

G.L.İ. ve E.L.İ. Marn Kaya Malzemelerinin
Üç Eksenli Basınç Dayanımına
Bağı Özelliklerinin Belirlenmesi

Sunay Beyhan

DOKTORA TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2008

The Determination of G.L.I and E.L.I
Marl Rock Material Properties Depending
on Triaxial Compressive Strength

Sunay Beyhan

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Mining Engineering

April 2008

G.L.İ. ve E.L.İ. Marn Kaya Malzemelerinin
Üç Eksenli Basınç Dayanımına Bağlı
Özelliklerinin Belirlenmesi

Sunay Beyhan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden İşletme Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ercan EMİR

Nisan – 2008

Sunay Beyhan'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “G.L.İ. ve E.L.İ. Marn Kaya Malzemelerinin Üç Eksenli Basınç Dayanımına Bağlı Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ercan EMİR (Danışman)

Üye: Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN

Üye: Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT

Üye: Doç. Dr. Hürriyet AKDAŞ

Üye: Yrd. Doç. Dr. D. Volkan OKUR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, kaya malzemesi dayanım özelliklerini belirlemeye yönelik olarak, E.L.İ. Soma ve G.L.İ. Tunçbilek bölgesine ait, ana kütleyi temsil edecek şekilde seçilmiş ve doğal ortam şartlarına göre koşullandırılmış deney örnekleri üzerinde üç eksenli basınç deneyi yapılmış ve RocLab paket programı ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri belirlenmiştir. Buna göre, yeraltı madencilik tasarımları için Tunçbilek bölgesine yönelik olarak m_i malzeme sabiti 5.36+1, tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) 28.7 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ) 35.7°, ve kohezyon (c) 6.85 MPa, Soma bölgesi için ise m_i malzeme sabiti 10.8, tek eksenli basınç dayanımı 83.4 MPa, içsel sürtünme açısı 43.8° ve kohezyon da 16.3 MPa olarak önerilmiştir. Ayrıca, koşullandırma çalışmalarına göre Tunçbilek bölgesine ait örneklerin iklimlendirme dolabıyla en uygun yapay koşullandırma şartının 17.6°C ve %90 RH olduğu belirlenmiş, Soma bölgesi için örneklerin suya doygun olarak koşullandırma yapılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, hem bölgeler arasında hem de aynı kaya kütlesi içerisinde görülen dayanım farklılıklarının sebepleri mineralojik ve kimyasal özellikler gibi faktörler de göz önüne alınarak analiz edilmiş, çalışma bölgeleri arasındaki dayanım farklılıklarının kalsiyum karbonat ve kil içeriklerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Ayrıca, nemlilik-üç eksenli basınç dayanımı ilişkisi incelenmiş ve nemin dayanım üzerinde olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. Bunun yanında, örneklerin ıslanma-kuruma süreçlerinde meydana gelen değişim ile dayanım özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla, suda dağılmaya karşı duraylılık deneyleri yapılmış ve suda dağılılabirliği yüksek olan örneklerin dayanımlarının düşük olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerine göre, nemliliğin dayanım üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla sayısal modelleme analizleri yapılmış, kohezyon ve içsel sürtünme açısının galeri çevresindeki gerilme dağılımları ve yerdeğiştirmeleri üzerindeki ortak etkisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Marn, kaya malzemesi, koşullandırma, üç eksenli basınç dayanımı, nemlilik.

SUMMARY

In this study, the samples which represent the parent rock were taken from E.L.I. Soma and G.L.I. Tuncbilek districts in order to determine the strength properties of rock material. These samples were conditioned so as to be in their natural condition. After they were subjected to triaxial compression tests, the failure criterion parameters of rock materials were determined by using RocLab software. According to the software outputs, for the values of intact rock material parameters to be used in any underground mining project or design which performed in Tuncbilek region have been proposed as $5.36+1$ for the material constant (m_i), 28.7 MPa for uniaxial compressive strength (σ_{ci}), 35.7° for internal friction angle (ϕ) and 6.85 MPa for cohesion (c). Also, the values of rock mass parameters for Soma region were determined as 10.8 for m_i , 83.4 MPa for σ_{ci} , 43.8° for ϕ and 16.3 MPa for c . Depending on the conditioning tests, it was concluded that the most convenient artificial conditioning stipulations for samples taken from Tuncbilek region were 17.6°C and 90% relative humidity (RH) in conditioning apparatus. In addition, it was concluded that the samples of Soma region should be conditioned in water. As a result of the experimental studies, the sources of strength differences encountered in both studied regions and in the same rock mass were analyzed by taking into consideration the mineralogical and chemical properties. It has been determined that strength differences resulted from calcium carbonate and clay contents of the rocks. In addition, the relation between the moisture content and triaxial compression strength of the rocks were investigated, and it has been found that the strength of the rock reduced when the moisture content of the rock material increased. Furthermore; samples were exposed to slake durability tests to determine the strength changes of samples during wetting and drying process. It has been determined that the strength of the material decreased when its slake durability value increased. Finally; according to failure criterion parameters of marl rock material taken from Tuncbilek region, numerical analysis have been made to evaluate the effect of moisture content on strength, and the combined effect of cohesion and internal friction angle on the stress distributions and displacements around a gallery was determined.

Keywords: Marl, rock material, conditioning, triaxial compressive strength, humidity.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım sırasında her konuda yardımlarını esirgemeyen, yapıcı yöndeki eleştirileri ve katkıları ile beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ercan EMİR' e öncelikle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince önerileriyle değerli katkılarda bulunan tez izleme komitesi üyeleri Sayın Doç. Dr. Hürriyet AKDAŞ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Volkan OKUR' a, çalışmalarımın her aşamasında öneri ve desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Adnan KONUK ve Sayın Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin deneysel çalışmaları için Dumlupınar Üniversitesi laboratuvar imkanlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT'e ve çalışmalarımındaki katkılarından dolayı Maden, Jeoloji ve Seramik Mühendisliği Bölümü değerli Öğretim Üyelerine ve Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma; ayrıca, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden ve Jeoloji Mühendisliği Bölümü değerli Öğretim Üyelerine ve Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma da yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

E.L.İ. Soma bölgesi çalışmalarımındaki değerli katkılarından dolayı Sayın Maden Mühendisi Fatih IŞIK'a ve işletme bünyesinde görev yapan tüm mühendis ve çalışanları ile G.L.İ. Tunçbilek bölgesi arazi çalışmalarımındaki katkılarından dolayı Maden Yüksek Mühendisi Sayın Mehmet TAKSUK ve işletme çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'nun 02/05/2003 tarih ve 2003-6/14 sayılı kararı ile desteklenmiş olup, desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmalarımın her aşamasında maddi ve manevi her türlü desteği sağlayarak göstermiş oldukları özveri ve sabırlarından dolayı Sevgili Eşim'e ve çocuklarıma içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | v |
| SUMMARY | vi |
| TEŞEKKÜR | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xxi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xxiv |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| | |
| 2. KAYA MALZEMESİ VE KAYA KÜTLESİNİN DAYANIMI | 5 |
| 2.1. Kaya Malzemesi, Süreksizlik ve Kaya Kütleli | 5 |
| 2.2. Kaya Kütleli Türleri | 9 |
| 2.3. Yenilme Ölçütleri | 11 |
| 2.3.1. Mohr-Coulomb yenilme ölçütü | 13 |
| 2.3.2. Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü | 15 |
| 2.4. Yenilme Ölçütlerindeki Kaya Malzemesi Parametreleri Arasındaki İlişkiler | 26 |
| 2.5. Nem İçeriğinin Kayaçların Dayanımı Üzerine Etkisi..... | 27 |
| 2.6. Doğal Gerilmeler | 32 |
| | |
| 3. ÇALIŞMA BÖLGELERİNİN TANITILMASI VE JEOLJİSİ | 37 |
| 3.1. Garp Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü (G.L.İ) | 37 |
| 3.1.1. Coğrafi konum, ulaşım ve iklim | 38 |
| 3.1.2. Bölge jeolojisi | 39 |
| 3.2. Ege Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü (E.L.İ) | 45 |
| 3.2.1. Coğrafi konum, ulaşım ve iklim | 45 |
| 3.2.2. Bölge jeolojisi | 47 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 4. ARAZİ ÇALIŞMALARI | 54 |
| 4.1. G.L.İ. Tunçbilek Bölgesi Arazi Çalışmaları | 54 |
| 4.1.1. Saha gözlemleri | 54 |
| 4.1.2. Süreksizlik özelliklerinin belirlenmesi | 58 |
| 4.1.3. Örnek alımı | 59 |
| 4.1.4. G.L.İ. Ömerler yeraltı ocağı iklim şartlarının belirlenmesi | 59 |
| 4.2. E.L.İ. Soma Bölgesi Arazi Çalışmaları | 60 |
| 4.2.1. Saha gözlemleri..... | 60 |
| 4.2.2. Süreksizlik özelliklerinin belirlenmesi | 64 |
| 4.2.3. Örnek alımı | 66 |
| 4.2.4. Yeraltı ocak iklim şartlarının belirlenmesi | 66 |
| 5. KAYA MALZEMESİ DAYANIM ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMeye | |
| YÖNELİK DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 68 |
| 5.1. Ocak İklim Koşullarında Marnın Nem İçeriğinin Belirlenmesi | 68 |
| 5.2. Marn Karot Örneklerinin Hazırlanması | 71 |
| 5.3. Örneklerin Koşullandırılması | 73 |
| 5.4. Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi | 84 |
| 5.5. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi | 92 |
| 5.6. Brazilian Çekme Dayanımı Deneyi | 94 |
| 5.7. Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi Deneyi | 97 |
| 5.7.1. Deneyin yapılışı | 98 |
| 5.7.2. Deney sonuçları | 99 |
| 6. MİNERALojİK VE KİMYASAL ANALİZLER | 103 |
| 6.1. Tunçbilek Bölgesi Marn Kaya Malzemesinin Mineralojik ve Kimyasal Analizleri | 103 |
| 6.2. Soma Bölgesi Marn Kaya Malzemesinin Mineralojik ve Kimyasal Analizleri | 114 |
| 6.3. Kalsiyum Karbonat Analizi | 116 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 7. KAYA MALZEMESİ ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER | 119 |
| 7.1. Üç Eksenli Basınç Dayanımına Bağlı Kaya Malzemesi Özellikleri ve Aralarındaki İlişkiler | 119 |
| 7.1.1. Yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki | 124 |
| 7.2. Üç Eksenli Basınç Dayanımına Bağlı Kaya Malzemesi Yenilme Ölçütü Parametreleri İle Dayanım Özellikleri Arasındaki İlişki | 127 |
| 7.2.1. Kaya malzemesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki..... | 127 |
| 7.2.2. Kaya malzemesi Brazilian çekme dayanımı ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki..... | 129 |
| 7.2.3. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki..... | 131 |
| 7.3. Mineralojik ve Kimyasal Özelliklerin Kaya Malzemesi Dayanım Özellikleri Üzerindeki Etkisi | 134 |
| 7.3.1. Kalsiyum karbonat (CaCO ₃) analiz sonuçları ile kaya malzemesi dayanım deney sonuçları arasındaki ilişki | 135 |
| 7.3.2. Kimyasal analiz sonuçları (X-Ray Floresans) ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri ve arasındaki ilişki | 139 |
| 7.3.3. Mineralojik analiz sonuçları (X-Işınları Kırınımı) ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri ve diğer dayanım değerleri arasındaki ilişki..... | 149 |
| 7.4. Marnın Nem İçeriği-Dayanım İlişkisi | 166 |
| 7.5. Sayısal Modelleme Analizleri | 174 |
| 7.5.1. Phase ² sayısal modelleme programının tanıtılması | 175 |
| 7.5.2. Sayısal modelin tasarımı | 177 |
| 7.5.3. Doğal gerilmeler | 178 |
| 7.5.4. Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre gerekli olan modelleme verileri | 182 |
| 7.5.5. Sayısal modelleme analizlerinin planlanması | 188 |
| 7.5.6. Phase ² programı sayısal modelleme aşamaları | 189 |
| 7.5.7. Sayısal modelleme analiz sonuçları | 198 |

İÇİNDEKİLER (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--------------------------------------|--------------|
| 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER | 211 |
| KAYNAKLAR | 217 |
| ÖZGEÇMİŞ | 225 |
| EKLER | |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 1.1. Marnın içerdiği CaCO ₃ miktarına göre aldığı isimler..... | 2 |
| 2.1. Süreksizlik, kaya malzemesi ve kaya kütlesi kavramlarını gösteren şematik kesit | 6 |
| 2.2. Bir yeraltı açıklığı ile bir kaya şevi kazısında, kaya malzemesinden kaya kütlesine geçişi gösteren temsili kesitler | 7 |
| 2.3. Yeraltı açıklığının boyutunun artışıyla kaya kütlesi kavramının önem kazanmasını gösteren şematik kesit | 7 |
| 2.4. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin özellikleri | 8 |
| 2.5. Kaya kütlesi türleri: a) masif kaya, b) kısmen eklemli kaya kütlesi, c) kısmen bloklu kaya kütlesi, d) bloklu kaya kütlesi, e) çok gözenekli kaya kütlesi, f) ileri derecede fisürlü kaya, g) sıkışan ve şişen kaya, h) düzenli karışımlar, i) düzensiz karışımlar (melanj) ve j) boşluklu kayalar..... | 10 |
| 2.6. a) Üç eksenli yenilmede gerilme koşulları, b) Mohr-Coulomb yenilme zarfı | 14 |
| 2.7. Kaya malzemesinin yenilmesi için gerekli gerilme koşullarının grafiksel gösterimi | 16 |
| 2.8. Sağlam veya masif kaya kütlesi ile foliasyonlu-laminalı-makaslanmış kayaları da içerecek şekilde düzenlenmiş <i>GSI</i> sınıflama sistemi | 21 |
| 2.9. Modifiye edilmiş <i>GSI</i> sistemi | 22 |
| 2.10. Kaya malzemesinin içsel parametrelerindeki değişime göre Mohr zarfının konumu | 26 |
| 2.11. Yerinde ölçüm sonuçlarına göre a) düşey gerilmenin ve b) <i>k</i> oranının derinlikle olan değişimi | 33 |
| 2.12. Sheorey bağıntısına göre, farklı deformasyon modülleri için yatay gerilmenin düşey gerilmeye olan oranının derinlikle değişimi | 35 |
| 2.13. Hoek ve Brown tarafından derlenmiş veriler ve Türkiye'deki AE ölçüm sonuçlarına göre <i>k</i> oranı değerleri | 36 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 3.1. G.L.İ. Tunçbilek bölgesi çalışma alanı ve yer bulduru haritası | 39 |
| 3.2. Tunçbilek bölgesi çalışma alanı jeoloji haritası | 40 |
| 3.3. Tunçbilek bölgesi stratigrafik kesiti | 44 |
| 3.4. E.L.İ. Soma bölgesi çalışma alanı ve yer bulduru haritası | 46 |
| 3.5. Soma bölgesi çalışma alanının jeoloji haritası | 47 |
| 3.6. Soma bölgesi stratigrafik kesiti | 48 |
| 4.1. G.L.İ. linyit havzası açık ocakları (BY-H pano) | 55 |
| 4.2. G.L.İ. linyit havzası açık ocakları (48 pano) | 56 |
| 4.3. G.L.İ. linyit havzası marn kaya kütleindeki tabakalanmalara örnekler | 57 |
| 4.4. Yeraltı iklim koşullarının belirlenmesinde kullanılan termo-higrometre..... | 59 |
| 4.5. E.L.İ. linyit havzası açık ocakları (Işıklar-Güney Kısrakdere) | 61 |
| 4.6. E.L.İ. linyit havzası açık ocakları (Deniş – Eynez)..... | 62 |
| 4.7. E.L.İ. linyit havzası marnlarında çatlaklar arasındaki kalsit dolgulara örnekler..... | 63 |
| 4.8. E.L.İ. linyit havzasında rastlanılan a) kristalli kalsit dolgular ve b) yaprak fosilleri | 64 |
| 5.1. Örnekleri kurutma ve soğutma için kullanılan etüv ve desikatör | 69 |
| 5.2. NX boyutunda örnek almak için kullanılan karot alma makinesi | 71 |
| 5.3. Karot başlarının düzeltilmesinde kullanılan karot kesim makinesi | 72 |
| 5.4. Tunçbilek bölgesine ait karot örnekleri | 73 |
| 5.5. Soma bölgesine ait karot örnekleri | 73 |
| 5.6. Su etkisiyle Tunçbilek bölgesine ait marn örneklerinde meydana gelen disklenmeye örnek | 74 |
| 5.7. Marn numunelerinin etüv içerisinde kurutulması | 76 |
| 5.8. İklimlendirme dolabında marn örneklerinin koşullandırılması | 78 |
| 5.9. İklimlendirme dolabında 17.6°C sabit sıcaklıkta farklı nem içeren ortamlarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem oranlarındaki değişim | 81 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Şekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5.10. İklimlendirme dolabında %80 RH sabit ortam nemliliğinde farklı sıcaklıklarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem oranlarındaki değişim | 81 |
| 5.11. Islatılmış marn örneklerinin iklimlendirme dolabında koşullandırılması sürecindeki ağırlıklarındaki değişim | 83 |
| 5.12. Üç eksenli deney hücresini oluşturan parçaların şematik görünümü | 85 |
| 5.13. Hoek hücresi ve membran arasındaki boşluğa hidrolik yağın doldurulması | 86 |
| 5.14. Üç eksenli basınç dayanımı deneylerinde kullanılan deney düzeneği | 87 |
| 5.15. Üç eksenli basınç deneyinde kullanılan G.L.İ. marn kaya malzemesi örnekleri..... | 88 |
| 5.16. G.L.İ. marn kaya malzemesi örneklerinin üç eksenli basınç deneyi sonrası yenilme şekilleri..... | 88 |
| 5.17. Üç eksenli basınç dayanımı deneyi sonrası G.L.İ marn örneklerinin kırılma yüzeylerinde görülen organik parçacıklara örnekler | 90 |
| 5.18. Üç eksenli basınç deneyinde kullanılan kalsit dolgulu süreksizlik içeren E.L.İ. marn kaya malzemesi örnekleri..... | 91 |
| 5.19. Kalsit dolgulu E.L.İ. marn kaya malzemesi örneklerinin üç eksenli basınç deneyi sonrası yenilme şekilleri | 91 |
| 5.20. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılan deney düzeneği | 93 |
| 5.21. Brazilian çekme dayanımı deneyinde kullanılan örnekler..... | 94 |
| 5.22. Brazilian çekme deneyi için G.L.İ. marn örneklerinin koşullandırma işlemi.... | 95 |
| 5.23. Brazilian çekme deneyi sonunda örneklerin yenilme şekilleri..... | 95 |
| 5.24. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney düzeneği..... | 99 |
| 5.25. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sonrası a) dağılan ve b) dağılmayan örneklerin durumu | 102 |
| 6.1. Gri renkli a) 37 ve b) 38 numaralı marn örneklerinin X-Işınımı kırınımı analizlerinin tüm kaya aşamasında elde edilen difraktogramları | 106 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 6.2. Kahverengi a) 20 ve b) 53 numaralı marn örneklerinin X-Işınımı kırınımı analizlerinin tüm kaya aşamasında elde edilen difraktogramları | 107 |
| 6.3. Gri renkli a) 37 ve b) 38 numaralı marn örneklerine ait kil fraksiyonu X-Işınımı kırınımları | 110 |
| 7.1. RocLab paket programına üç eksenli basınç deney sonuçlarının girilişi ve sağlam kaya malzemesi Hoek-Brown yenilme ölçütü parametrelerinin belirlenmesi | 120 |
| 7.2. RocLab paket programı ile sağlam kaya malzemesi Mohr-Coulomb yenilme ölçütü parametrelerinin belirlenmesi | 121 |
| 7.3. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesinin, üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilen yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki | 125 |
| 7.4. Soma bölgesi marn kaya malzemesinin, üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilen yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki | 126 |
| 7.5. a) Tunçbilek bölgesi ve b) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ile deneysel tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ucs}) arasındaki ilişki..... | 127 |
| 7.6. (a, b, c) Tunçbilek ve (d, e, f) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri ile deneysel tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki .. | 128 |
| 7.7. a) Tunçbilek bölgesi ve b) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ile Brazilian çekme dayanımı (σ_t) arasındaki ilişki | 129 |
| 7.8. (a, b, c) Tunçbilek ve (d, e, f) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri ile Brazilian çekme dayanımı arasındaki ilişki | 130 |
| 7.9. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki | 131 |
| 7.10. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden içsel sürtünme açısı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki | 132 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 7.11. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki | 133 |
| 7.12. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü tek eksenli basınç dayanımı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki | 134 |
| 7.13 (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının, kalsiyum karbonat değerine bağlı değişimi | 136 |
| 7.14. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden tek eksenli basınç dayanımı ve m_i malzeme sabitinin, kalsiyum karbonat değerine bağlı değişimi | 137 |
| 7.15. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının kalsiyum karbonat değerine bağlı değişimi | 138 |
| 7.16 (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesinin suda dağılılabirliğinin kalsiyum karbonat değerine bağlı değişimi | 139 |
| 7.17. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının CaO değerine bağlı değişimi | 140 |
| 7.18. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının CaO değerine bağlı değişimi | 141 |
| 7.19. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının Al_2O_3 değerine bağlı değişimi | 142 |
| 7.20. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının Al_2O_3 değerine bağlı değişimi | 143 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 7.21. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının SiO_2 değerine bağlı değişimi | 144 |
| 7.22. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının SiO_2 değerine bağlı değişimi..... | 145 |
| 7.23. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının Fe_2O_3 değerine bağlı değişimi | 146 |
| 7.24. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının Fe_2O_3 değerine bağlı değişimi | 147 |
| 7.25. (a, b, c, d) Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinin MgO değerine bağlı değişimi | 148 |
| 7.26. a) Tunçbilek ve b) Soma bölgelerine ait X-Işınları kırınımı çözümlemesi sonucu elde edilen kalsiyum karbonat değeri ile kalsiyum karbonat analiz değerleri arasındaki ilişki | 149 |
| 7.27. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının kil miktarına bağlı değişimi | 150 |
| 7.28. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının kil miktarına bağlı değişimi .. | 151 |
| 7.29. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının kil miktarına bağlı değişimi | 152 |
| 7.30. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi suda dağılılırlığın (I_{d2} - I_{d4}) kil miktarına bağlı değişimi | 153 |
| 7.31. (a, b, c, d) Tunçbilek bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinin kuvars miktarına bağlı değişimi | 154 |
| 7.32. Tunçbilek bölgesi; a) deneysel tek eksenli basınç dayanımı, b) Brazilian çekme dayanımı ve (c, d) suda dağılılırlığın kuvars miktarına bağlı değişimi | 155 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 7.33. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının kalsit miktarına bağlı değişimi | 156 |
| 7.34. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının kalsit miktarına bağlı değişimi | 157 |
| 7.35. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının kalsit miktarına bağlı değişimi | 158 |
| 7.36. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi suda dağılılabirliğin (I_{d2} - I_{d4}) kalsit miktarına bağlı değişimi | 159 |
| 7.37. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının kil minerali türü illit miktarına bağlı değişimi | 160 |
| 7.38. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının kil minerali türü illit miktarına bağlı değişimi | 161 |
| 7.39. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının kil minerali türü illit miktarına bağlı değişimi. | 162 |
| 7.40. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi suda dağılılabirliğin (I_{d2} - I_{d4}) kil minerali türü illit miktarına bağlı değişimi | 163 |
| 7.41. (a, b, c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinin kil minerali türü smektit miktarına bağlı değişimi | 164 |
| 7.42. Soma bölgesi; a) deneysel tek eksenli basınç dayanımı, b) Brazilian çekme dayanımı ve (c, d) suda dağılma indeksinin kil minerali türü smektit miktarına bağlı değişimi | 165 |
| 7.43. a) Gri renkli marn, b) kahve renkli marn ve c) her ikisi için olmak üzere sağlam kaya kohezyonu ile ağırlıkça nem oranı arasındaki ilişki..... | 169 |
| 7.44. a) Gri renkli marn, b) kahve renkli marn ve c) her ikisi için olmak üzere sağlam kaya içsel sürtünme açısı ile ağırlıkça nem oranı arasındaki ilişki..... | 170 |
| 7.45. a) Gri renkli, b) kahve renkli marn ve c) her ikisi için olmak üzere sağlam kaya tek eksenli basınç dayanımı ile ağırlıkça nem oranı arasındaki ilişki | 171 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 7.46. a) Gri renkli marn, b) kahve renkli marn ve c) her ikisi için olmak üzere sağlam kaya m_i parametresi ile ağırlıkça nem oranı arasındaki ilişki..... | 172 |
| 7.47. Phase ² sayısal modelleme programında elastik çözümlerlede yenilme ölçütlerine göre programa girilmesi gereken veriler..... | 176 |
| 7.48. İdealleştirilmiş statik model geometrisine göre B-14 galeri kesiti | 177 |
| 7.49. B-14 tipi galeri açıklığının Phase ² programına tanıtılabilmesi için oluşturulmuş model..... | 178 |
| 7.50. Yerinde ölçüm sonuçlarına göre a) düşey gerilmenin ve b) k oranının derinlikle olan değişimi..... | 179 |
| 7.51. Sheorey bağıntısına göre, farklı deformasyon modülleri için yatay gerilmenin düşey gerilmeye olan oranının derinlikle değişimi..... | 180 |
| 7.52. G.L.İ. sayısal modelleme analizlerinin planlanması..... | 189 |
| 7.53. Bilgisayar ekran ayarı..... | 190 |
| 7.54. Model alanının dış sınırlarının tanımlanması..... | 191 |
| 7.55. Sonlu elemanların tanımlanması..... | 191 |
| 7.56. Doğal gerilmelerin tanımlanması..... | 192 |
| 7.57. Malzeme özelliklerinin tanımlanması..... | 192 |
| 7.58. Malzemelerin modelde tanımlanması..... | 193 |
| 7.59. B-14 tipi galeri açıklığının Phase ² programında oluşturulmuş modeli..... | 194 |
| 7.60. Açıklık çevresindeki a) en büyük ve b) en küçük asal gerilme dağılımları..... | 195 |
| 7.61. Açıklık çevresindeki a) yatay ve b) düşey yerdeğiştirmeler..... | 196 |
| 7.62. Açıklık çevresindeki a) toplam yerdeğiştirme ve b) dayanım faktörü ile yenilme noktaları..... | 197 |
| 7.63. Sayısal modelleme analizlerine göre açıklık cidarındaki a) en büyük ve b) en küçük asal gerilme bileşenlerinin en büyük değerleri..... | 199 |
| 7.64. Sayısal modelleme analizlerine göre açıklık cidarındaki a) yatay, b) düşey ve c) toplam yerdeğiştirmelerin en büyük değerleri..... | 201 |
| 7.65. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=0.5$; $D=0$; Kuru)..... | 203 |
| 7.66. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=0.5$; $D=0$; Nemli)..... | 204 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.67. | Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=0.5$; $D=0.5$; Kuru)..... | 205 |
| 7.68. | Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=0.5$; $D=0.5$; Nemli)..... | 206 |
| 7.69. | Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=2$; $D=0$; Kuru)..... | 207 |
| 7.70. | Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=2$; $D=0$; Nemli)..... | 208 |
| 7.71. | Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=2$; $D=0.5$; Kuru)..... | 209 |
| 7.72. | Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=2$; $D=0.5$; Nemli)..... | 210 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.1. Kayaç gruplarına göre m_i sabiti için önerilen değerler | 19 |
| 2.2. Örselenme faktörü D 'nin tahmini için kılavuz | 25 |
| 2.3. Endonezya Ombilin kömür madeni kumtaşlarının, Mohr-Coulomb ve Hoek-Brown yenilme ölçütü değerleri..... | 30 |
| 2.4. Farklı metamorfizma derecesindeki kireçtaşlarının; içsel parametreleri, Hoek-Brown yenilme ölçütü m_i parametresi ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler | 31 |
| 4.1. E.L.İ. Soma Bölgesi yeraltı ocak iklim şartları | 67 |
| 5.1. G.L.İ. Ömerler yeraltı linyit ocağı iklim şartlarında marnın nem içeriği..... | 70 |
| 5.2. E.L.İ. Eyzey-Karanlıkdere ve Geventepe yeraltı linyit ocağı iklim şartlarında marnın nem içeriği | 70 |
| 5.3. G.L.İ. bölgesi marn örneklerinin ağırlıkça su emme oranları | 76 |
| 5.4. E.L.İ. bölgesi marn örneklerinin ağırlıkça su emme oranları | 77 |
| 5.5. İklimlendirme dolabında sıcaklığın 17.6°C'de sabit tutulup farklı nem içeren ortamlarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem tutma yüzdeleri.. | 79 |
| 5.6. İklimlendirme dolabında nemliliğin %80 RH değerinde sabit tutulup farklı sıcaklıklarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem tutma yüzdeleri | 80 |
| 5.7. Belirli oranda nem içeren marn örneklerinin iklimlendirme dolabında koşullandırılması sürecindeki ağırlıkları | 82 |
| 5.8. G.L.İ. ve E.L.İ. marn kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları | 93 |
| 5.9. Suya doymuş ve 17.6°C - %90 RH nemlilikte koşullandırılan örneklere ait Brazilian çekme dayanımı değerleri | 96 |
| 5.10. G.L.İ. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi için belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney sonuçları | 100 |
| 5.11. E.L.İ. Soma bölgesi marn kaya malzemesi için belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney sonuçları | 101 |

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

| <u>Cizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 6.1. Mineralojik ve kimyasal analizler için seçilmiş örneklerin üç eksenli basınç dayanımları..... | 104 |
| 6.2. Marn örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları | 104 |
| 6.3. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesine ait XRF sonuçları..... | 111 |
| 6.4. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi örneklerinin tüm kaya X-Işınları kırınım analiz sonuçları | 112 |
| 6.5. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi örneklerinin kil minerallerinin yarı-nicel değerlendirmesi sonuçları | 113 |
| 6.6. Soma bölgesi marn kaya malzemesine ait XRF sonuçları | 114 |
| 6.7. Soma bölgesine ait örneklerin tüm kaya X-Işınları kırınım analiz sonuçları..... | 115 |
| 6.8. Soma bölgesine ait örneklerdeki kil minerallerinin yarı-nicel değerlendirmesi . | 115 |
| 6.9. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesine ait örneklerin CaCO ₃ değerleri | 117 |
| 6.10 Soma bölgesi marn kaya malzemesine ait örneklerin CaCO ₃ analizi değerleri . | 118 |
| 7.1. Çalışma bölgelerine ait marn kaya malzemesinin üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarına göre yenilme ölçütü parametreleri..... | 122 |
| 7.2. Soma bölgesi Deniz açık ocaklarına ait farklı yönelimlerdeki kalsit dolgulu yapının kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerine etkisi..... | 123 |
| 7.3. Marn örneklerinin üç eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarından elde edilmiş olan sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri..... | 166 |
| 7.4. Düşey basınç değerlerindeki değişimin m_i sabiti üzerine etkisi..... | 167 |
| 7.5. Tunçbilek bölgesi marnlarının havada kuru ve laboratuvarda koşullandırılmış örneklere ait üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilmiş olan sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri | 173 |
| 7.6. Soma bölgesi marnlarının havada kuru ve suya doymuş örneklere ait üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilmiş olan sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri | 173 |
| 7.7. Kuru ve 17.6°C - %90 RH'de koşullandırılmış marn örneklerinin sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri..... | 174 |
| 7.8. G.L.İ. sayısal model analizleri için hesaplanmış k oranı değerleri..... | 180 |

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 7.9. G.L.İ. derin sahalar için doğal gerilme tansörü bileşenlerinin hesaplanmış değerleri..... | 182 |
| 7.10. G.L.İ. Linyit Havzası anakayacı marnın, Bieniawski'nin 1989 yılındaki kayaç sınıflandırmasından (Ek-9) yararlanılarak bulunan <i>GSI</i> değeri | 183 |
| 7.11. Gökçeoğlu (1997) tarafından önerilen bozunma indeksine göre süreksizlik yüzeylerinin bozunma sınıflaması..... | 184 |
| 7.12. G.L.İ. linyit havzası anakayacı marnın süreksizlik yüzey koşulu puanı..... | 185 |
| 7.13. Marn kaya kütlesi m_b , s ve a parametreleri..... | 186 |
| 7.14. Marn kaya malzemesi elastisite modülleri..... | 187 |
| 7.15. Sayısal modelleme analiz sonuçları..... | 198 |

SİMGELER KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklamalar</u> |
|-----------------|---|
| a | : Hoek-Brown yenilme ölçütünün boyutsuz kaya kütlesi sabiti |
| A | : Örneğin kesit alanı |
| β | : Lineer termal yayılma katsayısı |
| β | : Yenilme yüzeyi ile en büyük asal gerilme arasındaki açı |
| c | : Kohezyon |
| D | : Kaya kütlesindeki örselenme derecesine bağlı katsayı |
| D | : Örnek çapı |
| E | : Elastisite modülü |
| F | : Yenilme anında kaydedilen yük |
| ϕ | : İçsel sürtünme açısı |
| γ | : Birim hacim ağırlığı |
| G_{dh} | : Suyu doymun havadaki ağırlık |
| G_k | : Kuru ağırlık |
| G_n | : Nemli ağırlık |
| H | : Derinlik |
| I_d | : Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi |
| J_v | : Kaya kütleleri için hacimsel eklem sayısı |
| k | : Basınç faktörü (yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı) |
| m | : metre |
| mm | : milimetre |
| cm | : santimetre |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

| <u>Simge</u> | <u>Açıklamalar</u> |
|--------------------|---|
| m_b | : Hoek-Brown yenilme ölçütünün boyutsuz kaya kütlesi sabiti |
| m_i | : Hoek-Brown yenilme ölçütü kaya malzemesinin “m” sabiti |
| r^2 | : Korelasyon katsayısı |
| R_f | : Süreksizliklerin dolgu puanı |
| R_r | : Süreksizliklerin pürüzlülük puanı |
| R_w | : Süreksizliklerin bozunma puanı |
| s | : Hoek-Brown yenilme ölçütünün boyutsuz kaya kütlesi sabiti |
| S | : Ortalama süreksizlik aralığı |
| S_k | : Ağırlıkça su emme |
| σ_{ci} | : Tek eksenli basınç dayanımı (üç eksenli deney sonuçlarına göre) |
| σ_1 | : En büyük asal gerilme |
| σ_3 | : En küçük asal gerilme |
| σ'_1 | : Yenilme anındaki en büyük etkin asal gerilmeler |
| σ'_3 | : Yenilme anındaki en küçük etkin asal gerilmeler |
| $\sigma_{ci(dry)}$ | : Kuru tek eksenli basınç dayanımı |
| $\sigma_{ci(sat)}$ | : Suyu doymuş tek eksenli basınç dayanımı |
| σ_h | : Yatay gerilme |
| σ_n | : Yenilme yüzeyi üzerinde etkiyen normal gerilme |
| σ_t | : Brazilian çekme dayanımı |
| σ_{ucs} | : Deneysel tek eksenli basınç dayanımı |
| σ_v | : Düşey gerilme |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Simgeler Açıklamalar**

| | |
|--------|----------------------|
| t | : Örnek kalınlığı |
| τ | : Makaslama gerilimi |
| ν | : Poisson oranı |
| (°) | : Derece |

Kısaltmalar Açıklamalar

| | |
|--------|--------------------------------------|
| AE | : Akustik emisyon |
| B | : BY-H pano |
| E.L.İ. | : Ege Linyitleri İşletmesi |
| E | : Eynez pano |
| G.L.İ. | : Garp Linyitleri İşletmesi |
| GSI | : Jeolojik Dayanım İndeksi |
| K | : Güney Kısrakdere pano |
| KL | : Koşullandırılmış |
| I | : Işıklar pano |
| ISRM | : Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği |
| RH | : Bağlı Nemlilik |
| RMR | : Kaya Kütle Oranı |
| RQD | : Kaya Kalite Puanı |
| SCR | : Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı |
| SD | : Suyu doymuş |
| SR | : Yapısal Özellik Puanı |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kaya malzemesi; kaya kütlelerinde jeolojik olarak oluşmuş doğal süreksizliklerin arasında kalan ve malzemenin çekme dayanımının azalmasına neden olabilecek herhangi bir zayıflık zonu içermeyen değişik boyutlardaki kaya parçalarıdır. Kaya kütlesi ise, süreksizlikler ile kaya malzemesinin birlikte oluşturdukları yapı olarak tanımlanmaktadır. Kaya kütleleri genellikle yönelimleri farklı olan çok sayıdaki süreksizlikler tarafından bölünmüştür. Dolayısıyla kaya kütlelerinin davranışı, hem süreksizlikler hem de kaya malzemesi tarafından denetlenmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Her ne kadar kaya malzemesi ve kaya kütlesi kavramları farklı kavramlar olsa da; kaya kütlelerinin davranışını ortaya koyabilmek için kaya malzemesi özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerin ana kütleleri temsil edebilmesi gerekir.

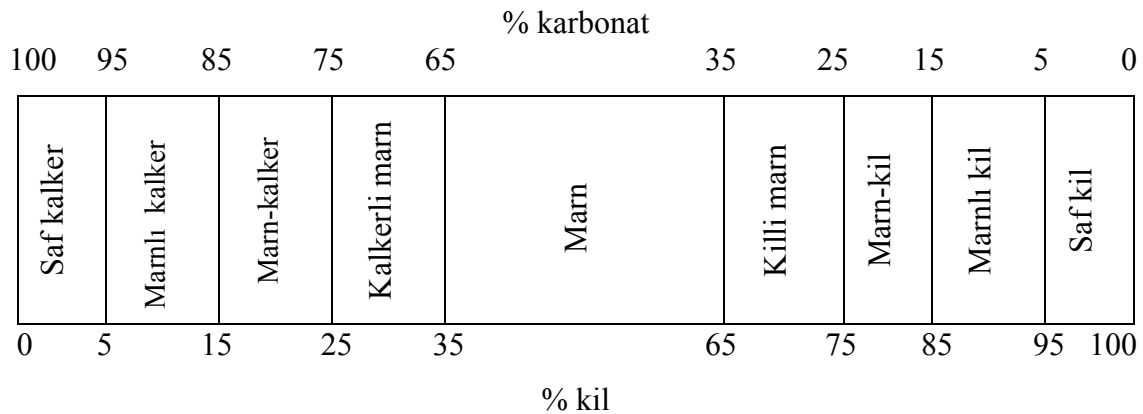
Yeryüzünün büyük bir kısmı sedimanter kayaçlarla kaplıdır. Özellikle killi kayaçlar (silttaşı, şeyl, çamurtaşı, marn, vb.), kireçtaşları, kumtaşları yer kabuğunda geniş alanlar kaplayan sedimanter kayaçlardır. Dolayısıyla birçok inşaat ve madencilik çalışması bu tür kayaçların içinde yada üzerinde yapılmaktadır (Kolay, 2004).

Sedimanter kayaçlar, daha önce oluşmuş kayaçların dış etkilerle (su, rüzgar, dalga, buzul vb.) ufak parçacıklara bölünüp ayrışması, çeşitli kuvvetlerle taşınıp, karalarda ya da sularda çökmesiyle oluşur. Kimyasal yolla ya da organik kalıntıların yığılmasıyla meydana gelen kayaçlar da bu gruba girmektedir.

Sedimanter kayaçlar çoğu zaman tabakalı yapıları ve fosilli olmalarıyla kolayca tanınırlar (Ergüvanlı, 1995). Bu oluşum mekanizması sedimanter kayaçların kendi içerisindeki çeşitliliği getirmektedir. Tabakalı yapı da bunun göstergesidir. Aynı kayaç yapısında olmasına karşın kimyasal bileşimdeki değişimler bunun sebebi olabilir.

Marn, birçok kömür havzasında rastlanılan ve ana kayaç olarak da görülebilen bir sedimanter kayaçtır. Marn, genellikle kil ve kalsiyum karbonatın içeriğine göre tanımlanmaktadır. Buna göre marn, kil mineralleri ve kalsiyum karbonatın %35 ile %65 arasında değişen oranlardaki karışımlarından oluşmaktadır (Erguvanlı, 1983; Khamehchiyan, et al., 1994; Lamas, et al., 2002; Ghazvinian, et al., 2007). Marnın indeks özellikleri, karbonat içeriğine ve kildeki minerallerin içeriğine bağlıdır (El Armani et. al., 1998).

Kil ve silttaşları içinde bazen çeşitli oranda CaCO_3 bulunur. Kayaç içerisindeki CaCO_3 'ün yüzde miktarına göre değişik isimler verilir (Şekil 1.1). Bunlar; kalker, marnlı kalker, marn-kalker, kalkerli marn, killi marn, marn-kil, marnlı kil ve kil'dir (Erguvanlı, 1983; Erkan, 1998; Lamas et.al, 2005; Ghazvinian, et al., 2007).



Şekil 1.1. Marnın içerdiği CaCO_3 miktarına göre aldığı isimler (Erguvanlı, 1983).

Marnın içinde CaCO_3 'dan başka; mika pulcukları ve kuvars parçacıkları da olabilir. Genellikle renkleri gri, kahverengi, sarımsı, yeşilimsi ve siyahımsıdır. Üzerine asit (hidroklorik asit) dökülünce kabarcıklar çıkararak köpürür ve kil görünüşü verir.

Marnların bazı türleri çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Bu tür marnlar içinde, %23–28 kil ve %77–72 kalker bulunmaktadır. Marnlar su ile temasında

bünyelerine su alırlar, hacimleri artar, dayanımları azalır ve bir süre sonra dağılır ve parçalanır.

Marn, oluşum bakımından sedimanter bir kayaç olup, marnı oluşturan sedimanların sıkışması ile genellikle muntazam tabakalı olarak bulunurlar. Marn oluşumu daha çok tektonik ve orojenik hareketlerin durulduğu sakin ortam koşullarında ve genellikle kıyıda uzak ortamlarda meydana gelmektedir. Marnın çökeldiği havzalar genellikle çok geniş alanları kaplamaktadır. Ayrıca marn, çökmenin meydana geldiği havzanın çevresindeki ortam ve kayaç yapısından da etkilenmektedir. Karada hüküm süren şiddetli bir ayrışma ve taşınma ile ortamın beslendiği durumlarda, marn çökellerinin kalın tabakalı yapıda oldukları görülür.

Marnın bir sedimanter kayaç oluşu ve bunun yanında kendi içinde de kil ve kalsiyum karbonat içeriğine göre sınıflandırılması, marn kaya kütlelerindeki mineralojik ve kimyasal çeşitliliğin göstergesidir. Bir başka ifadeyle, oluşum mekanizması nedeniyle marn kaya kütlelerinin homojen olmadığı söylenebilir. Bu durum, kaya malzemesi dayanım özelliklerine de yansiyacaktır ve ana kütle temsil eden değerlerin elde edilmesini güçleştirecektir.

Kaya malzemesi dayanım özelliklerini belirlemeye yönelik deneylerde, doğal ortam nemini korumuş olan örneklerde deney yapılması gerektiği belirtilmektedir (ISRM, 1978a ve 1983). Birçok araştırmacı da, kayaçların doğal ortamlarındaki su ve nem içeriklerine göre dayanım deneylerinin yapılması gerektiğini, aksi takdirde gerçek değerlerden sapmalar olacağını belirtmişlerdir (Burshtein, 1969; Lin et al., 1982, Vasarhelyi, et al., 2006).

Son yıllarda molas ve fliş türü sedimanter oluşumlar üzerine gerçekleştirilmiş çalışmalar dikkat çekicidir (Marinos and Hoek, 2001; Hoek and Marinos, 2005). Bu çalışmaların temelinde kumtaşı ve siltaşlarının nem içerikleri azaldıkça parçalanıp dağılması ve gerçek dayanım değerlerinin elde edilemiyor olması yatmaktadır. Bu nedenle, söz konusu sedimanter oluşumlara özgü yaklaşımlar önerilmiştir. Kömür madenlerinde yan kayaç olarak karşılaşılan marnlar kil içerikleri nedeniyle suya duyarlı

kayaçlardır. Bu ise, marnların doğal ortam şartlarına uygun şekilde dayanım değerlerinin elde edilmesinde sorunlar oluşturabilmektedir.

Yeraltı ve açık ocak madencilik çalışmalarında ilk yatırım maliyetlerinin oldukça yüksek olması, bu yatırımlar yapılmadan önce ocak tasarımlarının iyi planlanmasını gerektirmektedir. Ocak tasarımlarında, özellikle yeraltı açıklıklarının tasarımında, güvenliğin ön planda tutularak, ekonomikliğin iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

Madencilik tasarımlarında kaya kütlesi davranışını belirlemeye yönelik yöntemler için gerekli olan kaya malzemesi özellikleri üç eksenli basınç dayanımı deneyleri ile belirlenebilmektedir. Madencilik tasarımlarında en yaygın kullanılan yenilme ölçütleri Mohr-Coulomb ve Hoek-Brown yenilme ölçütleridir. Üç eksenli deney sonuçlarından Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre kaya malzemesi kohezyonu (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) belirlenebilirken (Ulusay ve Sönmez, 2007), Hoek-Brown yenilme ölçütü için kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ve kaya elemanlarının mineral bileşenlerinin sürtünme karakteristiklerini tanımlayan m_i parametresi bulunabilmektedir (Marinos and Hoek, 2001).

Bu çalışmada, ülkemizdeki linyit havzalarında yer yer ana kayaç olarak görülen marnın yeraltı madencilik tasarımları için kaya malzemesi dayanım özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma bölgesi olarak Türkiye Kömür İşletmeleri Garp Linyitleri İşletmesi (G.L.İ) ve Ege Linyitleri İşletmesi (E.L.İ) ocakları seçilmiştir.

Deneysel çalışmalar; doğal ortam şartları dikkate alınarak, ana kütleyi temsil eden kaya malzemesi dayanım özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak planlanmıştır. Bu kapsamda, aynı bölgeye ait kaya malzemesi dayanım özellikleri arasındaki farklılıkların sebepleri de araştırılmıştır. İki farklı bölgede çalışma yapılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

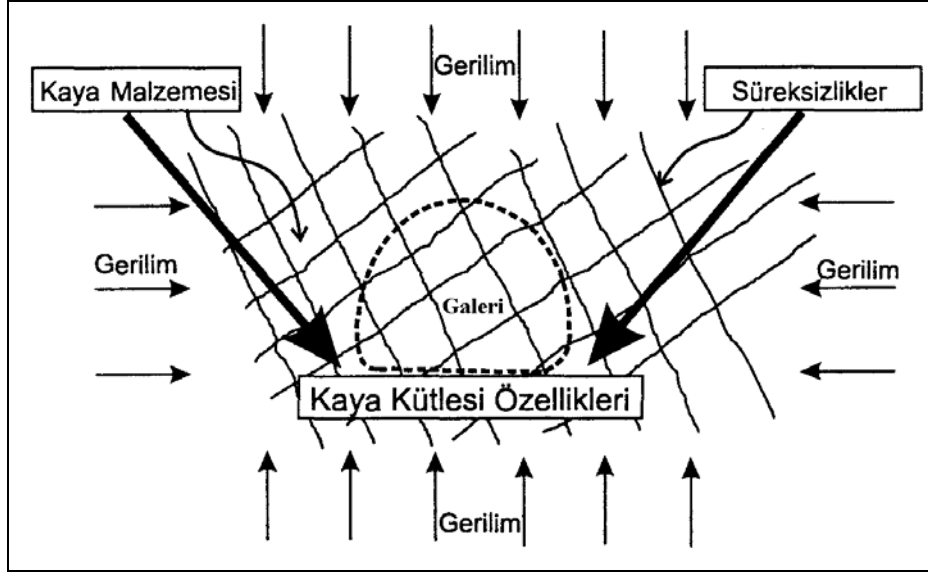
KAYA MALZEMESİ VE KAYA KÜTLESİNİN DAYANIMI

2.1. Kaya Malzemesi, Süreksizlik ve Kaya Kütleli

Kaya malzemesi; kaya kütleli içinde doğal süreksizliklerin arasında kalan ve malzemenin çekme dayanımının azalmasına neden olabilecek herhangi bir zayıflık düzlemi içermeyen, farklı boyutlardaki kaya parçalarıdır (Şekil 2.1). Kaya malzemesinde mikro boyutlarda kırıklar bulunabilir ancak bu mikro kırıklar süreksizlik olarak dikkate alınmazlar (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Kaya kütlelerinde tabakalanma düzlemi, eklem, fay, makaslama zonu, dilinim, şistozite vb. zayıflık düzlemlerinin her biri *süreksizlik* olarak tanımlanmaktadır. Bu zayıflık düzlemleri, kaya kütlelerinde ya çekme dayanımının oluşmasına neden olmaz ya da çok küçük çekme dayanımına sahip olabilirler (Şekil 2.1). Doğal olarak oluşmuş süreksizlikler ile patlatma veya kazı gibi nedenlerle oluşan yapay süreksizliklerin, yapılacak çalışmalarda mutlaka ayırt edilmesi gerekmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Kaya kütleli; süreksizlikler ile kaya malzemesinin birlikte oluşturdukları sistemdir (Şekil 2.1). Kaya kütlelerinde süreksizliklerin arasında kalan kaya malzemesi blokları, ayrılmış ya da özelliğini kaybetmemiş şekilde değişik özellikler gösterebilir. Kaya kütlelerinin gerilmeler altındaki davranışı, kaya malzemesinin oluşturduğu bloklar ile süreksizlikler arasındaki etkileşim tarafından denetlenmektedir. Kaya kütleli, kaya malzemesinden tamamen farklı özellikler göstermesi nedeniyle, yapılacak çalışmalarda dikkatli olunması ve bu iki kavramın karıştırılmaması gerekmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

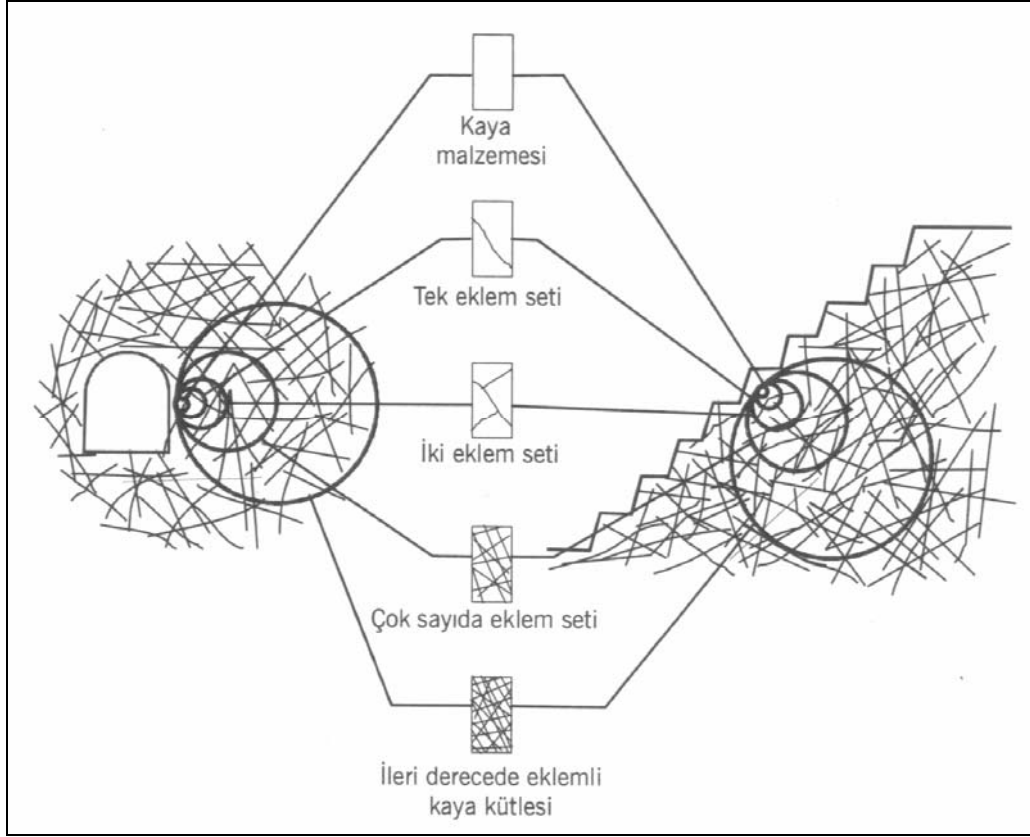


Şekil 2.1. Süreksizlik, kaya malzemesi ve kaya kütesini gösteren şematik kesit (Ulusay ve Sönmez, 2007).

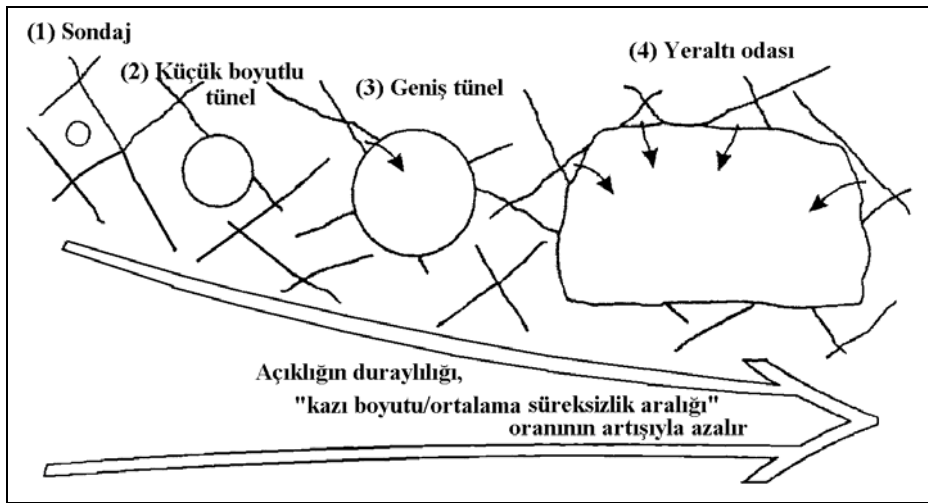
Bir yeraltı açıklığı ile açık ocak kaya şevinde çalışma alanının boyutu arttıkça süreksizlik sayısı da artacağından, çalışma alanı da, süreksizlik içermeyen sağlam kaya malzemesinden eklemli kaya kütesine doğru gelişecektir (Şekil 2.2).

Süreksizliklerin özellikleri çalışma alanlarına ait yüzeylerden veya sondaj karotlarından yararlanılarak tayin edilmektedir. Bu özelliklerin belirlenmesi sırasında, doğal süreksizlik ile sondaj, patlatma ve kazı sonucu oluşan yapay süreksizliklerin ayırt edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, süreksizliklerin yönelimi, açıklığı, aralığı, dolgu durumu vb. gibi özellikleri kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon gibi özelliklerini de etkilemektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Eklemli kaya kütlelerinde yeraltı açıklığının boyutu arttıkça, bu boyut kaya malzemesini temsil eden bloklardan daha büyük olacağı için (Şekil 2.3), söz konusu yeraltı açıklığının davranışı, hem kaya malzemesi hem de süreksizlikler tarafından denetlenmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).



Şekil 2.2. Bir yeraltı açıklığı ile bir kaya şevi kazısında, kaya malzemesinden kaya kütlesine geçişi gösteren temsili kesitler (Ulusay ve Sönmez, 2007).

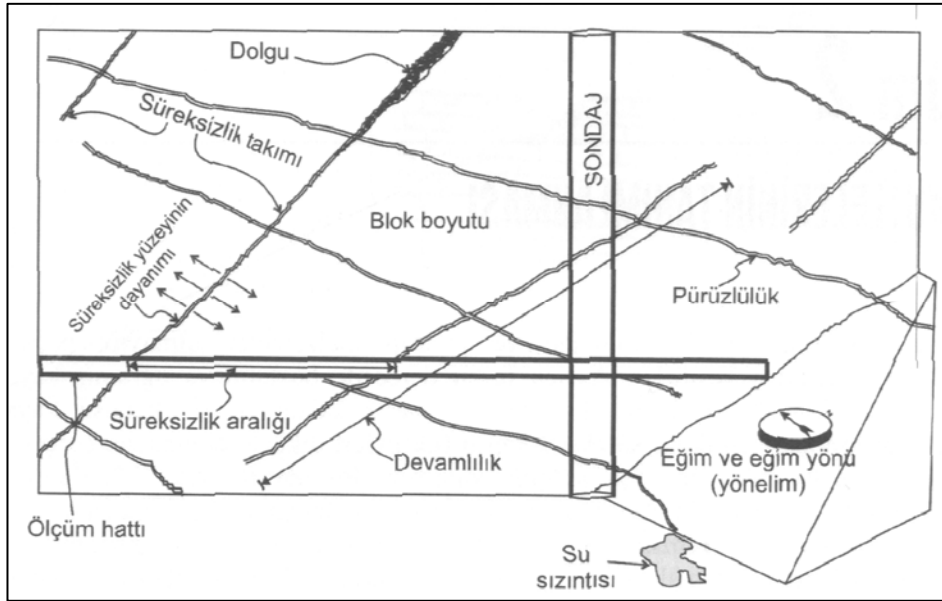


Şekil 2.3. Yeraltı açıklığının boyutunun artışıyla kaya kütlesi kavramının önem kazanmasını gösteren şematik kesit (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Ulusay ve Sönmez'e (2002) göre, kaya kütlelerinin tanımlanmasında, süreksizliklerin bazı özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Süreksizliğin türü,
- Süreksizlik aralığı ve devamlılığı,
- Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı,
- Süreksizlik yüzeyinin açıklığı,
- Dolgu malzemesi özellikleri,
- Süreksizlik yüzeyinin bozunma derecesi,
- Süreksizlik yüzeyindeki su durumu,
- Süreksizliğin konumu,
- Blok boyutu.

Yukarıda sıralanan süreksizlik özelliklerinin belirlenmesinde değişik ölçme teknikleri kullanılmaktadır. Şekil 2.4'de, kaya kütlelerinin tanımlanması için belirlenmesi gereken süreksizlik özellikleri şematik olarak gösterilmiştir.



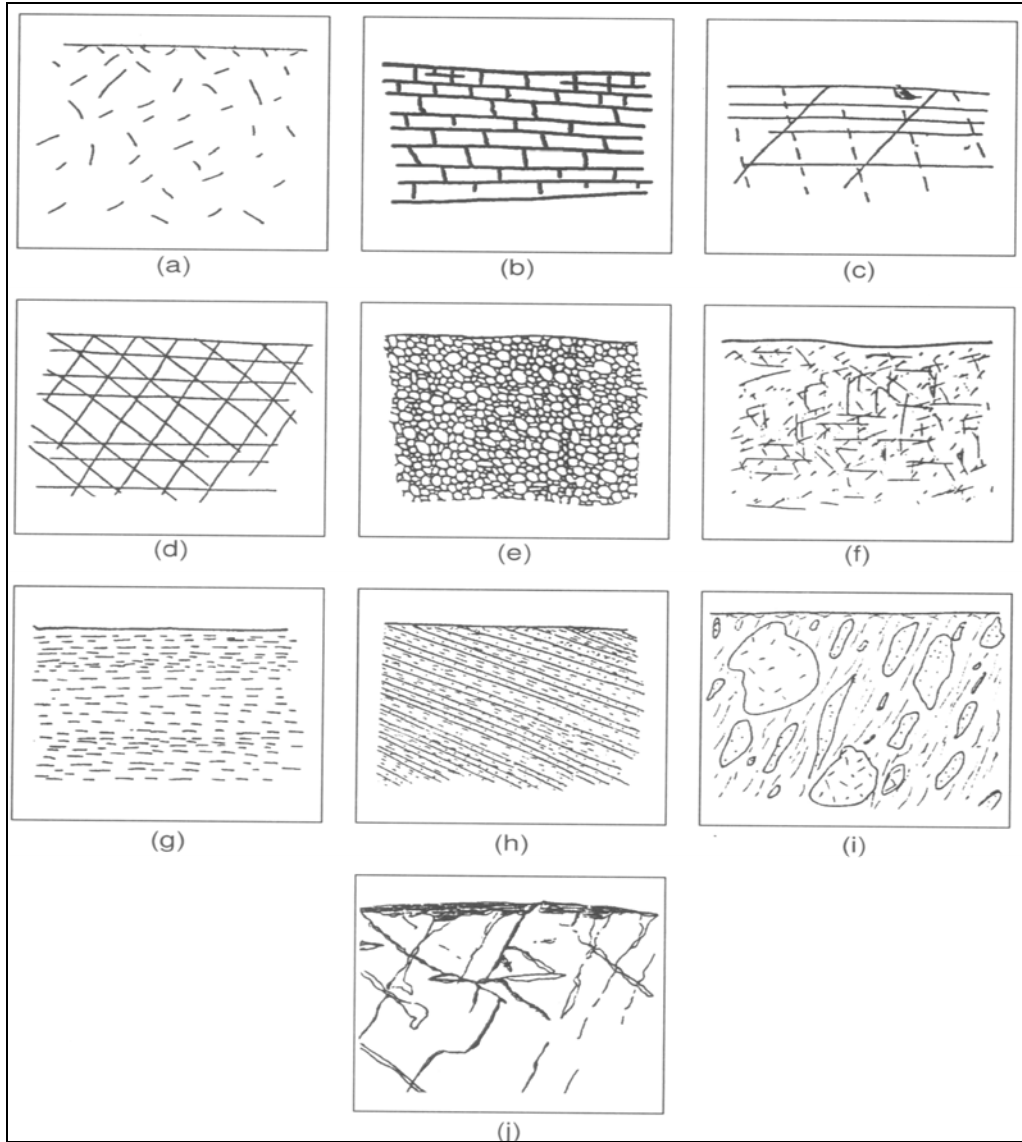
Şekil 2.4. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin özellikleri (Ulusay ve Sönmez, 2002).

2.2. Kaya Kütlesi Türleri

Ulusay ve Sönmez'e göre (2007); kaya kütleleri yapısal ve mekanik özellikleri açısından, aşağıda genel özellikleri verilen dokuz ana gruba ayrılırlar. Bunlar;

- Eklemsiz kaya kütleleri: Bunlar, bozunma zonunun altında bulunan sürekli, homojen ve elastik davranış gösteren kaya kütleleridir (Şekil 2.5a).
- Kısmen eklemli kaya kütleleri: Eklem sayısı üçten az ve devamlılığı fazla eklem setleri içeren, kazıldıklarında blok elde edilemeyen kaya kütleleridir (Şekil 2.5b).
- Kısmen bloklı kaya kütleleri: Süreksizliklerin açık veya yumuşak malzeme tarafından doldurulmuş, eklem seti sayısı üçten az olan ve kapalı ikincil süreksizlikleri de içeren kaya kütleleridir (Şekil 2.5c).
- Bloklı kaya kütleleri: İyi gelişmiş, açık veya yumuşak dolgu içeren, devamlılığı yüksek, üçten fazla sayıda süreksizlik takımı içeren ve kazı sırasında blok elde edilmesi kolay olan kaya kütleleridir (Şekil 2.5d).
- Çok gözenekli kaya kütleleri: Bu tür kaya kütlelerinde önemli miktardaki gözenekler; akışkan içeriği, akışkanın hareketi ve gerilme altında gözeneklerin tahrip olması gibi nedenlerle kayanın mekanik davranışını etkilemektedir (Şekil 2.5e).
- İleri derecede fisürlü kaya kütleleri: Sık aralıklı küçük süreksizlikler içeren ve kırılabilirliğe, anizotropiye sahip kaya kütleleridir (Şekil 2.5f). Bu tür kaya kütlelerinden örnek alımı veya deney yapılması güçtür.
- Sıkışan ve şişen kaya kütleleri: Suyla temas ettiklerinde hacim değişimine uğrayan ve aktif kil minerallerini içeren kaya kütleleridir (Şekil 2.5g).

- Aykırı kayaların davranışı: Bu grupta yer alan kaya kütleleri, tabakalı kumtaşı ve şeyl gibi düzenli bir ardalanmaya sahip olabildikleri gibi (Şekil 2.5h), saplorit ve serpantinit gibi düzensiz karışımlarda içerebilir (Şekil 2.5i).



Şekil 2.5. Kaya kütlesi türleri: a) masif kaya, b) kısmen eklemli kaya kütlesi, c) kısmen bloklı kaya kütlesi, d) bloklı kaya kütlesi, e) çok gözenekli kaya kütlesi, f) ileri derecede fisürlü kaya, g) sıkışan ve şişen kaya, h) düzenli karışımlar, i) düzensiz karışımlar (melanj) ve j) boşluklu kayalar (Ulusay ve Sönmez, 2007).

- Boşluklu kaya kütleleri: Bu grupta çözünebilir özellikteki kireçtaşları, dolomit, jips, kaya tuzu ve çözünebilir bir çimento malzemesi ile tutturulmuş kırıntılı sedimanter kayalar yer almaktadır (Şekil 2.5j).

2.3. Yenilme Ölçütleri

Yeraltı açıklığı, şev, baraj gibi kaya kütlelerinde inşa edilen mühendislik yapılarında, yüklemekten kaynaklanan gerilmeler sonucunda kayada kısmen veya tamamen bir yenilme olup olmayacağı ve yüklemekten dolayı gelişen yerdeğiştirmelerin yapıda hasara neden olabilecek deformasyonlara sebep olup olmayacağının araştırılması gerekmektedir. Kaya kütlelerindeki mühendislik yapısı inşası sırasında değişen birincil gerilme koşullarının tahmin edilmesi ve buna bağlı olarak kayanın akma, kırılma, çatlama, eğilme gibi yenilmeler ile yapının emniyetli taşıma gücünün belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, “yenilme ölçütleri” kullanılmaktadır (Goodman, 2003).

Yenilme ölçütü, gerilmeler altındaki bir malzemenin dayanım parametreleri ile etkiyen gerilmeler arasında kurulan matematiksel bağıntılardır. Malzemeye etkiyen gerilmeler, yenilme yüzeyi üzerinde olduğu zaman yenilme başlamaktadır.

Kaya üzerine yapılan yüklemekten dolayı fleksür, makaslama, çekme veya basınç yenilmeleri meydana gelmekte ve bu yenilme şekillerinin her biri en kritik yenilme şekli olabilmektedir (Goodman, 2003).

Goodman, 2003; fleksür, makaslama, çekme ve basınç yenilmelerini aşağıdaki gibi tanımlamaktadır:

- *Fleksür yenilmesi*; çekme çatlaklarının gelişmesi ve yayılması ile oluşan bükülmeden dolayı meydana gelen yenilme şeklidir. Fleksür yenilmesi daha çok yeraltı maden açıklıklarının tavanındaki tabakalarda görülmektedir. Galeri tavanındaki en alt tabaka yerçekimi etkisiyle üstteki kayadan ayrılırken arada bir boşluk oluşmakta ve kiriş şeklindeki kaya kendi ağırlığı ile aşağı doğru sarkmaktadır. Kirişte çatlaklar oluşmaya

başlayınca, kirişin nötr eksenini yukarı kaymakta ve sonuçta çatlaklar tüm kiriş boyunca yayılmaktadır. Daha sonra ise kayanın bazı bölümleri gevşeyerek aşağı doğru düşmektedir. Fleksür yenilmesi, tabaka eğiminin çok fazla olduğu kaya yamaçlarında, tabakaların yamacın ön yüzüne doğru devrilmesi şeklinde de gelişebilmektedir (Goodman, 2003).

Makaslama yenilmesi, bir ayrılma yüzeyinin oluşumu şeklinde gelişmektedir. Makaslama gerilmeleri kritik bir düzeye ulaşırken, kayada yırtılma yüzeyi boyunca yerdeğiştirmeler meydana gelmekte ve makaslama gerilmesinin boşalmasıyla yırtılma yüzeyi son şeklini almaktadır. Bu tür yenilme şekli, daha çok bozularak zemine benzer özellik kazanmış şeyil gibi zayıf kayalardaki şev kazıları ile fay zonlarındaki ezilmiş kayalarda yaygındır. Makaslama yenilmesi, yeraltı galerilerinde, cevhere göre daha yumuşak ve zayıf tavan kayası içinde de gelişebilmektedir. (Goodman, 2003).

Doğrudan çekme yenilmesi; tabakaları dışı doğru konveks olan yapılar ile sedimanter kayalardaki antiklinal kanatlarında ara sıra gelişen bir yenilme şeklidir. Şev tabanındaki tabakaların eğim açısının, kayanın içsel sürtünme açısından büyük olmasından dolayı, kaya ağırlık dengesinin değişmesi suretiyle, tabakalar kayanın daha üstteki duraylı kısmından ayrılarak tansiyonel bir çekme oluştururlar. Çekme çatlaklarının oluşumu ile kaya kütlesi blok şeklinde aşağıya doğru hareket etmektedir.

Basınç yenilmesi: yeraltı madencilik çalışmaları sırasında topuk olarak bırakılan kısımlardan gerekenden fazla cevher üretimi yapılması, topuğun ayrılma ve kesme şeklinde yenilmeye uğramasına neden olmaktadır. Yeraltı açıklıklarında çatlakların büyümesi ve birleşmesi sonucu topuğun yük taşıma kapasitesini kaybetmesinden dolayı topuk yenilmeye uğramakta ve böylece basınç yenilmesi meydana gelmektedir.

Yeraltı madencilik tasarımlarında en yaygın kullanılan yenilme ölçütleri Mohr-Coulomb ve Hoek-Brown yenilme ölçütleridir.

2.3.1. Mohr-Coulomb yenilme ölçütü

Kaya malzemesi kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) parametrelerini esas alan doğrusal Mohr-Coulomb yenilme ölçütü, Bağıntı 2.1’de gösterildiği şekilde tanımlanmaktadır (Ulusay ve Sönmez, 2007).

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (2.1)$$

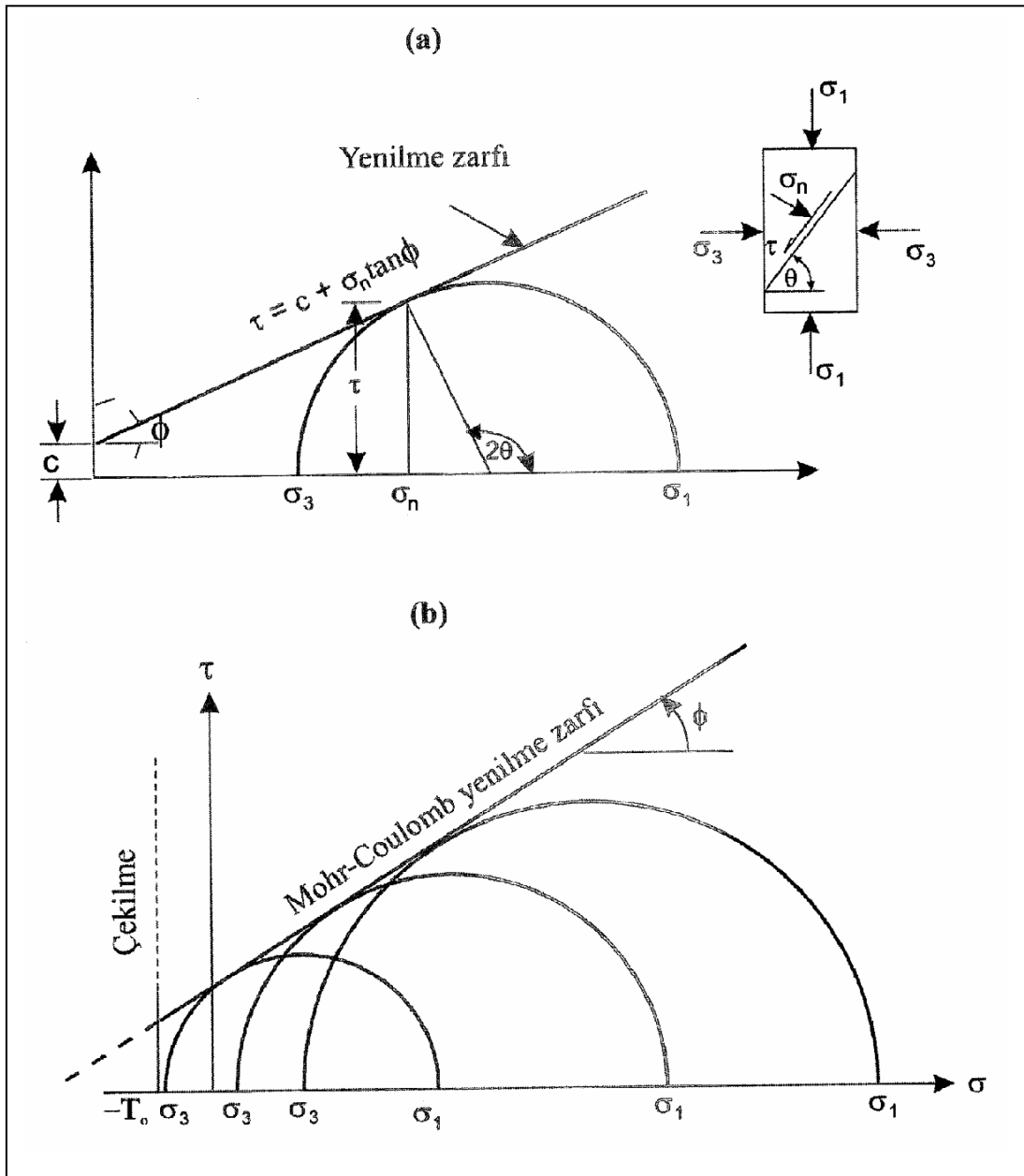
Burada;

- τ : Makaslama dayanımı (MPa)
- σ_n : Yenilme yüzeyi üzerinde etkiyen normal gerilme (MPa)
- c : Kohezyon (MPa)
- ϕ : İçsel sürtünme açısı ($^{\circ}$)

Tanelerin birbirine kenetleme kuvveti olan kohezyon, normal gerilme uygulanmadığında kayadaki makaslama dayanımı olarak da tanımlanabilmektedir. İçsel sürtünme açısı ise, Mohr yenilme zarfının normal gerilme ile yaptığı açı olarak tanımlanabilir.

Kaya malzemelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi makaslama dayanımı parametreleri, silindirik karot örneklerine farklı yanal basınçlar (en az üç farklı yanal basınç) uygulayarak gerçekleştirilen üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak belirlenmektedir.

Üç eksenli basınç deneylerinde, en büyük ve en küçük asal gerilme (σ_1 ve σ_3) değerlerine göre, her bir deney için yenilme koşulunu tanımlayan Mohr daireleri τ - σ grafiğine çizilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. a) Üç eksenli yenilmede gerilme koşulları, b) Mohr-Coulomb yenilme zarfı (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Kohezyon ve içsel sürtünme açısını kullanarak, Mohr dairesinin sınır değerlerini belirleyen Mohr zarfı oluşturulabilir. Mohr zarfının altında kalan kısım güvenli bölgeyi, zarfın tam üzerindeki σ - τ noktaları ise sınır denge durumunu ve zarfın yukarısında

kalan σ - τ noktaları ise statik yük altında belirlenemeyen durumları tanımlamaktadır (Hudson and Harrison, 2005).

2.3.2. Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü

Kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon gibi özelliklerinin belirlenmesinde kullanılacak örneklerin, kaya malzemesi ile birlikte süreksizlikleri de içerecek boyutlarda olması gerekmektedir. Ancak, süreksizlikleri de içerecek boyutlarda örnekler alınarak, bunların laboratuvar ortamında deneye tabi tutulması mümkün değildir. Ayrıca, bu boyuttaki örnekler üzerinde deney yapılmasını sağlayacak deney hücreleri de geliştirilmemiştir. Kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon gibi özelliklerinin belirlenmesindeki güçlüklerin aşılmasına yönelik yapılan çalışmaların sonucunda Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü geliştirilmiştir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Hoek'a (2006) göre; yenilme ölçütlerinin uygulandığı birçok mühendislik çalışmasında, tahmin edilen dayanım değerleri, örselenmiş kaya kütleleri için iyi sonuçlar verirken, tünel açma sırasında karşılaşılabilecek ve sıkı şekilde kenetlenmiş örselenmemiş kaya kütleleri için oldukça düşüktür.

Hoek-Brown yenilme ölçütü başlangıçta sert kaya kütlelerinin dayanımının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş olmasına rağmen, günümüze kadar çok zayıf kayaları içeren çeşitli kaya kütlelerine de uygulanmıştır. Bu durum, asıl ölçütte değişikliklerin yapılmasını gerektirmiştir (Hoek, 2002).

Son yapılan değişikliklerle uygulama alanı genişletilen ve eklemli kaya kütleleri için genelleştirilmiş Hoek-Brown yenilme ölçütü, Bağıntı 2.2'de verildiği gibi tanımlanmaktadır (Hoek, 2002):

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (2.2)$$

Burada;

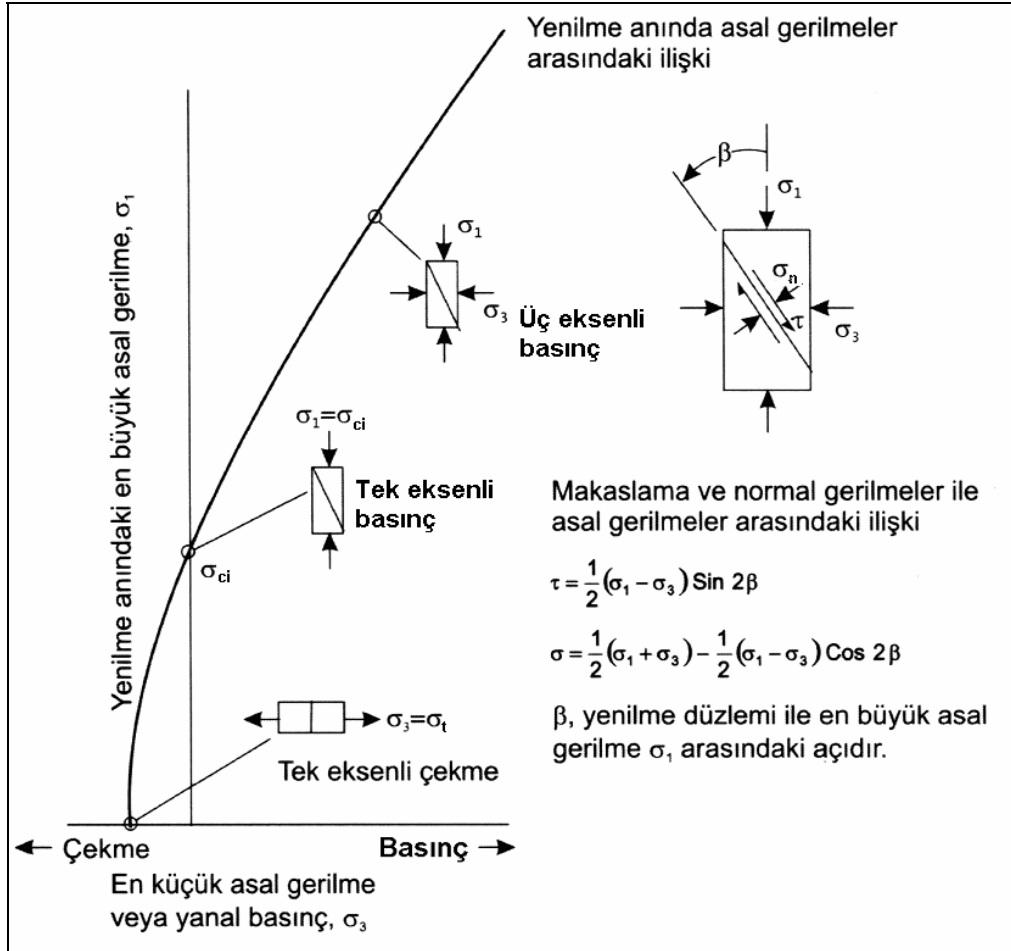
σ_1' : Yenilme anındaki en büyük etkin asal gerilmeler (MPa)

σ_3' : Yenilme anındaki en küçük etkin asal gerilmeler (MPa)

m_b, s, a : Kaya kütesinin bileşimine, yapısına ve yüzey özelliklerine bağlı sabitler

σ_{ci} : Sağlam kaya tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Kaya malzemesinin yenilmesi için gerekli gerilme koşullarının grafiksel gösterimi Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Kaya malzemesinin yenilmesi için gerekli gerilme koşullarının grafiksel gösterimi (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Kaya kütlesinin m_b , s ve a sabitleri Bağntı 2.3, 2.4 ve 2.5’de verilen ilişkilerden belirlenmektedir:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \quad (2.3)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad (2.4)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right) \quad (2.5)$$

Burada; m_i , kaya türüne bağlı olarak değişen ve kaya içindeki parçacıkların iç içe kenetlenme derecesinin bir ölçütü olan yenilme eğrisinin eğriliğini yansıtan sabit, GSI jeolojik dayanım indeksi ve D kaya kütlesindeki örselenme derecesine bağlı bir katsayıdır.

Genelleştirilmiş Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü kaya kütlesinin yenilmesi anındaki asal gerilmeler arasındaki ilişkileri kaya kütlesi m_b , s ve a parametrelerine göre tanımlamaktadır. m_b , s ve a parametrelerinin hesaplanabilmesi için ise öncelikle m_i , GSI ve D değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

- **Sağlam kaya m_i sabiti ve tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci})**

Hoek ve Brown (1997), sağlam kaya tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ve m_i malzeme sabitinin mümkün olduğunca üç eksenli deneyler yürütülerek belirlenmesi gerektiğini belirtmektedirler. Bunun için, üç eksenli deneylerden elde edilen en az beş veri çifti gerekli olmaktadır. Üç eksenli deneyde kaya malzemesinin yenilme anındaki en büyük asal gerilme değeri σ_1 , en küçük asal gerilme değeri σ_3 ve buna göre de $y = (\sigma_1 - \sigma_2)^2$ ve $x = \sigma_3$ olmak üzere, tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ve buna bağlı olarak da m_i malzeme sabiti Bağntı 2.6’da verilen regresyon eşitliklerinden hesaplanabilmektedir (Hoek and Brown, 1997):

$$\sigma_{ci}^2 = \frac{\sum y_i}{n} \left[\frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \right] \frac{\sum x_i}{n} \quad (2.6)$$

$$m_i = \frac{1}{\sigma_{ci}} \left[\frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \right]$$

Yukarıdaki istatistiksel değerlendirilmenin verileri temsil etme derecesi, Bağını 2.7’de verilen belirleme katsayısı (r^2) yardımıyla hesaplanarak tayin edilir. 1’e yakın r^2 değerleri, eşitliğin üç eksenli deney verisini daha iyi temsil ettiğini gösterir.

$$r^2 = \frac{\left[\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n} \right]^2}{\left[\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right] \left[\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \right]} \quad (2.7)$$

Son yıllarda ise, söz konusu regresyon denklemleri yerine Marquardt-Levenberg istatistik yöntemi kullanılarak üç eksenli deney sonuçlarından sağlam kaya tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ve m_i malzeme sabiti değerleri belirlenmektedir (RocLab software, 2007).

Üç eksenli deneylerin yapılamaması durumunda, kayaç türlerine göre önerilen m_i değerlerinden yararlanılabilmektedir. Bu amaçla çeşitli kayaç türleri için önerilen m_i malzeme sabiti değerleri (Hoek, 2000) Çizelge 2.1’de verilmiştir

Çizelge 2.1. Kayaç gruplarına göre m_i sabiti için önerilen değerler (Hoek, 2000).

| Kayaç Türü | Sınıf | Grup | Yapı | | | |
|------------|----------------|-----------------|----------------------|---------------------------------------|---|-------------------|
| | | | İri | Orta | İnce | Çok ince |
| SEDİMANTER | Klastik | | Konglomera (22) | Kumtaşı 19 ←— Grovak —→ (18) | Silttaşı 9 | Kiltaşı 4 |
| | | Klastik olmayan | Organik | | ←— Tebeşir —→ 7 ←— Kömür —→ (8-21) | |
| | Karbonat | | Breş (20) | Sparitik Kireçtaşı (10) | Mikritik Kireçtaşı 8 | |
| | Kimyasal | | | Jipstaşı 16 | Anhidrit 13 | |
| METAMORFİK | Yapraklanmamış | | Mermer 9 | Hornfels (19) | Kuarsit 24 | |
| | Hafif yapraklı | | Migmatit (30) | Amfibolit 31 | Milonit (6) | |
| | Yapraklanmış | | Gnays 33 | Şist 4-8 | Fillit (10) | Sleyt 9 |
| MAGMATİK | Açık | | Granit 33 | | Riyolit (16) | Obsidiyen (19) |
| | | | Granodiyorit (30) | | Dasit (17) | |
| | Koyu | | Diyorit (28) | | Andezit 19 | |
| | | Gabro 27 | Dolarit (19) | Bazalt (17) | | |
| | | Norit 22 | | | | |
| | Piroklastik | | Aglomera (20) | Breş (18) | Tüf (15) | |

(Parantez içindeki değerler tahminidir)

*Bu değerler, yataklanma ve yapraklanma yüzeyine dik olarak deneyi yapılan sağlam kaya içindir. Eğer yenilme, zayıflık düzlemi boyunca oluşursa, m_i değeri oldukça farklıdır.

Daha sonraki yıllarda diğer kayaç türleri için de m_i değerleri önerilerek kapsam genişletilmiştir (Marinos and Hoek, 2001; RocLab software, 2007). Buna göre marn için $m_i = 7 \pm 2$ değer aralığının kullanılması önerilmektedir.

- **Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)**







Özgün Hoek-Brown yenilme ölçütü sert kaya kütlelerinin dayanımını belirlemek için geliştirilmiştir. Kaya kütlesi sabitlerinin Bieniawski'nin RMR (Kaya Kütle Oranı) kayaç sınıflandırmasından yararlanılarak belirlenebileceği bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem, RMR değerleri 25'den büyük olan kaya kütleleri için geçerli olup, çok zayıf kaya kütleleri için kullanılamamaktadır. Bu sınırlamayı ortadan kaldırabilmek için Jeolojik Dayanım İndeksi (*GSI*) olarak adlandırılan yeni bir indeks tanımlanmıştır. *GSI*, çok zayıf kaya kütleleri için 10 değerini alırken, çok sağlam kayaç için 100 değerini almaktadır (Hoek, 1995). *GSI*, daha sonraki yıllarda yapılan değişikliklerle tek başına bir sınıflama sistemi olarak ölçütte yer almıştır (Hoek and Brown, 1997; Hoek et.al., 1998).

Genel kaya kütlesi türleri için düzenlenmiş *GSI* sınıflama sistemi Şekil 2.8'de verilmiştir. Literatürde fliş türü heterojen kaya kütleleri için de ayrı bir *GSI* sınıflama sistemi yer almaktadır (Marinos and Hoek, 2001).

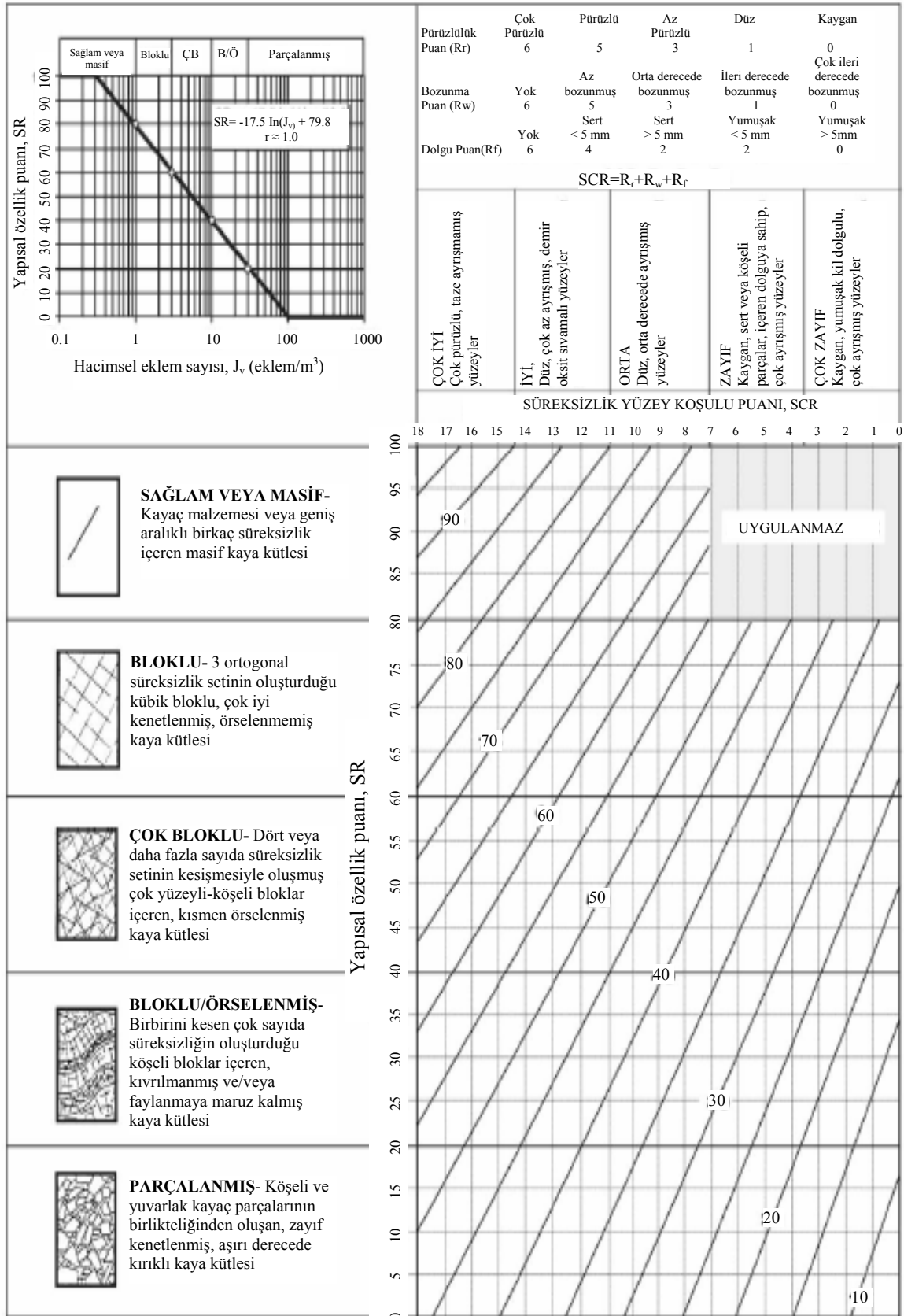
GSI değeri, RMR değeri 25'den büyük olan kaya kütleleri için RMR değerine bağlı olarak bulunabilmektedir. Bunun için, kaya kütlesi tamamen kuru ve süreksizlik yönelimi çok iyi kabul edilerek elde edilen RMR^1 değerinden yararlanılır. RMR^1 değeri Bieniawski'nin 1989 yılındaki kayaç sınıflandırmasından yararlanılarak bulunduğu takdirde jeolojik dayanım indeksi $RMR_{89}^1 > 23$ için:

$$GSI = RMR_{89}^1 - 5 \quad (2.8)$$

olmaktadır (Hoek, 1995).

| YAPI | SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU | AZALAN YÜZEY KALİTESİ | | | |
|---|--------------------------|--|--|--|---|
| | | ÇOK İYİ Çok pürüzlü, taze ayrılmamış yüzeyler | İYİ Düz, çok az ayrılmış, demir oksit sıvamalı yüzeyler | ORTA Düz, orta derecede ayrılmış yüzeyler | ZAYIF Kaygan, sert veya köşeli parçalar içeren, dolguya sahip, çok ayrılmış yüzeyler |
|  SAĞLAM VEYA MASIF- Kayaç malzemesi veya geniş aralıklı birkaç süreksizlik içeren masif kaya kütlesi | 90 | UYGULANMAZ | | | |
|  BLOKLU- 3 ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, çok iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütlesi | 80 | KAYA PARÇALARININ KENETLENME DERECESİNDE AZALMA | | | |
|  ÇOK BLOKLU- Dört veya daha fazla sayıda süreksizlik setinin keşişmesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren, kısmen örselenmiş kaya kütlesi | 70 | | | | |
|  BLOKLU/ÖRSELENMİŞ- Birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu köşeli bloklar içeren, kıvrımlanmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütlesi | 60 | KAYA PARÇALARININ KENETLENME DERECESİNDE AZALMA | | | |
|  PARÇALANMIŞ- Köşeli ve yuvarlak kayaç parçalarının birlikteliğinden oluşan, zayıf kenetlenmiş, aşırı derecede kırıklı kaya kütlesi | 50 | | | | |
|  FOLİASYONLU-LAMİNALI-MAKASLANMIŞ İnce laminalı veya foliasyonlu ve makaslanmış zayıf kayaçlar. Diğer süreksizlik setlerine oranla daha egemen olan sık aralıklı şistozite yüzeyleri kayaçta bloklanmanın gelişmesini önlemiştir. | 40 | KAYA PARÇALARININ KENETLENME DERECESİNDE AZALMA | | | |
| | 30 | | | | |
| | 20 | KAYA PARÇALARININ KENETLENME DERECESİNDE AZALMA | | | |
| | 10 | | | | |
| | UYGULANMAZ | | | | |

Şekil 2.8. Sağlam veya masif kaya kütlesi ile foliasyonlu-laminalı-makaslanmış kayaçları da içerecek şekilde düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi (Marinos and Hoek, 2001).



Şekil 2.9. Modifiye edilmiş GSI sistemi (Sönmez et.al, 2004).

GSI değerinin belirlenmesine yönelik bir diğer yöntem de Sönmez ve Ulusay tarafından önerilmiştir (Sönmez and Ulusay, 1999; Sönmez et.al, 2004). Bu yöntemde göre, kaya kütlesi için tanımlanan Yapısal Özellik Puanı (SR) ve Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı (SCR) parametrelerine göre *GSI* değeri bulunabilmektedir. Şekil 2.9’da, söz konusu modifiye edilmiş *GSI* sistemi son şekliyle görülmektedir (Sönmez et.al, 2004).

Sönmez ve Ulusay (1999), Yapısal Özellik Puanı’nın (SR) hacimsel eklem sayısına (J_v) bağlı olarak Şekil 2.9’un üst kısmında ve sayfanın sol tarafında bulunan grafiksel ilişkiye göre belirlenmesini önermişlerdir (Sönmez ve Ulusay, 1999; Ulusay ve Sönmez, 2002; Sönmez vd., 2004). Ayrıca, homojen ve izotrop kabul edilebilecek kaya kütleleri için hacimsel eklem sayısının (J_v) belirlenmesi için Bağntı 2.9’un kullanılmasını önermişlerdir:

$$J_v = \frac{I}{S_x} \times \frac{I}{S_y} \times \frac{I}{S_z} \quad (2.9)$$

Burada;

J_v : Hacimsel eklem sayısı (eklem/m³)

S_x, S_y, S_z : x, y, z yönlerindeki ortalama süreksizlik aralığı (m)

Sönmez ve Ulusay (2007), kaya kütlelerinde birbirine dik yönde üç hat etüdü yapılmasının çoğu zaman mümkün olmadığını ve ileri derecede eklemlili kaya kütlelerinin homojen ve izotrop kabul edilerek Bağntı 2.10’nun kullanılmasını önermişlerdir.

$$J_v = \left(\frac{I}{S} \right)^3 \quad (2.10)$$



Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı (SCR); süreksizliklerin pürüzlülük (R_r), bozunma (R_w) ve dolgu (R_f) puanları toplamı şeklinde de tanımlanmaktadır (Sönmez ve Ulusay, 1999; Ulusay ve Sönmez, 2002; Hoek et.al., 2002). Süreksizlik özelliklerine göre; R_r , R_w ve R_f puanları Şekil 2.9'un üst kısmında sayfanın sol tarafında yer almaktadır.

- **Örselenme Faktörü (D)**

Hoek (2002) tarafından önerilen birinci bağıntıda yer alan diğer bir ifade, patlatmaya bağlı örselenme faktörü (D) olup, örselenmemiş kaya için 0 değerini alırken, patlatmadan oldukça zarar görmüş kaya kütleleri için 1 değerini almaktadır. Çizelge 2.2'de, örselenme faktörünün belirlenmesine yönelik kılavuz görülmektedir (Hoek et.al., 2002).

Sönmez vd. (2003), örselenme faktörünün belirlenmesine yönelik yaptığı çalışma, çeşitli açık ocaklardan ve baraj tünellerinden elde edilmiş verilere dayandırılmıştır (Sönmez vd., 2004). Bu çalışma daha çok, açık ocak madenciliğine yönelik örselenme faktörünün tayin edilebilmesi için bir yaklaşım getirmektedir. Tüneller için ise, mükemmel nitelikte kontrollü yapılan patlatmada $D=0$ ve çok zayıf nitelikte patlatmada $D=0.8$ olmak üzere örselenme faktörü için sınır değerler verilmiştir. Bu değerler, Çizelge 2.2 ile uyum içindedir. Ayrıca, bu çalışmada önerilen yöntem, örselenmiş ve örselenmemiş kaya kütlesi için makaslama dalgası hız ölçümlerini gerektirmektedir.

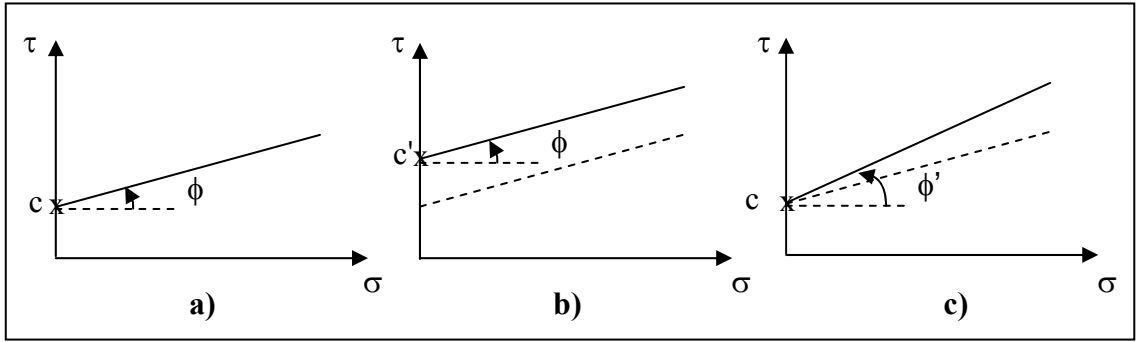
Çizelge 2.2. Örselenme faktörü D 'nin tahmini için kılavuz (Hoek et.al., 2002).

| Kaya kütleinin görünümü | Kaya kütleinin tanımı | Önerilen D değeri |
|---|---|--|
|  | Tünel açma makinesiyle mükemmel nitelikte kontrollü yapılan patlatma veya kazı bir tüneli çevreleyen sınırlı kaya kütleinde en az örselenmeye neden olur. | $D = 0$ |
|  | Zayıf nitelikteki kaya kütlelerinde mekanik veya elle kazı (patlatma yapılmadan) çevre kaya kütleinde en az örselenmeye neden olur. Sıkışma problemlerinin önemli taban kabarmasına sebep olduğu durumlarda, fotoğrafta görüldüğü gibi kalıcı bir taban kemeri kurulmadıkça örselenme şiddetli olabilir. | $D = 0$ $D = 0.5$ Taban kemeri yok |
|  | Sert kaya tüneline çok zayıf nitelikte patlatma çevre kaya kütleinde 2 veya 3 m genişliğinde şiddetli yerel hasara sebep olmaktadır. | $D = 0.8$ |
|  | İnşaat mühendisliği yamaçlarında küçük ölçekte patlatmalar, özellikle sol taraftaki fotoğrafta gösterildiği gibi kontrollü patlatma yapılıyorsa, kaya kütleinde az zarara neden olmaktadır. Bununla birlikte, gerilme rahatlaması bir miktar örselenmeye neden olmaktadır. | $D = 0.7$ İyi patlatma $D = 1.0$ Zayıf patlatma |
|  | Çok büyük açık işletme maden şevleri ağır üretim patlatmalarından dolayı ve de örtü tabakasının kaldırılmasından kaynaklanan gerilme rahatlaması nedeniyle önemli örselenmeye uğramaktadır. Bazı yumuşak kayalarda kazı sökerek ve küremeye yürütülebilmektedir ve şevlerde hasar derecesi daha azdır. | $D = 1.0$ Üretim amaçlı patlatma $D = 0.7$ Mekanik kazı |

2.4. Yenilme Ölçütlerindeki Kaya Malzemesi Parametreleri Arasındaki İlişkiler

Mohr-Coulomb yenilme ölçütünde Mohr zarfı kohezyon ve içsel sürtünme açısı ile tanımlanmaktadır (Şekil 2.10a). Mohr zarfına göre; içsel sürtünme açısı sabit kalmak koşuluyla, kaya malzemesinin kohezyonu arttıkça ($c' > c$) Mohr zarfı yukarı doğru taşındığından kaya malzemesinin dayanımı artmaktadır (Şekil 2.10b). Benzer şekilde; kaya malzemesinin kohezyonu sabit kalmak koşuluyla, içsel sürtünme açısı arttıkça ($\phi' > \phi$) dayanımı artmaktadır (Şekil 2.10c).

İki farklı kaya malzemesi göz önüne alındığında, kohezyon ve içsel sürtünme açısının her ikisi de büyük olanın dayanımı daha yüksek olacaktır. Ancak, iki kaya malzemesinden birinin diğerine göre daha yüksek bir kohezyona ve daha düşük bir içsel sürtünme açısına sahip olması durumunda, hangisinin üç eksenli basınç dayanımına göre daha dayanımlı olduğunu tanımlamak güçleşmektedir.



Şekil 2.10. Kaya malzemesinin içsel parametrelerindeki değişime göre Mohr zarfının konumu.

Hoek-Brown yenilme ölçütü kaya malzemesi m_i parametresi için Çizelge 2.1'deki önerilen değerlere göre kaya malzemesi dayanımı arttıkça m_i parametresinin daha yüksek değerler aldığı söylenebilir, ancak bu genel eğilime uymayan kayaç türlerinin de olması dikkat çekicidir. Örneğin, mermer ve kireçtaşları için önerilen m_i değeri 8-10 arası değerler alırken tuf için 15, jips için 16 vb. değerler önerilmiştir.

2.5. Nem İçeriğinin Kayaçların Dayanımı Üzerine Etkisi

Burshtein (1969), kumtaşları üzerinde yaptığı deneylerde, nem içeriğinin kumtaşlarının dayanım ve deformasyon karakteristikleri üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu ve kaya patlamalarını azaltmak için ön ıslatma işleminin artan bir şekilde uygulandığını belirtmektedir. İslatma işlemi sonucunda kaya patlaması riskinin azalmasının, kaya patlamasına elverişli kumtaşlarının fizikomekanik parametreleri üzerindeki etkisinden kaynaklandığını rapor etmiştir. Örneğın, ıslatma işlemi sonucu kumtaşlarının elastisite modülü, dayanımı ve gevrekliğı azalırken plastisitesi artmaktadır.

Kayacın nem içeriğinin dayanıma etkisini incelemek için yapılan deneylerde kullanılan örneklerin arazi koşullarına yakın nem içeriğine sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla Burshtein (1969), deney öncesinde kumtaşı örneklerini yapay ıslatma işlemine tabii tutmuştur. Arazi şartlarına yakın bir şekilde örneklerin koşullandırılması için, örnekleri 2-10 gün süreyle su içerisinde ya da içerisinde nemli talaş bulunan kutuda bekletmiş, kuru örnekler için 105°C’de 2 ya da daha fazla gün etüvde kurutarak deneye hazırlamıştır. Havada kuru deneyler için örnekleri açık havada bekletmiştir. Ayrıca nem içeren ve şişmeye eğilimli kayaç örneklerini 2-3 gün süreyle talaş tozu içerisinde bekledikten sonra, nem içeriğinin örnek içerisinde homojen dağılımını sağlamak amacıyla da desikatörde 3-4 gün bekletmiştir.

Burshtein (1969), nem içeriğinin kesin bir etken parametre olduğuna, yaptığı çekme ve basınç deneyleri sonucunda ulaşmıştır. Ayrıca aynı araştırmacı, farklı yataklardan alınan kumtaşı örnekleri üzerinde yaptığı deneylerden elde ettiği sonuçlara göre, nem içeriğindeki artışın elastisite modülünü önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Bu etkinin, daha yüksek nem içirme kapasitesine sahip kayaçlarda düşük nem içirme kapasiteli kayaçlara göre daha az olduğunu belirtmektedir (Burshtein, 1969).

Lin ve Hung (1982), Shihman (Tayvan) baraj sahasından aldıkları orta-düşük dayanımlı sedimanter kayaçlar üzerinde yapmış oldukları deneyler sonucunda, kuru

durumdan %75'e kadar nem içeriğine sahip grovak'ın dayanımında %50, elastisite modülünde ise %17 azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, kumtaşı, silttaşı ve sleyt üzerinde yaptıkları deneylerde de, bu tür kayaçların dayanımının neme karşı duyarlı olduğunu rapor etmişlerdir.

Lin ve Hung (1982), su ve nem doygunluğuna bağlı olarak sedimanter kayaçların dayanımındaki azalmanın, hem kohezyonun hem de içsel sürtünme açısının azalmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Çamurtaşı ve şeyl üzerinde gerçekleştirdikleri tek eksenli ve üç eksenli deneylerde de, nem içeriğinin hafif artışıyla sadece kohezyonunda değil aynı zamanda içsel sürtünme açısının da oldukça azaldığını belirtmişlerdir.

Lin ve Hung (1982) ayrıca, X-ışınları kırınım analizleri ve mikroskopik incelemeler sonucunda, içsel sürtünme açısındaki azalmanın, suyun kayaç içerisindeki kil mineralleri üzerindeki yağlayıcı etkisinden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır. Nem içeriğinin artışıyla kohezyonun azalmasını, kayaç içerisindeki çimentolanma malzemesinin çözünmesiyle birlikte kimyasal hidrasyon ve absorpsiyon nedeniyle serbest yüzey enerjisinin azalmasından dolayı kaynaklandığını belirtmişlerdir. Suya doygun hale getirme işlemi sırasında zaman zaman şişme (kabarma) ve ayrılma gözlemlenmişler, bu durumun test edilen sedimanter kayaçların serbest yüzey enerjisindeki azalmadan ziyade, kimyasal hidrasyon ve çimentolanma malzemelerinin çözülmesinden dolayı kayaç yapısındaki zayıflamanın daha önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Laboratuvarda yapılacak dayanım deneylerinden önce, sedimanter kayaçların yerindeki (arazideki) nem içeriğini muhafaza etmesi oldukça önemlidir. Arazideki nem içeriği uygun bir şekilde muhafaza edilmeyen örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneyler, tahmin edilenden daha yüksek dayanım değerinin elde edilmesine yol açabilir (Lin and Hung, 1982).

Artan gerilme farkları, sıcaklık, zaman, çatlak dolgusundaki plastik malzemeler, ayrışma ve su etkisiyle yumuşama gibi nedenlerle kaya malzemesinin gerçek davranışı,

ideal koşullardan ayrılmakta ve kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri önemli derecede azalmaktadır. Ayrıca; killi, marnlı ve yarı zemin niteliğindeki kaya malzemelerinde suyun etkisi ile dayanımın azalmakta ve özellikle içsel sürtünme açısı büyük ölçüde düşmektedir (Yüzer ve Vardar, 1983).

Hawkins ve McConnell (1992), nemin sedimanter kayaçların dayanımı ve deformasyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır (Vasarhelyi, 2003). Buna göre suya doymun ve kuru tek eksenli basınç dayanımı arasında bir ilişki olduğunu bulmuşlar ve bu ilişkiyi açıklayan Bağntı 2.11'ü önermişlerdir.

$$\sigma_{ucs(sat)} = 0.759\sigma_{ucs(dry)} \quad (R^2 = 0.906) \quad 2.11$$

Burada;

$\sigma_{ucs(sat)}$: Suya doymun tek eksenli basınç dayanımı

$\sigma_{ucs(dry)}$: Kuru tek eksenli tek eksenli basınç dayanımı

Hawkins ve McConnell (1992), çalıştıkları bölgelerden üç formasyonun Bağntı 2.10'a uymadığını rapor etmişler, bu durumu da sedimanter kayaç parçaları ya da kil mineralleri yüzdesinin yüksek olması ile açıklamışlardır (Vasarhelyi, 2003).

Kramadibrata vd. (2000), Endonezya Ombilin Kömür Madeni kumtaşları üzerinde yaptıkları çalışmada Çizelge 2.3'de verilen yenilme ölçütü ilişkilerini elde etmişlerdir. Çizelge 2.3'de, kuru kumtaşının 47° olan içsel sürtünme açısının suya doymun halde iken 23°'ye düştüğü ve kohezyonun tam tersine artış göstererek 9.90 MPa olan kuru değerinin suya doymun halde 16.72 MPa değerine ulaştığı görülmektedir. Ayrıca; suyun etkisiyle Hoek-Brown yenilme ölçütü parametrelerindeki değişime göre, kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı ile m_i malzeme sabiti değeri düşmektedir. Kramadibrata vd. (2000) bu durumu, yanal basınçların yüksekliğine ve kumtaşı örneğinin geniş bir yelpazede lineer ilişki göstermemesine bağlanabileceğini belirtmektedir.

Çizelge 2.3. Endonezya Ombilin kömür madeni kumtaşlarının Mohr-Coulomb ve Hoek-Brown yenilme ölçütü değerleri (Kramadibrata et.al., 2000).

| Yenilme ölçütü | Etüvde kurutulmuş | Suya doymun |
|----------------|---|--|
| Mohr-Coulomb | $\tau = \sigma_n \tan 47^\circ + 9.90$ | $\tau = \sigma_n \tan 23^\circ + 16.72$ |
| Hoek - Brown | $\sigma_1 = \sigma_3 + 59.64 \left(15.75 \frac{\sigma_3}{59.64} + 1 \right)^{0.5}$ | $\sigma_1 = \sigma_3 + 33.06 \left(8.03 \frac{\sigma_3}{33.06} + 1 \right)^{0.5}$ |

Sachpazis (2004) tarafından İngiltere Northumberland kireçtaşı üzerinde yapılmış çalışma sonuçları Çizelge 2.4’de verilmiştir. Bu çalışmada, kireçtaşı metamorfizma derecesine göre; A metamorfizmaya uğramamış, B düşük metamorfik, C yüksek metamorfik ve D tamamen metamorfik olmak üzere 4 farklı gruba ayrılmıştır. Her bir metamorfizma derecesindeki kuru ve suya doymun kireçtaşı örnekleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 2.4’den, kireçtaşının suya doymun olması durumunda içsel sürtünme açısı ve m_i malzeme sabiti artarken, kohezyon ve tek eksenli basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Buna göre, kohezyon ile içsel sürtünme açısı ters ilişkilidir. Sachpazis (2004) bu durumun, metamorfizma derecesi ile ilişkili olduğunu yani ileri metamorfizma geçirmiş kayacın, kohezyonunun düşük içsel sürtünme açısının ise yüksek olacağını belirtmektedir.

Çizelge 2.4. Farklı metamorfizma derecesindeki kireçtaşlarının; içsel parametreleri, Hoek-Brown yenilme ölçütü m_i parametresi ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkiler (Sachpazis, 2004).

| Kayaç Sınıfı | Bölge | Veri sayısı | σ_{ci} (MPa) | ϕ ($^{\circ}$) | c (MPa) | m_i | r^2 |
|---------------------|-----------------------|-------------|---------------------|-----------------------|---------|-------|-------|
| B _{kuru} | Longhoughton Taşocağı | 5 | 106.13 | 36 | 27.9 | 7.5 | 0.99 |
| B _{doygun} | Longhoughton Taşocağı | 5 | 94.59 | 39 | 25.0 | 9.5 | 0.96 |
| C _{kuru} | Longhoughton Taşocağı | 5 | 81.28 | 38 | 20.4 | 10.2 | 0.99 |
| C _{doygun} | Longhoughton Taşocağı | 5 | 62.95 | 39 | 16.4 | 13.2 | 0.99 |
| D _{kuru} | Longhoughton Taşocağı | 5 | 87.81 | 38 | 21.4 | 9.0 | 0.97 |
| D _{doygun} | Longhoughton Taşocağı | 7 | 74.77 | 41.5 | 17.1 | 13.5 | 0.99 |
| A _{kuru} | Mootlaw Taşocağı | 5 | 211.20 | 35.5 | 64.0 | 8.2 | 0.99 |
| A _{doygun} | Mootlaw Taşocağı | 5 | 189.70 | 36 | 60.0 | 8.4 | 1.00 |

Vasarhelyi ve Van (2006), su içeriğinin kayaç dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden birisi olduğunu ve sadece %1'lik suya doygunluk oranından sonra bile dikkate değer bir dayanım artışı olduğunu belirtmişlerdir. Kaya mekaniği ve kaya mühendisliği projelerinde dayanım sınıflaması amacı için kuru tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin kullanılması özellikle tavsiye edilmektedir. Gerçek mühendislik tasarımlarında ise, kayaçların dayanım ve deformasyonlarındaki değişimi belirlemek için ideal olarak kayacın suya karşı hassasiyetine göre suya doygun haldeki dayanım değerlerini kullanmak gerektiği vurgulanmaktadır (Vasarhelyi and Van, 2006).

Ergüler (2007), Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınmış kil içeren kayaçlar (silttaşı, çamurtaşı ve marn) üzerinde yapmış olduğu çalışmada, su içeriğinin değişimine bağlı olarak hem kohezyon hem de içsel sürtünme açısının azalım gösterdiğini belirtmiştir.

Literatürde yer alan söz konusu çalışmalardan nemliliğin kaya malzemesi dayanımını genel olarak azalttığı görülmektedir. Bu ise, dayanım deneyleri öncesi kaya malzemesi örneklerinin doğal ortam şartlarına uygun şekilde koşullandırılmasının önemini ortaya çıkarmaktadır.

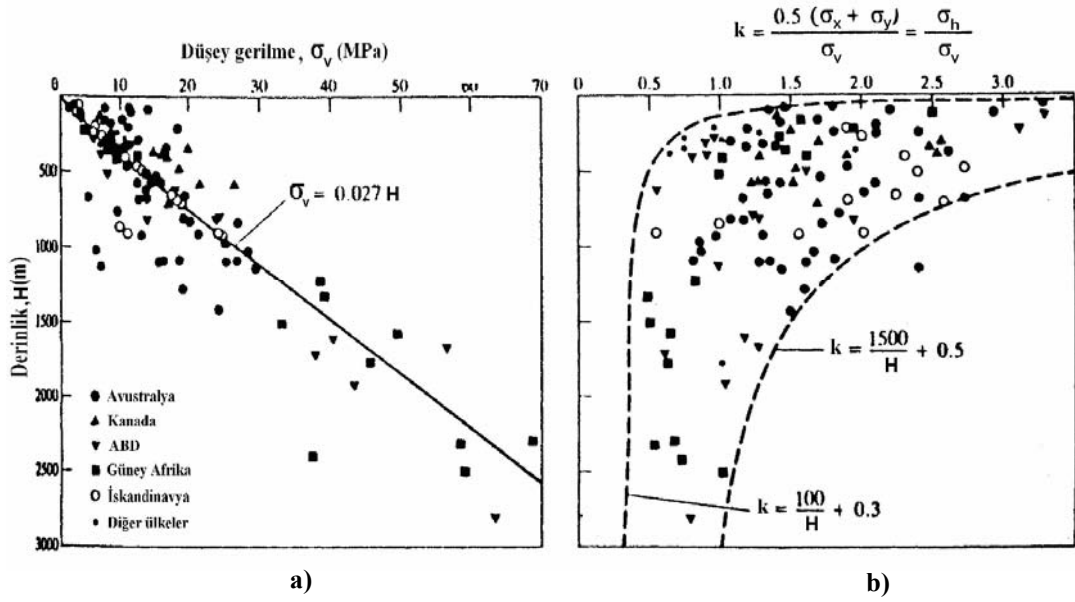
Kuru ve koşullandırılmış örneklerin birbirine göre olan dayanım farklılığı yorumlanırken, kaya malzemesinin sadece tek eksenli basınç dayanımına göre tanımlama yapmakta problem bulunmamakla birlikte, kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerine göre tanımlama yapmakta güçlük olabilmektedir. Bölüm 2.4’de açıklandığı gibi, eğer kuru örneklerin kohezyon ve içsel sürtünme açısının her ikisinde de örneklerin nemli olması durumunda azalma var ise, üç eksenli basınç dayanımına göre nemin dayanımı azalttığı söylenebilir (örneğin Lin and Hung (1982) ve Ergüler’in (2007) çalışmaları). Ancak, literatürde kohezyon ve içsel sürtünme açısının birlikte azalmadığı, aksine ters orantılı değiştiği çalışmalar da bulunmaktadır (örneğin Kramadibrata et.al. (2000) ve Sachpazis’in (2004) çalışmaları). Bu ise, kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerine veya üç eksenli basınç dayanımı özelliklerine göre tanımlama yapmakta güçlük yaratmaktadır.

2.6. Doğal Gerilmeler

Bir yeraltı madencilik açıklığı çevresindeki gerilme dağılımının belirlenebilmesi için, kaya kütlesi özellikleri kadar doğal gerilmelerin de en doğru şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Madencilik öncesinde derindeki bir kaya elemanına üzerinde bulunan tabakaların ağırlığından kaynaklanan yerçekimsel gerilmeler, bölgesel faylanma gibi yerkabuğunun deformasyonu nedeniyle tektonik gerilmeler ve kabarma veya ısınmanın neden olduğu gerilmeler veya termal gerilmeler gibi kalıcı gerilmeler etki edebilir. Bu gerilmelerin tümü doğal (yerinde) gerilmeler olarak tanımlanmaktadır (Bieniawski, 1984).

Çeşitli ülkelerde yerinde ölçüm tekniklerine göre elde edilmiş düşey gerilme bileşeni (σ_v) ve yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı k değerlerinin derinlikle olan

değişimi Şekil 2.11'de görülmektedir (Brady and Brown, 1993). Şekil 2.11a'dan, kayanın birim hacim ağırlığı ile derinlik çarpımından düşey gerilme bileşeni (σ_v) değerinin kolaylıkla hesaplanabileceği görülmektedir. Doğal gerilme tansörünün yatay gerilme bileşeni (σ_h) için ise, öncelikle k oranının belirlenmesi gerekmektedir. Düşey gerilme bileşeninin k oranı ile çarpımı ortalama yatay gerilme bileşeni değerini vermektedir. Şekil 4.11b'den, belirli bir derinlik için sabit bir k oranı değerinden söz edilemeyeceği ve k oranının geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir. Şekilde ayrıca, k oranının alt ve üst sınır değerlerinin derinlikle olan değişimi bağıntılarıyla ifade edilmektedir.



Şekil 2.11. Yerde ölçüm sonuçlarına göre a) düşey gerilmenin ve b) k oranının derinlikle olan değişimi (Brady and Brown, 1993).

Terzaghi ve Richart (1952) tarafından k oranı için önerilen $k = \nu/(1-\nu)$ bağıntısından kaya mekaniğinde yakın zamana kadar yaygın bir şekilde yararlanılmıştır. Bu ilişkiye göre, k oranı derinlikle değişmemekte ve kaya kütlesi için sabit bir değer taşımaktadır. Yerde ölçüm değerlerine göre k oranı derinlikle azalma eğilimindedir (Hoek, 2000).

Sheorey (1994) tarafından dünyanın bir elasto-statik termal gerilme modeli geliştirilmiştir. Bu model, yerkabuğu ve örtüsünün uçtan uca elastisite sabitleri, yoğunluk ve ısıl genişleme katsayılarının değişimi ve yerkabuğunun eğrilişini dikkate almaktadır. Sheorey, yatay gerilme bileşeni (σ_h) için Bağıntı 2.12 ve 2.13'ü önermiştir (Sheorey, 1994; Sheorey et.al., 2001):

$$\text{İzotropik kaya kütlesi için: } \sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} \gamma H + \frac{\beta E G}{1-\nu} (H + 1000) \quad (2.12)$$

$$\text{Yatay izotropik kaya kütlesi için: } \sigma_h = \frac{\nu_{hv}}{1-\nu_h} \gamma H + \frac{\beta_h E_h G}{1-\nu_h} (H + 1000) \quad (2.13)$$

Burada;

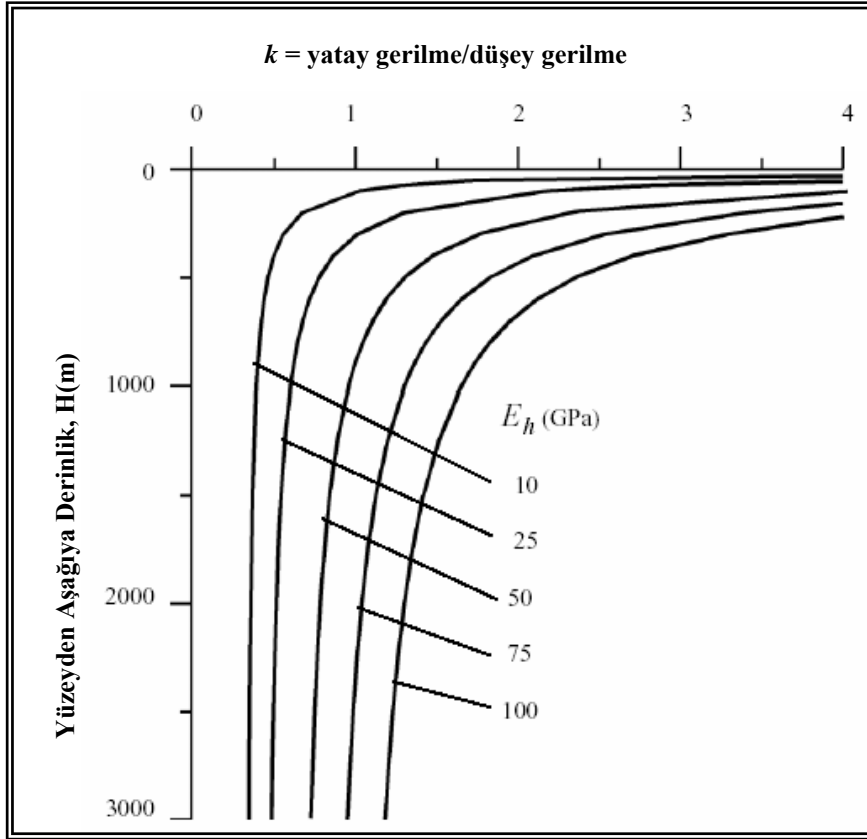
- H : Derinlik (m),
- E : Yerkabuğunun elastik modülü (MPa),
- ν : Poisson oranı,
- γ : Birim hacim ağırlığı,
- β : Lineer termal yayılma katsayısı,
- G : Jeotermal eğim ve

h indisi yatay, hv indisi yatay gerilmenin düşey deformasyon üzerindeki etkisi anlamındadır.

Kömür haricindeki tüm kayaları temsil eden lineer termal yayılma katsayısı değeri $\beta = 8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ olarak önerilmektedir. Yerkabuğu için jeotermal eğim $G = 0.024 \text{ } ^\circ\text{C/m}$, birim kaya basıncı 0.027 MPa/m ve yerkabuğunun Poisson oranı $\nu = 0.2$ olarak alınabilmektedir (Sheorey, 1994). Sheorey, bu ortalama değerlere göre, yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı olan k için basitleştirilmiş Bağıntı 2.14'ü önermiştir:

$$k = 0,25 + 7E_h \left(0,001 + \frac{1}{H} \right) \quad (2.14)$$

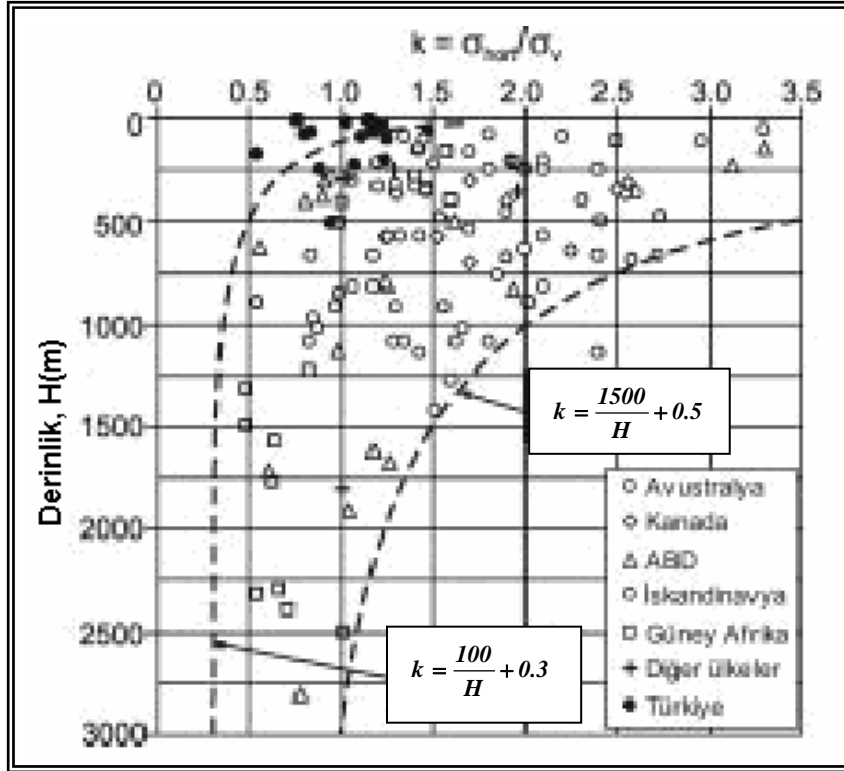
Şekil 2.12’de, Sheorey bağıntısına göre farklı deformasyon modülleri için k oranının derinlikle olan değişimi görülmektedir. Belirli bir derinlik dikkate alındığında, yerkabuğunun yukarı kısmının yatay yöndeki ortalama deformasyon modülü E_h (GPa) azaldıkça k oranı da azalmaktadır. Bir başka ifadeyle, zayıf kayalarda sağlam kayalara nazaran yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı aynı derinlik için daha küçük değerler göstermektedir.



Şekil 2.12. Sheorey bağıntısına göre, farklı deformasyon modülleri için yatay gerilmenin düşey gerilmeye olan oranının derinlikle değişimi (Hoek, 2000)

Şekil 2.13’de, Tuncay ve Ulusay (2002) tarafından Türkiye’de çeşitli bölgelere ait kaya malzemeleri üzerinde akustik emisyon yöntemiyle gerçekleştirdikleri laboratuvar deneyleri sonuçları görülmektedir. Buna göre, Türkiye’den elde edilen

veriler dünyanın çeşitli bölgeleri için derlenen yerinde ölçüm sonuçları dağılımının alt sınırına yakın konumda yer almıştır.



Şekil 2.13. Hoek ve Brown tarafından derlenmiş veriler ve Türkiye'deki AE ölçüm sonuçlarına göre k oranı değerleri (Tuncay ve Ulusay, 2002).

BÖLÜM 3

ÇALIŞMA BÖLGELERİNİN TANITILMASI VE JEOLJİSİ

3.1. Garp Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü (G.L.İ)

Etibank'a bağlı olarak 01.01.1940 yılında Kütahya İli Tavşanlı İlçesi Tunçbilek beldesinde kurulmuş olan Mahdut Mesuliyeti Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi, 15.09.1957 tarihinden itibaren 6974 sayılı kanunla kurulmuş olan Türkiye Kömür İşletmeleri (T.K.İ) Kurumu içinde yer almıştır. 1985 yılından itibaren T.K.İ bünyesindeki tüm müesseseler Bölge Müdürlüğü statüsüne, 2002 yılı başından itibaren de İşletme Müdürlüğü statüsüne geçtiği için Garp Linyitleri İşletme (G.L.İ) Müdürlüğü olarak anılmaktadır.

Müessese Müdürlüğü olarak faaliyet gösteren işletmenin merkezi Tavşanlı'dadır. İşletme, ruhsatı T.K.İ'ye ait, yaklaşık 13500 hektarlık alanı kapsayan Tunçbilek sahasında üretim çalışmalarını sürdürmektedir. Bu alanda, alt ısıl değeri 2560 Kcal/kg olan yaklaşık % 83'ü yeraltı işletmeciliği ile alınabilecek toplam 305 milyon ton linyit rezervi bulunmaktadır.

Üretimin yaklaşık % 85-90'ının yapıldığı açık ocak üretim çalışmalarında dragline, ekskavatör ve ağır kamyon gibi büyük kapasiteli iş makineleri kullanılmaktadır. Yeraltı işletmeciliği uygulanan Tunçbilek'de göçertmeli dönümlü klasik uzunayak sistemi, Ömerler'de ise göçertmeli dönümlü tam mekanize uzun ayak sistemi uygulanmaktadır. Yeraltı işletmeciliği üretiminin % 10-15 olan oranının artırılması yönünde son yıllarda etüt ve proje çalışmaları yoğunlaştırılarak devam etmektedir (9. Kalkınma planı, 2006).

2000-2004 dönemi 1 ton kömür için ortalama 14.16 m³ dekapaj yapılan işletmede, % 65'lere varan müteahhit dekapajı ile birlikte yıllık toplam 60-70 milyon m³ arası dekapaj yapılmaktadır (9. Kalkınma planı, 2006) .

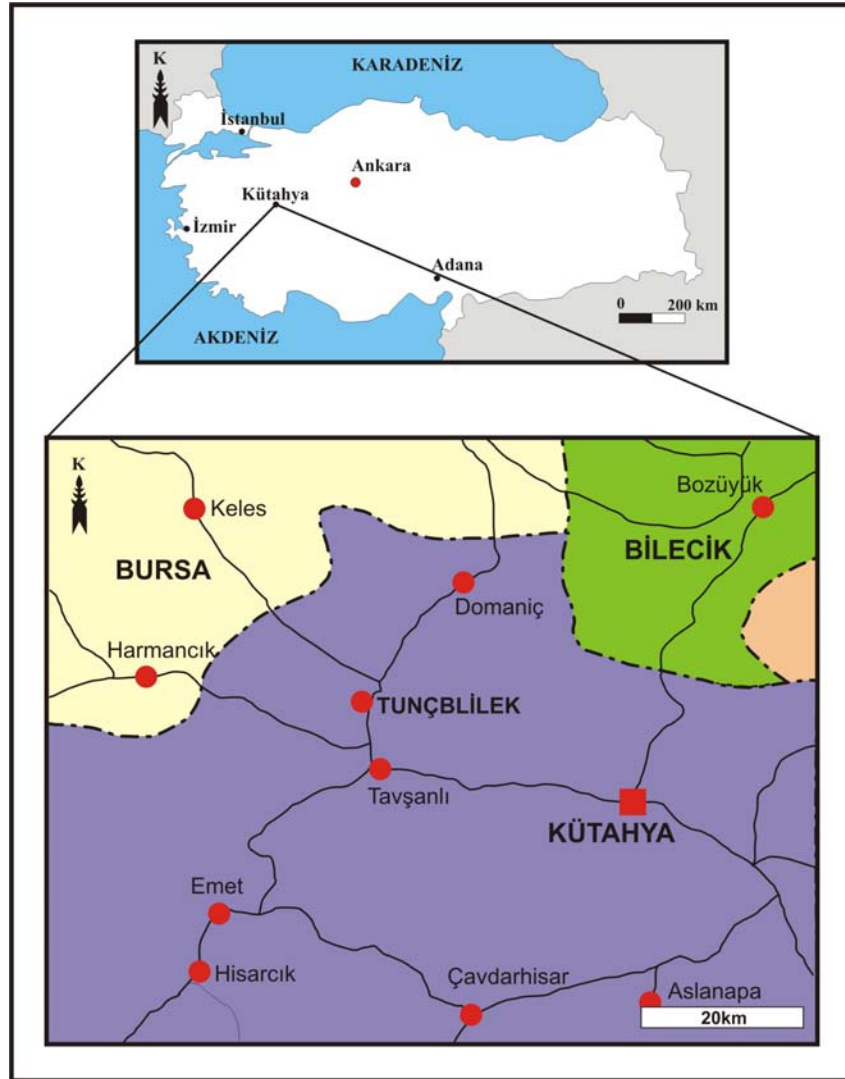
Yaşitli ve Ünver'e (2005) göre, bölgedeki toplam kömür rezervi yaklaşık 330 milyon ton'dur. Bu rezervin 263 milyon tonu yeraltı üretim yöntemleriyle, 67 milyon tonu ise açık işletme yöntemleri ile üretilmeye uygundur.

Ceyhan vd. (2006), Tunçbilek bölgesinde işletilmekte olan kömür tabakasının, genellikle orta sertlikte, siyah ve parlak linyit ihtiva ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kömür tabakasının tavan ve taban kısımlarında genellikle arakesmelerin daha az, orta kısımlarında ise daha fazla olduğunu ve bölgede yapılan sondajlarda tüfit, kıltaşı, kireçtaşı, kumtaşı, konglomera, serpantin ve peridotit, kıltaşı, dolomit, manyezit, kireçtaşı, kalkerli marn ve marn birimlerinin kesildiğini belirtmektedir.

3.1.1. Coğrafi konum, ulaşım ve iklim

Tunçbilek bölgesi Kütahya il sınırları içerisinde olup, Tavşanlı ilçesine 12 km, Kütahya il merkezine ise 64 km uzaklıktadır. Tunçbilek bölgesine hem kara hem de demiryolu ile ulaşım mümkündür. Karayolu ile Kütahya üzerinden tüm illere kolay ulaşımı imkanı mevcuttur. Ayrıca bölge İzmir-Ankara demiryoluna 13 km'lik bir hat ile bağlanmaktadır (Şekil 3.1).

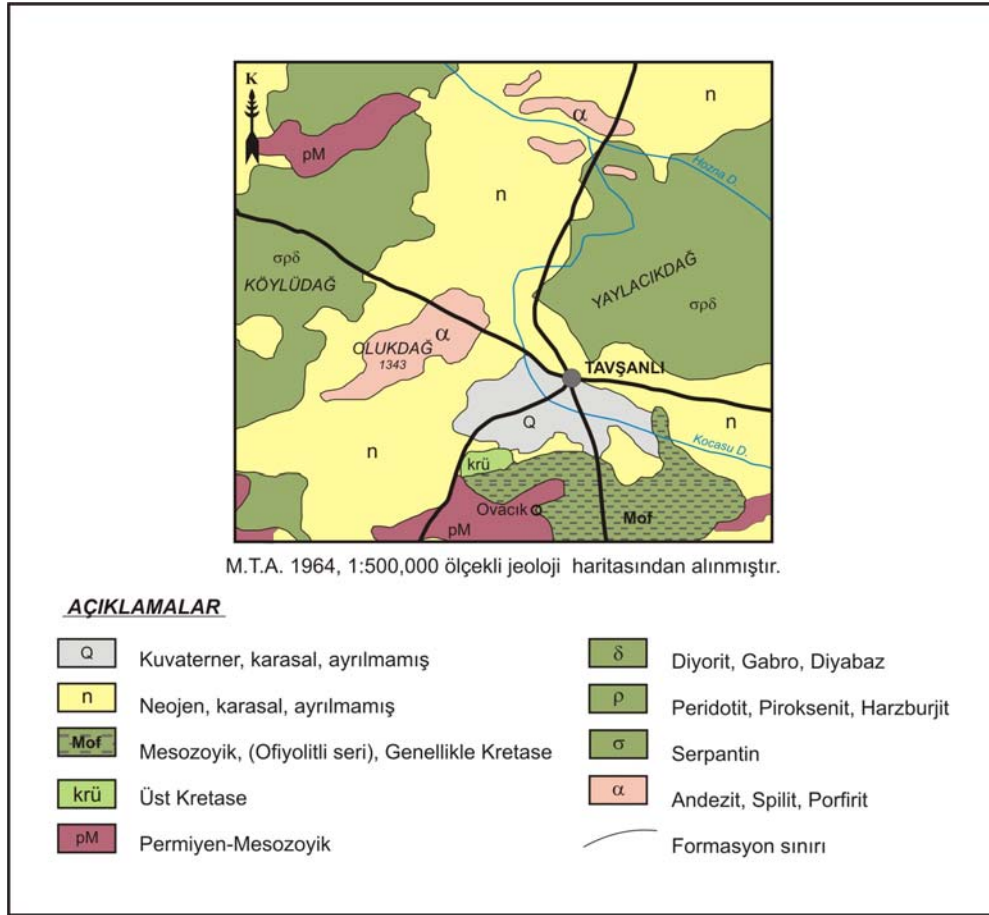
Bölge; kışları soğuk ve karlı, yazları sıcak geçen karasal iklim kuşağındadır. Bölgenin deniz seviyesinden yüksekliği 650-1100 metre arasında değişmekte olup, geniş ormanlık alanlarla kaplıdır.



Şekil 3.1. G.L.İ. Tunçbilek bölgesi çalışma alanı ve yer bulduru haritası

3.1.2. Bölge jeolojisi

G.L.İ. Tunçbilek bölgesi jeoloji haritası Şekil 3.2’de, stratigrafik kesiti ise Şekil 3.3’de verilmiştir. Havzanın temel kayaçlarını Paleozoyik yaşlı metamorfik şistler ile kristalize kireçtaşları ve mermerler oluşturmaktadır. Bu birimler üzerinde ise Kretase yaşlı ultrabazik kayaçlar ve radyolaritler yer almaktadır. Baş’a (1983) göre, Paleosen’de granit sokulumu görülmekte olup, bu granit sokulumu tüm eski kayaçları kesmektedir (Şengüler, 2004).



Şekil 3.2. Tunçbilek bölgesi çalışma alanı jeoloji haritası

a) Paleozoyik zaman

Metamorfik şist, havzanın kuzeyinde dar bir alanda görülmektedir. Şistozite az belirgin olup, yeşilimsi gri ve kahverengi gri renktedir. *Kristalize kireçtaşı* ise havzanın kuzeyinde Fıranlar-Sarıot arasında oldukça geniş alanlarda, batıda ise Burhan civarında dar bir alanda görülmektedir.

b) Mesozoyik zaman

Paleozoyik üzerinde diskordan olarak bulunan Mesozoyik birimleri, ultrabazik kayalardan oluşmaktadır. Havzanın çevresi tamamen ultrabazik kayalarla kaplıdır. Bu kayalar genellikle harzburgit ve dönitlerden meydana gelmiştir. Serpantinleşme oldukça yaygın olup, kırık fay zonlarında manyezit damarları oldukça yaygındır (Taşkın, 1999).

c) Senozoyik zaman

Havzada Senozoyik-Paleosen yaşlı granit sokulumu Miyosen ve Pliyosen yaşlı görsel çökellerle, Kuvaterner yaşlı birimler mevcuttur. Tüm bu birimler, Neojen yaşlı birimlerinin temelini oluşturmaktadır. Temel üzerinde diskordan olarak bulunan Neojen, Miyosen (Tunçbilek serisi) ve Pliyosen (Domaniç serisi) ile temsil edilmektedir.

Miyosen çökelleri temel kayaları üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Miyosen istifini alttan üste doğru; konglomera, kumtaşı, marn, kireçtaşı ve tekrar konglomera, kumtaşı şeklindedir. Tabanda yer alan konglomera ve kumtaşı temel kayalardan türemiş olup yer yer gevşek ve sıkı tutturulmuştur. Üzerinde marn, kıltaşı ve silttaşı aralanması yer almakta ve alttaki konglomera düzeyleri ile yanal ve düşey geçişlidir. Bunun üzerinde 5-20 m'lik kalınlığa sahip linyit horizonu gelmektedir. Daha üstte ise kireçtaşı, kumtaşı ve konglomeralar yer almaktadır. Miyosen çökellerinin en üst birimini ise tüfler oluşturmaktadır (Şengüler, 2004).

Kuvaterner, daha yaşlı birimler üzerine diskordan olarak bulunan bu birim, yamaç molozu (Ym) ve alüvyon (Al) ile temsil edilmektedir. Yamaç molozu havzada sadece Dededüz tepenin kuzeyinde, alüvyon ise akarsu vadilerinde görülmektedir.

- ***Miyosen:***

Kumtaşı-konglomera birimi (M1): Havzanın güneyinde Yörgüç, Demirbilek ve Hamitabat dolaylarında yer alan bu birim kısmen gevşek kısmen de sıkı bir yapıya sahiptir. Kumtaşı-konglomera birimi, birkaç milimetreden 5-6 cm'ye kadar değişen ve yuvarlak-yarı yuvarlak ve küt köşeli serpantin, kuvars ve kireçtaşı çakıllarından oluşmakta olup, orta kalınlıkta ve tabakaları belirgin bir yapı özelliğindedir.

Kumtaşı ve konglomera seviyeleri ardalanmalı olup, içinde yer yer ekonomik değeri olmayan merceksel linyit damarı mevcuttur. Bu birim üzerine konkordan olarak marn birimi (M2) gelmektedir.

Marn birimi (M2): Havzanın güneyinde özellikle işletme sahalarında geniş alanlar kaplayan marn biriminin kalınlığı 400-450 metre civarındadır. Marn biriminin alt seviyelerinde ekonomik linyit oluşumları yer almaktadır. Bu birim genellikle marn, siltli marn, silttaşı, kiltası ve miltaşı ardalanmalarından oluşmakta olup, yer yer kumtaşı-konglomera ara katkıları da içermektedir (Taşkın, 1999).

Kireçtaşı birimi(M3a): Havzada Soğucak, Böçen ve Ömerler dolaylarında oldukça geniş alanlar kaplayan bu birim genellikle kireçtaşı ve silisifiye kireçtaşından oluşmaktadır.

Kumtaşı-konglomera birimi(M3b): Havzanın güneyinde sadece Muhacir köyü civarında yer alan bu birim genellikle gevşek tutturulmuş kumtaşı-konglomera ve kil ara katkılarından oluşmuştur. Miyosen serileri bu birimde tamamlanmış olup üzerine Pliyosen çökelleri gelmektedir.

- ***Pliyosen:***

Pliyosen yaşlı birimler, Miyosen yaşlı birimler üzerinde konkordan olarak bulunurlar. Pliyosen çökelleri uyumlu olarak Miyosen çökellerini örtmektedir. Tabanda yaklaşık 40-50 m kalınlıkta konglomera, çakıltası ve iri taneli kumtaşı ile başlamaktadır. Üzerine yine 40-50 m kalınlıkta gri-yeşil renkli silttaşı, marn, kiltası


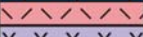
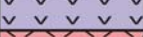
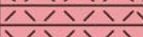
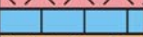






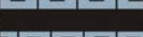
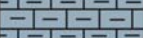



ardalanması gelmektedir. Bu birim üzerinde yaklaşık 65 m kalınlıkta kireçtaşı arabantlı kıltaşı, marn ardalanması yer almaktadır. Havzanın önemli bir bölümünde yayılım gösteren bol fosilli kireçtaşı düzeyleri kılavuz seviye özelliğindedir. Bu kireçtaşı düzeyleri altında 0.80 m'lik bir zon içerisinde 0.15-0.35 m arasında değişen kalınlıkta linyit damarı yer almaktadır (Şengüler, 2004).

Tüfit birimi(PL3): Havzada oldukça geniş alanlar kaplayan bu birim, genellikle açık beyazımsı gri renkli olup, biyotit oluşumları oldukça yaygın ve yer yer iri boyutludur. Feldspatlar genellikle altere olmuştur. Yer yer çakıllı tüfit, seyrek olarak aglomera karakterindedir. Stratigrafik konumu ve eski çalışmalara göre yaşı Pliyosen olarak kabul edilmektedir. Bu birimin kalınlığı 450 metre dolayındadır. Kireçtaşı (PL2) ve bazalt birimleri (V), bu birim içerisinde ara katkı olarak bulunmaktadır. Tüfit birimi üzerinde ise konkordan olarak kireçtaşı (PL4) birimi yer almaktadır (Taşkın, 1999).

Kireçtaşı birimi (PL2): Tüfit (PL3) birimi içerisinde ara katkı şeklinde bulunan bu birim, sahanın doğusuna doğru kamalanmaktadır. Havzanın kuzeybatısında ise kireçtaşı (PL2) biriminin kalınlığı artmakta ve tüfit (PL3) biriminin üst seviyeleriyle yanal geçişli olarak görülmektedir. Her iki kireçtaşı birimi stratigrafik konumları sayesinde ayrılabilir.

Bazalt birimi (V): Havzada yoğun olarak Karaköy ve Güney köyleri dolaylarında görünen bu birim, tüfit (PL3) birimi içerisindeki bazalt akıntılarında oluşmaktadır. Volkanizma merkezi Karaköy civarları olup, Tüfit (PL3) birimi içerisinde ara katkı olarak bulunan bazalt akıntıları, kireçtaşı (PL2) birimi altında ve üstünde olmak üzere iki ayrı seviyede görülmektedir.

Kireçtaşı birimi (PL4): Havzanın kuzeyinde geniş alanlar kaplayan kireçtaşı birimi, tüfit birimi üzerinde konkordan olarak bulunmakta ve havzanın bazı kesimlerinde tüfit birimi ile yanal ve dikey geçişli olarak yer almaktadır. Sahanın doğusunda yer yer bazaltlar üzerine doğrudan gelen bu birim, sahanın kuzeybatısında kireçtaşı (PL2) birimi ile dikey geçişlidir (Taşkın, 1999).

| | | Kalınlık (m) | L İ T O L O J İ | | | | |
|-----------------------|-------------|-------------------------------------|---|---|---|---|--|
| T E R S İ Y E R | N E O J E N | ÜST SERİLER (Domanıç Serileri) | P L İ Y O S E N | 250 |  | ÇÖRTLÜ KİREÇTAŞI | |
| | | | | 25 |  | ÜST TÜF SEVİYESİ | |
| | | | | 80 |  | BAZALTİK LAVLAR | |
| | | | | 100-120 |  | ORTA TÜF SEVİYESİ | |
| | | | | 20-30 |  | KİREÇTAŞI | |
| | | | | 300 |  | ALT TÜF SEVİYESİ | |
| | | | | 80 |  | MARN | |
| | | | | |  | AGLOMERA | |
| | | ALT SERİLER (Tunçbitek Serileri) | M İ Y O S E N | ÜST MİYOSEN | 300-400 |  | ÇÖRTLÜ KİREÇTAŞI |
| | | | | | 80 |  | KİREÇTAŞI |
| | | | | | 200-300 |  | ÜST MARN SEVİYESİ |
| | | | | | 4-11 |  | ANA LİNYİT DAMARI |
| | | | | ALT MİYOSEN | 60-100 |  | ALT MARN SEVİYESİ |
| | | | | | 60-100 |  | KİLTAŞI |
| | | | | | 100 |  | KIRINTILI TABAN SEVİYESİ, KONGLOMERA VE KUMTAŞI, ÇAKIL, KUM VE SİLT. |
| ÜSTKRETASE (Temel) | | |  | OFİYOLİTİK SERİLER (Serpantinleşmiş ultrabazikler, radyolarit ve kireçtaşı) | | | |

Şekil 3.3. Tunçbitek bölgesi stratigrafik kesiti (Başarır ve Karpuz, 2004).

3.2. Ege Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü (E.L.İ)

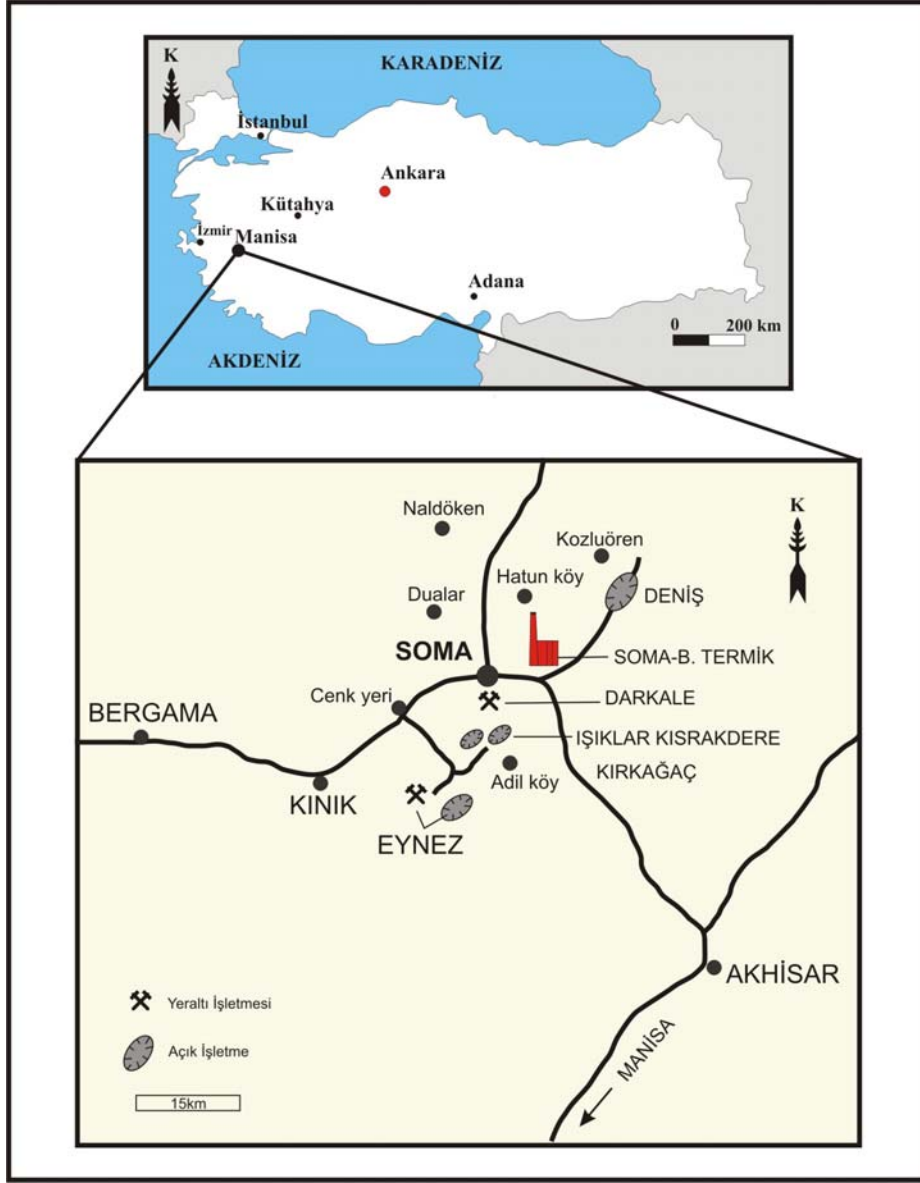
Ege linyitleri işletmesi bölge müdürlüğü hukuki olarak 28 Temmuz 1978 tarihinde E.L.İ Müessesesi Müdürlüğü olarak kurulmuştur. Ancak Soma havzasında müesseseye ait maden kömürü sahalarının işletilmeye başlaması 1913 yıllarına kadar uzanmaktadır.

İşletme, ruhsatı T.K.İ'ye ait, yaklaşık 20.6 bin hektarlık alanı kapsayan Soma, Deniz ve Eynez sahalarında üretim çalışmalarını sürdürmektedir. Bu alanlarda, alt ısı değeri 1500-3340 Kcal/kg olan ve yaklaşık % 63'ü yeraltı işletmeciliği ile alınabilecek toplam 572 milyon ton linyit rezervi bulunmaktadır. İşletmenin yıllık proje üretim kapasitesi 14 milyon ton düzeyindedir. 1.034 MW (2x22, 6x165) gücündeki Soma Termik Santrali ünitelerine yakıt temin etmekte ve halen satışlarının % 35'i olmak üzere piyasa (sanayi ve ısınma sektörü) talebini karşılamaktadır.

2005 yılı verilerine göre üretimin yaklaşık % 70-75'nin yapıldığı açık ocak üretim çalışmalarında ekskavatör ve ağır kamyon gibi büyük kapasiteli iş makineleri kullanılmaktadır. Ayrıca, üretimin yaklaşık % 2-5'i yeraltı işletmeciliği yöntemiyle yapılmakta, bu oranın artırılması yönünde son yıllarda etüt ve proje çalışmaları yoğunlaştırılarak devam etmektedir. 2000-2004 dönemi, 1 ton kömür için ortalama 8.12 m³ dekapaj yapılan işletmede, %65'lere varan müteahhit dekapajı ile birlikte yıllık toplam 50-90 milyon m³ arası dekapaj yapılmaktadır. Ayrıca, Soma'da kömür ayıklama ve lavvar tesisleri bulunmaktadır (9. Kalkınma planı, 2006).

3.2.1. Coğrafi konum, ulaşım ve iklim

Müessese Müdürlüğü olarak faaliyet gösteren işletmenin merkezi Soma'da olup, Manisa'ya 90 km mesafededir. Soma çevre illere kolay ulaşım imkânı sağlayan karayolu ve demiryolu ağı ile bağlanmıştır (Şekil 3.4).

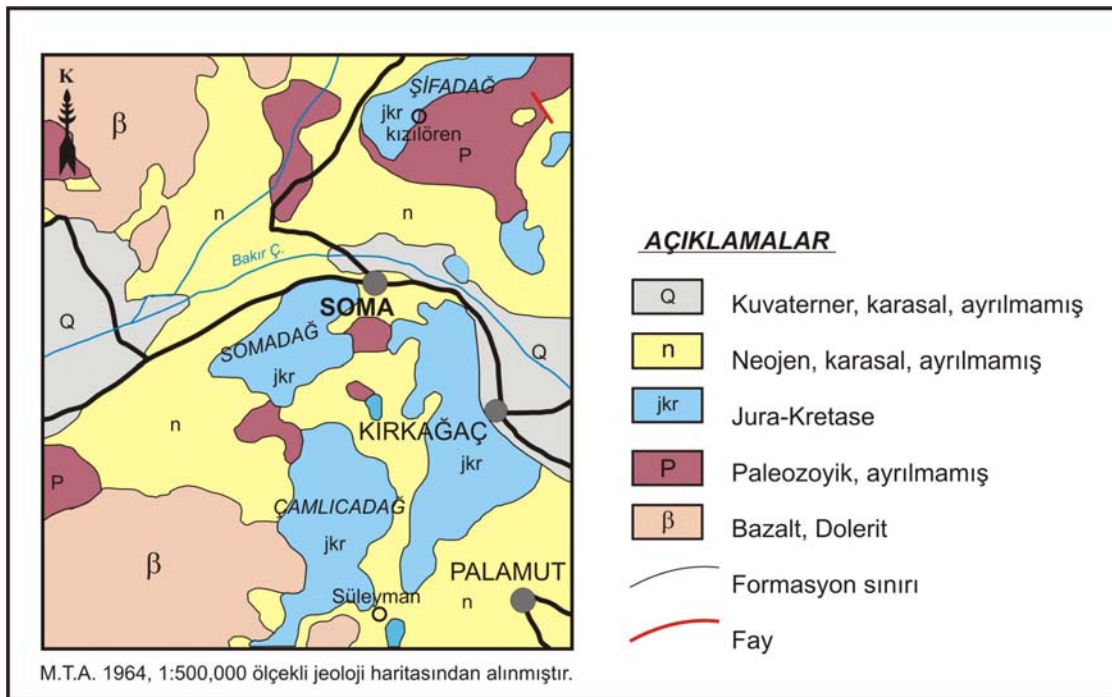


Şekil 3.4. E.L.İ. Soma bölgesi çalışma alanı ve yer bulduru haritası

Soma havzasında karakteristik iç Ege iklimi görülür. Yazları sıcak ve kurak, baharları bol yağışlıdır. Kış aylarında ise soğuk ve yağışlıdır. Sıcaklıklar yaz aylarında +25, +30°C, kış aylarında ise +10, - 6°C arasında değişir. Kış aylarında yağışlar zaman zaman kar şeklindedir. Bölge geniş ormanlık alanlarla kaplıdır.

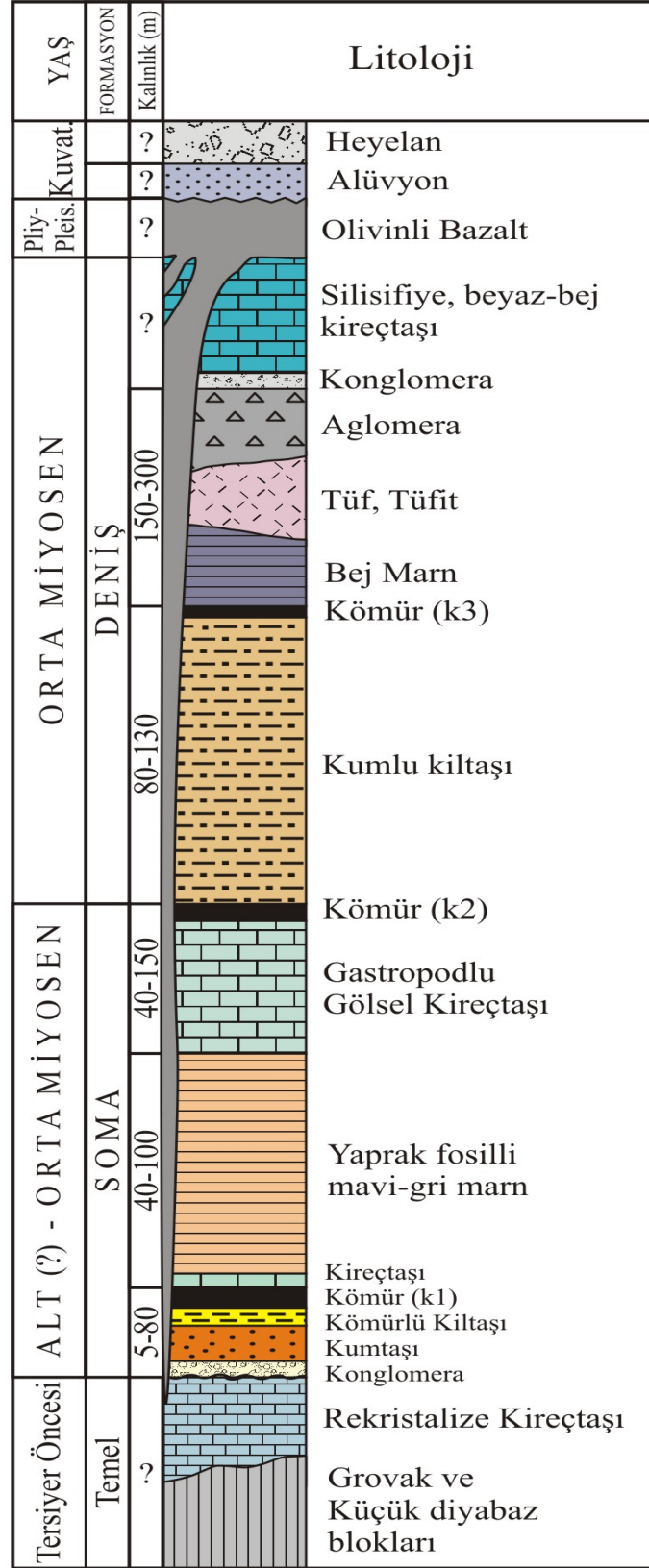
3.2.2. Bölge jeolojisi

Jeoloji haritası Şekil 3.5’de verilen Soma kömür havzası, ülkemizdeki önemli kömür yataklarından birisi olup, jeolojik açıdan da önemli bir yapıya sahiptir. Özellikle Brinkmann vd. (1970) ile Nebert’in (1978) çalışmaları, havzanın stratigrafisini (Şekil 3.6) iyi bir şekilde ortaya koyan önemli çalışmalardır.



Şekil 3.5. Soma bölgesi çalışma alanının jeoloji haritası (M.T.A., 1964).

Soma havzası; Senozoyik öncesi temel kayalar, Paleozoyik yaşlı kumtaşı ve şeyl araldanması ile Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Paleozoyik ve Mesozoyik birimleri ile Mesozoyik ve Senozoyik birimleri arasında bir uyumsuzluk görülmektedir.



Şekil 3.6. Soma bölgesi stratigrafik kesiti (Karayiğit and Whateley, 1997).

Gemici'ye (1991) göre; Senozoyik sistemi aralarında küçük açılı bir uyumsuzluğun bulunduğu Soma ve Deniş formasyonlarından oluşmaktadır. Soma formasyonunda alttan üste doğru sırasıyla; çakıltaşları, üst düzeylere doğru gidildikçe önce kumlu, daha sonra killi düzeyler içeren bazalt üye (M1), havzanın genelde işletmeye en uygun kömür damarı olan alt linyit damarı (K1), marn üyesi (M2), kireçtaşı üyesi (M3) ve yer yer işletmeye elverişli kalınlık sunan orta linyit damarı (K2) yer almaktadır.

Deniş formasyonun da ise; yaşlıdan gence, kum-kil üyesi (P1), ekonomik bakımdan önemsiz olan üst linyit damarı (K3), tuf-marn (P2), çakıllı kireçtaşı (P3) ve tuf aglomera (P4) yer alır. En üstte, alüvyon (Qal) ve yamaç molozları (Qtr) ile temsil edilen Kuvaterner oluşukları bulunmaktadır.

a) Paleozoyik zaman

Gri, mavi, kahverengimsi grovaklar, bölgenin en yaşlı kayaçlarıdır. Ayrıca, kumtaşları, arkozlar, şistler ve konglomeralardan oluşmaktadır ve bunların aralarına lokal olarak koyu renkli, cm kalınlığındaki kireçtaşı bankları mercek biçiminde yataklanmışlardır.

b) Mesozoyik zaman

Brinkmann vd. (1970)'e göre, Mesozoyik kireçtaşları üst jura-alt kretase yaşlı kayaçlar olup, grovaklar üzerine uyumsuz olarak otururlar. Ayrıca, kısmen mermere yakın özellikte olup, dolomitler ve kızıl ya da yeşilimsi renkte radyolaritler de görülebilmektedir (Nebert, 1978).

c) Senozoyik (Neojen) zaman

Soma bölgesindeki Neojen yaşlı tabaka serisi, Miyosen ve Pliyosen serileri ile temsil edilen, Soma ve Deniş formasyonu olmak üzere iki formasyona ayrılmaktadır.

Miyosen:

Çakıltası-kumtaşı-kil birimi: Bu birim, temel kayaların hemen üzerine uyumsuz olarak gelen, blok moloz ya da iri çakıl kütlelerinden oluşmaktadır. Çakıllar yer yer konglomera halinde çimentolanmışlardır. Üste doğru tane büyüklükleri küçülmekte ve daha sonra gri-yeşil renkli çakıllı ince klastik sedimanlara (kil-kumtaşı) geçmektedir. Bu birimin orta ve üst bölümünün litolojik bileşimi, çoğunlukla klastik kayalardan oluşmaktadır. Sert, mavi-gri renkte kumtaşları ya da kumlar ile gri renkte kumlu marnlar ve gri killer nöbetleşe yataklanmaktadır. Ayrıca üst bölümde, kömür içerikli killer ile kömür bantları ortaya çıkmaktadır. Kömür bantları, sayı ve kalınlık bakımından dikey yönde artış göstermektedirler, böylece alt linyit serisine bir geçiş meydana gelmektedir. (Nebert, 1978).

Alt linyit birimi (KM2): Çakıltası-kumtaşı-kil biriminin üst seviyeleri ile marn biriminin alt seviyesi arasında bulunan alt linyit serisi, havzadaki ana linyit damarını oluşturmaktadır. Kömürün üst ve orta kısımları genel olarak sert, parlak ve zift siyahlığındadır. Üst kenarının yaklaşık 1.5-2.5 m. altında, 25-50 cm kalınlığında beyaz renkli, volkanojen, açık bir tuf seviyesi mevcuttur. Alt bölümü, fazla kirli kömür ve kömür içerikli ara maddelerin (kil, marn, kireçtaşı) nöbetleşe yataklanmasından ibarettir. Bunlar kahverengi, kahverengi-siyah görünümde olup, bu seviyeler arasında santimetre ile birkaç metreye kadar tüflü kil seviyeleri yer almaktadır. Yer yer piritli seviyeler ile fosil kavkuları ihtiva etmektedir. Kömür damarının kalınlığı 1-40 m. civarında değişmekte olup ortalama 15 m'dir. Nebert'e (1978) göre, kömür kalınlığı yaklaşık 20 m civarındadır. Bu birim, alt kısımlarından kahverengi, kahvemsî-siyah görünümünde çok killi ve killi linyitle başlamakta, üst kısımlara doğru ise kömür kalorisi de artmaktadır.

Marn birimi (M2): Marn birimi kömürün tavan taşını oluşturmaktadır. Brinkmann vd (1970); marn serisini, üzerinde yer alan kireçtaşı serisi ile birleştirmekte ve marn-kalker serisi olarak tanımlamaktadır. Marn birimi, geniş uzantılar halinde litolojik bakımdan muntazam ve homojen oluşumludur. Sert, kalın ve sağlam, ilk çıkarıldığında mavi-gri, ancak ayrıştığında açık bir renk gösteren marnlar bazı yerlerde

yıgın halinde meyve ve yaprak izleri içermektedir. Çatlaklı yapılı olup çatlakları yer yer kalsit dolguludur. Kalınlıkları 80-130 m. civarındadır (Nebert, 1978).

Kireçtaşı birimi (M3): Nebert'e (1978) göre kireçtaşı birimi marn birimi üzerine konkordan olarak gelmektedir. Genelde orta ve kalın tabakalı, taze yüzeyleri bej-kahve renklidir. Bol miktarda tatlı su gastropodlardan oluşan hayvan fosilleri içermektedir. Kireçtaşı çökelişi sırasında ani sellenmeler sonucu çevredeki temel kayalardan kaba malzeme gelişi olmuş ve kireçtaşları arasında yersel çakıllı-killi ve şistli seviyeler çökelmiştir. Bu nedenle yer yer kalınlığı 10 m'ye varan killi kireçtaşı ve yer yer yeşilimsi renkli çakıllı kil ara tabakalanmasından oluşmuştur. Kireçtaşı birimi oldukça çakıllı, kırıklı ve açık renkli bir yapıya sahiptir. Erime boşlukları oldukça bol olarak görülmektedir. Kireçtaşı serisinin kalınlığı 50-60 m. arasında değişmekte olup üstünde orta linyit serisi (KM3) yer almaktadır.

Orta linyit birimi (KM3): Nebert (1978), Soma formasyonu ile üzerinde bulunan Deniz Formasyonu arasında paralel tabakalı erozyon uyumsuzluğu bulunduğunu belirtmektedir. Buna, su üstüne çıkma (deniz dibinin yükselerek kara konumuna gelmesi) evresinin uyum gösterdiğini ancak bu durumun belirgin biçimde oluşmuş olmayabileceğini rapor etmiştir. Su üstüne çıkma evresi esnasında kireçtaşı serisinin üst bölümü ve beraberinde orta linyit serisinin bir kısmı aşınmaya uğramıştır. Orta linyit birimi kısmen ekonomik olarak işletilebilir bir durum göstermekte ise de henüz işletilememektedir. Bu birim bol fosil kavkılı olup, çatlaklı ve bol ara kesmelidir.

Pliyosen:

Kumtaşı-silttaşı-kil birimi (P1): Miyosen birimleri üzerine diskordans olarak gelmektedir. Alttan üstte doğru kumtaşı-silttaşı ile başlayıp alacalı killere geçiş gösterirler. Tabandaki kumtaşları genelde grovak ve kristalize kireçtaşı kökenli olup nohut boyutunda taneler içermektedir. Gevşek çimentolu olup yüzeyde dağılma özelliği gösterirler. Renkleri gri ve grimsi yeşildir. Alacalı killer yer yer az şistli yer yer plastik özellikte olup kiremit kırmızısındadır. Serizitli kumtaşı ve killer bu birimi karakterize

etmekte olup, gri-yeşil renklidirler. Bu birimde tabakalı yapı gözlenememekte olup, birimin kalınlığı 35-130 m. arasında değişmektedir.

Üst linyit birimi (KP2): Bu birim, kirli kömür bankları içermektedir. Yumuşak ve dayanıksız bir yapıda olup, süreklilik göstermemektedir. Bu nedenle ekonomik sayılmamaktadır. Bu birim sadece Deniz yöresindeki açık ocaklarda işletilmektedir. Kömür banklarının kalınlığı değişiklik göstermekte olup, genellikle az kalınlıkta ve killi bir yapıya sahiptir.

Tüf-Marn birimi (P2): Bu birim iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar; kil-tüf-marn birimi ve tüf-kil- kumtaşı ve çakıltası birimi. Bu birim tabanda marnlarla başlayıp kil-tüf-marn ardalanması şeklinde devam etmektedir. Birimin alt kenarı, genellikle sert bir tüfit breşi bankının alt tarafıyla sınırlıdır. Kuvars ve biyotit mineral kırıntıları görünümde olup, kırıntılar kalsitle çimentolanmışlardır. Ayrıca birimin alt kesimindeki marnlar ince tabakalı ve orta sertlikte olup gri yeşilimsi renktedir. Bozuşma renkleri ise bej-sarıdır. Tüf ve killer ince bantlar halinde marn tabakası arasında gözlenmektedir. Marnlar; genellikle yığın halinde, çoğu kez yuvarlağımsı, cm büyüklüğünde ve tabaka çatlakları boyunca yer alan çakıltaları içermektedirler. Soma formasyonunda bu tür çakıltası oluşukları bulunmamaktadır. Bu nedenle yamaçlarda ayrışarak açığa çıkmış, kısmen dağılarak etrafa saçılmış çakıl oluşukları, kılavuz fosiller niteliğindedirler. Tüf-marn biriminin orta kesiminde, açık renkte marnlar ile tüfler ve tüfitler nöbetleşe yataklanmaktadır. Üst kesimde tüfler ve tüfitler, tümüyle egemen olmak üzere yaygınlaşmaktadırlar. Renkleri, açık gri-açık beyazdır.

Ayrıca, tüfler ile marnlar arasında yanal olarak birbirine geçişler gözlenebilmektedir. Bunun dışında üst bölümde, tüflerin ya da tüfitlerin ortasında, bir çakıl topluluğu kendini göstermektedir. Çakıllar ortalama olarak ceviz büyüklüğündedir (Nebert, 1978).

Silisli kalker birimi (P3): Bu birim; açık renkte, dayanımlı ve sert, içinde yığın halinde ince çakıl (silis) oluşumları bulunan kireçtaşlarından oluşmaktadır. İnce çakıl oluşukları, kireçtaşı bankları içinde kalın tabaka şeklinde bulunmaktadır. Kuzey Soma

Neojen bölgesinde ince çakıllı silisli kalker serisi büyük bir yayılıma sahiptir. Bu bölgede, süt beyazı-açık gri opal tarzındaki ince çakıl oluşumları bakımından zengin, açık beyaz renkte ve sert bir kireçtaşı birimi bulunmaktadır. Deniz bölümünde ise silisli kalker birimi yüksek dağ sırtlarını ve tepeleri kapsamaktadır. Kuzey Neojen bölgesinde bu serinin ortalama kalınlığı yaklaşık 250-300 metredir (Nebert, 1978).

Pleyistosen Volkanikleri:

Soma havzasında genel olarak miyosen sonrasında başlayıp pleyistosen sonuna kadar devam eden andezitik ve bazaltik bir volkanik kayalar genel olarak miyosen serileri içerisinde dayk şeklinde yükselip azda olsa neojen kayaları üzerinde akma şeklinde bir yayılım gösterirler. Bu birim genellikle Arpaseki, Kalem köyü dolayların da andezitik aglomera karakterindedir. Aglomeralar sıkı çimentolu olup, kahverengi, kırmızı ve koyu gri renklere sahiptir. Yüzeyde ayrılmış bol andezit çakılları örtü şeklinde görülmektedir.

BÖLÜM 4

ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları öncesi, inceleme alanlarıyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ve bölgeye ait jeolojik haritalar incelenmiştir. Tezin amacına uygun olarak saha çalışması ve incelemeleri için gerekli araç, gereç (jeolog çekici, jeolog pusulası, fotoğraf makinesi, hidroklorik asit (%10 HCL), saha defteri ve şeritmetre) temin edilmiştir.

Arazi çalışmaları, ana kayayı temsil edecek şekilde uygun örneklerin alınabileceği yerlerin daha önceden tespit edildiği ve Bölüm 3’de ayrıntısı verilen G.L.İ. Tunçbilek ve E.L.İ. Soma bölgelerine ait toplam yedi panoda gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yerlerde blok örnek alımının yanı sıra, marn kaya kütlelerinin süreksizlik özellikleri de incelenmiştir.

Ayrıca, yeraltı çalışmaları kapsamında, ocak iklim koşulları belirlenmiş ve marn kaya birimlerinin ayrışma durumları değerlendirilmiştir.

4.1. G.L.İ. Tunçbilek Bölgesi Arazi Çalışmaları

4.1.1. Saha gözlemleri

G.L.İ. linyit havzası açık ocaklarında yapılan gözlemler ve daha önce yapılan çalışmalardan, marnın en yaygın kayaç birimi olduğu belirlenmiştir. Havzadaki bu durum Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.1. G.L.İ. linyit havzası açık ocakları (BY-H pano).



Şekil 4.2. G.L.İ. linyit havzası açık ocakları (48 pano).

G.L.İ. Linyit Havzası açık ocaklarındaki saha incelemeleri ve bölgeye ait daha önce yapılmış çalışmalarda da (Çekilmez, 1988; Eskikaya vd., 1991; Esmek, 1993) belirtildiği gibi, marn kaya kütlelerinde gri ve kahverengi tabakalı (Şekil 4.3) yapılar ile gri-kahve renkli ardalı yapıların olduğu belirlenmiştir. Blok örnek alınırken bu durum dikkate alınmıştır. Marn formasyonunun tabakaları arasında organik parçalara da rastlanmıştır.



Şekil 4.3. G.L.İ. linyit havzası marn kaya kütlelerindeki tabakalanmalara örnekler.

4.1.2. Süreksizlik özelliklerinin belirlenmesi

G.L.İ. linyit havzası arazi çalışmaları süreksizlik ölçüm ve gözlemleri, ISRM (Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği) (ISRM, 1978b) tarafından önerilen tanım ve yöntemlere uygun şekilde yürütülmüştür. Arazi gözlemleri sonucu marn kaya kütlesi “çok bloklu” olarak tanımlanmış ve aşağıda sıralanan süreksizlik özellikleri belirlenmiştir.

Görünür ortalama süreksizlik aralığı: Süreksizlik aralığı ölçümleri, inceleme alanlarına ait açık ocaklarda, tabakalanma düzlemleri ve eklem takımları için ayrı ayrı yapılmıştır. Buna göre, tabakalanma düzlemleri 0.20-1.20 metre aralığında değişmekte olup ortalama 0.45 metredir. Eklem takımı aralıkları ise 0.35-1.10 metre aralığında olup ortalama 0.51 metredir. Buna göre, havzadaki marn formasyonuna ait görünür süreksizlik aralığı ortalama 0.48 metre olarak bulunmuştur.

Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü: Yeraltı ve açık ocaklarda süreksizlik yüzeyleri üzerinde yapılan gözlemler ve ölçümler sonucu, süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü “dalgalı-düz” olarak tanımlanmıştır.

Süreksizlik yüzeylerinin açıklığı ve dolgusu: Yeraltı ve açık ocaklarda marn kaya kütlesinde süreksizlik yüzeylerinin açıklığının <1 mm ve yumuşak dolgulu olduğu tespit edilmiştir.

Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi: Yeraltı ocağında marn kaya kütlesi süreksizlik yüzeylerinde ve taze yüzeylerde gözlenen renk farklılıklarına göre çok az yerde bozunmaya uğramış yüzey tespit edilebilmiştir. Bundan dolayı, marn “az bozunmuş” olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca, arazi çalışmaları kapsamında yeraltı ocağında galeri yan yüzeylerine dik yönde olacak şekilde L tipi Schmidt çekici ile bozunmaya uğramış ve taze marn yüzeylerinde geri sıçrama sertlik değeri okumaları yapılmıştır. Buna göre, Schmidt

çekici ortalama geri sıçrama sertlik değerleri taze marn yüzeylerinde 38.8 ve bozunmuş yüzeylerde 30.4 olarak bulunmuştur.

4.1.3. Örnek alımı

Mevcut ocak iklim koşullarında marnın nem içeriğinin saptanabilmesi amacıyla Ömerler yeraltı linyit ocağı ana galeriden ve mekanize ayaktan olmak üzere marn örnekleri alınmış, örnekler dış ortamdan etkilenmeyecekleri kapalı kaplarda muhafaza edilerek laboratuvara getirilmiştir.

Arazi çalışmalarının yürütüldüğü sırada yeraltı ocaklarında marn kaya kütlesi içerisinde herhangi bir kazı çalışması yapılmaması nedeniyle, dayanım deneyleri için blok örnek alımları açık ocaklardan gerçekleştirilmiştir. Sağlam ve herhangi bir zayıflık düzlemi içermemesine dikkat edilerek alınan blok örnekler, naylon torbalar içerisinde sarılarak doğal şartlarını kaybetmeden nakledilmiştir.

4.1.4. G.L.İ. Ömerler yeraltı ocağı iklim şartlarının belirlenmesi

Yeraltı ocak iklim koşulları termo-higrometre ile belirlenmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Yeraltı iklim koşullarının belirlenmesinde kullanılan termo-higrometre.

Ölçüm cihazı ile %0.1 hassasiyet ve ± 3 doğrulukta bağıl nemlilik ve 0.1°C hassasiyet ve $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ doğrulukta sıcaklık okumaları yapılabilmektedir. Ocak havası bağıl nemlilik ve sıcaklık ölçümleri sonucu, ocak havasının anayollarda ortalama %78 RH nemlilikte ve ocak sıcaklığının ortalama 17.5°C olduğu belirlenmiştir. Mekanize ayakta yapılan ölçümlerde ise nemlilik ve sıcaklığın çok az artarak, ayak havasında nemliliğin ortalama %82 RH ve ortalama sıcaklığın 17.7°C olduğu belirlenmiştir. Buna göre, ocak iklimi ortalama $\%80\pm 2$ RH ve $17.6^{\circ}\text{C}\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerlerini taşımaktadır.

4.2. E.L.İ. Soma Bölgesi Arazi Çalışmaları

E.L.İ. Soma bölgesi arazi çalışmaları hem açık ocak hem de yeraltı ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Eynez-Karanlıkdere ve Geventepe yeraltı ocakları ile Eynez, Işıklar, Güney Kısırdere ve Deniz açık ocakları tez çalışması kapsamında detaylı bir şekilde incelenmiştir.

4.2.1. Saha gözlemleri

Çalışma bölgelerine ait sahalarda gerçekleştirilen gözlemler, değerlendirmeler ve daha önceki çalışmalardan (Brinkmann et. al., 1970; Nebert, 1978; Akgün vd., 1986; Çopur, 1992; Karayiğit et.al., 1997), marn kaya kütlelerinin ana kömür damarı üzerinde yer aldığı belirlenmiştir. E.L.İ. linyit havzası açık ocaklarına ait çeşitli görüntüler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Bölgedeki marn formasyonu ana kömür damarının tavan taşıma oluşturmaktadır. Marn; açık kahverengi, bej ve gri renklerde olup, nemini kaybettiğinde ve ayrıştığında rengi daha açık bir durum almaktadır.



a)

b)



c)

Şekil 4.5. E.L.İ. linyit havzası açık ocakları (Işıklar-Güney Kısrakdere).



a)



b)

Şekil 4.6. E.L.İ. linyit havzası açık ocakları (Deniş – Eynez).

Bölgedeki marn formasyonu çatlaklı bir yapıya sahip olup, çatlak aralıkları kalsit dolgu ile kaplıdır (Şekil 4.7). Bu kalsit dolgular yer yer kristalli yapıya da sahiptir (Şekil 4.8a). Havzanın hemen hemen tamamında marn seviyeleri arasında yaprak fosillerine (Şekil 4.8b) rastlamak mümkündür.



a)

b)



c)

Şekil 4.7. E.L.İ. linyit havzası marnlarında çatlaklar arasındaki kalsit dolgulara örnekler.



a)



b)

Şekil 4.8. E.L.İ. linyit havzası marnlarında rastlanılan a) kristalli kalsit dolgular ve b) yaprak fosilleri.

4.2.2. Süreksizlik özelliklerinin belirlenmesi

E.L.İ. linyit havzası arazi çalışmaları süreksizlik ölçüm ve gözlemleri standartlara (ISRM, 1978b) uygun şekilde yürütülmüştür. Arazi gözlemleri sonucu marn kaya kütlesi “bloklı” olarak tanımlanmış ve aşağıda sıralanan süreksizlik özellikleri belirlenmiştir.

Görünür ortalama süreksizlik aralığı: Süreksizlik aralığı ölçümleri inceleme alanlarına ait açık ocaklarda gerçekleştirilmiştir. Süreksizlikler genellikle tabakalanma şeklinde olup bu tabakaları kesen eklem takımları da mevcuttur. Bu gözlem ve ölçümler sonucunda tabakalanma düzlemleri 0.35-1.30 metre aralığında değişmekte olup ortalama 0.70 metredir. Tabakalanma düzlemlerini dik yönde kesen eklem takımı aralıkları ise 0.95-1.10 metre olup ortalama 1.03 metredir. Buna göre, havzadaki marn formasyonuna ait görünür süreksizlik aralığı ortalama 0.87 metre olarak bulunmuştur.

Süreksizliklerin devamlılığı: Süreksizliklerin devamlılıkları incelenen yüzeyler boyunca yaklaşık olarak devam etmekte olup, bazı aynalarda düşeyde 7 ile 8 metre arasında devamlılık vermektedir.

Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü: Yeraltı ve açık ocaklarda süreksizlik yüzeyleri üzerinde yapılan gözlemler ve ölçümler sonucu, süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü “düz-az dalgalı” olarak tanımlanmıştır.

Süreksizlik yüzeylerinin açıklığı ve dolgusu: Yeraltı ve açık ocaklarda marn kaya kütlelerinde süreksizlik yüzeylerinin açıklığı ortalama <5mm olup, sarı ve açık kahve renklerde yumuşak kil dolguludur (bazı yerlerde kil ve demirce zengin dolgu malzemesi de görülmüştür). Ayrıca, sık aralıklı ve yer yer de kristalli kalsit dolgulara da rastlanmıştır.

Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi: E.L.İ. Karanlıkdere ve Geventepe yeraltı linyit ocağında marn kaya kütleleri süreksizlik yüzeylerinde ve taze yüzeylerde yapılan gözlemlerde, az-orta arası renk değişimi gözlenmiştir. Bu gözlemler sonucu, marn “az-bozunmuş” olarak tanımlanmıştır.

Ayrıca, arazi çalışmaları kapsamında E.L.İ. Karanlıkdere ve Geventepe yeraltı ocaklarında galeri yan yüzeylerine dik yönde olacak şekilde L tipi Schmidt çekici ile bozunmaya uğramış ve taze marn yüzeylerinde geri sıçrama sertlik değer okumaları yapılmıştır. Buna göre, Schmidt çekici ortalama geri sıçrama sertlik değerleri taze marn yüzeylerinde 53.9 ve bozunmuş yüzeylerde 44.3 olarak bulunmuştur.

4.2.3. Örnek alımı

Bölgedeki Eynez-Karanlıkdere ve Geventepe yeraltı ocaklarında, mevcut ocak iklim koşullarına göre marnın nem içeriğinin belirlenmesi amacıyla parça örnek alımı çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla, söz konusu ocaklara ait klasik ve mekanize ayak ile tavan yolları ve desandreden marn örnekleri alınmıştır. Örnekler, atmosfer koşullarından etkilenmemeleri için kapalı kaplara konularak muhafaza edilmiş ve deneyin yapılacağı laboratuvara nakledilmiştir.

Blok örnek alımları, imkanlar ölçüsünde bölgeye ait açık ocaklardan gerçekleştirilmiştir. Tunçbilek bölgesine ait çalışmada olduğu gibi blok örnekler, dış etkenlerden etkilenmemeleri için naylon torbalara sarılarak nakledilmiştir.

Çalışma bölgesindeki marn formasyonu havzanın genelinde çatlaklı bir yapıya sahip olup, bu çatlaklar arası sıkı kalsit dolguludur. Böyle bir yapı havzanın genelinde görüldüğünden, deneysel çalışmalar için, kalsit dolgusuz blokların yanında kalsit dolgulu blokların alımı da gerçekleştirilmiştir.

4.2.4. Yeraltı ocak iklim şartlarının belirlenmesi

Termo-higrometre (Şekil 4.4) ile yapılan ocak havası bağıl nemlilik ve sıcaklık ölçüm sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Buna göre, ocak havasının ortalama %84.2±4 RH ve sıcaklığın ise ortalama 20.8±3°C olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. E.L.İ. Soma Bölgesi yeraltı ocak iklim şartları.

| Ölçüm Yeri | | Nem (%) | Sıcaklık(°C) |
|--------------------|--------------------------|---------|--------------|
| Eynez-Karanlıkdere | 190 ayak tavan yolu | 80.3 | 16.3 |
| | 180 ayak tavan yolu | 86.3 | 18.0 |
| | Mekanize ayak | 89.6 | 20.1 |
| | 170 Klasik ayak | 89.7 | 21.6 |
| Geventepe | 110 Desandre sonu | 80.3 | 21.7 |
| | 110 Desandre (bant başı) | 80.6 | 24.4 |
| | 70 Hazırlık desandresi | 82.5 | 23.5 |
| Ortalama | | 84.2±4 | 20.8±3 |

BÖLÜM 5

KAYA MALZEMESİ DAYANIM ÖZELLİKLERİNİ BELİRLEMeye YÖNELİK DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kaya malzemesi dayanım özelliklerini belirlemeye yönelik deneylerde, doğal ortam nemini korumuş olan örneklerde deney yapılması gerektiği belirtilmektedir (ISRM, 1978a; 1983). Birçok araştırmacı, kayaçların doğal ortamlarındaki su ve nem içeriklerine göre dayanım deneylerinin yapılması gerektiğini, aksi takdirde gerçek değerlerden sapmalar olacağını belirtmişlerdir (Burshtein, 1969; Lin et al., 1982; Vasarhelyi, et al., 2006).

Tez çalışması kapsamında laboratuvarında yürütülen deneysel çalışmalar aşağıda detaylı şekilde anlatılmıştır. Bu kapsamda; ocak iklim koşullarında marnın nem içeriği tayini, karot örneklerinin hazırlanması ve koşullandırılması, üç eksenli basınç deneyi, tek eksenli basınç deneyi ve Brazilian çekme deneyi yer almaktadır. Ayrıca, kaya malzemesinin ıslanma-kuruma durumundaki parçalanma ve dağılma gibi dayanımı etkileyecek davranışların ortaya konması ve tanımlanması amacıyla suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi çalışması da gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan presin kalibrasyonu Uluslararası Akreditasyon Antlaşması bulunan Türk Akreditasyon Kurumu tarafından akredite edilmiş “Uzmanlar Metroloji Servisi” isimli firmaya yaptırılmıştır. Firma tarafından pres kalibrasyonu EN ISO 7500-1 ve EN 12390-4 talimatına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

5.1. Ocak İklim Koşullarında Marnın Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Dayanım özelliklerini belirlemeye yönelik deneylerde, deney örneklerinin doğal ortam şartlarına göre koşullandırılması gerekmektedir. Deney örneklerinin ne ölçüde doğal koşullara uygun koşullandırabileceğini belirlemek amacıyla, öncelikle, çalışma

bölgelerine ait yeraltı ocaklarında mevcut iklim koşullarındaki marn kaya malzemesi nem içeriği belirlenmeye çalışılmıştır.

G.L.İ. Ömerler yeraltı linyit ocağı ile E.L.İ. Eynez-Karanlıkdere ve Geventepe yeraltı ocağından alınan marn örnekleri, kapalı kaplarda Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kaya Mekaniği Laboratuvarına getirilmiştir. Nem tayini deneyinde 0.1 gram hassasiyetle tartım alınabilen terazi, etüv ve desikatör (Şekil 5.1) kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Örnekleri kurutma ve soğutma için kullanılan etüv ve desikatör.

Marn örneklerinin bulunduğu kaplar 0.1 gram hassasiyetle tartılmış ve tartım sonuçları kaydedilmiştir. Daha sonra kaplar etüve konulmuş ve içerisindeki örnekler 105°C’de değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Desikatörde dış ortamdan nem almaksızın soğutulan kaplar tekrar tartılmıştır. İlk ve son tartım değerlerinden kapların boş ağırlıkları çıkarılarak marn örneklerinin sırasıyla nemli (G_n) ve kuru (G_k) ağırlıkları bulunmuştur. Örneklerin nem içeriği Bağıntı 5.1’den hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama değerler Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de görülmektedir.

$$\text{Nem İçeriği} = \frac{G_n - G_k}{G_k} \times 100 \quad (5.1)$$

Burada;

G_n = Nemli ağırlık

G_k = Kuru ağırlık

Çizelge 5.1. G.L.İ. Ömerler yeraltı linyit ocağı iklim şartlarında marnın nem içeriği.

| Örnek alınan yer | G_n (g) | G_k (g) | % Nem İçeriği |
|------------------|-----------|-----------|---------------|
| Anagaleri | 547.5 | 502.5 | 9 |
| Mekanize ayak | 800.3 | 706.6 | 13 |
| Ortalama | | | 11 |

Çizelge 5.1'e göre, mevcut iklim şartlarında anagaleride marnın ortalama % 9 nem içerdiği ve mekanize ayaktan alınmış taze marn örneklerinde ise nem içeriğinin artarak % 13'e ulaştığı görülmektedir. Ocaktaki ortalama nem içeriği ise % 11 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.2. E.L.İ. Eynez-Karanlıkdere ve Geventepe yeraltı linyit ocağı iklim şartlarında marnın nem içeriği.

| Örnekleme Bölgesi | Örnek alınan yer | G_n (g) | G_k (g) | % nem içeriği |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|---------------|
| Eynez-Karanlıkdere | Anagaleri | 531.2 | 492.8 | 7.79 |
| | Mekanize ayak | 630.6 | 582.2 | 8.35 |
| | Klasik ayak | 534.8 | 486.4 | 9.95 |
| Geventepe | Anagaleri | 625.5 | 587.4 | 6.49 |
| | Klasik ayak | 533.4 | 483.0 | 10.43 |
| Ortalama | | | | 8.60 |

Çizelge 5.2'ye göre, mevcut iklim şartlarında Eynez-Karanlıkdere yeraltı ocağına ait ölçümlerde marnın ortalama % 8.98, Geventepe yeraltı ocağına ait ölçümlerde ise ortalama % 8.46 nem içerdiği belirlenmiştir. Buna göre, Soma bölgesi yeraltı ocaklarında marnın ortalama nem içeriği % 8.60 olarak bulunmuştur.

5.2. Marn Karot Örneklerinin Hazırlanması

Standartlara uygun boyutta örnek hazırlamak, deneysel çalışmalar öncesi yapılan en önemli aşamadır. Çalışma bölgelerine ait açık ocaklardan alınan marn kaya bloklarından karot alma işlemleri Dumlupınar Üniversitesi, Kaya Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Karot alımında NX (54.7 mm) çaplı karotiyer kullanılmıştır (Şekil 5.2). Tabakalanmaya dik şekilde bloktan alınan karot örneklerin alt ve üst yüzeyleri karot kesme makinesi (Şekil 5.3) kullanılarak kesilmiştir. Bu şekilde alt ve üst yüzeylerin birbirine paralel olması sağlanmıştır. Karot boyu/karot çapı oranı üç eksenli ve tek eksenli basınç dayanımı için 2-3 ve Brazilian çekme dayanımı için ise 1/2 olacak şekilde ayarlanmıştır.



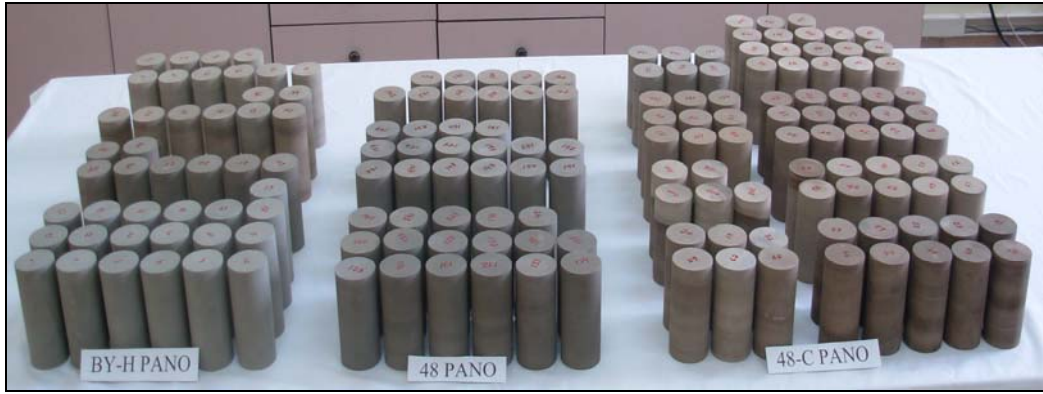
Şekil 5.2. NX boyutunda örnek almak için kullanılan karot alma makinesi.



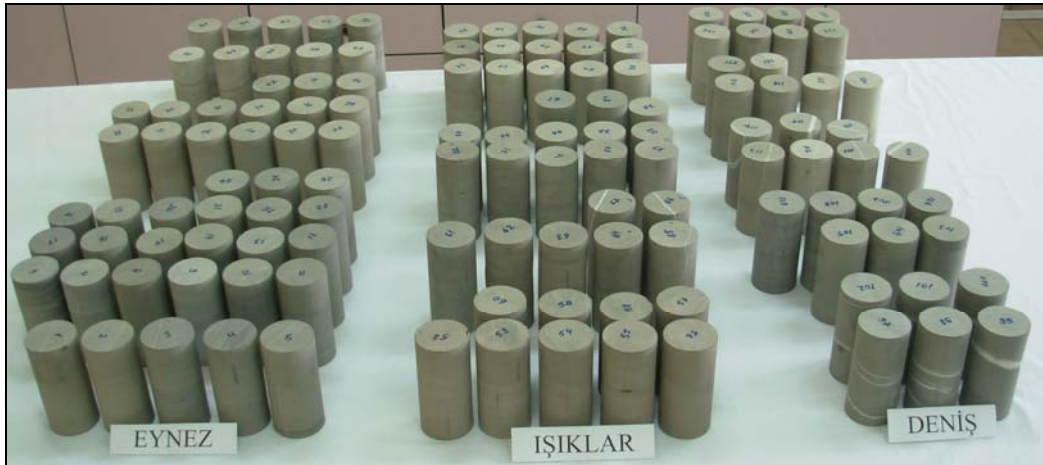
Şekil 5.3. Karot başlarının düzeltilmesinde kullanılan karot kesim makinesi.

Blok örneklerden alınan karotların kesimi sonrası örnek boyutlarının uygunluğu çeşitli ölçümlerle kontrol edilmiştir. Bu amaçla; karot örneğinin üst, alt ve orta kısmından olmak üzere üç ayrı yerden çapları, aksenal olarak ise birbirine dik olacak şekilde iki yönde 0.01 mm duyarlılıktaki kumpas ile uzunlukları ölçülmüştür. Ortalama boy ve çap ölçümlerinden boy/çap oranının uygun olup olmadığı belirlenmiştir.

Karot alımı sırasında örneklerde önemli derecede kayıplar meydana gelmiştir. Özellikle Tunçbilek bölgesine ait marn örneklerin bir kısmı daha karot alımı sırasında, bir kısmı da alt ve üst kısımları düzeltilirken kayba uğramıştır. Bu kayıplar genellikle, tabakalardan atma ve örnek içerisindeki organik parçalardan dolayı kırılmalar şeklinde meydana gelmiştir. Soma bölgesi marn karot örnek alımı sırasında ise, blok yüzeyinden görünmeyen yaprak fosillerinden dolayı karotlarda ayrılmalar olmuştur. Bu kayıplara rağmen deneysel çalışmalar için yeterli sayıda tabakalanmaya dik yönde örnek alımı gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgelerine ait bloklardan alınan karot örnekler Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.4. Tunçbilek bölgesine ait karot örnekleri.

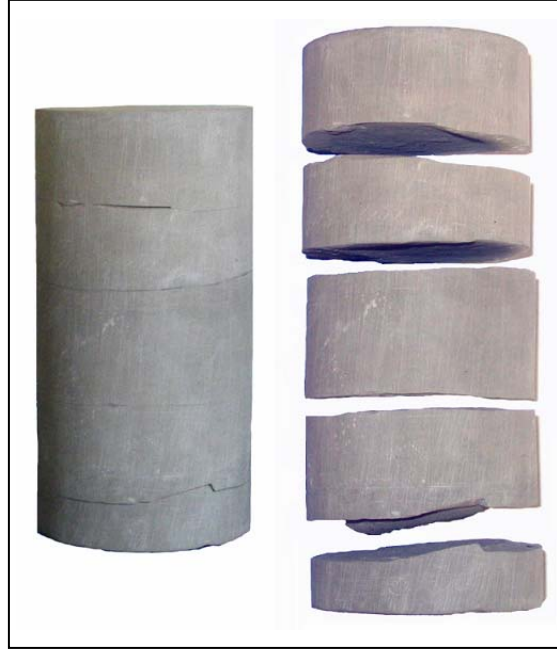


Şekil 5.5. Soma bölgesine ait karot örnekleri.

5.3. Örneklerin Koşullandırılması

Yeraltı madencilik çalışmaları genellikle yeraltı su seviyesinin altında gerçekleştirildiğinden, dayanım özelliklerini belirlemeye yönelik en uygun koşullandırma şekli, deney örneklerinin suya doygun hale getirilmesi olmaktadır. Bu amaçla, Tunçbilek ve Soma bölgesine ait her biri farklı bloklardan olmak üzere 1'er adet marn karot örneği su içinde bekletilmiştir. Bu işlem su emme deneyi aşamalarına

uygun şekilde yürütülmüştür (TS699, 1987). Uygun büyüklükte bir kap içerisinde örnekler yerleştirilmiş, 1'er saat ara ile örneklerin yüksekliğinin $\frac{1}{4}$ oranında kaba su eklenmiş ve 4. uygulamada örnek yüzeyini 1.5-2 cm aşacak şekilde su ilave edilerek su içerisinde bekletilmiştir. Kısa süre içerisinde Tunçbilek bölgesine ait örneklerin çoğunda tabakalanmaya paralel çatlaklar oluşarak disklenme meydana gelmiştir (Şekil 5.6). Tunçbilek bölgesi ile ilgili yapılmış çeşitli çalışmalarda da bu durumdan söz edilmektedir (Eskikaya vd., 1991; Esmek vd., 1993).



Şekil 5.6. Su etkisiyle Tunçbilek bölgesine ait marn örneklerinde meydana gelen disklenmeye örnek.

Tunçbilek bölgesine ait örneklerdeki disklenme genellikle gri renkli örneklerde gözlenmiş, disklenme olmayan örneklerin ise çoğunlukla kahverengi olduğu belirlenmiştir. Bu tespite rağmen, örneklerin arasında tam bir renk tanımlaması yapılamamış olan gri ve kahverengi arası tonlara sahip örneklerin de bulunması, rengin disklenmede çok önemli bir gösterge olmadığını göstermektedir. Ayrıca; yapılan işlem, Tunçbilek bölgesine ait örneklerde her ne kadar önemli sayıda örnek kaybına neden

olmuşsa da, suda disklenen ve disklenmeyen örneklerin ayırt edilebilmesini sağlamıştır. Soma bölgesine ait karot örneklerinin suya doymun hale getirilme işleminde herhangi bir sorun yaşanmamıştır.

Örneklerin ağırlıkça su emme oranlarını belirlemek için (TS699, 1987) disklenmeye uğramamış olan G.L.İ ve E.L.İ bölgesine ait 10'ar adet örnek suya doymun hale gelinceye kadar su içerisinde bekletilmiştir. 48 saat su içerisinde kalmış olan örnekler nemli bir bezle silinmiş ve ilk tartımları alınmıştır. Tekrar suya konulan örnekler 24 saat daha su içerisinde bekletilmiş ve aynı şekilde tartımları alınmıştır. Bu işlem, tartımlar arasında %0.1'den az fark oluncaya kadar sürdürülmüştür. 4-5 günlük suda bekletme sonrası örnekler suya doymun hale gelmiştir. Son alınan tartımlar örneklerin suya doymun ağırlıkları olarak kaydedilmiştir.

Sudan çıkarılan örnekler önce 24 saat oda koşullarında bekletilmiş ve daha sonra kurutulmak üzere etüve konulmuştur. Örnekler etüvde 105°C'de 24 saat bekletilmiş (Şekil 5.7) ve desikatöre alınmıştır. Desikatöre vakum uygulanarak örneklerin havadan nem almadan soğutulması sağlanmıştır. Soğuyan örnekler 0.1 gram hassasiyetle tartılmıştır. Aynı işlemler tekrar edilmiştir. İlk ve sonraki tartımlar arasında fark olmaması, örneklerin değişmez kütleyle gelinceye kadar kurutulmuş olduğunu göstermiştir. Son alınan tartımlar örneklerin kuru ağırlıkları olarak kaydedilmiştir.

G.L.İ ve E.L.İ bölgesine ait örneklerin ağırlıkça su emme oranları aşağıdaki Bağıntı 5.2 (TS699, 1987) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$S_k = \frac{G_{dh} - G_k}{G_k} \times 100 \quad (5.2)$$

Burada;

S_k = Ağırlıkça su emme (%)

G_{dh} = Suya doymun havadaki ağırlık (g)

G_k = Kuru ağırlık (g)



Şekil 5.7. Marn numunelerinin etüv içerisinde kurutulması.

Çizelge 5.3’de Tunçbilek bölgesi marn örneklerinin ve Çizelge 5.4’de ise Soma bölgesine ait marn örneklerinin ağırlıkça su emme oranları verilmiştir. Buna göre, Tunçbilek bölgesi marn örneklerinin ortalama ağırlıkça su emme oranı $\%8.5 \pm 1.2$ ve Soma bölgesine ait marn örneklerinin ortalama ağırlıkça su emme oranı $\% 5.60 \pm 1$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.3. G.L.İ. bölgesi marn örneklerinin ağırlıkça su emme oranları.

| Örnek no | G _k (g) | G _{dh} (g) | Ağırlıkça su emme oranı (%) |
|----------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1 | 466.1 | 505.6 | 8.5 |
| 2 | 469.0 | 513.7 | 9.5 |
| 3 | 493.5 | 531.9 | 7.8 |
| 4 | 476.4 | 516.3 | 8.4 |
| 5 | 506.2 | 539.5 | 6.6 |
| 6 | 476.5 | 523.4 | 9.8 |
| 7 | 485.0 | 526.5 | 8.6 |
| 8 | 473.2 | 519.6 | 9.8 |
| 9 | 508.3 | 541.9 | 6.6 |
| 10 | 474.0 | 517.8 | 9.2 |
| Ortalama | | | 8.5 |
| Standart Sapma | | | 1.2 |

Çizelge 5.4. E.L.İ. bölgesi marn örneklerinin ağırlıkça su emme oranları.

| Örnek no | G _k (g) | G _{dh} (g) | Ağırlıkça su emme oranı (%) |
|----------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1 | 607.9 | 578.7 | 5.05 |
| 2 | 639.6 | 610.7 | 4.73 |
| 3 | 577.6 | 540.8 | 6.80 |
| 4 | 619.4 | 585.9 | 5.72 |
| 5 | 626.1 | 598.4 | 4.63 |
| 6 | 631.8 | 605.2 | 4.40 |
| 7 | 610.4 | 577.2 | 5.75 |
| 8 | 575.8 | 538.2 | 6.98 |
| 9 | 575.2 | 536.9 | 7.13 |
| 10 | 645.5 | 615.8 | 4.83 |
| Ortalama | | | 5.60 |
| Standart Sapma | | | 1.04 |

Örneklerin suya doygun hale getirilmesi işlemi sonrası, Tunçbilek bölgesine ait disklenmeye uğramayan örnekler ile Soma bölgesine ait örneklerin tümünün dayanım deneyleri öncesi suya doygun hale getirilmesine karar verilmiştir.

Tunçbilek bölgesine ait örneklerin büyük kısmında disklenme meydana gelmiştir. Bu nedenle, aynı bloklara ait diğer örneklerin doğal ortam şartlarına en uygun şekilde koşullandırılması amacıyla iklimlendirme dolabından yararlanılması düşünülmüştür. İklimlendirme dolabı daha çok ziraat alanında kullanılan ve yapay iklim şartlarının oluşturulmasını sağlayan kapalı bir cihazdır. Bu cihazın kullanımı ile örneklerin sudan etkilenmeden yapay iklim şartları altında nem alarak koşullandırılması planlanmıştır.

Cihaz nem ve sıcaklık ayarları değiştirilerek farklı koşullandırma şartlarının oluşturulmasını sağlamaktadır. Koşullandırma çalışmalarında kullanılan iklimlendirme dolabı Şekil 5.8'de görülmektedir. Cihaz 10°C ile 50°C arasındaki sıcaklık değerlerine ayarlanabilmekte ve bu sıcaklıklarda %20 ile %80 RH değerleri arasında nemli ortam oluşturulabilmektedir. Üretici firma tarafından cihazın verimli çalıştırılması için sıcaklığın 15°C-25°C aralığında tutulması önerilmektedir (Nüve).



Şekil 5.8. İklimlendirme dolabında marn örneklerinin koşullandırılması.

Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemelerinin iklimlendirme dolabında en fazla nem alabileceği yapay iklim şartlarını belirlemek amacıyla ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Koşullandırma yapılacak örneklerin koşullandırma sonrası ne kadar nem aldığı belirlenebilmesi için kuru ağırlıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, koşullandırma yapılacak örnekler üzerinde değişmez kütle gelinceye kadar kurutma işlemi uygulanmış ve kuru ağırlıkları 0.1 gram hassasiyetle tartılmıştır.

Kuru örneklerden 10 tanesi iklimlendirme dolabına alınarak cihazda sıcaklık sabit tutulmuş ortam nemliliği değiştirilmiştir. Her bir farklı ortam şartları içerisinde örnek tartımları alınarak örnekler değişmez kütle gelinceye kadar iklimlendirme dolabında tutulmuştur. Bekletme süreleri 10-15 gün arasında değişiklik göstermiştir.

Diğer bir 10 adetlik örnek grubu için ise tam tersi, ortam nemliliği sabit tutulmuş sıcaklık değiştirilmiştir. Çizelge 5.5’de G.L.İ. Ömerler yeraltı linyit ocağı iklim koşulları dikkate alınarak iklimlendirme dolabında sıcaklığın 17.6°C’de sabit tutulup farklı nem içeren ortamlarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem almaları yüzde olarak verilmiştir. Çizelge 5.6’da ise, iklimlendirme dolabında nemliliğin %80 RH değerinde sabit tutulup farklı sıcaklıklarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem almaları yüzde olarak verilmiştir.

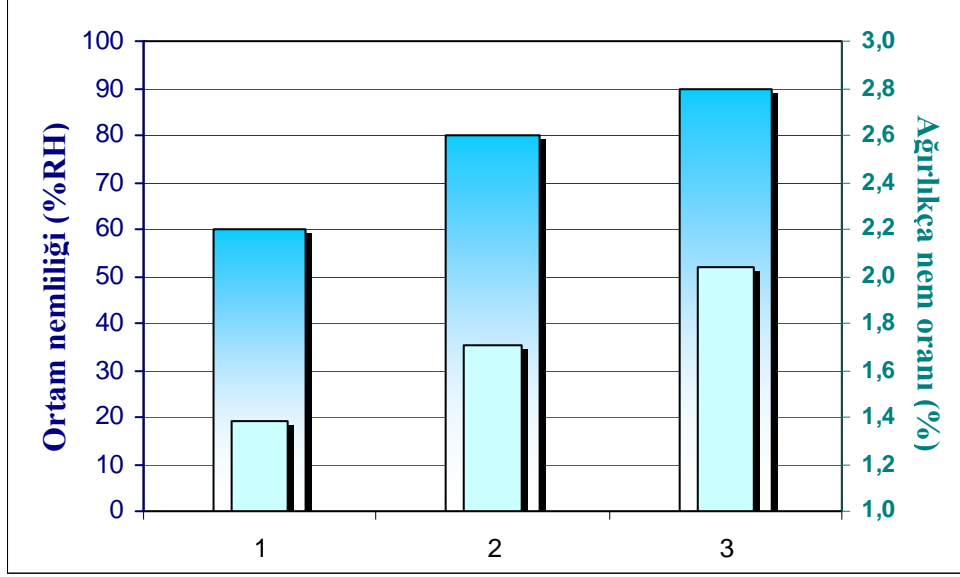
Çizelge 5.5. İklimlendirme dolabında sıcaklığın 17.6°C’de sabit tutulup farklı nem içeren ortamlarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem tutma yüzdeleri.

| Örnek no | G _k (g) | %60 RH | | %80 RH | | %90 RH | |
|----------|--------------------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|
| | | G _n (g) | %nem | G _n (g) | %nem | G _n (g) | %nem |
| 1 | 476.5 | 482.4 | 1.24 | 483.3 | 1.43 | 485.0 | 1.78 |
| 2 | 485.0 | 491.8 | 1.40 | 493.5 | 1.75 | 495.6 | 2.19 |
| 3 | 466.1 | 473.6 | 1.61 | 477.0 | 2.34 | 478.5 | 2.66 |
| 4 | 482.7 | 487.7 | 1.04 | 489.4 | 1.39 | 490.4 | 1.60 |
| 5 | 482.6 | 487.3 | 0.97 | 488.8 | 1.28 | 490.1 | 1.55 |
| 6 | 455.1 | 464.5 | 2.07 | 466.0 | 2.40 | 468.0 | 2.83 |
| 7 | 432.9 | 440.4 | 1.73 | 441.2 | 1.92 | 443.2 | 2.38 |
| 8 | 446.5 | 453.3 | 1.52 | 454.2 | 1.72 | 456.3 | 2.19 |
| 9 | 473.2 | 479.2 | 1.27 | 480.6 | 1.56 | 481.5 | 1.75 |
| 10 | 468.9 | 473.3 | 0.94 | 475.0 | 1.30 | 475.7 | 1.45 |
| Ortalama | | | 1.38 | | 1.71 | | 2.04 |

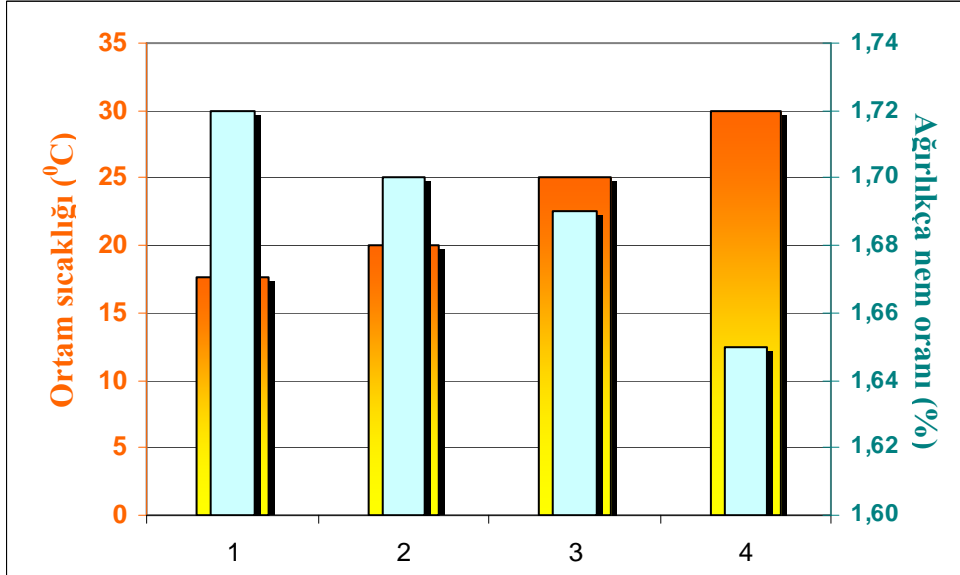
Çizelge 5.6. İklimlendirme dolabında nemliliğin %80 RH değerinde sabit tutulup farklı sıcaklıklarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem tutma yüzdeleri.

| Örnek No | G _k (g) | 17.6°C | | 20°C | | 25°C | | 30°C | |
|----------|--------------------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|
| | | G _n (g) | %nem | G _n (g) | %nem | G _n (g) | %nem | G _n (g) | %nem |
| 1 | 469.2 | 475.1 | 1.26 | 475.1 | 1.26 | 475.0 | 1.24 | 474.9 | 1.21 |
| 2 | 437.0 | 446.4 | 2.15 | 446.4 | 2.15 | 446.2 | 2.11 | 445.9 | 2.04 |
| 3 | 458.4 | 465.5 | 1.55 | 465.3 | 1.51 | 465.3 | 1.51 | 465.1 | 1.46 |
| 4 | 462.7 | 472.2 | 2.05 | 472.0 | 2.01 | 472.1 | 2.03 | 471.9 | 1.99 |
| 5 | 466.5 | 475.7 | 1.97 | 475.6 | 1.95 | 475.5 | 1.93 | 475.4 | 1.91 |
| 6 | 459.9 | 470.2 | 2.24 | 470.1 | 2.22 | 469.9 | 2.17 | 469.7 | 2.13 |
| 7 | 491.7 | 499.2 | 1.53 | 499.0 | 1.48 | 499.0 | 1.48 | 498.8 | 1.44 |
| 8 | 485.2 | 492.1 | 1.42 | 492.0 | 1.40 | 492.0 | 1.40 | 491.8 | 1.36 |
| 9 | 507.7 | 516.4 | 1.71 | 516.3 | 1.69 | 516.2 | 1.67 | 516.1 | 1.65 |
| 10 | 531.9 | 539.0 | 1.33 | 539.1 | 1.35 | 538.9 | 1.32 | 538.7 | 1.28 |
| Ortalama | | | 1.72 | | 1.70 | | 1.69 | | 1.65 |

Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'daki veriler Şekil 5.9 ve 5.10'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 5.9'dan, ortam sıcaklığı sabit tutulup ortam nemliliği arttırıldıkça marn örneklerinin ağırlıkça nem içeriklerinin arttığı; Şekil 5.10'dan ise, tam aksine iklimlendirme dolabı ortam nemliliği sabit tutulup sıcaklık arttırıldıkça, marn örneklerinin ağırlıkça nem içeriklerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.9. İklimlendirme dolabında 17.6°C sabit sıcaklıkta farklı nem içeren ortamlarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem oranlarındaki değişim.



Şekil 5.10 İklimlendirme dolabında %80 RH sabit ortam nemliliğinde farklı sıcaklıklarda koşullandırılmış marn örneklerinin ağırlıkça nem oranlarındaki değişim.

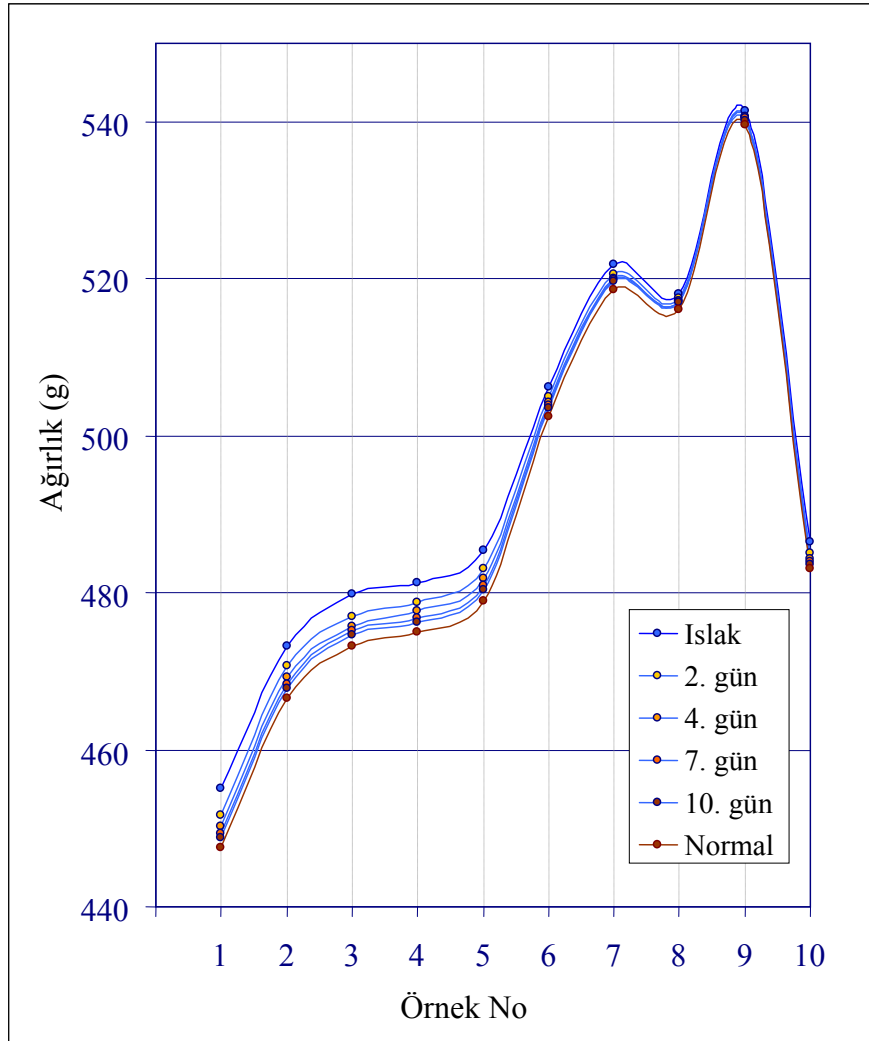
Belirli oranda nem içeren marn örneklerinin mevcut neminin ne kadarını farklı iklim koşullarında koruyabildiğini belirlemek üzere bir koşullandırma çalışması daha gerçekleştirilmiştir. İklimlendirme dolabı kullanım kılavuzunda cihaz için en verimli çalışma koşulları 22°C ve %80 RH olarak yer almaktadır (Nüve). Marn örnekleri önce önerilen koşullarda değişmez kütleye gelinceye kadar iklimlendirme dolabında bekletilmiş ve son ağırlıkları tartılmıştır (G_n). Örnekler su dolu bir kaba daldırılıp çıkartılarak ıslatılmış ve yüzeysel ıslaklıkları gidinceye kadar kısa süreli olarak atmosfer koşullarında bekletilmiştir. Islak tartımları (G_i) alınan örnekler tekrar iklimlendirme dolabında aynı koşullar altında bekletilmeye alınmıştır. Belli aralıklarla örnek ağırlıkları tartılarak nemlilikteki değişim izlenmiştir. Çizelge 5.7’de görülen tartım sonuçları Şekil 5.11’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Belirli oranda nem içeren marn örneklerinin iklimlendirme dolabında koşullandırılması sürecindeki ağırlıkları.

| Örnek no | 22°C-%80RH G_n (g) | G_i (g) | 2. gün G_n (g) | 4. gün G_n (g) | 7. gün G_n (g) | 10. gün G_n (g) |
|----------|----------------------|-----------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| 1 | 447.5 | 455.1 | 451.7 | 450.3 | 449.4 | 448.8 |
| 2 | 466.6 | 473.2 | 470.6 | 469.3 | 468.3 | 467.8 |
| 3 | 473.2 | 479.9 | 477.0 | 475.7 | 475.2 | 474.6 |
| 4 | 475.0 | 481.2 | 478.8 | 477.7 | 476.8 | 476.2 |
| 5 | 479.0 | 485.4 | 483.0 | 481.9 | 480.9 | 480.3 |
| 6 | 502.5 | 506.3 | 504.9 | 504.3 | 503.9 | 503.6 |
| 7 | 518.6 | 521.9 | 520.6 | 520.1 | 519.9 | 519.6 |
| 8 | 516.1 | 518.1 | 517.5 | 517.1 | 517.2 | 516.9 |
| 9 | 539.6 | 541.3 | 540.6 | 540.4 | 540.5 | 540.2 |
| 10 | 483.0 | 486.5 | 485.0 | 484.4 | 484.0 | 483.6 |

Şekil 5.11’den, ıslatılarak belirli oranda nem içermesi sağlanan marn örneklerinin iklimlendirme dolabında bekletildikçe mevcut neminin azaldığı ve ağırlık değerlerinin 22°C ve %80 RH iklim şartlarındaki normal ağırlık değerlerine yaklaştığı görülmektedir. Ara koşullandırmalarda; iklimlendirme dolabında bekletilmeksizin ıslatma yolu ile örneklerde daha yüksek oranda nemlilik sağlanabilmektedir, ancak

ıslatma ile nemliliğin örnek içerisinde homojen dağılmayacak oluşu dayanım deney sonuçlarını olumsuz etkileyecektir. Islatma sonrası iklimlendirme dolabında bekletme yapıldığında ise, örneklerin ortam şartlarına uyum göstererek nem kaybettiği görülmektedir.



Şekil 5.11. Islatılmış marn örneklerinin iklimlendirme dolabında koşullandırılması sürecindeki ağırlıklarındaki değişim.

İklimlendirme dolabında yararlanılarak yapılan koşullandırma çalışmalarında, örneklerin en fazla 17.6°C-%90 RH olan iklim şartlarında nem aldığı belirlenmiştir. Bu

yapay iklim koşulları G.L.İ. Ömerler yeraltı ocağındaki iklim koşullarıyla hemen hemen aynıdır. Örneklerde doğal ortam şartlarındaki nem içeriği sağlanamamış olmasına rağmen, disklenme olmaksızın ancak bu şekilde bir koşullandırma yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

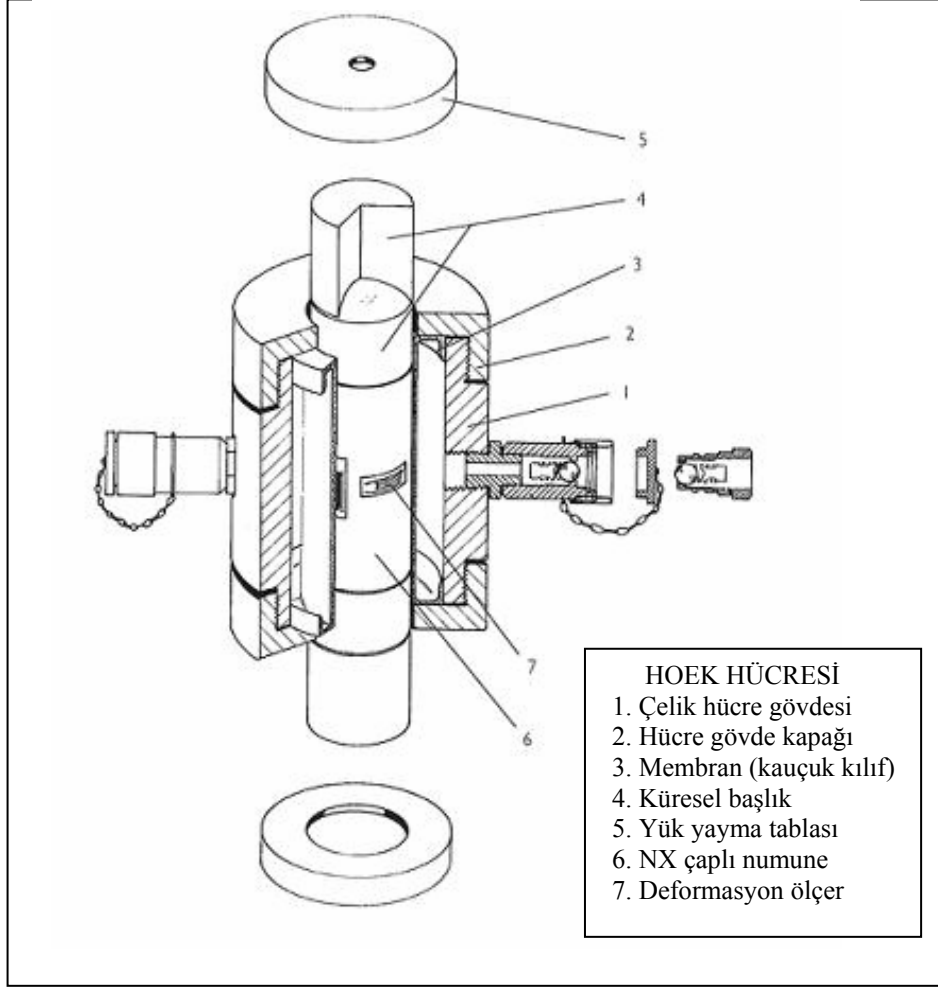
5.4. Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Üç eksenli basınç deneyi karot örneğe sabit bir yanal basınç uygulanırken örnek yenilinceye kadar düşey eksen boyunca düşey yük uygulanmasına dayanmaktadır. Deney düzeneği karot örneğe sabit yanal basınç uygulamak için Hoek hücresinden ve düşey yük uygulamak için hidrolik prestren oluşmaktadır.

Üç eksenli basınç dayanımı deneyinde boy/çap oranı 2-3 olan silindirik örnekler kullanılmaktadır (ISRM, 1978a, 1983). Yaygın bir şekilde 54.7 mm çaplı örnekler (NX) kullanılmakla beraber deney için uygun uzunlukta örnek alınamayan malzemeler için daha küçük çaplı örnekler tercih edilmektedir. Bu durumda, örnek çapına uygun Hoek hücresi ve membran kullanılır.

Hoek hücresini oluşturan parçalar ve örneğin hücre içerisindeki konumu Şekil 5.12'den görülmektedir.

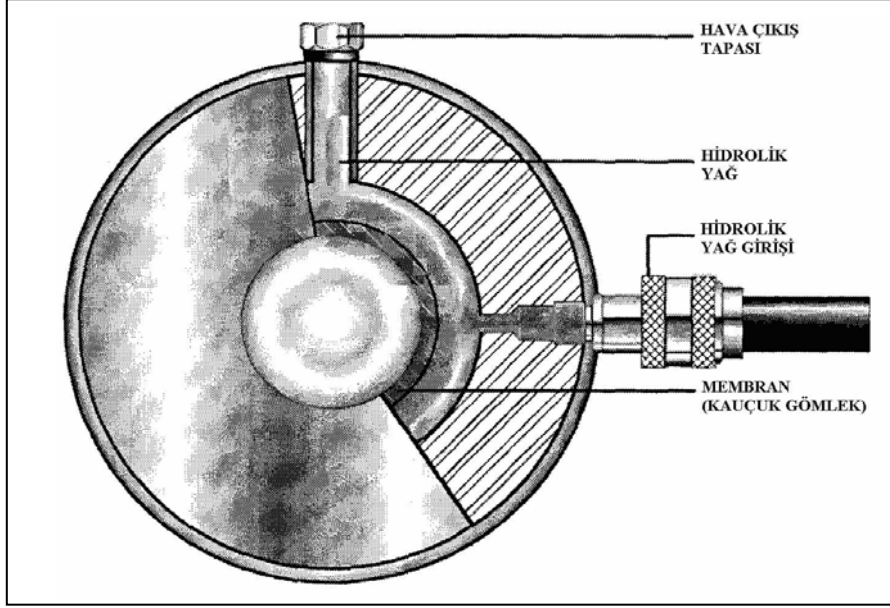
Deney öncesi plastik bir kılıf (membran) Hoek hücresi içerisine yerleştirilir. Hücreye, basınca dayanıklı bir hortumla yanal basınç ünitesi (hidrolik kriko) bağlanır. Hücre üzerindeki hava çıkış vidası sökülerek, hücre ve membran arasındaki boşluğa hava kalmayacak şekilde yanal basınç ünitesiyle yağ pompalanır (Şekil 5.13). Hava çıkış vidası yerine takılır. Bu şekilde, yanal basınç düzeneği deney için hazırlanmış olur (RocTest, 2003).



Şekil 5.12. Üç eksenli basınç deney hücresini oluşturan parçaların şematik görünümü.

Deney örneği; yan yatırılan Hoek hücresi içerisine, alt ve üst kısımlardan eşit boşluk kalacak şekilde yerleştirilir. Üzerinde işkence bulunan silindirik metal parça, örneğin hücre içerisindeki yeri korunarak hücre tabanına yerleştirilir. İşkence vidaları sıkılarak deney örneğinin hücre içerisindeki yeri sabitlenmiş olur. Bu parça aynı zamanda deney sırasında hücrenin belli bir yükseklikte tutulmasını sağlamaktadır.

Hücre düz çevrilerek alt yük yayma tablası üzerine oturtulur. Örneğin üst kısmına hücre içine küresel başlıklar yerleştirilir ve bunun üzerine üst yük yayma tablası konulur.



Şekil 5.13. Hoek hücresi ve membran arasındaki boşluğa hidrolik yağın doldurulması (Roctest, 2003).

Hücre, hidrolik pres tablaları arasına yerleştirilir. Hücre ve pres üst tablası arasındaki boşluk kapanıncaya kadar pres çalıştırılır. Belirlenen sabit bir yanal basınç değerine ulaşıncaya kadar aynı yükleme hızıyla aynı anda hücre içerisindeki örneğe yanal ve düşey yükleme yapılır. İstenilen yanal basınç değerine ulaşıldığında (σ_3) yanal basınç ünitesiyle yüklemeye son verilerek, örnek yenilinceye kadar düşey yüklemeye devam edilir. Düşey yükleme hızı örnek 5-15 dakikada yenilmeye uğrayacak veya saniyede 0.5-1.0 MPa olacak şekilde seçilir (ISRM, 1978a). Bu şekilde; örneğe yanlardan birbirine eşit küçük asal gerilmeler ($\sigma_2=\sigma_3$) uygulanırken, düşey eksen boyunca büyük bir asal gerilme uygulanmış olur. Yenilme anındaki düşey yük değerinden ve örneğe düşey yük uygulanan yüzey alanından yenilme anındaki en büyük asal gerilme değeri (σ_1) hesaplanır.

Deney aynı kaya malzemesine ait en az 5 adet örnek üzerinde ve birbirinden farklı sabit yanal basınçlar uygulanarak tekrarlanır. Yanal basınç kaya malzemesinin

tek eksenli basınç dayanımı değerinin yarısını aşmayacak şekilde seçilir (Hoek and Brown, 1997). Şekil 5.14’de deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 5.14. Üç eksenli basınç dayanımı deneylerinde kullanılan deney düzeneği.

G.L.İ. ve E.L.İ. marnları için ana koşullandırma şekli daha önceden belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 5.3). G.L.İ. marnlarının çoğunlukla suya duyarlı oluşu ve disklenmeye uğraması nedeniyle, üç eksenli basınç dayanımı deneyleri öncesi örneklerin iklimlendirme dolabında 17.6°C-%90 RH’da koşullandırılmaları uygun görülmüştür. Disklenmeye uğramayan G.L.İ. marn örnekleri ise suya doymun hale getirilmiştir. E.L.İ. marnları tümüyle suya doymun hale getirilerek deneye hazırlanmıştır. Koşullandırılmış G.L.İ. ve E.L.İ. marn örnekleri üzerinde üç eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde sabit yanal basınç çoğunlukla 1, 3, 5, 7 ve 9 MPa olarak uygulanmıştır. Yanal basınç değerlerine karşılık gelen düşey yük değerleri kaydedilmiştir. Deney sonuçları Ek-1 ve Ek-2’de verilmiştir. Blok bazında diğer deney sonuçlarıyla uyumsuz olduğu düşünülen deneyler aynı sabit yanal basınç için tekrarlanmıştır.

Şekil 5.15’de üç eksenli basınç deneyinde kullanılan G.L.İ. marn kaya malzemesi karot örnekleri verilmiştir. Şekil 5.16’da da üç eksenli basınç deneyi sonrası G.L.İ. marn kaya malzemesi örneklerinde meydana gelen çeşitli yenilme şekilleri görülmektedir.



Şekil 5.15. Üç eksenli basınç deneyinde kullanılan G.L.İ. marn kaya malzemesi örnekleri.



Şekil 5.16. G.L.İ. marn kaya malzemesi örneklerinin üç eksenli basınç deneyi sonrası yenilme şekilleri.

Deneyler sırasında G.L.İ. bölgesine ait bazı marn örneklerinde yenilme yüzeylerine paralel çeşitli organik parçalara rastlanmıştır. Şekil 5.17'de görülen bu durumun üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarını etkileyebileceği düşünülmüştür.

Nemliliğin dayanım üzerine etkisini belirleyebilmek ve koşullandırmalarla ilgili daha sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için G.L.İ. marnları üzerine bir grup deneyin daha yapılmasına karar verilmiştir. Disklenmeye uğrayan gri renkli marn örneklerinden ve disklenmeye uğramayan kahverengi marn örneklerinden olmak üzere iki ayrı grup örnek alınmıştır. Her iki gruba ait yeterli sayıda örnekler üzerinde kurutma ve iklimlendirme dolabında 17.6°C-%60 RH, 17.6°C-%80 RH ve 17.6°C-%90 RH'da ayrı ayrı koşullandırma yapılmıştır. Bu marn örnekleri üzerinde üç eksenli basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Ek-3'de verilmiştir. Ayrıca, yine benzer bir amaca yönelik olarak, daha önce koşullandırılarak deneyleri yapılmış olan bloklardan kalan ve yeterli sayıdaki G.L.İ. ve E.L.İ. örnekleri üzerinde kurutma sonrası deneyler gerçekleştirilmiştir. Kuru örnekler üzerinde gerçekleştirilmiş üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Ek-4'de verilmiştir.

E.L.İ. linyit havzası arazi çalışmaları sırasında farklı yönelim ve kalınlıklarda kalsit dolgulu süreksizliklerle karşılaşmıştır. Sahadan getirilen kalsit dolgulu bloklardan karot örnekleri alınmıştır. Bu örneklerdeki kalsit dolgu zayıflık düzlemi şeklinde değil, aksine kenetlenmiş sağlam bir yapı görünümündedir. Kalsit dolgunun dayanım üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, kalsit dolgunun yönelimi ve kalınlığına göre ayrı ayrı gruplandırılmış suya doymuş örnekler üzerinde üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Örnekler iki gruba ayrılmıştır; I. grupta tabakalanmaya paralel kalsit dolgulu ve dolgusuz örnekler, II. grupta tabakalanmaya dik kalın ve ince dolgulu ile dolgusuz örnekler kullanılmıştır. Şekil 5.18'de kalsit dolgulu süreksizlik içeren çeşitli karot örnekleri verilmiştir. Şekil 5.19'da da kalsit dolgulu süreksizlik içeren marn kaya malzemesinin üç eksenli basınç deneyi sonrası yenilme şekilleri görülmektedir. Deney sonuçları Ek-5'de verilmiştir.



Şekil 5.17. Üç eksenli basınç dayanımı deneyi sonrası G.L.İ marl örneklerinin kırılma yüzeylerinde görülen organik parçacıklara örnekler.



Şekil 5.18. Üç eksenli basınç deneyinde kullanılan kalsit dolgulu süreksizlik içeren E.L.İ. marn kaya malzemesi örnekleri.



Şekil 5.19. Kalsit dolgulu E.L.İ. marn kaya malzemesi örneklerinin üç eksenli basınç deneyi sonrası yenilme şekilleri.

5.5. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Bu deney, G.L.İ. ve E.L.İ. marn kaya malzemelerinin deneysel tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Deney için ISRM (1979a) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır. Deney, doğal ortam şartları dikkate alınarak G.L.İ. için 17.6°C'de %90 RH nem içeriğine sahip ve E.L.İ. için suya doymuş örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Deneyde, boy/çap oranı (L/D) 2-2.5 olan, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, kırık ve çatlak içermeyen karot örnekleri kullanılmıştır. Hidrolik pres tablaları arasına yerleştirilecek örneğin alt ve üstüne çapı örnek çapı kadar ve kalınlığı yarıçap kadar olan demir aparatlar yerleştirilmiştir. Bu şekilde, yükün örnek üzerine homojen şekilde dağılması sağlanmıştır (Şekil 5.20). Düşey yükleme hızı örnek 5-15 dakikada yenilmeye uğrayacak veya saniyede 0.5-1.0 MPa olacak şekilde seçilmiştir. Örneklerin tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ucs}) Bağıntı 5.3'den hesaplanmıştır.

$$\sigma_{ucs} = \frac{F}{A} \quad (5.3)$$

Burada;

σ_{ucs} : Deneysel tek eksenli basınç dayanımı (N/mm²)

F : Yenilme anında kaydedilen yük (N)

A : Örneğin kesit alanı = $\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$ (mm²)

Bağıntı 5.3'den hesaplanan tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 5.8'de ortalama değerler şeklinde verilmiştir (Her bir örneğe ait deney sonuçları Ek-6'da verilmiştir).



Şekil 5.20. Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde kullanılan deney düzeneği.

Çizelge 5.8. G.L.İ. ve E.L.İ. marn kaya malzemelerinin tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları.

| G.L.İ | | | E.L.İ | | |
|-------------------------|---------|----------------------|----------------|------------------|----------------------|
| %90 RH koşullandırılmış | | | Suya Doymun | | |
| Bölge | Blok No | σ_{ucs} (MPa) | Bölge | Blok No | σ_{ucs} (MPa) |
| BY-H pano | B-1 | 18.91 | Eynez | E-1 | 99.86 |
| | B-2 | 34.82 | | E-2 | 97.27 |
| | B-3 | 27.79 | | E-3 | 49.56 |
| | B-4 | 22.53 | | E-4 | 64.11 |
| 48C pano | 48C-1 | 29.89 | | Güney Kısrakdere | E-5 |
| | 48C-2 | 34.99 | K-1 | | 85.22 |
| | 48C-3 | 26.29 | Işıklar | K-2 | 81.94 |
| | 48C-4 | 17.96 | | I-1 | 78.87 |
| | 48C-5 | 20.95 | Deniş | I-2 | 60.19 |
| | 48C-6 | 22.96 | | D-1 | 102.99 |
| | 48C-7 | 34.16 | | D-2 | 98.17 |
| | 48C-8 | 25.88 | | D-3 | 77.54 |
| 48 pano | 48-1 | 37.63 | D-4 | 68.01 | |
| | 48-2 | 33.91 | D-5 | - | |
| | 48-3 | 24.51 | Ortalama | 80.40 | |
| | 48-4 | 16.89 | | | |
| Ortalama | | 26.88 | Standart sapma | | 16.60 |
| Standart sapma | | 6.71 | Standart sapma | | 16.60 |

5.6. Brazilian Çekme Dayanımı Deneyi

Bu deney, çalışma bölgelerine ait marn kaya malzemesinin Brazilian çekme dayanımı değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu deneyde, ISRM (1978c) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır. Deneyde çapı 54.7 (NX) mm ve kalınlığı yarıçapa eşit olan disk şeklinde, sağlam ve çatlaksız silindirik olarak hazırlanmış örnekler kullanılmıştır. Şekil 5.21’de Brazilian çekme dayanımı deneyi için hazırlanmış marn örneklerinin bir kısmı görülmektedir.



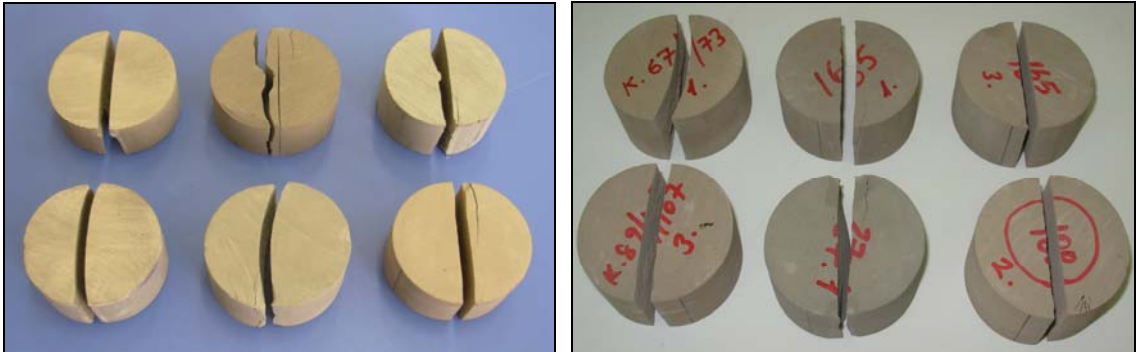
Şekil 5.21. Brazilian çekme dayanımı deneyinde kullanılan örnekler.

Deney, doğal ortam şartları dikkate alınarak G.L.İ. için 17.6°C’de %90 RH nem içeriğine sahip (Şekil 5.22) ve E.L.İ. için suya doymun örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.22. Brazilian çekme deneyi için G.L.İ. marn örneklerinin koşullandırma işlemi.

Her bir deney örneğinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımları belirlenmiştir. Yan yüzeyleri hidrolik presin tablaları arasında kalacak şekilde yerleştirilen örnek üzerine, yenilme 15-30 saniyede olacak şekilde, sabit hızla yük uygulanmıştır. Yenilme anındaki yük değeri kaydedilmiştir. Örneklerde yenilme sonrası meydana gelen çekme çatlakları Şekil 5.23’de görülmektedir.



Şekil 5.23. Brazilian çekme deneyi sonunda örneklerin yenilme şekilleri.

Brazilian çekme dayanımı deney sonuçları Bağntı 5.4'den hesaplanmıştır.

$$\sigma_t = \frac{2F}{\pi Dt} = \frac{0.636F}{Dt} \quad (5.4)$$

Burada;

F : Örneğin yenilmesi anında uygulanan yük (N)

D : Örnek çapı (mm)

t : Örnek kalınlığı (mm)

Bağntı 5.4'den hesaplanan Brazilian çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 5.9'da blok bazında ortalama değerler şeklinde verilmiştir. Her bir örneğe ait deney sonuçları ise Ek-7'de yer almaktadır.

Çizelge 5.9. Suyu doymun ve 17.6°C - %90 RH nemlilikte koşullandırılan örneklere ait Brazilian çekme dayanımı değerleri.

| %90 RH koşullandırılmış (G.L.İ) | | | Suyu Doymun (E.L.İ) | | |
|---------------------------------|---------|------------------|---------------------|------------------|------------------|
| Bölge | Blok No | σ_t (MPa) | Bölge | Blok No | σ_t (MPa) |
| BY-H pano | B-1 | 0.92 | Eynez | E-1 | 7.29 |
| | B-2 | 2.43 | | E-2 | 6.65 |
| | B-3 | 2.27 | | E-3 | 2.17 |
| | B-4 | 1.26 | | E-4 | 4.11 |
| 48C pano | 48C-1 | 2.15 | | Güney Kırsakdere | E-5 |
| | 48C-2 | 2.45 | K-1 | | 3.57 |
| | 48C-3 | 1.52 | Işıklar | K-2 | 4.61 |
| | 48C-4 | 1.20 | | I-1 | 3.21 |
| | 48C-5 | 0.97 | Deniş | I-2 | 3.32 |
| | 48C-6 | 1.72 | | D-1 | 5.90 |
| | 48C-7 | 3.03 | | D-2 | 5.59 |
| | 48C-8 | 2.33 | | D-3 | 4.96 |
| 48 pano | 48-1 | 3.76 | | D-4 | 3.24 |
| | 48-2 | 2.97 | D-5 | 6.19 | |
| | 48-3 | 1.39 | Ortalama | 4.70 | |
| | 48-4 | 1.10 | | | |
| Ortalama | | 1.97 | Standart sapma | | 1.50 |
| Standart sapma | | 0.84 | Standart sapma | | 1.50 |

5.7. Suda Dağılmaya Karşı Duraylılık İndeksi Deneyi

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi kayaçların arazi ortamındaki atmosfer olaylarına bağlı gelişen, ıslanma ve kuruma gibi süreçlerin etkisiyle meydana gelen parçalanma ve dağılmanın kayaç dayanımını etkileyecek davranışlarını laboratuvar ortamında belirlemek ve tanımlamak için yapılan deneydir. Kayaçların suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi kaya kütlesi ve kaya malzemesi davranışının ortaya konması açısından önemli bir özelliktir (Dick et.al. 1995; Gökçeoğlu vd. 2000; Dhakol et.al. 2002).

İlk olarak Franklin vd. (1972) tarafından önerilen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinin kayaç örneklerinin standart iki çevrim , bazı araştırmacılara göre ise (Gökçeoğlu vd., 2000) dört çevrim yapılması öngörülmektedir (Kolay, 2004). Vallejo (1994), suda dağılmaya karşı duraylılık indeksinin ıslanma-kuruma ve aşındırma gerilmelerinin kaya parçalarının duraylılığına etkisini belirlemek için hesaplandığını belirtmektedir (Kolay, 2004).

Dhakol vd. (2002), kayaçların suda dağılılabirliği ile mineralojik bileşimleri arasında bir ilişki olduğunu ve bu ilişkiye göre, killi klastik kayaçların suda dağılılabirliği ve mineralojik bileşiminin farklı suda dağılılabirlik davranışı gösterdiklerini belirtmektedir. Ayrıca, mineral bileşim ile yapısal özelliklerin bu tür kayaçların suda dağılılabirliğini etkilediğini de belirtmektedir.

Kolay vd. (2006), birçok kayacın davranışının belirlenmesi ve sınıflandırılması için en önemli özelliklerinden birisinin suda dağılma deneyi olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Koncagül ve Santi (1998), şeyllerin tek eksenli basınç dayanımlarının belirlenmesinde ıslak kararlılık deneyinden yararlanmışlardır (Kolay, 2004). Suda dağılılabirlik özellikle çamurtaşı, marn, siltaşı vb. gibi killi kayaçlar için önemli bir mühendislik parametresidir (Gökçeoğlu et al., 2000).

Yukarıda değinilen açıklamalar doğrultusunda çalışma bölgelerine ait marnın dayanımında ıslanma-kuruma sürecinin etkisinin belirlenmesi ve kaya malzemesi davranışının ortaya konması için suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi yapılmıştır.

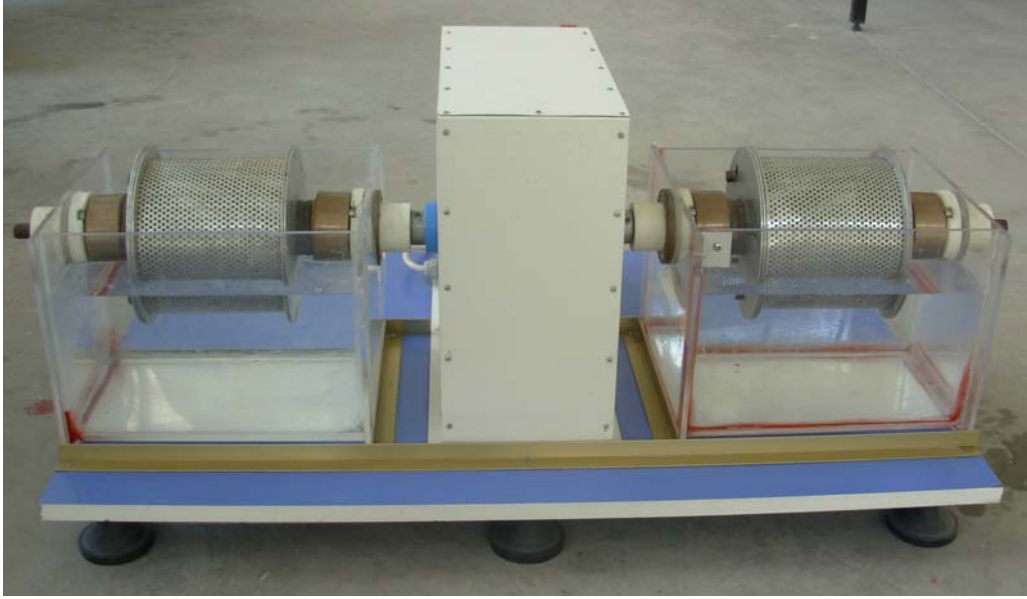
5.7.1. Deneyin yapılışı

Deney örnekleri ISRM (1979b) tarafından önerilen standartlara uygun şekilde hazırlanmıştır. Bu amaçla; deneyde kullanılacak örnekler her biri 40–60 g gelen 10 adet parçadan oluşmak üzere toplam 450–550 g olarak hazırlanmıştır. Köşelerin birbirine çarparak mekanik parçalanmaya neden olmaması için seçilen parçalar mümkün olduğunca küresele yakın hale gelecek şekilde yuvarlatılmıştır. Deneye tabi tutulacak örneklerin hazırlanması ve yuvarlatılması işleminde; jeolog çekici, farklı boyutlarda ucu keskin çekiçler, ince eğe, fırça ve zımpara gibi aletler kullanılmıştır.

Örnekler deney öncesi temiz bir tambura yerleştirildikten sonra etüvde 105°C sabit sıcaklıkta 12 saat kurutulmuştur. Kuruma sonucunda tambur içindeki örneklerle birlikte tartılmış ve tartım sonucunda elde edilen değerler kaydedilmiştir. Daha sonra tambur şeffaf hazne (Şekil 5.24) içerisine yerleştirilmiş ve dakikada 20 devir yapacak şekilde 10 dakika döndürülmüştür. Bu çevrim sonunda tambur içindeki örneklerle birlikte tekrar etüvde 105°C’de 12 saat süreyle kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan tambur ve örnekler desikatörde soğutulmuştur (Ulusay vd., 2001).

Kuruma sonunda tambur ve örnek birlikte tartılarak elde edilen değerler kaydedilmiştir. İki tartım arasındaki değer, örneğin ıslak kararlılık sonucunu vermiştir. Aynı işlemler aynı örnek için 4 çevrim olacak şekilde yapılmıştır.

Deneyin dört kez tekrarlanmasındaki amaç, Gökçeoğlu’ nun (2000) da belirttiği gibi iki çevrim sonunda tamburda kalan örneklerin 2 mm’den büyük olması nedeniyle elekten geçememesi ve bu durumda I_{d2} değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmasıdır.



Şekil 5.24. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney düzeneği.

5.7.2. Deney sonuçları

Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi; tamburda en son kalan malzemenin deney başlangıcındaki malzemeye oranı şeklinde ifade edilmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değeri Bağntı 5.5'den hesaplanmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.10 ve 5.11'de verilmiştir.

$$I_d = \frac{B - D}{A - D} \times 100 \quad (5.5)$$

Burada;

I_d = Islak kararlılık indeksi

B = Tambur+kalan kuru örnek ağırlığı (g)

A = Tambur+kuru örnek ağırlığı (g)

D = Tamburun ağırlığı (g)

Çizelge 5.10. G.L.İ. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi için belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney sonuçları.

| Bölge | Blok No | Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi I_d (%) | | | |
|----------------|---------|---|----------|----------|----------|
| | | I_{d1} | I_{d2} | I_{d3} | I_{d4} |
| BY-H pano | B-1 | 97.6 | 95.4 | 92.7 | 91.7 |
| | B-2 | 98.5 | 97.8 | 96.3 | 95.2 |
| | B-3 | 98.4 | 97.9 | 95.8 | 95.4 |
| | B-4 | 98.0 | 96.8 | 94.9 | 93.8 |
| 48C pano | 48C-1 | 98.5 | 97.6 | 96.0 | 94.8 |
| | 48C-2 | 98.4 | 97.7 | 96.3 | 95.1 |
| | 48C-3 | 98.2 | 97.2 | 95.5 | 94.2 |
| | 48C-4 | 98.7 | 96.4 | 94.5 | 92.7 |
| | 48C-5 | 97.3 | 95.4 | 93.8 | 91.9 |
| | 48C-6 | 97.5 | 95.0 | 93.8 | 91.0 |
| | 48C-7 | 98.5 | 98.2 | 96.6 | 95.9 |
| | 48C-8 | 97.9 | 96.6 | 95.0 | 93.8 |
| 48 pano | 48-1 | 98.5 | 98.0 | 96.5 | 95.2 |
| | 48-2 | 97.9 | 97.0 | 96.2 | 94.5 |
| | 48-3 | 97.8 | 96.4 | 95.8 | 93.3 |
| | 48-4 | 96.0 | 95.3 | 93.8 | 91.5 |
| | 48-5 | 98.3 | 97.0 | 95.3 | 94.4 |
| Ortalama | | 98.0 | 96.8 | 95.2 | 93.8 |
| Standart sapma | | 0.66 | 1.03 | 1.15 | 1.52 |

Çizelge 5.11. E.L.İ. Soma bölgesi marn kaya malzemesi için belirlenen suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney sonuçları.

| Bölge | Blok No | Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi I_d (%) | | | |
|------------------|---------|---|----------|----------|----------|
| | | I_{d1} | I_{d2} | I_{d3} | I_{d4} |
| Eynez | E-1 | 99.5 | 98.9 | 98.7 | 98.6 |
| | E-2 | 99.2 | 99.0 | 98.6 | 98.2 |
| | E-3 | 98.9 | 98.2 | 97.9 | 97.0 |
| | E-4 | 98.8 | 98.4 | 98.0 | 97.6 |
| | E-5 | 98.9 | 98.7 | 98.2 | 97.8 |
| Güney Kısrakdere | K-1 | 99.1 | 98.8 | 98.4 | 97.9 |
| | K-2 | 99.0 | 98.7 | 98.4 | 98.0 |
| Işıklar | I-1 | 99.0 | 98.6 | 98.3 | 97.8 |
| | I-2 | 99.0 | 98.6 | 98.1 | 97.3 |
| Deniş | D-1 | 99.4 | 98.6 | 98.5 | 98.4 |
| | D-2 | 99.1 | 98.9 | 98.4 | 98.1 |
| | D-3 | 98.9 | 98.6 | 98.2 | 97.8 |
| | D-4 | 99.2 | 98.5 | 98.0 | 97.5 |
| | D-5 | 99.1 | 98.9 | 98.5 | 98.1 |
| Ortalama | | 99.1 | 98.7 | 98.3 | 97.8 |
| Standart sapma | | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.43 |

Deney sonucunda örneklerin bir kısmı dağılırken, bir kısmı ise ya hiç dağılmamış ya da az bir dağılma göstermiştir (Şekil 5.25). Özellikle Tunçbilek bölgesine ait örneklerin bir kısmı ıslanma-kuruma süreci sonunda aşırı parçalanma ve dağılma göstermiştir (Şekil 5.25a).



a)



b)

Şekil 5.25. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyi sonrası a) dağılan ve b) dağılmayan örneklerin durumu.

BÖLÜM 6

MİNERALOJİK VE KİMYASAL ANALİZLER

Çalışma bölgelerine ait marn kaya malzemesi örnekleri üzerinde gerçekleştirilen dayanım deneyleri sonuçlarına göre (Ek-I ve Ek-2), özellikle Tunçbilek bölgesi marnlarının aynı kaya kütlesi içerisinde farklı dayanım değerlerine sahip olduğu, Soma bölgesi marnlarının da oldukça yüksek dayanım değerlerine sahip olduğu belirlenmiş ve bu durumun kayacın mineralojik ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla, hem kaya malzemesinin tanımlanmasını yapmak, hem de incelenen kaya örneklerinin dayanımına etkisini belirlemek için mineralojik ve kimyasal analizlere gerek duyulmuştur. Söz konusu analizlerden X-Işınları Kırınımı (XRD) Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi ve Afyon Kocatepe Üniversitesi'ne, X-Işınları Floresans analizleri de (XRF) Dumlupınar Üniversitesi'ne yaptırılmıştır.

6.1. Tunçbilek Bölgesi Marn Kaya Malzemesinin Mineralojik ve Kimyasal Analizleri

Koşullandırma şartlarını değerlendirmek ve nemlilik dayanım ilişkisini belirlemek amacıyla gri ve kahverengi marn kaya malzemeleri üzerinde gerçekleştirilmiş olan üç eksenli basınç deneyi sonuçları (Bkz. Bölüm 5.3 ve Ek-3) incelenerek bir ön çalışma planlanmıştır. Bu çalışmayla, gri ve kahverengi marnlar arasındaki farklılığın, aynı zamanda kendi içerisindeki dayanım farklılığının mineralojik ve kimyasal analiz sonuçlarına göre değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çizelge 6.1'de mineralojik ve kimyasal analizler için seçilmiş örneklerin üç eksenli basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Bu örneklerin mineralojik (XRD) ve kimyasal (XRF) analizleri Dumlupınar Üniversitesi laboratuvarında yapılmıştır.

Çizelge 6.1. Mineralojik ve kimyasal analizler için seçilmiş örneklerin üç eksenli basınç dayanımları.

| Renk | Numune No | Koşullandırma | σ_3 | σ_1 |
|------------|-----------|---------------|------------|------------|
| Gri | 37 | 17.6°C-%90 RH | 4 | 34.7 |
| | 38 | 17.6°C-%90 RH | 4 | 52.8 |
| Kahverengi | 20 | 17.6°C-%60 RH | 7 | 103.4 |
| | 53 | Suya doygun | 7 | 57.5 |

Gri ve kahverengi marn örneklerinin Çizelge 6.2’de verilen kimyasal analiz sonuçlarına göre, kimyasal bileşimleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Özellikle; gri renkli marn kahverengi marna göre daha fazla MgO, Al₂O₃, K₂O, CaO ve TiO₂ içermektedir. Kimyasal bileşimdeki bu farklılıkların marnadaki renk farklılığına neden olduğu düşünülmüştür. Aynı zamanda, çok daha önemlisi, gri renkli marnlarda görülen suya duyarlılık ve disklenmenin de sebebi olabilirler.

Çizelge 6.2. Marn örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları

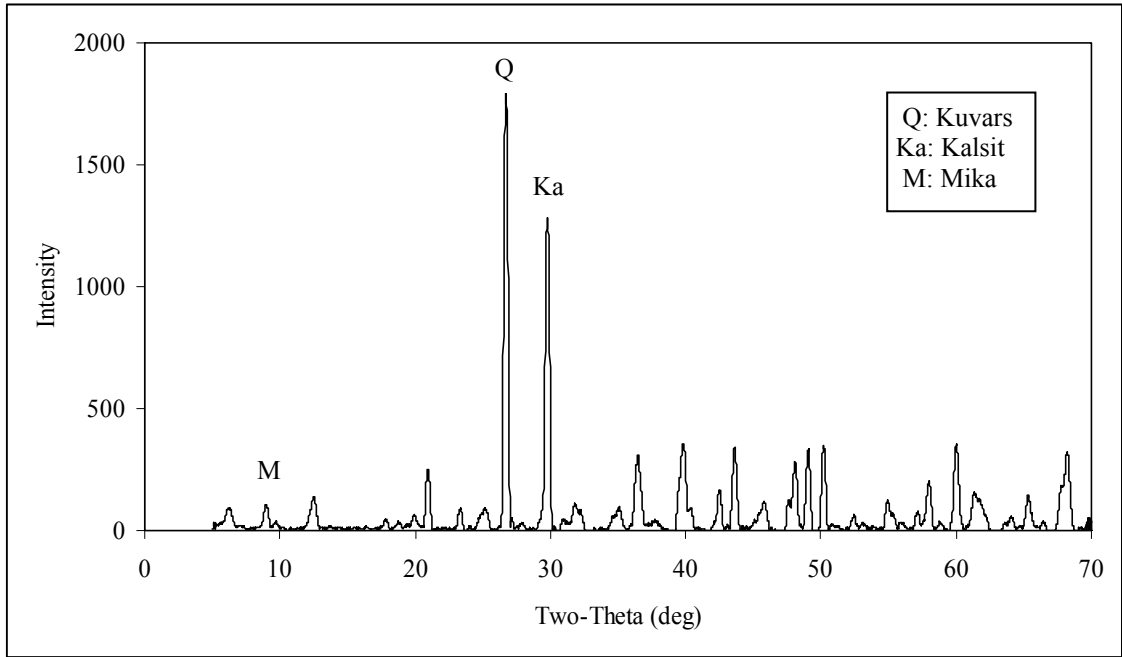
| Renk | Gri | | Kahverengi | |
|---------------------------------|--------|--------|------------|--------|
| Örnek No | 37 | 38 | 20 | 53 |
| %Na ₂ O | <0.085 | <0.086 | <0.085 | <0.089 |
| %MgO | 5.25 | 5.07 | 2.96 | 3.10 |
| %Al ₂ O ₃ | 6.59 | 5.95 | 3.23 | 3.87 |
| %SiO ₂ | 40.32 | 44.02 | 42.62 | 43.55 |
| %P ₂ O ₅ | 0.14 | 0.10 | 0.13 | 0.07 |
| %SO ₃ | 0.34 | 0.55 | 0.66 | 1.19 |
| %Cl | 0.0098 | 0.0072 | 0.0122 | 0.0114 |
| %K ₂ O | 1.07 | 0.93 | 0.49 | 0.48 |
| %CaO | 15.03 | 15.67 | 12.23 | 13.99 |
| %TiO ₂ | 0.42 | 0.43 | 0.23 | 0.25 |
| %MnO | 0.16 | 0.14 | 0.14 | 0.13 |
| %Fe ₂ O ₃ | 5.91 | 5.56 | 4.92 | 5.10 |

Çizelge 6.2’de verilen marn örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları arasında dayanımı etkilemiş olabilecek herhangi bir farklılık veya ilişki tespit edilememiştir.

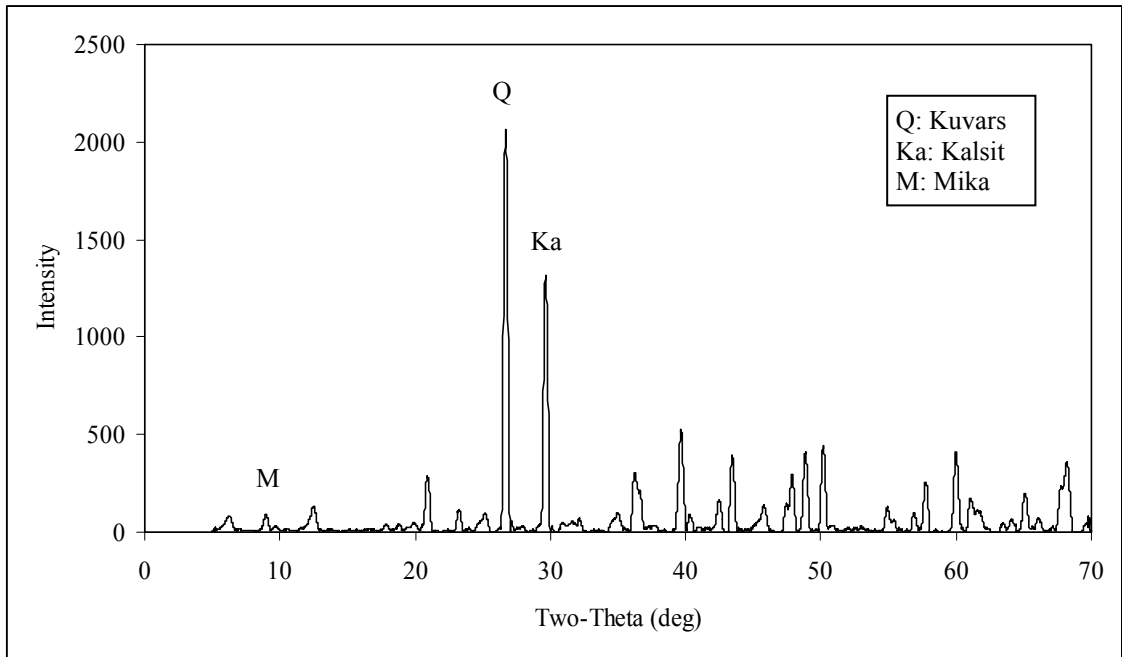
X-Işınlari kırınım (XRD) analizleri için Çizelge 6.2’de belirtilen örnekler ayrı ayrı öğütölerek -63µm boyutuna getirilmiştir. X ışınları kırınım cihazı ile $2\theta = 5-70^\circ$ ve 2 derece/dakika tarama hızında tüm kaya çekimleri gerçekleştirilmiştir. XRD grafikleri Şekil 6.1 ve 6.2’de verilmiştir.

X-Işınlari kırınımı grafiklerinin çözümleme (G. Yanık, 2005, sözlü görüşme; Saka, 1997) sonuçlarından aşağıda belirtilen kil dışı mineraller tespit edilmiştir:

- Kuvars: Diffraktogramların tümünde, kendisine ait pikleri ile hemen hemen tamamını gösteren başlıca mineraldir. 3.34 Å ile 4.23 Å pikleri her zaman yüksek şiddetli olarak izlenmiştir.
- Feldspat: Feldspat minerallerini, X-ışınları çözümlmelerinde ayırt etmek, özellikle bazı örneklerde az olmalarından dolayı mümkün olmamıştır. Feldspat, 3.18-3.20 Å pikleri ile tanımlanmıştır.
- Mika: Başlıca 10 Å minerali olarak saptanmıştır. Bu mineral, tüm çizgilerinin izlenemeyeceği beklentisine karşın, çoğu örnekte hemen hemen tamamına yakın pikleriyle belirlenmiştir.
- Dolomit: Örneklerde bulunan dolomit, 2.89 Å, 2.41 Å, 2.19 Å ve 2.02 Å pikleri ile tanımlanmıştır.
- Kalsit: 3.03 Å piki kalsit içeren tüm örneklerde gözlenmiştir. Pik şiddetlerine göre, kalsitin bazı örneklerde oldukça yüksek oranlarda bulunduğu tespit edilmiştir.

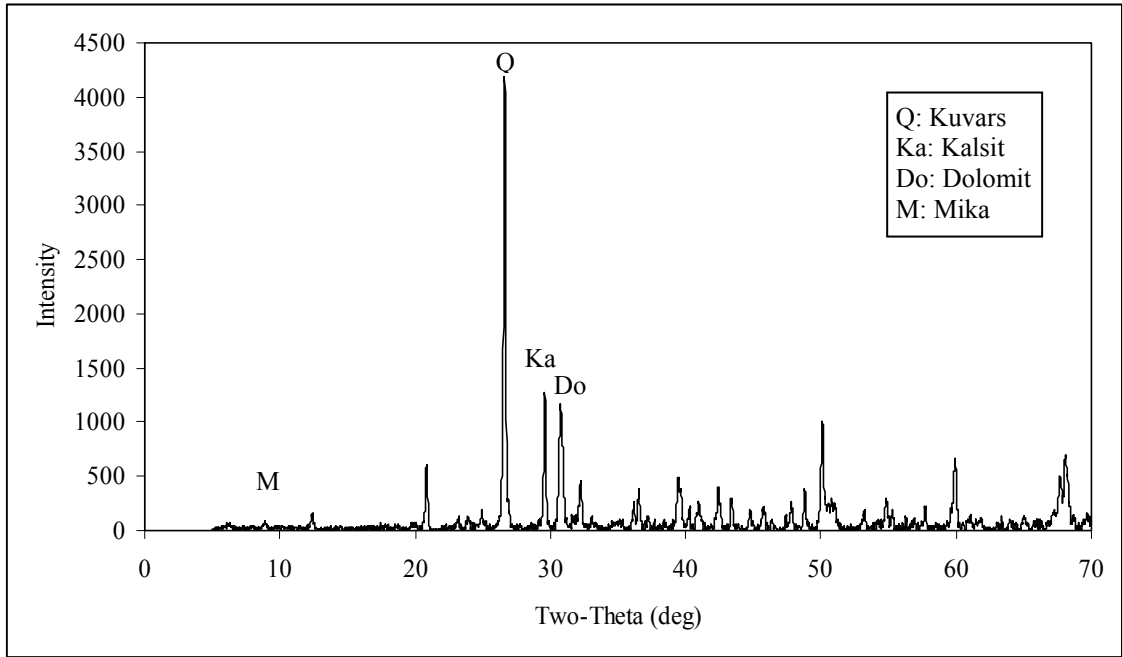


a) Örnek no: 37

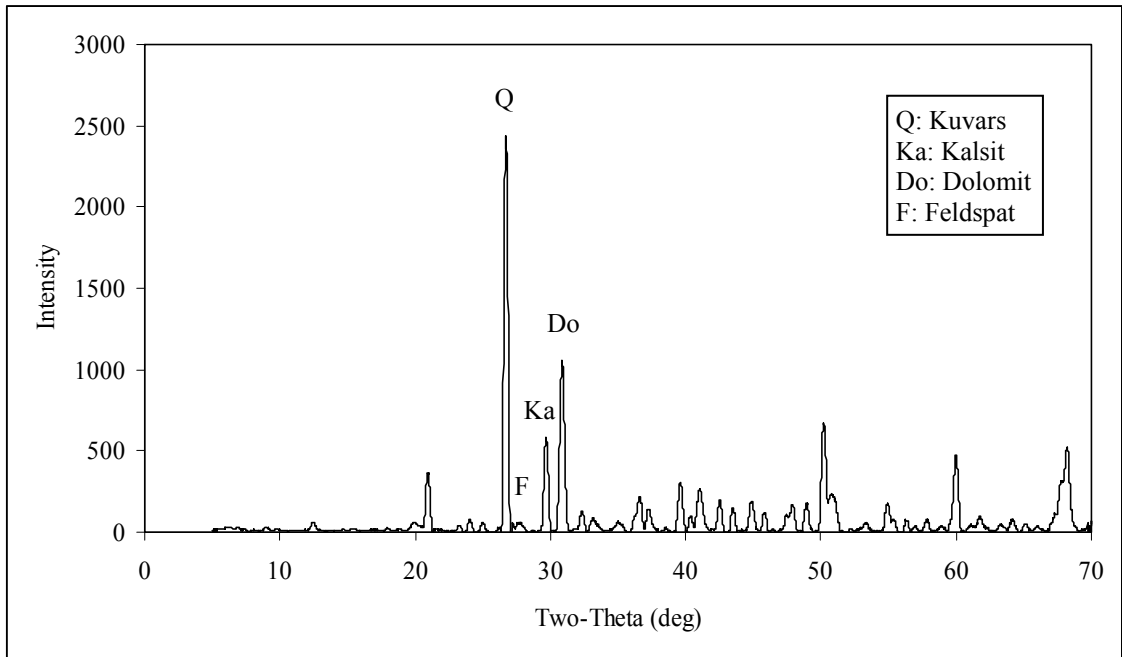


b) Örnek no: 38

Şekil 6.1. Gri renkli a) 37 ve b) 38 numaralı marn örneklerinin X-Işınımı kırınımı analizlerinin tüm kaya aşamasında elde edilen difraktogramları.



a) Örnek no: 20



b) Örnek no: 53

Şekil 6.2. Kahverengi a) 20 ve b) 53 numaralı marn örneklerinin X-ışınımı kırınımı analizlerinin tüm kaya aşamasında elde edilen difraktogramları

Tüm kaya X-Işınları kırınımı (XRD) çözümlenmelerinden kuvars, feldspat, mika, dolomit ve kalsit gibi kil dışı mineraller tespit edilmiştir. Şekil 6.1’de verilen difraktogramda gri marn örneklerinde kuvars ve kalsitin egemen olduğu görülmektedir. Kahverengi marn örneklerine ait Şekil 6.2’deki difraktogramda ise, kuvarsin egemen olduğu ve orta derecede kalsit ve dolomit bulunduğu tespit edilmiştir.

Tüm kaya XRD çözümlenmelerinde örneklerin bazılarında tespit edilen dolomitin, plastikliği artırıcı ve çimentolaşma özelliğine sahip bir mineral olması ve bu özelliğinden dolayı da tanelerin birbirine tutunma kuvvetini artıracığı düşüncesinden hareketle, kahverengi marnlarda disklenmeyi önleyebileceği sonucuna varılmıştır.

Gerçekleştirilen analizler dışında, kayaç dayanımı üzerinde kil minerallerinin etkisini belirlemek için kil bileşeni çözümlenmeleri yapılmıştır. Bu amaçla, 37 ve 38 numaralı gri marn örnekleri kullanılmıştır. Kil mineral türünün belirlenebilmesine yönelik yapılan bu çalışma için XRD çekimleri üç farklı standart ve şartta uygulanmıştır. Bu çekimler;

- Normal şartlarda,
- Etilen glikol ile muamele edildikten sonra ve
- 550°C’de 2 saat fırınlanarak yapılmıştır.

İlk işlem olarak, -63µm boyutuna öğütülmüş yaklaşık 20 g örnek mekanik bir karıştırıcı içinde yaklaşık 10 dakika karıştırılarak elde edilen sulu çamurdan kum santrifüj ile ayrılmıştır.

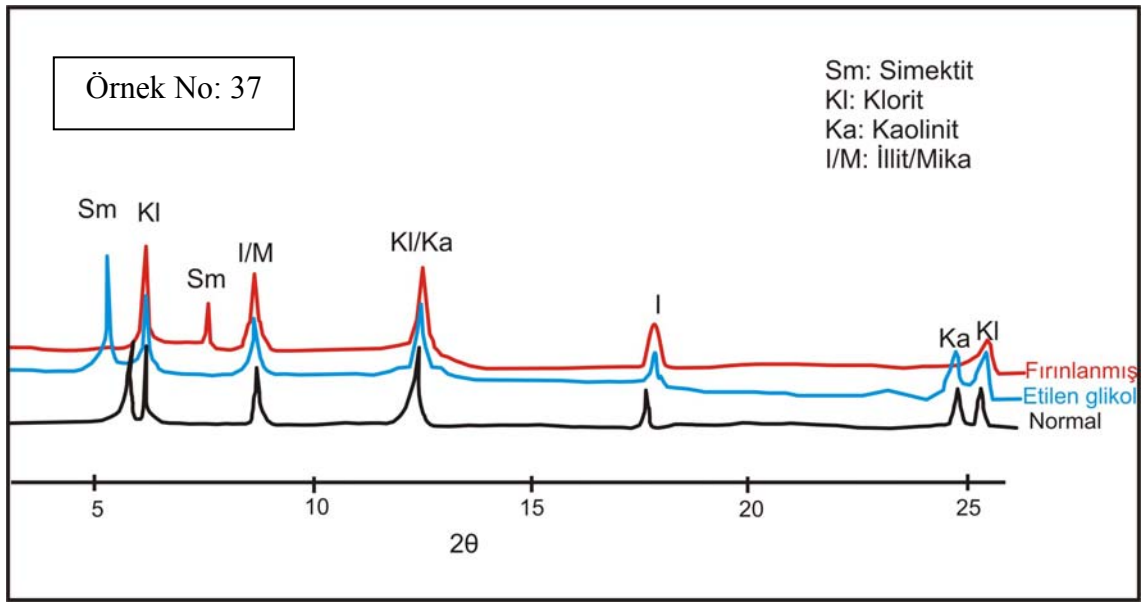
Daha sonra kil çamurunda bulunan kalsiyum ve demir ortamdan uzaklaştırılmıştır. Karbonat uzaklaştırması için 1 N sodyum asetat ve 0.3 N asetik asit kullanılmış ve çözelti pH=5 olacak biçimde hazırlanmıştır. Demirin uzaklaştırılması için de 0.3 M sodyum sitrat, 1M sodyum bikarbonat, sodyum ditiyonit ve doygun NaCl çözeltisi kullanılmıştır.

Organik malzeme H_2O_2 ile çözümlü ortamdan uzaklaştırılmıştır. Kil örneğinin organik malzemedan temizlenmesi için %15 lik H_2O_2 kullanılmıştır. H_2O_2 kullanılmadan önce, örnek asetik asit ile $50^\circ C$ 'de (pH=5) ıslatılmıştır. Böylece H_2O_2 tepkimesi kolaylaştırılmıştır. Daha sonra kil çamuru kurutularak, gözenekli porselen üzerine vakum yardımı ile yönlendirilerek örnekler hazırlanmıştır.

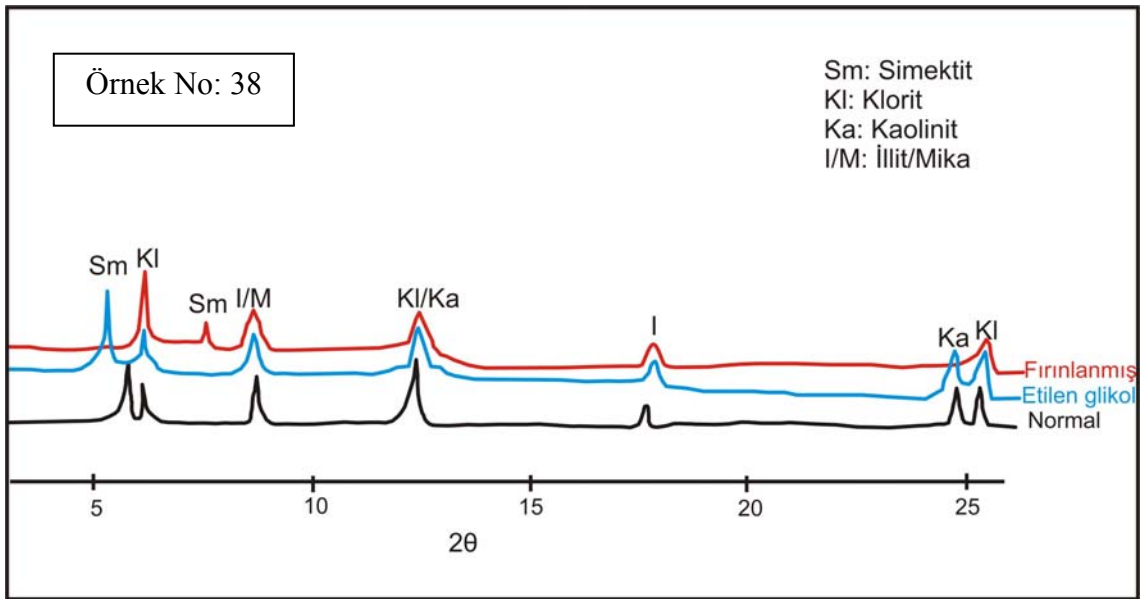
Hazırlanan örneklere bir dizi standart işlemler uygulamak suretiyle kil minerallerinin özellikle düşük 2θ (5-30) açılı bölgelerindeki kırınımında yapay değişimler meydana getirilmiştir. Özellikle karışık tabakalı karmaşık kil mineral gruplarının detay incelenmesi sırasında bu standart işlemlerin uygulanması kaçınılmazdır. Bu işlemler; etilen glikol ile muamele ve fırında $550^\circ C$ 'de en az 1 saat bekletmedir. Bu işlemlerden sonra yapılan XRD çekimlerinde görülen kil minerallerinin kırınım profillerinde meydana gelen değişimlere göre gereken değerlendirmeler yapılmıştır (Saka, 1997).

Marn örneklerine ait üç aşamalı XRD çekimleri sonuçları Şekil 6.3'de görülmektedir. Örnekler içerisinde kil mineralleri olarak; illit, smektit, klorit ve kaolinit tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda, marnın genel mineralojik ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Mineralojik analizler kuvarsın egemen olduğunu, kalsit, mika ve dolomit değerlerinin farklı olduğunu göstermiştir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre, gri ve kahverengi marn örnekleri arasında bir miktar farklılıklar olmakla birlikte, birbirlerine yakın değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Her iki grup örneklerde en fazla silisyum oksit olduğu tespit edilmiştir.



a)



b)

Şekil 6.3. Gri renkli a) 37 ve b) 38 numaralı marn örneklerine ait kil fraksiyonu X-İşınımı kırınımaları.

Ancak, hem XRF hem de XRD sonuçlarına göre elde edilen değerler tatmin edici bulunmamış ve marn örneklerindeki dayanım farklılıklarının sebebi, bu sonuçlara

göre istenilen düzeyde açıklanamamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın daha fazla örnek üzerinde yapılarak kapsamının genişletilmesi ve elde edilen sonuçların buna göre değerlendirilmesi uygun görülmüştür.

Bu amaçla, çalışma bölgelerinden alınan bloklardan elde edilen örnekler mineralojik ve kimyasal analize tabi tutulmuştur. Çizelge 6.3’de bölgeye ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.3. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesine ait XRF sonuçları.

| X-Ray Floresans Sonuçları (%) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|-------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------|--------------------------------|
| Pano | Blok No | CaO | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | K ₂ O | TiO ₂ | MnO | Fe ₂ O ₃ |
| BY-H | B-1 | 21.54 | 5.50 | 7.25 | 33.73 | 0.10 | 0.64 | 1.17 | 0.52 | 0.11 | 6.25 |
| | B-2 | 18.91 | 4.11 | 6.42 | 43.40 | 0.10 | 0.63 | 1.11 | 0.47 | 0.12 | 5.06 |
| | B-3 | 12.80 | 2.31 | 6.64 | 54.07 | 0.19 | 0.96 | 1.04 | 0.47 | 0.08 | 3.99 |
| | B-4 | 11.91 | 4.32 | 4.09 | 40.74 | 0.17 | 0.64 | 0.75 | 0.32 | 0.08 | 5.93 |
| 48C | 48C-1 | 8.29 | 3.73 | 6.23 | 52.10 | 0.18 | 0.51 | 0.90 | 0.42 | 0.27 | 8.76 |
| | 48C-2 | 11.81 | 3.89 | 4.51 | 48.57 | 0.13 | 1.03 | 0.64 | 0.33 | 0.15 | 6.82 |
| | 48C-3 | 9.61 | 4.49 | 7.60 | 46.93 | 0.11 | 0.93 | 1.08 | 0.47 | 0.16 | 8.29 |
| | 48C-4 | 6.05 | 5.43 | 4.98 | 51.82 | 0.12 | 0.59 | 0.72 | 0.36 | 0.43 | 9.84 |
| | 48C-5 | 8.88 | 5.11 | 7.00 | 51.45 | 0.15 | 0.45 | 1.11 | 0.41 | 0.38 | 7.39 |
| | 48C-6 | 8.05 | 4.55 | 5.58 | 34.40 | 0.10 | 0.43 | 0.67 | 0.36 | 0.62 | 9.27 |
| | 48C-7 | 17.21 | 2.16 | 3.91 | 48.55 | 0.07 | 1.64 | 0.50 | 0.27 | 0.11 | 4.12 |
| | 48C-8 | 13.92 | 5.43 | 6.60 | 48.16 | 0.10 | 0.36 | 1.07 | 0.45 | 0.13 | 5.88 |
| 48 | 48-1 | 21.35 | 3.04 | 3.35 | 44.55 | 0.12 | 1.60 | 0.56 | 0.29 | 0.14 | 4.71 |
| | 48-2 | 26.92 | 3.07 | 4.14 | 35.03 | 0.15 | 0.91 | 0.58 | 0.30 | 0.20 | 5.70 |
| | 48-3 | 23.74 | 3.32 | 3.23 | 37.66 | 0.12 | 1.60 | 0.48 | 0.25 | 0.18 | 4.88 |
| | 48-4 | 31.24 | 5.82 | 4.06 | 24.58 | 0.12 | 1.38 | 0.57 | 0.38 | 0.13 | 4.31 |
| | 48-5 | 17.02 | 2.54 | 5.15 | 43.43 | 0.15 | 1.02 | 0.74 | 0.36 | 0.24 | 5.69 |
| Ortalama | | 15.84 | 4.05 | 5.34 | 43.48 | - | - | - | - | - | 6.29 |
| Standart sapma | | 7.26 | 1.18 | 1.43 | 8.11 | - | - | - | - | - | 1.84 |

Çizelge 6.3’e göre, marn kaya malzemesi dayanımı üzerinde etkisi olabileceği düşünülen kalsiyum oksit (CaO) değerlerinin aynı panoya ait bloklarda bile farklı

değerlerde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kimyasal analiz sonuçlarında görülen kalsiyum oksit değerlerinin geniş aralıkta seyretmesi nedeniyle ve dayanımdaki etkisinin belirlenmesi amacıyla kalsiyum karbonat analizi yapılması da uygun görülmüştür.

Çalışma alanına ait marn kaya malzemesi X-ışınları kırınımı tüm kaya analizleri birbirinden farklı dayanım değerlerine sahip 9 blok örnek üzerinde gerçekleştirilmiş olup, her örneğe ait piklerin temsil ettiği mineral türünün belirlenmesinde hem uzman görüşüne başvurulmuş (S. Kadir, 2007; Z.A. Ergüler, 2007, sözlü görüşme) hem de literatürden yararlanılmıştır (Saka, 1997). Tüm kaya X-ışınları kırınımı grafiklerinin değerlendirilmesi sonucunda belirlenen minerallerin yarı-nicel yüzdeleri ise Gündoğdu (1982) tarafından önerilen yöntemle göre hesaplanmış ve analiz sonuçları Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi örneklerinin tüm kaya X-ışınları kırınım analiz sonuçları.

| Blok No | Karbonat Mineralleri (%) | | Kil Mineralleri (%) | Feldspat (%) | Kuars (%) | Mika (%) |
|----------------|--------------------------|---------|---------------------|--------------|-----------|----------|
| | Kalsit | Dolomit | | | | |
| B-1 | 25.94 | 1.84 | 35.49 | 2.98 | 7.35 | 26.40 |
| B-2 | 30.28 | 2.63 | 24.02 | 3.19 | 18.44 | 21.44 |
| B-4 | 16.75 | 2.88 | 31.65 | 4.67 | 20.50 | 23.55 |
| 48C-2 | 17.67 | 11.16 | 32.64 | 2.41 | 21.55 | 14.57 |
| 48C-5 | 14.44 | 12.75 | 37.31 | 3.10 | 15.75 | 16.65 |
| 48C-7 | 26.59 | 1.63 | 29.64 | 2.63 | 23.64 | 15.87 |
| 48-1 | 35.68 | 2.42 | 30.33 | 1.68 | 20.87 | 9.02 |
| 48-2 | 40.87 | 4.19 | 26.26 | 2.91 | 14.05 | 11.72 |
| 48-4 | 41.41 | 5.99 | 37.56 | 2.08 | 4.58 | 8.38 |
| Ortalama | 27.74 | 5.05 | 31.66 | 2.85 | 16.30 | 16.40 |
| Standart sapma | 10.20 | 4.15 | 4.69 | 0.85 | 6.59 | 6.33 |

X-ışınları kırınım analizlerinin tüm kaya aşamasında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bu kaya örneklerinde mevcut olan mineral türünün karbonat (kalsit-dolomit) ve kil mineralleri ile kuvars, mika ve feldispat mineralleri olduğu saptanmıştır.

Kayaç dayanımı üzerinde etkisi olduğu bilinen kil minerallerinin belirlenmesi amacıyla, detay kil analiz sonuçlarını gösteren X-ışınları kırınım grafiklerinden kil bileşeni çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlenmelerden elde edilen kil minerallerinin yarı-nicel değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi örneklerinin kil minerallerinin yarı-nicel değerlendirmesi sonuçları.

| Blok No | Kil Mineralleri (%) | | | |
|----------------|---------------------|-------|--------|---------|
| | Kaolinit | İllit | Klorit | Smektit |
| B-1 | 11.15 | 15.21 | - | 9.13 |
| B-2 | 8.45 | 6.67 | 8.90 | - |
| B-4 | 8.10 | 12.51 | 11.04 | - |
| 48C-2 | 11.56 | 11.71 | 9.37 | - |
| 48C-5 | 14.60 | 16.22 | - | 6.49 |
| 48C-7 | 15.60 | 9.36 | 4.68 | - |
| 48-1 | 7.63 | 11.45 | - | 11.25 |
| 48-2 | 8.75 | 6.57 | - | 10.94 |
| 48-4 | 9.86 | 8.27 | - | 19.43 |
| Ortalama | 10.63 | 10.89 | 8.50 | 11.45 |
| Standart sapma | 2.87 | 3.47 | 2.71 | 4.85 |

Çizelge 6.5’e göre, marn örneklerinde kaolinit ve illit gibi kil minerallerinin çoğunlukta olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bazı örneklerde de smektit ve klorit tipi kil mineralleri de tespit edilmiştir.

6.2. Soma Bölgesi Marn Kaya Malzemesinin Mineralojik ve Kimyasal Analizleri

Soma bölgesi çalışma alanlarına ait marn kaya malzemesinin mineralojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada özellikle dayanım değerlerinin yüksek çıkmasının sebeplerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, tüm örneklere kimyasal ve kalsiyum karbonat analizi ve birbirinden farklı 7 blok örnek için de mineralojik analizler yapılmıştır.

Soma bölgesi marn kaya malzemesine ait bloklardan alınan örneklerin kimyasal analiz (X-Işınları Floresans) sonuçları Çizelge 6.6'da görülmektedir.

Çizelge 6.6. Soma bölgesi marn kaya malzemesine ait XRF sonuçları.

| X-Ray Floresans Sonuçları (%) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------|-------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------|--------------------------------|
| Pano | Blok | CaO | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | K ₂ O | TiO ₂ | MnO | Fe ₂ O ₃ |
| Eynez | E-1 | 44.38 | 0.16 | 2.77 | 9.63 | 0.04 | 0.31 | 0.30 | 0.12 | 0.04 | 1.33 |
| | E-2 | 48.49 | 0.15 | 2.43 | 7.89 | 0.04 | 0.23 | 0.27 | 0.11 | 0.04 | 1.05 |
| | E-3 | 43.92 | 0.17 | 3.02 | 9.83 | 0.03 | 1.03 | 0.27 | 0.12 | 0.03 | 1.41 |
| | E-4 | 44.52 | 0.16 | 3.30 | 9.98 | 0.03 | 0.15 | 0.36 | 0.13 | 0.03 | 0.66 |
| | E-5 | 48.65 | 0.16 | 3.63 | 10.52 | 0.05 | 0.75 | 0.39 | 0.14 | 0.04 | 1.41 |
| Güney Kısrakdere | K-1 | 41.02 | 0.16 | 1.85 | 8.32 | 0.04 | 0.32 | 0.18 | 0.09 | 0.03 | 0.98 |
| | K-2 | 41.78 | 0.15 | 2.55 | 9.50 | 0.04 | 0.20 | 0.35 | 0.14 | 0.03 | 0.92 |
| Işıklar | I-1 | 45.99 | 0.15 | 3.27 | 9.21 | 0.03 | 0.60 | 0.33 | 0.13 | 0.03 | 0.89 |
| | I-2 | 47.01 | 0.17 | 2.30 | 7.05 | 0.03 | 0.52 | 0.15 | 0.09 | 0.02 | 0.84 |
| Deniş | D-1 | 51.01 | 0.16 | 0.79 | 3.85 | 0.03 | 0.65 | 0.01 | 0.05 | 0.03 | 0.58 |
| | D-2 | 52.28 | 0.14 | 0.77 | 4.08 | 0.03 | 0.65 | 0.01 | 0.05 | 0.02 | 0.50 |
| | D-3 | 49.81 | 0.15 | 1.30 | 7.35 | 0.04 | 1.01 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | 0.67 |
| | D-4 | 48.70 | 0.14 | 1.29 | 7.07 | 0.04 | 0.94 | 0.01 | 0.07 | 0.02 | 0.64 |
| | D-5 | 54.26 | 0.25 | 1.60 | 4.84 | 0.04 | 1.74 | 0.15 | 0.04 | 0.02 | 0.49 |
| Ortalama | | 47.27 | - | 2.21 | 7.79 | - | - | - | - | - | 0.88 |
| Standart sapma | | 3.90 | - | 0.95 | 2.22 | - | - | - | - | - | 0.32 |

Çizelge 6.6'da görüldüğü üzere Soma bölgesi marnlarının CaO değerleri oldukça yüksektir. Bu durumun dayanım değerlerinin yüksek çıkmasındaki en büyük etken olduğu düşünülmüştür.

Soma bölgesi çalışma alanlarına ait örneklerin tüm kaya X-Işınları kırınım analizi sonuçları Çizelge 6.7'de görülmektedir. Ayrıca, kil türünün belirlenmesinde yürütülen çalışmanın sonuçları da Çizelge 6.8'de verilmektedir.

Çizelge 6.7. Soma bölgesine ait örneklerin tüm kaya X-Işınları kırınım analiz sonuçları.

| Blok No | Karbonat Mineralleri (%) | | Kil Mineralleri (%) | Feldspat (%) | Kuars (%) | Mika (%) |
|----------------|--------------------------|---------|---------------------|--------------|-----------|----------|
| | Kalsit | Dolomit | | | | |
| E-2 | 76.60 | 1.55 | 10.09 | - | 3.32 | 8.44 |
| E-3 | 63.19 | 4.84 | 21.86 | 1.61 | 3.39 | 5.11 |
| K-1 | 72.33 | 2.24 | 17.06 | - | 2.51 | 5.86 |
| I-1 | 73.69 | 2.82 | 13.74 | - | 3.62 | 6.13 |
| I-2 | 70.26 | 1.86 | 17.62 | 1.50 | 2.11 | 6.65 |
| D-1 | 76.27 | 2.79 | 13.58 | - | 1.30 | 6.06 |
| D-3 | 75.10 | 0.94 | 16.50 | - | 1.32 | 6.14 |
| Ortalama | 72.49 | 2.43 | 15.78 | 1.56 | 2.51 | 6.34 |
| Standart sapma | 4.67 | 1.25 | 3.74 | 0.08 | 0.97 | 1.03 |

Çizelge 6.8. Soma bölgesine ait örneklerdeki kil minerallerinin yarı-nicel değerlendirmesi.

| Blok No | Kil Mineralleri (%) | | |
|----------------|---------------------|-------|---------|
| | Kaolinit | İllit | Smektit |
| E-2 | 3.92 | 2.80 | 3.37 |
| E-3 | 6.34 | 6.02 | 9.50 |
| K-1 | 5.19 | 4.94 | 6.93 |
| I-1 | 5.97 | 3.78 | 3.99 |
| I-2 | 4.74 | 6.77 | 6.11 |
| D-1 | 4.61 | 4.61 | 4.36 |
| D-3 | 5.05 | 4.71 | 6.74 |
| Ortalama | 5.12 | 4.80 | 5.86 |
| Standart sapma | 0.82 | 1.32 | 2.13 |

Buna göre, çalışma alanlarına ait marnın X-Işını kırınım analizi tüm kaya çözümlmelerine göre, kalsit minerallerinin egemen olduğu belirlenmiştir. Ayrıca; kil, kuvars, mika ve dolomit mineralleri de örneklerde tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmaya göre, Soma bölgesi marn kaya malzemesinin dayanımının yüksek çıkmasındaki en büyük etkenin; kalsit değerlerinin yüksek, kil oranının düşük olmasından kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır.

6.3. Kalsiyum Karbonat Analizi

Marn, bünyesindeki kil ve karbonat içeriğine göre tanımlanan sedimanter bir kayadır (Bkz. Şekil 1.1). Bu tanıma göre, çalışma bölgelerine ait marnın kalsiyum karbonat (CaCO_3) analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçların kayaç dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, CaCO_3 analizi ve detay kil analizi sonuçlarından elde edilen değerlerden, marnın çalışma bölgeleri için tanımlaması da yapılmıştır.

Kalsiyum karbonat analizi kayacın tanımlanması ve dayanımı üzerindeki etkisinin belirlenmesinde önemli bir parametredir (Khamehchiyan et.al, 1994; Lamas et.al., 2002).

Çalışma bölgelerine ait marn karot örnekler üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda, kaya malzemesinin yüksek dayanım değerlerine sahip olmasının kalsiyum karbonat içeriğinden kaynaklanmış olabileceği düşüncesiyle, dayanım üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla böyle bir çalışma yapılması uygun görülmüştür.

Kalsiyum karbonat analizi için, çalışma bölgelerine ait bloklardan alınan örnekler öğütülerek deneye hazır hale getirilmiştir. Daha sonra, %38'lik HCl (hidroklorik asit) kullanılarak hazırlanan %5'lik 25 ml HCl çözeltisi içerisine (R. Bozkurt, 2007, sözlü görüşme), etüvde 50°C ' de 12 saat bekletilerek kurutulmuş 1 gram örnek ilave edilmiştir. Hazırlanan süspansiyon manyetik karıştırıcıda 30 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra süspansiyon, önceden ağırlığı bilinen filtre kâğıdından

süzüldükten sonra, 50°C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 2 saat süreyle kurutulmuştur. Filtre kağıdı üzerinde kuruyan örnekler etüvden alındıktan sonra, havadan nem almadan soğumaları için desikatöre konulmuştur. Örnekler desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra hassas terazide ölçümleri alınmıştır (Çınar, 2005). Deney başlangıcındaki kuru ağırlık değerinden, analiz sonrası elde edilen ağırlık çıkarılarak örneklerin CaCO₃ yüzdeleri bulunmuştur (Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10). Deneyler her gruba ait örnek üzerinde üç kez tekrarlanıp ortalaması alınmıştır (Ek-8).

Çizelge 6.9. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesine ait örneklerin CaCO₃ değerleri

| Örnekleme alanı | Blok No | CaCO ₃ değerleri (%) |
|-----------------|---------|---------------------------------|
| BY-H pano | B-1 | 35.2 |
| | B-2 | 30.6 |
| | B-3 | 21.7 |
| | B-4 | 20.3 |
| 48C pano | 48C-1 | 22.2 |
| | 48C-2 | 27.3 |
| | 48C-3 | 23.3 |
| | 48C-4 | 15.7 |
| | 48C-5 | 17.8 |
| | 48C-6 | 18.1 |
| | 48C-7 | 30.5 |
| | 48C-8 | 22.6 |
| 48 pano | 48-1 | 36.1 |
| | 48-2 | 38.5 |
| | 48-3 | 42.7 |
| | 48-4 | 49.6 |
| | 48-5 | 34.2 |
| Ortalama | | 28.6 |
| Standart sapma | | 9.7 |

Çizelge 6.10. Soma bölgesi marn kaya malzemesine ait örneklerin CaCO₃ değerleri

| Örnekleme alanı | Örnek No | CaCO ₃ değerleri (%) |
|-------------------|----------|---------------------------------|
| Eynez | E-1 | 72.0 |
| | E-2 | 71.7 |
| | E-3 | 54.9 |
| | E-4 | 61.0 |
| | E-5 | 61.1 |
| Güney Kısırakdere | K-1 | 61.6 |
| | K-2 | 66.7 |
| Işıklar | I-1 | 62.2 |
| | I-2 | 60.2 |
| Deniş | D-1 | 64.4 |
| | D-2 | 64.3 |
| | D-3 | 61.1 |
| | D-4 | 60.3 |
| | D-5 | 62.8 |
| Ortalama | | 63.2 |
| Standart sapma | | 4.5 |

Analiz sonrası elde edilen CaCO₃ (Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10) ve tüm kaya X-Işınları kırınımı analiz değerlerinden (Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.7), çalışma alanlarına ait marn kaya malzemesinin tanımlamasına göre (Erguvanlı, 1983; Ghazvinian. et al., 2007); Tunçbilek bölgesinde marn-kil, killi marn ve marn birimleri; Soma bölgesinde ise kalkerli marn ve marn birimleri tespit edilmiştir.

BÖLÜM 7

KAYA MALZEMESİ ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Çalışma bölgelerine ait marn kaya malzemesi dayanım özelliklerinin kendi aralarındaki ile mineralojik ve kimyasal analiz sonuçları arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla, Microsoft Excel programı kullanılarak basit (doğrusal, üssel, logaritmik) regresyon analizleri yapılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak anlamlılıklarına göre değerlendirilmiştir. Aşağıda sıralanan başlıklar altında veriler arası ilişkilere bakılmıştır:

- Üç eksenli basınç dayanımına bağlı kaya malzemesi özellikleri ve aralarındaki ilişkiler,
- Mineralojik ve kimyasal özelliklerin kaya malzemesi dayanım özellikleri üzerindeki etkisi,
- Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile kaya malzemesi dayanım özellikleri arasındaki ilişki,
- Nemlilik-dayanım ilişkisi.

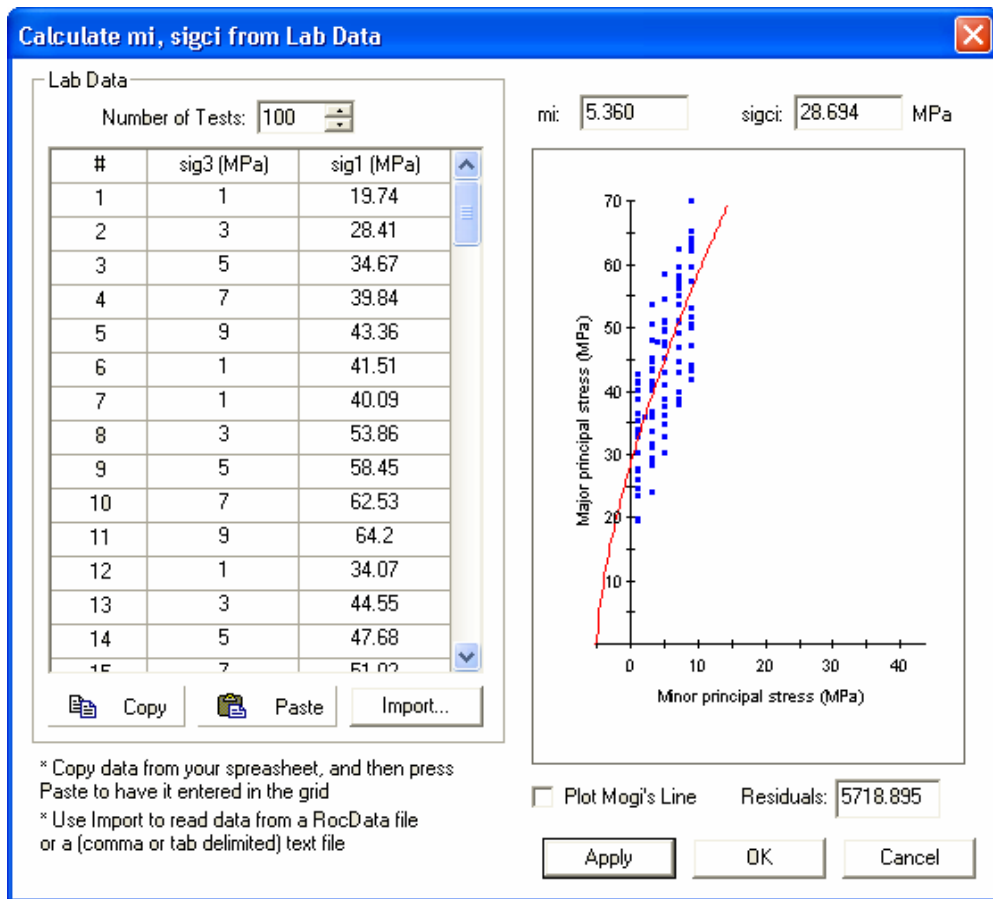
Kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerine göre kaya malzemesi dayanımını tanımlayabilmek için ayrıca sayısal modelleme analizlerine gerek duyulmuştur.

7.1. Üç Eksenli Basınç Dayanımına Bağlı Kaya Malzemesi Özellikleri ve Aralarındaki İlişkiler

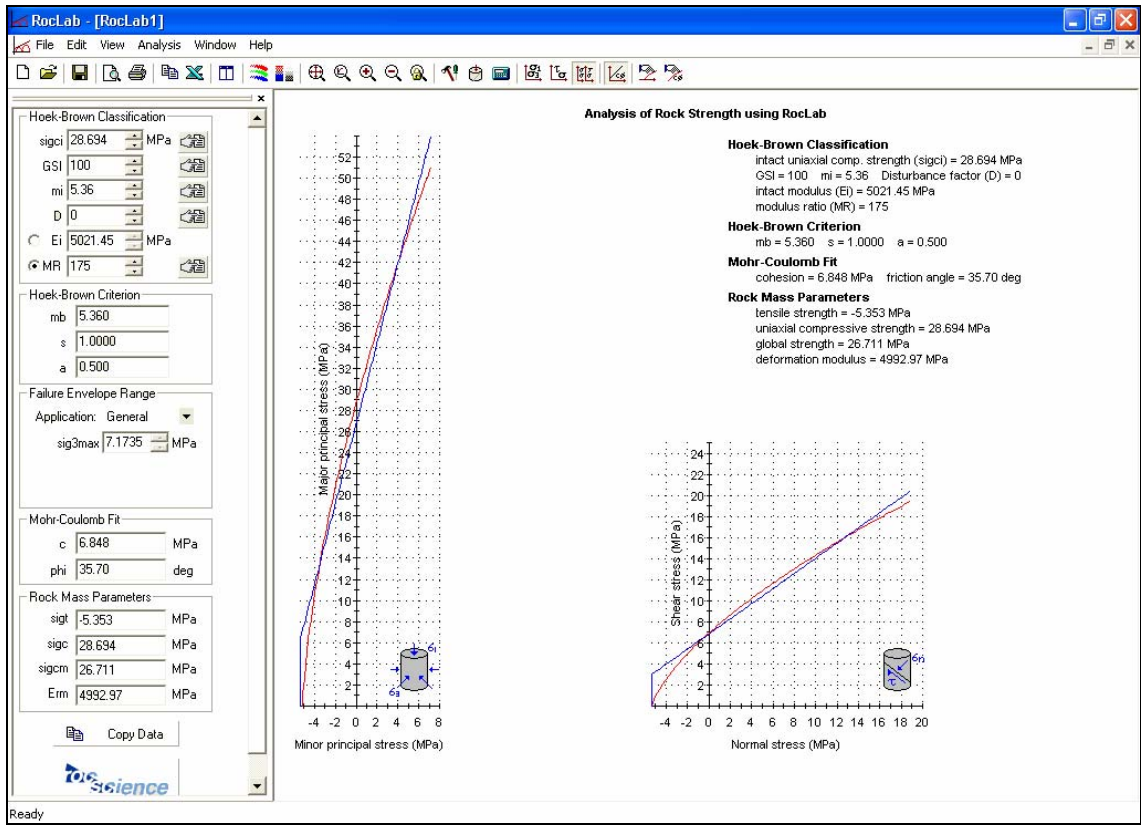
Çalışma bölgelerine ait marn kaya malzemesi üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından; Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ve m_i sabiti, Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre ise kohezyon (c) ve

içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri RocLab paket programı (RocLab, 2007) kullanılarak hesaplanmıştır.

RocLab programında, üç eksenli basınç deney sonuçlarından en büyük asal gerilme (σ_1) ve en küçük asal gerilme (σ_3) değerleri Şekil 7.1'deki gibi programa girilerek kaya malzemesi Hoek-Brown yenilme ölçütü parametreleri belirlenebilmektedir. Sağlam kaya malzemesi için kohezyon ve içsel sürtünme açısı programda jeolojik dayanım indeksi değeri $GSI=100$ alınarak belirlenebilmektedir (Şekil 7.2).



Şekil 7.1. RocLab paket programına üç eksenli basınç deney sonuçlarının girilişi ve sağlam kaya malzemesi Hoek-Brown yenilme ölçütü parametrelerinin belirlenmesi.



Şekil 7.2. RocLab paket programı ile sağlam kaya malzemesi Mohr-Coulomb yenilme ölçütü parametrelerinin belirlenmesi.

Doğal ortam şartlarına göre laboratuvarında koşullandırılmış marn kaya malzemesi örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiş olan üç eksenli basınç deney sonuçları Ek-1 ve Ek-2'de yer almaktadır. RocLab paket programı ile hesaplanmış olan G.L.İ. Tunçbilek ve E.L.İ. Soma bölgesine ait her bir bloğun yenilme ölçütü parametreleri Çizelge 7.1'de bir arada verilmiştir. Ayrıca, Tunçbilek bölgesi ve Soma bölgesi için aritmetik ortalamalar ile bu bölgeler için ayrı ayrı koşullandırılmış örneklerin üç eksenli basınç deney sonuçlarının tümünün RocLab programına girilmesiyle elde edilmiş ortalama değerlere yer verilmiştir.

Çizelge 7.1. Çalışma bölgelerine ait marn kaya malzemesinin üç eksenli basınç deney sonuçlarına göre yenilme ölçütü parametreleri.

| Tunçbilek Bölgesi Üç Eksenli Deney Sonuçlarına Göre Yenilme Ölçütü Parametreleri | | | | | | Soma Bölgesi Üç Eksenli Deney Sonuçlarına Göre Yenilme Ölçütü Parametreleri | | | | | |
|--|---------|--------------|------------|---------------------|----------------|---|---------|--------------|------------|---------------------|-------|
| Pano | Blok No | Mohr-Coulomb | | Hoek-Brown | | Pano | Blok No | Mohr-Coulomb | | Hoek-Brown | |
| | | c (MPa) | ϕ (°) | σ_{ci} (MPa) | m_i | | | c (MPa) | ϕ (°) | σ_{ci} (MPa) | m_i |
| BY-H | B-1KL | 3.71 | 38.35 | 16.55 | 6.68 | Eynez | E-1SD | 21.05 | 43.42 | 105.39 | 10.44 |
| | B-2KL | 9.37 | 35.68 | 39.24 | 5.35 | | E-2SD | 20.61 | 44.14 | 104.75 | 11.16 |
| | B-3KL | 7.81 | 34.85 | 32.03 | 5.00 | | E-3SD | 10.84 | 41.30 | 51.84 | 8.62 |
| | B-4KL | 6.37 | 35.76 | 26.74 | 5.39 | | E-4SD | 14.11 | 43.71 | 71.08 | 10.73 |
| 48-C | 48C-1KL | 7.37 | 37.50 | 32.24 | 6.22 | | E-5SD | 19.89 | 35.76 | 83.44 | 5.38 |
| | 48C-2KL | 7.22 | 39.26 | 32.93 | 7.22 | Güney Kısrakdere | K-1SD | 18.29 | 39.45 | 83.86 | 7.34 |
| | 48C-3KL | 6.73 | 36.97 | 29.07 | 5.95 | | K-2SD | 17.12 | 43.79 | 86.41 | 10.81 |
| | 48C-4KL | 5.38 | 35.76 | 22.55 | 5.39 | Işıklar | I-1SD | 15.07 | 47.91 | 82.05 | 16.14 |
| | 48C-5KL | 6.02 | 33.14 | 23.68 | 4.36 | | I-2SD | 14.07 | 39.94 | 65.21 | 7.65 |
| | 48C-6KL | 5.26 | 32.45 | 20.35 | 4.13 | Deniş | D-1SD | 16.79 | 52.00 | 96.05 | 25.05 |
| | 48C-7KL | 8.89 | 34.53 | 36.19 | 4.87 | | D-3SD | 16.43 | 40.60 | 77.32 | 8.11 |
| | 48C-8KL | 6.72 | 37.28 | 29.25 | 6.11 | Aritmetik ortalama | | 16.75 | 42.91 | 82.49 | 11.04 |
| 48 | 48-1KL | 10.40 | 32.05 | 39.83 | 4.00 | Standart sapma | | 3.13 | 4.37 | 16.18 | 5.43 |
| | 48-2KL | 7.43 | 36.39 | 31.66 | 5.67 | Aritmetik ortalama | | 16.75 | 42.91 | 82.49 | 11.04 |
| | 48-3KL | 5.71 | 36.56 | 24.42 | 5.75 | Standart sapma | | 3.13 | 4.37 | 16.18 | 5.43 |
| | 48-4KL | 3.22 | 38.64 | 14.47 | 6.84 | Aritmetik ortalama | | 16.75 | 42.91 | 82.49 | 11.04 |
| | 48-5SD | 4.05 | 40.31 | 18.91 | 7.90 | Standart sapma | | 3.13 | 4.37 | 16.18 | 5.43 |
| | 48-6SD | 6.35 | 38.84 | 28.71 | 6.96 | Aritmetik ortalama | | 16.75 | 42.91 | 82.49 | 11.04 |
| 48-7SD | 6.35 | 41.36 | 30.43 | 8.67 | Standart sapma | | 3.13 | 4.37 | 16.18 | 5.43 | |
| Aritmetik ortalama | | 6.54 | 36.62 | 27.86 | 5.92 | RocLab | | 16.33 | 43.76 | 82.37 | 10.78 |
| Standart sapma | | 1.85 | 2.55 | 7.20 | 1.25 | RocLab | | 16.33 | 43.76 | 82.37 | 10.78 |
| RocLab | | 6.85 | 35.70 | 28.69 | 5.36 | RocLab | | 16.33 | 43.76 | 82.37 | 10.78 |

Çizelge 7.1’de verilen aritmetik ortalama değerleri ağırlıklı ortalamayı yansıtmamaktadır. Aritmetik ortalamaya göre daha anlamlı olan ağırlıklı ortalamanın belirlenememiş olmasının sebepleri; her bir bloktaki yapının arazideki yaygınlığının belirlenememiş olması, kaya kütlesi içerisindeki değişimin sistematik olmayışı ve gözlemsel olarak yapıların birbirinden ayırt edilmesindeki tanımlama güçlükleridir. Bu durumda, deney sonuçlarının tümüne göre olan Hoek-Brown yenilme ölçütü eğrisinden elde edilmiş değerler daha anlamlı olmaktadır.

Soma bölgesi marınları sık aralıklı çatlaklı bir yapıya sahip olup, bu çatlakların arası kalsit dolgu ile kaplıdır (Bkz. Şekil 4.7). Kalsit dolgunun üç eksenli basınç dayanımı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiş deney sonuçlarından (Ek-5) RocLab programı ile yenilme ölçütü parametreleri hesaplanmış ve elde edilen değerler Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Soma bölgesi Deniz açık ocaklarına ait farklı yönelimlerdeki kalsit dolgulu yapının kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerine etkisi.

| Blok No | Tabakalanmaya göre dolgu eğimi | Dolgunun tanımı | Mohr-Coulomb | | Hoek-Brown | | |
|----------|--------------------------------|-----------------|--------------|---------|---------------------|-------|-------|
| | | | ϕ (°) | c (MPa) | σ_{ci} (MPa) | m_i | |
| I-Grup | D-1SD | Paralel | Dolgunsuz | 52.00 | 16.79 | 96.05 | 25.05 |
| | D-2SD | Paralel | Kalın | 47.79 | 18.04 | 98.00 | 15.94 |
| II-Grup | D-3SD | Dik | Dolgunsuz | 40.60 | 16.43 | 77.32 | 8.11 |
| | D-4SD | Dik | İnce | 32.10 | 23.90 | 91.64 | 4.01 |
| | D-5SD | Dik | Kalın | 42.77 | 12.99 | 64.17 | 9.84 |
| Ortalama | | | | 43.99 | 17.13 | 86.82 | 11.01 |

Çizelge 7.2’de verilen I. grup örneklere ait deney sonuçlarından; kalsit dolgulu çatlaklı yapının tabakalanmaya paralel ve kalın olması durumunda, dolgunsuz örneğe göre, tek eksenli basınç dayanımını (σ_{ci}) ve kohezyonu (c) az da olsa arttırdığı belirlenmiştir. En önemli farklılık m_i değerinde görülmektedir. II. grup örneklere ait sonuçlara göre ise, tabakalanmaya dik ince kalsit dolgulu yapı, dolgunsuz örneklere göre tek eksenli basınç dayanımı ve kohezyonda artışa, m_i ve içsel sürtünme açısından

azalmaya neden olmuştur. Dolgunun nispeten daha kalın olması durumunda, tam tersine bir ilişki görülmekte, tek eksenli basınç dayanımı ve kohezyon azalırken, m_i ve içsel sürtünme açısı artmaktadır.

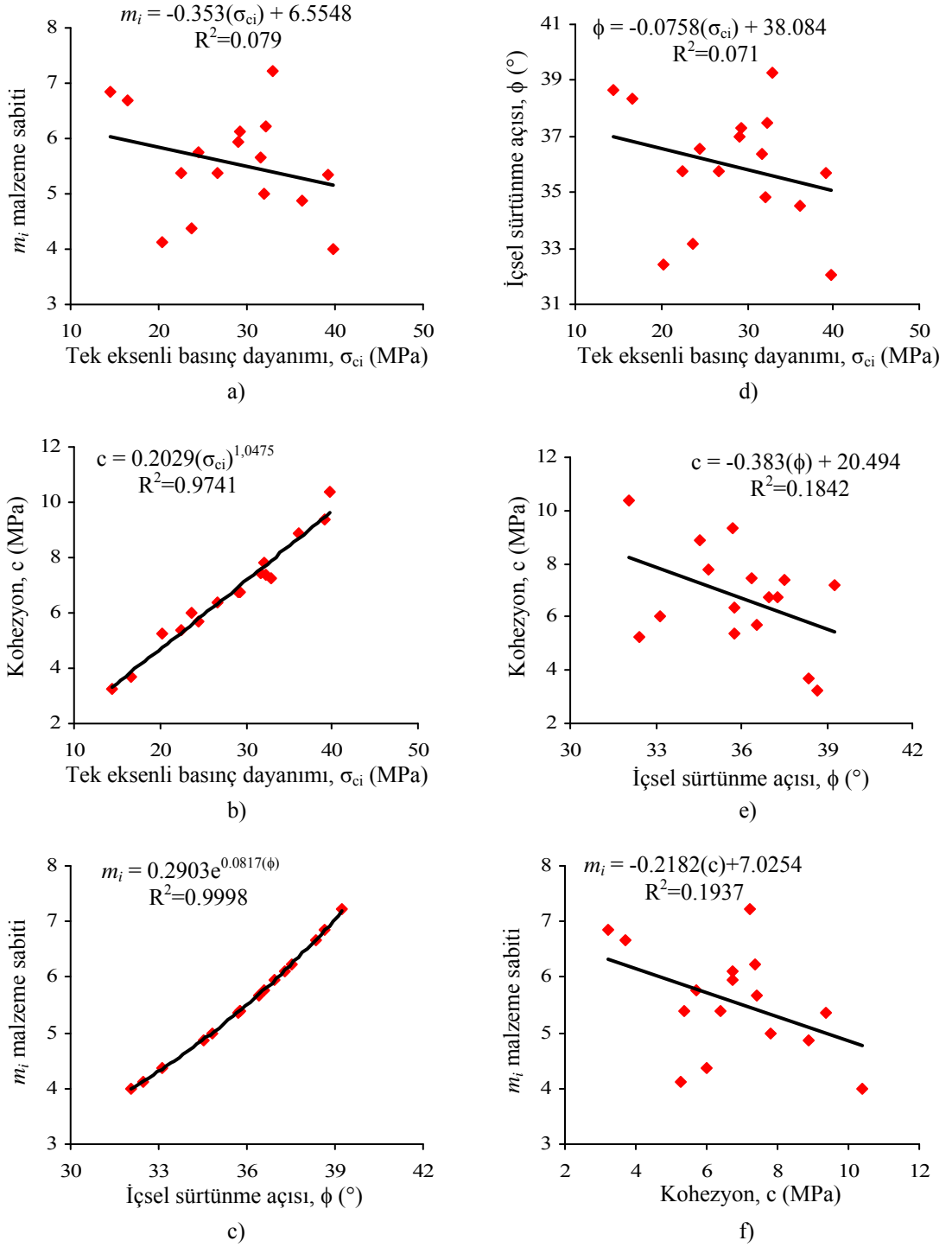
Arazi çalışmaları ve örnekler üzerindeki gözlemlerde, dolgu kalınlığı arttıkça çatlak aralıklarını kalsit dolgunun tam olarak doldurmadığı, yer yer boşluklar olduğu görülmüştür. Bu boşlukların dayanım değerlerinde düşürücü rol oynayabileceği, ince dolgulu çatlaklarda çatlak yüzeylerinin birbirine daha yakın olması ve arasındaki boşluğun hemen hemen tam dolu olmasının da makaslama dayanımını artıracığı düşünülmüştür. Genel olarak bakıldığında ise, Çizelge 7.2'deki ortalama değerlerin Çizelge 7.1'deki değerlerle oldukça yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, kalsit dolgunun kaya malzemesi dayanımını etkilemediği söylenebilir.

G.L.İ. ve E.L.İ. linyit havzalarına yönelik yeraltı madencilik tasarımları için sağlam kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri belirlenirken ana kütle temsil edebilen ve doğal ortam şartlarını yansıtan değerlerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

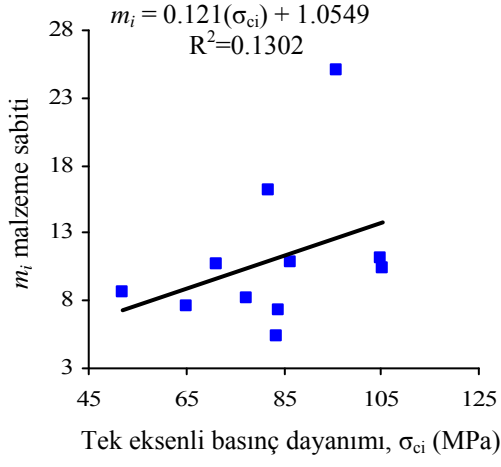
Sonuç olarak, Tunçbilek bölgesi marınları için tek eksenli basınç dayanımı 28.69 MPa, m_i malzeme sabiti 5.36, kohezyon 6.85 MPa ve içsel sürtünme açısı 35.70° ve Soma bölgesi marınları için tek eksenli basınç dayanımı 82.37 MPa, m_i malzeme sabiti 10.78, kohezyon 16.33 MPa ve içsel sürtünme açısı 43.76° olarak belirlenmiştir.

7.1.1. Yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki

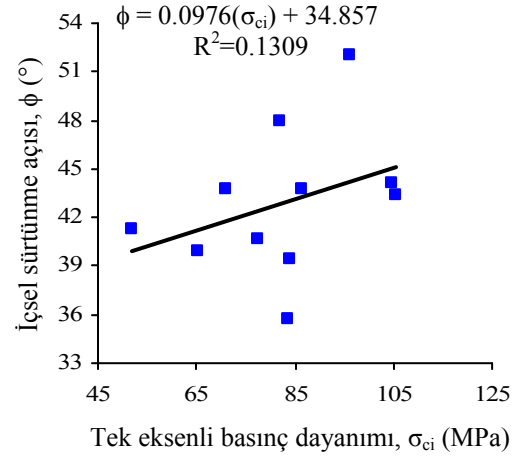
Çalışma bölgelerine ait üç eksenli deney sonuçlarından elde edilen yenilme ölçütü parametreleri istatistiksel olarak karşılaştırılmış ve tek eksenli basınç dayanımı ile kohezyon ve m_i malzeme sabiti ile de içsel sürtünme açısı arasında anlamlı ve yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler elde edilmiştir. Buna göre, tek eksenli basınç dayanımının artması ile kohezyon (Şekil 7.3b ve 7.4b), içsel sürtünme açısının artması ile de m_i malzeme sabiti artmaktadır (Şekil 7.3c ve 7.4c). Diğer yenilme ölçütü parametreleri arasında anlamlı bir ilişki elde edilmemiştir.



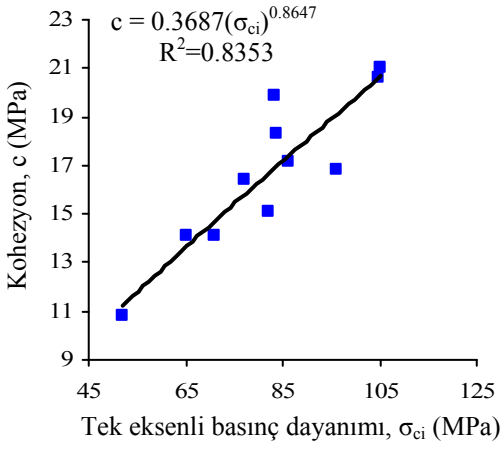
Şekil 7.3. Tunçbilek bölgesi marl kaya malzemesinin, üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilen yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki.



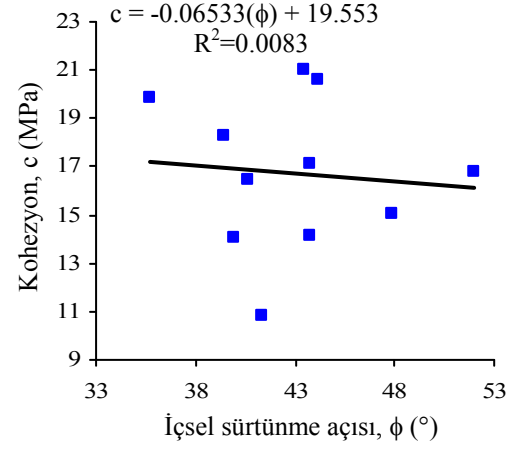
a)



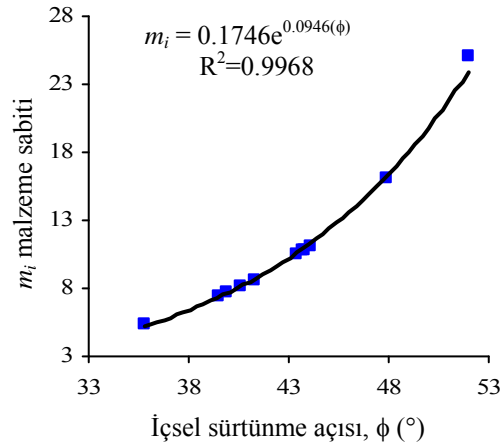
d)



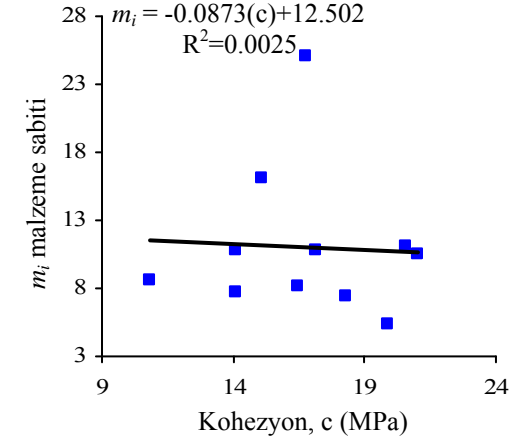
b)



e)



c)



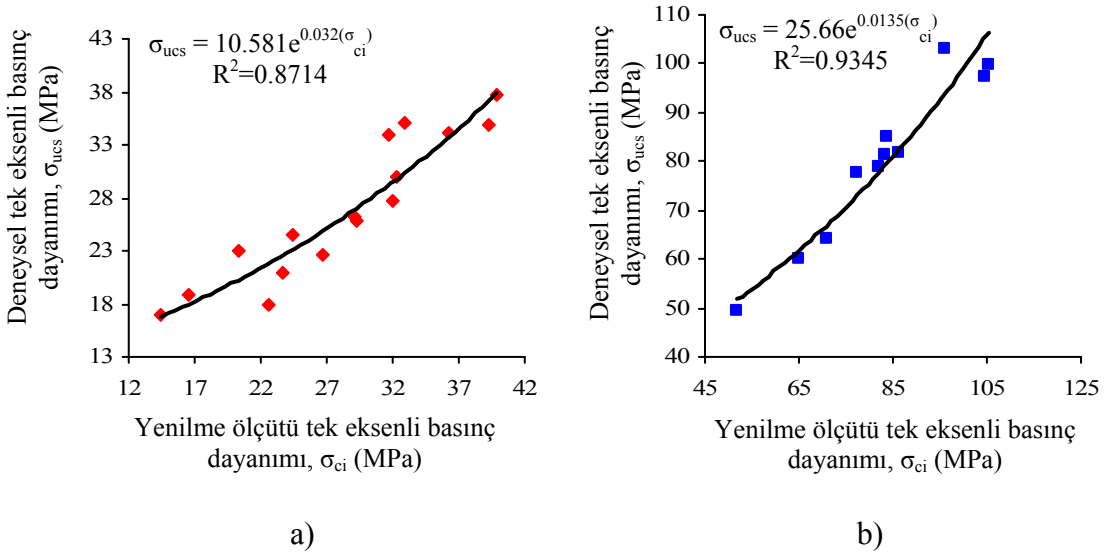
f)

Şekil 7.4. Soma bölgesi marn kaya malzemesinin, üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilen yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki.

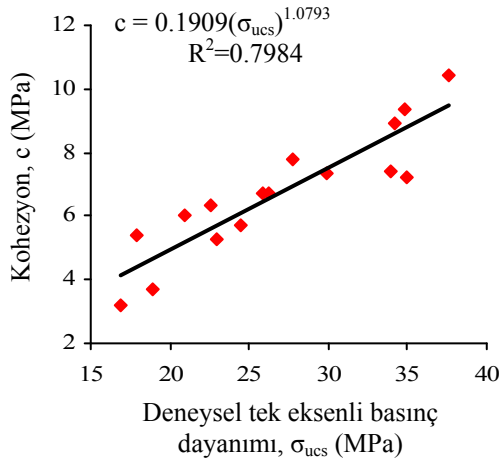
7.2. Üç Eksenli Basınç Dayanımına Bağlı Kaya Malzemesi Yenilme Ölçütü Parametreleri İle Dayanım Özellikleri Arasındaki İlişki

7.2.1. Kaya malzemesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki

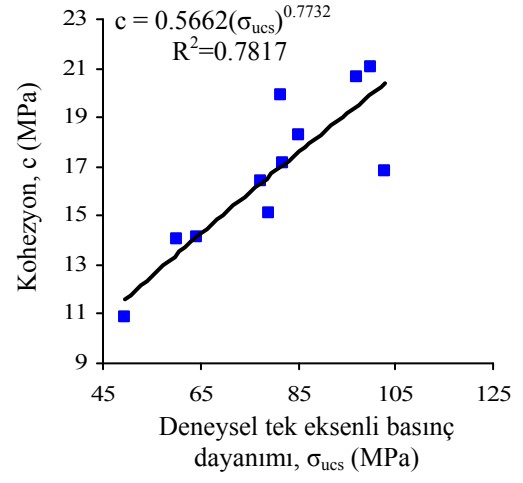
Çalışma bölgelerine ait üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilen yenilme ölçütü parametreleri ile deneysel olarak belirlenen tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelendiğinde, yenilme ölçütü tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ile deneysel tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ucs}) (Şekil 7.5a ve 7.5b) ve kohezyon (c) ile de deneysel tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ucs}) (Şekil 7.6a ve 7.6d) arasında anlamlı ve yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler elde edilmiştir.



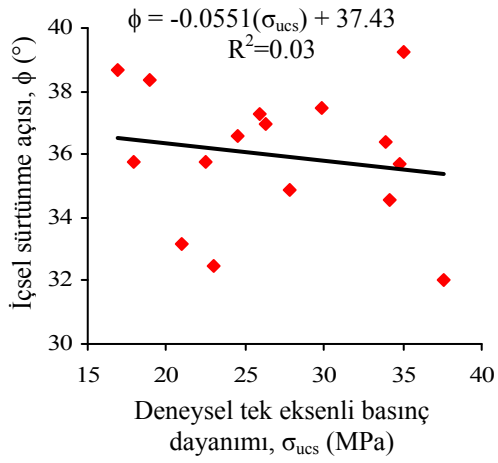
Şekil 7.5. a) Tunçbilek bölgesi ve b) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ile deneysel tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ucs}) arasındaki ilişki.



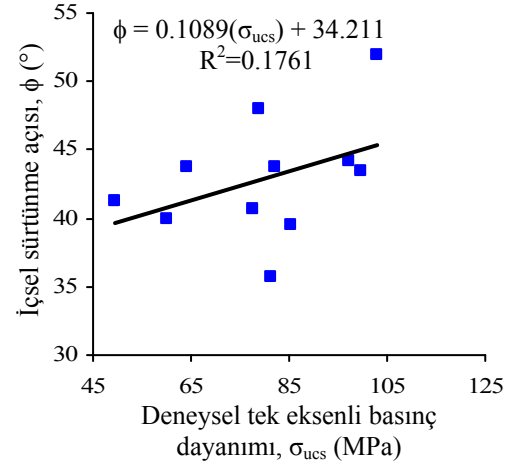
a)



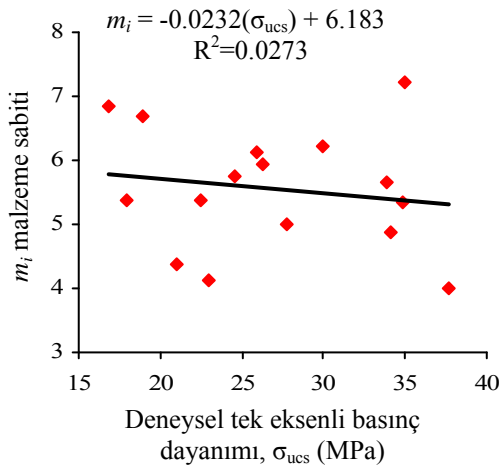
d)



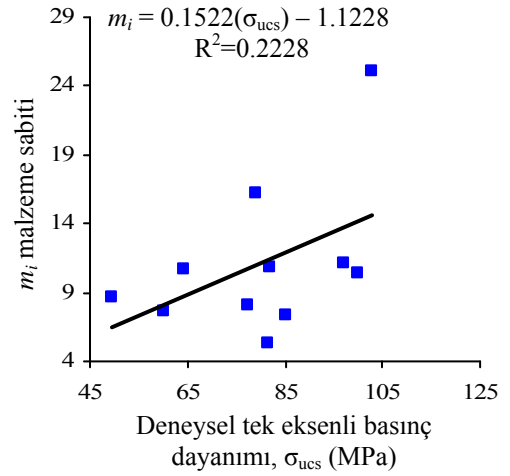
b)



e)



c)

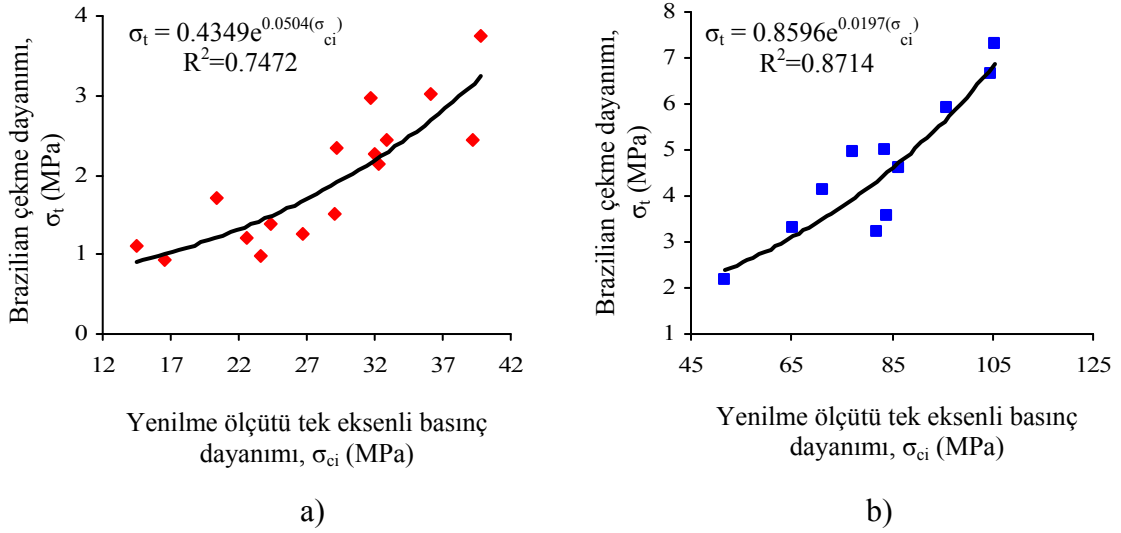


f)

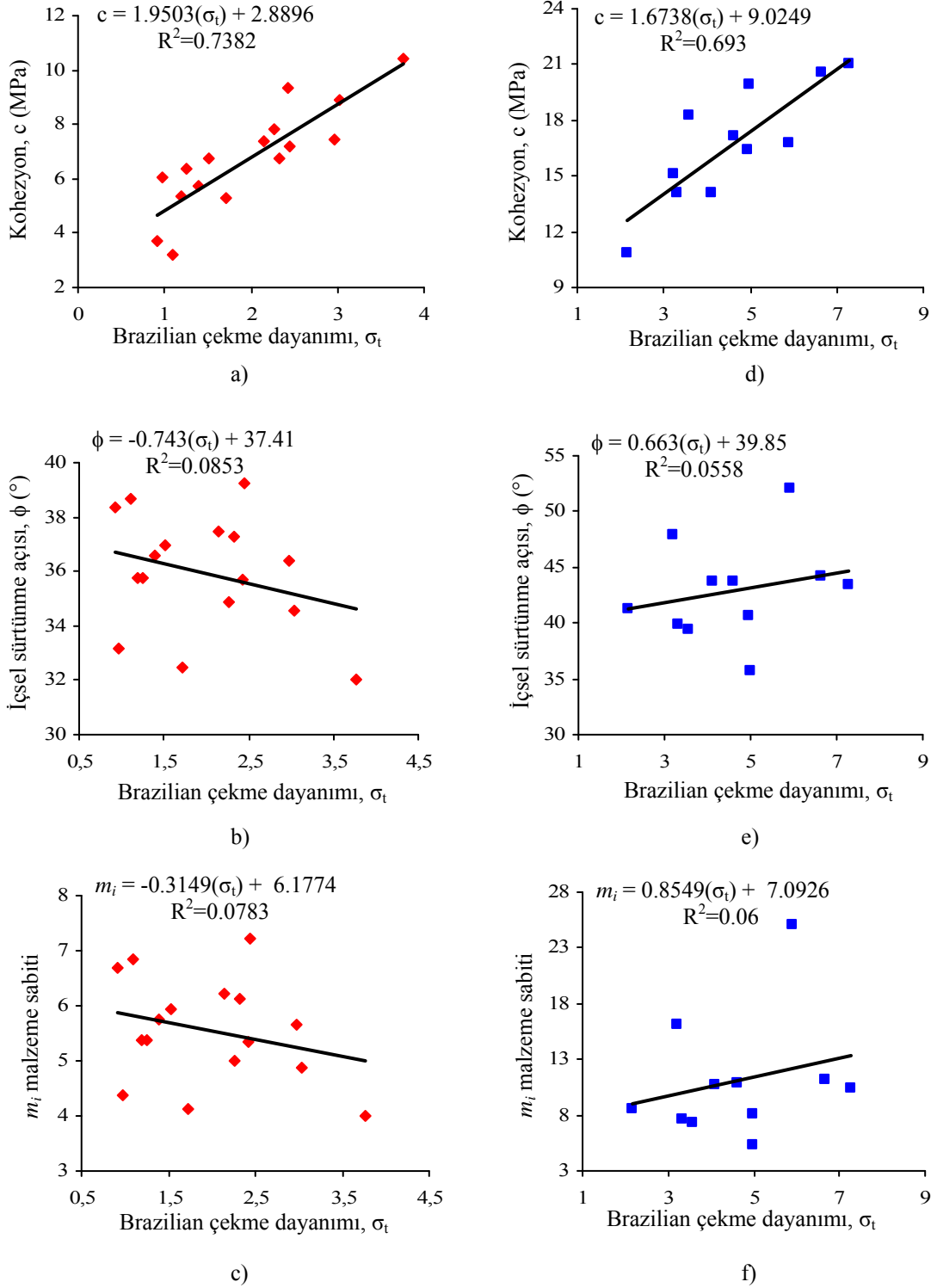
Şekil 7.6. (a, b, c) Tunçbilek ve (d, e, f) Soma bölgesi marın kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri ile deneysel tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki.

7.2.2. Kaya malzemesi Brazilian çekme dayanımı ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki

Yenilme ölçütü parametreleri ile Brazilian çekme dayanımı arasındaki ilişki incelendiğinde, yenilme ölçütü tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ile Brazilian çekme dayanımı (σ_t) (Şekil 7.7a ve 7.7b) ve kohezyon (c) ile de Brazilian çekme dayanımı (σ_t) (Şekil 7.8a ve 7.8d) arasında anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır.



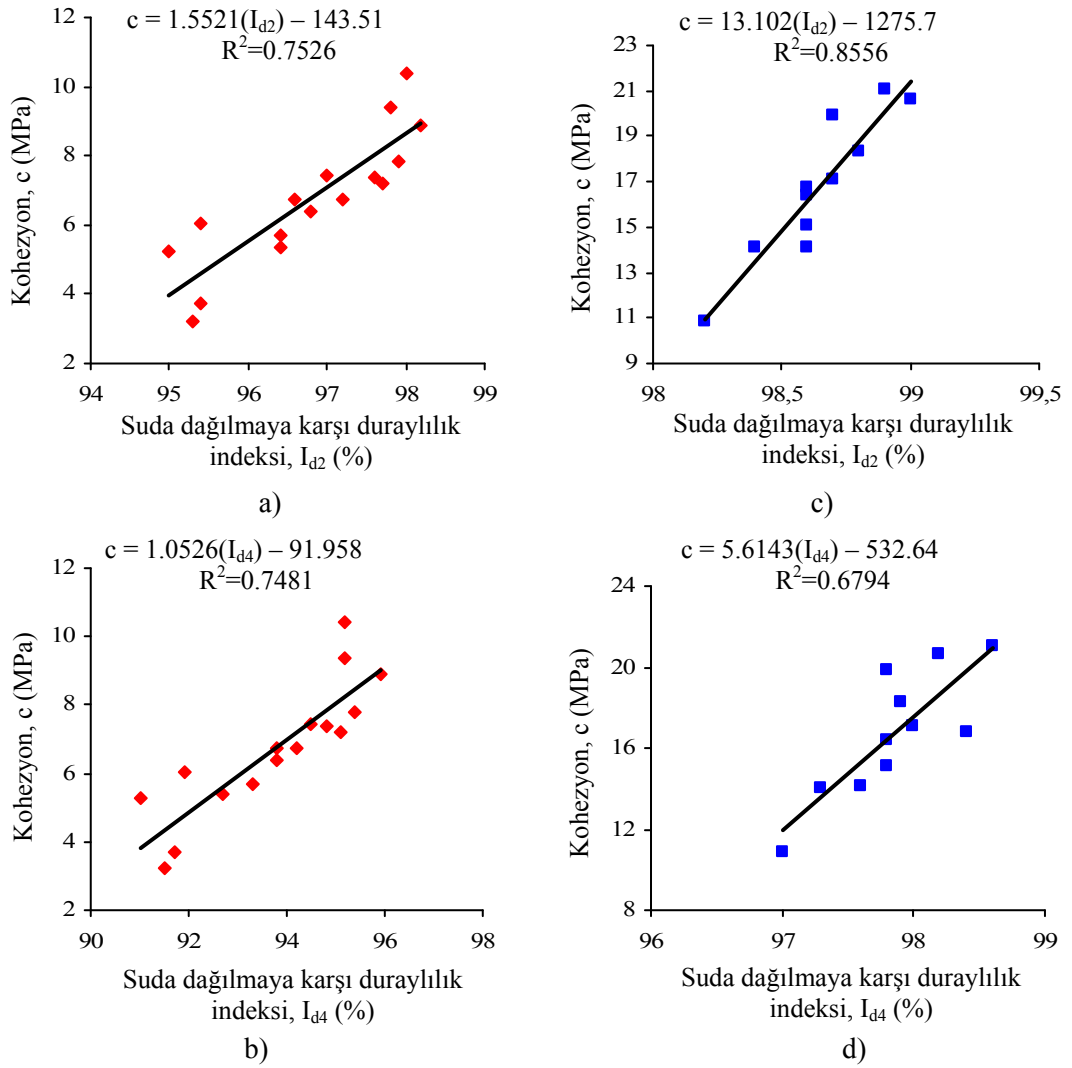
Şekil 7.7. a) Tunçbilek bölgesi ve b) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ile Brazilian çekme dayanımı (σ_t) arasındaki ilişki.



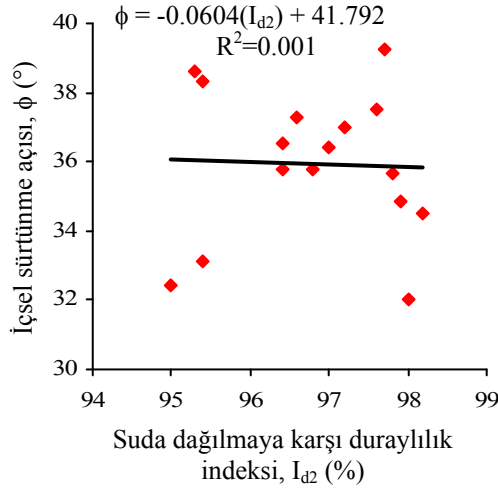
Şekil 7.8. (a, b, c) Tunçbilek ve (d, e, f) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri ile Brazilian çekme dayanımı arasındaki ilişki.

7.2.3. Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki

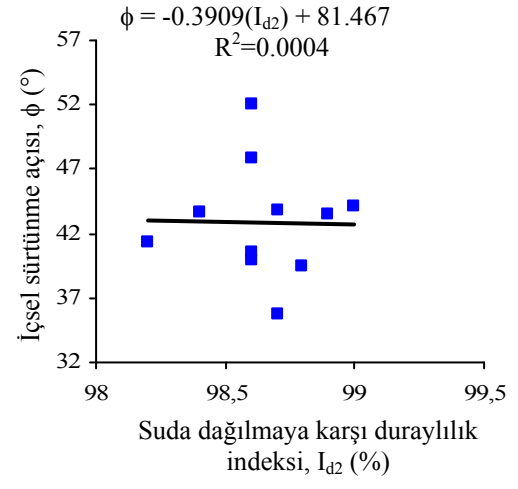
Yenilme ölçütü parametreleri ile suda dağılılabirlik arasındaki ilişkiye göre, yenilme ölçütü tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}) ve kohezyon (c) arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.9 ve 7.12). Buna göre, suda dağılılabirliği az olan örneklerin kohezyon ve tek eksenli basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.



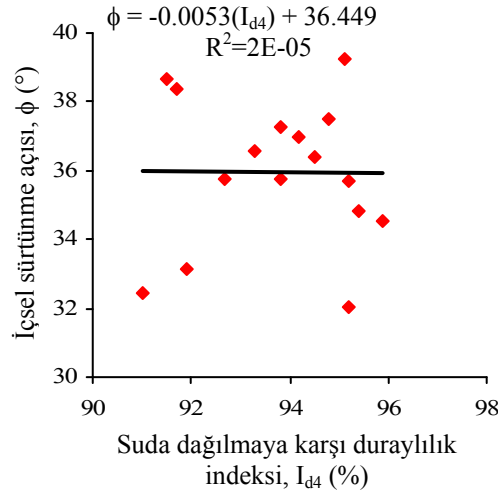
Şekil 7.9. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki.



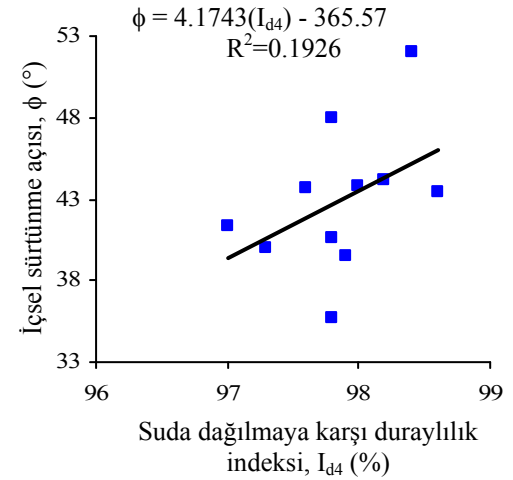
a)



c)

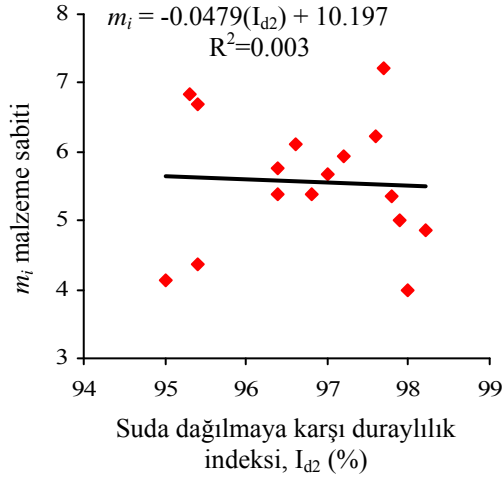


b)

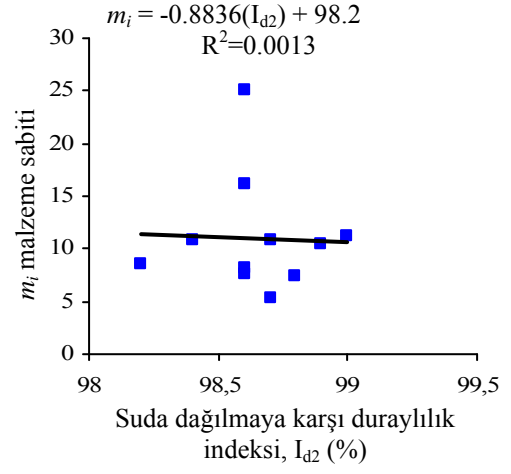


d)

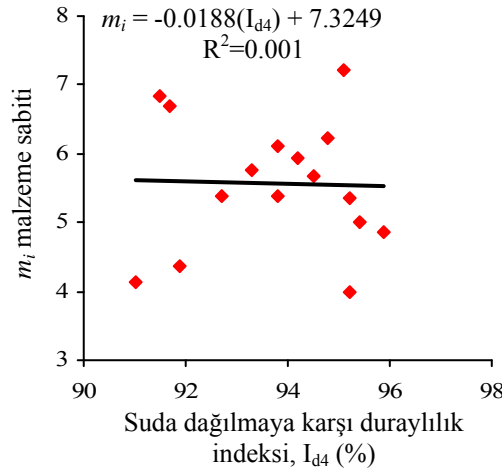
Şekil 7.10. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden içsel sürtünme açısı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki.



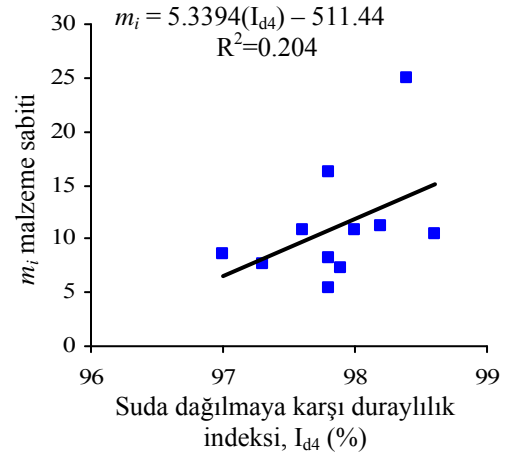
a)



c)

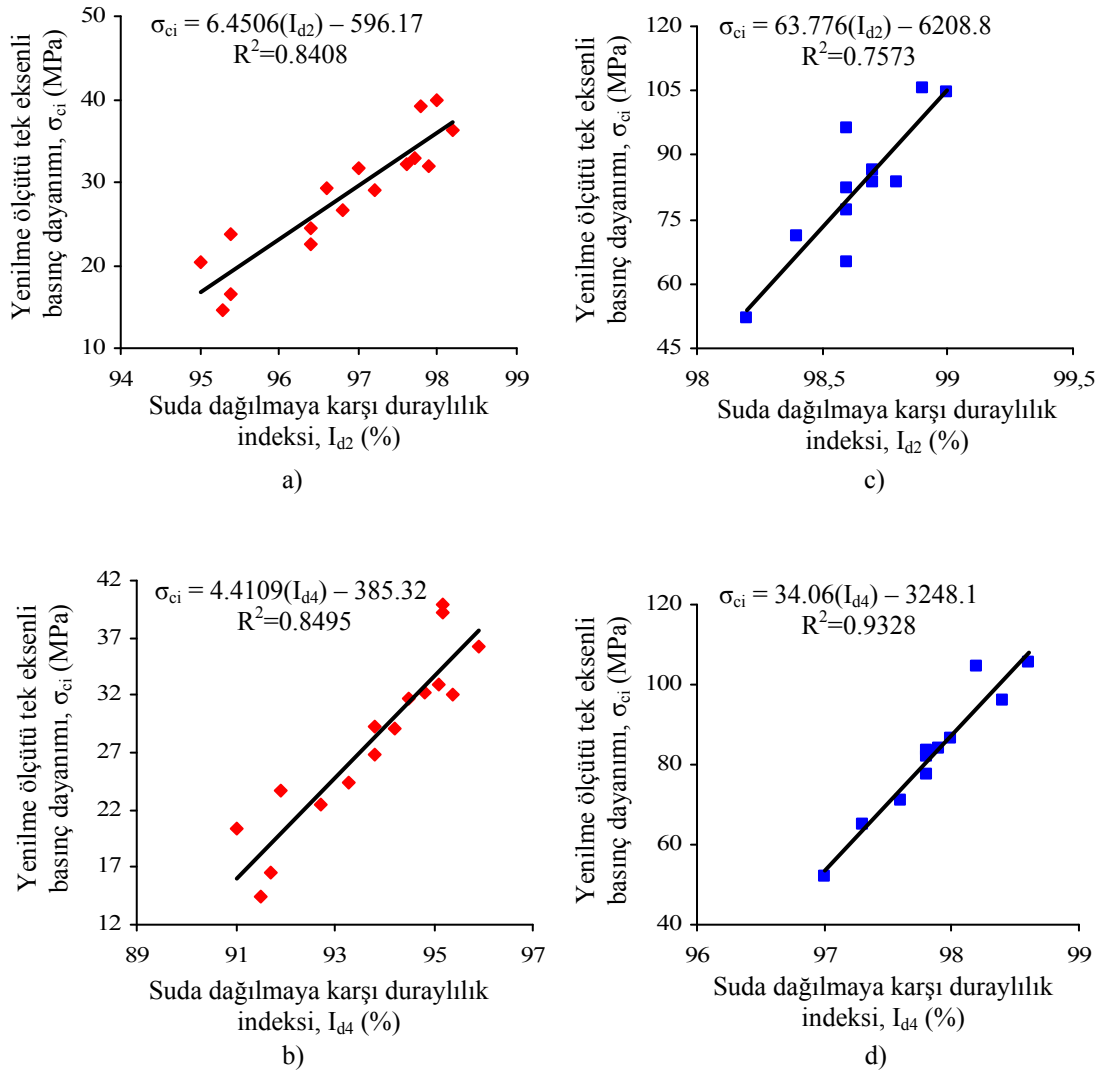


b)



d)

Şekil 7.11. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki.



Şekil 7.12. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü tek eksenli basınç dayanımı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki.

7.3. Mineralojik ve Kimyasal Özelliklerin Kaya Malzemesi Dayanım Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Kayaçların dayanımları genellikle sahip oldukları mineralojik bileşim, yapısal özellikleri ile jeolojik yaş ve oluşum mekanizması ile ilişkilidir. Kayaçların kil içeriği

artıkça yoğunlukları, dayanımları ve suda dağılma indeksleri azalmaktadır (Kolay, 2004).

Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi örnekleri üzerinde yürütülen dayanım deneyleri sonuçlarına göre, aynı kaya kütlesi içerisinde farklı dayanım özelliklerine sahip birimlere rastlanmıştır. Bu farklılığın nedenlerinin belirlenmesi amacıyla, marn kaya malzemesine ait örnekler üzerinde yapılan mineralojik (XRD) ve kimyasal analizlerin (XRF) sonuçları ile kaya malzemesi dayanım özellikleri sonuçları bu bölümde istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

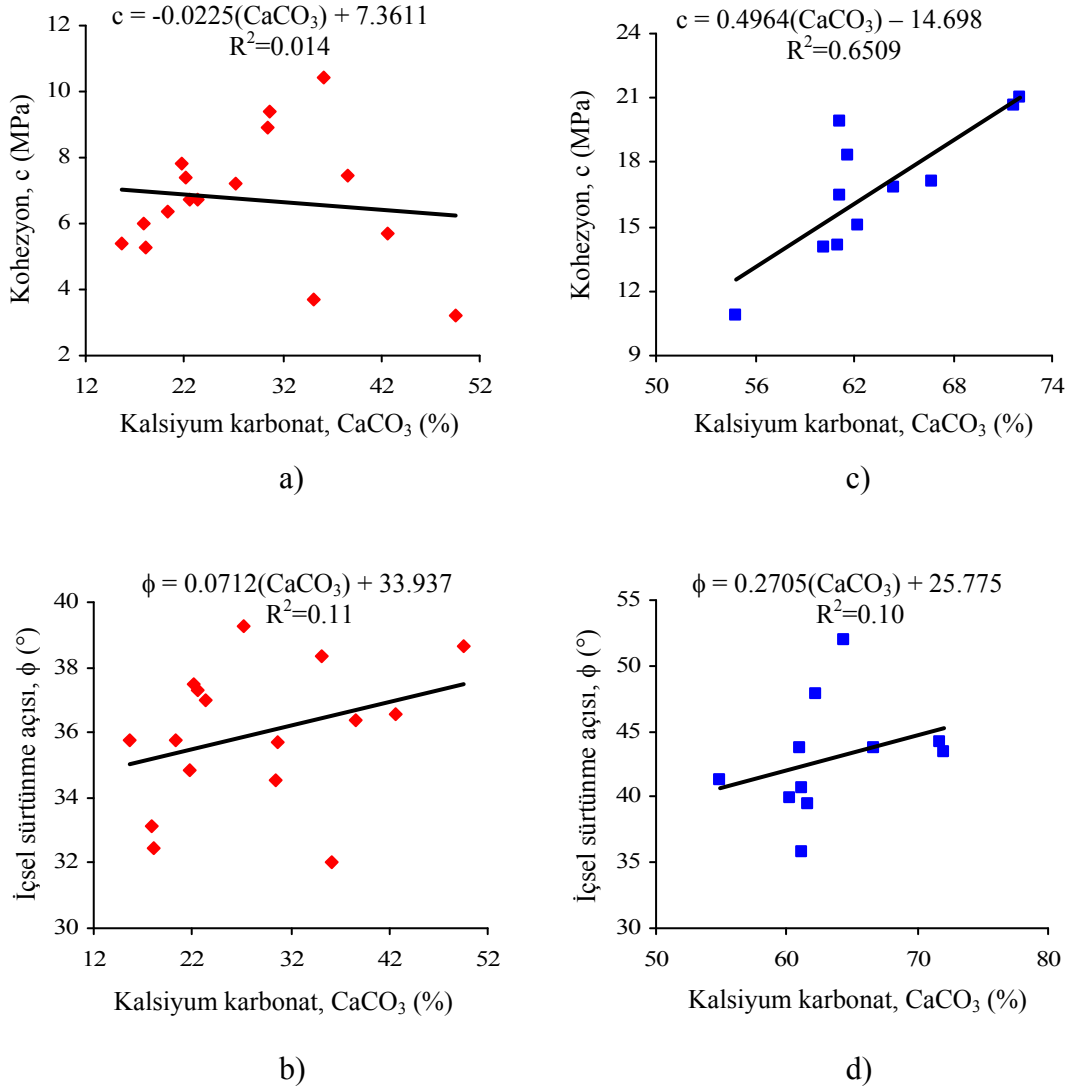
Aynı kaya kütlesi içerisinde farklı dayanım özelliklerine sahip birimlerin bulunması, marnın arazideki yapısının homojen olmadığını göstermektedir. Bu durum, mineralojik ve kimyasal analiz sonuçlarının, dayanım özellikleri ile olan ilişkisinin belirlenmesi ile açıklanmaya çalışılmıştır. Marnın bölgede heterojen bir yapıya sahip olması, ana kütleyi temsil edici bir tanımlama yapılmasını da güçleştirmektedir. Özellikle mineralojik ve kalsiyum karbonat analizleri ile bölgeye ait marn kaya malzemesinin tanımlanması amaçlanmıştır.

Benzer bir çalışma Soma bölgesi içinde yürütülmüş ve marn kaya malzemesine ait üç eksenli deney sonuçlarından elde edilen dayanım değerleri ile mineralojik (XRD), kimyasal (XRF) ve kalsiyum karbonat analiz sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilerek sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

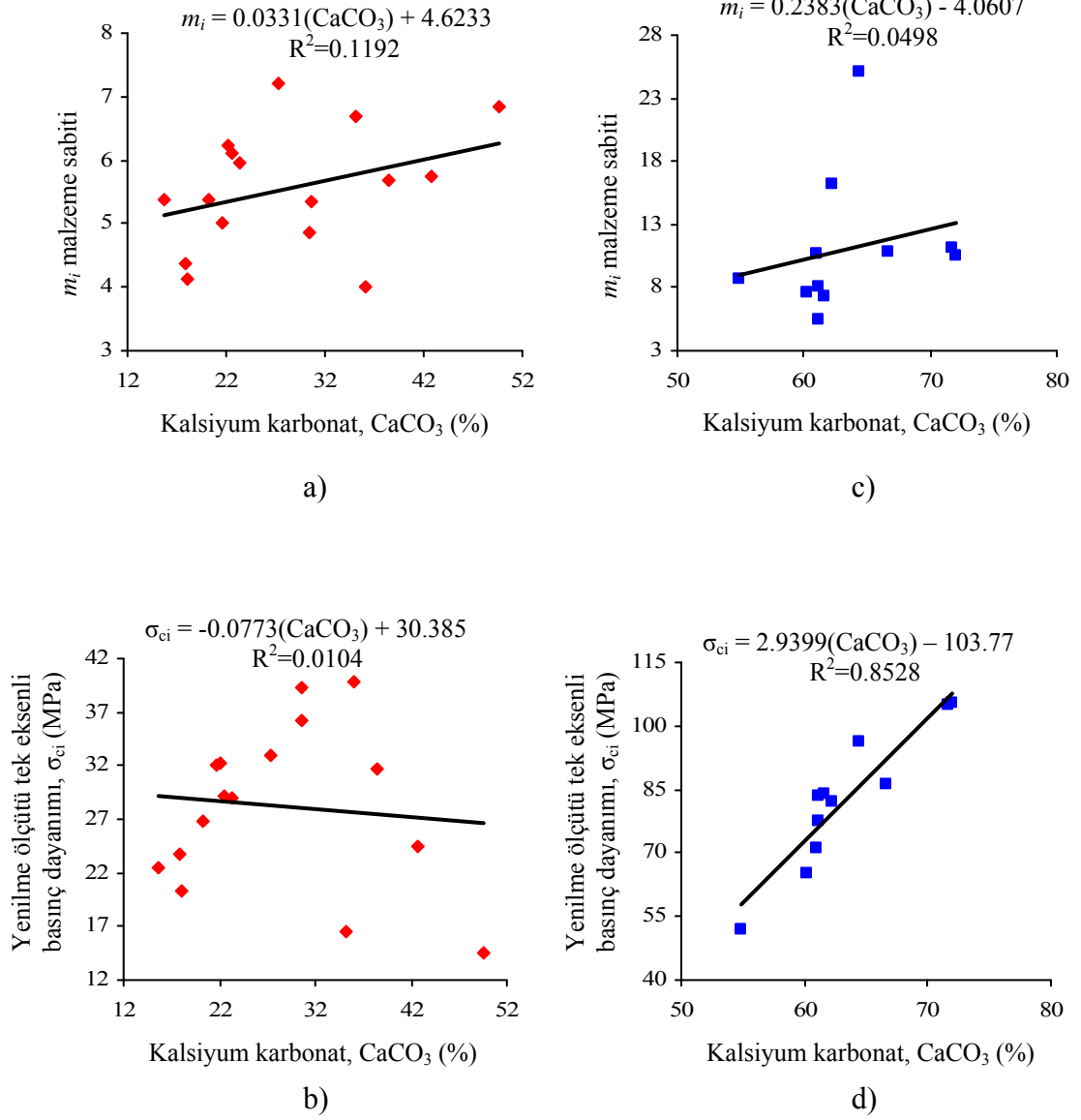
7.3.1. Kalsiyum karbonat (CaCO₃) analiz sonuçları ile kaya malzemesi dayanım deney sonuçları arasındaki ilişki

Kalsiyum karbonat değerinin Mohr-Coulomb ve Hoek-Brown yenilme ölçütü parametreleri üzerindeki etkisi incelendiğinde, Tunçbilek bölgesi marnlarında bir ilişki tespit edilememiş (Şekil 7.13a, b ve Şekil 7.14a, b) ancak Soma bölgesi marn kaya malzemesi kohezyon ve tek eksenli basınç dayanımının kalsiyum karbonat değerinin artmasına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 7.13c ve Şekil 7.14d).

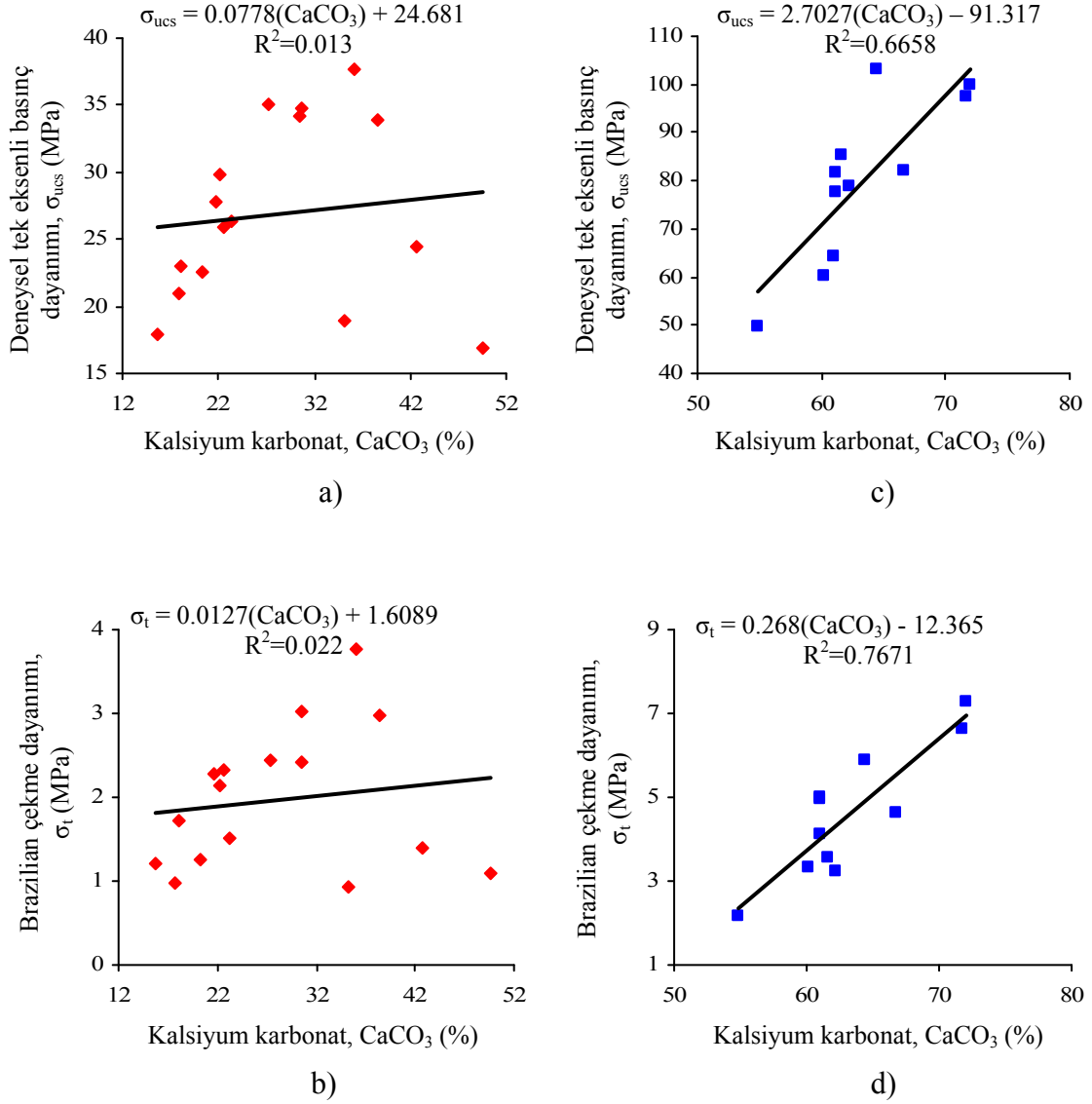
Ayrıca, kalsiyum karbonat değeri ile marn kaya malzemesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı arasında bir ilişkinin olup olmadığı incelenmiştir. Buna göre; Tunçbilek bölgesinde istatistiksel olarak bir ilişki elde edilmemiş (Şekil 7.15a, b) ancak Soma bölgesine ait sonuçlarda kalsiyum karbonat değerinin artışına bağlı olarak, tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının arttığı belirlenmiştir. (Şekil 7.15c, d).



Şekil 7.13. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının, kalsiyum karbonat değerine bağlı değişimi.

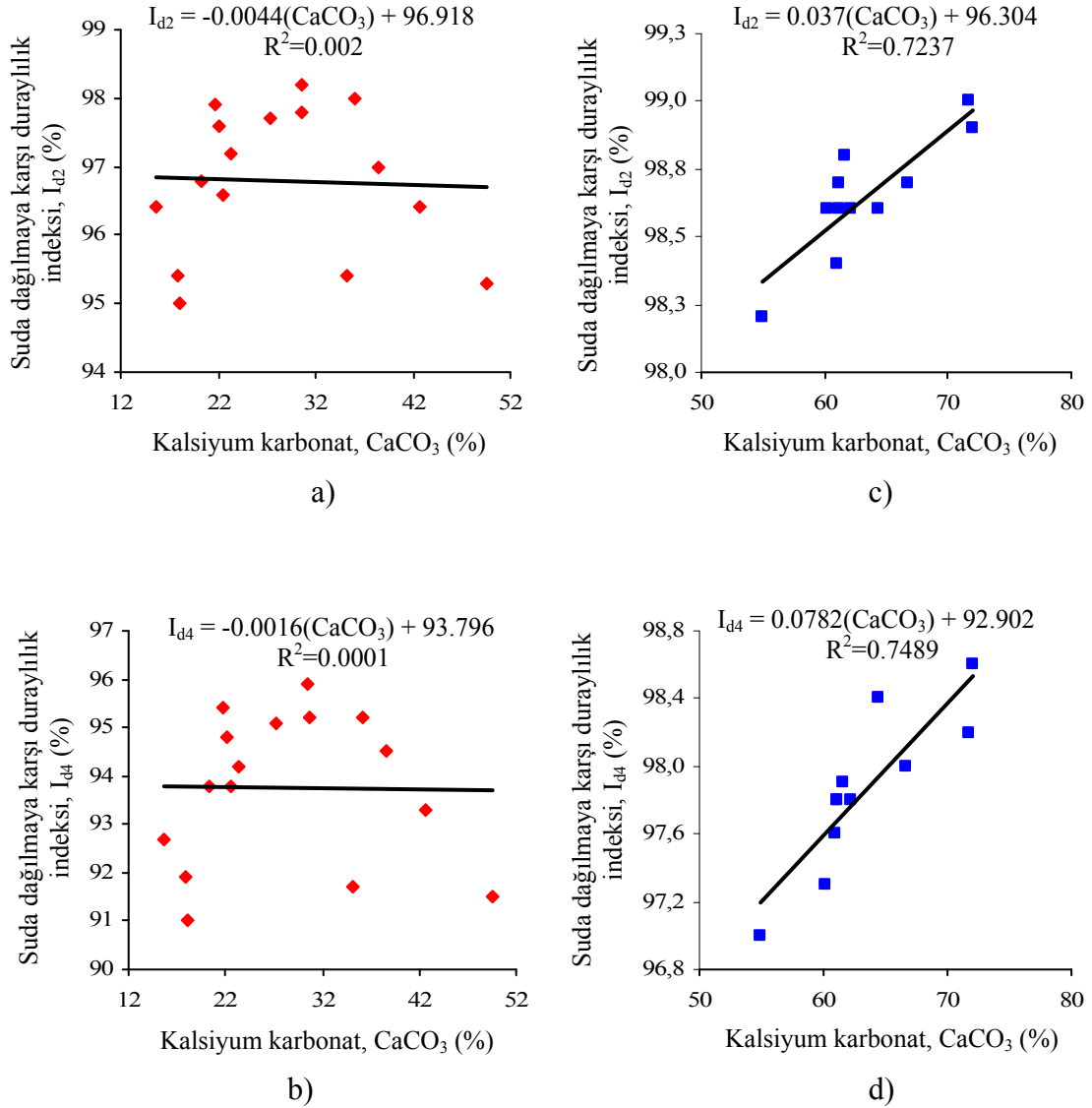


Şekil 7.14. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden tek eksenli basınç dayanımı ve m_i malzeme sabitinin, kalsiyum karbonat değerine bağlı değişimi.



Şekil 7.15. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının kalsiyum karbonat değerine bağlı değişimi.

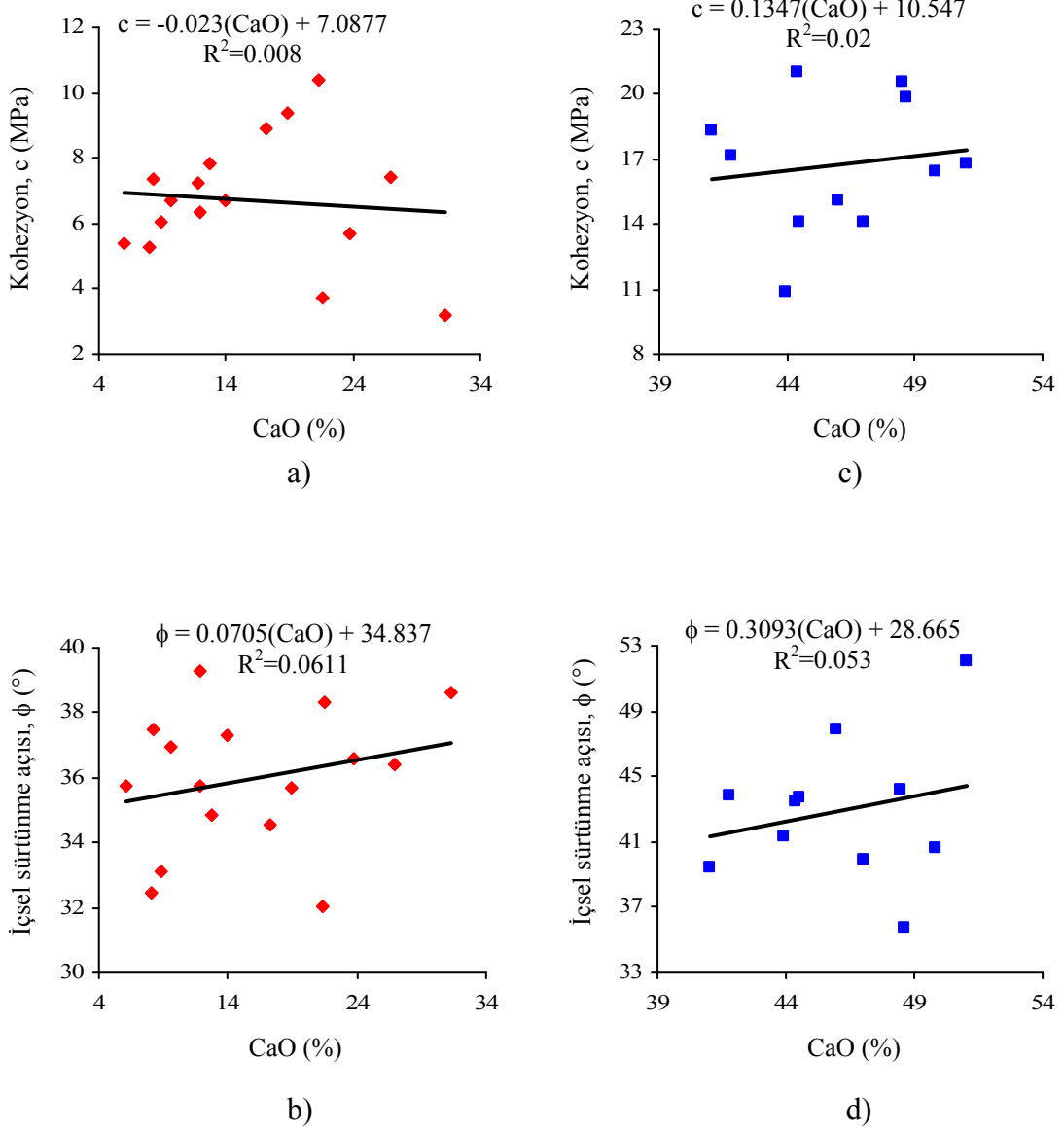
Benzer bir ilişki, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile kalsiyum karbonat içeriği arasında da görülmüştür. Buna göre, Tunçbilek bölgesine yönelik değerlendirmede iki özellik arasında bir ilişki tespit edilememiş (Şekil 7.16a, b), Soma bölgesine yönelik değerlendirmede ise, kalsiyum karbonat değerinin artmasıyla, örneklerin suda dağılılabirlik özelliğinin azaldığı belirlenmiştir (Şekil 7.16c, d).



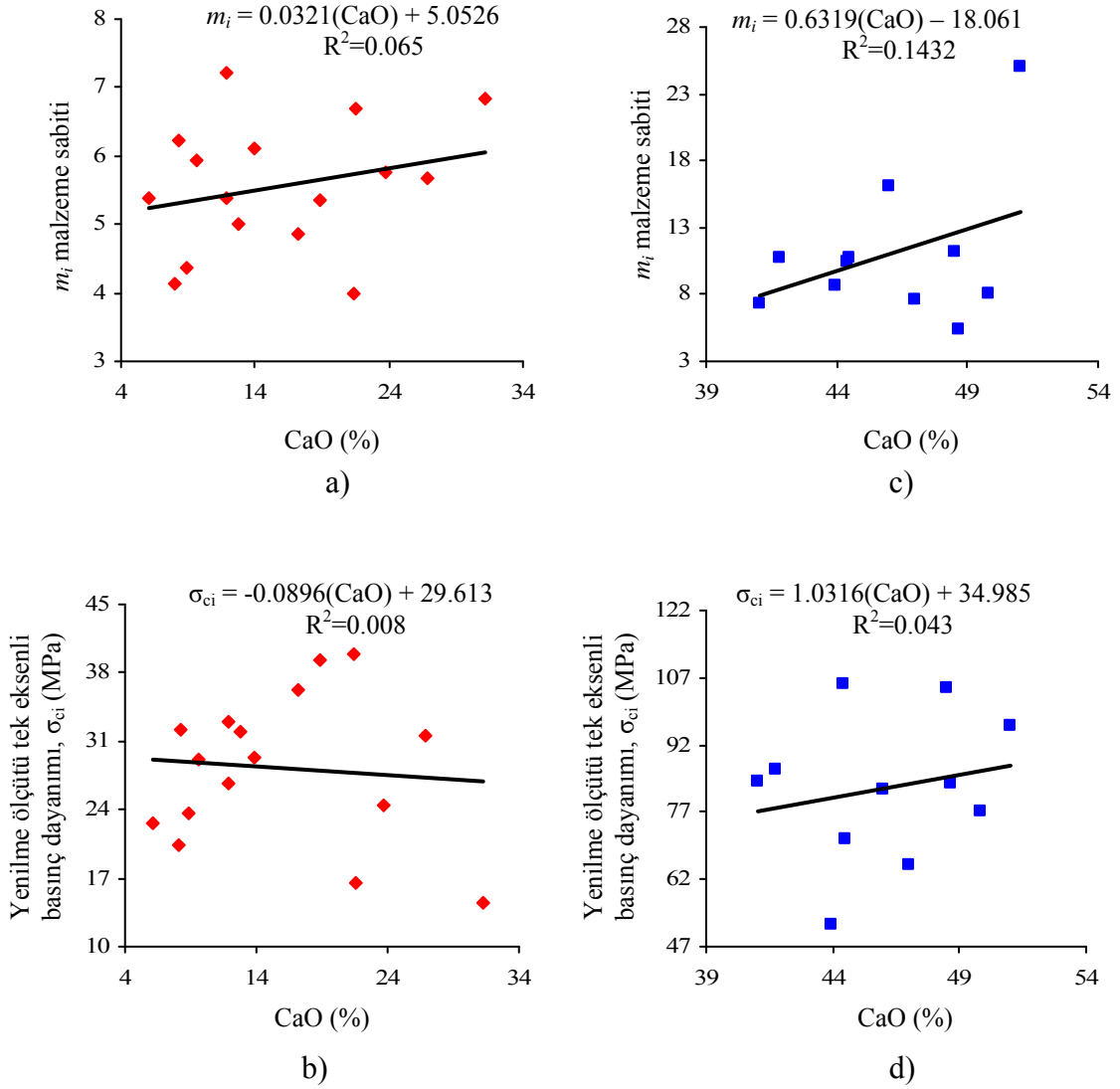
Şekil 7.16. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesinin suda dağılılırılığının kalsiyum karbonat değerine bağlı değişimi.

7.3.2. Kimyasal analiz (X-Ray Floresans) sonuçları ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişki

Kimyasal analiz sonuçlarından CaO değeri ile yenilme ölçütü parametreleri arasında anlamlı bir ilişki belirlenememiştir (Şekil 7.17 ve 7.18).

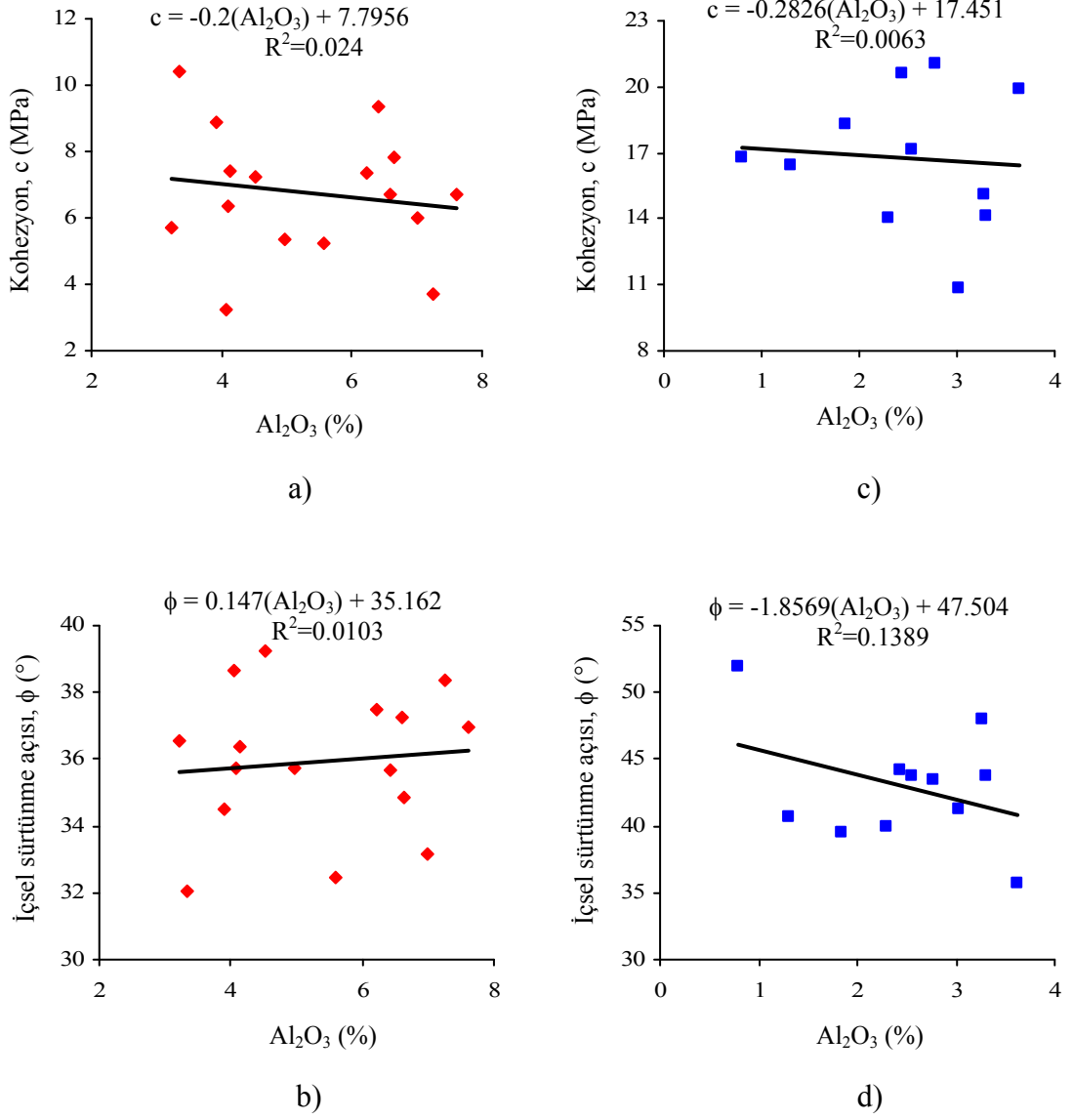


Şekil 7.17. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının CaO değerine bağlı değişimi.

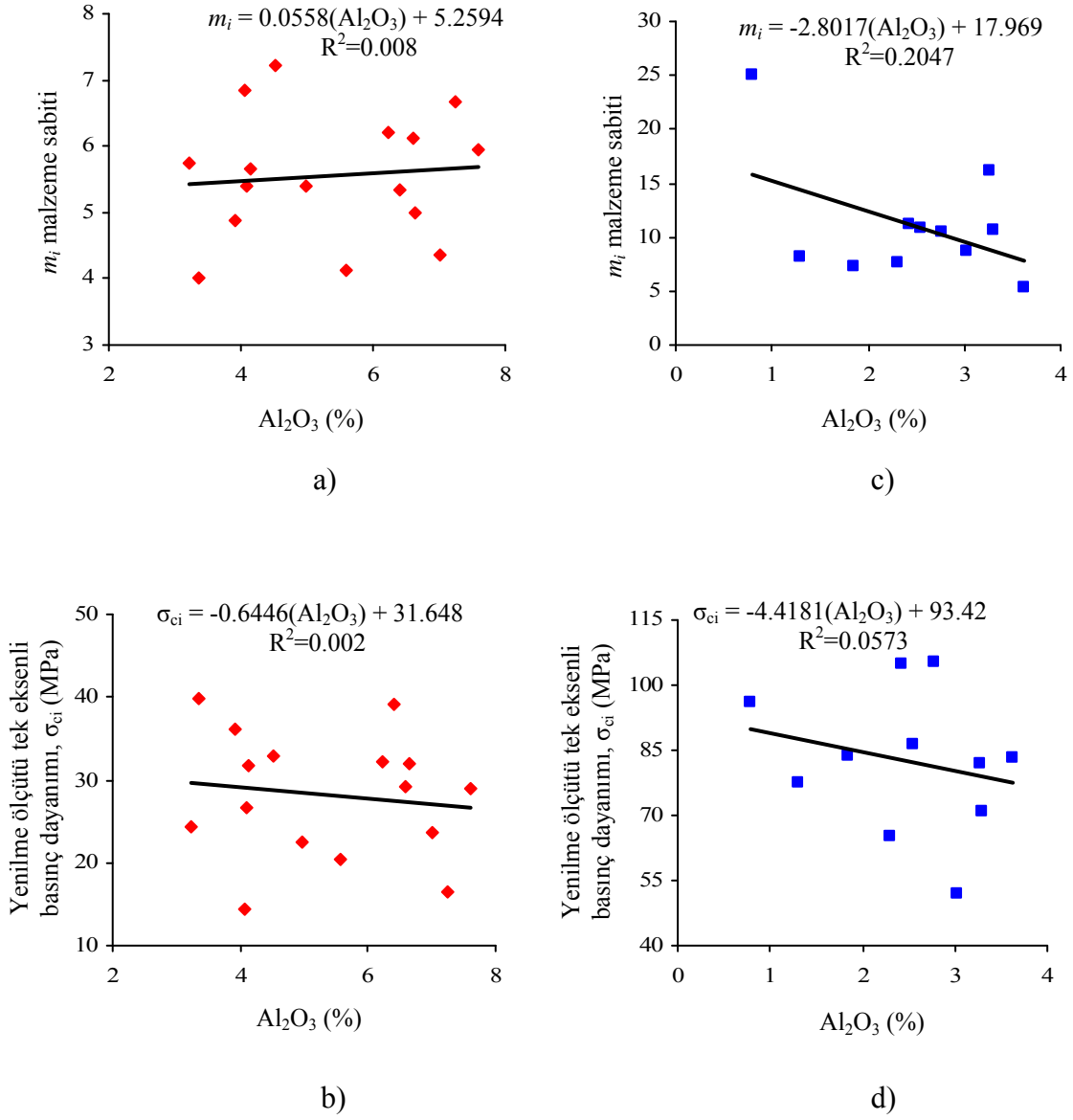


Şekil 7.18. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının CaO değerine bağlı değişimi.

Kimyasal analiz sonuçlarından Al_2O_3 değeri ile yenilme ölçütü parametreleri arasında anlamlı bir ilişki belirlenememiştir. Ancak, Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden içsel sürtünme açısı ve m_i malzeme sabitinin Al_2O_3 değerine bağlı olarak bir miktar düşüş eğiliminde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.19d ve Şekil 7.20c).

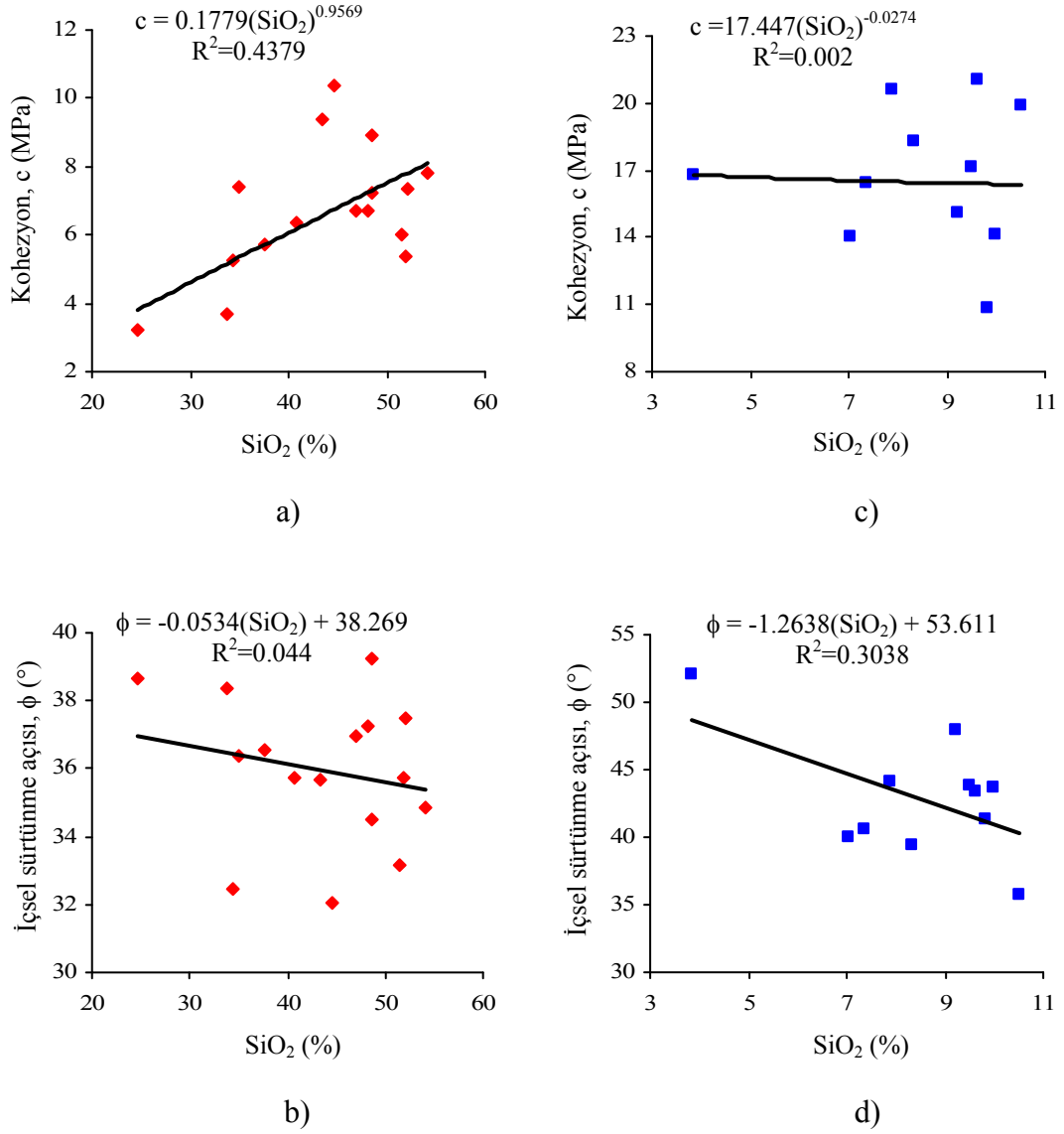


Şekil 7.19. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının Al_2O_3 değerine bağlı değişimi.



Şekil 7.20. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının Al_2O_3 değerine bağlı değişimi.

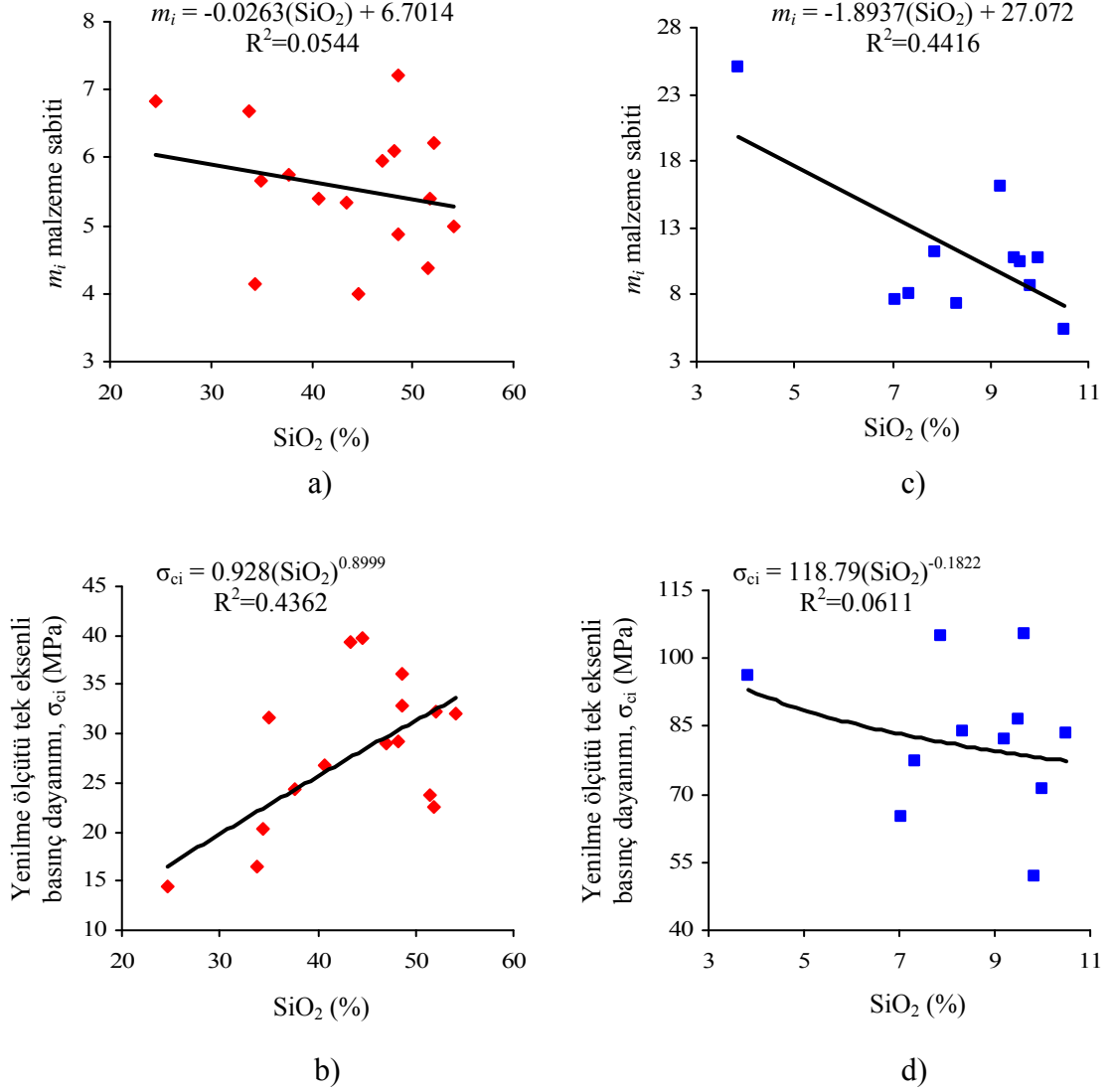
Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyonun, SiO_2 değerine bağlı olarak artış eğiliminde olduğu (Şekil 7.21a), buna karşın Soma bölgesi marn kaya malzemesi içsel sürtünme açısının ise azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.21d).



Şekil 7.21. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının SiO₂ değerine bağlı değişimi.

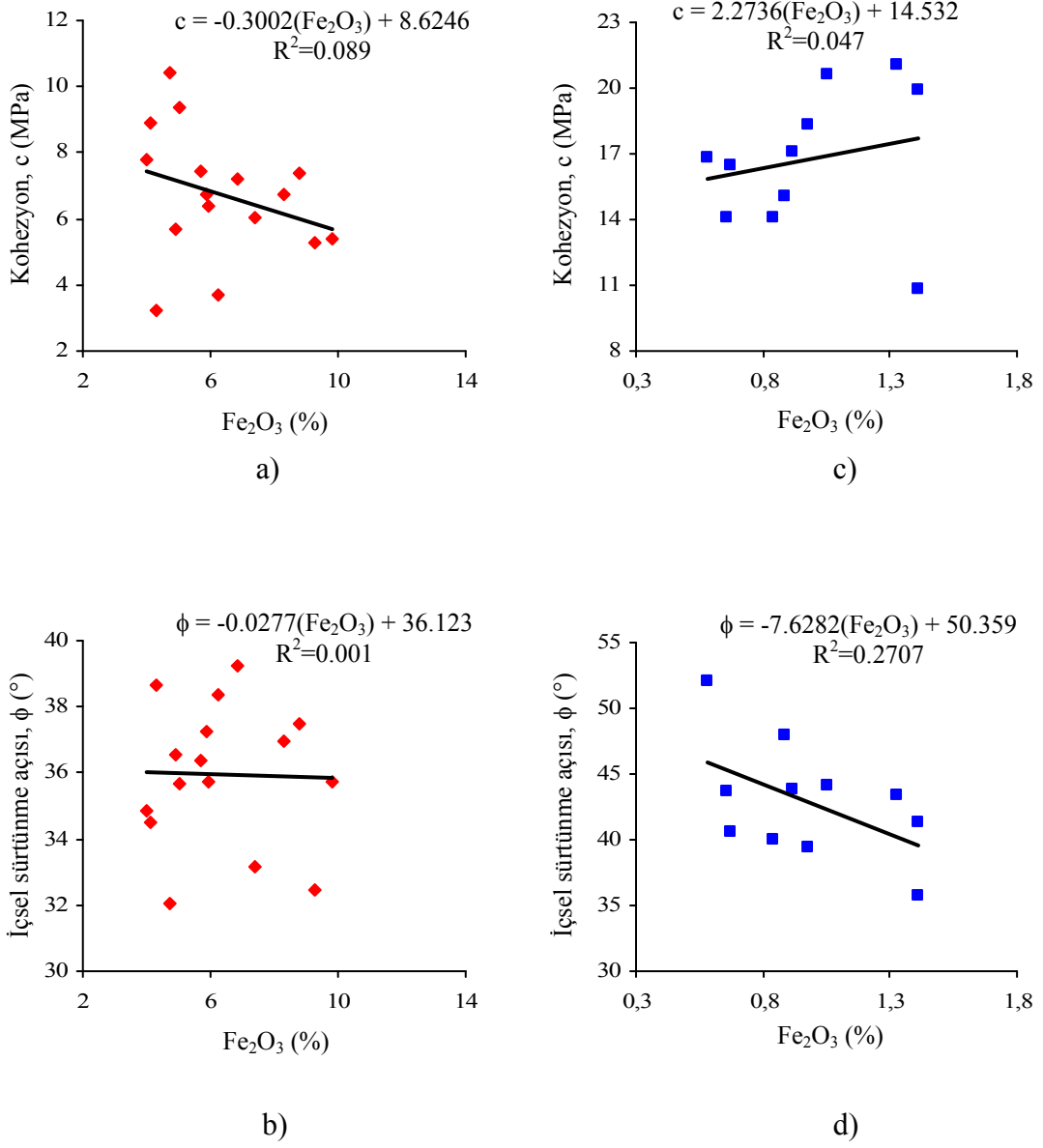
Benzer şekilde, Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden tek eksenli basınç dayanımının SiO₂ değerine bağlı olarak artış eğiliminde olduğu (Şekil 7.22b), buna karşın Soma bölgesi marn kaya malzemesi m_i malzeme sabitinin ise azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Şekil 7.22c). Buna göre,

Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri üzerinde SiO₂'nin daha etkili olduğu söylenebilir.

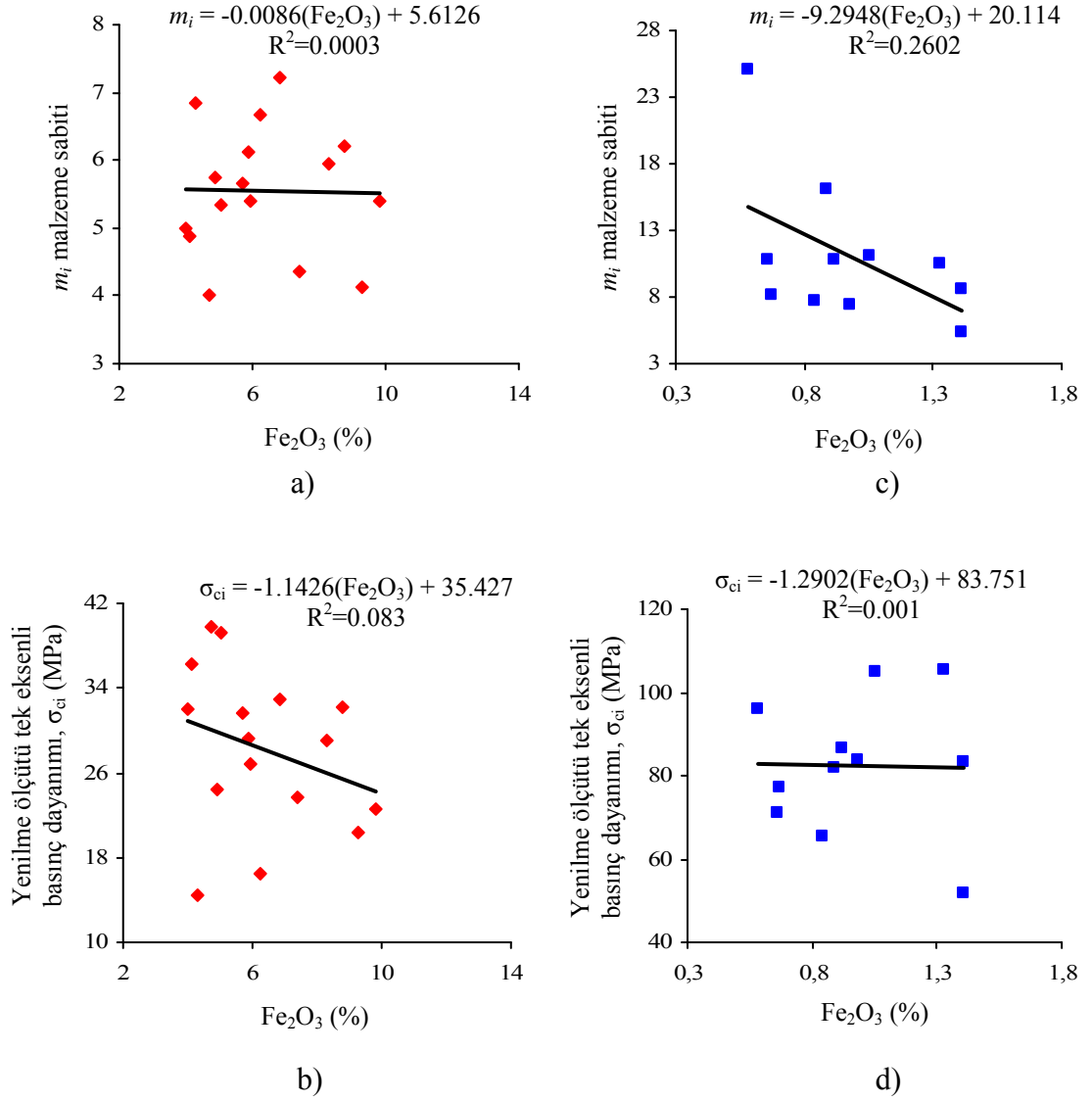


Şekil 7.22. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının SiO₂ değerine bağlı değişimi.

Marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri ile kimyasal analiz sonuçlarından Fe₂O₃ arasında anlamlı bir ilişki elde edilmemiştir (Şekil 7.23 ve 7.24) .



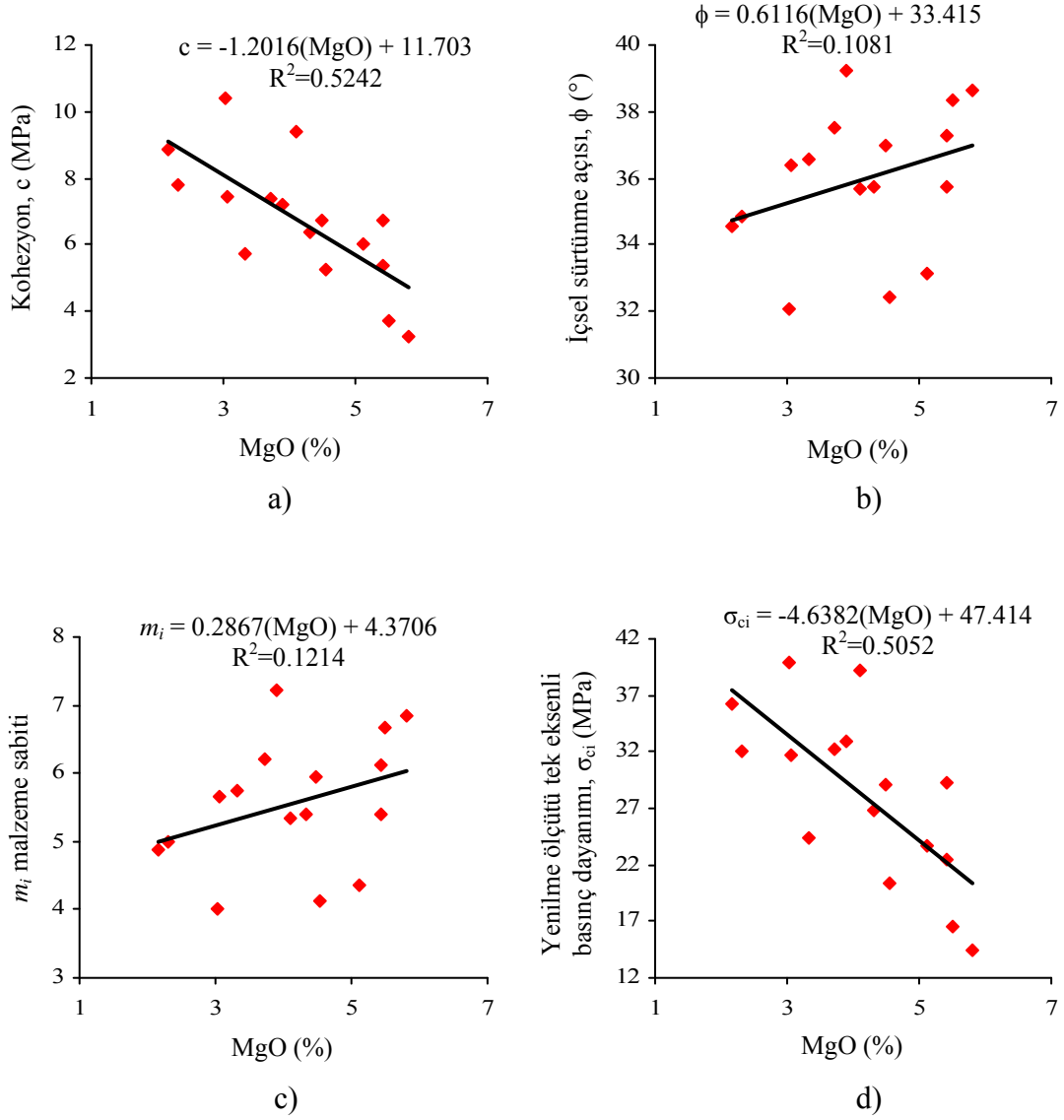
Şekil 7.23. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının Fe_2O_3 değerine bağlı değişimi.



Şekil 7.24. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının Fe_2O_3 değerine bağlı değişimi.

Soma bölgesi X-Ray Floresans (XRF) analiz sonuçlarına göre, örneklerdeki MgO değerlerinin oldukça düşük çıktığı görülmüştür (Bkz. Çizelge 6.6). Bu nedenle, Soma bölgesi için MgO değerine bağlı istatistiksel bir değerlendirme yapılmamıştır. Tunçbilek bölgesine yönelik yapılan değerlendirmeye göre ise; MgO değerinin, yenilme

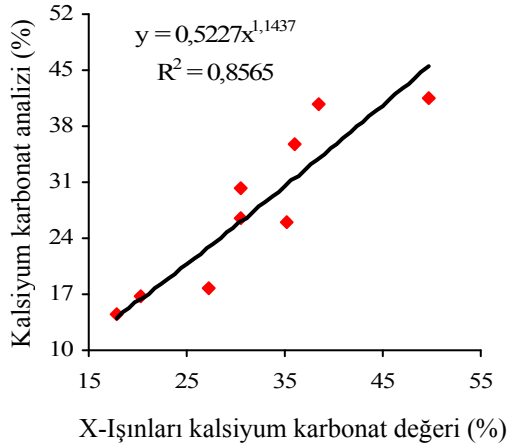
ölçütü parametrelerinden kohezyon ve tek eksenli basınç dayanımını düşürdüğü belirlenmiştir (Şekil 7.25a, d).



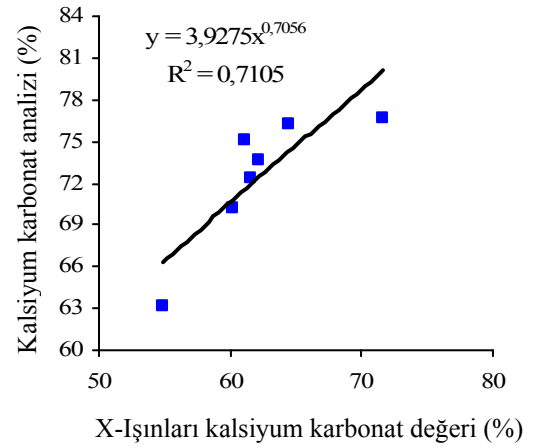
Şekil 7.25. (a, b, c, d) Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinin MgO değerine bağlı değişimi.

7.3.3. Mineralojik analiz (X-Işınları Kırınımı) sonuçları ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri ve diğer dayanım değerleri arasındaki ilişki

Çalışma bölgelerine ait marn kaya malzemesi dayanım değerleri ile X-Işınları kırınımı çözümlenmeleri sonuçları (Bkz. Çizelge 6.4 ve 6.5, Çizelge 6.7 ve 6.8) arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar grafiksel olarak değerlendirilmiştir. X-Işınları kırınımı çözümlenmesi sonucu belirlenen (Bkz. Çizelge 6.4 ve 6.7) kalsiyum karbonat değeri ile laboratuvarında yapılan kalsiyum karbonat analizi (Bkz. Çizelge 6.9 ve 6.10) sonuçları arasındaki ilişkiye göre; Tunçbilek bölgesi için $R^2=0.86$ (Şekil 7.26a), Soma bölgesi için de $R^2=0.71$ (Şekil 7.26b) korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Ayrıca bu bölümde; X-Işınları kırınımı çözümlenmesi sonucu belirlenen kil, kuvars, kalsit ile kil minerali tipi İllit ve Smektitin, yenilme ölçütü parametreleri, tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi ile olan ilişkileri araştırılmış ve sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir.



a)

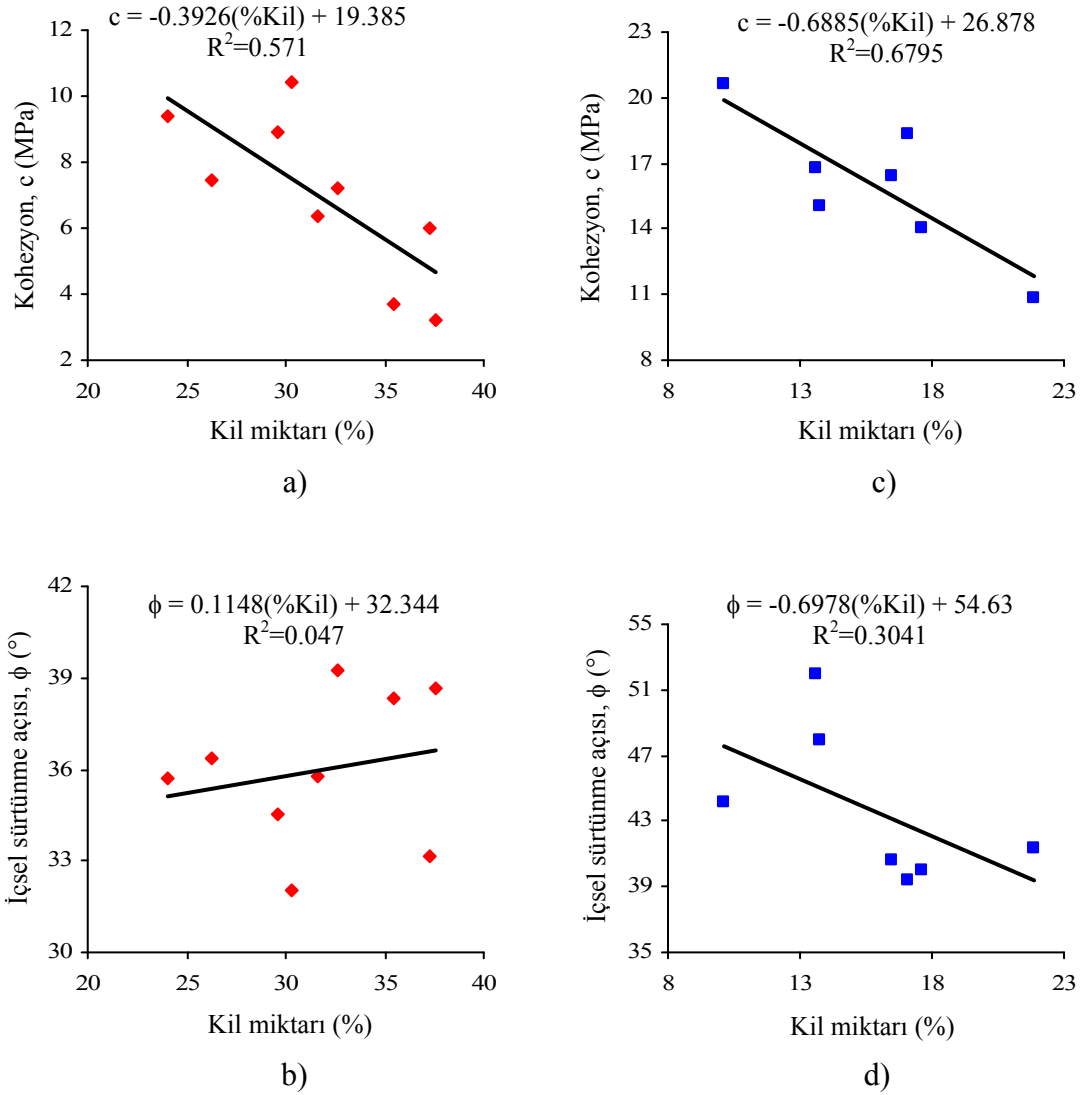


b)

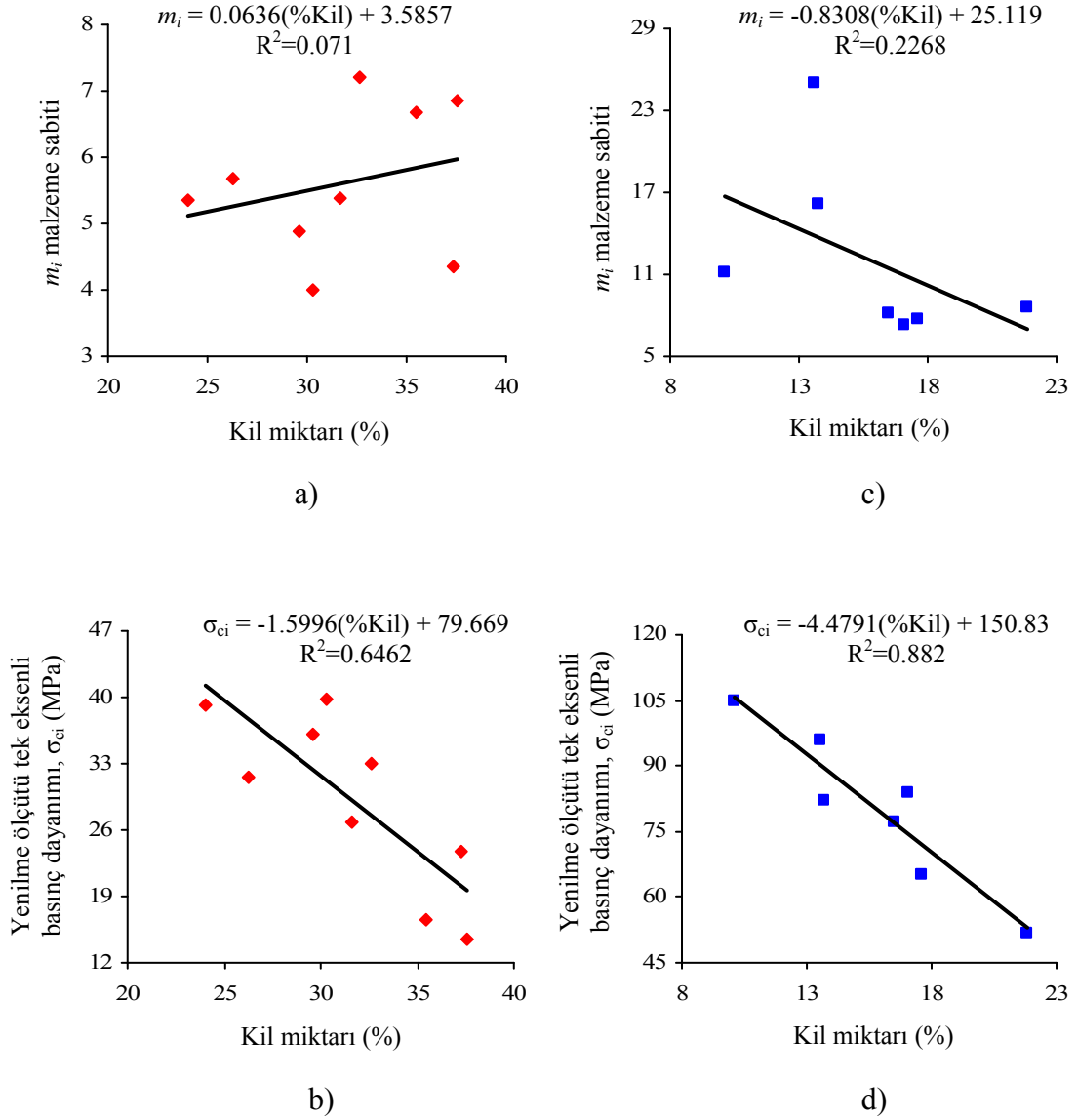
Şekil 7.26. a) Tunçbilek ve b) Soma bölgelerine ait X-Işınları kırınımı çözümlenmesi sonucu elde edilen kalsiyum karbonat değeri ile kalsiyum karbonat analiz değerleri arasındaki ilişki.

a) Kil içeriğinin; yenilme ölçütü parametreleri, tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksine etkisi

Tunçbilek ve Soma bölgelerine ait marn örneklerinde yürütülen mineralojik analiz sonuçlarına göre tespit edilen kil içeriklerinin, marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon (Şekil 7.27a, c) ve tek eksenli basınç dayanımı (Şekil 7.28b, d) üzerinde daha etkili olduğu ve kil miktarındaki artışın, bu parametrelerin değerlerinin düşük çıkmasına neden olduğu belirlenmiştir.

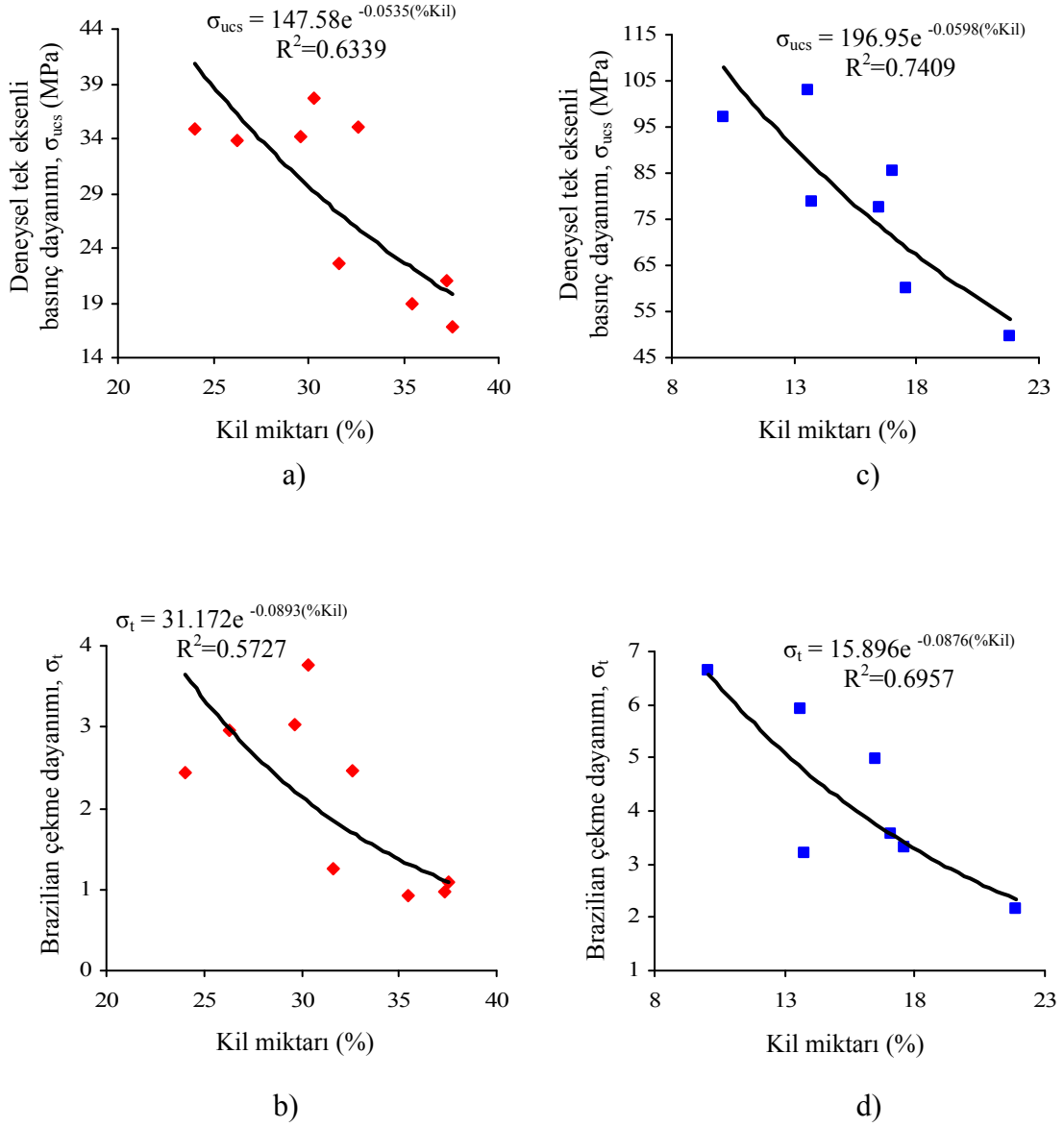


Şekil 7.27. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının kil miktarına bağlı değişimi.



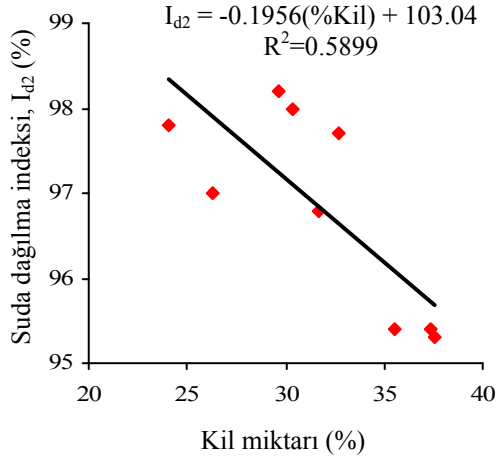
Şekil 7.28. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının kil miktarına bağlı değişimi.

Kil içeriğinin, deneysel olarak tespit edilen tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımını olumsuz etkilediği yapılan istatistiksel değerlendirmede görülmüştür. Buna göre, kil içeriğinin artmasıyla tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının azaldığı belirlenmiştir (Şekil 7.29).

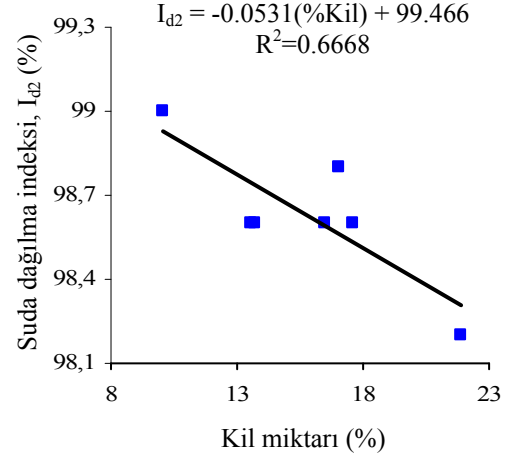


Şekil 7.29. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının kil miktarına bağlı değişimi.

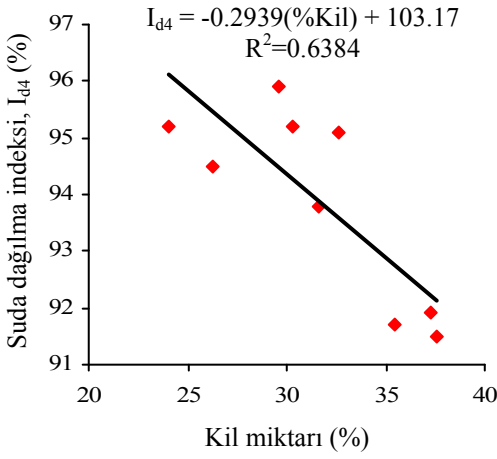
Kil miktarı ile suda dağılılırlık arasındaki ilişkiye göre (Şekil 7.30), kil miktarındaki artışa bağlı olarak örneklerin suda dağılılırlığının arttığı görülmüştür.



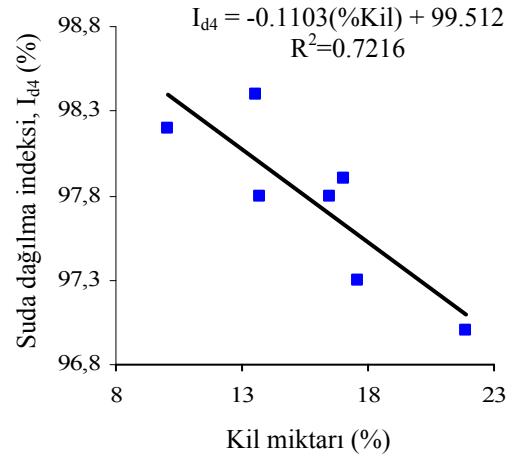
a)



c)



b)



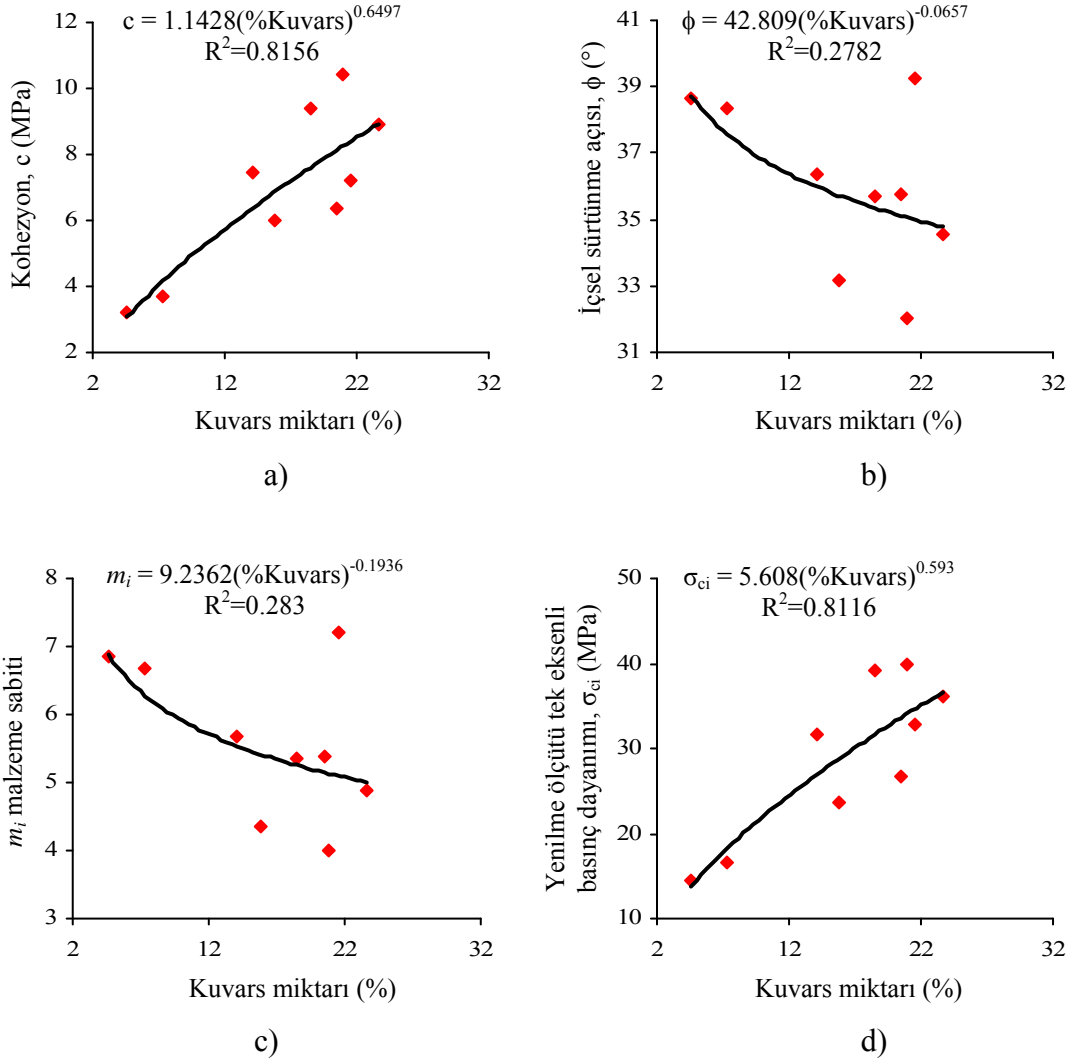
d)

Şekil 7.30. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi suda dağılılabirliğin (I_{d2} - I_{d4}) kil miktarına bağlı değişimi.

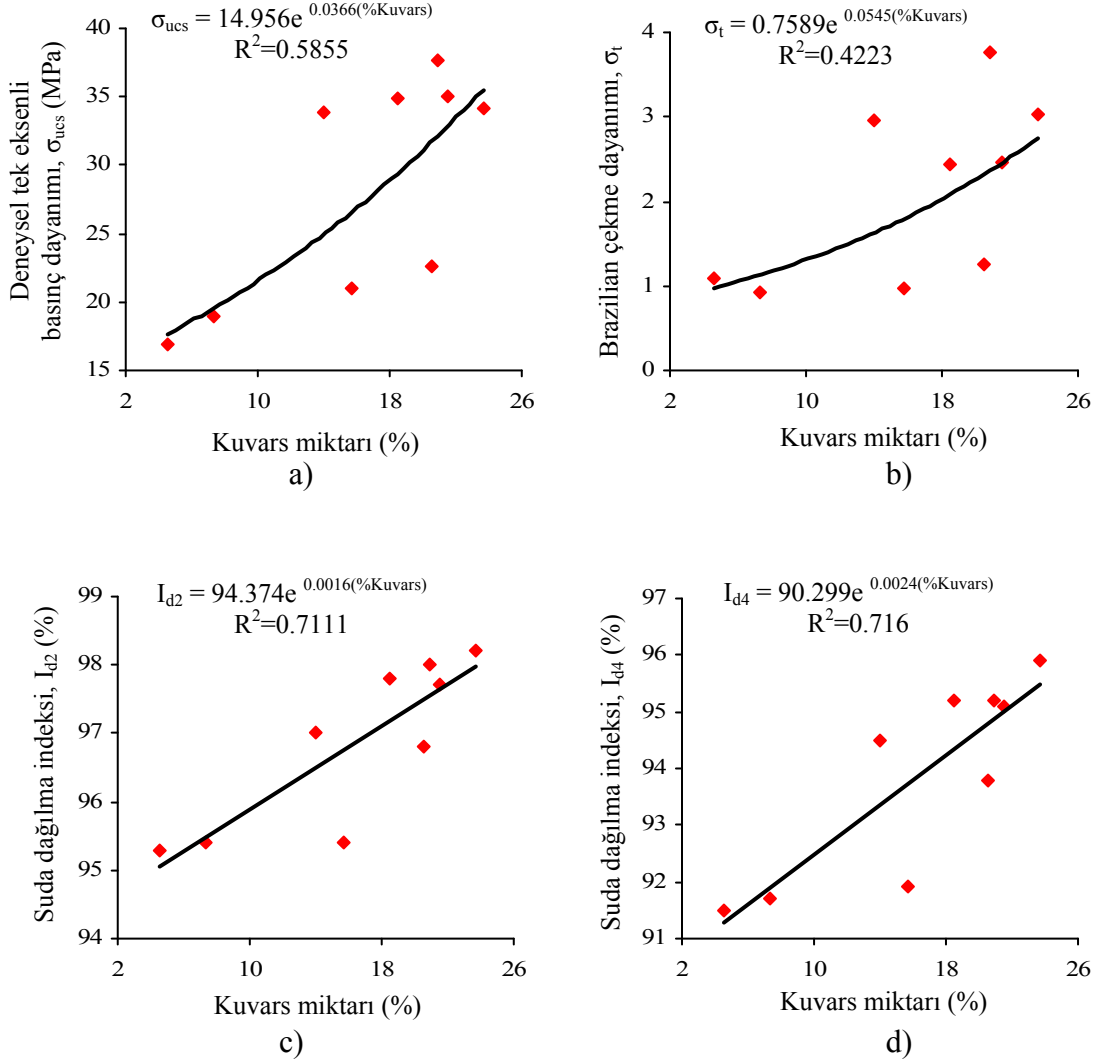
b) Kuvars içeriği ile yenilme ölçütü parametreleri, tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki.

Soma bölgesine ait örneklerin X-Işınları kırınımı sonuçlarına göre kuvars miktarındaki değişim ile yenilme ölçütü parametreleri ve diğer dayanım değerleri arasında anlamlı bir ilişki elde edilememiş olup, bu bölümde sadece Tunçbilek bölgesine ait örneklerin kuvars içeriklerine göre değerlendirme yapılmıştır.

Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi X-Işını kırınımı çözümlerinden elde edilen kuvars değerlerine göre, yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon (Şekil 7.31a) ve tek eksenli basınç dayanımı (Şekil 7.31d) ile Brazilian çekme dayanımı (Şekil 7.32b) ve deneysel olarak belirlenen tek eksenli basınç dayanımının (Şekil 7.32a), kuvars içeriğinin artmasına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir (Şekil 7.31 ve 7.32). Ayrıca, kuvars içeriğinin artmasıyla suda dağılıbilirlik özelliğinin azaldığı görülmüştür (Şekil 7.32c, d).



Şekil 7.31. (a, b, c, d) Tunçbilek bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinin kuvars miktarına bağlı değişimi.

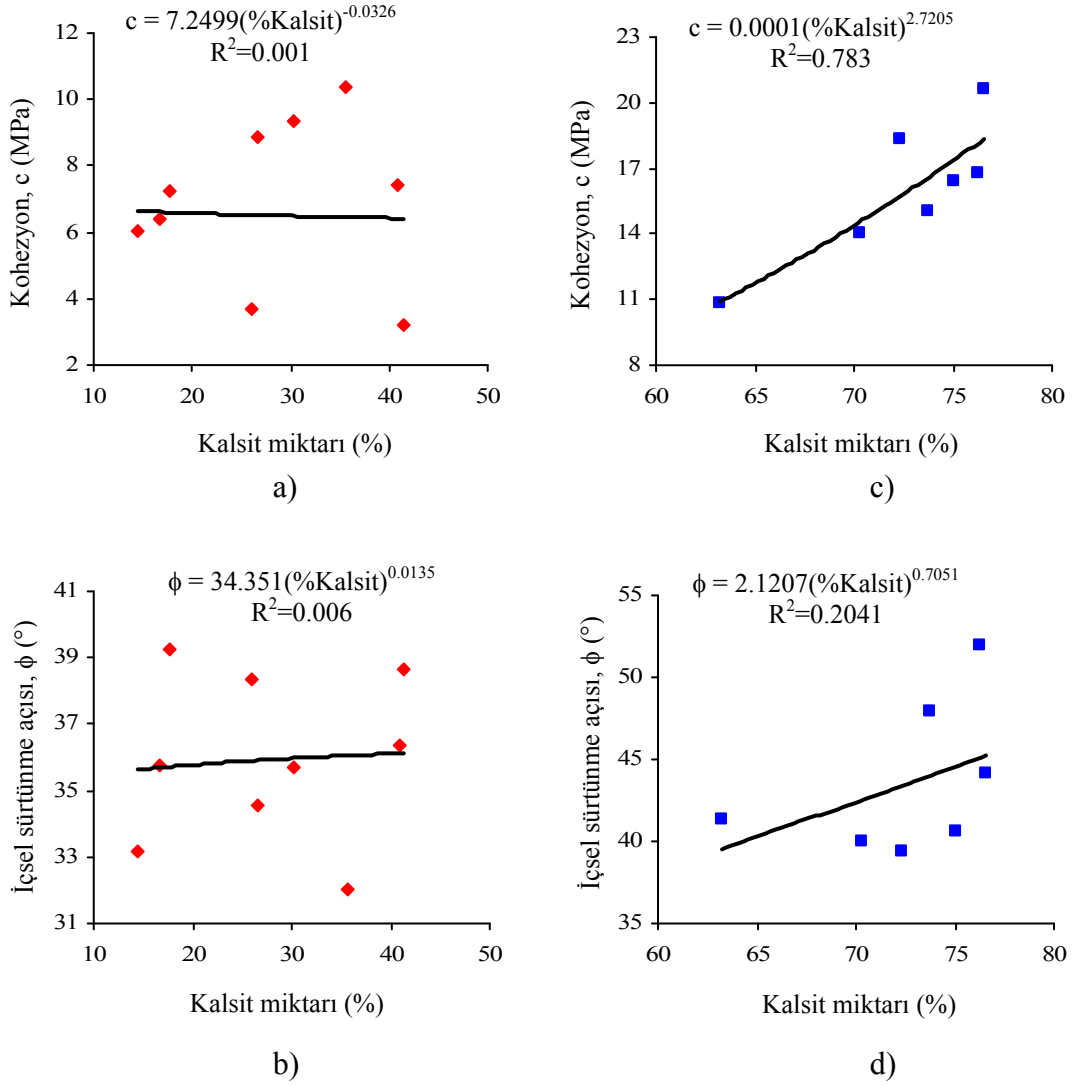


Şekil 7.32. Tunçbilek bölgesi; a) deneysel tek eksenli basınç dayanımı, b) Brazilian çekme dayanımı ve (c, d) suda dağılılabirliğin kuvars miktarına bağlı değişimi.

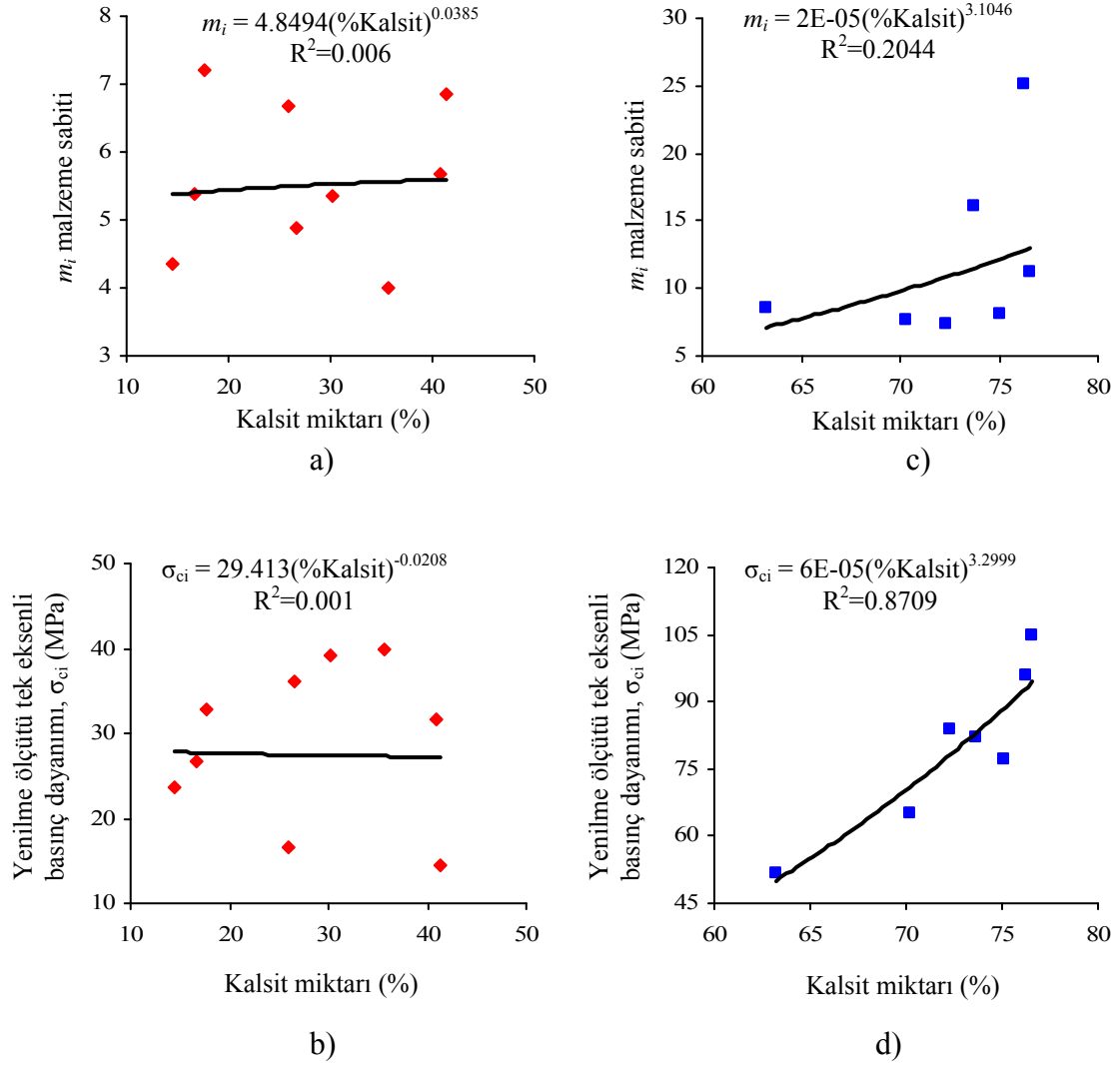
c) Kalsit içeriği ile yenilme ölçütü parametreleri, tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki.

X-Işınları kırınımı sonucu elde edilen kalsit yüzdelere göre; Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon (Şekil 7.33c) ve tek eksenli basınç dayanımının (Şekil 7.34d) kalsit içeriğinin artmasına bağlı olarak arttığı, içsel sürtünme

açısı (Şekil 7.33d) ve m_i malzeme sabitinin de (Şekil 7.34c) artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Tunçbilek bölgesine yönelik değerlendirmede ise, yenilme ölçütü parametreleri ile kalsit içeriği arasında bir ilişki görülmemiştir (Şekil 7.33a, b ve Şekil 7.34a, b).

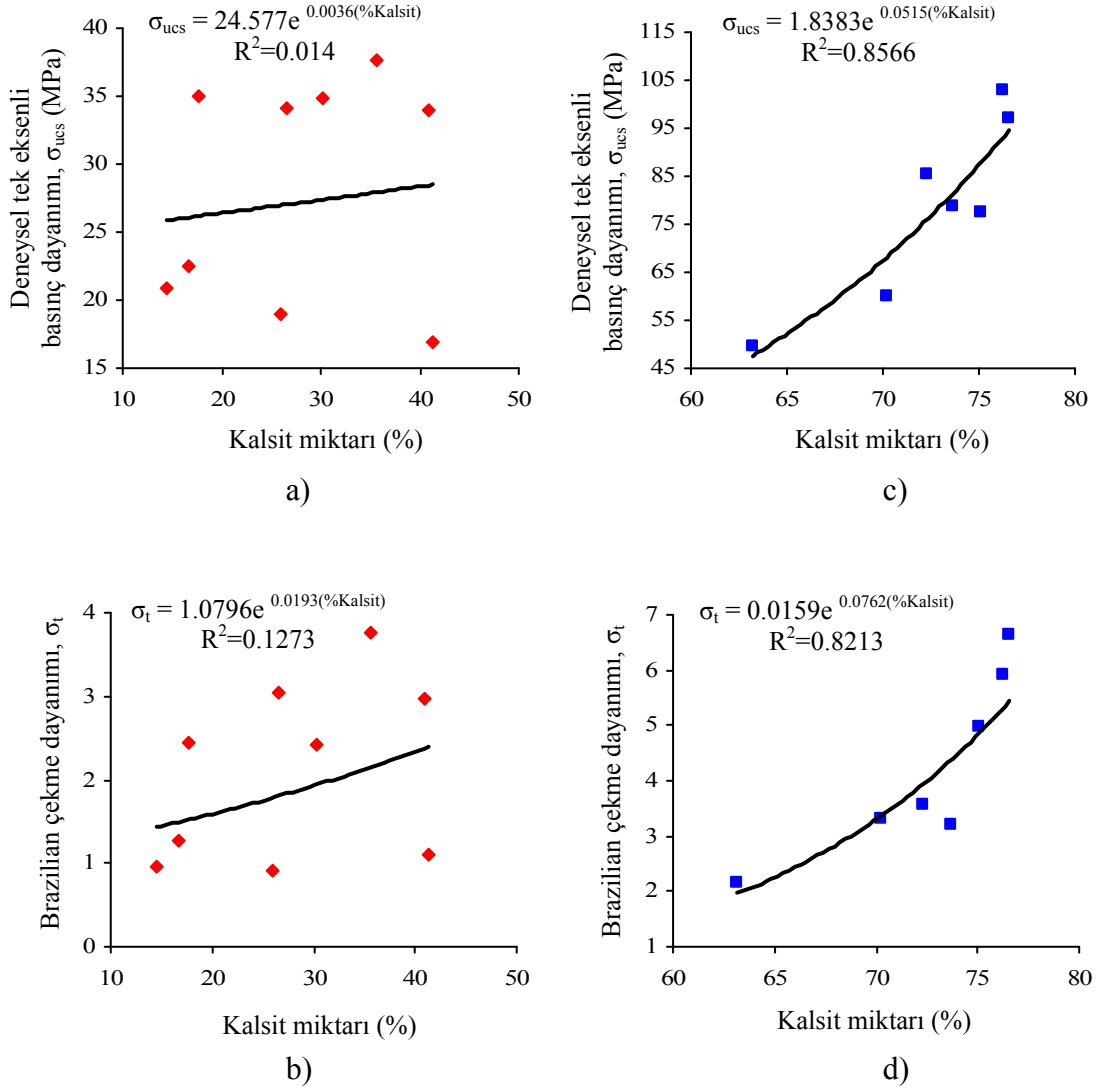


Şekil 7.33. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının kalsit miktarına bağlı değişimi.



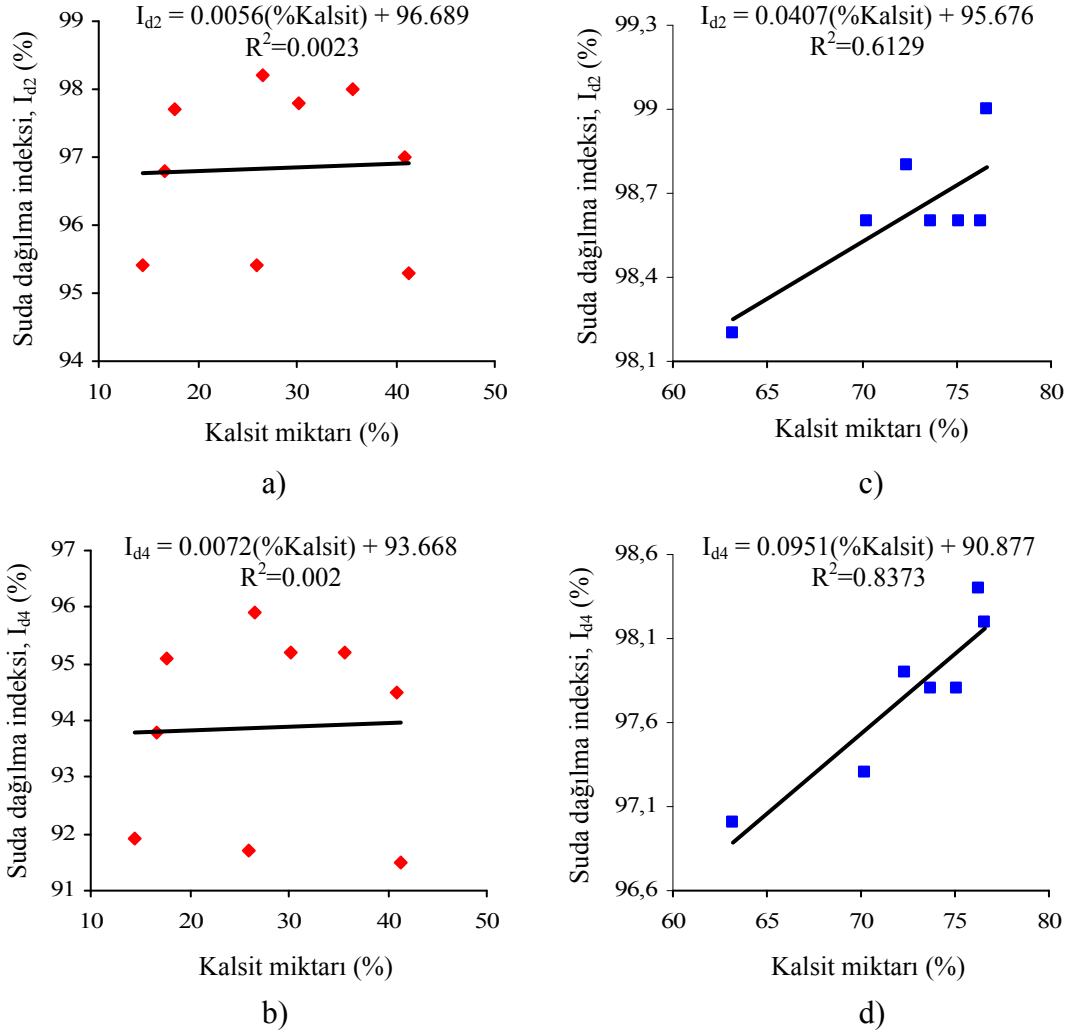
Şekil 7.34. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının kalsit miktarına bağlı değişimi.

Ayrıca; kalsit değerindeki artışın, Soma bölgesine ait örneklerden elde edilen tek eksenli basınç dayanımı (Şekil 7.35c) ve Brazilian çekme dayanımını da (Şekil 7.36d) arttırdığı sonucuna varılmıştır. Ancak, Tunçbilek bölgesine yönelik yapılan istatistiksel değerlendirmede ise, herhangi bir ilişki görülmemiştir (Şekil 7.35a, b).



Şekil 7.35. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının kalsit miktarına bağlı değişimi.

Benzer bir ilişki kalsit miktarı ile suda dağılılırlık arasında da görülmüştür. Buna göre; Soma bölgesine ait değerlendirmede, kalsit miktarının artmasıyla örneklerin suda dağılılırlığının azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 7.36c, d). Ancak, Tunçbilek bölgesine ait değerlendirmede böyle bir durum görülmemiş, kalsit içeriği ile suda dağılılırlık arasında bir ilişki belirlenmemiştir (Şekil 7.36a, b).



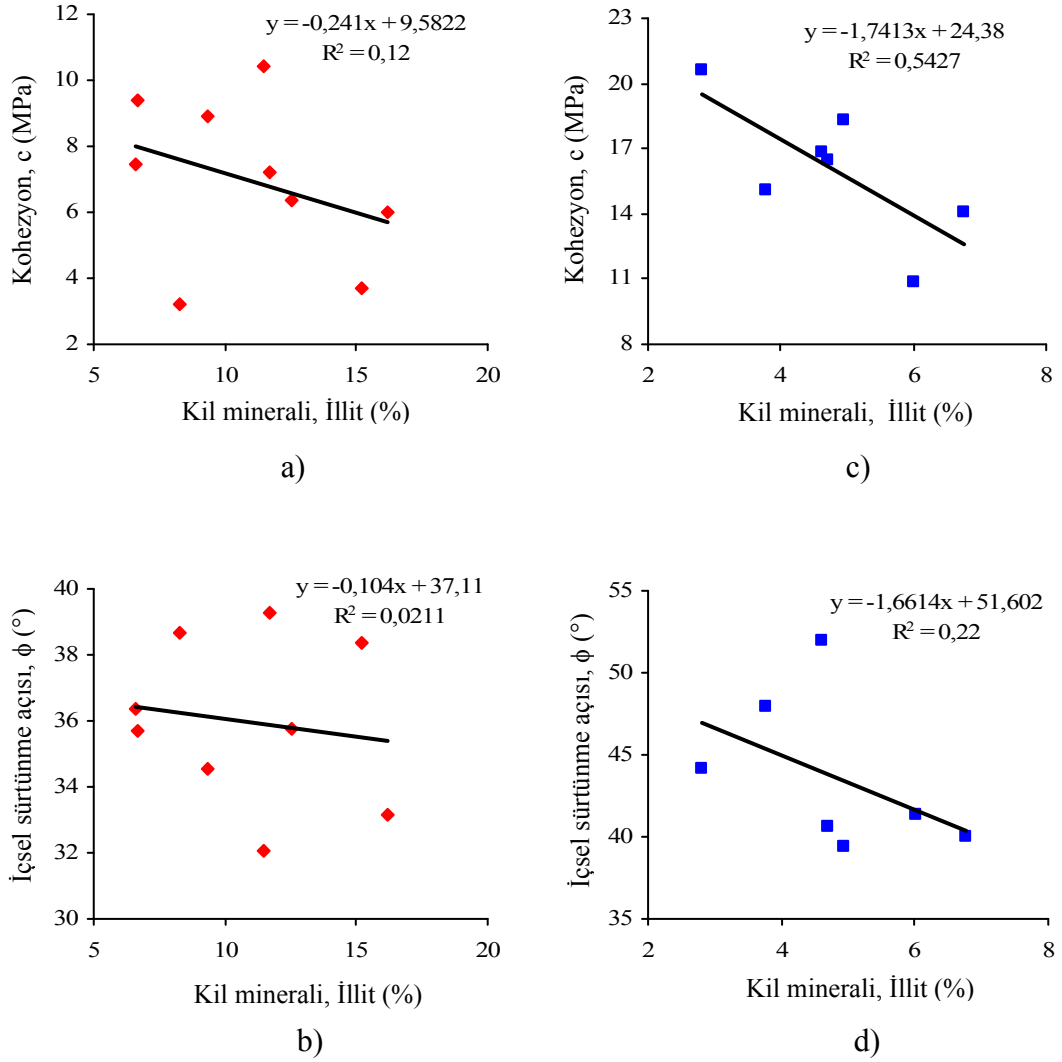
Şekil 7.36. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi suda dağılılabirliğin (I_{d2} - I_{d4}) kalsit miktarına bağlı değişimi.

d) Kil mineral türünün yenilme ölçütü parametreleri ve dayanım değerlerine etkisi

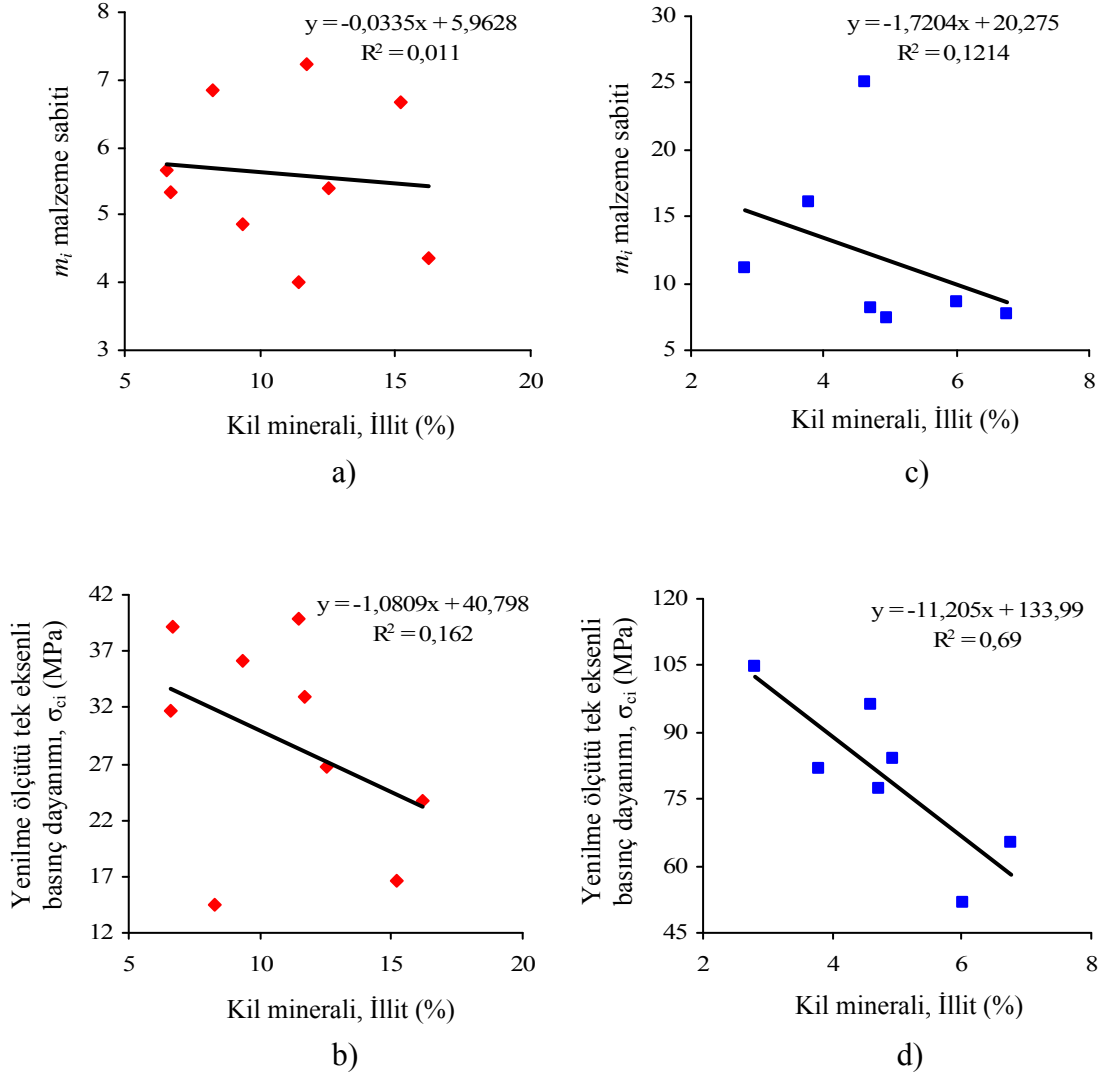
- İllit türü kil minerali ile yenilme ölçütü parametreleri, tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki.

Çalışma bölgeleri marınlarının içerdikleri İllit türü kil minerali ile yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısı arasındaki ilişkiler Şekil 7.37’de, m_i

sabiti ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkilerde Şekil 7.38'de grafiksel olarak verilmiştir.



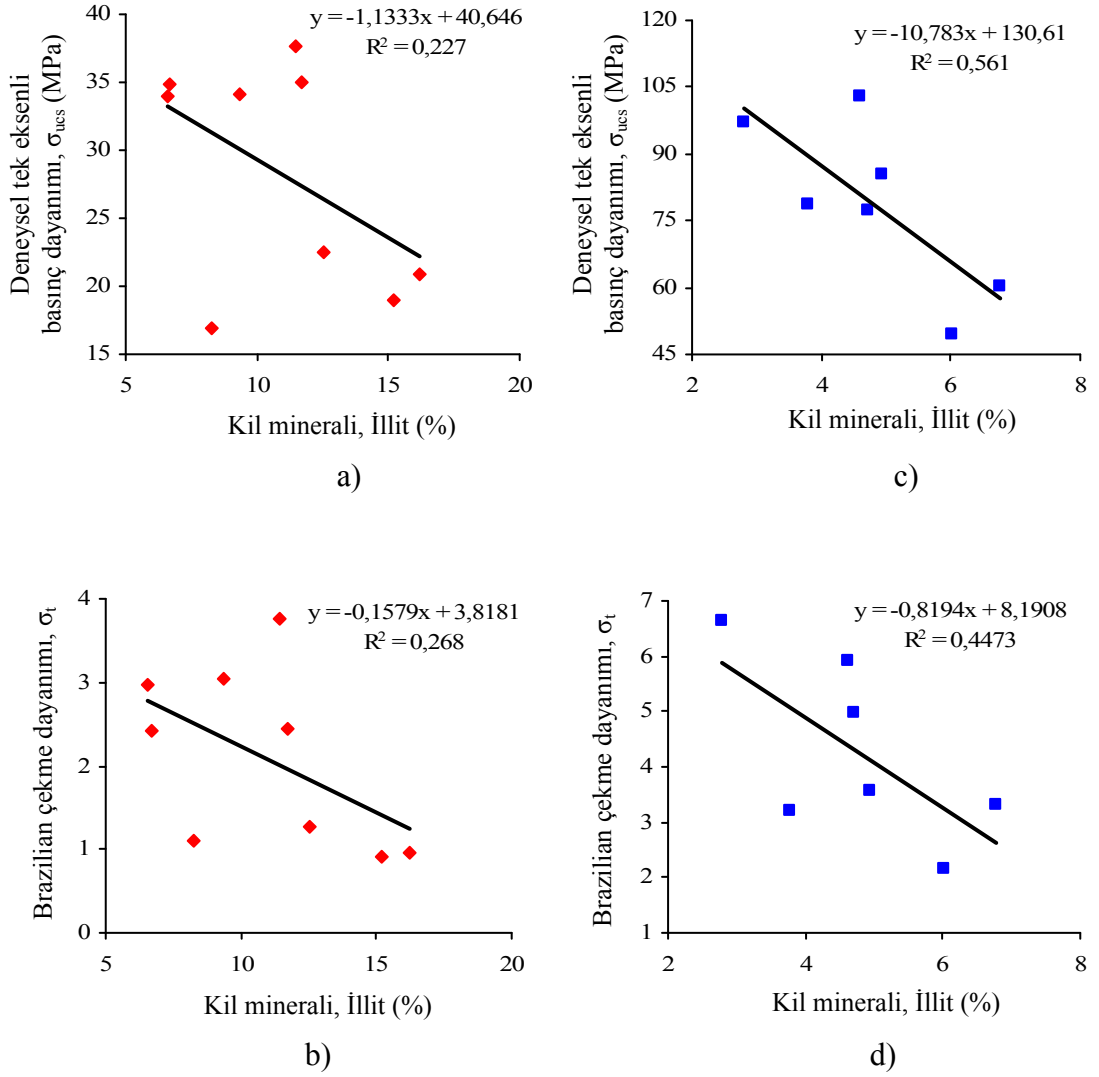
Şekil 7.37. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve içsel sürtünme açısının kil minerali türü illit miktarına bağlı değişimi.



Şekil 7.38. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinden m_i malzeme sabiti ve tek eksenli basınç dayanımının kil minerali türü illit miktarına bağlı değişimi.

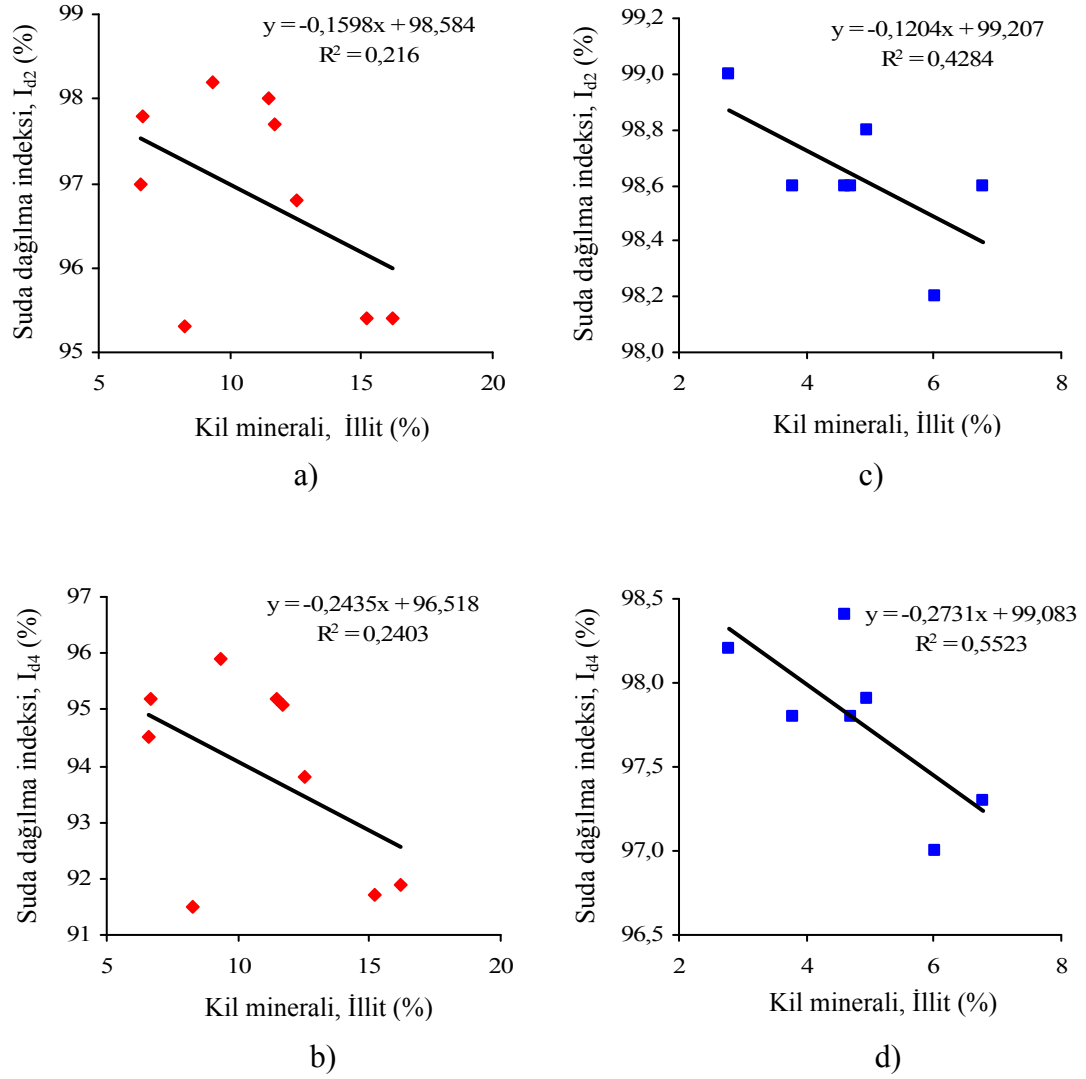
Bir kil minerali türü olan İllit ile yenilme ölçütü parametreleri arasındaki değerlendirmeye göre; İllit miktarının, yenilme ölçütü parametrelerini olumsuz etkilediği ancak bu etkinin istenen düzeyde olmasa da yine de yenilme ölçütü parametrelerinin değerlerini azalttığı belirlenmiştir.

Laboratuvarda deneysel olarak belirlenen tek eksenli basınç dayanımı ile Brazilian çekme dayanımının, kil minerali türü İllit miktarındaki artışa bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Şekil 7.39'daki R^2 değerlerinin yüksek olmamasına rağmen, İllit tipi kil mineralinin, dayanımı azaltıcı yönde etki yaptığı gerçeği göz ardı edilmemelidir.



Şekil 7.39. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi deneysel tek eksenli basınç dayanımı ve Brazilian çekme dayanımının kil minerali türü illit miktarına bağlı değişimi.

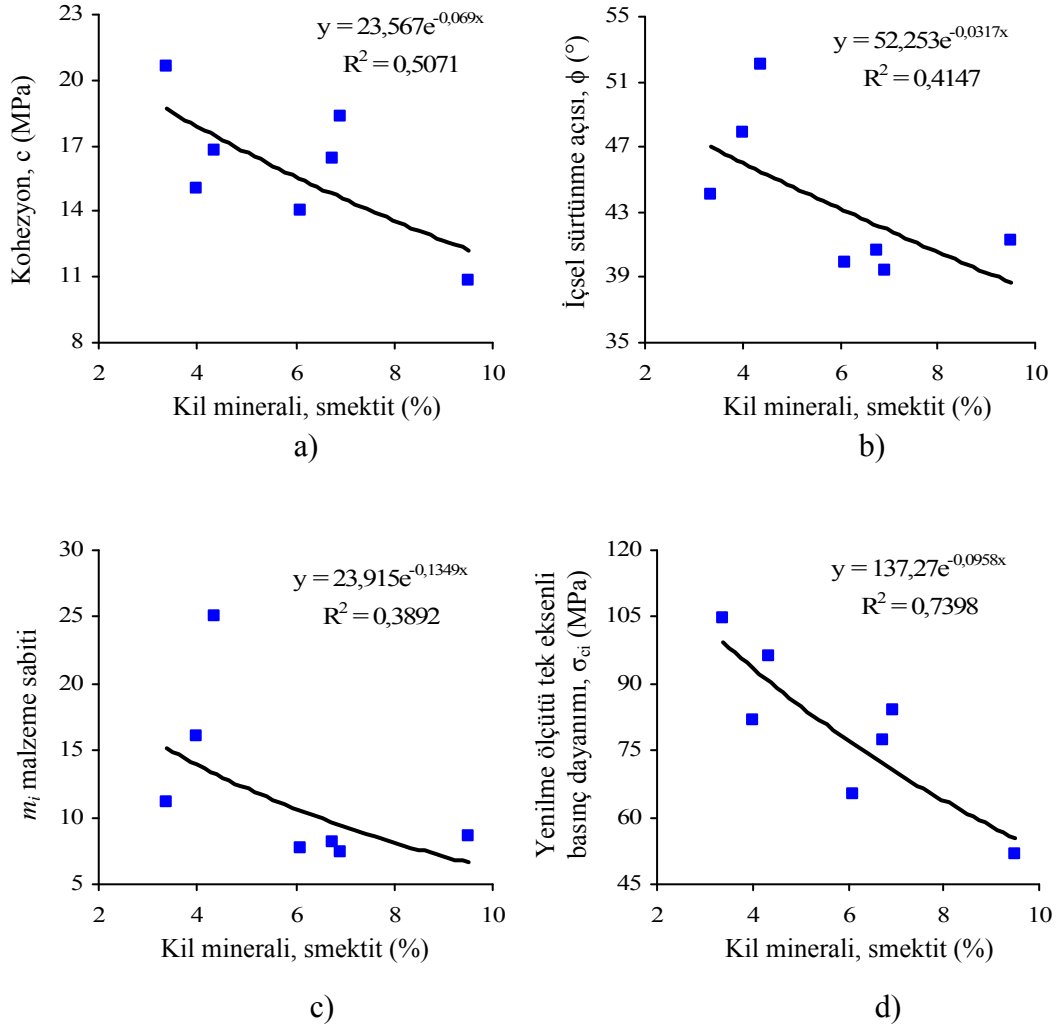
Şekil 7.39'daki duruma benzer bir sonuçta, İllit içeriği ile suda dağılırlık arasında yapılan istatistiksel değerlendirmede görülmüştür. Buna göre; İllit türü kil mineralinin suda dağılırlığı arttırdığı söylenebilir (Şekil 7.40).



Şekil 7.40. (a, b) Tunçbilek ve (c, d) Soma bölgesi suda dağılırlığının (I_{d2} - I_{d4}) kil minerali türü illit miktarına bağlı değişimi.

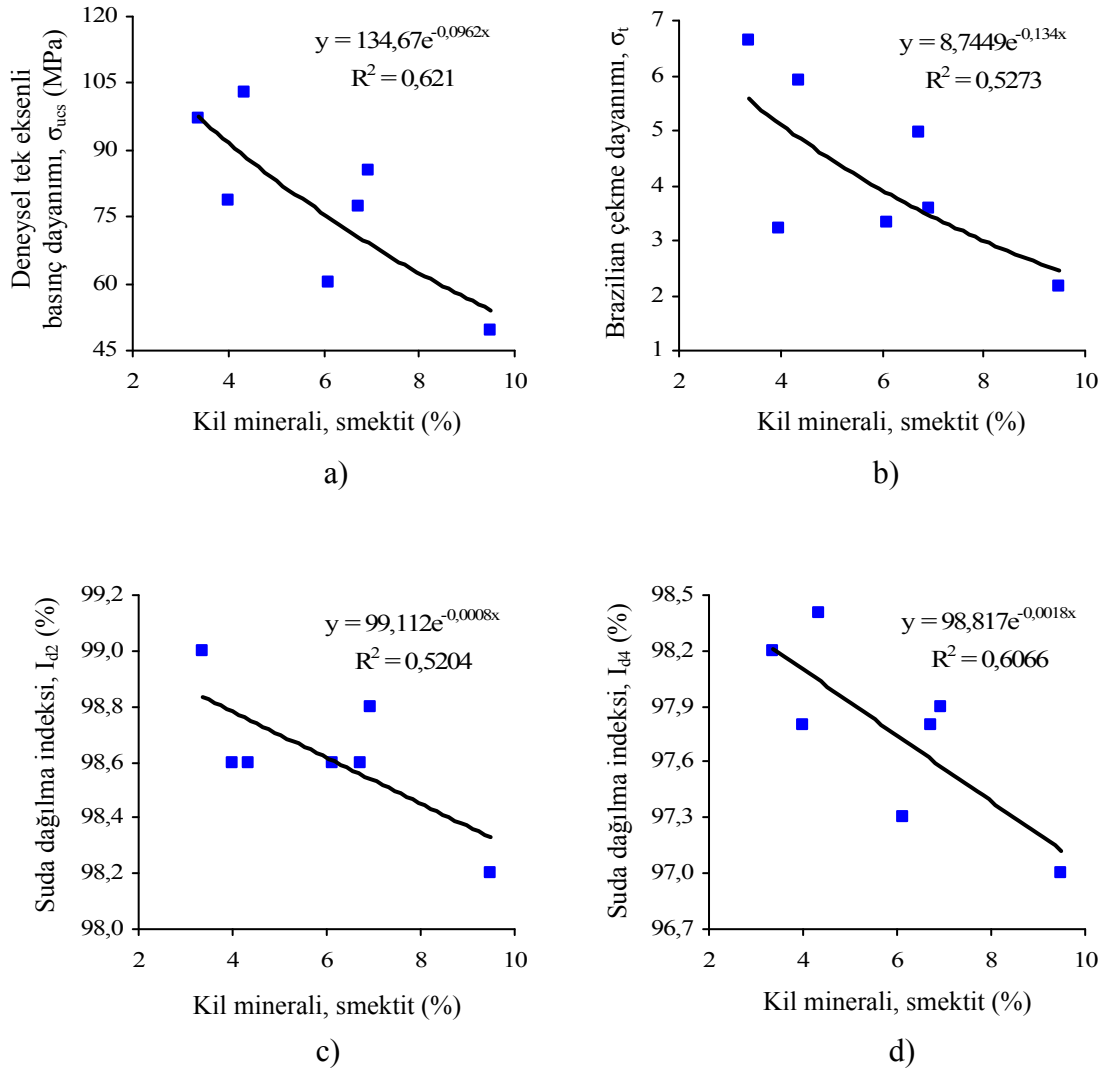
- Smektit türü kil minerali ile yenilme ölçütü parametreleri, tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasındaki ilişki.

Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi örneklerine ait X-Işınları kırınımı analiz sonuçlarına göre, smektit türü kil mineraline tüm örneklerde rastlanmamıştır. Bu nedenle, Tunçbilek bölgesi için bu kil minerali tipine ilişkin değerlendirme yapılmamıştır. Soma bölgesi örneklerine ait ilişkiler Şekil 7.41’de grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 7.41. (a, b, c, d) Soma bölgesi yenilme ölçütü parametrelerinin kil minerali türü smektit miktarına bağlı değişimi.

Smektit tipi kil minerallerinin yüksek oranlardaki su emme özelliği, taneler arasındaki bağı zayıflatarak kayacın şişmesine ve dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Bu durum yapılan istatistiksel değerlendirmede görülmüş, smektit tipi kil minerali içeriğinin artışına bağlı olarak, yenilme ölçütü parametreleri (Şekil 7.41), tek eksenli basınç dayanımı (Şekil 7.42a) ve Brazilian çekme dayanımı (Şekil 7.42b) azalmış, suda dağılılırlik (Şekil 7.42c, d) ise artmıştır.



Şekil 7.42. Soma bölgesi; a) deneysel tek eksenli basınç dayanımı, b) Brazilian çekme dayanımı ve (c, d) suda dağılıma indeksinin kil minerali türü smektit miktarına bağlı değişimi.

7.4. Marnın Nem İçeriği-Dayanım İlişkisi

Nem içeriğinin marn kaya malzemesi dayanımı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla, Tunçbilek çalışma bölgesine ait farklı nem içeriklerinde koşullandırılan karot örnekler (Bkz. Bölüm 5.3), üç eksenli basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur (Bkz. Ek-3). Marn örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiş olan üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından RocLab paket programı (RocLab software, 2007) (Şekil 7.1 ve 7.2) kullanılarak yenilme ölçütü parametreleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 7.3'de verilmiştir.

Sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri; gri renkli, kahve renkli ve her ikisi birden olmak üzere farklı şekilde koşullandırılmış örnek grupları için ayrı ayrı belirlenmiştir.

Çizelge 7.3. Marn örneklerinin üç eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçlarından elde edilmiş olan sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri

| Koşullandırma | Renk | Mohr-Coulomb | | Hoek-Brown | |
|---------------|-----------|--------------|---------------|------------------------|-------|
| | | c (MPa) | ϕ (°) | σ_{ci} (MPa) | m_i |
| Kuru | Gri | 12.36 | 32.86 | 48.31 | 4.26 |
| | Kahve | 12.57 | 37.76 | 55.35 | 6.36 |
| | Gri+kahve | 9.85 | 41.34 | 47.15 | 8.65 |
| 17.6°C-%60 RH | Gri | 8.57 | 36.76 | 36.85 | 5.85 |
| | Kahve | 10.44 | 40.38 | 48.87 | 7.95 |
| | Gri+kahve | 6.87 | 45.73 | 36.01 | 13.00 |
| 17.6°C-%80 RH | Gri | 8.41 | 36.61 | 36.00 | 5.77 |
| | Kahve | 7.83 | 41.38 | 37.53 | 8.68 |
| | Gri+kahve | 6.91 | 42.69 | 34.07 | 9.77 |
| 17.6°C-%90 RH | Gri | 8.79 | 34.67 | 35.92 | 4.93 |
| | Kahve | 7.98 | 40.30 | 37.31 | 7.89 |
| | Gri+kahve | 7.09 | 41.23 | 33.84 | 8.56 |
| Suya doygun | Gri | - | - | - | - |
| | Kahve | 5.62 | 42.56 | 27.63 | 9.66 |

Çizelge 7.3'den gri ve kahve renkli marn örneklerine ait deney sonuçlarının tümüne göre olan m_i sabitinin, sadece gri veya kahve renkli marn için olan m_i sabitinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin; kuru örneklerde gri renkli marn için m_i sabiti 4.26 veya kahve renkli marn için 6.36 olurken, her ikisine ait deney sonuçlarına göre m_i sabiti daha yüksek olan 8.65 değerini taşımaktadır. Bu durumu açıklayabilmek amacıyla Çizelge 7.4'deki yan çalışma gerçekleştirilmiştir. Burada; I. sütun 1'den 5 MPa'a kadar değişen sabit yanal basınç değerlerine (σ_3) karşılık artan şekilde gelişigüzel alınmış düşey basınç değerlerini (σ_1) gösterirken, diğer sütunlarda düşey basınç değerleri değiştirilmiştir. II. ve III. sütunda düşey basınç değerlerinin alt ve üst sınırları değiştirilmiş, IV. sütun da ise ara bir değer 100 MPa olarak alınmıştır. Bu dört farklı durum için RocLab programı kullanılarak m_i sabiti değerleri hesaplanmıştır. Buna göre, üç eksenli basınç dayanımı değerlerinin dağılımı arttıkça m_i malzeme sabiti değeri de artmaktadır.

Çizelge 7.4. Düşey basınç değerlerindeki değişimin m_i sabiti üzerine etkisi.

| σ_3 (MPa) | I | II | III | IV |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | σ_1 (MPa) | σ_1 (MPa) | σ_1 (MPa) | σ_1 (MPa) |
| 1 | 40 | 40 | 30 | 40 |
| 2 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 3 | 55 | 55 | 55 | 100 |
| 4 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 5 | 80 | 100 | 80 | 80 |
| m_i | 33.5 | 50 | 50 | 39 |

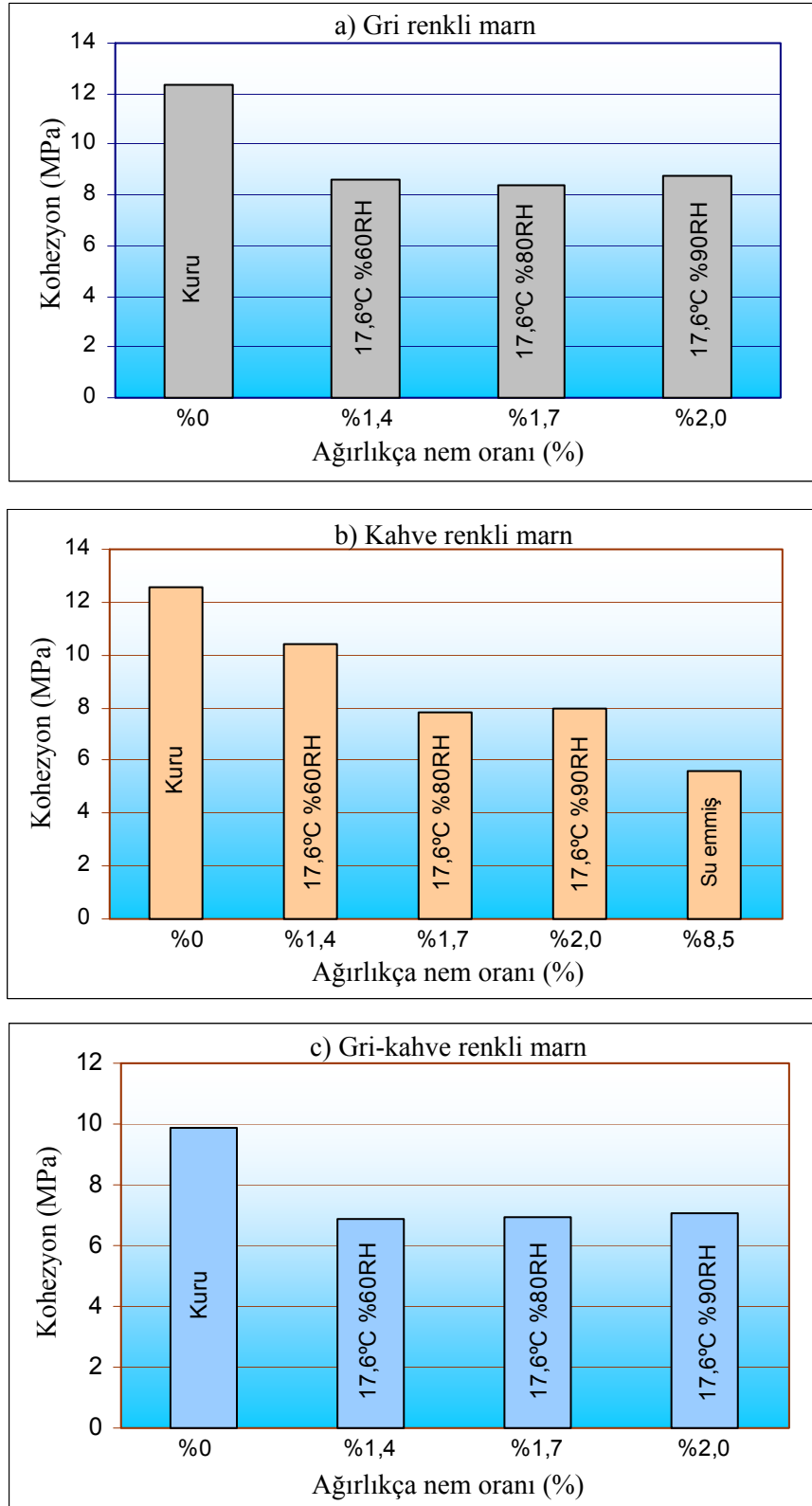
Üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları gri marn örneklerinin kahve renkli marn örneklerine göre daha zayıf olduğunu göstermiştir. Gri ve kahve renkli marn deney sonuçlarının tümüne göre olan m_i malzeme sabiti değerinin sadece gri veya kahve renkli marn için olan m_i malzeme sabitinden daha yüksek olması, deney sonuçlarının saçılımının artmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 7.3'deki sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri ile nem içeriği ilişkileri Şekil 7.43, 7.44, 7.45 ve 7.46'da grafiksel olarak verilmiştir. Grafiklerden; marn kaya malzemesinin nem içermesi durumunda kohezyonunun ve tek eksenli basınç dayanımının azaldığı, içsel sürtünme açısı ve m_i değerlerinde sapmalar olmakla birlikte artış olduğu belirlenmiştir.

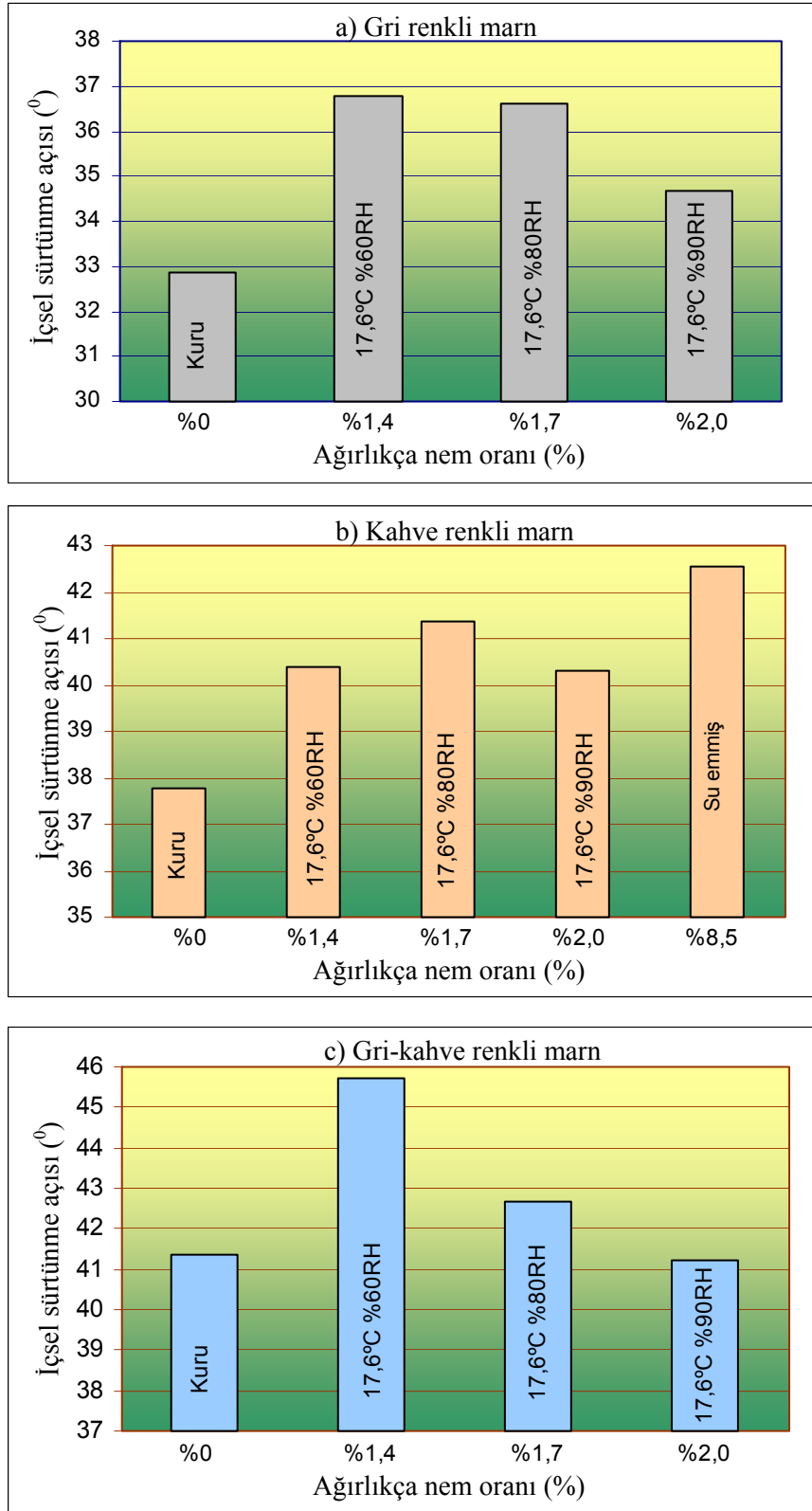
Şekillerdeki (b) ve (c) grafiklerinde birbirine yakın değerler dikkat çekicidir. Bunun sebebi, örneklerin ara koşullandırmalar ile birbirine yakın oranda nem almış olması, yani nem içeriklerinin yakın olması ile açıklanabilir. Ayrıca, örneklerin dayanım özelliklerinin birbirinden farklı oluşu, nem içerikleri artmasına rağmen değerlerin birbirine yakın olarak bulunmasına neden olmuş olabilir. Bunun yanında, örneklerin dayanım özelliklerinin birbirinden farklı oluşu değerler arasındaki sapmaların da sebebi olabilir.

Tunçbilek marnlarının dayanım deneylerinin, disklenmeden dolayı havada kuru örnekler üzerinde yapılmış olduğu çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Buna örnek olarak, MTA tarafından bölgede yapılmış olan JT4 karotlu sondajına ait jeoteknik rapor ve derin sahalarla ilgili projeler gösterilebilir (Çekilmez, 1988; Eskikaya vd. 1991; Esmek vd, 1993). Doğal ortam şartlarına göre deney örneklerinin koşullandırılmasının önemini ortaya koymak için ve dolayısıyla bunun nemlilik dayanım ilişkisiyle de ilgili oluşu nedeniyle, bu bölüm içerisinde havada kuru örnekler üzerinde gerçekleştirilmiş olan üç eksenli basınç deney sonuçlarına yer verilmiştir.

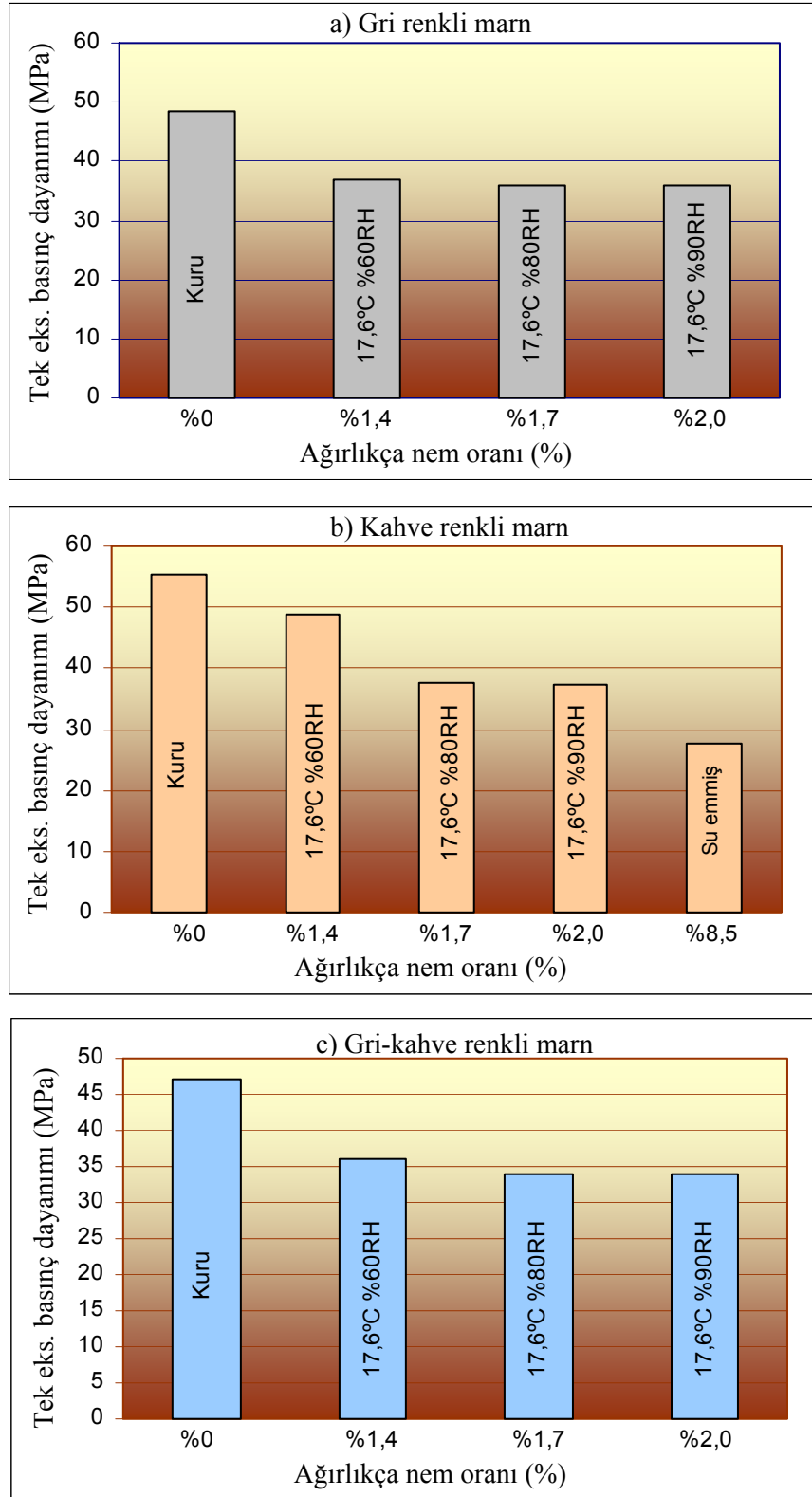
Tunçbilek bölgesine ait marn karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiş olan havada kuru (Ek-4) örneklere ait deney sonuçlarından elde edilmiş yenilme ölçütü parametreleri ile koşullandırılmış örneklere ait (Bkz. Bölüm 7.1) değerler Çizelge 7.5'de verilmiştir.



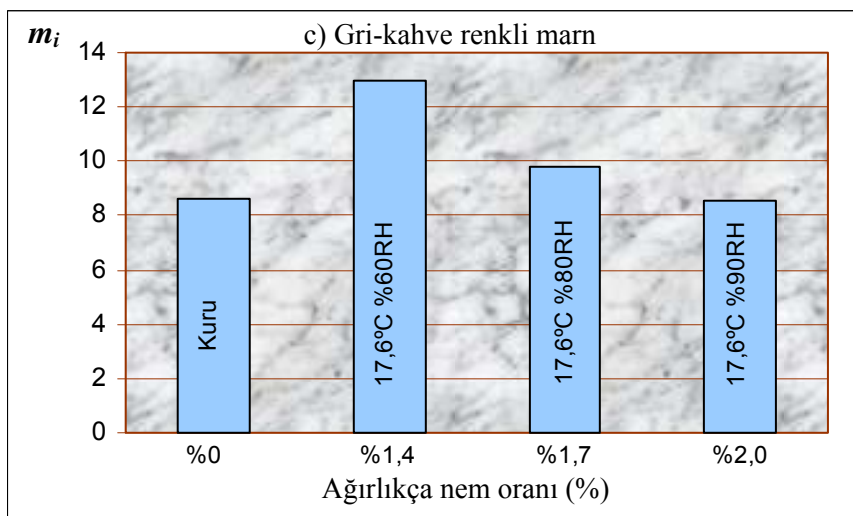
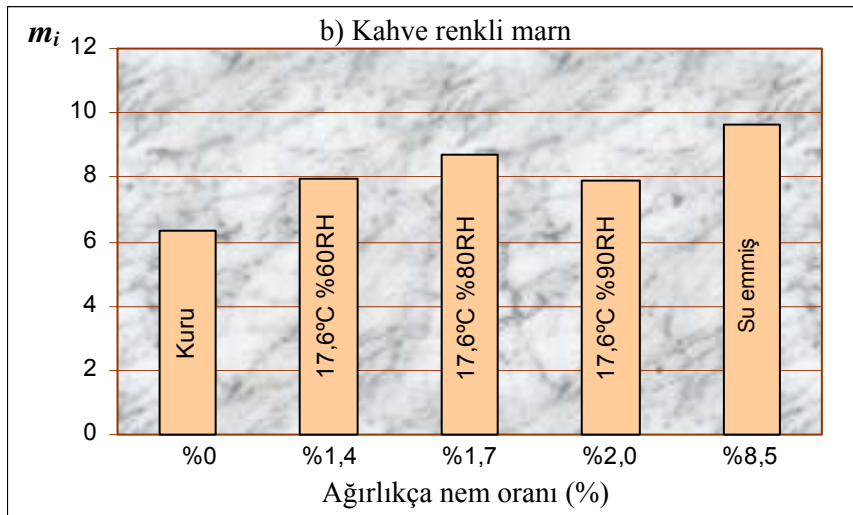
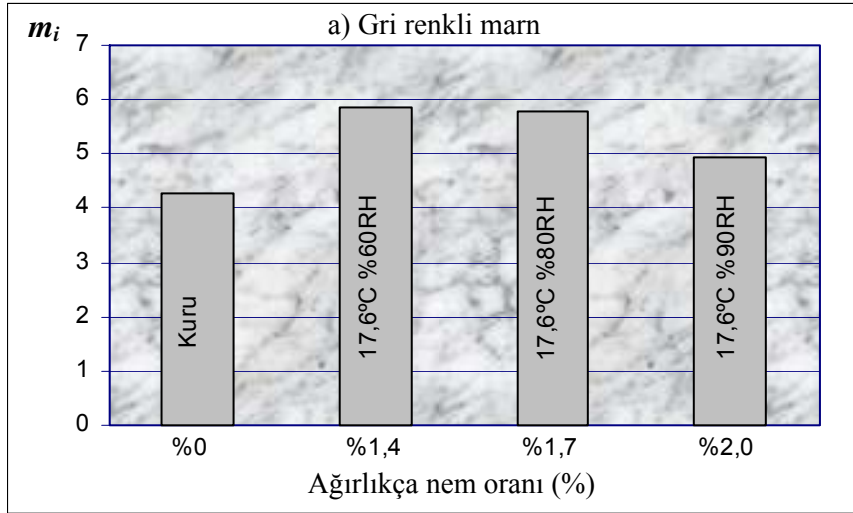
Şekil 7.43. a) Gri renkli marn, b) kahve renkli marn ve c) her ikisi için olmak üzere sağlam kaya kohezyonu ile ağırlıkça nem oranı arasındaki ilişki.



Şekil 7.44. a) Gri renkli marn, b) kahve renkli marn ve c) her ikisi için olmak üzere sağlam kaya içsel sürtünme açısı ile ağırlıkça nem oranı arasındaki ilişki.



Şekil 7.45. a) Gri renkli, b) kahve renkli marn ve c) her ikisi için olmak üzere sağlam kaya tek eksenli basınç dayanımı ile ağırlıkça nem oranı arasındaki ilişki.



Şekil 7.46. a) Gri renkli marn, b) kahve renkli marn ve c) her ikisi için olmak üzere sağlam kaya m_i parametresi ile ağırlıkça nem oranı arasındaki ilişki.

Çizelge 7.5. Tunçbilek bölgesi marınlarının havada kuru ve laboratuvarında koşullandırılmış örneklere ait üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilmiş olan sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri.

| RocLab | Mohr-Coulomb | | | | Hoek-Brown | | | |
|--------|--------------|-----------------|-------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------|-----------------|
| | c (MPa) | | ϕ (°) | | σ_{ci} (MPa) | | m_i | |
| | Havada Kuru | Lab. Koşulland. | Havada Kuru | Lab. Koşulland. | Havada Kuru | Lab. Koşulland. | Havada Kuru | Lab. Koşulland. |
| | 12.57 | 6.85 | 29.33 | 35.70 | 45.04 | 28.69 | 3.23 | 5.36 |

Çizelge 7.5'den görüldüğü gibi, koşullandırma sonrası kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ve kohezyonu azalmaktadır. Ancak, içsel sürtünme açısı ile m_i değerleri tam aksine artmaktadır. m_i sabiti; kayayı oluşturan tanelerin büyüklüğü, kenetleme derecesi ile geometrisine ve kayanın türüne bağlı olarak değişmektedir. Bu tanıma göre, m_i 'deki artış içsel sürtünme açısından kaynaklanmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi, üç eksenli basınç deney sonuçları arasındaki saçılım artıka m_i malzeme sabiti de artmaktadır. Burada m_i 'deki artışın sebebi neme veya suya duyarlı örnekler nedeniyle, dayanımlı örneklere ait değerler arasındaki farklılığın koşullandırma sonrası artması, yani değerler arasındaki saçılım olduğu düşünülmektedir.

Benzer çalışma Soma bölgesi için de gerçekleştirilmiş ve Çizelge 7.6'daki sonuçlar elde edilmiştir. Buradaki ilişkiler de Tunçbilek bölgesine benzer olup, koşullandırma sonrası kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı ve kohezyonu azalmaktadır. İçsel sürtünme açısı ile m_i değerleri ise tam aksine çok az da olsa artmaktadır.

Çizelge 7.6. Soma bölgesi marınlarının havada kuru ve suya doymun örneklere ait üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilmiş olan sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri.

| RocLab | Mohr-Coulomb | | | | Hoek-Brown | | | |
|--------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| | c (MPa) | | ϕ (°) | | σ_{ci} (MPa) | | m_i | |
| | Havada Kuru | Suya Doymun | Havada Kuru | Suya Doymun | Havada Kuru | Suya Doymun | Havada Kuru | Suya Doymun |
| | 23.16 | 16.33 | 43.36 | 43.76 | 115.86 | 82.37 | 10.39 | 10.78 |

7.5. Sayısal Modelleme Analizleri

Tunçbilek marnlarının nem içeriği ile kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri arasındaki ilişkilere göre (Çizelge 7.3); kaya malzemesinin nem içeriği arttıkça kohezyonu düşmekte ancak içsel sürtünme açısı artmaktadır. Kohezyona göre kaya malzemesi dayanımı değerlendirildiğinde nemin dayanımı düşürdüğü söylenebilir, ancak dayanım içsel sürtünme açısına göre değerlendirildiğinde, tam tersi bir sonuca ulaşılmaktadır. Benzer bir durumla, gri ve kahverengi marnların karşılaştırılmasında da görülmüştür. Kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerine göre dayanım değerlendirmesini yapabilmek amacıyla, sayısal modelleme analizlerinden yararlanılması düşünülmüştür.

Bu amaçla, Çizelge 7.7’de görülen, kuru ve 17.6°C-%90 RH’de koşullandırılmış marn örneklerine ait kaya malzemesi yenilme ölçütü parametreleri ele alınmış ve buna göre sayısal modelleme analizleri planlanmıştır. Sayısal modelleme analizlerinde Phase² programı kullanılmıştır.

Çizelge 7.7. Kuru ve 17.6°C - %90 RH’de koşullandırılmış marn örneklerinin sağlam kaya yenilme ölçütü parametreleri.

| Koşullandırma | Renk | Mohr-Coulomb | | Hoek-Brown | |
|---------------|-----------|--------------|--------------------------|------------------------|-------|
| | | c (MPa) | ϕ ($^{\circ}$) | σ_{ci} (MPa) | m_i |
| Kuru | Gri | 12.36 | 32.86 | 48.31 | 4.26 |
| | Kahve | 12.57 | 37.76 | 55.35 | 6.36 |
| | Gri+Kahve | 9.85 | 41.34 | 47.15 | 8.65 |
| 17.6°C-%90 RH | Gri | 8.79 | 34.67 | 35.92 | 4.93 |
| | Kahve | 7.98 | 40.30 | 37.31 | 7.89 |
| | Gri+Kahve | 7.09 | 41.23 | 33.84 | 8.56 |

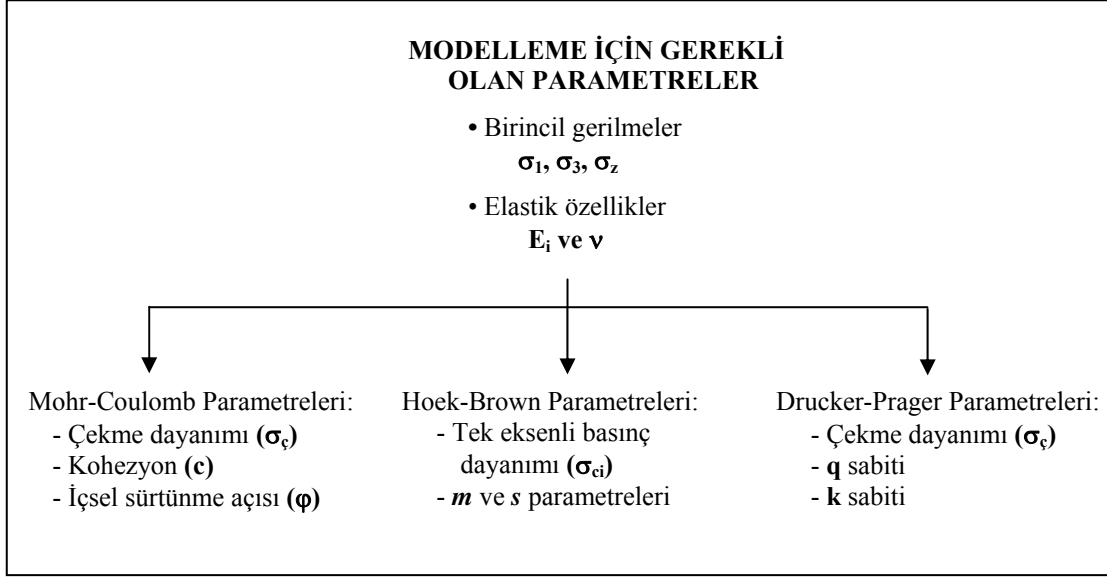
7.5.1. Phase² sayısal modelleme programının tanıtılması

Phase² sonlu elemanlar yöntemine göre analiz yapan ve madencilik kazı açıklıkları için tahkimat tasarımında kullanılabilen bir sayısal modelleme programıdır (Phase² User's Guide, 1998-2001). Sonlu elemanlar yönteminin esası, bir yapıyı birçok sonlu elemanlara bölmeye dayanır. Bu elemanlar birbiriyle belirli noktalardan (düğüm noktaları) bağlanır. Basit fonksiyonlar, her sonlu eleman üzerindeki gerçek yer değiştirmeleri yaklaşık olarak belirlemek üzere seçilir. Bunlara yer değiştirme fonksiyonları da denir. Çözüm noktalarındaki yer değiştirmeleri ve sonuç olarak tüm sistemdeki noktaların yer değiştirmesini yani yapının fonksiyonunu incelemek şeklinde olur (Önce, 1999).

Phase² sayısal modelleme programıyla iki boyutlu model analizleri yapılabildiği gibi basit kesitler için üç boyutlu analizler de mümkün olmaktadır. Sayısal modellemede üç farklı yenilme ölçütüne göre analiz yapılabilmektedir. Söz konusu yenilme ölçütleri:

- Mohr-Coulomb yenilme ölçütü
- Hoek-Brown yenilme ölçütü
- Drucker-Prager yenilme ölçütü

Şekil 7.47'de Mohr-Coulomb, Hoek-Brown ve Drucker-Prager yenilme ölçütlerine göre elastik çözümlerinde temel olarak programa girilmesi gereken veriler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.47. Phase² sayısal modelleme programında elastik çözümlerinde yenilme ölçütlerine göre programa girilmesi gereken veriler.

Programda kaya birimlerinin anizotropik olarak tanımlanması da mümkün olabilmektedir. Ayrıca, program ile elastik ve plastik çözümler yapılabilmektedir.

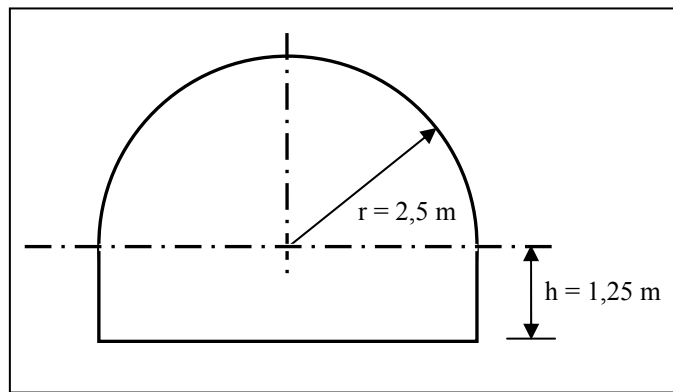
Phase² paket programıyla sayısal modelleme ön aşamaları açıklığın programa girilmesi, açıklık çevresinde üçgen veya dörtgen ağ oluşturulması, birincil (doğal) gerilmelerin programa girilmesi ve yenilme ölçütüne göre kaya kütlesi özelliklerinin programa girilmesi şeklinde sıralanabilir. Son adımla model hesaplaması programa yaptırılarak sonuçlar elde edilir.

Phase² paket programı ile gerçekleştirilen modellemeler sonucunda, kazı açıklıkları çevresindeki gerilme dağılımları ve yer değiştirmeler elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, plastik çözümlerinde açıklık çevresinde oluşan yenilmeler de görülebilmektedir (Phase² Verification Manual, 2002).

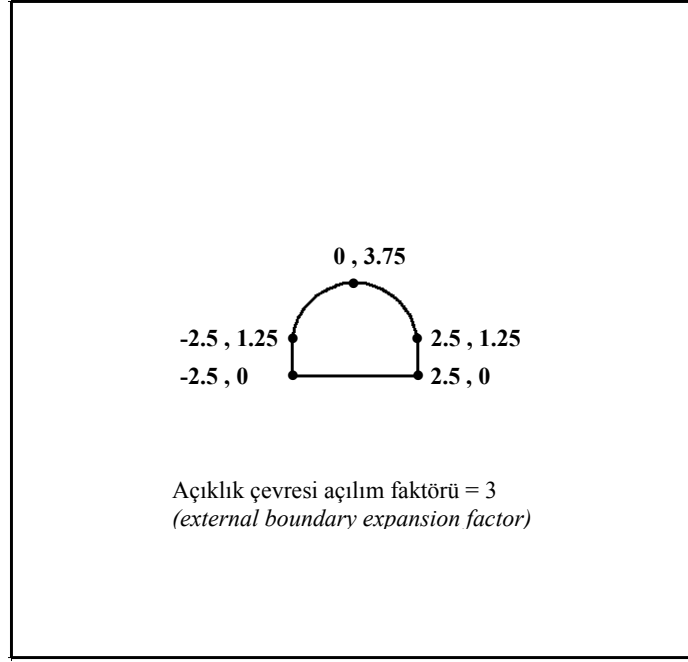
7.5.2. Sayısal modelin tasarımı

G.L.İ. Linyit Havzası mevcut yeraltı ocaklarında, ana nakliyat yollarındaki galeri kesit alanı 9.06 m^2 olup taban ayak alt ve üst taban yollarında 6.94 m^2 'dir. Havzadaki ileriye dönük madencilik çalışmaları dikkate alındığında, 'Derin Sahalar' olarak adlandırılan rezervin üretime geçirilmesi ön plana çıkmaktadır. Derin Sahalara yönelik olarak 1991 yılında İ.T.Ü. (Eskikaya vd., 1991) ve 1993 yılında G.L.İ. tarafından (Esmek vd., 1993) işletme projeleri hazırlanmıştır. Söz konusu işletme projeleri incelendiğinde B-14 tipi galeri açıklığının en yaygın maden açıklığı kesiti olduğu belirlenmiştir. Buna göre, sayısal model analizlerinin mevcut ocaklar yerine Derin Sahalara yönelik olarak yapılmasının ileriye dönük madencilik tasarımları açısından daha anlamlı olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle, Phase² sayısal modelleme programında B-14 tipi galeri açıklığının modellenmesine karar verilmiştir.

Şekil 7.48'de görülen idealleştirilmiş statik model geometrisinden (Birön ve Arıoğlu, 1985) yararlanılarak B-14 galeri kesiti Şekil 7.49'deki gibi programa tanıtılacak şekilde tasarımılandırılmıştır.



Şekil 7.48. İdealleştirilmiş statik model geometrisine göre B-14 galeri kesiti (Birön ve Arıoğlu, 1985).



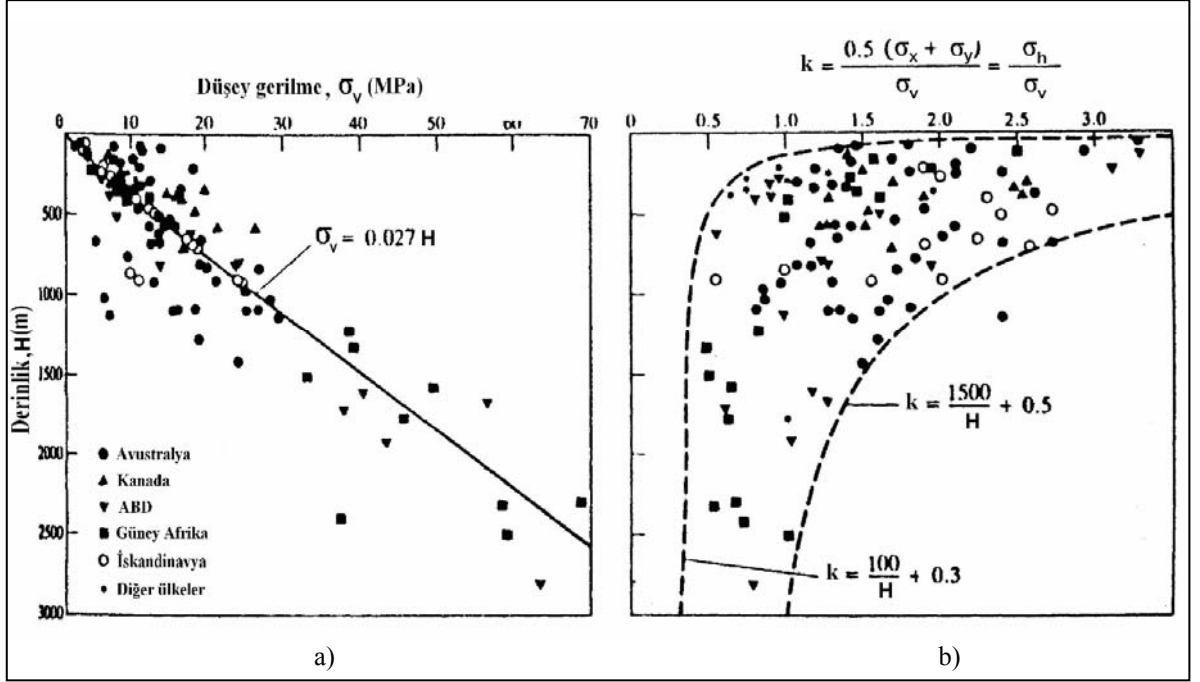
Şekil 7.49. B-14 tipi galeri açıklığının Phase² programına tanıtılabilmesi için oluşturulmuş model.

7.5.3. Doğal gerilmeler

G.L.İ. linyit havzası derin sahalar işletme projelerinde (Eskikaya vd., 1991; Esmek vd., 1993) açılacak yeraltı ocağı için adam-malzeme naklinin kuyudan ve kömür ihracının desandriden yapılması öngörülmüştür. Buna göre, kömür ihraç desandrisi 875 kotundan 140 kotuna kadar 8.4° eğimli ve 5100 m uzunluğunda sürülecektir. Projelerdeki kuyu yeri dikkate alındığında, topoğrafyanın eğimli olmasından dolayı, sürülecek olan kömür ihraç desandrisinin yüzeyden olan kot farkı yaklaşık 600 m olmaktadır.

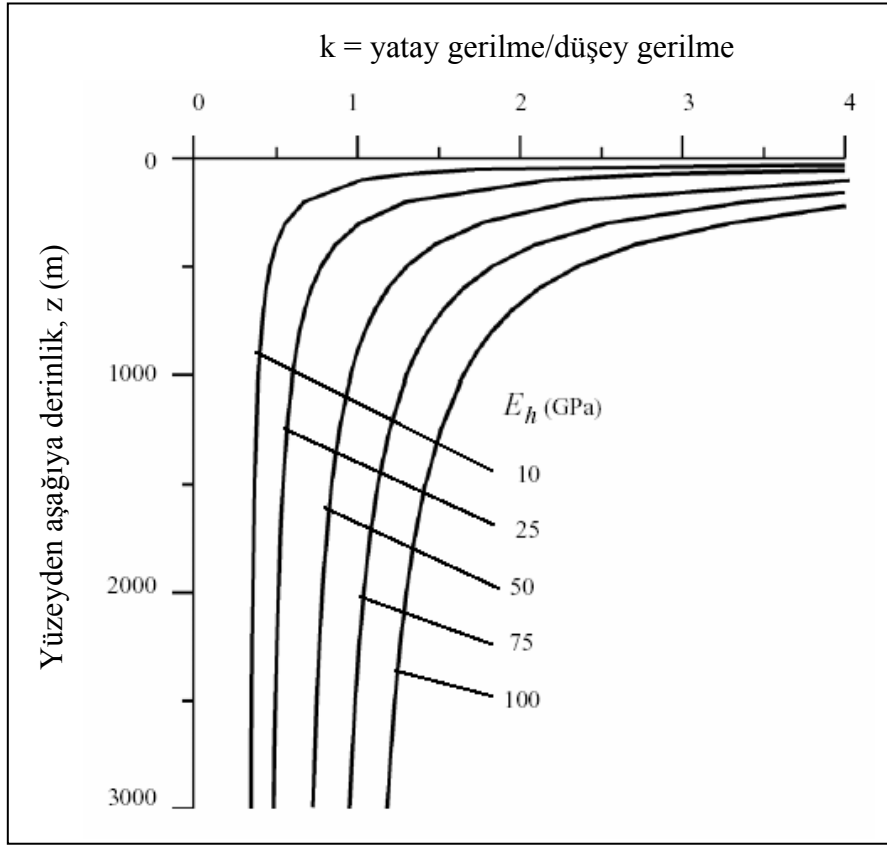
Çeşitli ülkelerde yerinde ölçüm tekniklerine göre elde edilmiş düşey gerilme bileşeni (σ_v) ve yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranı k değerlerinin derinlikle olan değişimi Şekil 7.50'de verilmiştir (Brady and Brown, 1993) Bu ilişkilere göre, 600 m

derinliğe kadar 100'er metre ara ile farklı derinlikler için k değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.8).



Şekil 7.50. Yerde ölçüm sonuçlarına göre a) düşey gerilmenin ve b) k oranının derinlikle olan değişimi (Brady and Brown, 1993).

k değerlerinin belirlenmesine yönelik diğer bir yaklaşım Sheorey (1994) tarafından önerilmiştir. Sheorey bağıntısına göre, farklı deformasyon modülleri için yatay gerilmenin düşey gerilmeye olan oranının derinlikle değişimi Şekil 7.51'de verilmiştir. Tunçbilek marınlarının düşük dayanımlı olması nedeniyle, Şekil 7.51'deki en düşük deformasyon modülüne göre k değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.8).



Şekil 7.51. Sheorey bağıntısına göre, farklı deformasyon modülleri için yatay gerilmenin düsey gerilmeye olan oranının derinlikle değişimi (Hoek, 2000)

Çizelge 7.8. G.L.İ. sayısal model analizleri için hesaplanmış k oranı değerleri.

| Derinlik (m) | k oranı | | Sheorey (1994) bağıntısına göre ortalama |
|-----------------|--|-------|--|
| | Yerinde ölçüm değerlerine göre (Şekil 3b) | | |
| | min. | maks. | |
| 100 | 1.3 | 15.5 | 1.02 |
| 200 | 0.8 | 8.0 | 0.67 |
| 300 | 0.63 | 5.5 | 0.55 |
| 400 | 0.55 | 4.25 | 0.50 |
| 500 | 0.5 | 3.5 | 0.46 |
| 600 | 0.47 | 3.0 | 0.44 |

Çizelge 7.8'den yerinde ölçüm sonuçları ilişkisine göre derinlik arttıkça k oranının alt ve üst değerleri arasındaki farkın azaldığı ve 600 m derinlik için k oranının 0.47 ile 3.0 arasında değer taşıdığı görülmektedir. Sheorey bağıntısından elde edilen değerler ise, yerinde ölçüm değerlerine göre bulunan k oranının alt ve üst değerleri dışında kalmaktadır. Sheorey bağıntısından elde edilen k oranı değerlerinin yerinde ölçüm sonuçlarıyla uyuşmaması nedeniyle, sayısal modellemede kullanılması uygun görülmemiştir. Bununla birlikte, Sheorey'in k oranı yaklaşımında dikkat çekici bir nokta, zayıf kayalarda sağlam kayalara nazaran yatay gerilmenin düşey gerilmeye oranının aynı derinlik için daha küçük değerler göstermesidir (Şekil 7.51).

Tuncay ve Ulusay'ın (2002) Türkiye'de çeşitli bölgelere ait kaya malzemeleri üzerinde akustik emisyon yöntemiyle gerçekleştirdikleri laboratuvar deneyleri sonuçları dünyanın çeşitli bölgeleri için derlenen yerinde ölçüm sonuçları dağılımının alt sınırına yakın konumda yer almıştır.

Hoek vd. (2005) tektonik olarak örselenmemiş kumtaşları, konglomeralar, silttaşları ve marn sediman serilerinden oluşan molaslar için arazi gerilme ölçümlerinin mümkün olmaması durumunda k oranı sınır değerlerinin 0.5 ve 2 olarak alınmasını önermişlerdir.

k oranı ile ilgili söz konusu çalışmalar ve öneriler dikkate alınarak, G.L.İ. sayısal modelleme analizlerinde k için 0.5 ve 2 alt ve üst değerlerinin alınması uygun görülmüştür.

G.L.İ. derin sahalar kuyu yerinde gerçekleştirilmiş olan karotlu sondaja ait jeoteknik etütte, marnın ortalama birim hacim ağırlığı 2.2 g/cm^3 olarak belirtilmiştir (Çekilmez, 1988). Bu değere göre düşey gerilme bileşeni büyüklükleri (σ_v) ve k için 0.5 ve 2 değerleri alınarak ortalama yatay gerilme bileşeni büyüklükleri (σ_h) hesaplanmıştır. Sayısal modelleme analizlerinde yararlanılmak üzere hesaplanmış olan söz konusu doğal gerilme büyüklükleri Çizelge 7.9'da bir arada verilmiştir.

Çizelge 7.9. G.L.İ. derin Sahalar için doğal gerilme tansörü bileşenlerinin hesaplanmış değerleri.

| Derinlik (m) | Düşey gerilme (σ_v) (MPa) | Yatay gerilme (σ_h) (MPa) | |
|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------|
| | | ($k=0.5$) | ($k=2$) |
| 100 | 2.2 | 1.1 | 4.4 |
| 200 | 4.4 | 2.2 | 8.8 |
| 300 | 6.6 | 3.3 | 13.2 |
| 400 | 8.8 | 4.4 | 17.6 |
| 500 | 11.0 | 5.5 | 22.0 |
| 600 | 13.2 | 6.6 | 26.4 |

7.5.4. Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre gerekli olan modelleme verileri

- **Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)**

GSI değerinin belirlenmesine yönelik literatürde çeşitli yöntemler yer almaktadır. Bunlardan ilki, Hoek'un (1995) önerdiği RMR değerine bağlı olarak *GSI* değerinin belirlenmesidir. Bu yöntemde; kaya kütlelerinin tamamen kuru ve süreksizlik yönelimi de çok iyi kabul edilerek RMR' değeri belirlenmektedir. G.L.İ. Tunçbilek bölgesi yeraltı gözlemleri sonucu, galerilerdeki su durumunun nemli olduğu ve süreksizlik yönelimlerinin ise galeri yönelimlerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. RMR' değeri herhangi bir kaya kütle sınıflandırmasında kullanılmamakta olup, sadece *GSI* değerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, bu yönteme göre RMR sınıflandırma parametrelerinden su durumu ve süreksizlik yönelimi *GSI* değerini etkilememekte ve bundan dolayı ayrı bir RMR' tanımlanmaktadır.

Tez çalışmaları kapsamında G.L.İ. linyit havzası marn kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı değeri, koşullandırılmış örneklerde 26.88 MPa olarak bulunmuştur. MTA tarafından derin sahalar olarak adlandırılan bölgede yapılmış olan

JT4 karotlu sondaj jeoteknik etüdünde (Çekilmez, 1988) marnın RQD değerine göre “kötü” kaya sınıfında yer aldığı belirtilmektedir. Bu bilgiler ve G.L.İ. arazi çalışmaları gözlem ve ölçümlerine göre, marn için RMR_{89} ’ değeri hesaplanmış (Bkz. Ek-9) ve buna bağlı olarak da Çizelge 7.10’da görüldüğü gibi *GSI* değeri 52 olarak bulunmuştur.

Çizelge 7.10. G.L.İ. linyit havzası anakayacı marnın, Bieniawski’nin 1989 yılındaki kayaç sınıflandırmasından (Ek-9) yararlanılarak bulunan *GSI* değeri.

| Sınıflama Parametreleri | Özellikler | Derecelendirme |
|------------------------------|---|----------------|
| Tek eksenli sıkışma dayanımı | 26.88 MPa | 4 |
| Kaya kalite göstergesi (RQD) | %25-%50 | 8 |
| Süreksizlik aralığı | 480 mm | 10 |
| Süreksizliklerin durumu | Az kaba yüzeyler, yumuşak dolgu, ayrılma<1 mm | 20 |
| Yeraltı suyu | kuru | 15 |
| Süreksizlik yönelimi | çok iyi | 0 |
| | RMR_{89} | 57 |
| | <i>GSI</i> | 52 |

Hoek’un (1995) RMR ’ değerinden *GSI* değerini belirlemeye yönelik önerdiği yöntemde, galerilerdeki su durumu ve süreksizlik yönelimi hesaba katılmamaktadır. Bu durum, ilerleyen yıllarda Hoek ve Brown (1997) tarafından dikkate alınarak *GSI* için ayrı bir sınıflandırma yöntemi geliştirilmiştir. Son şeklini Marinos ve Hoek (2001) tarafından almış olan sınıflandırmaya göre G.L.İ. marnları için *GSI* değeri belirlenmiştir.

G.L.İ. linyit havzası arazi çalışmaları sonucu, marn kaya kütlelerinin yapısı “çok bloklı” ve yüzey koşulları; süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü “dalgalı-düz” ve süreksizlik yüzeyleri “az bozunmuş” olarak tanımlanmış olduğundan “orta” olarak değerlendirilmiştir. Bu tanımlamalara göre, Şekil 2.8’den marn kaya kütlelerinin *GSI* değerinin 37-54 aralığında ve ortalama 45 olduğu görülmektedir.

Marinos ve Hoek'un (2001) önerdiği yönteme göre, G.L.İ. marnları için *GSI* değeri 37-54 arasında bir değer almaktadır. *GSI* için net bir değer elde edilememekte ve geniş bir aralık değeri belirlenebilmektedir. Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından *GSI* değerinin daha net bir şekilde belirlenebileceği bir yöntem önerilmiştir. Daha sonra bu yöntem Sönmez vd. (2004) tarafından son şeklini almıştır.

G.L.İ. bölgesi süreksizlik özelliklerini belirlemeye yönelik arazi çalışmaları sonucu, marn kaya kütlesi için tabakalanma düzlemi aralığı ortalama 0.45 m, eklem aralıkları ise ortalama 0.51 m olarak bulunmuş olup, ortalama süreksizlik aralığı ise 0.48 m olmaktadır. Bulunan bu değerlerden, marn kaya kütlesi için Bağıntı 2.9'a göre hesaplanan hacimsel eklem sayısı 8.5 eklem/m³ olmaktadır. Şekil 2.9'un üst kısmında bulunan grafiksel ilişkiye göre de Yapısal Özellik Puanı (SR) değeri 42 olarak bulunmuştur.

G.L.İ. arazi çalışmalarında marn kaya kütlesi "az bozunmuş" olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, Schmidt çekici ortalama geri sıçrama sertlik değerleri taze marn yüzeylerinde 38.8 ve bozunmuş süreksizlik yüzeylerinde 30.4 olarak bulunmuştur. Gökçeoğlu (1997) tarafından önerilen, taze (bozunmamış) yüzeydeki Schmidt çekici ortalama geri sıçrama değerinin (R_f) bozunmuş süreksizlik yüzeyindeki geri sıçrama değerine (R_w) oranı olan bozunma indeksine (W_c) göre kaya kütlesi bozunma derecesi belirlenebilmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Buna göre, marn kaya kütesinin bozunma indeksi 1.28 bulunmuş ve Çizelge 7.11'den "az bozunmuş" olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 7.11. Gökçeoğlu (1997) tarafından önerilen bozunma indeksine göre süreksizlik yüzeylerinin bozunma sınıflaması (Ulusay ve Sönmez, 2002).

| W_c | Sınıf | Tanım (ISRM, 1981) |
|---------|-------|------------------------|
| <1.1 | 1 | Bozunmamış (taze) |
| 1.1-1.5 | 2 | Az bozunmuş |
| 1.5-2.0 | 3 | Orta derecede bozunmuş |
| >2.0 | 4 | Tamamen bozunmuş |

G.L.İ. linyit havzası anakayacı marnın süreksizlik özelliklerine göre Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı (SCR) Çizelge 7.12’de verilmiştir.

Çizelge 7.12. G.L.İ. linyit havzası anakayacı marnın süreksizlik yüzey koşulu puanı.

| Süreksizlik Özelliği | Tanım | Puan |
|---|--------------|------|
| Pürüzlülük (R_r) | Az pürüzlü | 3 |
| Bozunma (R_w) | Az bozunmuş | 5 |
| Dolgu (R_f) | Yumuşak <5mm | 2 |
| Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı $SCR = R_r + R_w + R_f$ | | 10 |

G.L.İ. Linyit Havzası marn kaya kütlesi için yapısal özellik puanı 42 ve süreksizlik yüzey koşulu puanı 10 bulunmuş, bu puanlara göre de Şekil 2.9’dan jeolojik dayanım indeksi 44 olarak belirlenmiştir.

G.L.İ. Linyit Havzası marn kaya kütlesi için jeolojik dayanım indeksini belirlemeye yönelik üç farklı yöntem kullanılmış ve sırasıyla birbirine yakın olan 45 (37-54 aralığı ortalaması), 44 ve 52 değerleri elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, Jeolojik Dayanım İndeksinin bulunan üç değerinin ortalaması alınarak hesaplanması uygun görülmüş, böylece nihai değer $GSI=47$ olarak belirlenmiştir.

- **Örselenme faktörü (D)**

G.L.İ. linyit havzasında ileride açılacak yeni yeraltı galerileri için, kazı ve patlatmaya bağlı örselenme faktörünü net bir şekilde bugünden tahmin etmek mümkün değildir. Bu nedenle, kaya kütlesi yenilme ölçütü parametrelerinin hesaplanmasında örselenme faktörünün alt sınırı $D=0$ ve üst sınır $D=0.5$ olarak alınması uygun görülmüştür.

Kaya kütlesi m_b , s ve a parametreleri

Genelleştirilmiş Hoek-Brown görgül yenilme ölçütü, kaya kütlesinin yenilmesi anındaki asal gerilmeler arasındaki ilişkileri kaya kütlesi m_b , s ve a parametrelerine göre tanımlamaktadır. Kaya kütlesi m_b , s ve a parametrelerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan m_i , GSI ve D değerleri daha önce belirlenmiştir. RocLab programı kullanılarak bulunmuş olan kaya kütlesi m_b , s ve a parametreleri Çizelge 7.13’de verilmiştir.

Çizelge 7.13. Marn kaya kütlesi m_b , s ve a parametreleri.

| | | Jeolojik Dayanım İndeksi $GSI=47$ | | | | | |
|------------------|-----------|--------------------------------------|--------|-------|---------|--------|-------|
| | | Örselenme Faktörü | | | | | |
| | | $D=0$ | | | $D=0.5$ | | |
| Koşullandırma | Renk | m_b | s | a | m_b | s | a |
| Kuru | Gri | 0.642 | 0.0028 | 0.507 | 0.341 | 0.0009 | 0.507 |
| | Kahve | 0.958 | 0.0028 | 0.507 | 0.510 | 0.0009 | 0.507 |
| | Gri-Kahve | 1.303 | 0.0028 | 0.507 | 0.693 | 0.0009 | 0.507 |
| 17.6°C %90 RH | Gri | 0.743 | 0.0028 | 0.507 | 0.395 | 0.0009 | 0.507 |
| | Kahve | 1.189 | 0.0028 | 0.507 | 0.632 | 0.0009 | 0.507 |
| | Gri-Kahve | 1.289 | 0.0028 | 0.507 | 0.686 | 0.0009 | 0.507 |

Elastoplastik sayısal modelleme analizleri için açıklığı çevreleyen marn kaya kütlesi plastik malzeme olarak tanımlanmış ve yenilmeye uğramış kaya için kalıcı Hoek-Brown parametreleri $m_r = 0.5$ ve $s_r = 0.00001$ olarak alınmıştır (Phase²).

Kaya malzemesi elastik özellikleri

Sayısal modelleme analizleri için gerekli olan kaya malzemesi elastisite modülünün yine RocLab programı ile belirlenmesi uygun görülmüştür. Deere tarafından

önerilen ve Hoek ve Diederichs (2006) tarafından geliştirilen modül oranı MR kullanılarak kaya malzemesi elastisite modülü belirlenebilmektedir. Kaya kütlesi deformasyon modülünün kaya malzemesinin elastisite modülüne oranı (E_{rm}/E_i) modül oranı olarak tanımlanmaktadır. Programda farklı kayaç tipleri için modül oranları verilmiş olup marn için $MR=175\pm 25$ değeri önerilmiştir. Modül oranına bağlı olarak kaya malzemesinin elastisite modülü Bağıntı 7.1’de verilmiştir:

$$E_i = MR \cdot \sigma_{ci} \quad (7.1)$$

Burada;

E_i : Kaya malzemesi elastisite modülü (MPa)

MR : Modül oranı

σ_{ci} : Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

Kaya malzemesi modülünün direkt değerinin bulunmaması veya E_i ölçümü için tamamıyla örselenmemiş örnek alımının zor olması durumunda bu ilişkiden yararlanılması önerilmektedir.

RocLab programı ile marn kaya malzemesi elastisite modülü (E_i) değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.14’de verilmiştir. Sayısal modelleme analizlerinde Poisson oranı 0.2 olarak alınmıştır.

Çizelge 7.14. Marn kaya malzemesi elastisite modülleri.

| Özellik | Renk | σ_{ci} (MPa) | E_i (MPa) |
|------------------|-----------|---------------------|-------------|
| Kuru | Gri | 48.31 | 8454.25 |
| | Kahve | 55.35 | 9686.25 |
| | Gri+Kahve | 47.15 | 8251.25 |
| 17.6°C %90 RH | Gri | 35.92 | 6286.00 |
| | Kahve | 37.31 | 6529.25 |
| | Gri-Kahve | 33.84 | 5922.00 |

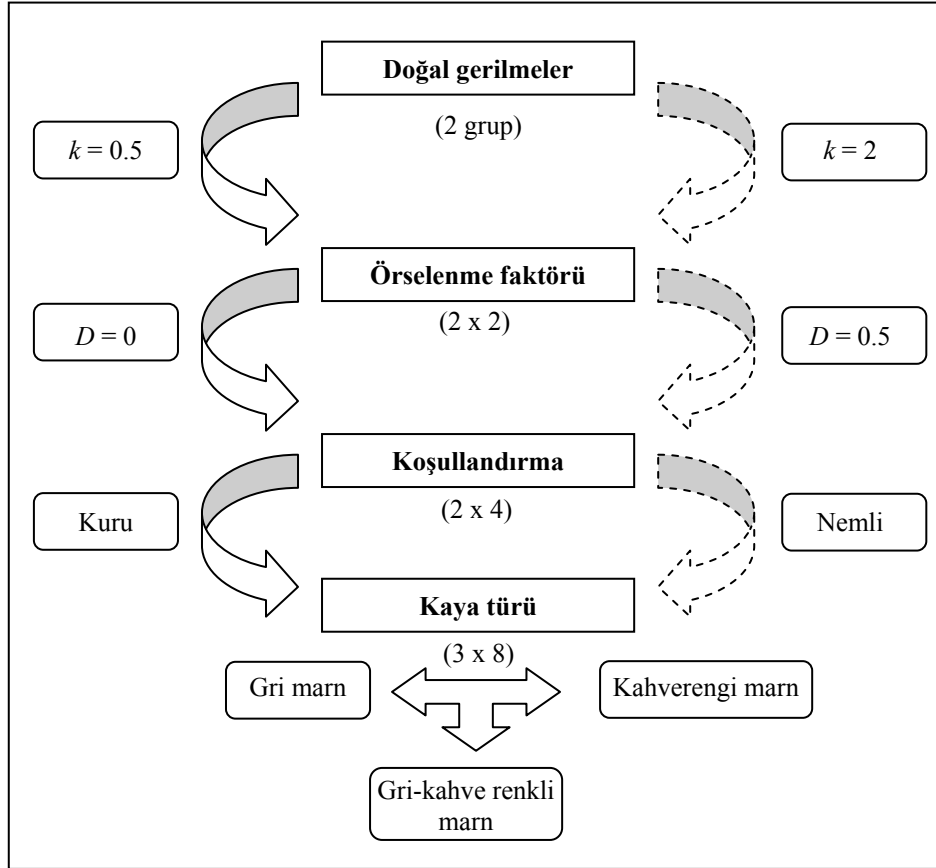
7.5.5. Sayısal modelleme analizlerinin planlanması

Sayısal modelleme analizlerinin iki farklı doğal gerilme durumu için gerçekleştirilmesi uygun görülmüş ve k oranının $k=0.5$ ve $k=2$ olarak alındığı iki ana grup sayısal modelleme analizleri planlanmıştır. Derinlik arttıkça doğal gerilme bileşenlerinin büyüklükleri de artacağı için, sadece 600 m derinlik için modelleme analizlerinin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

İleriye dönük madencilik çalışmaları göz önüne alınarak örselenme faktörü için $D=0$ ve $D=0.5$ olarak iki farklı değer alınmıştır. Bu ise, her bir ana gruba ait sayısal modelleme analizlerinin her iki örselenme faktörü değeri için ayrı ayrı yapılmasını gerektirmiştir.

G.L.İ. sayısal modelleme analizleri marnın kuru ve nemli dayanım özelliklerine dayalı modelleme verileri kullanılarak yapılmıştır. Buna göre de daha önceki gruplar için kuru ve nemli olmak üzere ayrı ayrı sayısal modelleme analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde üç ayrı faktöre bağlı olarak sekiz ayrı grup model analizi söz konusu olmuştur.

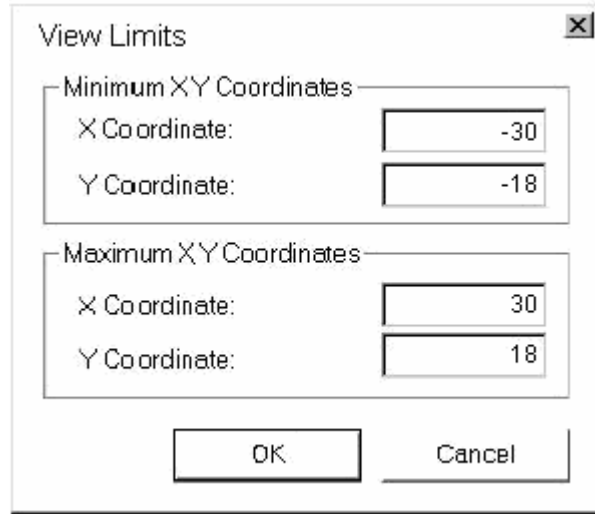
Modelleme çalışmalarında G.L.İ. linyit havzası marnlarının renk ve dayanım özelliklerine göre gri renkli, kahve renkli ve gri+kahve renkli olmak üzere üçe ayrılmış olması, her bir grup için üç ayrı modelleme analizi yapılmasını gerektirmiştir. Bu planlama çerçevesinde 24 sayısal modelleme analizi gerçekleştirilmiş olmaktadır. Şekil 7.52'de sayısal modelleme için planlanmış gruplar ve alt gruplar yer almaktadır.



Şekil 7.52. G.L.I. sayısal modelleme analizlerinin planlanması.

7.5.6. Phase² programı sayısal modelleme aşamaları

➤ **View → Limits:** Açıklık geometrisi programa girilirken oluşturulan modelin ekrandan takip edilebilmesi için çizim alanı sınırları programa girilmiştir.

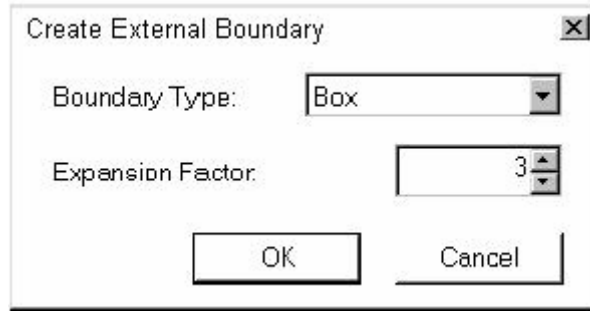


Şekil 7.53. Bilgisayar ekran ayarı.

➤ **Boundaries → Add Excavation:** Şekil 7.53'deki nokta koordinatlarına göre aşağıdaki şekilde açıklık geometrisi programa girilmiştir.

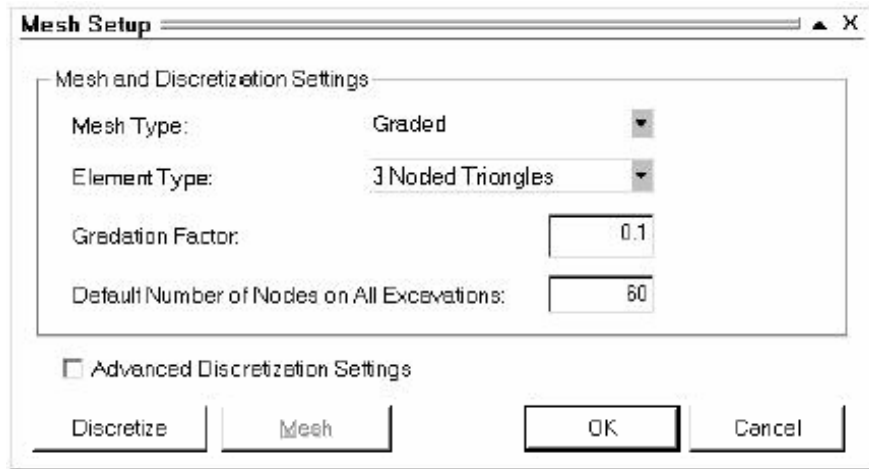
```
Enter vertex [a=arc,esc=quit]: -2.5 1.25
Enter vertex [a=arc,u=undo,esc=quit]: -2.5 0
Enter vertex [a=arc,u=undo,esc=quit]: 2.5 0
Enter vertex [a=arc,c=close,u=undo,esc=quit]: 2.5 1.25
Enter vertex [a=arc,c=close,u=undo,esc=quit]: a
Number of segments in arc <20>: press Enter
Enter second arc point [u=undo,esc=quit]: 0 3.75
Enter third arc point [u=undo,esc=quit]: c
```

➤ **Boundaries → Add External:** Açıklık çevresi açılım faktörü ve dış sınır şekli (dikdörtgen, daire, açıklık geometrisinde veya özel seçim) programa girilerek model analizi yapılacak alan programa tanımlanır. Burada, dış sınır dörtgen ve genişleme faktörü 3 olarak seçilmiştir.



Şekil 7.54. Model alanının dış sınırlarının tanımlanması.

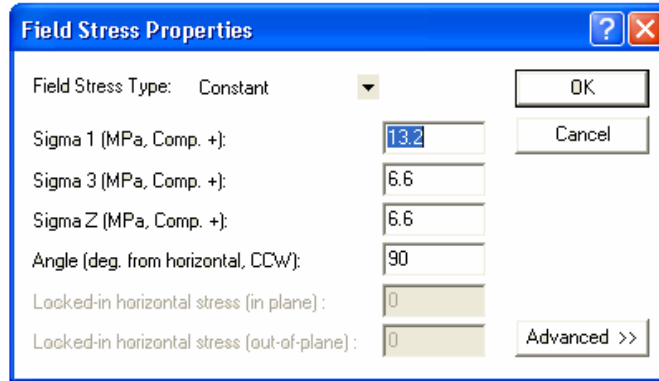
➤ **Mesh** → **Setup**: Açıklık çevresinde oluşturulacak ağ üçgen olarak seçilmiştir. Şekli, büyüklüğü ve sayısı programa girilir.



Şekil 7.55. Sonlu elemanların tanımlanması.

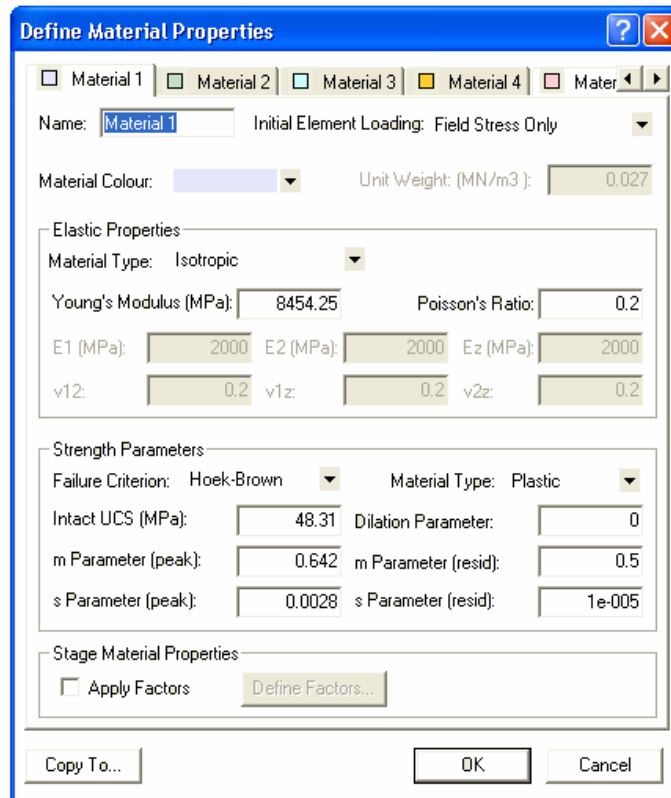
“**Discretize**” ve “**mesh**” komutlarıyla daha önce tanımlanmış olan alan içinde sonlu eleman ağı oluşturulmuştur.

➤ **Loading** → **Fieldstress**: Doğal gerilme bileşenlerinin büyüklükleri programa girilmiştir. k oranına göre doğal gerilme bileşenlerinin büyüklükleri değişmektedir.



Şekil 7.56. Doğal gerilmelerin tanımlanması.

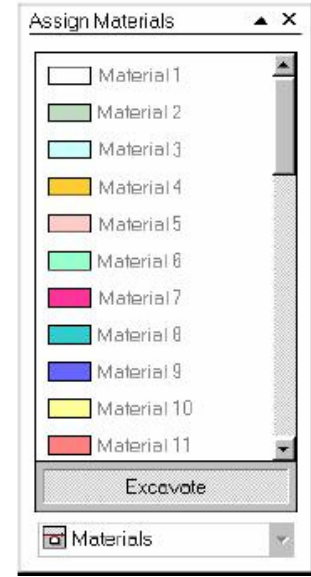
➤ **Properties → Define Materials:** Açıklık çevresindeki kaya kütesinin özellikleri programa girilmiştir. Örstenme faktörüne, kaya kütesinin kuru veya nemli oluşuna ve marn türüne bağı olarak modelleme verileri ayrı ayrı tanımlanmıştır.



Şekil 7.57. Malzeme özelliklerinin tanımlanması.

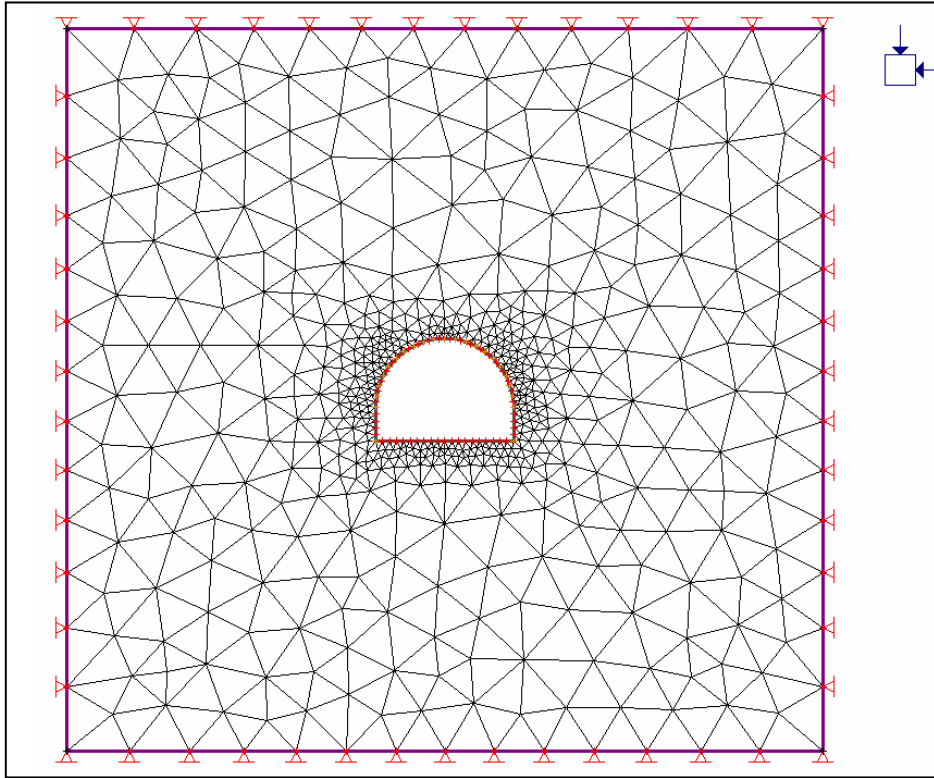
➤ **Properties** → **Assign Properties:**

Açıklığı boş bir alan olarak tanımlamak için “excavate” butonundan yararlanılır. Ekranda beliren “+”, açıklık içindeki bir noktaya getirilir ve mouse sol butonuna basılarak açıklık çevresi boş bir alana dönüştürülür. “Assign Materials” penceresi kapatılır.



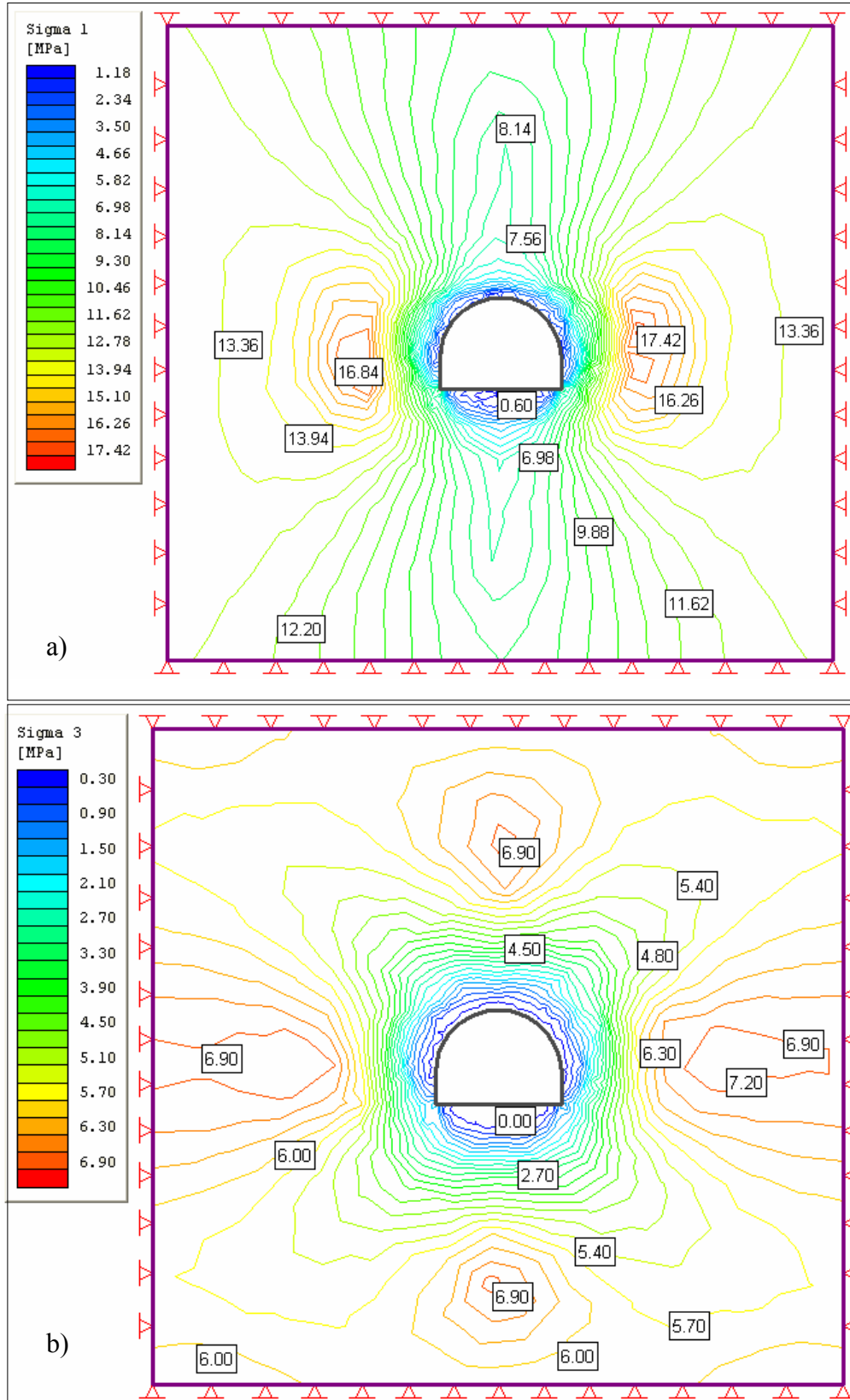
Şekil 7.58. Malzemelerin modelde tanımlanması.

Bu işlemle Phase² programıyla galeri açıklığının sayısal modeli Şekil 7.59’daki gibi oluşturulmuş olmaktadır.

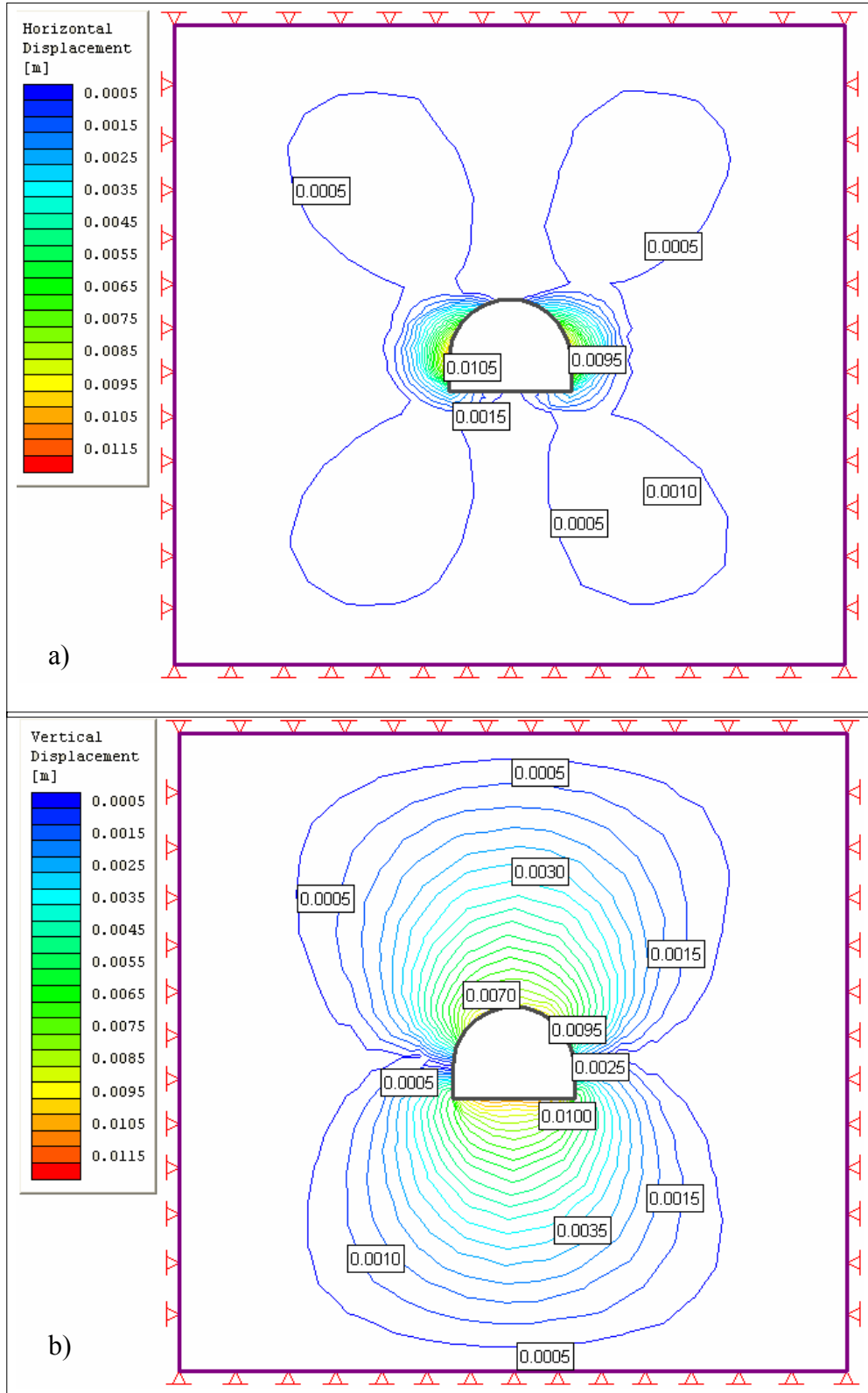


Şekil 7.59. B-14 tipi galeri açıklığının Phase² programında oluşturulmuş modeli.

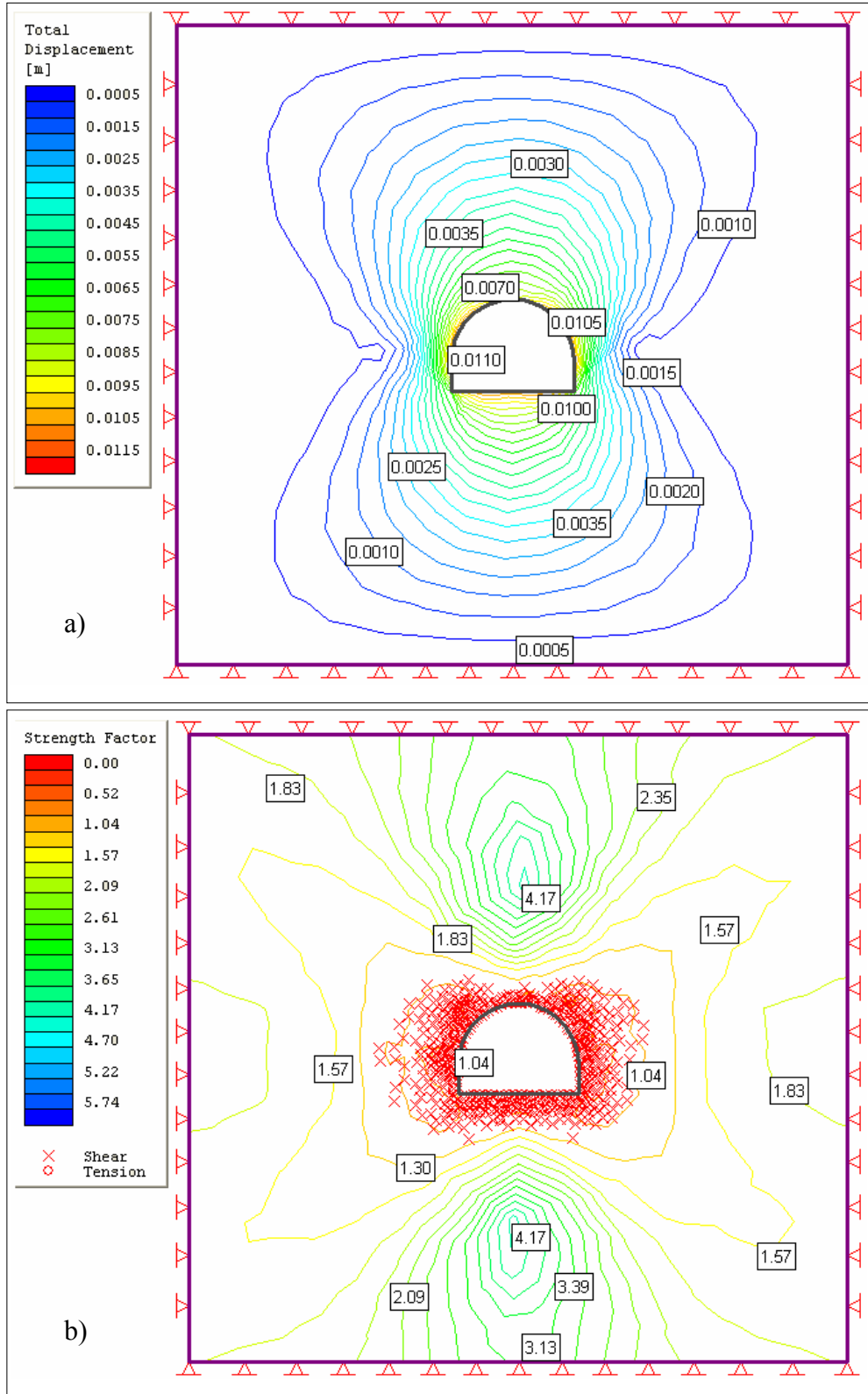
- **File** → **Save**: Oluşturulan model kaydedilerek çözümlene aşamasına geçilir.
- **File** → **Compute**: Sayısal model analizi gerçekleştirilir.
- **File** → **Interpret**: Analiz sonrası açıklık çevresi gerilme dağılımları, yerdeğişirmeler ve yenilmeler elde edilmektedir (Şekil 7.60, 7.61, 7.62).



Şekil 7.60. Açıklık çevresindeki a) en büyük ve b) en küçük asal gerilme dağılımları.



Şekil 7.61. Açıklık çevresindeki a) yatay ve b) düşey yerdeğıştirmeler.



Şekil 7.62. Açıklık çevresindeki a) toplam yerdeğiştirme ve b) dayanım faktörü ile yenilme noktaları.

7.5.7. Sayısal modelleme analiz sonuçları

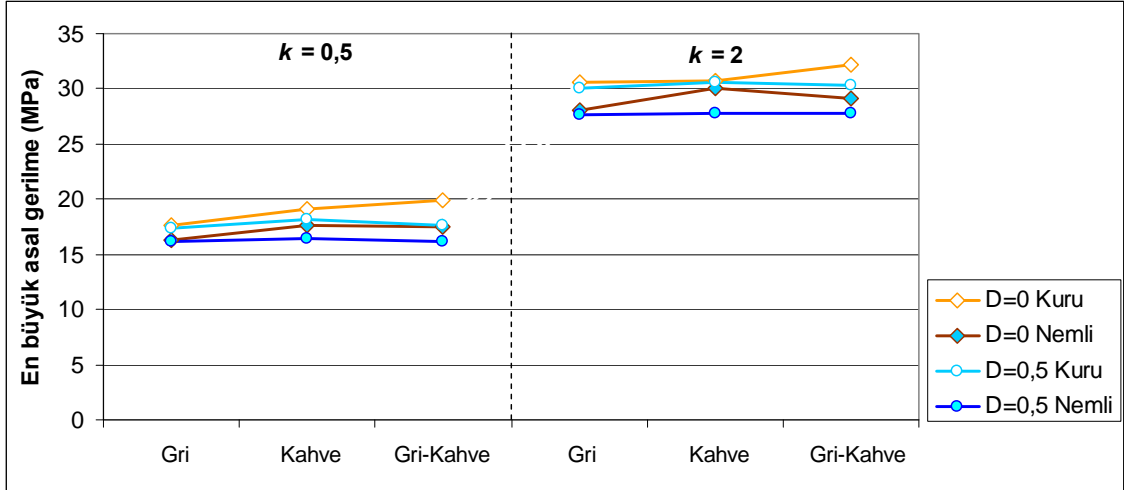
Gerçekleştirilen sayısal modelleme analizleri sonucu galeri açıklığı çevresindeki en büyük asal gerilme (σ_1) dağılımları, en küçük asal gerilme (σ_3) dağılımları; yatay yerdeğiştirmeler (u_h), düşey yerdeğiştirmeler (u_v), toplam yerdeğiştirmeler (u_t) ve yenilme noktaları elde edilmiştir. Bu gerilme ve yerdeğiştirmelerin model hesap alanı içerisindeki en büyük değerleri Çizelge 7.15’de verilmiştir.

Çizelge 7.15. Sayısal modelleme analiz sonuçları.

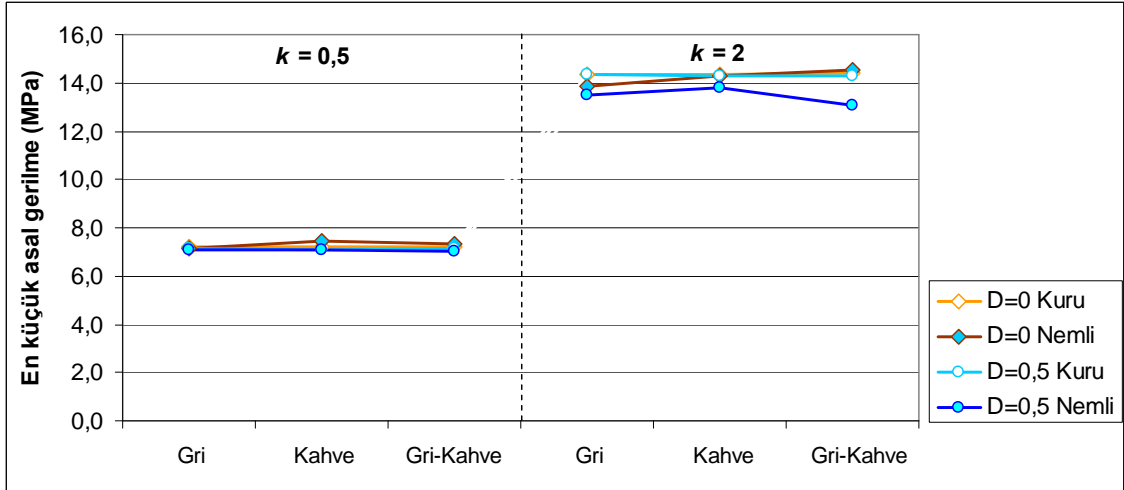
| | | | | σ_1^* (MPa) | σ_3^* (MPa) | u_h^* (m) | u_v^* (m) | u_t^* (m) |
|---------|---------|-------|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| $k=0.5$ | $D=0$ | Kuru | Gri | 17.60 | 7.18 | 0.0113 | 0.0110 | 0.0113 |
| | | | Kahve | 19.14 | 7.20 | 0.0084 | 0.0087 | 0.0087 |
| | | | Gri-Kahve | 19.85 | 7.18 | 0.0111 | 0.0108 | 0.0111 |
| | | Nemli | Gri | 16.27 | 7.13 | 0.0203 | 0.0173 | 0.0204 |
| | | | Kahve | 17.59 | 7.43 | 0.0182 | 0.0154 | 0.0183 |
| | | | Gri-Kahve | 17.56 | 7.34 | 0.0221 | 0.0184 | 0.0222 |
| | $D=0.5$ | Kuru | Gri | 17.34 | 7.16 | 0.0111 | 0.0112 | 0.0111 |
| | | | Kahve | 18.16 | 7.08 | 0.0085 | 0.0091 | 0.0091 |
| | | | Gri-Kahve | 17.57 | 7.17 | 0.0117 | 0.0115 | 0.0118 |
| | | Nemli | Gri | 16.12 | 7.10 | 0.0201 | 0.0175 | 0.0202 |
| | | | Kahve | 16.37 | 7.10 | 0.0189 | 0.0165 | 0.0188 |
| | | | Gri-Kahve | 16.10 | 7.05 | 0.0229 | 0.0192 | 0.0230 |
| $k=2$ | $D=0$ | Kuru | Gri | 30.53 | 14.35 | 0.0401 | 0.0544 | 0.0546 |
| | | | Kahve | 30.76 | 14.35 | 0.0303 | 0.0421 | 0.0421 |
| | | | Gri-Kahve | 32.16 | 14.40 | 0.0402 | 0.0556 | 0.0558 |
| | | Nemli | Gri | 28.11 | 13.85 | 0.0792 | 0.0986 | 0.1004 |
| | | | Kahve | 30.04 | 14.28 | 0.0675 | 0.0878 | 0.0890 |
| | | | Gri-Kahve | 29.07 | 14.56 | 0.0853 | 0.1075 | 0.1095 |
| | $D=0.5$ | Kuru | Gri | 30.12 | 14.34 | 0.0406 | 0.0545 | 0.0548 |
| | | | Kahve | 30.53 | 14.29 | 0.0307 | 0.0420 | 0.0421 |
| | | | Gri-Kahve | 30.38 | 14.29 | 0.0429 | 0.0572 | 0.0579 |
| | | Nemli | Gri | 27.71 | 13.49 | 0.0796 | 0.0988 | 0.1008 |
| | | | Kahve | 27.78 | 13.79 | 0.0731 | 0.0917 | 0.0934 |
| | | | Gri-Kahve | 27.85 | 13.09 | 0.0900 | 0.1107 | 0.1129 |

* Model hesap alanı içindeki en yüksek değer

Çizelge 7.15'deki verilerden yararlanılarak asal gerilme değerlerine göre Şekil 7.63'deki grafikler oluşturulmuştur. Grafiklerden, $k=2$ olduğunda, model hesap alanı içerisindeki en büyük ve en küçük asal gerilme büyüklüklerinin arttığı görülmektedir.



a)

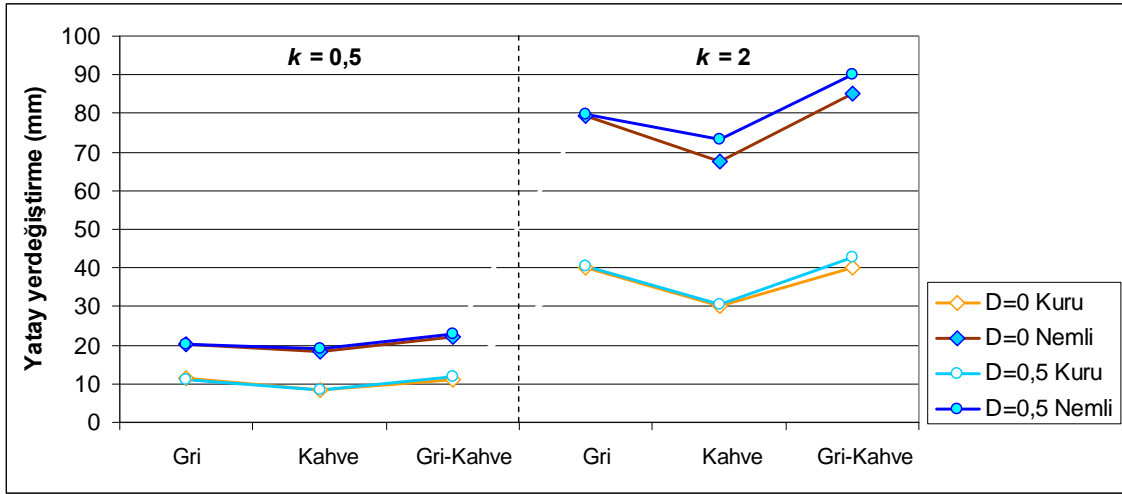


b)

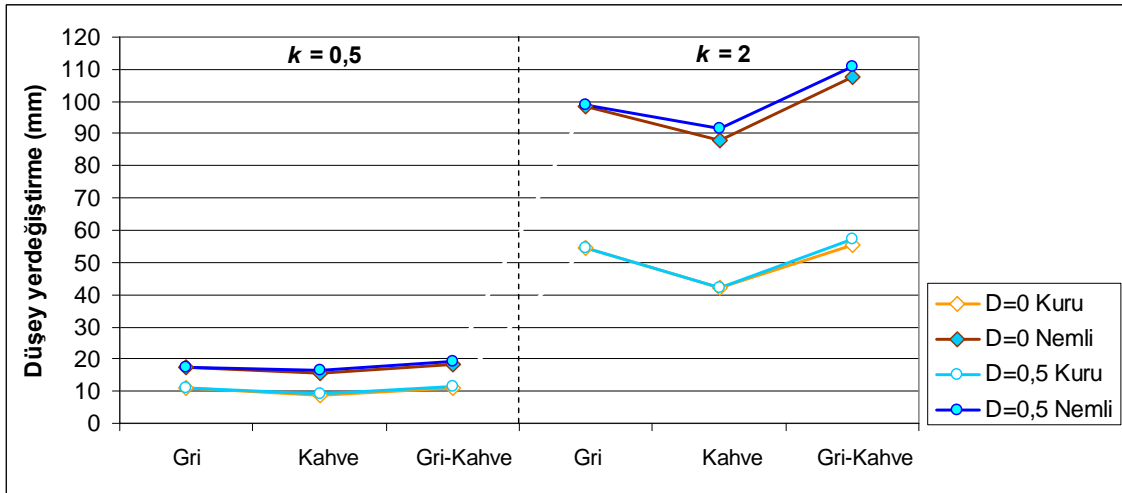
Şekil 7.63. Sayısal modelleme analizlerine göre açıklık cidarındaki a) en büyük ve b) en küçük asal gerilme bileşenlerinin en büyük değerleri.

Gerilme büyüklüklerinde örselenme, nemlilik ve marn rengine bağlı olarak çok büyük farklılıklar gözlenmemekle birlikte, kaya malzemesi kuru olduğunda ve kaya kütlelerinde örselenme olmadığında en büyük ve en küçük asal gerilme büyüklüklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, nemlilik ve örselenme kaya kütlelerinin karşılayabileceği asal gerilme bileşenlerinin büyüklüklerini düşürmektedir. Marn kaya kütlelerinin gri, kahve veya her ikisinden oluşmasının gerilme bileşenlerinin büyüklükleri üzerinde çok fazla etkisi bulunmamaktadır.

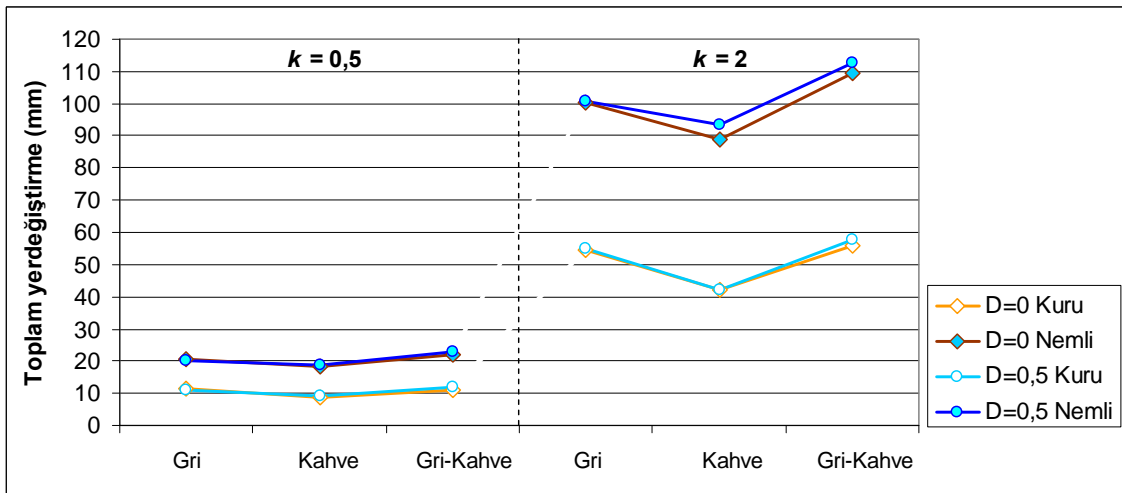
Çizelge 7.15'deki verilerden yararlanılarak yerdeğiştirme değerlerine göre Şekil 7.64'deki grafikler oluşturulmuştur. Yatay, düşey ve toplam yerdeğiştirme grafiklerinin tümünde benzer ilişkiler söz konusudur. Açıklık cidarındaki en büyük yerdeğiştirme değerleri k oranı 2 olduğunda artış göstermekte ve açıklık çevresindeki kaya kütlelerinin örselenmiş olması yerdeğiştirme değerlerini çok az da olsa arttırmaktadır. En büyük farklılık ise, kaya kütlelerinin kuru veya nemli olması durumunda gözlenmekte, nemli olması durumunda yerdeğiştirme değerleri artmaktadır. Ayrıca, gri marn da kahverengi marna göre daha fazla yerdeğiştirme görülürken, kaya kütlelerinin her ikisinden oluşuyor olması durumunda, yerdeğiştirmenin gri marn dakinin biraz üzerinde ve kahverengi marn daki yerdeğiştirme değerinden daha düşük bir ara değer taşıdığı görülmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 7.64. Sayısal modelleme analizlerine göre açıklık cidarındaki a) yatay, b) düşey ve c) toplam yerdeğiştirmelerin en büyük değerleri.

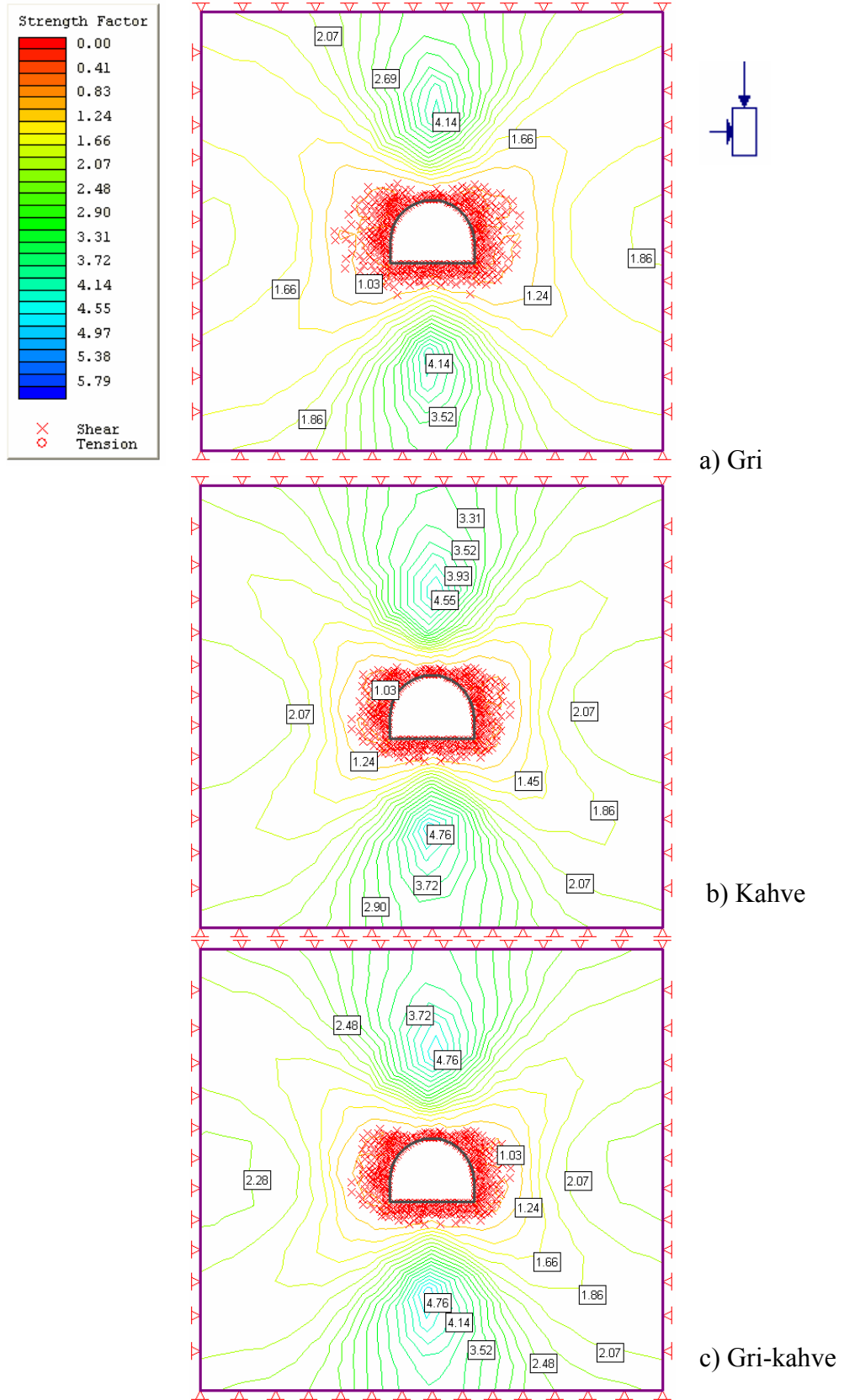
Gerçekleştirilen 24 ayrı sayısal modelleme analiz sonuçlarına göre açıklık çevresi dayanım faktörü değişimleri ve yenilme noktaları Şekil 7.65, 7.66, 7.67, 7.68, 7.69, 7.70, 7.71 ve 7.72’de verilmiştir.

Modelleme programı dayanım faktörünü, kayacın yenilme ölçütüne göre olan dayanımını, dikkate alınan noktadaki zorlamalı gerilme değerine bölerek hesaplamaktadır. Şekiller incelendiğinde, dayanım faktörünün açıklık çevresindeki dağılımının değiştiği, açıklık cidarında ve açıklığa yakın kısımlarda 1 değerini aldığı görülmektedir. Dayanım faktörünün 1 değerini aldığı kısımlar kaya kütlelerinin yenilmeye uğradığı plastik bölgeyi oluşturmaktadır.

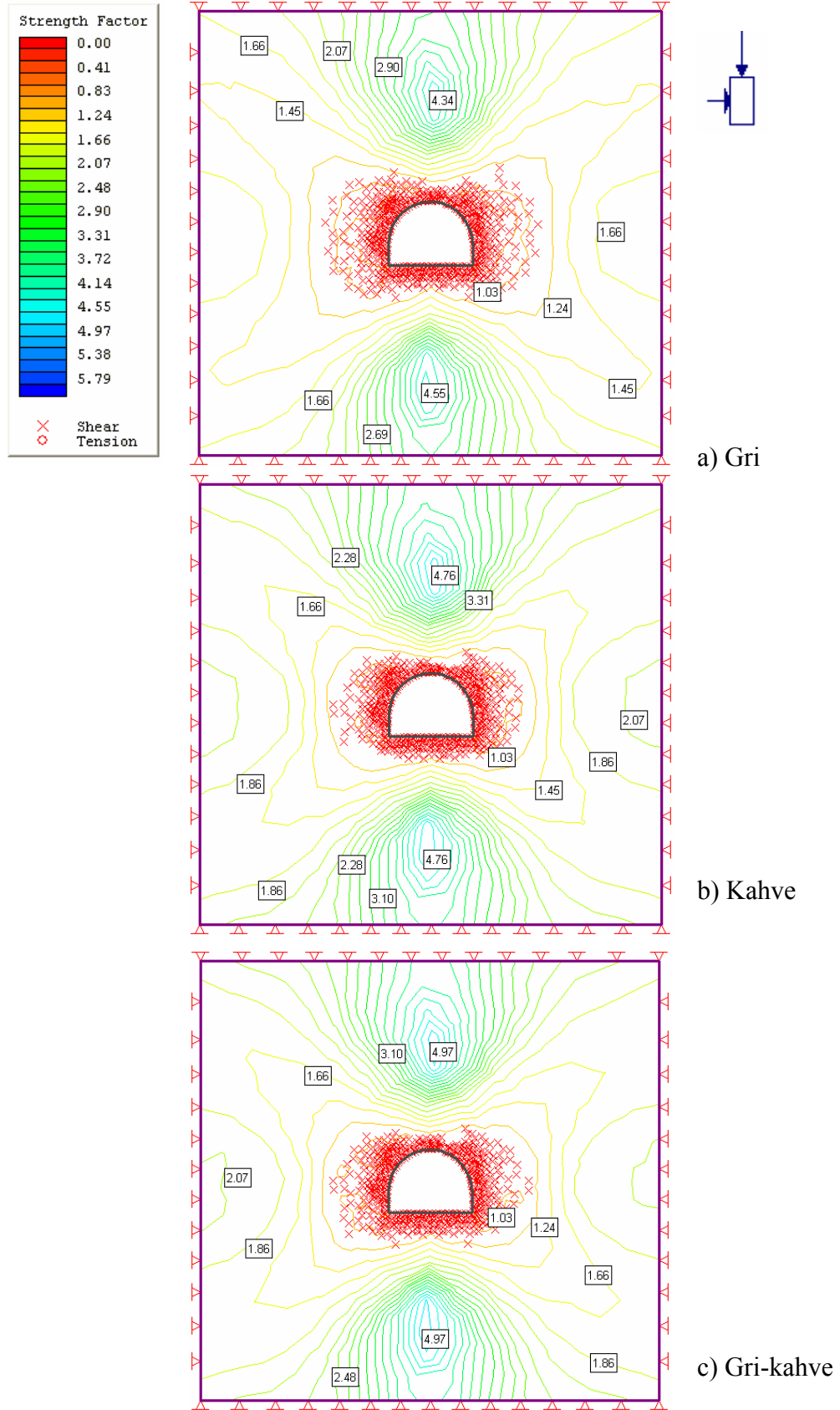
Şekillerin birbiri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, açıklık çevresindeki yenilme noktalarında k oranı 2 olduğunda artış görülmektedir. Kaya kütlelerinin örselenmiş olması yine yenilme noktalarını arttırıcı yönde etki etmektedir. Kaya kütlelerinin nemli olması durumunda da yenilme noktalarında önemli derecede artış görülmektedir. Bir başka ifadeyle, nem marn dayanımını azaltmaktadır.

Marnın renk özelliğine göre bakıldığında, açıklığı çevreleyen kaya kütleleri gri marn olması durumunda, kahverengi marna göre açıklık çevresinde daha fazla yenilmeler oluşmaktadır (örn. Şekil 7.67). Açıklığı çevreleyen kaya kütleleri gri ve kahverengi marnlardan oluştuğunda, gri marna göre biraz daha fazla ve kahverengi marna göre ise çok daha az sayıda yenilme noktası ortaya çıkmaktadır. Buna göre, kahverengi marnın gri marna göre daha dayanımlı olduğu görülmektedir.

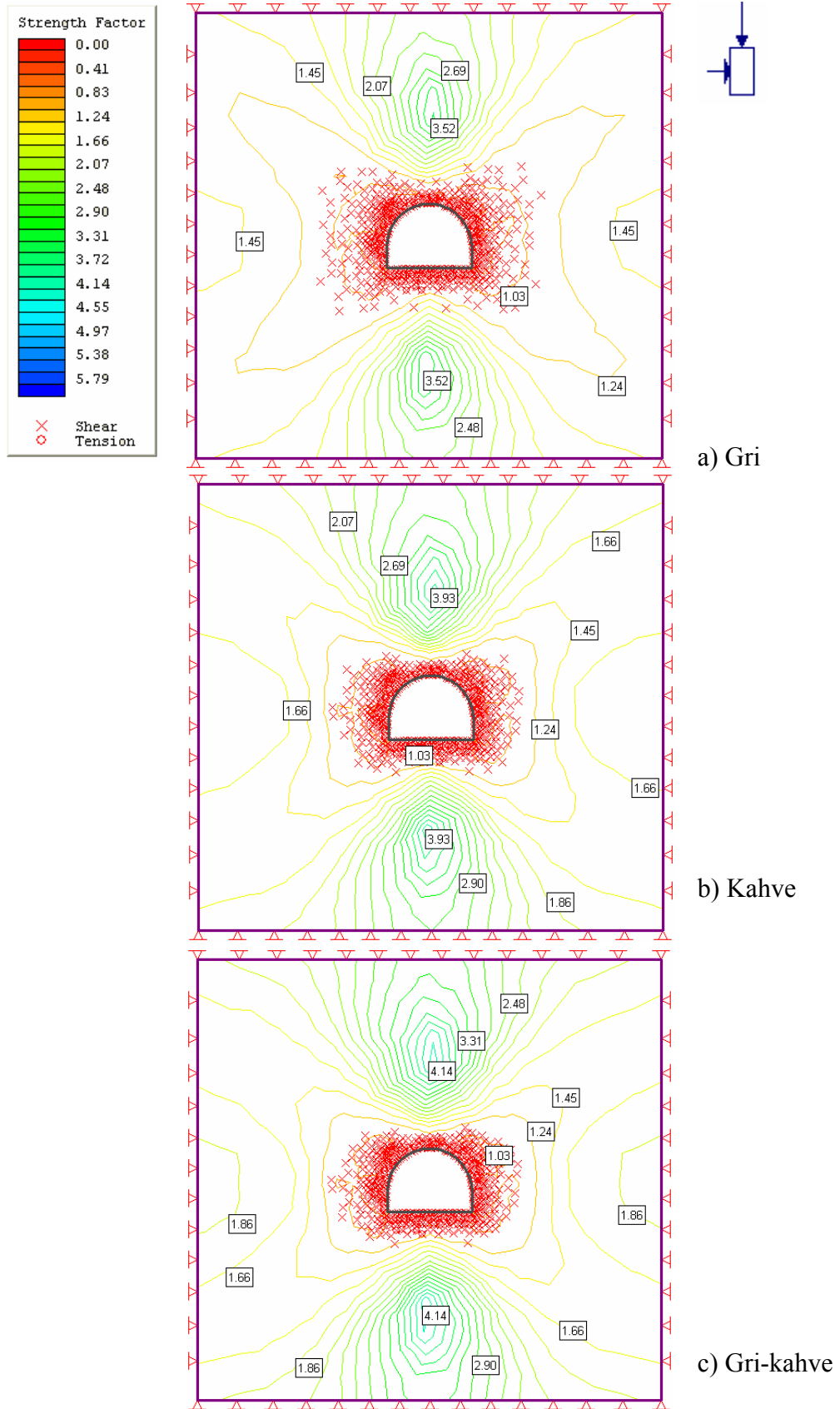
Sonuç olarak, sayısal modelleme ile kaya malzemesi özelliklerine dayalı kaya kütlelerinin davranışı yorumlanmış, böylelikle kohezyon ve içsel sürtünme açısının her ikisine göre de kaya malzemesi dayanımının değerlendirilmesi yapılarak, kahverengi marnın gri marna göre daha dayanımlı olduğu ve nemin marn kaya malzemesi dayanımını düşürdüğü belirlenmiştir. Ayrıca, kohezyondaki değişimin kaya malzemesi dayanımının değerlendirilmesinde daha etkili olduğu söylenebilir.



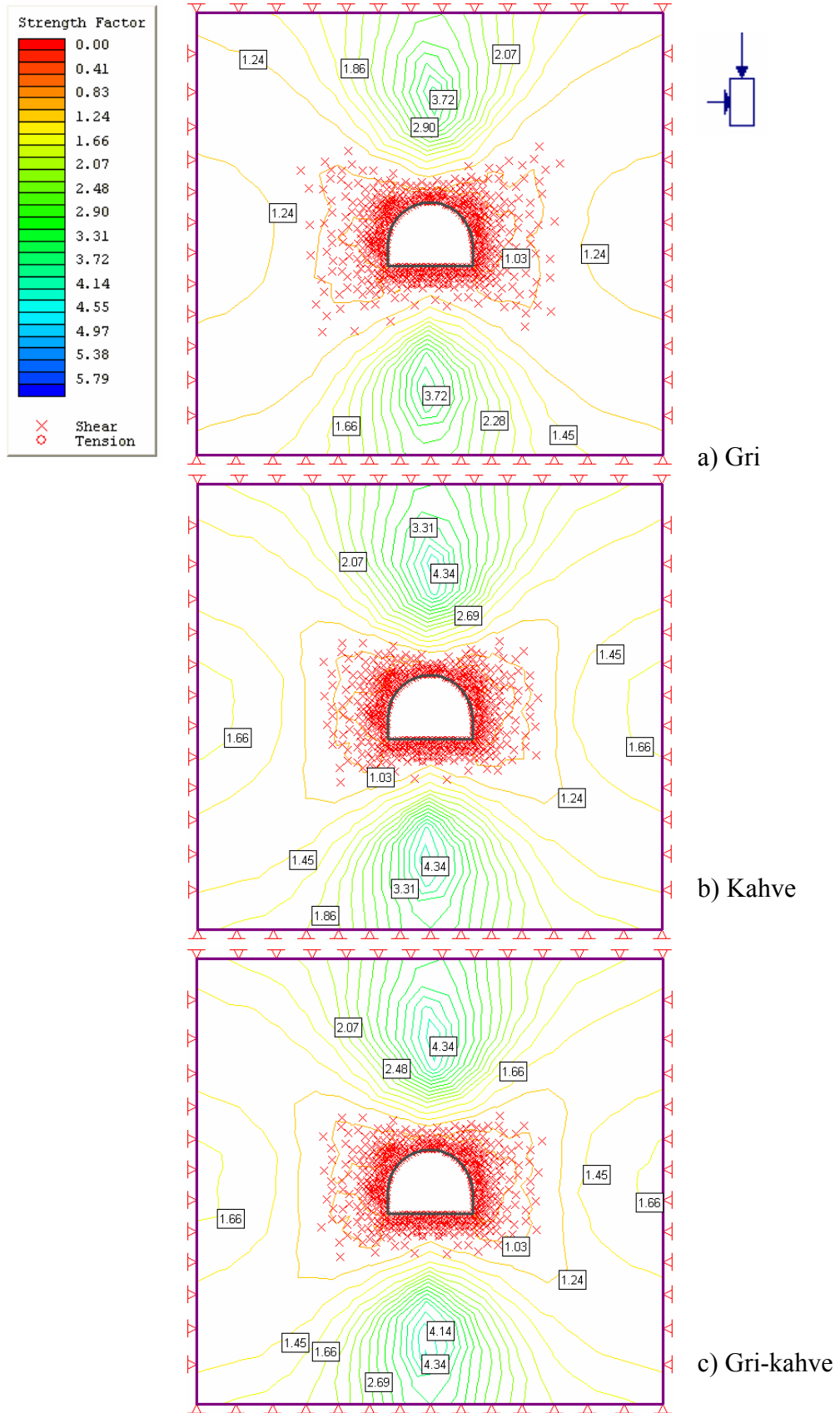
Şekil 7.65. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=0.5$; $D=0$; Kuru).



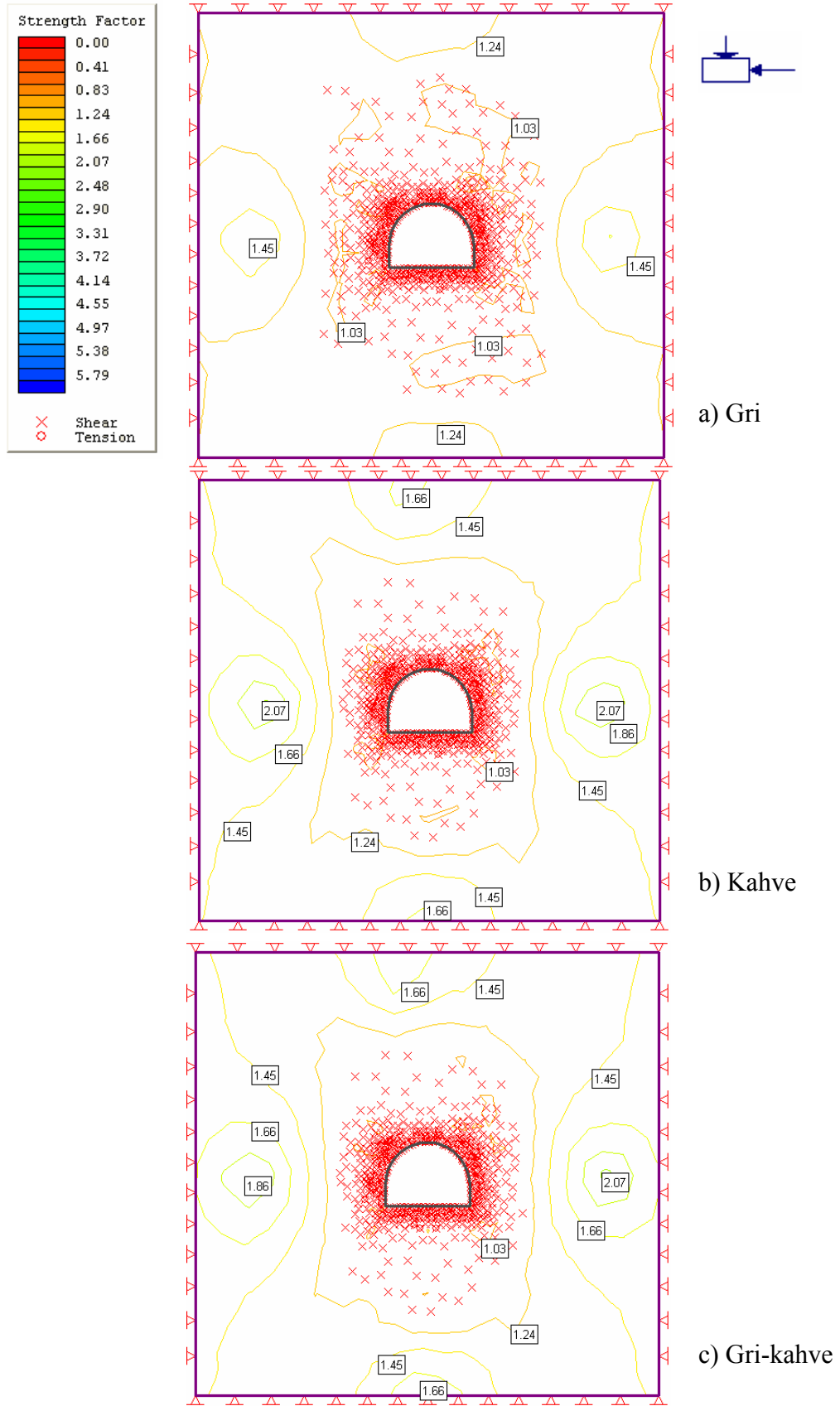
Şekil 7.66. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=0.5$; $D=0$; Nemli).



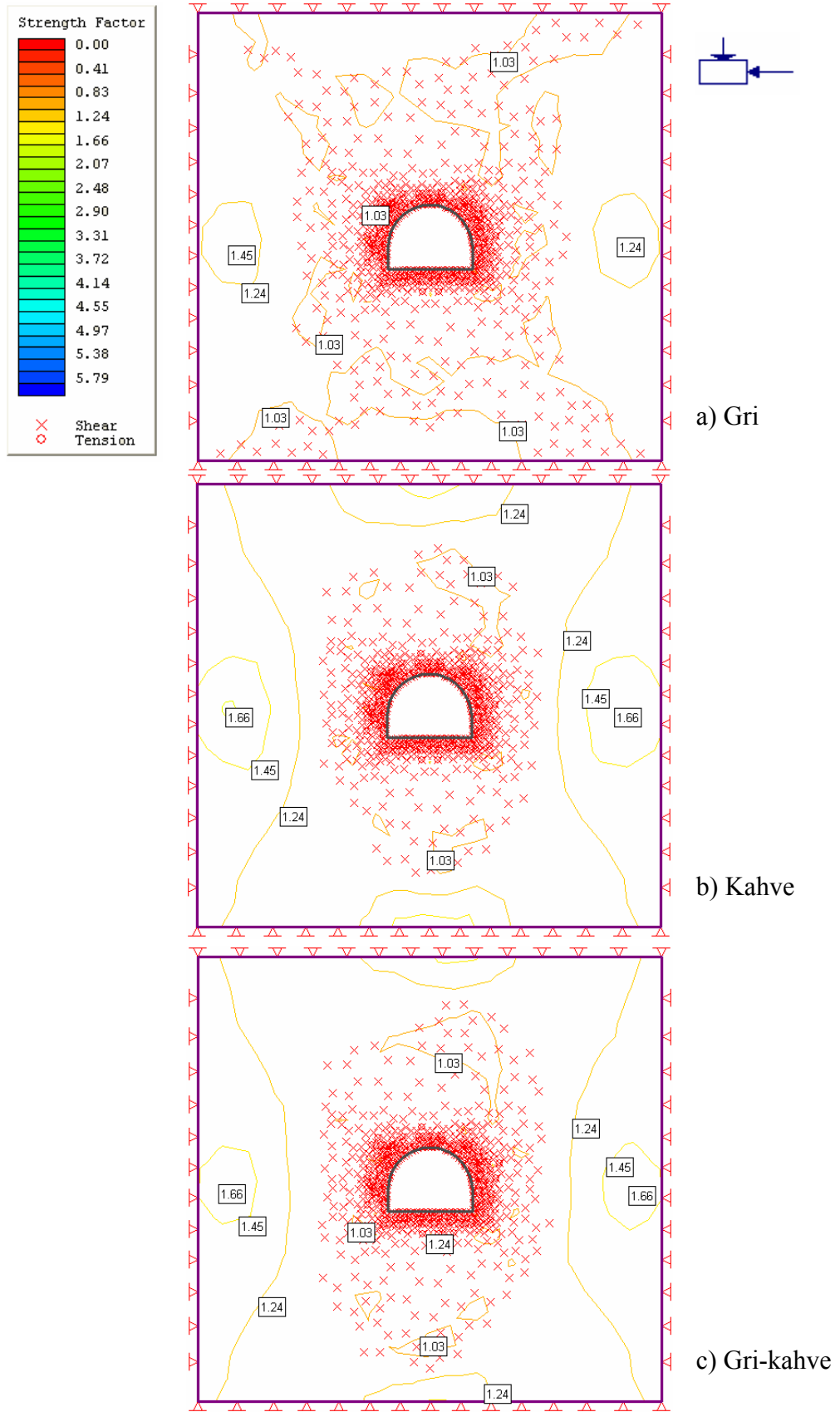
Şekil 7.67. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=0.5$; $D=0.5$; Kuru).



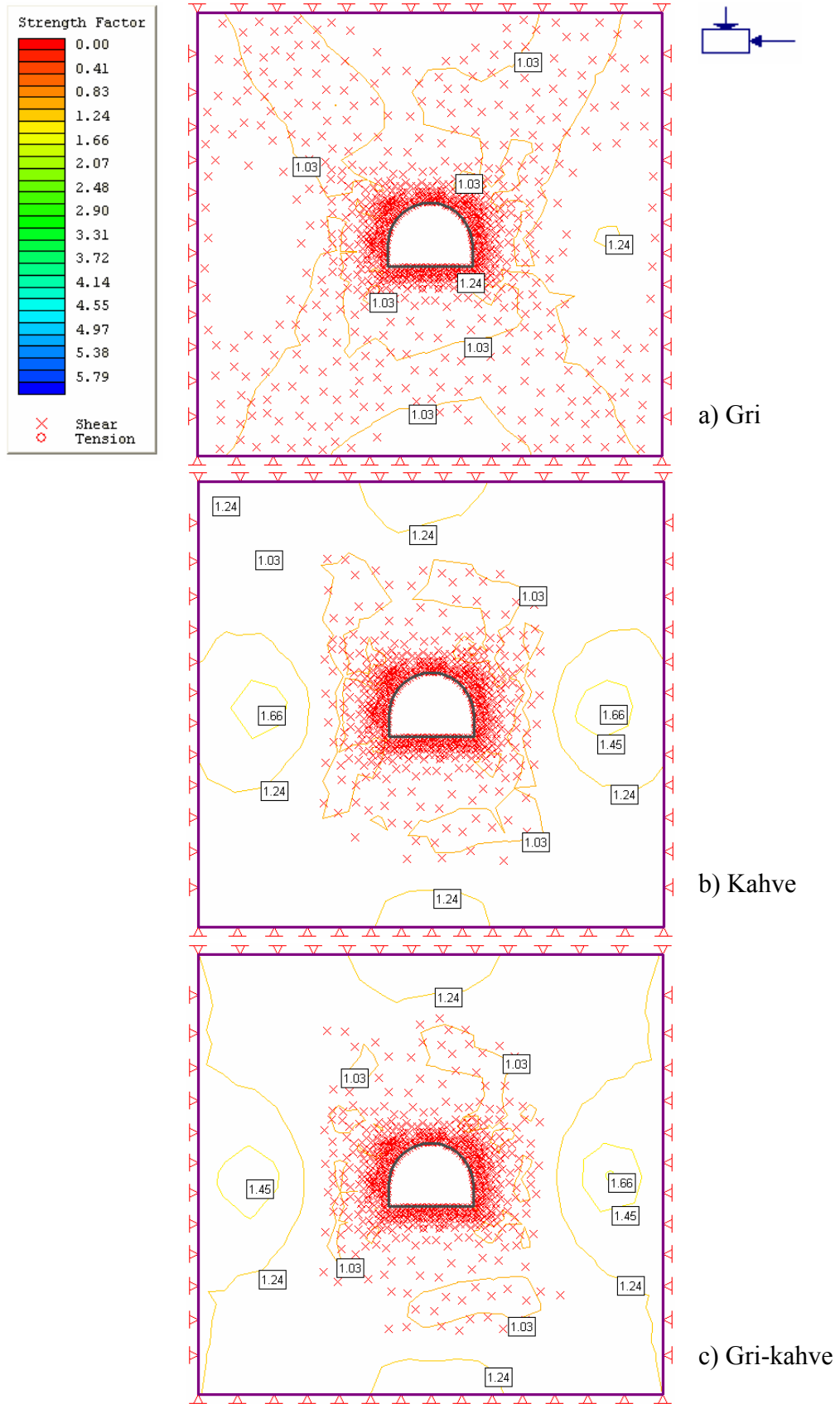
Şekil 7.68. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=0.5$; $D=0.5$; Nemli).



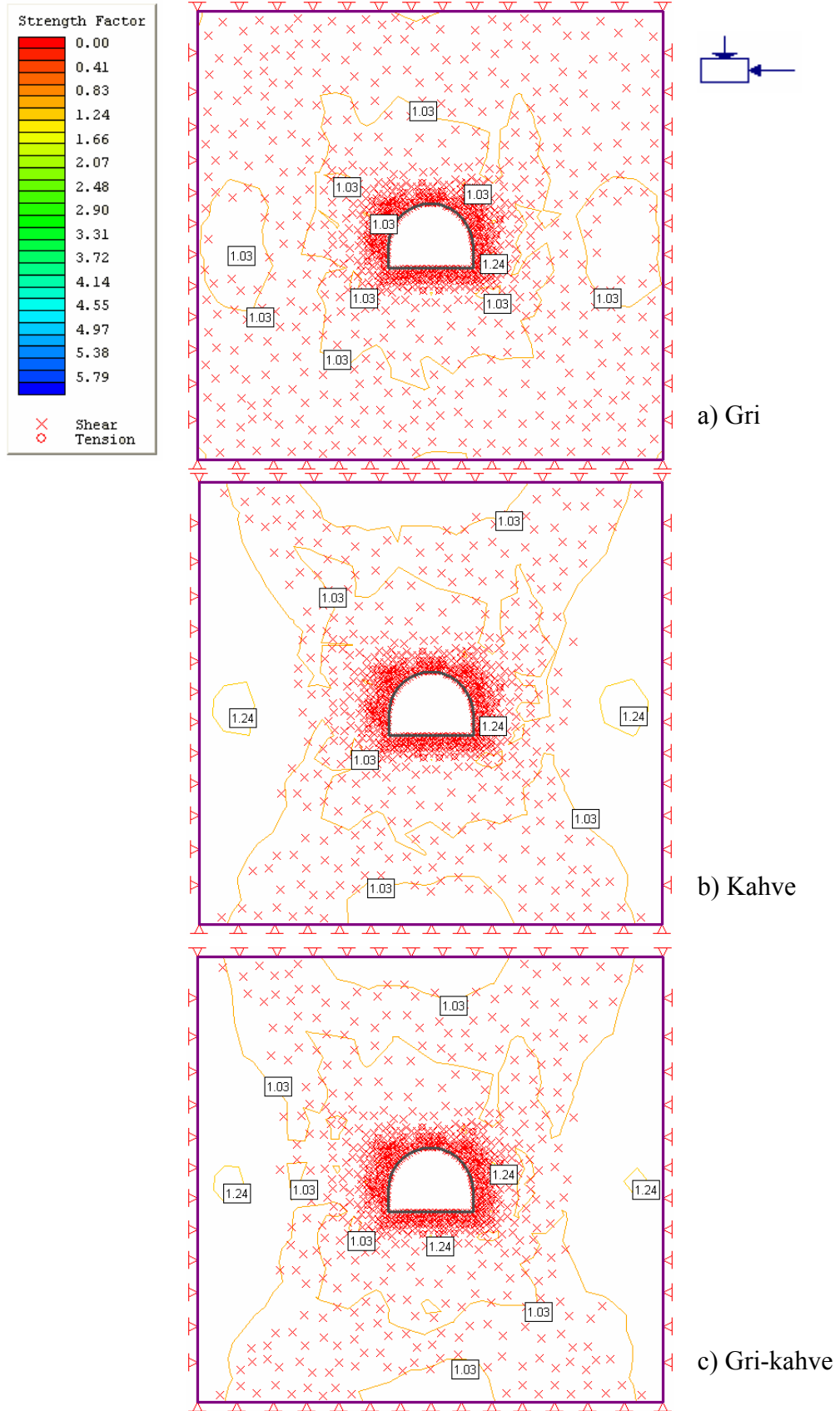
Şekil 7.69. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=2$; $D=0$; Kuru).



Şekil 7.70. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=2$; $D=0$; Nemli).



Şekil 7.71. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=2$; $D=0.5$; Kuru).



Şekil 7.72. Dayanım faktörü değerleri ve yenilme noktaları ($k=2$; $D=0.5$; Nemli).

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizdeki linyit havzalarında yer yer ana kayaç olarak görülen marn kaya malzemesinin üç eksenli basınç dayanımına bağlı özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmada, aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiş olup, bu doğrultuda gerekli değerlendirmeler yapılarak öneriler sunulmuştur.

1- Çalışma bölgeleri olarak; bölgesel ve litolojik bakımdan birbirinin devamı olmayan G.L.İ. Tunçbilek ve E.L.İ. Soma bölgesi linyit havzaları seçilmiştir. Yapılan arazi ve deneysel çalışmalar sonucunda, marnın bölgesel olarak aynı karaktere sahip olmadığı ve mineralojik, kimyasal ve dayanım özellikleri açısından da farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle yeraltı madencilik tasarımlarında marn kaya malzemesinin, bölgeler arasındaki bu farklılıkları dikkate alınarak ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

2- Yeraltı madencilik çalışmaları genellikle yeraltı su seviyesinin altında gerçekleştirildiğinden, dayanım özelliklerini belirlemeye yönelik en uygun koşullandırma şekli, deney örneklerinin suya doymun hale getirilmesi olmaktadır. Tunçbilek bölgesi marnlarının suya karşı duyarlı olmaları nedeniyle iklimlendirme dolabında yapay şartlandırma yapılmış, buna göre en uygun koşullandırmanın 17.6°C sıcaklık ve %90 RH'da olduğu belirlenmiştir. Soma bölgesi marnları ise suya doymun hale getirilebilmektedir.

3- Yeraltı madencilik tasarımları için m_i malzeme sabiti; Tunçbilek bölgesindeki marn ana kütlelerinin farklı dayanımdaki birimleri içeriyor olması ve suya karşı duyarlı olması dikkate alınarak, 6.36 (5.36+1) olarak önerilmiştir. Daha açık bir ifadeyle, disklenme nedeniyle suya doymun hale getirilemeyen örneklerin temsil ettiği birimler yeraltı su seviyesinin altında suya doymun halde bulunacağından gerçekte daha düşük

dayanımlara sahip olacaktır. Bu ise; aynı kaya kütlesi içerisindeki zayıf ve daha dayanımlı birimler arasındaki dayanım farklılığını arttıracığından, m_i malzeme sabitinin deneysel olarak bulunan değer altına düşmeyeceğini ancak daha yüksek olabileceğini göstermektedir. Bundan dolayı deneysel olarak bulunan değerden daha yüksek bir değer önerilmiştir (Bkz. Çizelge 7.4). Soma bölgesi için ise m_i malzeme sabitinin 10.8 alınması uygun görülmüştür. Diğer yenilme ölçütü parametreleri ise Tunçbilek bölgesi için; tek eksenli basınç dayanımı 28.7 MPa, içsel sürtünme açısı 35.7° ve kohezyon 6.85 MPa, Soma bölgesi için tek eksenli basınç dayanımı 83.4 MPa, içsel sürtünme açısı 43.8° ve kohezyon 16.3 MPa olarak elde edilmiştir.

4- Tunçbilek bölgesi üç eksenli basınç deneyi sonuçlarından elde edilmiş olan marn kaya malzemesi yenilme ölçütü parametrelerine göre, nemliliğin tek eksenli basınç dayanımı ve kohezyonu düşürdüğü, buna karşılık m_i malzeme sabiti ile içsel sürtünme açısını arttırdığı görülmüştür. Bu deney sonuçlarına göre, özellikle nem içeren örneklerde kohezyon değeri azalırken içsel sürtünme açısının artış eğiliminde olması, nemliliğin dayanım üzerindeki etkisinin değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Sayısal modelleme ile kaya malzemesi özelliklerine dayalı kaya kütlesinin davranışı yorumlanmış, böylelikle kohezyon ve içsel sürtünme açısının her ikisine göre kaya malzemesi dayanımının değerlendirilmesi yapılarak, Tunçbilek marnları için nemin kaya malzemesi dayanımını düşürdüğü belirlenmiştir. Ayrıca, kohezyondaki değişimin kaya malzemesi dayanımının değerlendirilmesinde daha etkili olduğu da söylenebilir. Soma bölgesi marnlarında ise, suya doymunluğun havada kuruya göre, m_i malzeme sabiti ile içsel sürtünme açısında önemli bir değişikliğe sebep olmamakla birlikte, tek eksenli basınç dayanımı ve kohezyondaki düşüş, dayanımın da azaldığını göstermiştir.

5- Literatürde yer alan çeşitli kayalar için önerilmiş m_i malzeme sabiti değerlerine göre, her ne kadar farklı değerlere sahip örnekler bulunuyor olsa da, genel eğilim kayaç dayanımıyla birlikte m_i değerlerinin de artış göstermesi yönündedir. Tunçbilek ve Soma bölgesine ait m_i malzeme sabiti değerleri birbiriyle karşılaştırıldığında, daha dayanımlı olan Soma marnlarının m_i malzeme sabiti değerinin de daha büyük olduğu görülmektedir.

6- X-Işınları kırınım analizi sonuçlarına göre, çalışma bölgelerine ait örneklerde kalsit, dolomit, kil, feldspat ve mika mineralleri tespit edilmiştir. Bu mineraller arasında kil ve kalsit minerallerinin miktarının, diğer minerallere oranla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Buna göre; Soma bölgesi marnları ortalama % 16, Tunçbilek bölgesi marnları ise ortalama % 32 kil minerali içerdiği saptanmıştır. Ayrıca kalsiyum karbonat analiz sonuçlarına göre ise Tunçbilek bölgesi marnları ortalama %29 CaCO₃, Soma bölgesi marnları ise ortalama %63 CaCO₃ içerdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, Soma bölgesi marnının, Tunçbilek bölgesine göre daha yüksek dayanım değerine sahip olmasının, kalsiyum karbonat ve kil minerali farklılığından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. X-Işınları kırınımı kil minerali çözümlenmelerine göre; örneklerde kaolinit, illit, klorit ve smektit tipi kil minerallerine rastlanmıştır. Özellikle smektit tipi kil minerali içeren örneklerin dayanımlarının daha az olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, Tunçbilek bölgesi arazi çalışmalarında gözlenen çeşitlilik mineralojik analizlerde de gözlenmiştir.

7- Çalışma bölgelerine ait marn örneklerine uygulanan kimyasal analiz sonuçları ile kayacın dayanım parametreleri arasında tatmin edici bir ilişkiye rastlanmamış olmasına rağmen, Tunçbilek bölgesi marnlarına ait kimyasal analiz sonuçlarından elde edilen MgO değerlerinin, yenilme ölçütü parametrelerinden kohezyon ve tek eksenli basınç dayanımını azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, kimyasal analiz değerlerinde çalışma bölgeleri arasında farklılıklar belirlenmiş, bu durumun da bölgeler arasındaki farklılığın bir diğer göstergesi olarak düşünülmüştür.

8- Tunçbilek bölgesi marnlarının mineralojik analizlerine göre kuvarsın yüksek çıkmasının nedeninin bölgedeki granit sokulumundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

9- Tunçbilek bölgesi gri ve kahverengi marn örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre, gri renkli marn kahverengi marna göre daha fazla MgO, Al₂O₃, K₂O, CaO ve TiO₂ içermektedir. Kimyasal bileşimdeki bu farklılıkların marnadaki renk farklılığına neden olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda, gri renkli marnlarda görülen suya duyarlılık ve disklenmenin de sebebi olabilirler.

10- Çalışma bölgeleri arasındaki ve bölgelerin kendi içlerindeki olası dayanım farklılıklarının nedenleri:

a) Marnın sedimanter bir kayaç oluşu ve buna bağlı olarak oluşum mekanizması açısından homojen bir yapıya sahip olmaması, dayanım farklılıklarının sebebi olabileceği düşünülmüştür.

b) Kil ve kalsit minerallerinin kayaç yapısında bulunma oranına göre, kayaç dayanımında önemli farklılıklar saptanmıştır.

c) Tanelerin birbirine yapışma kuvveti (kohezyon) ile kayacın dayanımı arasında ilişki olduğu, bu ilişkiye göre, kayacın kohezyon değerinin artmasıyla dayanımının da arttığı belirlenmiştir.

d) Suda dağılılabirliği fazla olan örneklerin, daha az dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

e) Deneysel çalışmalar esnasında karot örneklerin kırılma yüzeylerinde gözlenen organik parçacıkların dayanım üzerinde etkili olduğu düşünülmüştür.

f) Marnın aynı kaya kütlesi içerisinde farklı renklere göre dizilmiş tabakalar oluşturduğu gözlenmiş, bu durumun laboratuvar çalışmaları sırasındaki dayanım deneylerinde farklı değerler elde edilmesine neden olduğu düşünülmüştür.

g) Smektit tipi kil minerallerinin su emme ve şişme özelliğinden dolayı örnekler arasında dayanım farklılıklarına neden olabileceği tespit edilmiştir.

11- Kalsiyum karbonat ve kil miktarı ile suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiş, buna göre; kalsiyum karbonat değeri arttıkça suda dağılılabirliğin azaldığı, kil miktarı arttıkça da suda dağılılabirliğin arttığı belirlenmiştir.

12- Bu çalışmada, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deneyinde örnekler dört çevrim uygulanmış, istatistiksel değerlendirmede ikinci ve dördüncü çevrim sonuçları dikkate alınmıştır. Bu deney sonucunda, Tunçbilek bölgesi marn örneklerinde Soma bölgesine nazaran daha fazla dağılma meydana gelmiş, bu durumun farklı kil içeriklerine sahip olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmüştür. Deneylerde kullanılan tambur elek açıklığının 2 mm ile sınırlı olmasından dolayı, bu boyutun üstünde kalan örnekten kopmuş parçaların, suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi değerlendirmesine dahil edilmesi ile deney sonuçlarının etkilenmiş olabileceği düşünülmüştür.

13- Çalışma bölgelerine ait marn kaya malzemesi üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen Hoek-Brown ve Mohr-Coulomb yenilme ölçütü parametrelerinin kendi aralarındaki ilişkinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucu; Tunçbilek bölgesine yönelik çalışmada $\sigma_{ci} - c$ arasında $R^2=0.97$, $\phi - m_i$ arasında da $R^2=0.99$, Soma bölgesine yönelik çalışmada ise, $\sigma_{ci} - c$ arasında $R^2=0.83$, $\phi - m_i$ arasında da $R^2=0.99$ gibi yüksek korelasyon katsayıları veren üssel bir ilişkinin olduğu saptanmıştır.

Marn kaya malzemelerinin üç eksenli basınç dayanımına bağlı Mohr-Coulomb ve Hoek-Brown yenilme ölçütü parametrelerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılacak çalışmalarda, aşağıda belirtilen hususların dikkate alınması önerilmiştir:

1- Üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçlarına göre yenilme ölçütü parametreleri belirlenirken, marn gibi killi ve sudan etkilenen kayaç türlerinde su ve nem içeriklerine göre meydana gelen değişimler dikkate alınmalı ve tasarım aşamalarında bu durum göz ardı edilmemelidir.

2- Yapılacak deneysel çalışmalarda, örneklerin doğal ortam nemini kaybetmemeleri gerektiğinden, özellikle suya duyarlı kayaçlarda bu hususun dikkate alınması ve mutlaka uygun yapay koşullandırma çalışmalarının yapılmasında yarar görülmektedir.

3- Deneysel çalışmalar sonucunda, çalışma bölgeleri arasındaki ve bölgelerin kendi içlerinde belirlenen dayanım farklılıklarının, tane boyu analizi yapılarak da değerlendirmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

4- Yapılan istatistiksel değerlendirmede varılan sonuçlara göre, yapılacak çoklu regresyon analizleri ile, dayanım üzerinde hangi parametrelerin daha etkili olduğu ve bu analizlerin kullanılarak görgül eşitliklerin geliştirilebileceği düşünülmektedir.

5- Çalışma alanlarının kapsamı genişletilerek, daha fazla bölgede benzer çalışmaların gerçekleştirilmesinin ve böylece bir veri tabanının oluşturulmasının yararlı olacağı düşünülmüştür.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akgün, F., Alişan, C., ve Akyol, E., 1986, Soma neojen stratigrafisine palinolojik bir yaklaşım, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, C. 29, 13-25 s.
- Başarır, H., and Karpuz, C., 2004, A rippability classification system for marls in lignite mines, Engineering Geology, v. 74, 303–318 p.
- Bieniawski, Z. T., 1984, Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling, A. A. Balkema Press, Rotterdam, Netherlands, 272 p.
- Birön, C. ve Arıoğlu E., 1985; Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı, Birsen Kitabevi, İstanbul, 360 s.
- Brady, B.H.G. and Brown, E.T., 1993, Rock Mechanics for Underground Mining, 2nd ed., Chapman & Hall, London, UK, 571 p.
- Brinkmann, K., Feist, R., Marr, W.L', Nickel, F., Schlimm, W., and Walter, H.R., 1970, Soma dağlarının jeolojisi, MTA Dergisi, 74, Ankara, 41-57 s.
- Burshtein, L.S., 1969, Effect of moisture on the strength and deformability of sandstone, Soviet Mining Science, 573-576 p.
- Ceyhan, M. M., Ünver, B., ve Yaşıtlı, N. E., 2006, Kalın kömür tabakalarında uygulanabilecek şevaltı üretim yöntemi seçenekleri ve dolgulu yöntemin sayısal modelleme ile incelenmesi, Madencilik, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi, Cilt 45, Sayı 2, 3-16 s.
- Çandarlı, C., Öztopçu, A., ve Doktan, M., 1986, Soma Işıklar Açık Ocak Projesi ve İşletme Metoduna Getirilen Değişiklik, Türkiye 5. Kömür Kongresi, Zonguldak 393 s.
- Çekilmez, V., 1988, Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek Bölgesi JT4 Sondajı Jeoteknik Etüdü, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Çınar, M., 2005, Sepiyolitin reolojik özelliklerinin belirlenmesi ve su bazlı sepiyolit üretimi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Çopur, H., ve Eskikaya, Ş., 1992, ELİ Eynez bölgesi M2 marnının fiziksel ve mekanik özelliklerinin mekanize kazı bakımından incelenmesi, Türkiye 8. kömür Kongresi, 15-30 s.
- Dhakal, G., Yoneda, T., Kato, M. and Kaneko, K., 2002, Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks, Engineering Geology, v.65, 31-34 p.
- Dick., J.A. and Shakoor, A., 1995, Charecterizing durability of mud rocks for slope stability purposes, Geolo. Soc. Am., Rev. Eng. Geol., v. X, 121-130 p.
- Doktan, M., İnci, Y.S., Aydan, Ö., Szeki, A., Kawamoto, T., 1986, ELİ Soma Bölgesi Yeraltı Ocaklarında Tavan Saplamalarının Uygulanabilirliği, Türkiye 5. Kömür Kongresi, Zonguldak, 223 s.
9. Kalkınma Planı, 2006 (2007-2013), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Linyit Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 40-60 s.
- El Amrani Paaza, N., Lamas, F., Irigaray, C., and Chacón, J., 1998, Engineering geological characterisation of neogene marls in the southeastern Granada Basin, Spain, Engineering Geology, v. 50, 165–175 p.
- Ergüvanlı, K., 1983, Mühendislere Jeoloji, İ.T.Ü. Maden Fakültesi yayınları, İstanbul, 113-179 s.
- Ergüvanlı, K., 1994, Mühendislik Jeolojisi, Seç yayın dağıtım, 4.baskı, İstanbul, 114-115 s.
- Ergüler, Z.A., 2007, Su içeriğinin kil içeren kayaların mühendislik davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması, Hacettepe Üniversitesi, Doktora Tezi.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Erkan, Y., 1998, Sedimanter Petrografi, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No: 44, 135, 54 s.
- Eskikaya, Ş., Birön, C. ve Uğur, İ., 1991, G.L.İ. Derin Sahalar Yeraltı İşletme Projesi, İ.T.Ü., İstanbul.
- Esmek, H., Şenkal, S. ve Atakuru, N., 1993, Ömerler-Domaniç Derin Sahalar Yeraltı İşletme Projesi, G.L.İ. Tunçbilek, Kütahya.
- Gemici, Y., Akyol, E., Akgün, F. ve Seçmen, Ö., 1991, Soma Kömür Havzası Fosil Makro ve Mikroflorası, MTA Dergisi, Ankara, 112, 161-178 s.
- Ghazvinian, A.H., Fathi, A. and Moradian, Z.A., 2007, Failure behavior of marlstone under triaxial compression, Technical Note, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, v. 45, 807-814 p.
- Goodman, R.E., 2003, Kaya Mekaniğine Giriş, İkinci baskı, (Çev. K. Kayabalı), Gazi Kitabevi, Ankara, 499, 47 s.
- Gökçeoğlu, C., Ulusay, R. and Sönmez, H., 2000, Factors effecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles, Engineering Geology, v. 57, 215-237 p.
- Gündoğdu, M.N., 1982, Neojen yaşlı Bigadiç sedimanter baseninin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Enstitüsü, 386 s.
- Hoek, E., 1995; Strength of Rock and Rock Masses, ISRM News Journal, 2(2), 4-16 p.
- Hoek, E. and Brown, E.T., 1997, Practical Estimates of Rock Mass Strength, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8), 1165-1186

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hoek, E., Marinos, P. and Benissi, M., 1998, Applicability of the Geological Strength Index (GSI) Classification for Very Weak and Sheared Rock Masses. The Case of the Athens Schist Formation, Bulletin of Engineering Geology and Environment, 57, 151-160 p.
- Hoek, E., 1999, Putting numbers to geology-an engineer's viewpoint, Quarterly Journal of Engineering Geology, v.32, 1-19 p.
- Hoek, E., 2000, Practical Rock Engineering, Chapter 10-11, In situ and induced stresses.pdf., <http://www.roscience.com>
- Hoek, E., 2002, A Brief History of the Hoek-Brown Failure Criterion, RocLab software program, Hoek-Brown History.pdf., <http://www.roscience.com>
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B., 2002, Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition, RocLab software program, Hoek-Brown Criterion 2002.pdf., <http://www.roscience.com>
- Hoek, E., Marinos, P.G. and Marinos, V.P., 2005, Characterisation and Engineering Properties of Tectonically Undisturbed but Lithologically Varied Sedimentary Rock Masses, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42, 277-285 p.
- Hoek, E., 2006, Kaya Mühendisliği, (Çev. M. Karakuş ve H. Başarır), TMMOB, Maden Mühendisleri Odası yayımları, 319, 11 s.
- Hoek, E. and Diederichs, M.S., 2006, Empirical estimation of rock mass modulus, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 43, 203-215 p.
- Hudson, J.A. and Harrison, J.P., 2005, Mühendislik Kaya Mekaniği-İlkelere Giriş, (Çev. H. Arman, K. Kayabalı, ve H. Çetin), Gazi Kitapevi, Ankara, 422, 102 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978b, Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 15(6), 319-368 p.
- ISRM (International Society For Rock Mechanics), 1978c, Suggested Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials, Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol. 15, 99-103 p.
- ISRM (International Society For Rock Mechanics), 1979a, Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials, Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, *Int J Rock Mech Min Sci*, V. 16, N2, April 1979, 135–140 p.
- ISRM (International Society For Rock Mechanics), 1979b; Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, Abstract 16: 141-156 p.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1983, Suggested Methods for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression: Revised Version, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 20, 285-290 p.
- Karayığıt A.I., and Whateley M.K.G., 1997, Properties of a lacustrine subbituminous (kl) seam, with special reference to the contact metamorphism, Soma-Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 34, 131 – 155 p.
- Khamehchiyan, M., Iwao, Y., and Amiroleymani, T., 1994, Effect of calcium carbonate content on engineering properties of marly rocks, *Proceeding 7th International Congress IAEG*, 597-602 p.
- Kolay, E., 2004, The influence of surface roughness on slake durability index for low-strength rocks, Ankara University, Ph.D. Thesis, 248 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kolay, E., and Kayabalı, K., 2006, Investigation of the effect of aggregate shape and surface roughness on the slake durability index using the fractal dimension approach, *Engineering Geology*, 86 (2006), 271–284 p.
- Kramadibrata, S., Rai, M.A., Simangunsong, G.M., Arif, I. and Setiawan, I., 2000; The influence of water content on strength characteristic of sandstone subject to triaxial test, 19th Conference on Ground Control in Mining, Lakeview Resort and Conference Center, West Virginia.
- Lamas, F., Irigaray, C., and Chacón, J., 2002, Geotechnical characterization of carbonate marls for the construction of impermeable dam cores, *Engineering Geology*, 66, 283-294 p.
- Lamas, F., Irigaray, C., Oteo, C., and Chacón, J., 2005, Selection of the most appropriate method to determine the carbonate content for engineering purposes with particular regard to marls, *Engineering Geology*, 81, 32-41 p.
- Lin, M.L. and Hung, J.J., 1982, The influence of moisture content on mechanical properties of some sedimentary rocks in Taiwan, *Proceeding of the 7th Southeast Asian Geotechnical Conference*, pp. 155-169 p.
- Marinos P. and Hoek E., 2001, Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch, *Bull Eng Geo Env*, Vol. 60, 85-92 p.
- Maden Tetkik Arama Enstitüsü, 1964, 1/500.000 jeoloji haritası.
- Nebert, K., 1978, Linyit içeren Soma neojen bölgesi, *Batı Anadolu, MTA Dergisi*, 90, Ankara, 20-70 s.
- Nüve, İD 501 İklimlendirme Dolapları Kullanım Kılavuzu, Nüve San. Malz. İml. ve Tic. A.Ş.
- Önce, G., 1999, Madencilikte Kaya Mekaniği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Phase² User's Guide, 1998-2001, Rocscience Inc., Canada.

Phase² Verification Manual, 2002, Rocscience Inc., Canada.

RocLab, 2007, RocLab software, version 1.031, <http://www.rocscience.com>

Rocktest, 2003, Instruction Manuel Hoek Triaxial Cell Model HTC, Rocktest, Canada.

Sachpazis, C.I., 2004, Monitoring degree of metamorphism in a four-stage alteration process passing from pure limestone to pure marble, The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Volume 9, Bundle B.

Saka, A.H., 1997, Mineralojik analizlerde X-Işınları toz kırınım yönteminin temel prensipleri ve laboratuvar şartlarının standardizasyonu, MTA, Ankara.

Sheorey, P.R., 1994, A Theory for in situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 31(1), 23-34 p.

Sheorey, P.R., Murali Mohan, G. and Sinha, A., 2001, Influence of elastic constants on the horizontal in situ stress, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 38(8), 1211-1216 p.

Sönmez, H. and Ulusay, R., 1999, Modifications to the Geological Strength Index (GSI) and their applicability to stability of slopes, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36(6), 743-760 p.

Sönmez, H., Gökçeoglu, C., and Ulusay, R., 2004, Indirect determination of the modulus of deformation of rock masses based on the GSI System, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41 (5), 849-857 p.

TS 699 (Türk Standartları), 1987, Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları, TSE, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Taşkın, F. B., 1999, Tunçbilek yeraltı işletmesi uzunayak madenciliğinde uygulanan topukların optimum boyutlandırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Tuncay, E. ve Ulusay, R., 2002, Akustik Emisyon (AE) Tekniği: 2-AE Tekniğiyle Türkiye’de arazi gerilmelerinin belirlenmesi konusunda bir ön inceleme, *Yerbilimleri*, 25, 83-98 s.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C. ve Binal, A., 2001, *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*, TMMOB, Jeoloji Mühendisliği Odası Yayınları, Ankara, 160, 35 s.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2002, *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 243 s.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H., 2007, *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Genişletilmiş 2.baskı, Ankara, 292 s.
- Vasarhelyi, B., 2003, Some observations regarding the strength and deformability of sandstones in dry and saturated conditions, *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, v.62, 245–249 p.
- Vasarhelyi, B. and Van, P., 2006, Influence of water content on the strength of rock, *Engineering Geology*, v. 84, 70-74 p.
- Yaşıtlı, N.E. and Ünver, B., 2005, 3-D numerical modeling of longwall mining with top coal caving, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, v. 42, (2), 219-235 p.
- Yüzer, E. ve Vardar, M., 1983; *Kaya Mekaniği*, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sunay Beyhan
Akademik Ünvanı : Araştırma Görevlisi

Adres : ESOGU Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Böl. Eskişehir
 Tel: 0-222-2393750/3449
 E-mail: sbeyhan@ogu.edu.tr

1. Şahsi Bilgiler

Doğum Tarihi ve Yeri : 16.04.1969, Amasya/Gümüşhacıköy
Askerlik Durumu : Yaptı
Medeni Durumu : Evli, 2 çocuk

2. Akademik Geçmiş

Eğitim:

Doktora :Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden İşletme Bilim Dalı, 2002-2008
Y. Lisans :Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden İşletme Bilim Dalı, 1998-2001
Lisans :Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 1994-1998
Ön Lisans :Gazi Üniversitesi, Çorum M.Y.O., 1990-1992
Orta-Lise :Gümüşhacıköy Lisesi, Amasya, 1980-1986
İlkokul :Fatih İlkokulu, Ankara, 1975-1980

Aldığı Görevler:

Araştırma Görevlisi : Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Eylül 1998 – Ağustos 2002

ESOGU Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Eylül 2002 – devam etmekte.

4. Yüksek Lisans Tezi

Konu : Toz bastırma deney hücresi tasarımı ve petrol rafineri atıklarının kömür tozu bastırmadaki etkinliğinin araştırılması
Danışman : Prof.Dr. İ. Göktay EDİZ

5. Görev Aldığı Araştırma ve Uygulama Projeleri :

1. G.L.İ. Linyit Havzası Anakayacı Marnın Nem İçeriği-Dayanım İlişkisinin Belirlenmesi ve Bu İlişkinin Madencilik Tasarımlarında Kaya Davranışı Üzerine Etkisinin Sayısal Modelleme İle Analizi, ESOGÜ Araştırma Fonu, 2003-2006.

6. Yayın Listesi:

1. Ediz, İ.G., **Beyhan, S.**, Bohur, H., Akçakoca, H., “Açık Ocaklarda Toz Sorunu ve Mücadele Yöntemleri, S.L.İ. Uygulaması”, 11. Mühendislik Haftası Yerbilimleri Sempozyumu bildiri özleri, 1999, Isparta, 280-288 s.
2. Ediz, İ.G., Yuvka, Ş., **Beyhan, S.**, “GLİ Tunçbilek-Ömerler Bölgesinde Mekanize Üretimde Toz Sorunu”, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, bildiriler kitabı, Ankara, 2001, 169-174 s.
3. Erarlan, K., Akçakoca, H., **Beyhan, S.**, “3 Boyutlu Cevher Yatağı Modellemesi; Eti Gümüş A.Ş. Kütahya-Gümüşköy Uygulaması, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 1, 1999, Kütahya, 135-148 s.
4. Erarlan, K., **Beyhan, S.**, “Modeling of Performance and Retarder Chart of Off-Highway Truck by Newton Divided Difference Method”, Mathematical and Computational Applications, 2000, Vol. 5, No. 1, 57-65 p.
5. Erarlan, K., Gözen, M., Akçakoca, H., **Beyhan, S.**, “Madencilik Sektöründe Açık Ocaklarda Kalite Yönetimi; ETİ Bor A.Ş. Emet Uygulaması”, Metalurji, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 2000, Vol. 24, Sayı 124, 13-19 s.
6. Ediz, İ.G., **Beyhan, S.**, Yuvka, Ş., “Madencilikte Tozlara Bağlı Meslek Hastalıkları”, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 2, 2001, Kütahya, 111-120 s.
7. Ediz, İ.G., **Beyhan, S.**, Akçakoca, H., Sarı, E., “Madencilikte Gürültüye Bağlı İşitme Kayıplarının İncelenmesi”, Türkiye 13. Kömür Kongresi, Bildiriler kitabı, 2002, Zonguldak, 13-22 s.
8. Ediz, İ.G., **Beyhan, S.**, Yuvka, Ş., “Madencilikte Toz Kaynakları ve Kontrolü”, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 2, 2001, Kütahya, 121-132 s.

EKLER

- Ek-1:** G.L.İ. Tunçbilek Bölgesine ait 17.6°C-%90 RH'de koşullandırılmış örneklerin üç eksenli basınç deneyi sonuçları
- Ek-2:** E.L.İ. Soma bölgesine ait marn kaya malzemesi örneklerinin suya doymuş üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları
- Ek-3:** G.L.İ. Tunçbilek bölgesi nemlilik-dayanım ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları
- Ek-4:** G.L.İ. Tunçbilek ve E.L.İ. Soma bölgesi marn kaya malzemesinin havada kuru üç eksenli basınç deneyi sonuçları
- Ek-5:** E.L.İ. Soma bölgesi Deniz linyit havzasındaki kalsit dolgululu ve dolgusuz örneklere ait suya doymuş üç eksenli deney sonuçları
- Ek-6:** G.L.İ. Tunçbilek ve E.L.İ Soma bölgesi marn kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları
- Ek-7:** G.L.İ. Tunçbilek ve E.L.İ. Soma bölgesi marn kaya malzemesinin Brazilian çekme dayanımı deney sonuçları
- Ek-8:** G.L.İ. Tunçbilek ve E.L.İ. Soma bölgesi marn kaya malzemesinin CaCO₃ analiz sonuçları
- Ek-9:** Kaya kütlelerinin jeomekanik sınıflandırması

EK-1

G.L.İ. Tunçbilek Bölgesine ait 17.6°C-%90 RH'de koşullandırılmış ve suya doymun örneklerin üç eksenli basınç deneyi sonuçları

Blok No: B-1KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|-----------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Açık gri Tabakasız | 17.6°C %90 RH | 512.1 | 54.3 | 119.6 | 1 | 19.74 | $m_i=6.68$ $\sigma_{ci}=16.55$ MPa | $c=3.71$ MPa $\phi=38.35^\circ$ |
| 2 | | | 535.3 | 54.3 | 121.9 | 3 | 28.41 | | |
| 3 | | | 531.9 | 54.3 | 121.4 | 5 | 34.67 | | |
| 4 | | | 540.3 | 54.3 | 122.0 | 7 | 39.84 | | |
| 5 | | | 531.9 | 54.3 | 120.2 | 9 | 43.36 | | |

Blok No: B-2KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|------------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 6 | Kahverengi Tabakalı | 17.6°C %90 RH | 520.4 | 54.3 | 111.0 | 1 | 40.09 | $m_i=5.35$ $\sigma_{ci}=39.24$ MPa | $c=9.37$ MPa $\phi=35.68^\circ$ |
| 7 | | | 521.3 | 54.3 | 111.1 | 1 | 41.51 | | |
| 8 | | | 525.6 | 54.3 | 111.4 | 3 | 53.86 | | |
| 9 | | | 527.4 | 54.3 | 111.8 | 5 | 58.45 | | |
| 10 | | | 524.2 | 54.3 | 111.0 | 7 | 62.53 | | |
| 11 | | | 527.7 | 54.3 | 112.5 | 9 | 64.20 | | |

Blok No: B-3KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|------------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 12 | Kahverengi Tabakalı | 17.6°C %90 RH | 537.7 | 54.3 | 122.0 | 1 | 34.07 | $m_i=5.00$ $\sigma_{ci}=32.03$ MPa | $c=7.81$ MPa $\phi=34.85^\circ$ |
| 13 | | | 522.4 | 54.3 | 122.0 | 3 | 44.55 | | |
| 14 | | | 521.5 | 54.3 | 121.2 | 5 | 47.68 | | |
| 15 | | | 521.4 | 54.3 | 120.0 | 7 | 51.02 | | |
| 16 | | | 526.4 | 54.3 | 121.4 | 9 | 59.69 | | |

EK-1 (devam)**Blok No: B-4KL**

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|------------------------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|---|
| 17 | Açık kahverengi ve gri tabakalı | 17.6°C %90 RH | 505.1 | 54.3 | 114.0 | 1 | 30.16 | $m_i=5.39$ $\sigma_{ci}=26.74$ MPa | $c=6.37$ MPa $\emptyset=35.76^\circ$ |
| 18 | | | 493.0 | 54.3 | 111.1 | 3 | 36.83 | | |
| 19 | | | 498.1 | 54.3 | 112.8 | 5 | 43.01 | | |
| 20 | | | 507.5 | 54.3 | 114.5 | 7 | 49.18 | | |
| 21 | | | 503.4 | 54.3 | 113.3 | 9 | 53.23 | | |

Blok No: 48C-1KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|------------------------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|---|
| 22 | Koyu kahverengi ve gri tabakalı | 17.6°C %90 RH | 502.2 | 54.3 | 111.9 | 1 | 36.50 | $m_i=6.22$ $\sigma_{ci}=32.24$ MPa | $c=7.37$ MPa $\emptyset=37.50^\circ$ |
| 23 | | | 506.6 | 54.3 | 111.6 | 3 | 43.26 | | |
| 24 | | | 513.5 | 54.3 | 113.5 | 5 | 49.60 | | |
| 25 | | | 507.0 | 54.3 | 113.5 | 7 | 53.86 | | |
| 26 | | | 508.4 | 54.3 | 111.8 | 7 | 59.58 | | |
| 27 | | | 513.5 | 54.3 | 113.1 | 9 | 62.28 | | |

Blok No: 48C-2KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|------------------------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---|---|
| 28 | Açık kahverengi ve gri tabakalı | 17.6°C %90 RH | 498.0 | 54.3 | 111.2 | 1 | 38.76 | $m_i=7.22$ $\sigma_{ci}=32.93$ (MPa) | $c=7.22$ MPa $\emptyset=39.26^\circ$ |
| 29 | | | 504.1 | 54.3 | 112.2 | 3 | 45.26 | | |
| 30 | | | 501.2 | 54.3 | 111.7 | 5 | 51.10 | | |
| 31 | | | 516.2 | 54.3 | 112.8 | 7 | 55.27 | | |
| 32 | | | 526.3 | 54.3 | 111.3 | 9 | 70.12 | | |

EK-1 (devam)**Blok No: 48C-3KL**

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|------------------------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 33 | Koyu kahverengi ve gri tabakalı | 17.6°C %90 RH | 543.9 | 54.3 | 113.0 | 1 | 33.49 | $m_i=5.95$ $\sigma_{ci}=29.07$ MPa | $c=6.73$ MPa $\phi=36.97^\circ$ |
| 34 | | | 540.8 | 54.3 | 109.6 | 3 | 40.26 | | |
| 35 | | | 543.8 | 54.3 | 112.8 | 5 | 43.01 | | |
| 36 | | | 515.5 | 54.3 | 104.2 | 7 | 51.19 | | |
| 37 | | | 534.2 | 54.3 | 112.1 | 7 | 56.28 | | |
| 38 | | | 545.9 | 54.3 | 112.0 | 9 | 57.53 | | |

Blok No: 48C-4KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|-----------------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 39 | Açık kahverengi tabakalı | 17.6°C %90 RH | 477.5 | 54.3 | 112.2 | 1 | 27.74 | $m_i=5.39$ $\sigma_{ci}=22.55$ MPa | $c=5.38$ MPa $\phi=35.76^\circ$ |
| 40 | | | 450.9 | 54.3 | 111.3 | 3 | 31.00 | | |
| 41 | | | 451.8 | 54.3 | 111.4 | 5 | 36.25 | | |
| 42 | | | 478.1 | 54.3 | 112.9 | 7 | 44.76 | | |
| 43 | | | 473.3 | 54.3 | 111.1 | 9 | 50.10 | | |

Blok No: 48C-5KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|-----------------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 44 | Açık kahverengi tabakalı | 17.6°C %90 RH | 529.5 | 54.3 | 112.5 | 1 | 26.15 | $m_i=4.36$ $\sigma_{ci}=23.68$ MPa | $c=6.02$ MPa $\phi=33.14^\circ$ |
| 45 | | | 501.7 | 54.3 | 111.5 | 3 | 33.58 | | |
| 46 | | | 507.9 | 54.3 | 113.0 | 5 | 37.50 | | |
| 47 | | | 499.8 | 54.3 | 112.0 | 7 | 43.01 | | |
| 48 | | | 509.9 | 54.3 | 113.4 | 9 | 47.27 | | |

EK-1 (devam)**Blok No: 48C-6KL**

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|--|
| 49 | Koyu gri tabakasız | 17.6°C %90 RH | 484.1 | 54.3 | 112.0 | 1 | 23.41 | $m_i=4.13$ $\sigma_{ci}=20.35$ MPa | $c=5.26$ MPa $\emptyset =32.45^\circ$ |
| 50 | | | 479.2 | 54.3 | 112.2 | 3 | 29.41 | | |
| 51 | | | 456.8 | 54.3 | 110.3 | 5 | 32.91 | | |
| 52 | | | 463.3 | 54.3 | 112.0 | 7 | 38.01 | | |
| 53 | | | 477.8 | 54.3 | 113.0 | 9 | 44.09 | | |

Blok No: 48C-7KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|--|
| 54 | Açık gri tabakasız | 17.6°C %90 RH | 502.6 | 54.3 | 112.1 | 1 | 42.76 | $m_i=4.87$ $\sigma_{ci}=36.19$ MPa | $c=8.89$ MPa $\emptyset =34.53^\circ$ |
| 55 | | | 495.7 | 54.3 | 111.7 | 1 | 35.33 | | |
| 56 | | | 500.6 | 54.3 | 111.6 | 3 | 48.02 | | |
| 57 | | | 501.1 | 54.3 | 112.3 | 5 | 51.02 | | |
| 58 | | | 488.1 | 54.3 | 111.1 | 7 | 56.86 | | |
| 59 | | | 505.7 | 54.3 | 114.3 | 9 | 63.07 | | |

Blok No: 48C-8KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|--|
| 60 | Koyu gri tabakasız | 17.6°C %90 RH | 497.4 | 54.3 | 112.0 | 1 | 32.84 | $m_i=6.11$ $\sigma_{ci}=29.25$ MPa | $c=6.72$ MPa $\emptyset =37.28^\circ$ |
| 61 | | | 489.3 | 54.3 | 111.1 | 3 | 41.05 | | |
| 62 | | | 494.3 | 54.3 | 112.4 | 5 | 47.17 | | |
| 63 | | | 488.1 | 54.3 | 111.8 | 7 | 51.11 | | |
| 64 | | | 499.2 | 54.3 | 113.5 | 9 | 59.60 | | |

EK-1 (devam)**Blok No: 48-1KL**

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|-----------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|---|
| 65 | Koyu gri Tabakasız | 17.6°C %90 RH | 500.4 | 54.3 | 114.9 | 1 | 41.17 | $m_i=4.00$ $\sigma_{ci}=39.83$ MPa | $c=10.40$ MPa $\emptyset =32.05^\circ$ |
| 66 | | | 488.9 | 54.3 | 111.3 | 3 | 50.51 | | |
| 67 | | | 488.8 | 54.3 | 112.2 | 5 | 54.53 | | |
| 68 | | | 486.3 | 54.3 | 111.2 | 7 | 58.28 | | |
| 69 | | | 492.3 | 54.3 | 112.2 | 9 | 63.45 | | |

Blok No: 48-2KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|-----------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|--|
| 70 | Açık gri Tabakasız | 17.6°C %90 RH | 548.1 | 54.3 | 121.0 | 1 | 33.67 | $m_i=5.67$ $\sigma_{ci}=31.66$ MPa | $c=7.43$ MPa $\emptyset =36.39^\circ$ |
| 71 | | | 556.7 | 54.3 | 122.3 | 3 | 43.59 | | |
| 72 | | | 557.1 | 54.3 | 122.0 | 5 | 49.68 | | |
| 73 | | | 549.4 | 54.3 | 120.6 | 7 | 56.78 | | |
| 74 | | | 545.5 | 54.3 | 120.2 | 9 | 57.28 | | |

Blok No: 48-3KL

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---|--|
| 75 | Gri Tabakasız | 17.6°C %90 RH | 479.5 | 54.3 | 110.9 | 1 | 27.54 | $m_i= 5.75$ $\sigma_{ci}= 24.42$ MPa | $c= 5.71$ MPa $\emptyset = 36.56^\circ$ |
| 76 | | | 487.4 | 54.3 | 112.4 | 3 | 35.78 | | |
| 77 | | | 454.0 | 54.3 | 104.2 | 5 | 41.03 | | |
| 78 | | | 485.4 | 54.3 | 112.1 | 7 | 47.03 | | |
| 79 | | | 492.3 | 54.3 | 112.2 | 9 | 51.61 | | |

EK-1 (devam)**Blok No: 48-4KL**

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|------------------|------------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 80 | Gri Tabakasız | 17.6°C %90 RH | 496.3 | 54.3 | 112.6 | 1 | 19.56 | $m_i=6.84$ $\sigma_{ci}=14.47$ MPa | $c=3.22$ MPa $\phi=38.64^\circ$ |
| 81 | | | 519.1 | 54.3 | 115.9 | 3 | 24.01 | | |
| 82 | | | 505.9 | 54.3 | 115.4 | 5 | 30.36 | | |
| 83 | | | 513.2 | 54.3 | 116.2 | 7 | 38.84 | | |
| 84 | | | 501.4 | 54.3 | 115.9 | 9 | 41.97 | | |

Blok No: 48-5SD

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|-------------------------|----------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 85 | Kahverengi Tabakasız | Suya doygun | - | 54.6 | 124.0 | 1 | 24.6 | $m_i=7.90$ $\sigma_{ci}=18.91$ MPa | $c=4.05$ MPa $\phi=40.31^\circ$ |
| 86 | | | - | 54.6 | 121.0 | 3 | 28.9 | | |
| 87 | | | - | 54.6 | 123.0 | 3 | 31.8 | | |
| 88 | | | - | 54.6 | 126.0 | 5 | 38.6 | | |
| 89 | | | - | 54.6 | 121.6 | 7 | 44.7 | | |
| 90 | | | - | 54.6 | 123.1 | 9 | 50.6 | | |

Blok No: 48-6SD

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|-------------------------|----------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 91 | Kahverengi Tabakasız | Suya doygun | - | 54.6 | 102.5 | 1 | 33.1 | $m_i=6.96$ $\sigma_{ci}=28.71$ MPa | $c=6.35$ MPa $\phi=38.84^\circ$ |
| 92 | | | - | 54.6 | 103.7 | 2 | 35.8 | | |
| 93 | | | - | 54.6 | 101.4 | 3 | 40.7 | | |
| 94 | | | - | 54.6 | 104.5 | 4 | 47.9 | | |
| 95 | | | - | 54.6 | 105.5 | 5 | 45.2 | | |

EK-1 (devam)**Blok No: 48-7SD**

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|-----|-------------------------|----------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 96 | Kahverengi Tabakasız | Suya doygun | - | 54.6 | 104.1 | 1 | 35.3 | $m_i=8.67$ $\sigma_{ci}=30.43$ MPa | $c=6.35$ MPa $\phi=41.36^\circ$ |
| 97 | | | - | 54.6 | 103.5 | 3 | 41.7 | | |
| 98 | | | - | 54.6 | 100.2 | 5 | 58.6 | | |
| 99 | | | - | 54.6 | 102.6 | 7 | 57.5 | | |
| 100 | | | - | 54.6 | 102.6 | 9 | 65.4 | | |

EK-2

E.L.İ. Soma bölgesine ait marn kaya malzemesi örneklerinin suya doymun üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

Eynez-Blok No: E-1SD

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|---------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---|---|
| 1 | Gri renkli dolgusuz | Suya doymun | 649.7 | 54.3 | 112.1 | 1 | 113.09 | $m_i=10.44$ $\sigma_{ci}=105.39$ MPa | $c=21.05$ MPa $\emptyset =43.42^\circ$ |
| 2 | | | 647.8 | 54.3 | 111.8 | 3 | 121.18 | | |
| 3 | | | 663.1 | 54.3 | 114.5 | 5 | 133.62 | | |
| 4 | | | 638.5 | 54.3 | 111.9 | 7 | 143.13 | | |
| 5 | | | 638.6 | 54.3 | 111.7 | 9 | 155.47 | | |

Eynez-Blok No: E-2SD

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|---------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---|---|
| 6 | Gri renkli dolgusuz | Suya doymun | 651.2 | 54.3 | 113.2 | 1 | 99.99 | $m_i=11.16$ $\sigma_{ci}=104.75$ MPa | $c=20.61$ MPa $\emptyset =44.14^\circ$ |
| 7 | | | 649.0 | 54.3 | 111.0 | 3 | 133.31 | | |
| 8 | | | 655.5 | 54.3 | 113.1 | 3 | 130.44 | | |
| 9 | | | 665.0 | 54.3 | 114.4 | 5 | 133.86 | | |
| 10 | | | 657.8 | 54.3 | 113.7 | 7 | 144.46 | | |
| 11 | | | 653.1 | 54.3 | 113.0 | 9 | 151.63 | | |

Eynez-Blok No: E-3SD

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|--------------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|---|
| 12 | Açık kahverengi dolgusuz | Suya doymun | 633.8 | 54.3 | 113.6 | 1 | 56.36 | $m_i=8.62$ $\sigma_{ci}=51.84$ MPa | $c=10.84$ MPa $\emptyset =41.30^\circ$ |
| 13 | | | 636.5 | 54.3 | 114.0 | 3 | 64.20 | | |
| 14 | | | 629.9 | 54.3 | 112.4 | 5 | 80.80 | | |
| 15 | | | 631.2 | 54.3 | 113.0 | 7 | 82.56 | | |
| 16 | | | 636.9 | 54.3 | 114.0 | 9 | 88.90 | | |

Ek-2 (devam)**Eynez-Blok No: E-4SD**

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|---|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|--|-------------------------------------|
| 17 | Açık kahverengi gri renkli tabakalı-dolgunsuz | Suya doymun | 625.8 | 54.3 | 108.6 | 1 | 75.02 | $m_i=10.73$ $\sigma_{ci}=71.08$ MPa | $c=14.11$ MPa $\phi=43.71^\circ$ |
| 18 | | | 658.5 | 54.3 | 114.0 | 3 | 93.57 | | |
| 19 | | | 661.4 | 54.3 | 114.8 | 5 | 93.40 | | |
| 20 | | | 648.2 | 54.3 | 112.2 | 5 | 101.08 | | |
| 21 | | | 653.5 | 54.3 | 113.3 | 7 | 111.67 | | |
| 22 | | | 641.7 | 54.3 | 111.8 | 9 | 116.60 | | |

Eynez-Blok No: E-5SD

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|----------------------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 23 | Gri renkli tabakalı-dolgunsuz | Suya doymun | 656.9 | 54.3 | 114.0 | 1 | 86.81 | $m_i=5.38$ $\sigma_{ci}=83.44$ MPa | $c=19.89$ MPa $\phi=35.76^\circ$ |
| 24 | | | 646.9 | 54.3 | 112.2 | 3 | 96.15 | | |
| 25 | | | 656.9 | 54.3 | 114.2 | 5 | 97.32 | | |
| 26 | | | 656.7 | 54.3 | 113.9 | 7 | 109.84 | | |
| 27 | | | 655.9 | 54.3 | 113.9 | 9 | 113.51 | | |

Güney Kısrakdere-Blok No: K-1SD

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|--|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 28 | Açık kahverengi gri renkli dolgunsuz | Suya doymun | 628.0 | 54.3 | 112.7 | 1 | 80.05 | $m_i=7.34$ $\sigma_{ci}=83.86$ MPa | $c=18.29$ MPa $\phi=39.45^\circ$ |
| 29 | | | 630.0 | 54.3 | 113.2 | 3 | 102.58 | | |
| 30 | | | 630.9 | 54.3 | 114.4 | 3 | 107.92 | | |
| 31 | | | 631.3 | 54.3 | 113.1 | 5 | 101.49 | | |
| 32 | | | 631.5 | 54.3 | 113.4 | 7 | 108.50 | | |
| 33 | | | 617.7 | 54.3 | 111.1 | 9 | 122.52 | | |

Ek-2 (devam)**Güney Kısrakdere-Blok No: K-2SD**

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|---------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|--|-------------------------------------|
| 34 | Gri renkli Dolgusuz | Suya doymuş | 671.5 | 54.3 | 122.2 | 1 | 94.19 | $m_i=10.81$ $\sigma_{ci}=86.41$ MPa | $c=17.12$ MPa $\phi=43.79^\circ$ |
| 35 | | | 665.7 | 54.3 | 121.2 | 3 | 104.64 | | |
| 36 | | | 670.9 | 54.3 | 121.5 | 5 | 111.00 | | |
| 37 | | | 679.9 | 54.3 | 123.9 | 7 | 125.36 | | |
| 38 | | | 701.7 | 54.3 | 122.7 | 9 | 137.29 | | |

Işıklar-Blok No: I-1SD

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|---------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|--|-------------------------------------|
| 39 | Gri renkli Dolgusuz | Suya doymuş | 703.0 | 54.3 | 123.0 | 1 | 90.15 | $m_i=16.14$ $\sigma_{ci}=82.05$ MPa | $c=15.07$ MPa $\phi=47.91^\circ$ |
| 40 | | | 717.6 | 54.3 | 125.2 | 3 | 101.49 | | |
| 41 | | | 674.0 | 54.3 | 121.8 | 5 | 129.52 | | |
| 42 | | | 670.3 | 54.3 | 122.0 | 7 | 135.46 | | |
| 43 | | | 678.1 | 54.3 | 123.0 | 9 | 140.29 | | |

Işıklar-Blok No: I-2SD

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|---------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 44 | Gri renkli Dolgusuz | Suya doymuş | 625.7 | 54.3 | 111.2 | 1 | 71.73 | $m_i=7.65$ $\sigma_{ci}=65.21$ MPa | $c=14.07$ MPa $\phi=39.94^\circ$ |
| 45 | | | 622.4 | 54.3 | 110.0 | 3 | 68.71 | | |
| 46 | | | 637.7 | 54.3 | 113.4 | 3 | 82.47 | | |
| 47 | | | 630.7 | 54.3 | 112.0 | 5 | 92.65 | | |
| 48 | | | 640.6 | 54.3 | 114.1 | 7 | 96.49 | | |
| 49 | | | 619.0 | 54.3 | 110.2 | 9 | 100.16 | | |

Ek-2 (devam)**Deniş-Blok No: D-1SD**

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|--|-------------------------------------|
| 50 | Gri-Dolgunuz | Suya doygun | 631.9 | 54.3 | 112.3 | 1 | 114.26 | $m_i=25.05$ $\sigma_{ci}=96.05$ MPa | $c=16.79$ MPa $\phi=52.00^\circ$ |
| 51 | | | 636.4 | 54.3 | 112.9 | 3 | 120.93 | | |
| 52 | | | 649.8 | 54.3 | 112.1 | 5 | 155.47 | | |
| 53 | | | 648.7 | 54.3 | 111.6 | 7 | 164.57 | | |
| 54 | | | 647.8 | 54.3 | 111.7 | 9 | 188.59 | | |

Deniş-Blok No: D-3SD

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (mm) | L (mm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 55 | Gri-Dolgunuz | Suya doygun | 620.2 | 54.3 | 112.9 | 1 | 78.42 | $m_i=8.11$ $\sigma_{ci}=77.32$ MPa | $c=16.43$ MPa $\phi=40.60^\circ$ |
| 56 | | | 596.4 | 54.3 | 112.5 | 3 | 96.34 | | |
| 57 | | | 617.8 | 54.3 | 111.8 | 5 | 103.00 | | |
| 58 | | | 611.8 | 54.3 | 110.7 | 7 | 106.50 | | |
| 59 | | | 622.3 | 54.3 | 112.5 | 9 | 115.76 | | |

EK-3

G.L.İ. Tunçbilek bölgesi nemlilik-dayanım ilişkisinin belirlenmesinde kullanılan üç eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

48 pano-Kuru örneklerle ait deney sonuçları

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|-------------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Gri | Etüvde kurutulmuş | 5.46 | 10.26 | 1 | 55.9 | $m_i=4.26$ $\sigma_{ci}=48.31$ MPa | $c=12.36$ MPa $\phi=32.86^\circ$ |
| 2 | | | 5.46 | 10.45 | 1 | 45.1 | | |
| 3 | | | 5.46 | 10.16 | 2 | 54.1 | | |
| 4 | | | 5.46 | 10.05 | 3 | 61.2 | | |
| 5 | | | 5.46 | 10.02 | 4 | 61.1 | | |
| 6 | | | 5.46 | 10.04 | 5 | 60.3 | | |

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|-------------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 7 | Kahverengi | Etüvde kurutulmuş | 5.46 | 10.55 | 1 | 56.3 | $m_i=6.36$ $\sigma_{ci}=55.35$ MPa | $c=12.57$ MPa $\phi=37.76^\circ$ |
| 8 | | | 5.46 | 10.14 | 3 | 74.3 | | |
| 9 | | | 5.46 | 10.36 | 5 | 76.6 | | |
| 10 | | | 5.46 | 10.22 | 7 | 67.9 | | |
| 11 | | | 5.46 | 10.02 | 9 | 95.2 | | |

17.6°C-%60 RH'de koşullandırılmış örneklerle ait deney sonuçları

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|------------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 12 | Gri | 17.6°C %60 RH | 5.46 | 10.24 | 1 | 39.4 | $m_i=5.85$ $\sigma_{ci}=36.85$ MPa | $c=8.57$ MPa $\phi=36.76^\circ$ |
| 13 | | | 5.46 | 10.41 | 2 | 46.2 | | |
| 14 | | | 5.46 | 10.02 | 3 | 46.8 | | |
| 15 | | | 5.46 | 10.26 | 4 | 52.8 | | |
| 16 | | | 5.46 | 10.32 | 5 | 53.0 | | |

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|------------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 17 | Kahverengi | 17.6°C %60 RH | 5.46 | 10.31 | 1 | 56.9 | $m_i=7.95$ $\sigma_{ci}=48.87$ MPa | $c=10.44$ MPa $\phi=40.38^\circ$ |
| 18 | | | 5.46 | 10.39 | 3 | 59.2 | | |
| 19 | | | 5.46 | 10.52 | 5 | 63.5 | | |
| 20 | | | 5.46 | 10.20 | 7 | 103.4 | | |
| 21 | | | 5.46 | 10.16 | 7 | 64.3 | | |
| 22 | | | 5.46 | 10.02 | 9 | 82.4 | | |

17.6°C-%80 RH'de koşullandırılmış örneklerle ait deney sonuçları

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|------------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 23 | Gri | 17.6°C %80 RH | 5.46 | 10.02 | 1 | 41.3 | $m_i=5.77$ $\sigma_{ci}=36.00$ MPa | $c=8.41$ MPa $\phi=36.61^\circ$ |
| 24 | | | 5.46 | 10.51 | 2 | 42.8 | | |
| 25 | | | 5.46 | 10.35 | 3 | 44.4 | | |
| 26 | | | 5.46 | 10.30 | 4 | 49.9 | | |
| 27 | | | 5.46 | 10.27 | 5 | 55.0 | | |

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|------------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 28 | Kahverengi | 17.6°C %80 RH | 5.46 | 10.48 | 1 | 42.9 | $m_i=8.68$ $\sigma_{ci}=37.53$ MPa | $c=7.83$ MPa $\phi=41.38^\circ$ |
| 29 | | | 5.46 | 10.29 | 3 | 47.0 | | |
| 30 | | | 5.46 | 10.05 | 5 | 71.0 | | |
| 31 | | | 5.46 | 10.02 | 5 | 56.9 | | |
| 32 | | | 5.46 | 10.00 | 7 | 67.4 | | |
| 33 | | | 5.46 | 10.20 | 9 | 72.2 | | |

17.6°C-%90 RH'de koşullandırılmış örneklerle ait deney sonuçları

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|------------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 34 | Gri | 17.6°C %90 RH | 5.46 | 10.61 | 1 | 38.6 | $m_i=4.93$ $\sigma_{ci}=35.92$ MPa | $c=8.79$ MPa $\phi=34.67^\circ$ |
| 35 | | | 5.46 | 10.52 | 2 | 43.5 | | |
| 36 | | | 5.46 | 10.02 | 3 | 50.5 | | |
| 37 | | | 5.46 | 10.13 | 4 | 34.7 | | |
| 38 | | | 5.46 | 10.26 | 4 | 52.8 | | |
| 39 | | | 5.46 | 10.27 | 5 | 56.5 | | |

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|------------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 40 | Kahverengi | 17.6°C %90 RH | 5.46 | 10.32 | 1 | 50.4 | $m_i=7.89$ $\sigma_{ci}=37.31$ MPa | $c=7.98$ MPa $\phi=40.30^\circ$ |
| 41 | | | 5.46 | 10.70 | 3 | 47.7 | | |
| 42 | | | 5.46 | 10.36 | 5 | 41.1 | | |
| 43 | | | 5.46 | 10.33 | 7 | 67.4 | | |
| 44 | | | 5.46 | 10.40 | 9 | 82.6 | | |

Suya doymuş örneklerle ait deney sonuçları

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|----------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 45 | Kahverengi | Suya doymuş | 5.46 | 10.25 | 1 | 33.1 | $m_i=6.96$ $\sigma_{ci}=28.71$ MPa | $c=6.35$ MPa $\phi=38.84^\circ$ |
| 46 | | | 5.46 | 10.37 | 2 | 35.8 | | |
| 47 | | | 5.46 | 10.14 | 3 | 40.7 | | |
| 48 | | | 5.46 | 10.45 | 4 | 47.9 | | |
| 49 | | | 5.46 | 10.55 | 5 | 45.2 | | |

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|----------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 50 | Kahverengi | Suya doymuş | 5.46 | 10.41 | 1 | 35.3 | $m_i=8.67$ $\sigma_{ci}=30.43$ MPa | $c=6.35$ MPa $\phi=41.36^\circ$ |
| 51 | | | 5.46 | 10.35 | 3 | 41.7 | | |
| 52 | | | 5.46 | 10.02 | 5 | 58.6 | | |
| 53 | | | 5.46 | 10.26 | 7 | 57.5 | | |
| 54 | | | 5.46 | 10.26 | 9 | 65.4 | | |

EK-4

G.L.İ. Tunçbilek Bölgesi marn kaya malzemesinin havada kuru üç eksenli basınç deneyi sonuçları

Blok No: B-1K

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | Açık gri tabakasız | Havada kuru | 519.2 | 5.43 | 11.93 | 1 | 38.9 | $m_i=2.08$ $\sigma_{ci}=37.80$ MPa | $c=12.06$ MPa $\phi=23.76^\circ$ |
| 2 | | | 527.2 | 5.43 | 12.12 | 3 | 44.8 | | |
| 3 | | | 523.5 | 5.43 | 12.01 | 5 | 48.0 | | |
| 4 | | | 523.7 | 5.43 | 12.05 | 7 | 51.8 | | |
| 5 | | | 523.4 | 5.43 | 12.07 | 9 | 54.5 | | |

Blok No: 48C-4K

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--------------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 6 | Açık kahverengi tabakalı | Havada kuru | 442.0 | 5.43 | 11.13 | 1 | 35.6 | $m_i=3.75$ $\sigma_{ci}=33.28$ MPa | $c=8.86$ MPa $\phi=31.24^\circ$ |
| 7 | | | 441.8 | 5.43 | 10.82 | 3 | 42.2 | | |
| 8 | | | 443.1 | 5.43 | 11.10 | 5 | 46.4 | | |
| 9 | | | 446.3 | 5.43 | 11.11 | 7 | 52.2 | | |
| 10 | | | 447.7 | 5.43 | 11.22 | 9 | 55.6 | | |

Blok No: 48C-5K

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--------------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 11 | Açık kahverengi tabakalı | Havada kuru | 526.5 | 5.43 | 11.22 | 1 | 44.3 | $m_i=2.50$ $\sigma_{ci}=42.85$ MPa | $c=12.93$ MPa $\phi=26.08^\circ$ |
| 12 | | | 520.3 | 5.43 | 10.94 | 3 | 48.7 | | |
| 13 | | | 502.1 | 5.43 | 11.25 | 5 | 50.8 | | |
| 14 | | | 541.6 | 5.43 | 11.22 | 5 | 60.5 | | |
| 15 | | | 502.4 | 5.43 | 11.16 | 7 | 56.2 | | |
| 16 | | | 494.8 | 5.43 | 11.24 | 9 | 61.4 | | |

Blok No: 48-1K

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 17 | Koyu gri tabakasız | Havada kuru | 447.6 | 5.43 | 10.52 | 1 | 33.9 | $m_i=4.43$ $\sigma_{ci}=29.39$ MPa | $c=7.43$ MPa $\phi=33.34^\circ$ |
| 18 | | | 487.8 | 5.43 | 11.49 | 3 | 36.9 | | |
| 19 | | | 489.6 | 5.43 | 11.44 | 5 | 44.0 | | |
| 20 | | | 497.9 | 5.43 | 11.63 | 7 | 47.2 | | |
| 21 | | | 497.6 | 5.43 | 11.62 | 9 | 56.1 | | |

Blok No: 48-2K

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 22 | Açık gri tabakasız | Havada kuru | 479.8 | 5.43 | 11.19 | 1 | 55.4 | $m_i=3.61$ $\sigma_{ci}=55.57$ MPa | $c=4.98$ MPa $\phi=30.74^\circ$ |
| 23 | | | 481.9 | 5.43 | 11.12 | 3 | 66.5 | | |
| 24 | | | 484.1 | 5.43 | 11.19 | 5 | 71.0 | | |
| 25 | | | 477.6 | 5.43 | 11.01 | 7 | 74.4 | | |
| 26 | | | 495.6 | 5.43 | 11.41 | 9 | 76.7 | | |

Blok No: 48-3K

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 27 | Gri tabakasız | Havada kuru | 543.5 | 5.43 | 12.13 | 1 | 61.1 | $m_i=3.02$ $\sigma_{ci}=58.12$ MPa | $c=16.55$ MPa $\phi=28.49^\circ$ |
| 28 | | | 545.2 | 5.43 | 12.16 | 3 | 66.0 | | |
| 29 | | | 534.4 | 5.43 | 11.94 | 5 | 72.2 | | |
| 30 | | | 534.3 | 5.43 | 11.92 | 5 | 65.9 | | |
| 31 | | | 537.6 | 5.43 | 12.00 | 7 | 75.7 | | |
| 32 | | | 532.9 | 5.43 | 11.90 | 9 | 79.9 | | |

Blok No: 48-4K

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 33 | Gri tabakasız | Havada kuru | 493.9 | 5.43 | 11.27 | 1 | 59.0 | $m_i=3.44$ $\sigma_{ci}=56.54$ MPa | $c=5.46$ MPa $\phi=30.16^\circ$ |
| 34 | | | 490.3 | 5.43 | 11.24 | 3 | 64.6 | | |
| 35 | | | 457.2 | 5.43 | 10.54 | 5 | 70.3 | | |
| 36 | | | 489.2 | 5.43 | 11.31 | 7 | 73.7 | | |
| 37 | | | 496.5 | 5.43 | 11.13 | 9 | 79.6 | | |

E.L.İ. Soma Bölgesi marn kaya malzemesinin havada kuru üç eksenli basınç deney sonuçları**Eynez-Blok No: E-2HK**

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|---------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---|-------------------------------------|
| 1 | Gri renkli dolgusuz | Havada kuru | 641.1 | 5.40 | 11.16 | 1 | 113.80 | $m_i=13.62$ $\sigma_{ci}=132.78$ MPa | $c=25.10$ MPa $\phi=46.21^\circ$ |
| 2 | | | 659.8 | 5.40 | 11.44 | 1 | 164.79 | | |
| 3 | | | 625.3 | 5.40 | 11.05 | 3 | 159.32 | | |
| 4 | | | 646.2 | 5.40 | 11.25 | 5 | 176.79 | | |
| 5 | | | 655.5 | 5.40 | 11.42 | 5 | 158.64 | | |
| 6 | | | 628.8 | 5.40 | 10.95 | 7 | 179.50 | | |
| 7 | | | 650.8 | 5.40 | 113.2 | 9 | 193.69 | | |

Eynez-Blok No: E-3HK

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|--------------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|--|-------------------------------------|
| 8 | Açık kahverengi dolgusuz | Havada kuru | 605.6 | 5.40 | 11.12 | 1 | 103.00 | $m_i=12.28$ $\sigma_{ci}=91.72$ MPa | $c=17.69$ MPa $\phi=45.14^\circ$ |
| 9 | | | 613.8 | 5.40 | 11.33 | 3 | 116.01 | | |
| 10 | | | 605.5 | 5.40 | 11.14 | 5 | 109.07 | | |
| 11 | | | 602.9 | 5.40 | 11.19 | 7 | 127.52 | | |
| 12 | | | 640.4 | 5.40 | 11.28 | 9 | 157.81 | | |

Işıklar-Blok No: I-1HK

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|---------------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---|-------------------------------------|
| 13 | Gri renkli dolgusuz | Havada kuru | 638.4 | 5.40 | 11.26 | 1 | 126.11 | $m_i=10.63$ $\sigma_{ci}=115.42$ MPa | $c=22.96$ MPa $\phi=43.61^\circ$ |
| 14 | | | 638.3 | 5.40 | 11.27 | 3 | 133.86 | | |
| 15 | | | 634.9 | 5.40 | 11.27 | 5 | 135.28 | | |
| 16 | | | 606.7 | 5.40 | 10.75 | 7 | 150.89 | | |
| 17 | | | 648.1 | 5.40 | 11.21 | 9 | 173.35 | | |

Işıklar-Blok No: I-2HK

| No | Kayaç Özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek-Brown | Mohr-Coulomb |
|----|----------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---|-------------------------------------|
| 18 | Gri dolgusuz | Havada kuru | 609.8 | 5.40 | 11.29 | 1 | 121.77 | $m_i=10.45$ $\sigma_{ci}=104.99$ MPa | $c=20.96$ MPa $\phi=43.43^\circ$ |
| 19 | | | 610.2 | 5.40 | 11.19 | 3 | 111.82 | | |
| 20 | | | 623.3 | 5.40 | 11.53 | 5 | 127.86 | | |
| 21 | | | 609.3 | 5.40 | 11.22 | 7 | 139.79 | | |
| 22 | | | 608.0 | 5.40 | 11.20 | 9 | 163.15 | | |

EK-5

E.L.İ. Soma bölgesi Deniş linyit havzasındaki kalsit dolgulu ve dolgunsuz örneklere ait suya doymun üç eksenli deney sonuçları

Deniş-Blok No: D-1SD

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|--|-------------------------------------|
| 1 | Gri-Dolgunsuz | Suya doymun | 631.9 | 5.43 | 11.23 | 1 | 114.26 | $m_i=25.05$ $\sigma_{ci}=96.05$ MPa | $c=16.79$ MPa $\phi=52.00^\circ$ |
| 2 | | | 636.4 | 5.43 | 11.29 | 3 | 120.93 | | |
| 3 | | | 649.8 | 5.43 | 11.21 | 5 | 155.47 | | |
| 4 | | | 648.7 | 5.43 | 11.16 | 7 | 164.57 | | |
| 5 | | | 647.8 | 5.43 | 11.17 | 9 | 188.59 | | |

Deniş-Blok No: D-2SD

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|--|-------------------------------------|
| 6 | Gri tabakalanmaya paralel kalın kalsit dolgulu | Suya doymun | 649.6 | 5.43 | 11.38 | 1 | 109.16 | $m_i=15.94$ $\sigma_{ci}=98.00$ MPa | $c=18.04$ MPa $\phi=47.79^\circ$ |
| 7 | | | 641.5 | 5.43 | 11.36 | 3 | 122.44 | | |
| 8 | | | 650.6 | 5.43 | 11.38 | 5 | 135.11 | | |
| 9 | | | 650.7 | 5.43 | 11.33 | 7 | 141.29 | | |
| 10 | | | 647.8 | 5.43 | 11.22 | 9 | 171.24 | | |

Deniş-Blok No: D-3SD

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|----------------|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 11 | Gri-Dolgunsuz | Suya doymun | 620.2 | 5.43 | 11.29 | 1 | 78.42 | $m_i=8.11$ $\sigma_{ci}=77.32$ MPa | $c=16.43$ MPa $\phi=40.60^\circ$ |
| 12 | | | 596.4 | 5.43 | 11.25 | 3 | 96.34 | | |
| 13 | | | 617.8 | 5.43 | 11.18 | 5 | 103.00 | | |
| 14 | | | 611.8 | 5.43 | 11.07 | 7 | 106.50 | | |
| 15 | | | 622.3 | 5.43 | 11.25 | 9 | 115.76 | | |

Ek-5 (devam)**Deniş-Blok No: D-4SD**

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|---|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|--|
| 16 | Gri tabakalanmaya dik ince kalsit dolgulu | Suya doyun | 634.4 | 5.43 | 11.41 | 1 | 91.37 | $m_i=4.01$ $\sigma_{ci}=91.64$ MPa | $c=23.90$ MPa $\emptyset=32.10^\circ$ |
| 17 | | | 635.6 | 5.43 | 11.44 | 3 | 102.16 | | |
| 18 | | | 622.9 | 5.43 | 11.20 | 5 | 110.75 | | |
| 19 | | | 619.5 | 5.43 | 11.20 | 7 | 111.34 | | |
| 20 | | | 622.4 | 5.43 | 11.28 | 9 | 110.42 | | |
| 21 | | | 612.0 | 5.43 | 11.06 | 9 | 121.35 | | |

Deniş-Blok No: D-5SD

| No | Kayaç özelliği | Deney Koşulu | Ağırlık (g) | D (cm) | L (cm) | σ_3 (MPa) | σ_1 (MPa) | Hoek Brown | Mohr Coulomb |
|----|--|--------------|-------------|--------|--------|------------------|------------------|---------------------------------------|--|
| 22 | Gri tabakalanmaya dik kalın kalsit dolgulu | Suya doyun | 598.4 | 5.43 | 11.19 | 1 | 70.87 | $m_i=9.84$ $\sigma_{ci}=64.17$ MPa | $c=12.99$ MPa $\emptyset=42.77^\circ$ |
| 23 | | | 592.4 | 5.43 | 10.75 | 3 | 78.85 | | |
| 24 | | | 619.3 | 5.43 | 11.30 | 5 | 92.32 | | |
| 25 | | | 624.5 | 5.43 | 11.21 | 7 | 95.90 | | |
| 26 | | | 627.4 | 5.43 | 11.28 | 9 | 110.18 | | |

EK-6

G.L.İ. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

| Pano | Blok No | Örnek No | L (mm) | D (mm) | F (N) | σ_{ucs} (MPa) | Ortalama σ_{ucs} (MPa) |
|------|---------|----------|--------|---------|---------|----------------------|-------------------------------|
| BY-H | B-1KL | 1 | 118.9 | 53.9 | 43361.1 | 19.00 | 18.91 |
| | | 2 | 118.8 | 53.9 | 41119.1 | 18.02 | |
| | | 3 | 120.9 | 53.9 | 44981.4 | 19.71 | |
| | B-2KL | 4 | 113.1 | 53.9 | 84829.6 | 37.18 | 34.82 |
| | | 5 | 111.0 | 53.9 | 74049.0 | 32.45 | |
| | B-3KL | 6 | 121.3 | 53.9 | 58668.7 | 25.71 | 27.79 |
| | | 7 | 121.0 | 53.9 | 69616.4 | 30.51 | |
| | | 8 | 122.2 | 53.9 | 61922.3 | 27.14 | |
| | B-4KL | 9 | 112.3 | 53.9 | 43253.9 | 18.96 | 22.53 |
| | | 10 | 112.3 | 53.9 | 60767.1 | 26.63 | |
| | | 11 | 112.1 | 53.9 | 50201.6 | 22.00 | |
| 48C | 48C-1KL | 12 | 120.1 | 53.9 | 72212.1 | 31.65 | 29.89 |
| | | 13 | 123.0 | 53.9 | 77976.7 | 34.17 | |
| | | 14 | 121.7 | 53.9 | 54440.8 | 23.86 | |
| | 48C-2KL | 15 | 111.3 | 53.9 | 82356.7 | 36.09 | 34.99 |
| | | 16 | 112.7 | 53.9 | 79270.4 | 34.74 | |
| | 48C-3KL | 17 | 110.2 | 53.9 | 77901.0 | 34.14 | 26.29 |
| | | 18 | 116.7 | 53.9 | 61137.4 | 26.79 | |
| | | 19 | 116.0 | 53.9 | 60127.4 | 26.35 | |
| | 48C-4KL | 20 | 113.5 | 53.9 | 58674.9 | 25.72 | 17.96 |
| | | 21 | 113.4 | 53.9 | 37876.3 | 16.60 | |
| | | 22 | 113.1 | 53.9 | 43043.7 | 18.86 | |
| | 48C-5KL | 23 | 112.8 | 53.9 | 42025.8 | 18.42 | 20.95 |
| | | 24 | 112.6 | 53.9 | 50657.0 | 22.20 | |
| | | 25 | 114.2 | 53.9 | 48367.8 | 21.20 | |
| | | 26 | 111.8 | 53.9 | 44577.3 | 19.54 | |
| | 48C-6KL | 27 | 111.2 | 53.9 | 47555.0 | 20.84 | 22.96 |
| | | 28 | 112.5 | 53.9 | 51203.7 | 22.44 | |
| | | 29 | 117.2 | 53.9 | 52535.4 | 23.02 | |
| | 48C-7KL | 30 | 113.3 | 53.9 | 53430.1 | 23.42 | 34.16 |
| | | 31 | 113.0 | 53.9 | 80924.7 | 35.47 | |
| | | 32 | 113.2 | 53.9 | 76027.6 | 33.32 | |
| | 48C-8KL | 33 | 112.8 | 53.9 | 76911.8 | 33.71 | 25.88 |
| | | 34 | 111.4 | 53.9 | 74163.7 | 32.50 | |
| | | 35 | 114.5 | 53.9 | 56278.1 | 24.66 | |
| 36 | | 110.2 | 53.9 | 46732.1 | 20.48 | | |

Ek-6 (devam)

G.L.İ. Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları

| Pano | Blok No | Örnek No | L (mm) | D (mm) | F (N) | σ_{ucs} (MPa) | Ortalama σ_{ucs} (MPa) |
|------|---------|----------|--------|--------|---------|----------------------|-------------------------------|
| 48 | 48-1KL | 37 | 113.0 | 53.9 | 89093.2 | 39.05 | 37.63 |
| | | 38 | 113.3 | 53.9 | 83467.1 | 36.58 | |
| | | 39 | 112.3 | 53.9 | 84989.6 | 37.25 | |
| | 48-2KL | 40 | 120.9 | 53.9 | 78182.4 | 34.26 | 33.91 |
| | | 41 | 120.7 | 53.9 | 76543.4 | 33.55 | |
| | 48-3KL | 42 | 112.9 | 53.9 | 54584.6 | 23.92 | 24.51 |
| | | 43 | 110.5 | 53.9 | 62007.7 | 27.18 | |
| | | 44 | 120.7 | 53.9 | 54977.6 | 24.10 | |
| | | 45 | 120.6 | 53.9 | 55729.1 | 24.42 | |
| | | 46 | 109.3 | 53.9 | 52279.9 | 22.91 | |
| | 48-4KL | 47 | 114.1 | 53.9 | 38448.5 | 16.85 | 16.89 |
| | | 48 | 116.8 | 53.9 | 39593.0 | 17.35 | |
| | | 49 | 115.4 | 53.9 | 36541.0 | 16.01 | |
| | | 50 | 111.2 | 53.9 | 39587.2 | 17.35 | |

Ek-6 (devam)**E.L.İ. Soma bölgesi marn kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları**

| Bölge | Blok No | Örnek No | L (mm) | D (mm) | F (N) | σ_{ucs} (MPa) | Ortalama σ_{ucs} (MPa) |
|-------------------|---------|----------|--------|--------|----------|----------------------|-------------------------------|
| Eynez | E-1SD | 1 | 108.9 | 54.3 | 229490.0 | 99.10 | 99.86 |
| | | 2 | 110.2 | 54.3 | 232991.7 | 100.61 | |
| | E-2SD | 3 | 111.7 | 54.3 | 222338.0 | 96.01 | 97.27 |
| | | 4 | 113.8 | 54.3 | 222898.8 | 96.25 | |
| | | 5 | 112.2 | 54.3 | 230523.6 | 99.55 | |
| | E-3SD | 6 | 112.9 | 54.3 | 104259.6 | 45.02 | 49.56 |
| | | 7 | 114.5 | 54.3 | 148221.2 | 64.01 | |
| | | 8 | 106.6 | 54.3 | 91860.4 | 39.67 | |
| | E-4SD | 9 | 111.5 | 54.3 | 148585.1 | 64.16 | 64.11 |
| | | 10 | 118.7 | 54.3 | 148333.1 | 64.06 | |
| | E-5SD | 11 | 110.1 | 54.3 | 187788.3 | 81.09 | 81.50 |
| | | 12 | 109.7 | 54.3 | 189683.6 | 81.92 | |
| Güney Kısırakdere | K-1SD | 13 | 112.9 | 54.3 | 196786.0 | 84.98 | 85.22 |
| | | 14 | 113.6 | 54.3 | 181614.6 | 78.43 | |
| | | 15 | 115.6 | 54.3 | 213637.1 | 92.26 | |
| | K-2SD | 16 | 122.1 | 54.3 | 183046.3 | 79.05 | 81.94 |
| | | 17 | 124.5 | 54.3 | 195855.1 | 84.58 | |
| | | 18 | 121.2 | 54.3 | 190341.0 | 82.20 | |
| Işıklar | I-1SD | 19 | 112.4 | 54.3 | 190630.1 | 82.32 | 78.87 |
| | | 20 | 111.6 | 54.3 | 174648.8 | 75.42 | |
| | I-2SD | 21 | 112.7 | 54.3 | 103115.1 | 44.53 | 60.19 |
| | | 22 | 113.1 | 54.3 | 154271.3 | 66.62 | |
| | | 23 | 110.7 | 54.3 | 160785.3 | 69.43 | |
| Deniş | D-1SD | 24 | 112.6 | 54.3 | 236165.4 | 101.98 | 102.99 |
| | | 25 | 110.1 | 54.3 | 240801.1 | 103.99 | |
| | D-2SD | 26 | 113.5 | 54.3 | 225184.3 | 97.24 | 98.17 |
| | | 27 | 116.8 | 54.3 | 227271.4 | 98.14 | |
| | | 28 | 115.6 | 54.3 | 229588.7 | 99.14 | |
| | D-3SD | 29 | 113.6 | 54.3 | 179360.4 | 77.45 | 77.54 |
| | | 30 | 111.2 | 54.3 | 179773.4 | 77.63 | |
| | D-4SD | 31 | 113.6 | 54.3 | 157536.0 | 68.03 | 68.01 |
| | | 32 | 118.5 | 54.3 | 157419.2 | 67.98 | |
| D-5SD | - | - | - | - | - | - | |

EK-7

G.L.İ. Tunçbilek bölgesi Brazilian çekme dayanımı deney sonuçları

| Pano | Blok No | Örnek No | t (mm) | D (mm) | F (N) | σ_t (MPa) | Ortalama σ_t (MPa) |
|------|---------|----------|--------|--------|-------|------------------|---------------------------|
| BY-H | B-1KL | 1 | 27.8 | 54.0 | 2860 | 1.22 | 0.92 |
| | | 2 | 27.6 | 54.0 | 1140 | 0.49 | |
| | | 3 | 27.9 | 54.0 | 2480 | 1.05 | |
| | | 4 | 27.0 | 54.0 | 2860 | 1.25 | |
| | | 5 | 26.5 | 54.0 | 1330 | 0.59 | |
| | B-2KL | 1 | 26.3 | 54.0 | 5150 | 2.31 | 2.43 |
| | | 2 | 26.9 | 54.0 | 7440 | 3.26 | |
| | | 3 | 27.5 | 54.0 | 3810 | 1.63 | |
| | | 4 | 27.0 | 54.0 | 5560 | 2.42 | |
| | | 5 | 27.2 | 54.0 | 5940 | 2.57 | |
| | B-3KL | 1 | 28.5 | 54.0 | 4500 | 1.86 | 2.27 |
| | | 2 | 27.0 | 54.0 | 8970 | 3.91 | |
| | | 3 | 26.4 | 54.0 | 2670 | 1.19 | |
| | | 4 | 26.5 | 54.0 | 4770 | 2.12 | |
| | | 5 | 26.8 | 54.0 | 5140 | 2.26 | |
| | B-4KL | 1 | 27.8 | 54.0 | 2480 | 1.05 | 1.26 |
| | | 2 | 26.0 | 54.0 | 2670 | 1.21 | |
| | | 3 | 26.9 | 54.0 | 2700 | 1.18 | |
| | | 4 | 27.2 | 54.0 | 4150 | 1.80 | |
| | | 5 | 27.5 | 54.0 | 2490 | 1.07 | |
| 48C | 48C-1KL | 1 | 26.9 | 54.0 | 5750 | 2.52 | 2.15 |
| | | 2 | 27.5 | 54.0 | 4580 | 1.96 | |
| | | 3 | 27.5 | 54.0 | 4960 | 2.12 | |
| | | 4 | 26.8 | 54.0 | 5050 | 2.22 | |
| | | 5 | 27.0 | 54.0 | 4400 | 1.92 | |
| | 48C-2KL | 1 | 26.5 | 54.0 | 7440 | 3.31 | 2.45 |
| | | 2 | 27.8 | 54.0 | 4580 | 1.94 | |
| | | 3 | 26.8 | 54.0 | 4390 | 1.93 | |
| | | 4 | 26.4 | 54.0 | 5745 | 2.56 | |
| | | 5 | 27.1 | 54.0 | 5800 | 2.52 | |
| | 48C-3KL | 1 | 27.7 | 54.0 | 3240 | 1.38 | 1.52 |
| | | 2 | 27.1 | 54.0 | 3430 | 1.49 | |
| | | 3 | 27.3 | 54.0 | 4000 | 1.73 | |
| | | 4 | 26.9 | 54.0 | 2670 | 1.17 | |
| | | 5 | 27.5 | 54.0 | 4230 | 1.81 | |
| | 48C-4KL | 1 | 26.2 | 54.0 | 2670 | 1.20 | 1.20 |
| | | 2 | 27.4 | 54.0 | 2250 | 0.97 | |
| | | 3 | 28.8 | 54.0 | 4200 | 1.72 | |
| | | 4 | 27.4 | 54.0 | 2670 | 1.15 | |
| | | 5 | 25.5 | 54.0 | 2105 | 0.97 | |

Ek-7 (devam)**G.L.İ. Tunçbilek bölgesi Brazilian çekme dayanımı deney sonuçları**

| Pano | Blok No | Örnek No | t (mm) | D (mm) | F (N) | σ_t (MPa) | Ortalama σ_t (MPa) |
|------|---------|----------|--------|--------|-------|------------------|---------------------------|
| 48C | 48C-5KL | 1 | 27.9 | 54.0 | 2670 | 1.13 | 0.97 |
| | | 2 | 27.7 | 54.0 | 2480 | 1.05 | |
| | | 3 | 27.0 | 54.0 | 1710 | 0.75 | |
| | | 4 | 27.3 | 54.0 | 1560 | 0.67 | |
| | | 5 | 27.4 | 54.0 | 2880 | 1.24 | |
| | 48C-6KL | 1 | 26.9 | 54.0 | 4390 | 1.92 | 1.72 |
| | | 2 | 27.5 | 54.0 | 4000 | 1.71 | |
| | | 3 | 27.7 | 54.0 | 3520 | 1.50 | |
| | | 4 | 27.6 | 54.0 | 4130 | 1.76 | |
| | | 5 | 26.8 | 54.0 | 3970 | 1.74 | |
| | 48C-7KL | 1 | 26.9 | 54.0 | 5340 | 2.34 | 3.03 |
| | | 2 | 26.6 | 54.0 | 9730 | 4.31 | |
| | | 3 | 27.8 | 54.0 | 6870 | 2.91 | |
| | | 4 | 27.9 | 54.0 | 5910 | 2.49 | |
| | | 5 | 27.0 | 54.0 | 7050 | 3.08 | |
| | 48C-8KL | 1 | 26.9 | 54.0 | 3430 | 1.50 | 2.33 |
| | | 2 | 26.2 | 54.0 | 6580 | 2.96 | |
| | | 3 | 27.2 | 54.0 | 5340 | 2.31 | |
| | | 4 | 27.5 | 54.0 | 5450 | 2.33 | |
| | | 5 | 26.0 | 54.0 | 5660 | 2.56 | |
| 48 | 48-1KL | 1 | 26.7 | 54.0 | 7630 | 3.37 | 3.76 |
| | | 2 | 26.0 | 54.0 | 8780 | 3.98 | |
| | | 3 | 27.5 | 54.0 | 8780 | 3.76 | |
| | | 4 | 26.8 | 54.0 | 8960 | 3.94 | |
| | | 5 | 26.5 | 54.0 | 8450 | 3.75 | |
| | 48-2KL | 1 | 27.5 | 54.0 | 8020 | 3.43 | 2.97 |
| | | 2 | 27.2 | 54.0 | 5530 | 2.39 | |
| | | 3 | 26.5 | 54.0 | 6710 | 2.98 | |
| | | 4 | 27.5 | 54.0 | 6910 | 2.96 | |
| | | 5 | 27.0 | 54.0 | 7050 | 3.07 | |
| | 48-3KL | 1 | 28.1 | 54.0 | 2860 | 1.20 | 1.39 |
| | | 2 | 28.9 | 54.0 | 2480 | 1.01 | |
| | | 3 | 28.1 | 54.0 | 3240 | 1.36 | |
| | | 4 | 28.0 | 54.0 | 3050 | 1.28 | |
| | | 5 | 28.9 | 54.0 | 5150 | 2.10 | |
| | 48-4KL | 1 | 27.1 | 54.0 | 2570 | 1.12 | 1.10 |
| | | 2 | 27.0 | 54.0 | 2600 | 1.13 | |
| | | 3 | 26.6 | 54.0 | 3150 | 1.39 | |
| | | 4 | 26.9 | 54.0 | 2250 | 0.99 | |
| | | 5 | 27.5 | 54.0 | 2050 | 0.88 | |

Ek-7 (devam)
E.L.İ. Soma bölgesi Brazilian çekme dayanımı deney sonuçları

| Pano | Blok No | Örnek No | t (mm) | D (mm) | F (N) | σ_t (MPa) | Ortalama σ_t (MPa) |
|-------------------|---------|----------|--------|--------|-------|------------------|---------------------------|
| Eynez | E-1SD | 1 | 26.8 | 54.3 | 21360 | 9.34 | 7.29 |
| | | 2 | 26.8 | 54.3 | 16260 | 7.11 | |
| | | 3 | 26.7 | 54.3 | 11210 | 4.92 | |
| | | 4 | 27.1 | 54.3 | 17180 | 7.43 | |
| | | 5 | 26.8 | 54.3 | 17370 | 7.59 | |
| | E-2SD | 1 | 27.5 | 54.3 | 13170 | 5.61 | 6.65 |
| | | 2 | 27.6 | 54.3 | 18320 | 7.77 | |
| | | 3 | 27.4 | 54.3 | 15840 | 6.77 | |
| | | 4 | 27.8 | 54.3 | 15190 | 6.40 | |
| | | 5 | 26.5 | 54.3 | 15190 | 6.71 | |
| | E-3SD | 1 | 27.7 | 54.3 | 6870 | 2.90 | 2.17 |
| | | 2 | 27.7 | 54.3 | 7680 | 3.25 | |
| | | 3 | 27.5 | 54.3 | 3050 | 1.30 | |
| | | 4 | 28.0 | 54.3 | 2850 | 1.19 | |
| | | 5 | 27.2 | 54.3 | 5130 | 2.21 | |
| | E-4SD | 1 | 27.1 | 54.3 | 11080 | 4.79 | 4.11 |
| | | 2 | 27.0 | 54.3 | 7750 | 3.36 | |
| | | 3 | 27.9 | 54.3 | 10700 | 4.49 | |
| | | 4 | 27.3 | 54.3 | 9680 | 4.15 | |
| | | 5 | 27.0 | 54.3 | 8670 | 3.76 | |
| E-5SD | 1 | 26.2 | 54.3 | 11450 | 5.12 | 4.99 | |
| | 2 | 27.4 | 54.3 | 12020 | 5.14 | | |
| | 3 | 26.6 | 54.3 | 9690 | 4.27 | | |
| | 4 | 26.9 | 54.3 | 11260 | 4.90 | | |
| | 5 | 27.3 | 54.3 | 12880 | 5.53 | | |
| Güney Kısırakdere | K-1SD | 1 | 26.8 | 54.3 | 8970 | 3.92 | 3.57 |
| | | 2 | 27.1 | 54.3 | 5530 | 2.39 | |
| | | 3 | 26.8 | 54.3 | 9920 | 4.34 | |
| | | 4 | 27.1 | 54.3 | 8670 | 3.75 | |
| | | 5 | 27.5 | 54.3 | 8160 | 3.48 | |
| | K-2SD | 1 | 27.4 | 54.3 | 9920 | 4.24 | 4.61 |
| | | 2 | 26.8 | 54.3 | 10300 | 4.50 | |
| | | 3 | 26.8 | 54.3 | 12100 | 5.29 | |
| | | 4 | 26.9 | 54.3 | 10580 | 4.61 | |
| | | 5 | 27.2 | 54.3 | 10270 | 4.42 | |
| Işıklar | I-1SD | 1 | 27.5 | 54.3 | 6870 | 2.93 | 3.21 |
| | | 2 | 27.9 | 54.3 | 8070 | 3.39 | |
| | | 3 | 27.4 | 54.3 | 7650 | 3.27 | |
| | | 4 | 27.5 | 54.3 | 7970 | 3.39 | |
| | | 5 | 27.0 | 54.3 | 7040 | 3.05 | |
| | I-2SD | 1 | 27.1 | 54.3 | 6680 | 2.89 | 3.32 |
| | | 2 | 28.0 | 54.3 | 6290 | 2.63 | |
| | | 3 | 26.7 | 54.3 | 9390 | 4.12 | |
| | | 4 | 27.3 | 54.3 | 7670 | 3.29 | |
| | | 5 | 26.9 | 54.3 | 8450 | 3.68 | |

Ek-7 (devam)**E.L.İ. Soma bölgesi Brazilian çekme dayanımı deney sonuçları**

| Pano | Blok No | Örnek No | t (mm) | D (mm) | F (N) | σ_t (MPa) | Ortalama σ_t (MPa) |
|-------|---------|----------|--------|--------|-------|------------------|---------------------------|
| Deniş | D-1SD | 1 | 26.8 | 54.3 | 12400 | 5.42 | 5.90 |
| | | 2 | 27.3 | 54.3 | 12590 | 5.40 | |
| | | 3 | 27.2 | 54.3 | 16790 | 7.23 | |
| | | 4 | 26.9 | 54.3 | 14170 | 6.17 | |
| | | 5 | 27.4 | 54.3 | 12370 | 5.29 | |
| | D-2SD | 1 | 27.9 | 54.3 | 15370 | 6.45 | 5.59 |
| | | 2 | 27.7 | 54.3 | 9530 | 4.03 | |
| | | 3 | 27.5 | 54.3 | 11660 | 4.96 | |
| | | 4 | 27.1 | 54.3 | 14620 | 6.32 | |
| | | 5 | 27.4 | 54.3 | 14530 | 6.21 | |
| | D-3SD | 1 | 27.5 | 54.3 | 13170 | 5,61 | 4.96 |
| | | 2 | 27.4 | 54.3 | 12750 | 5,45 | |
| | | 3 | 27.0 | 54.3 | 11050 | 4,79 | |
| | | 4 | 27.3 | 54.3 | 10780 | 4,63 | |
| | | 5 | 26.8 | 54.3 | 9880 | 4,32 | |
| | D-4SD | 1 | 27.2 | 54.3 | 4960 | 2.14 | 3.24 |
| | | 2 | 27.9 | 54.3 | 9920 | 4.16 | |
| | | 3 | 27.4 | 54.3 | 8200 | 3.51 | |
| | | 4 | 27.4 | 54.3 | 7490 | 3.20 | |
| | | 5 | 27.1 | 54.3 | 7430 | 3.21 | |
| | D-5SD | 1 | 27.1 | 54.3 | 16040 | 6.93 | 6.19 |
| | | 2 | 27.0 | 54.3 | 12920 | 5.60 | |
| | | 3 | 27.3 | 54.3 | 14270 | 6.12 | |
| | | 4 | 27.1 | 54.3 | 14050 | 6.07 | |
| | | 5 | 27.1 | 54.3 | 14360 | 6.21 | |

EK-8

Tunçbilek bölgesi marn kaya malzemesine ait örneklerin CaCO₃ değerleri

| Blok No | I. deney | II. deney | III. deney | Ortalama CaCO ₃ (%) |
|----------------|----------|-----------|------------|--------------------------------|
| B-1KL | 30.8 | 38.7 | 36.1 | 35.2 |
| B-2KL | 26.8 | 32.3 | 32.7 | 30.6 |
| B-3KL | 17.6 | 24.5 | 22.9 | 21.7 |
| B-4KL | 19.6 | 22.3 | 18.9 | 20.3 |
| 48C-1KL | 19.0 | 24.4 | 23.3 | 22.2 |
| 48C-2KL | 30.3 | 25.8 | 25.8 | 27.3 |
| 48C-3KL | 24.3 | 22.5 | 23.2 | 23.3 |
| 48C-4KL | 16.4 | 16.0 | 14.7 | 15.7 |
| 48C-5KL | 17.6 | 18.2 | 17.5 | 17.8 |
| 48C-6KL | 20.0 | 16.7 | 17.7 | 18.1 |
| 48C-7KL | 29.6 | 30.8 | 31.2 | 30.5 |
| 48C-8KL | 21.8 | 23.2 | 22.7 | 22.6 |
| 48-1KL | 37.1 | 35.7 | 35.5 | 36.1 |
| 48-2KL | 46.0 | 34.4 | 35.3 | 38.5 |
| 48-3KL | 43.2 | 42.6 | 42.5 | 42.7 |
| 48-4KL | 49.3 | 49.9 | 49.7 | 49.6 |
| 48-5SD | 33.7 | 34.9 | 34.0 | 34.2 |
| Ortalama | | | | 28.6 |
| Standart sapma | | | | 9.7 |

Soma bölgesi marn kaya malzemesine ait örneklerin CaCO₃ değerleri

| Blok No | I. deney | II. deney | III. deney | Ortalama CaCO ₃ (%) |
|----------------|----------|-----------|------------|--------------------------------|
| E-1SD | 63.4 | 79.2 | 73.4 | 72.0 |
| E-2SD | 63.3 | 75.1 | 76.6 | 71.7 |
| E-3SD | 57.7 | 51.6 | 55.3 | 54.9 |
| E-4SD | 62.1 | 61.7 | 59.3 | 61.0 |
| E-5SD | 59.4 | 61.9 | 62.0 | 61.1 |
| K-1SD | 61.7 | 59.3 | 63.8 | 61.6 |
| K-2SD | 62.1 | 71.2 | 66.7 | 66.7 |
| I-1SD | 61.8 | 62.5 | 62.4 | 62.2 |
| I-2SD | 60.3 | 59.7 | 60.7 | 60.2 |
| D-1SD | 66.1 | 63.5 | 63.5 | 64.4 |
| D-2SD | 64.3 | 62.8 | 65.8 | 64.3 |
| D-3SD | 61.8 | 62.1 | 59.5 | 61.1 |
| D-4SD | 61.2 | 58.6 | 61.0 | 60.3 |
| D-5SD | 66.7 | 60.9 | 60.7 | 62.8 |
| Ortalama | | | | 63.2 |
| Standart sapma | | | | 4.5 |

EK-9

Kaya kütlelerinin jeomekanik sınıflandırması (Bieniawski, 1989)

A. SINIFLAMA PARAMETRELERİ VE PUANLARI

| | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|--|---|-----|----|
| 1 | Sağlam kaya dayanımı | Nokta yükü dayan. indeksi (MPa) | >10 | 4-10 | 2-4 | 1-2 | Tek eks. basınç day. kullanılması önerilir | | |
| | | Tek eksenli basınç dayanımı (MPa) | >250 | 100-250 | 50-100 | 25-50 | 5-25 | 1-5 | <1 |
| | Puan | 15 | 12 | 7 | 4 | 2 | 1 | 0 | |
| 2 | Kaya kalite göstergesi, RQD (%) | | 90 - 100 | 75 - 90 | 50 - 75 | 25 - 50 | < 25 | | |
| | Puan | | 20 | 17 | 13 | 8 | 3 | | |
| 3 | Süreksizlik aralığı | | > 2 m | 0.6-2 m | 200-600 mm | 60-200 mm | < 60 mm | | |
| | Puan | | 20 | 15 | 10 | 8 | 5 | | |
| 4 | Süreksizliklerin durumu | | Çok kaba yüzeyler Sürekli değil Ayrılma yok Sert eklem yüzeyleri | Az kaba yüzeyler Ayrılma <1 mm Sert eklem yüzeyleri | Az kaba yüzeyler Ayrılma <1 mm Yumuşak eklem yüzeyleri | Sürtünme izli yüzler veya fay dolgusu <5mm veya 1-5mm açık eklem, sürekli eklem | Yumuşak fay dolgusu >5mm kalınlıkta veya açık eklem >5mm devamlı süreksizlikler | | |
| | Puan | | 30 | 25 | 20 | 10 | 0 | | |
| 5 | Yeraltı suyu | Tünelin 10 m lik kısmından gelen su | veya Yok | <10 litre/dak | 10-25 litre/dak | 25-125 litre/dak | veya >125 litre/dak | | |
| | | Eklemdeki su basıncı | veya 0 | veya 0.0-0.1 | veya 0.1-0.2 | veya 0.2-0.5 | veya >0.5 | | |
| | | En büyük asal gerilme | veya Tamamen kuru | veya Nemli | veya Islak | veya Damlama | veya Su akışı | | |
| | | Genel koşullar | veya 15 | veya 10 | veya 7 | veya 4 | veya 0 | | |

B. TÜNELDE SÜREKSİZLİK EĞİM VE DOĞRULTUSUNUN ETKİSİ

| Doğrultu tünel eksenine dik | | | | Doğrultu Tünel eksenine paralel | | Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0°-20° |
|-----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| Eğim yönünde ilerleme | | Eğime karşı yönde ilerleme | | Eğim 45°-90° | Eğim 20°-45° | |
| Eğim 45°-90° | Eğim 20°-45° | Eğim 45°-90° | Eğim 20°-45° | Hiç uygun değil | Orta | |
| Çok iyi | Uygun | Orta | Uygun değil | Hiç uygun değil | Orta | Orta |

C. SÜREKSİZLİK YÖNELİMİNE GÖRE DÜZELTME

| Süreksizliklerin doğrultu ve eğimi | Çok uygun | Uygun | Orta | Uygun değil | Hiç uygun değil | |
|------------------------------------|-----------|-------|------|-------------|-----------------|-----|
| Puan | Tüneller | 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |
| | Temeller | 0 | -2 | -7 | -10 | -25 |
| | Şevler | 0 | -5 | -25 | -50 | -60 |

D. KAYA SINIFLAMALARI VE PUANLARI

| Sınıf No. | I | II | III | IV | V |
|-----------|--------------|----------|-----------|------------|----------------|
| Tanımlama | Çok iyi kaya | İyi kaya | Orta kaya | Zayıf kaya | Çok zayıf kaya |
| Puan | 100-81 | 80-61 | 60-41 | 40-21 | <20 |

E. KAYA SINIFLARININ BAZI ÖZELLİKLERİ

| Sınıf No | I | II | III | IV | V |
|--|----------------------|---------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| Ortalama tahkimatsız dayanma süresi | 15m açıklıkta 20 yıl | 10m açıklıkta 1 yıl | 5m açıklıkta 1 hafta | 2.5m açıklıkta 10 saat | 1m açıklıkta 30 dak. |
| Kaya kütlelerinin kohezyonu (kPa) | >400 | 300-400 | 200-300 | 100-200 | <100 |
| Kaya kütlelerinin içsel sürtünme açısı | >45° | 35°-45° | 25°-35° | 15°-25° | <15° |