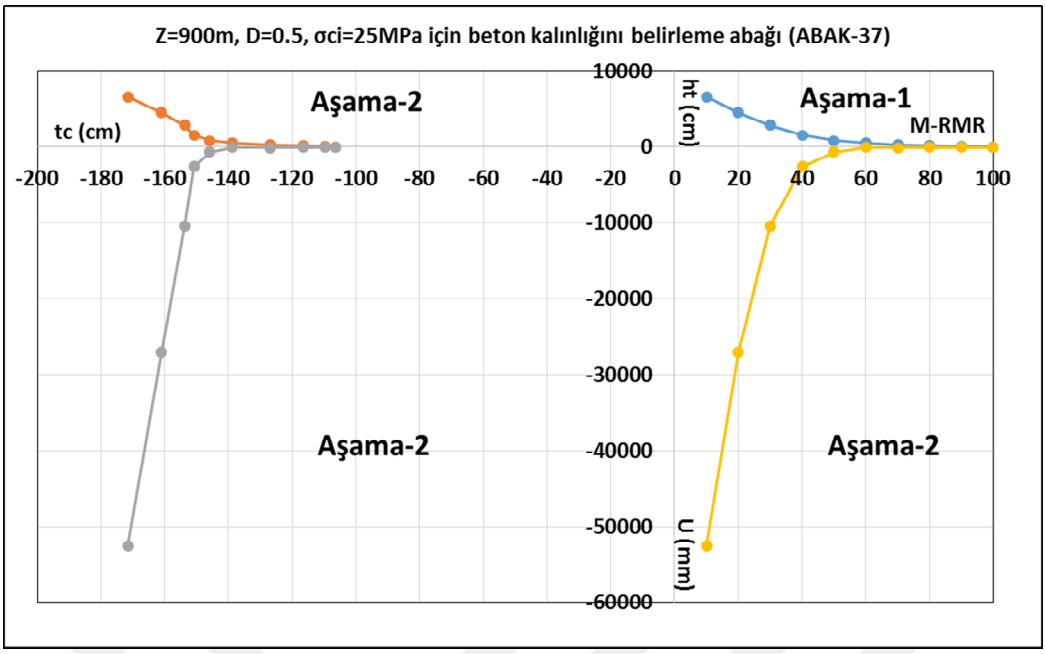


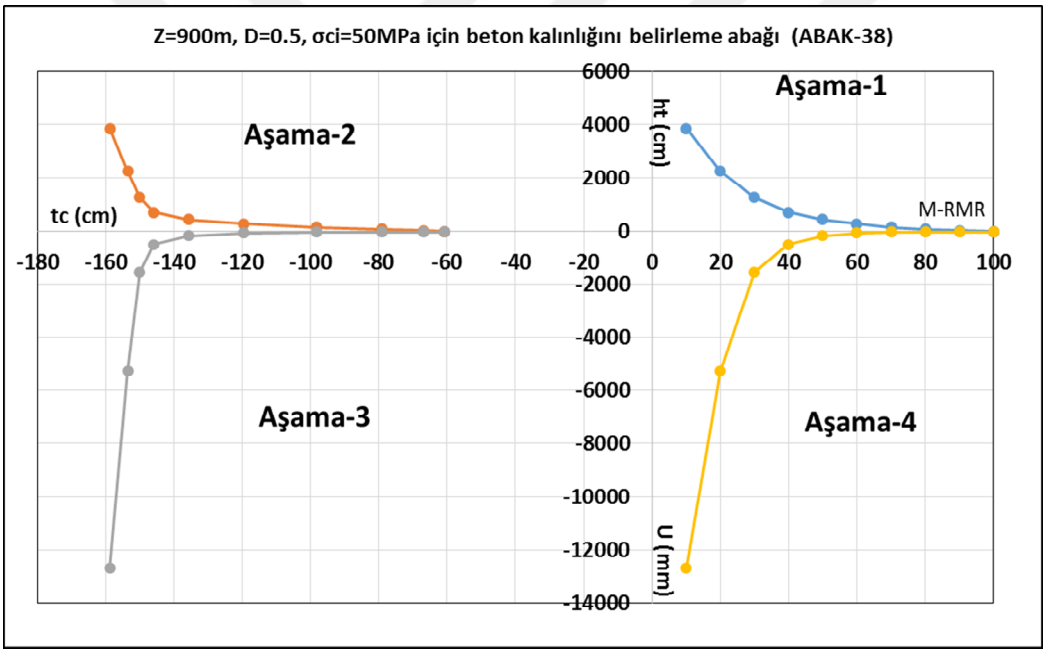
M-RMR	D=0 (ABAK-33)			D=0 (ABAK-34)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	2705.6	152.9	13200.00	1126.1	151.3	2070.00
20	1693.9	152.3	4600.00	752.2	149.3	880.00
30	1067.5	150.2	1430.00	504.1	145.2	330.00
40	709.5	144.8	460.00	367.5	133.5	132.00
50	469.5	135.6	172.00	251.1	114.7	55.00
60	337.1	121	80.50	175.3	87.5	28.50
70	226	107.6	44.00	106.3	61.3	17.60
80	150.5	97.6	30.00	65.1	42.5	15.40
90	85.2	92.7	24.00	26.9	34.3	12.10
100	27.1	90.1	20.70	0	28.3	12.00



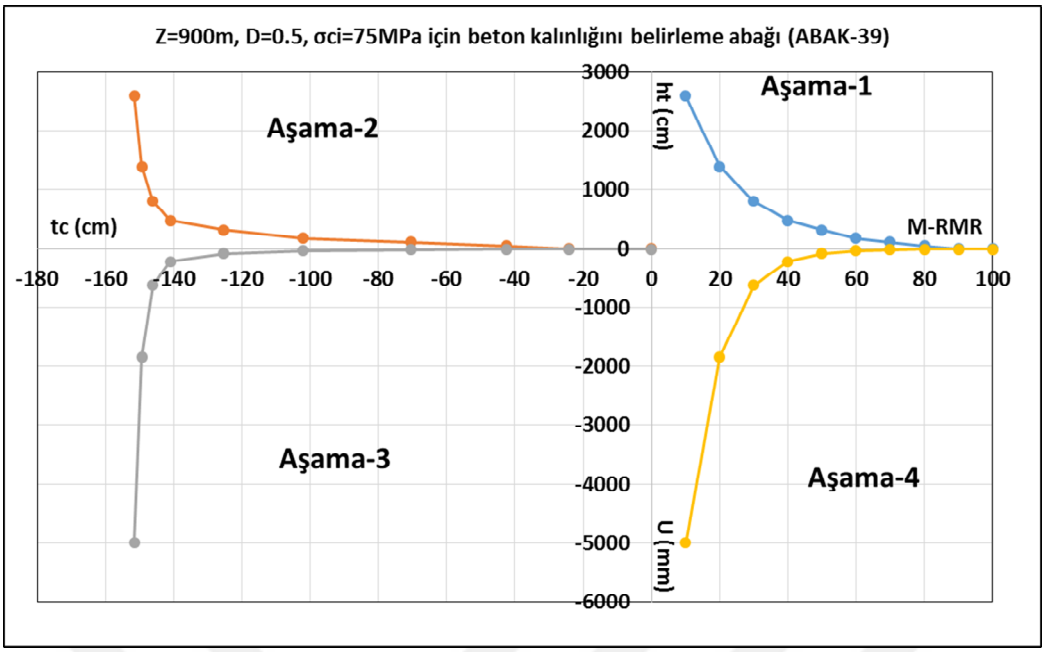


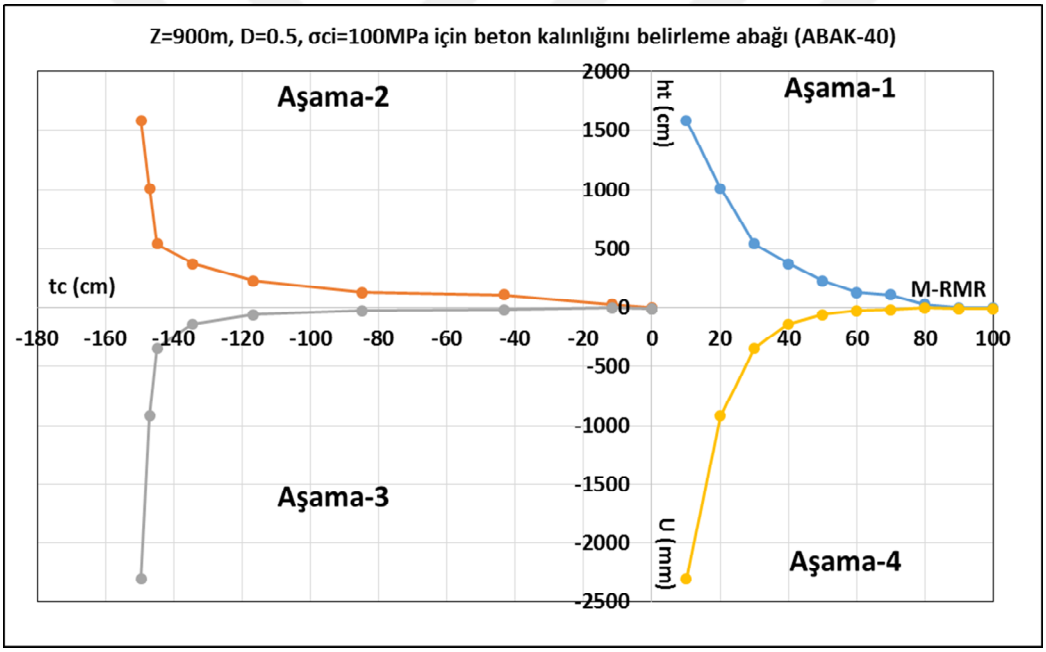
M-RMR	D=0 (ABAK-35)			D=0 (ABAK-36)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	713.7	148.7	840.00	504.7	147.4	460.00
20	471.1	146.3	380.00	369	142.2	240.00
30	340.9	138.7	161.00	251.7	132.9	110.00
40	250.4	123.2	69.00	174.8	113.2	46.00
50	176.3	95.1	31.50	128.2	76.4	22.80
60	105.7	55.4	17.30	85.5	25.9	12.70
70	66.4	23.7	12.00	65.2	2.4	9.20
80	45.9	3.9	9.90	26.8	0	7.35
90	0	0	8.80	0	0	6.60
100	0	0	8.40	0	0	6.30





M-RMR	D=0.5 (ABAK-37)			D=0.5 (ABAK-38)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	6627.1	171.6	52500.00	3853.8	158.8	12700.00
20	4556.5	161	27000.00	2265	153.5	5250.00
30	2957.1	153.8	10400.00	1257.2	150.1	1540.00
40	1613	150.7	2550.00	709.6	145.9	500.00
50	900.1	145.9	660.00	435.1	135.8	161.00
60	543	138.7	27.00	279.1	119.6	63.00
70	306.8	127	84.00	150.7	98.2	31.50
80	174.8	116.5	50.00	85.4	79	20.40
90	85.6	109.8	33.00	28.3	66.9	16.10
100	27	106.3	27.00	0	60.8	15.00





M-RMR	D=0.5 (ABAK-39)			D=0.5 (ABAK-40)		
	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)	h_t (cm)	t_c (cm)	U (mm)
10	2585.6	151.6	5000.00	1584.2	149.6	2300.00
20	1386.8	149.3	1840.00	1009.4	147.1	920.00
30	799.5	146.2	630.00	542.8	144.8	345.00
40	469.1	141	219.00	369.5	134.5	138.00
50	307.7	125.4	84.00	225.5	116.7	55.00
60	174.6	102	36.00	129.4	84.9	25.50
70	106.7	70.6	19.60	106.6	43.4	15.60
80	47	42.4	13.20	26.8	11.6	1.08
90	0	24.3	11.50	0	0	9.20
100	0	0	9.90	0	0	8.40

ÖZGEÇMİŞ

1988 Afganistan doğumlu olup 2008 yılında İstanbul Üniversitesi Yabancı Dil Merkezinde Türkçe okudu, 2015 yılında Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden mezun olmuş ve aynı Üniversitede 2015-2017 yıllar arasında Fen Bilimleri Enstitüsünde Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalından Yüksek Lisans yapmıştır.