

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİMAKİ FORMASYONU SİLT TAŞLARININ (ELAZIĞ) KAYA KÜTLE
DEFORMASYON ÖZELLİKLERİ**

DOKTORA TEZİ

**Yük. Müh. Selçuk ALEMDAĞ
(04116203)**

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Uygulamalı Jeoloji

HAZİRAN-2010

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİMAKİ FORMASYONU SİLT TAŞLARININ (ELAZIĞ) KAYA KÜTLE
DEFORMASYON ÖZELLİKLERİ

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Selçuk ALEMDAĞ

(04116203)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 MAYIS 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 23 HAZİRAN 2010

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zülfü GÜROCAK (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Recep KILIÇ (A.Ü)

Prof. Dr. Fikri BULUT (K.T.Ü)

Prof. Dr. Ercan AKSOY (F.Ü)

Doç. Dr. Muhammet E. EMİROĞLU (F.Ü)

HAZİRAN-2010

ÖNSÖZ

“Simaki Formasyonu Silttaşlarının (Elazığ) Kaya Kütle Deformasyon Özellikleri” başlıklı bu çalışma Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji bilim dalında 2004-2010 yılları arasında doktora tez çalışması olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında önerileri ve katkıları ile beni yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Zülfü GÜROCAK’a, arazi çalışmaları süresince desteklerini gördüğüm Jeoloji Mühendisi Ahmet BARUT ve Jeoloji Mühendisi Resul EMÜL ile Jeoloji Mühendisliği 3. sınıf öğrencisi Haluk GEDİK’e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarında bilimsel katkı ve önerilerinden dolayı, jüri üyelerine içtenlikle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarında yararlandığım Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı’nın kurulmasını destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörü Sayın Prof. Dr. A. Feyzi BİNGÖL’e, çalışmayı 1862 nolu proje ile destekleyip, arazi çalışmasının gerçekleşmesine katkılarından dolayı Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tüm çalışanlarına ve ince kesitlerin hazırlanması sırasındaki yardımlarından dolayı Jeoloji Mühendisliği teknisyeni Fuat İSTEK’e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması sırasında hep yanımda olup, manevi desteğini esirgemeyen annem, eşim ve kızım’a şükranlarımı sunarım.

Selçuk ALEMDAĞ

ELAZIĞ-2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
ÇİZELGELER LİSTESİ	XIII
SEMBOLLER LİSTESİ	XV
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XVI
EKLER LİSTESİ.....	XVII
1 GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.1.1 Bölgenin Tanıtımı	2
2 ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3 İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ	9
3.1 Stratigrafi	11
3.1.1 Simaki Formasyonu (KThs, Maastrichtiyen-Üst Paleosen).....	12
3.1.1.1 Tanım	12
3.1.1.2 Dağılım ve Konum	13
3.1.1.3 Litoloji	13
3.1.2 Maden Karmaşığı (Tm, Orta Eosen).....	16
3.2 Tektonik	19
3.2.1 Kırıklı Yapılar	20
3.2.1.1 Doğu Anadolu Fay Zonu.....	20
3.2.1.2 Bindirme Fayları	21
3.2.1.3 Eklemler	23
3.2.1.4 Tabakalanma	23
4 MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ	25
4.1 Süreksizlikler	25
4.1.1 Süreksizlik Yönelimi ve Süreksizlik Takımı.....	26

4.1.2	Süreksizlik Ara Uzaklığı.....	28
4.1.3	Süreksizlik Açıklığı	29
4.1.4	Süreksizliklerin Devamlılığı	30
4.1.5	Süreksizlik Pürüzlülüğü	31
4.1.6	Dolgu Malzemesinin Özelliği	33
4.1.7	Süreksizlik Yüzeyinin Bozunma Derecesi	34
4.1.8	Süreksizlik Yüzeyindeki Su Durumu	35
4.2	Jeoteknik Amaçlı Sondajlar	36
4.2.1	Toplam Karot Verimi (TKV, %).....	37
4.2.2	Sağlam Karot Verimi (SKV, %).....	38
4.2.3	Kaya Kalite Göstergesi (RQD, %).....	38
4.2.4	Bir Metredeki Süreksizlik Sayısı ve Bozunma Derecesi.....	40
4.3	Presiyometre Deneyi ve Kaya Kütlesinin Deformasyon Modülünün Belirlenmesi.....	40
4.4	Laboratuvar İncelemeleri.....	49
4.4.1	Örnek Hazırlama	50
4.4.2	Mekanik Özellikler	50
4.4.2.1	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı	50
4.4.2.2	Üç Eksenli Gerilme ve m_i Sabiti	54
4.4.2.3	Nokta Yüğü Dayanım İndeksi	57
4.4.3	Elastik Özellikler	58
4.4.3.1	Statik Elastisite (Young) Modülü ve Poisson Oranı	58
4.5	Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri	60
4.5.1	Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR).....	61
4.5.2	Kaya Kütle İndeksi (RMi) Sınıflama Sistemi.....	64
4.5.3	Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI).....	66
5	İSTATİSTİKSEL ANALİZLER.....	71
5.1	t Testi	71
5.2	Korelasyon Analizi.....	72
5.3	Basit Regresyon Analizleri ve Korelasyon Katsayısı Testi.....	73
5.3.1	E_m ile RMR Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi.....	74

5.3.2	E_m ile R_{Mi} Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi.....	75
5.3.3	E_m ile GSI Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi.....	76
5.3.4	E_m ile RQD Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi.....	77
5.3.5	E_m/E_i ile RMR Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi.....	78
5.3.6	E_m/E_i ile R_{Mi} Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi.....	79
5.3.7	E_m/E_i ile GSI Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi.....	80
5.3.8	E_m/E_i ile RQD Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi.....	81
5.4	Eşitliklerin Performanslarının Değerlendirilmesi.....	82
5.5	Eşitliklerin Önceki Çalışmalarla Karşılaştırılması.....	86
5.6	Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu Arasındaki Açının Deformasyon Modülü (E_m) Üzerindeki Etkisi.....	94
6.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	97
	KAYNAKLAR.....	102
	EKLER.....	118
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Elazığ'ın Doğusu'ndaki Maastrichtiyen-Üst Paleosen yaşlı Simaki Formasyonu'na ait silttaşlarının kaya kütle deformasyon özelliklerinin belirlenmesi, silttaşlarının kaya kütle özellikleri ile kaya kütle deformasyon özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi, arazide yapılacak yerinde deneylere gerek duyulmadan kaya kütlelerinin deformasyon modülünün belirlenebileceği görgül eşitlikler önerilmesi ve iyi tabakalanma sunan kaya kütlelerinde tabakalanma yöneliminin kaya kütlelerinin deformasyon modülü üzerinde herhangi bir etkiye sahip olup olmadığının belirlenmesidir.

Silttaşı kaya kütlesi, üç eklem ve bir tabaka olmak üzere 4 adet süreksizlik takımından oluşmaktadır. Bu eklem takımlarının eğimi ve eğim yönü 40/164, 77/211, 55/286 dır. Tabakanın eğim ve eğim yönü 33/135 dir. Silttaşı kaya kütlelerinin süreksizlik aralığı yakın-orta derecede aralıklı, süreksizlik açıklığı orta derecede geniş-açıklıklı, süreksizlik devamlılığı orta-çok yüksek devamlılıklı, bozunma derecesi az bozunmuş, pürüzlülüğü düzlemsel pürüzlü, dolgu özelliği kalsit dolguludur ve tabaka yüzeylerinde su gözlenmemektedir.

Çalışma alanında belirlenen 12 farklı sondaj lokasyonunda toplam 50 m uzunluğunda ve 0° ile 90° arasında 10 ar derece aralıklarla değişen jeoteknik amaçlı açılı sondajlar yaptırılmıştır. Açılan sondaj kuyusunun her metresinde kaya kütle deformasyon modülünü yerinde belirlemek amacıyla presiyometre deneyleri yapılmıştır. Ayrıca jeoteknik amaçlı sondajlardan alınan karot örnekleri üzerinde çalışmanın amacına uygun olarak jeomekanik deneyler yapılmıştır.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre, silttaşının mekanik ve elastik özelliklerinin 0° ile 90° arasında 10 ar derecelik açılarla anizotropik değişimi incelenmiştir. Silttaşı kaya kütlelerinin deformasyon modülü presiyometre deneyi ile belirlenmiş olup, 0.32 GPa ile 10.49 GPa arasında değer almaktadır.

Silttaşı kaya kütle deformasyon modülünü dolaylı olarak belirleyebilmek amacıyla silttaşı kaya kütlelerinde yapılan RMR, R_{Mi}, GSI ve RQD sınıflamalarının değişim aralıkları sırasıyla 41.3 ile 62.2 arasında, 0.21 ile 3.75 arasında ve 40 ile 54 arasında değişmektedir.

Bu değişkenler ile kaya kütle deformasyon modülü arasındaki ilişkiler basit regresyon analizleri ile incelenmiş ve anlamlı görgül ilişkiler önerilmiştir. Bu eşitlikler; E_m ile RMR arasında çok kuvvetli pozitif ilişki ($r = 0.89$), E_m ile R_{Mi} arasında çok

kuvvetli pozitif ilişki ($r= 0.86$), E_m ile GSI arasında kuvvetli pozitif ilişki ($r= 0.76$), E_m ile RQD arasında kuvvetli pozitif ilişki ($r= 0.80$) ve E_m/E_i ile RMR arasında kuvvetli pozitif ilişki ($r= 0.70$), olduğu belirlenmiş ve bu eşitliklerin performans değerlendirmesi RMSE, VAF ve çapraz korelasyon analizleri ile incelenmiş ve iyi bir performans gösterdikleri belirlenmiştir. E_m/E_i ile RM_i arasında kuvvetli pozitif ilişki ($r=0.66$), E_m/E_i ile GSI arasında kuvvetli pozitif ilişki ($r=0.61$) ve E_m/E_i ile RQD arasında kuvvetli pozitif ilişki ($r=0.69$) belirlenmiş, ancak yapılan performans değerlendirmesi sonucunda bu eşitliklerin performansının zayıf olduğu belirlenmiştir.

Kaya kütle deformasyon modülü ile süreksizlik yönelimi arasındaki ilişkiler incelendiğinde $E_m-\beta$ ($r=0.73$) ve $E_m/E_i-\beta$ ($r=0.95$) kuvvetli ve çok kuvvetli bir korelasyonun olduğu belirlenmiştir. E_m ve E_m/E_i değerlerinin β açısının 0° ve 90° olduğu durumlarda en yüksek değerlere ulaştığı, 45° ile 55° arasında ise en düşük değerler aldığı gözlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Deformasyon Modülü, GSI, Presiyometre, RM_i , RMR, RQD, Silttaşı, Tabaka düzlemi.

SUMMARY

Properties of Rock Mass Deformation of Siltstone in The Simaki Formation (Elazig)

The aim of this study is to determine the rock mass deformation properties of the Maestrichtian-Late Paleocene aged siltstones of Simaki Formation, rock mass characteristics of siltstones along with to investigation relationships between rock mass deformation features and rock mass attributes of siltstones. Beside these, without performing in-situ field experiment to purpose empirical equations with which one able to determine rock mass deformation modulus and to designate whether layering orientation well-bedded rock mass has any effect on rock mass deformation modulus.

The Siltstone rock mass consists of four discontinuity teams which are including three joints and a bedding. The slope and slope direction of these joint teams are 40/164, 77/211, 55/286. The slope and slope direction of the bedding are 33/135. Discontinuity spacing, discontinuous aperture, the discontinuous continuity, weathering degree, roughness, infilling of the Siltstone rock mass are close-medium spacing, moderate wide-open feature, medium-high persistence, slightly weathered, planar rough, calcite-filled, respectively and water on the layer of surface is not observed.

A total of 50m geotechnical inclined drillings has been made on between 0 - 90 degree angles varying of 10 degree intervals at 12 different locations designated on study area. Pressuremeters experiment have performed with the aim of the determine rock mass deformation modulus in-situ at every meters of drilled-wells in addition geomechanical testings have made, in accordance with, objective of study, testing have made on core samples chosen from geotechnical drillings.

According to the results obtain from field and laboratory works, of the siltstones mechanical and elastic properties investigated anisotropic exchange on between 0 - 90 degree angles varying of 10 degree intervals. Siltstone rock mass deformation modulus, pressuremeter get is determined by experiment, the value is between 0.32 GPa with a 10.49 GPa.

With the aim of indirectly determining deformation modulus of the Siltstone rock mass, value-ranges of the performed rock mass classification such as RMR, R_{Mi}, GSI and RQD in the Siltstone rock mass are 41.3 to 62.3, R_{Mi} 0.21 to 3.75, GSI 40 to 54, RQD 11 to 98, respectively.

The relationships between these parameters and rock mass deformation modulus are studied via simple regression analysis and meaningful empirical correlations are purposed these equations have show that there is very strong positive correlation ($r = 0.89$) between E_m and RMR, a strong positive correlation ($r=0.86$) between E_m and RMI, a strong positive correlation ($r=0.76$) between E_m and GSI and again a strong positive correlation ($r=0.70$) between E_m/E_i and RMR.

The performance assessments of these equations are investigated with RMSE, VAF and cross correlation analyses, a good performance is found. On the other hand, a strong positive correlation ($r=0.66$) between E_m/E_i and RMI, a strong positive correlation ($r=0.69$) between E_m/E_i and GSI and again a strong positive correlation ($r=0.61$) between E_m/E_i and RQD are found but, at the end of performance evaluation it has been determined that the performance of these equations are weak.

When relationships between rock mass deformation modulus and discontinuity orientation are examined, it is found out that correlation between $E_m-\beta$ ($r = 0.73$), $E_m/E_i-\beta$ ($r = 0.95$) are strong and very strong. It is observed that E_m and E_m/E_i values are at maximum when the angle β is between 0° to 90° degrees, in addition to E_m and E_m/E_i values are at minimum when the angle β is between 45° to 55° degrees.

Key Words: Bedding plane, Deformation Modulus, GSI, Pressuremeter, RMI, RMR, RQD, Siltstone.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	İnceleme alanının yer belirleme haritası..... 3
Şekil 3.1	İnceleme alanının tektono-stratigrafik dikme kesiti 12
Şekil 3.2	Simaki Formasyonu'na ait sittaşı ve şeyllerden bir görünüm, bakış yönü G'den K'ye..... 13
Şekil 3.3	Simaki Formasyonu'na ait sittaşı, şeyl ve kumtaşlarından bir görünüm, bakış yönü G'den K'ye..... 14
Şekil 3.4	Simaki Formasyonuna ait kalsit çimentolu silttaşının çift nikoldeki mikroskop görünümü..... 15
Şekil 3.5	Maden Karmaşığında ait kireçtaşları, bakış yönü GB'dan KD'ya..... 17
Şekil 3.6	Maden Karmaşığında ait bazaltlar, bakış yönü GB'dan KD'ya. 17
Şekil 3.7	Maden Karmaşığı'na ait bazaltlardaki mikrolitik porfirik dokunun çift nikoldeki mikroskop görünümü..... 18
Şekil 3.8	Maden Karmaşığındaki biyosparimikritik kireçtaşı'nın tek nikoldeki mikroskop görünümü (T. N.)..... 19
Şekil 3.9	Hazar Grubu ile Maden Karmaşığı arasındaki tektonik dokanak, bakış yönü G'den K'ye..... 22
Şekil 3.10	İnceleme alanında görülen ters fay, bakış yönü GB'dan KD'ya doğru..... 23
Şekil 3.11	Silttaşlarında gelişmiş tabaka ve eklem görünümü. Bakış yönü G'den K'ye doğru..... 24
Şekil 4.1	Silttaşlarında hat etüdü çalışmaları 26
Şekil 4.2	Silttaşlarından alınan süreksizlik yönelimi ölçülerine ait kontur diyagram 27
Şekil 4.3	Silttaşlarındaki süreksizlik ara uzaklığı dağılımı 28
Şekil 4.4	Silttaşlarındaki süreksizlik açıklığının dağılımı..... 30
Şekil 4.5	İnceleme alanındaki silttaşlarında gözlenen eklem devamlılıkları..... 31
Şekil 4.6	İnceleme alanındaki süreksizlik devamlılığının dağılımı..... 31
Şekil 4.7	Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri (ISRM, 2007)..... 33
Şekil 4.8	Silttaşı eklemlerinde gözlenen kalsit dolgu..... 34
Şekil 4.9	Silttaşlarında 40°'lik jeoteknik amaçlı sondajın yapılması..... 36
Şekil 4.10	Silttaşlarındaki sondajlardan alınan karotlardaki ölçümlerin yapılması.... 37
Şekil 4.11	Silttaşlarındaki toplam karot verimi dağılımı..... 37

Şekil 4.12	Silttaşlarının sağlam karot verimi dağılımı	38
Şekil 4.13	Silttaşlarında RQD dağılımı	39
Şekil 4.14	Silttaşlarının 1 m deki süreksizlik sayısı ve bozunma derecesi dağılımı...	40
Şekil 4.15	Presiyometre için açık havada basınç kalibrasyonu deney düzeneği.....	42
Şekil 4.16	Basınç düzeltme verilerinden elde edilen 74 mm lik proba ait hacim-basınç ilişkisi.....	43
Şekil 4.17	Hacim düzeltme deney düzeneği.....	44
Şekil 4.18	Hacim düzeltme verilerinden elde edilen basınç-hacim ilişkisi.....	45
Şekil 4.19	Presiyometre deneyi hacim-basınç ilişkisi.....	46
Şekil 4.20	Arazide Menard GA tipi presiyometre deney aleti ile deneyin yapılışı.....	48
Şekil 4.21	Kaya kütle deformasyon modülü dağılımı.....	48
Şekil 4.22	Karot örneklerinin hazırlanması.....	50
Şekil 4.23	Silttaşlarında yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi.....	51
Şekil 4.24	Silttaşlarının üç eksenli gerilmede kullanılan örnekleri, Hoek hücresi ve yenilen bir karot.....	54
Şekil 4.25	Silttaşlarında yapılan üç eksenli sıkışma deneylerine ait Mohr daireleri.....	55
Şekil 4.26	σ_1 ve σ_3 veri çiftleri kullanılarak çizilen regresyon grafiği.....	56
Şekil 4.27	Silttaşlarında nokta yükü dayanım indeksinin belirlenmesi.....	58
Şekil 4.28	Elastisite modülü deney düzeneği ve karot örneğinin hazırlanması.....	60
Şekil 4.29	RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri (Bieniawski,1989).....	63
Şekil 4.30	Silttaşlarında RMR'nin dağılımı.....	64
Şekil 4.31	Silttaşlarına ait RMi dağılımı.....	66
Şekil 4.32	Sönmez ve Ulusay (1999)'ın önerdiği niceliksel GSI Sınıflama Sistemi Abağı'nın "Sağlam ve Masif" kaya grubu da eklendikten sonraki değiştirilmiş son hali (Sönmez ve Ulusay, 2002).....	69
Şekil 4.33	Silttaşlarının GSI dağılımı.....	70

Şekil 5.1	E_m ile RMR arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	75
Şekil 5.2	E_m ile RM_i arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	76
Şekil 5.3	E_m ile GSI arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	77
Şekil 5.4	E_m ile RQD arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	78
Şekil 5.5	E_m/E_i ile RMR arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	79
Şekil 5.6	E_m/E_i ile RM_i arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	80
Şekil 5.7	E_m/E_i ile GSI arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	81
Şekil 5.8	E_m/E_i ile RQD arasındaki basit regresyon ilişkisi.....	82
Şekil 5.9	Ölçülen ve tahmin edilen deformasyon modülü (E_m) ilişkisi.....	85
Şekil 5.10	Ölçülen ve tahmin edilen E_m/E_i ilişkisi.....	86
Şekil 5.11	Silttaşı kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile RMR ilişkisi ve diğer araştırma sonuçları ile karşılaştırılması.....	88
Şekil 5.12	Silttaşı kaya kütlelerinde E_m/E_i ile RMR arasındaki ilişkiler ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması.....	89
Şekil 5.13	Silttaşı kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile RM_i arasındaki ilişkiler ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması.....	90
Şekil 5.14	Silttaşı kaya kütlelerinde E_m/E_i ile RM_i arasındaki ilişki.....	90
Şekil 5.15	Silttaşı kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile GSI arasındaki ilişkiler ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması.....	92
Şekil 5.16	Silttaşı kaya kütlelerinde E_m/E_i ile GSI arasındaki ilişkiler ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması.....	92
Şekil 5.17	Silttaşı kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile RQD arasındaki ilişki.....	93
Şekil 5.18	Silttaşı kaya kütlelerinin E_m/E_i ile RQD arasındaki ilişki ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması.....	94
Şekil 5.19	E_m - β arasındaki ilişkiler.....	95
Şekil 5.20	E_m/E_i - β arasındaki ilişkiler.....	96

ÇİZELGELER LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1	İnceleme alanındaki silttaşlarına ait süreksizlik yönelimi ölçüleri.....	27
Çizelge 4.2	Silttaşlarının süreksizlik aralığı, devamlılığı, açıklığı, pürüzlülüğü, bozunma derecesi ve tabaka yüzeyi su durumunun tanımı (ISRM, 2007) ve yüzde dağılımları. (Ölçümler silttaşı mostralarında yapılmıştır).....	29
Çizelge 4.3	Süreksizliklerin bozunma derecesinin tanımlanması (ISRM, 2007).....	35
Çizelge 4.4	Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007).....	35
Çizelge 4.5	RQD sınıflaması (Deere, 1964).....	39
Çizelge 4.6	Silttaşlarının sondaj karotlarından elde edilen süreksizlik özellikleri....	39
Çizelge 4.7	Presiyometre deneyinde kullanılan prob tipi ve boyutları.....	41
Çizelge 4.8	Basınç kaybı test sonuçları.....	42
Çizelge 4.9	74 mm lik proba ait hacim düzeltme değerleri.....	44
Çizelge 4.10	Presiyometre deney verilerinden hesaplanan deformasyon modülü (E_m).....	49
Çizelge 4.11	Silttaşlarına ait mekanik ve elastik özelliklerin yükleme doğrultusuna göre değişimi.....	52
Çizelge 4.12	Silttaşına ait üç eksenli gerilme değerleri.....	55
Çizelge 4.13	RMR kaya kütlesi sınıflama sistemin parametlerin puanlama tablosu(Bieniawski, 1989).....	62
Çizelge 4.14	RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski,1989).....	63
Çizelge 4.15	Silttaşlarının RMR, RM_i ve GSI sınıflama sistemlerinin istatistiksel dağılımı.....	64
Çizelge 5.1	Silttaşlarına ait RMR, RM_i , GSI, RQD ve E_m parametrelerinin t testi sonuçları.....	72
Çizelge 5.2	E_m ile RMR, RM_i , GSI ve RQD değerleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları.....	73

Çizelge 5.3	E_m/E_i ile RMR, R M_i , GSI ve RQD değerleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları.....	73
Çizelge 5.4	Silttaşlarına ait E_m ile RMR arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri.....	74
Çizelge 5.5	Silttaşlarına ait E_m ile R M_i arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri.....	75
Çizelge 5.6	Silttaşlarına ait E_m ile GSI arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri.....	76
Çizelge 5.7	Silttaşlarına ait E_m ile RQD arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri.....	77
Çizelge 5.8	Silttaşlarına ait E_m/E_i ile RMR arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri.....	78
Çizelge 5.9	Silttaşlarına ait E_m/E_i ile R M_i arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri.....	79
Çizelge 5.10	Silttaşlarına ait E_m/E_i ile GSI arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri.....	80
Çizelge 5.11	Silttaşlarına ait E_m/E_i ile RQD arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri.....	81
Çizelge 5.12	Deformasyon modülünün dolaylı olarak belirlenmesi için önerilen eşitliklere ait performans indeksleri.....	84
Çizelge 5.13	Farklı yazarlar tarafından önerilen RMR'ye bağlı deformasyon modülü eşitlikleri.....	88
Çizelge 5.14	Farklı yazarlar tarafından önerilen R M_i 'ye bağlı deformasyon modülü eşitlikleri.....	89
Çizelge 5.15	Farklı yazarlar tarafından önerilen GSI, σ_c ve E_i 'ye bağlı deformasyon modülü eşitlikleri.....	91
Çizelge 5.16	Farklı yazarlar tarafından önerilen RQD'ye bağlı deformasyon modülü eşitlikleri	93

SEMBOLLER LİSTESİ

ν	: Poisson oranı
E_m	: Kaya Kütle Deformasyon Modülü
E_i	: Kaya Malzemesinin Elastisite Modülü
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık
γ_d	: Doygun birim hacim ağırlık
G_s	: Özgöl ağırlık
A_a	: Ağırlıkça su emme
A_v	: Hacimce su emme
n	: Porozite
C_p	: P dalga hızı
C_s	: S dalga hızı
N	: Schmidt geri sıçrama değeri
σ_c	: Tek eksenli sıkışma dayanımı
$I_{s(50)}$	: Nokta yükü dayanım indeksi
c	: Kohezyon
ϕ	: İçsel sürtünme açısı

KISALTMALAR LİSTESİ

KThs	: Simaki Formasyonu
Tm	: Maden Karmaşığı
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
RQD	: Kaya Kalite Göstergesi
TKV	: Toplam Karot Verimi
SKV	: Sağlam Karot Verimi
SK	: Sondaj Kuyusu
RMR	: Jeomekanik Kaya Kütlesi Sınıflaması
RMi	: Kaya Kütle İndeksi
GSI	: Jeolojik Dayanım İndeksi
ϵ_a	: Eksenel Birim Deformasyon
ϵ_d	: Çapsal Birim Deformasyon
E_m	: Deformasyon Modülü
E_m/E_i	: Elastisite Modül Oranı

EKLER LİSTESİ

- Ek 1.** İnceleme alanının jeoloji haritası ve kesiti
- Ek 2.** Jeoteknik amaçlı sondajlara ait loglar
- Ek 3.** Sondaj kuyularına ait karot fotoğrafları
- Ek 4.** Laboratuvar deney sonuçları
- Ek 5.** Silttaşına ait elastisite modülü grafikleri
- Ek 6.** Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)
- Ek 7.** Kaya Kütle İndeksi (RMi)
- Ek 8.** Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Kaya kütlelerinin deformasyon modülü, yapı temellerinde, yer altı kazılarının tasarımında ve şev çalışmalarında önemli bir veri olarak kullanılmaktadır. Deformasyon modülünün gerçekçi ve kolay şekilde önceden belirlenebilmesi, yapılacak olan mühendislik çalışmasının güvenli ve aynı zamanda ekonomik olmasını sağlayacaktır. Deformasyon modülü arazide dilatometre, plaka yükleme veya presiyometre ile belirlenmektedir. Bu deneyler zaman kaybı ve yüksek maliyeti nedeni ile her zaman yapılamamaktadır. Bu parametreyi belirlemek için yapılacak olan laboratuvar deneyleri ise kaya kütlelerinin kaya malzemesiyle birlikte, süreksizlikleri de içermesi ve süreksizliklerin laboratuvar da deney yapabilecek boyutta örnek alınmasını engellediğinden dolayı çok zordur. Bu sınırlamaları aşabilmek ve kaya kütlelerinin deformasyon özelliklerini güvenilir ve kolay bir şekilde belirleyebilmek için farklı araştırmacılar tarafından bir çok çalışma (Bieniawski, 1978; Serafım and Pereira, 1983; Nicholson and Bieniawski, 1990; Grimstad and Barton, 1993; Kim, 1993; Mitri at al., 1994; Hoek and Brown, 1997; Aydan, 1997; Read et al., 1999; Ramamurthy, 2001; Palmström and Singh, 2001; Singh vd., 2002; Barton, 2002; Palmstrom and Broch, 2006; Hoek at al., 2002; Kayabaşı at al., 2003; Gökçeoğlu at al., 2003; Ramamurthy, 2004; Carvalho 2004; Sönmez at al., 2004; Hoek and Diederichs 2006; Sönmez at al., 2006; Chun at al., 2006; Isık, at al., 2008) yapılmış ve görgül eşitlikler önerilmiştir. Bu araştırmalar sonucunda önerilen görgül eşitlikler incelendiğinde, kaya kütlelerinin deformasyon özelliklerinin etkin bir şekilde kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin mühendislik özellikleri ve kaya malzemesinin dayanım ve deformasyon özellikleri tarafından kontrol edildiğini görmek mümkündür. Yapılmış olan önceki çalışmaların esas amacı, yerinde deneylere veya yapılması çok güç olan laboratuvar deneylerine gerek kalmadan, kaya kütlelerini karakterize eden; Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR) (Bieniawski, 1989), Kaya Kütle İndeksi (RMi) (Palmström, 1995), Kaya Tünelcilik Kalitesi (Q) (Barton at al. 1974), Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) (Hoek vd., 1995) ile Kaya Kalite Göstergesi (RQD) (Deer, 1964), bozunma derecesi (W), kaya malzemesinin elastisite modülü (E_i) ve kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) gibi değişkenler yardımıyla kaya kütlelerinin deformasyon özelliklerini belirlemektir.

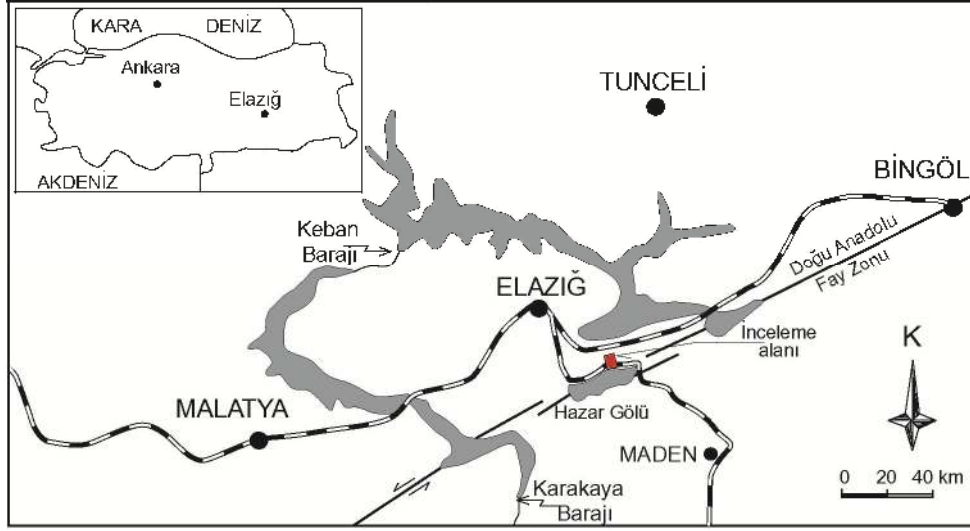
Bu çalışmanın amaçlarını;

- Maastrichtiyen-Üst Paleosen yaşlı Simaki Formasyonu'na ait silttaşlarının kaya kütle deformasyon özelliklerinin belirlenmesi,
- Silttaşlarının kaya kütle özellikleri ile kaya kütle deformasyon özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi,
- Arazide yapılacak yerinde deneylere gerek duyulmadan kaya kütle deformasyon modülünün belirlenebileceği görgül eşitlikler önerilmesi,
- İyi tabakalanma sunan kaya kütlelerinde tabakalanma yöneliminin kaya kütle deformasyon modülü üzerinde herhangi bir etkiye sahip olup olmadığının belirlenmesi şeklinde tanımlamak mümkündür.

Bu amaçla yapılmış olan çalışmalar, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında; jeolojik haritalama yapılmış, kaya kütle deformasyon özellikleri belirlenmiş, jeoteknik amaçlı sondajlar yapılmış ve bu sondajlarda presiyometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında ise jeoteknik amaçlı sondajlardan derlenen karot örneklerin fiziksel, mekanik ve elastik özellikleri incelenmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen veriler ışığında, Simaki Formasyonu'na ait silttaşları için RMR, R_{Mi} ve GSI sınıflamaları yapılmış, yerinde deneylerle belirlenen kaya kütle deformasyon özellikleri ile bu sınıflamalar arasındaki ilişkiler incelenmiş, RMR, R_{Mi} ve GSI değerleri kullanılarak kaya kütle deformasyon modülünün belirlenebileceği görgül eşitlikler önerilmiş, önerilen görgül eşitlikler ile önceki yıllarda bu konuda önerilmiş görgül eşitlikler deneştirilmiştir. Ayrıca, tabakalanma yöneliminin kaya kütle deformasyon özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

1.2. Bölgenin Tanıtımı

İnceleme alanı, Elazığ İli'nin güneydoğusunda, Elazığ-Diyarbakır karayolunun 55-57. km'leri arasında, Elazığ- K42-c3 paftasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Bölgeye Elazığ-Diyarbakır karayolu ile ulaşım sağlanmaktadır.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer belirleme haritası

Çalışma alanının en yüksek yerini Kırdım Tepe (1499 m) ve en düşük seviyeyi 1250 m kotlarında Savsak Dere oluşturmaktadır.

Karasal iklime sahip olan bölgede yazlar kurak ve sıcak, kışlar soğuk ve yağışlı geçmektedir. Bitki örtüsü oldukça azdır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kaya kütlelerinin deformasyon modülü, mühendislik uygulamalarının tasarımında kullanılan en önemli parametrelerden birisi olması nedeniyle, günümüze değin bu parametrenin belirlenmesine yönelik bir çok çalışma yapılmıştır. Bu parametrenin belirlenmesindeki en önemli güçlükler, kaya kütlelerinin sağlam kaya ile birlikte süreksizlikleri de içermesi nedeniyle laboratuvar da deney yapabilecek kadar büyük boyutta örnek alınamaması ve arazide yapılan deneylerin uzun zaman alması ve yüksek maliyetli olmasıdır. Bu güçlükler, araştırmacıları kaya kütlelerinin deformasyon modülünü görgül ilişkiler yardımıyla belirleyebilmek için çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Farklı araştırmacılar kaya malzemesinin elastisite modülü (E_i), tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c), bozunma derecesi (W), RMR, Q, GSI, RQD ve R_{mi} gibi değişkenlerin kullanıldığı görgül eşitlikler önermiştir. Kaya kütlelerinin deformasyon modülünün (E_m) görgül olarak belirlenmesi konusunda önerilen ilk eşitlik Bieniawski (1978) tarafından $RMR > 50$ koşulu için önerilen

$$E_m = 2RMR - 100 \text{ (GPa)} \quad (2.1)$$

eşitliğidir. Sadece kaya kütlelerinin RMR'nin girdi olarak kullanıldığı bu eşitlik, RMR'nin 50'den büyük olduğu kaya kütlelerine uygulanabilmesi nedeni ile büyük bir sınırlamaya sahip olup, bu sınırlamayı aşabilmek için, Serafim ve Pereira (1983) tarafından $RMR < 50$ koşulu için

$$E_m = 10^{\frac{RMR-10}{40}} \text{ (GPa)} \quad (2.2)$$

eşitliği önerilmiştir.

Sonraki yıllarda Nicholson ve Bieniawski (1990) tarafından kaya kütlelerinin RMR'nin girdi olarak alındığı

$$E_m = E_i \cdot 1/100 \left[0.0028 RMR^2 + 0.9 \exp(RMR/22.82) \right] \text{ (GPa)} \quad (2.3)$$

eşitliği önerilmiştir.

Grimstad ve Barton (1993), Q değerinin 1 'den büyük olduğu kaya kütlelerinin deformasyon modülünün belirlenmesinde kullanılabilecek olan

$$E_m = 25 \log Q \text{ (GPa)} \quad (2.4)$$

eşitliğini önermişlerdir.

Mitri vd. (1994) ise yaptıkları çalışmada RMR değeri ile beraber kaya malzemesinin elastisite modülünün (E_i) kullanıldığı

$$E_m = E_i [0.5(1 - (\cos(\pi * RMR/100)))] \text{ (GPa)} \quad (2.5)$$

görgül eşitliği önermektedirler.

Palmström (1995) yaptığı çalışmada RM_i kullanmış ve $RM_i > 0.1$ şartına bağlı olarak geliştirdiği eşitliği önermiştir.

$$E_m = 5.6 RM_i^{0.375} \quad (2.6)$$

Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) ilk olarak Hoek ve Brown (1997) tarafından kullanılmış ve aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

$$E_m = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}} \text{ (GPa)} \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte GSI ile birlikte sağlam kayanın tek eksenli dayanımı (σ_{ci}) da kullanılmıştır.

Read vd. (1999) ise RMR yi esas alan ve üçüncü derece üssel bir ilişki olan

$$E_m = 0.1 \left(\frac{RMR}{10} \right)^3 \text{ (GPa)} \quad (2.8)$$

eşitliğini önermişlerdir.

Ramamurthy (2001) sağlam kayanın elastisite modülü (E_i) ile birlikte RMR ve Q 'nun kullanıldığı

$$E_m = E_i \exp[(RMR - 100)/17.4] \text{ (GPa)} \quad (2.9)$$

$$E_m = E_i \exp(0.8625 \log Q - 2.875) \text{ (GPa)} \quad (2.10)$$

eşitlikleri önermiştir.

Palmström and Singh (2001) RM_i 'yi esas alan ve $1 < RM_i < 30$ şartına bağlı olan

$$E_m = 7 RM_i^{0.4} \text{ (GPa)} \quad (2.11)$$

eşitliği önermişlerdir.

Barton (2002) tarafından kaya kütlelerinin deformasyon modülünün belirlenmesi için önerilen

$$E_m = 10. Q_c^{1/3} \text{ (GPa)} \quad (2.12)$$

eşitliği için Palmström ve Broch (2006) yüksek ve düşük Q için sınırlı doğrulukta tahmin yaptığı, aşırı su gelişleri ($J_w < 0.66$) ve aşırı gerilmelerin varlığı halinde sınırlamalar

içerdiği, kaya dayanımı ve şişme, sıkışma ve pek çok zayıflık zonlarını dikkate almadığı için sınırlamalara sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Hoek vd. (2002), daha önce Hoek ve Brown (1997) tarafından önerilen eşitliği, Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) ve kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_{ci})'na ek olarak patlatma hasarı ve gerilme boşalımının etkilerini ifade eden Örselenme Faktörü (D)'nü de dikkate alarak geliştirmişler ve

$$E_m = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}} \text{ (GPa)} \quad (2.13)$$

eşitliğini önermişlerdir.

Kayabaşı vd. (2003) tarafından önerilen

$$E_m = 0.135 \left[\frac{E_i (1 + RQD/100)}{WD} \right]^{1.1811} \text{ (GPa)} \quad (2.14)$$

eşitliğinde, daha önce yapılmış olan çalışmalar sonucunda önerilen eşitliklerden farklı olarak, sağlam kayanın elastisite modülü (E_i) yanında RQD ve bozunma derecesi (WD) de kullanılmıştır. Gökçeoğlu vd. (2003) ise kendi verilerinin yanında sağlam kayanın tek eksenli sıkışma dayanımını (σ_{ci}) da ekleyerek, bu eşitliği

$$E_m = 0.001 \left[\frac{(E_i / \sigma_{ci}) (1 + RQD/100)}{WD} \right]^{1.5528} \text{ (GPa)} \quad (2.15)$$

şeklinde geliştirmiştir.

Gökçeoğlu vd. (2003) kaya kütle sin deformasyon modülünü belirlemede RMR ve GSI kullanmış ve aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir.

$$E_m = 0.0736 e^{0.0755 RMR} \text{ (GPa)} \quad (2.16)$$

$$E_m = 0.1451 e^{0.0654 GSI} \text{ (GPa)} \quad (2.17)$$

Zhang and Einstein (2004) kaya kütle sinin deformasyon modülünü belirlemede RQD kullanmış ve aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir.

$$E_m / E_i = 0.2 \times 10^{0.0186 RQD - 1.91} \quad (2.18)$$

$$E_m / E_i = 1.8 \times 10^{0.0186 RQD - 1.91} \quad (2.19)$$

$$E_m / E_i = 10^{0.0186 RQD - 1.91} \quad (2.20)$$

Ramamurthy (2004), Ramamurthy, 2001’de önerdiği eşitlikleri, ek veriler ışığında geliştirmiş ve

$$E_m = E_i \exp - 0.0035[5(100 - \text{RMR})](\text{GPa}) \quad (2.21)$$

$$E_m = E_i \exp - 0.0035[250(1 - 0.3 \log Q)](\text{GPa}) \quad (2.22)$$

eşitliklerini önermiştir.

Sönmez vd. (2004), GSI=100 koşulunda kaya kütlelerinin modül oranının (E_m/σ_{cm}) ile kaya malzemesinin modül oranının (E_i/σ_{ci}) teorik olarak birbirine eşit olacağını düşünerek, ve Hoek-Brown kaya kütleleri sabitleri s ve a’yı da kullanarak

$$E_m = E_i (s^a)^{0.4} (\text{GPa}) \quad (2.23)$$

eşitliğini önermişlerdir.

Hoek and Diederichs (2006) ise sağlam kayanın elastisite modülünün (E_i) bilinmediği durumlarda Basitleştirilmiş Hoek- Diederichs eşitliği adı verilen

$$E_m = 100\,000 \left(\frac{1 - (D/2)}{1 + e^{(75+25D-GSI)/11}} \right) (\text{MPa}) \quad (2.24)$$

eşitliğini önermişlerdir. Araştırmacılar, sağlam kayanın elastisite modülünün (E_i) bilinmesi durumunda ise

$$E_m = E_i \left(0.02 + \frac{1}{1 + e^{(60+15D-GSI)/11}} \right) (\text{GPa}) \quad (2.25)$$

eşitliğinin kullanılmasını önermişlerdir. Yukarıdaki formüllerde kullanılan D değişkeni örselenme faktörüdür.

Kaya kütlelerinin deformasyon modülünün görgül olarak belirlenmesi için önerilen bir diğer eşitlik ise Sönmez vd. (2006) tarafından önerilen eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$E_m = E_i 10^{\left[\left(\frac{(\text{RMR}-100)(100-\text{RMR})}{4000 \exp(-\text{RMR}/100)} \right) \right]} (\text{GPa}) \quad (2.26)$$

Bu eşitlikte, RMR=100 durumu için sağlam kayanın elastisite modülünün elde edilmesi ve RMR’nin belirlenmesi sırasında kaya kütleisindeki kazı patlatma sonucu oluşacak örselenme etkisinin dikkate alınabilmesi açısından olumlu yönleri ile dikkat çekmektedir.

Chun at al. (2006) RMR değerini girdi parametresi olarak kullanmışlar ve

$$E_m = 0.3228 \exp(0.0485 \text{RMR}) \quad (2.27)$$

eşitliğini önermişlerdir.

Işık vd. (2008)'nin yoğun eklemlili ve bloklu kaya kütlelerinin deformasyon modülünün belirlenmesinde; RMR ve GSI kullanarak $RMR \geq 27$ için;

$$E_m = 6.7 RMR - 103.06 \text{ MPa} \quad (RMR \geq 27 \text{ için}) \quad (2.28)$$

$$E_m = 5.67 GSI \text{ MPa} \quad (2.29)$$

eşitliklerini önermişleridir. Aynı araştırmacılar zayıf kaya kütlelerinin deformasyon modülünün belirlenmesinde E_i ve RQD kullanarak deformasyon modülünü belirlemede önerdikleri eşitlik ise;

$$E_m = E_i 0.1292e^{0.0197RQD} \text{ (MPa)} \quad (2.30)$$

şeklindedir.

Singh vd. (2002) tuğla malzemesi kullanarak yaptıkları deneysel çalışmalarda, kaya kütlelerinin dayanımı ve deformasyon özellikleri ile süreksizlik düzlemlerinin eğim açısı ve süreksizlik düzlemleri arasındaki basamaklanma arasındaki ilişkileri incelemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar bu çalışma sonucunda hemen hemen bütün modeller için β (Tabaka düzlemi ile sondaj doğrultusu arasındaki açı) açısının 30° ile 50° arasında olduğu durumlarda elastisite modülü oranının (E_r) en düşük olduğu, ancak β açısının 30° den daha küçük ve 50° den daha büyük olduğu durumlarda, elastisite modülü oranının (E_r) önemli artışlar gösterdiği görülmektedir. Bu artışlar β açısının 0° ve 90° derece olduğu durumlarda %70 lere kadar ulaşabilmektedir.

Kısaca özetlenen bu çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların önerdikleri görgül eşitliklerde girdi parametresi olarak kaya kütle özelliklerini kullandıklarını görmek mümkündür. Ancak, burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, kaya kütlelerinin deformasyon özelliklerinin görgül olarak belirlenmesi amacıyla kullanılan eşitliklerdeki girdi parametreleri arasında süreksizlik yöneliminin bulunmamasıdır. Bu çalışmada geçmiş çalışmalara uygun olarak RMR, R_{mi} , GSI ve RQD ile kaya kütle deformasyon modülü arasındaki ilişkiler incelenmiş, ayrıca süreksizlik yönelimi ile kaya kütle deformasyon modülü arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

3. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Alpin Orojenik Kuşağı içerisinde yer alan Türkiye arazisi, Ketin (1966) tarafından kuzeyden güneye doğru Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrımları olmak üzere dört tektonik birliğe ayrılmıştır. İnceleme alanı Toridler tektonik birliğinin doğusu olan Doğu Toroslar'da yer almaktadır. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin ve Maden bakır yataklarının bölgeye yakın olması nedeniyle, bölgede maden yatakları ve tektonik konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bölgede yapılan ilk çalışmalardan birisi Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından Maden yöresinde yapılan çalışmadır. Araştırmacı, bu çalışmada Geç Kretase-Paleosen yaşlı fliş türü çok kalın kumtaşı ve şeylerden oluşan Hazar Grubu ve Paleosen-Eosen yaşlı bazik lavlar, kireçtaşları, marnlar ve kırmızı kireçtaşlarından oluşan Maden Birimini tanımlamıştır.

Arpat ve Şaroğlu (1972) bölgede yaptıkları çalışmada; Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin, Arabistan Levhası ile Anadolu Levhacığı'nın çarpışmasıyla oluştuğunu ileri sürmüşler ve fay sisteminin oluşum yaşının Orta Miyosen sonrası bir zaman olduğunu saptamışlardır.

Perinçek (1979a) Elazığ-Palu civarında yaptığı çalışmada Hazar birimini grup seviyesinde ele alarak incelemiş ve Simaki Formasyonu ile onun yanal devamı olan Şebgen Formasyonu ve üzerindeki Gehroz Formasyonu olarak üç formasyona ayırmıştır.

Perinçek (1979b) Ergani-Maden-Hazar-Elazığ-Malatya bölgelerinde yaptığı çalışmalarda Hazar Grubunu karmaşık olarak değerlendirip Maastrichtiyen-Paleosen yaşını vermiş ve bölgedeki tüm birimlerin K-G doğrultulu bir sıkışma ile kuzeyden güneye doğru bindirdiklerini belirtmiştir.

Dewey ve Şengör (1979) Doğu Anadolu Fayı'nın oluşum yaşı hakkında yaptıkları çalışmada, fayın yaşı için Geç Miyosen-Pliyosen'i önermişler. Benzer konuda Dewey vd. (1986), Orta Miyosen-Pliyosen'i; Gülen vd. (1987) ile Turan vd. (1993) Orta Miyosen sonrasını; Tatar (1987) Miyosen sonrasını; Turan (1993) Geç Miyosen sonrasını önermişlerdir. Şengör (1980) ise DAF'nın Erken Miyosen ile Pliyosen arasında oluştuğunu ileri sürmüştür.

Perinçek (1980a,b) yaptığı incelemelerde bölgenin jeodinamik evrimini açıklamaya çalışmıştır. Yazar elde ettiği bulgularla bölgede Üst Kretase ve Orta Eosen'de iki aktif kıta kenarının etkin olduğunu, bunlardan ilkinin Yüksekova Karmaşığı'nı, ikincisinin de Maden Karmaşığı'nı meydana getirdiğini belirtmektedir.

Şengör (1980) bölgede yaptığı çalışmada; Neotetis Okyanusu'nun güney kolunun kuzeye doğru yitimi, Orta Miyosen sonlarında ise Arabistan ile Anadolu kıtasal levhalarının çarpıştığını ileri sürmüştür.

Hempton vd. (1983) Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan Hazar Gölü civarında yaptıkları çalışmada, gölün doğrultu atımlı faylar üzerinde gelişen bir çek-ayır havzası olduğunu kabul etmektedirler.

Aktaş ve Robertson (1984), bölgede yüzeyleme sunan Maden Karmaşığı'na ait volkanik kayalarda yaptıkları jeokimyasal çalışmalara dayanarak, karmaşığın kuzeye dalımlı bir yitim zonu üzerindeki yay önü bölgede gelişen çek-ayır havzada oluştuğunu belirtmektedirler.

Turan (1993) Elazığ bölgesindeki tektonik yapıları bir bütün olarak incelemiş ve bunların bölgenin jeotektonik evrimindeki yerini açıklamaya çalışmıştır. Araştırmacı bölgenin hem Paleotektonik hem de Neotektonik dönemde etkin bir tektonizmaya maruz kaldığını belirterek bunun sonucunda bölgenin Üst Kretase sonu, Orta Eosen ve Orta Miyosen'de K-G doğrultulu sıkışma altında kaldığını ve bölgedeki tektonik yapıların bu sıkışma dönemlerinde oluştuğunu belirtmektedir.

Gürocak (1993) Sivrice (Elazığ) çevresinde yaptığı çalışmada, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'nın, Pütürge Metamorfikleri ve Simaki Formasyonu üzerine uyumsuz olarak geldiğini belirterek, birimin tabanda Simaki Formasyonuna ait yanal olarak devamsız çakıllarla başladığını ve üste doğru volkanik ara katkılı çamurtaşı, kireçtaşı, bazalt ve volkanik breşlerle devam ettiğini belirtmiştir.

Kaya (1993) Gezin-Maden (Elazığ) civarında yaptığı çalışmada, Hazar Gölünün hemen güneydoğusundan geçen DAF'nın en güneydeki kolu olan Plajköy Fayı'nın güney blokunun sağa yönelik hareketi ile çalışma alanının güneydoğusundan geçen Hazar Fayı'nın kuzey blokunun sola yönelik hareketleri sonucunda bu iki fay arasında bir çek-ayır havzanın geliştiğini ifade etmektedir.

Turan ve Gürocak (1997) Sivrice bölgesinde Doğu Anadolu Fay Zonu'nda yaptıkları incelemelerde, Hazar Gölünün oluşturduğu çöküntü alanının sadece çek-ayır mekanizması ile çökmediği, fay zonunun güney bloğunda etkili olan çekme tektoniği rejimi ve buna bağlı asimetrik yani bir yarı grabenleşmenin de burada önemli bir rol oynadığını ileri sürmüşlerdir.

Kaya (2004), Gezin (Elazığ) civarında yaptığı çalışmada, Doğu Anadolu Fayı'nın tek bir fay şeklinde olmayıp birbirine paralel, 8-10 km takip edilebilen, eğim atım bileşenleri

oldukça belirgin birkaç büyük faydan oluştuğunu ve fayların eğim atımlarından dolayı düşen bloklar üzerine alüvyonların biriktiğini belirtmiştir.

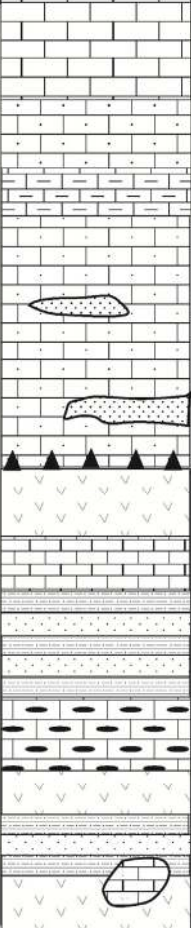
Altunbey ve Çelik (2005) Maden Karmaşığı'na ait diyabazlarda yaptıkları mineralojik incelemelerde; bunların cevhersiz ve cevherli diyabaz olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacıya göre ana yatak cevherleşmesini içerisinde bulunduran cevherli diyabazlar, cevhersiz diyabazlardan yoğun klorit, kuvars ve opak mineral içermeleri ve ayrıca yoğun karbonatlaşma, kloritleşme ve silisleşme türünde alterasyonlar göstermesiyle ayrılmaktadır.

Aksoy vd. (2007), Hazar Gölü Havza'sının fay kontrolünde oluşan dolgusunun yaşını dikkate alarak, fayın Geç Pliyosen'den itibaren aktif olduğunu öne sürmüşlerdir.

3.1. Stratigrafi

İnceleme alanı Alp-Himalaya orojenik kuşağının Doğu Toroslar kesiminde yer almaktadır. İnceleme alanında yüzeyleme veren litostratigrafi birimler yaşlıdan gence doğru;

- Maastrichtiyen-Üst Paleosen yaşlı Simaki Formasyonu
 - Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı
- şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 3.1, Ek-1).

ÜST SİSTEM		SENZOYİK		MESOZOYİK		FORMASYON		LİTOLOJİ	SİMGE	AÇIKLAMALAR
SİSTEM		PALEOJEN		JURA-KRETASE		PALEOSEN				
SERİ		MAASTRİHTİYEN		MADEN KARMAŞIĞI		SIMAKİ FORMASYONU			KThs	Koyu gri renkli tabakalı kireçtaşı Kırmızı-yeşil-gri renkli kumtaşı-silttaşı marn ar dalanması Açık kahverenkli kumtaşı merccek ve tabakaları içeren yeşil, mavimsi gri silttaşı Bindirme
SENZOYİK		PALEOJEN		ORTA EOSEN		MADEN KARMAŞIĞI				

Şekil 3.1. İnceleme alanının tektono-stratigrafik dikme kesiti (ölçeksiz)

3.1.1. Simaki Formasyonu (KThs, Maastrihtiyen-Üst Paleosen)

3.1.1.1. Tanım

Simaki Formasyonu, Sungurlu (1974) tarafından ilk olarak grup seviyesinde ele alınan Hazar Grubu'na ait bir formasyon olarak adlandırılmıştır. Sonraki yıllarda Perinçek (1975), Perinçek (1979a, b), Aktaş ve Robertson (1990), Erdem (1987) ve Herece vd., (1992) bölgede yaptıkları çalışmalarda Simaki Formasyonu adını kullanmışlardır. Birim, daha önceki çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da Simaki Formasyonu adı altında incelenmiştir.

3.1.1.2. Dağılım ve Konum

Tipik olarak Hazar Gölü'nün güney ve doğusundaki alanlarda yüzeyleme sunan Simaki formasyonu, inceleme alanında tektonik konumludur ve Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı üzerine bindirmeli olarak gelmektedir (Ek-1). Formasyon, inceleme alanında çok ince ve lokal olarak gözlenen yamaç molozu tarafından örtülmektedir.

3.1.1.3. Litoloji

Bölgede Simaki Formasyonu fliş özelliğinde olup litolojik olarak; tabanda yeşilimsi gri renkli killi kumtaşları, silttaşı, marn ve şeylerle başlayıp üste doğru koyu gri renkli kalın tabakalı kireçtaşları ile son bulur. Çalışma alanında silttaşı, çamurtaşı, ince kumtaşı ve yer yer ara seviyeler halinde kireçtaşları ile temsil edilmektedir (Şekil 3.2, 3.3).

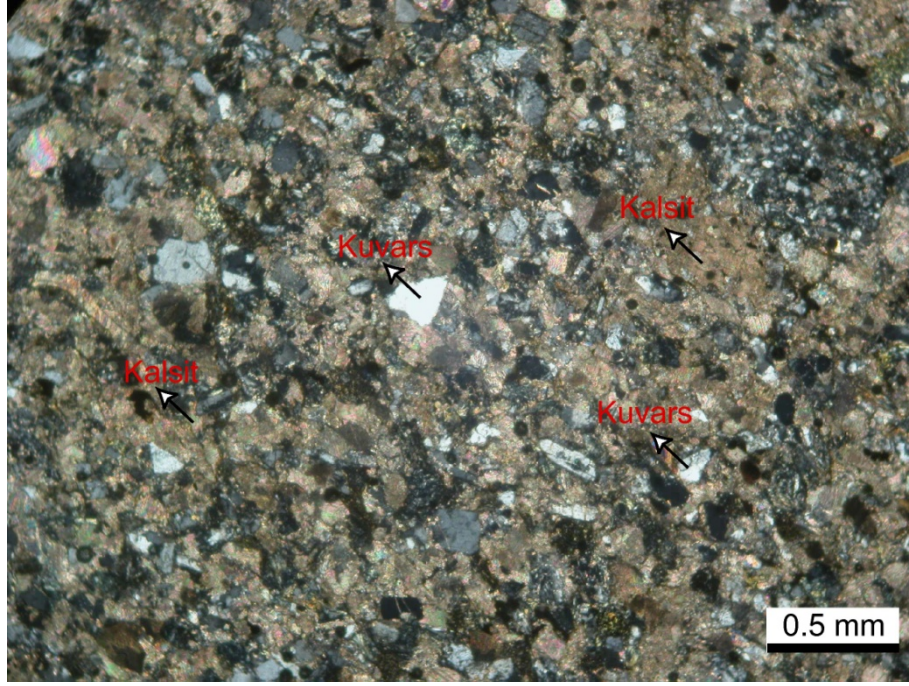


Şekil 3.2. Simaki Formasyonu'na ait silttaşı ve şeyllerden bir görünüm, bakış yönü G'den K'ye.



Şekil 3.3. Simaki Formasyonu'na ait silttaşı, şeyl ve kumtaşlarından bir görünüm, bakış yönü G'den K'ye.

Arazi çalışmaları sırasında Simaki Formasyonu'ndan derlenen örneklerden hazırlanan ince kesitlerin mikroskopik olarak incelenmesi sonucunda; birimin kalsit ve kil çimentolu sil boyutundaki tanelerden oluştuğu belirlenmiştir. Ara seviyeler halinde tedrici geçişler sunan çamurtaşı-silttaşı ve kireçtaşı örneklerine rastlanmıştır. İncelenen kesitlerde fosile rastlanmamış olup, yer yer kuvars ve kalsit mineralleri de gözlenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Simaki Formasyonuna ait kalsit çimentolu silttaşının çift nikoldeki mikroskop görünümü.

Hazar Grubu'na ait Simaki Formasyonu'ndaki kayaçlarda çalışma yapan Sungurlu vd. (1985), yaptıkları incelemede fosil bulgularına dayanarak formasyona Maastrichtiyen - Üst Paleosen yaşını vermişlerdir. Bu çalışmada da araştırmacılar tarafından belirlenen yaş kullanılmıştır.

Hazar Grubu'nun çökelme ortamı üzerine çalışma yapan araştırmacılar, ortamın başlangıçta karasal olduğunu ve birimin tabanında bulunan Ceffan Formasyonu'nun bu karasal ortamı temsil ettiğini ifade etmişlerdir. Bu araştırmacılar; Ceffan Formasyonu'nun Simaki Formasyonu ile yanal geçiş göstermesinin ise çökelme havzasının blok faylarla giderek derinleştiğini ve Simaki Formasyonu'nun denizel şartlarda geliştiğini; en üstteki Gehroz Formasyonu'nun ise derin deniz ortamında çökelmiş pelajik kireçtaşları olduklarını belirtmektedirler. Bu araştırmacılara göre, Simaki Formasyonu'nun derin deniz ortamında çökelindiğini ifade eden diğer önemli bir kanıt ise, formasyonun genel olarak, fliş istifi özelliğinde olmasıdır. Bu durum da, derin deniz ortamında birikmiş ve daha sonraki tektonik hareketlerin etkisiyle kıvrımlanmış fliş niteliğinde olduğunu belirlemişlerdir (Özkan, 1978; Perinçek ve Özkaya, 1981; Aktaş ve Robertson, 1984).

3.1.2. Maden Karmaşığı (Tm, Orta Eosen)

Birim ilk defa Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından “Maden Birimi” olarak adlandırmıştır. Yazgan ve Chessex (1991), Yiğitbaş ve Yılmaz (1996), “Maden Karmaşığı” olarak isimlendirmişlerdir. İnceleme alanında birim; sedimanter kayaçlarla volkanitlerin ve kireçtaşı olistolitlerinin oluşturduğu düzensiz bir stratigrafi sunduğundan, bu çalışmada da “karmaşık” olarak ele alınmıştır.

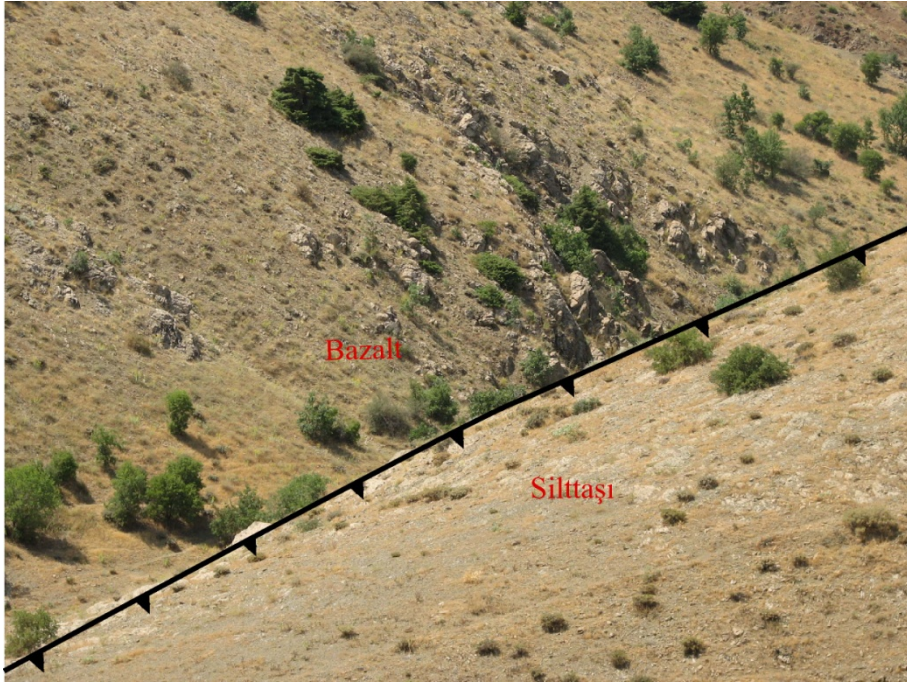
Tipik olarak Elazığ’ın Maden ilçesi ve çevresinde en tipik yüzeylemelerini veren karmaşığın genel dağılım alanı, doğuda Palu İlçesi’nin doğusu ve Arıcak İlçesi’nin kuzey kesimlerinden başlayarak, Malatya ili güneyi ve Adıyaman ili kuzey kesimlerine kadar uzanan yaklaşık KD-GB doğrultusunda ve Doğu Anadolu Fayı’na paralel bir zonü kapsar. Karmaşık inceleme alanında Maastrihtiyen-Üst Paleosen yaşlı Simaki Formasyonu tarafından tektonik olarak örtölmektedir (Ek-1).

Yazgan ve Chessex (1991), Maden Karmaşığı’nın bazaltik tuf, lapilli taşı, aglomera ve kırmızı renkli kilitaşı-çamurtaşı ve kireçtaşı bloklarından oluştuğunu ifade etmektedir. Kaya (2004) Gezin (Maden) bölgesinde yaptığı çalışmada Maden Karmaşığının tabanda Guleman Ofiyoliti’nin gabroları üzerinde taban çakilitaşılarıyla başladığını, üste doğru kumtaşı tabakaları, yer yer silisleşmiş kırmızıkahve-gri renkli kumtaşı-çamurtaşı-marn ardalanmasına geçtiğini ve kırmızı-pembe pelajik kireçtaşlarıyla son bulunduğunu belirtir.

Birim inceleme alanının kuzeybatısında, altta volkanik kayaçlar ile başlayıp üst kısımlarda kırmızı-bordo renkli kireçtaşı ile son bulmaktadır (Şekil 3.5). Karmaşık, çalışma alanının kuzey-kuzeydoğusunda ise volkanik ara katkılı çamurtaşları ve bazaltik kayaçlar (Şekil 3.6) ile temsil edilmektedir.



Şekil 3.5. Maden Karmaşığında ait kireçtaşları, bakış yönü GB'dan KD'ya.



Şekil 3.6. Maden Karmaşığında ait bazaltlar, bakış yönü GB'dan KD'ya.

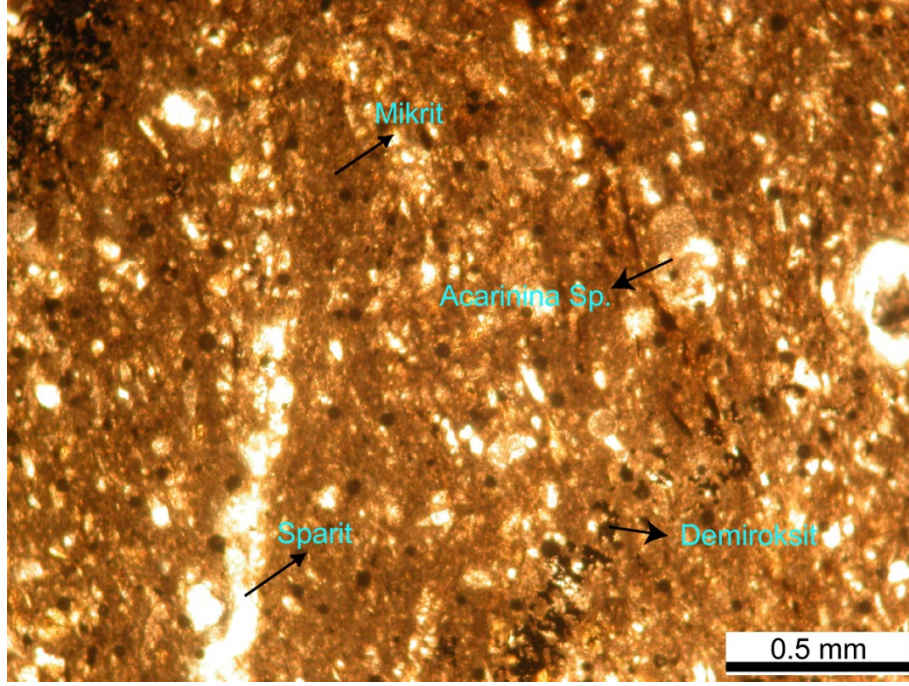
Maden Karmaşığı'ndan derlenen bazalt ve kireçtaşı örneklerinde yapılan mikroskobik incelemelerde, bazaltların plajiyoklaslar ve ikincil karbonat minerallerinden oluştuğı gözlenmiştir. Plajiyoklaslar öz, yarı öz şekilli kristaller halinde olup, plajiyoklas latalarının

ara boşluklarını karbonat mineralleri doldurmuştur. Bazaltlarda genel olarak mikrolitik porfirik doku görülmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Maden Karmaşığı'na ait bazaltlardaki mikrolitik porfirik dokunun çift nikoldeki mikroskop görünümü.

Kireçtaşı örneklerinde yapılan mikroskobik incelemelere göre çatlaklarda ikincil olarak sparitik dolgu, yaygın olarak mikrit ve yer yer çatlaklarda demiroksit mineralleri görülmektedir. Kayacı oluşturan elemanlar dikkate alınarak yapılan Folk (1962)'un sınıflamasına göre kayaca biyosparimikritik kireçtaşı adı verilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Maden Karmaşığındaki biyosparimikritik kireçtaşı'nın tek nikoldeki mikroskop görünümü (T. N.)

Maden Karmaşığı'na ait kireçtaşılarından derlenen örneklerin mikroskopik incelemeleri Çağlar (2009) tarafından yapılmış ve kireçtaşılarında gözlenen *Acarinina sp.* fosiline dayanılarak, birime Orta Eosen yaşı verilmiştir.

Turan vd. (1995), Orta Eosen yaşlı volkanosedimanter birimlerden oluşan Maden Karmaşığı'nın, Neotetis Okyanusu güney kolunun kapanmasıyla ilişkili olarak gelişen gerilmeli bir yayın yay ardı havzasında oluştuğunu savunmuşlardır.

3.2. Tektonik

İnceleme alanı Türkiye'nin en önemli tektonik yapısı olan Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde, jeolojik açıdan oldukça ilginç bir bölgede yer almaktadır. Bölgede günümüze kadar etkin olan jeotektonik olaylar hem bölgenin yapısal karakteristiklerini, hem de Türkiye'nin tektonik yapısının şekillenmesinde önemli rol oynamıştır. Bütün Toros Orojenik Kuşağı'nda olduğu gibi Doğu Toros Kuşağında da jeolojik süreç içinde meydana gelen olaylar, özellikle levha tektoniği açısından yerbilimcilerin ilgisini çekmiş ve yöre pek çok araştırmacı (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Seymen ve Aydın, 1972; Dewey ve Şengör, 1979; Dewey vd., 1986; Gülen vd., 1987; Tatar, 1987; Turan, 1992; Turan, 1993; Turan

vd., 1993; Gürocak, 1993; Kaya, 1993; Çetin vd., 2000, 2003; Çelik, 2003; Kaya, 2004; Aksoy vd., 2007; Çelik, 2008) tarafından incelenmiştir.

3.2.1. Kırıklı Yapılar

İnceleme alanı yoğun tektonik hareketlerin etkisi altında kaldığı için, farklı ölçekte birçok yapısal unsur bulunmaktadır. Bölgenin en büyük tektonik yapıları Doğu Anadolu Fay Zonu'dur.

3.2.1.1. Doğu Anadolu Fay Zonu

Arpat ve Şaroğlu (1972)'na göre Doğu Anadolu Fayı ilk defa Allen tarafından 1969 yılında tanımlanmıştır. Doğu Anadolu Fay Zonu, Kahramanmaraş'ın Türkoğlu ilçesinden başlayarak, kuzeydoğuya doğru 400 km kadar devam etmekte ve Karlıova yakınında Kuzey Anadolu Fay Sistemi ile birleşmektedir. Doğu Anadolu Fay Zonu ile ilgili çeşitli araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmıştır (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Seymen ve Aydın, 1972; Dewey ve Şengör, 1979; Şengör, 1980; Hempton vd., 1983; Hempton ve Dewey, 1983; Şengör ve Yılmaz, 1983; Dewey vd. 1986; Perinçek vd., 1987; Tatar, 1987; Gülen vd., 1987; Turan, 1992; Turan, 1993; Turan vd., 1993; Çetin vd., 2000, 2003; Kaya, 2004; Reilinger vd., 2006; Aksoy vd., 2007; Çelik, 2008).

Arpat ve Şaroğlu (1972) Doğu Anadolu Fay Zonu'nda yaptıkları çalışmada; fayın sol yönlü doğrultu atımlı olduğunu ve Palu-Hazar Gölü arasındaki çamurtaşlarının 27 km'lik bir sol yanal atımı gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Hempton vd. (1983) Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan Hazar Gölü civarında yaptıkları çalışmada, gölün doğrultu atımlı faylar üzerinde gelişen bir çek-ayır havzası olduğunu kabul etmektedirler.

Palu-Hazar Gölü ve Hazar Gölü-Sincik segmentleri birbirlerinden Hazar Gölü ile ayrılırlar. Hazar Gölü DAFZ'nun bu iki ana bölümü arasındaki gevşemeli sıçramada gelişmiş bir çek ayır havzasıdır. Bu havza transform fay boyunca izlenen en büyük açılmalı gevşeme yapılarından biridir (Hempton ve Dewey, 1983; Hempton vd., 1983).

Bir çok araştırmacıya (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Dewey ve Şengör, 1979; Tatar, 1987; Turan, 1993) göre Doğu Anadolu Fayı'nın, Arabistan Levhası ile Anadolu Levhası'nın

çarpması sonucu olduğu benimsendiği için fayın yaşının Orta Miyosen sonrasında olduğu kabul edilmiştir.

Kaya (2004) Maden bölgesinde yaptığı çalışmada; Doğu Anadolu Fayı'nın sol yönlü doğrultu atımlı bir fay olduğunu, yaklaşık 5-6 km'lik bir zon şeklinde geliştiğini ve bölgede tek bir fay şeklinde gözlenmeyip, KD-GB doğrultulu ve birbirine yaklaşık paralel birkaç büyük faydan oluştuğunu ileri sürmüştür. Ayrıca araştırmacı Doğu Anadolu Fayı'nın eğim atım bileşenlerinin yüksek oluşu nedeniyle arazide çok kolay görülebileceğini ve düşen blok tarafında alüvyonların çökeldiğini vurgulamıştır. Yazara göre Hazar Gölü'nün kuzey ve güney kenarlarını sınırlandıran bu fayların yüksek eğim atım bileşenleri, gölün bir çöküntü havza olarak gelişmesine sebep olmuştur.

Reilinger vd. (2006) tarafından alınan son yıllardaki GPS ölçümleri Doğu Anadolu Fay Zonu üzerindeki yıllık kayma hızının 10 ± 1 mm olduğunu göstermektedir.

Yine fayın atımı hakkında Aksoy vd. (2007) Hazar Gölü Havzası içerisinde 9 km ve Çelik (2008) Palu-Hazar Gölü arasında fay atımını 30 km olarak belirlemişlerdir.

Doğu Anadolu Fay Zonu inceleme alanının dışında, güney kısmında Hazar Gölü içerisinden geçip göl sınırları boyunca devam etmektedir. Fay Zonu çalışma alanının hemen güney sınırından geçtiği için burada bulunan Hazar Grubuna ait silttaşlarında aşırı parçalanma ve bozunmaya sebep olmuştur.

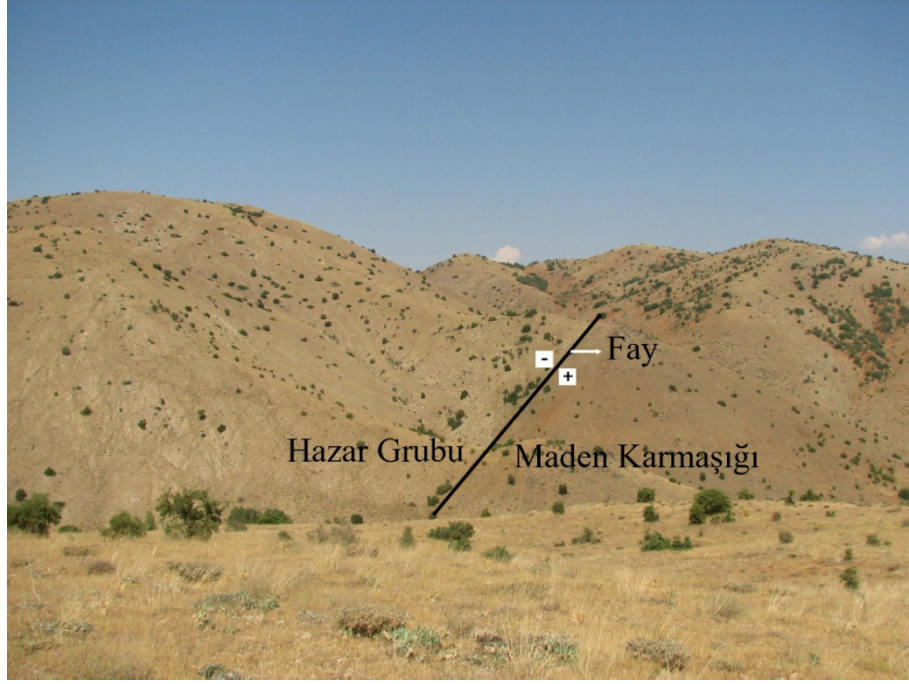
3.2.1.2. Bindirme Fayları

Çalışma alanında gözlenen faylardan büyük boyutta olanlar haritalanmıştır (Ek-1). İnceleme alanında Sancak Mahallesi'nin 500-600 m kuzeyinde Savsak Deresi yatağında yüzeyleme veren Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'nın üst kotlarında Maastrichtiyen-Üst Paleosen yaşlı Simaki Formasyonu görülmektedir. Bu birimlerin dokanağında yapılan incelemelerde Simaki Formasyonu'na ait silttaşları aşırı parçalanmış ve killeşmeye dönüşmüş olup, aynı durum Maden Karmaşığı'na ait bazaltlarda ve çamurtaşlarında da gözlenmektedir. Ayrıca silttaşlarının içerdiği tabakalanma düzlemlerinden alınan eğim açılarının 10-20 derece arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu birimlerin dokanağında yapılan incelemeler ve stratigrafik yaş kuralları göz önünde bulundurulduğunda dokanağın tektonik olduğuna karar verilmiş ve Simaki Formasyonu'na ait silttaşları Maden Karmaşığı üzerine GB-KD doğrultusunda bindirmeli olarak geldiği belirlenmiştir (Şekil 3.9). İnceleme alanında Yıldırım Tepe'nin yaklaşık 300 m kuzeyinde

Savsak Dere ile Beğen ve Gevera Dereleri'nin kesiştiği alanda, fay Simaki Formasyonu ile Maden Karmaşığı'nı yan yana getirmiştir. Bu alanda fayın eğim açısının 45-50 olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanının kuzey kesimlerinde küçük ölçekli ters faylarla birlikte (Şekil 3.10) haritalanamayacak kadar küçük ölçekte faylar da gelişmiştir.



Şekil 3.9. Hazar Grubu ile Maden Karmaşığı arasındaki tektonik dokanak, bakış yönü G'den K'ye.



Şekil 3.10. İnceleme alanında görülen ters fay, bakış yönü GB'dan KD'ya doğru.

3.2.1.3 Eklemler

Çalışma alanında Simaki Formasyonu'na ait silttaşları, iyi gelişmiş eklem setleri içermektedir (Şekil 3.11). Bunun nedeni inceleme alanının Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde yer almasıdır. Simaki Formasyonu'nun içerdiği eklem setlerinin eğim yönü açısı 10° - 315° arasında eğim açısı ise 35° - 82° derece arasında değişmektedir. Birimin içerdiği eklemlerin yönelim açıları geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Bu durum, hem inceleme alanının Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde yer alması, hem de Hazar Grubuna ait birimlerin Maden Karmaşığı üzerine bindirmeli olarak gelmesinden kaynaklanmaktadır.

3.2.1.4. Tabakalanma

Çalışma alanında Maastrichtiyen-Üst Paleosen yaşlı Simaki Formasyonu'na ait flişler ve Maden Karmaşığı'na ait çamurtaşları ve kireçtaşları tabakalanma içermektedir. Simaki Formasyonu daha iyi bir tabakalanma sunarken, Maden Karmaşığı'ndaki tabakalanma kötüdür. Simaki Formasyonu'ndaki tabaka duruşlarının eğim yönü açısı 117° - 143° arasında eğim açısı ise 9° - 48° arasında değişmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Silttaşlarında gelişmiş tabaka ve eklem görünümü. Bakış yönü G'den K'ye doğru.

4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Elazığ İli, Gezin İlçesi civarında yüzeyleyen Simaki Formasyonu'na ait silttaşlarının kaya kütle deformasyon özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen mühendislik jeolojisi çalışmaları; süreksizliklerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, jeoteknik amaçlı sondajlar, presiyometre deneyleri ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Süreksizliklerin özellikleri hat etüdları yöntemi kullanılarak belirlenmiş, yaptırılan sondajlardan alınan karot örneklerinde RQD (kaya kalite göstergesi), TKV (toplam karot verimi), SKV (sağlam karot verimi), bozunma derecesi (ISRM, 2007) ve süreksizlik sıklığı belirlenmiş ve laboratuvarda fiziksel, mekanik ve elastik özellikler belirlenmiştir. Kaya kütle deformasyon modülü sondaj kuyularının her metresinde yapılan presiyometre deneyinden elde edilen veriler yardımı ile hesaplanmıştır. Kaya kütle deformasyon modülünü dolaylı yöntemlerle belirlemek için RMR, R_Mi ve GSI kaya kütle sınıflamaları, açılan sondaj kuyularının her metresi için ayrı ayrı belirlenmiştir.

4.1. Süreksizlikler

Süreksizliklerin, dolayısıyla kaya kütlelerinin özellikleriyle ilgili veri toplanmasında istatistiksel anlamda en tatmin edici sonuçların alındığı yöntem, hat etüdüdür. Jennings (1970) tarafından önerilen yöntem, daha sonra Piteau (1970) tarafından güncellenmiş, Fookes ve Denness (1969), Attewell ve Farmer (1976), Priest ve Hudson (1981) gibi araştırmacılar ile ISRM (1978) tarafından geliştirilmiş ve sonraki yıllarda ISRM (2007) tarafından yapılan önerilerle bugünkü halini almıştır.

Geniş bir alanda kaya kütlelerinin incelenmesine ve süreksizliklerden doğrudan ölçüm alınmasını sağlayan bu yöntem ile ilk olarak süreksizlik ara uzaklığı ve devamlılığına bağlı olarak uygun uzunlukta mostra yüzeyleri seçilmiş, ölçümler birbirine dik, bir çok farklı hatlarda yapılmıştır (Şekil 4.1). Mostranın seçiminde, süreksizliklerin en az % 50'sinin ucu görünecek şekilde olmasına dikkat edilmiş ve mostraların yer yer döküntüyle kapanmış olması nedeniyle ölçümler 5 m lik hatlar şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümün yapılacağı hattın üzerine şerit metre serilmiş ve hattın başlangıç ve bitiş noktaları boya ile işaretlenmiştir. Şerit metre merkezde olmak üzere hattın 50 cm üzerinde ve altında kalan kısımlar esas alınarak süreksizliklerin özellikleri ölçülmüş ve tanımlanmıştır.



Şekil 4.1. Silttaşlarında hat etüdü çalışmaları.

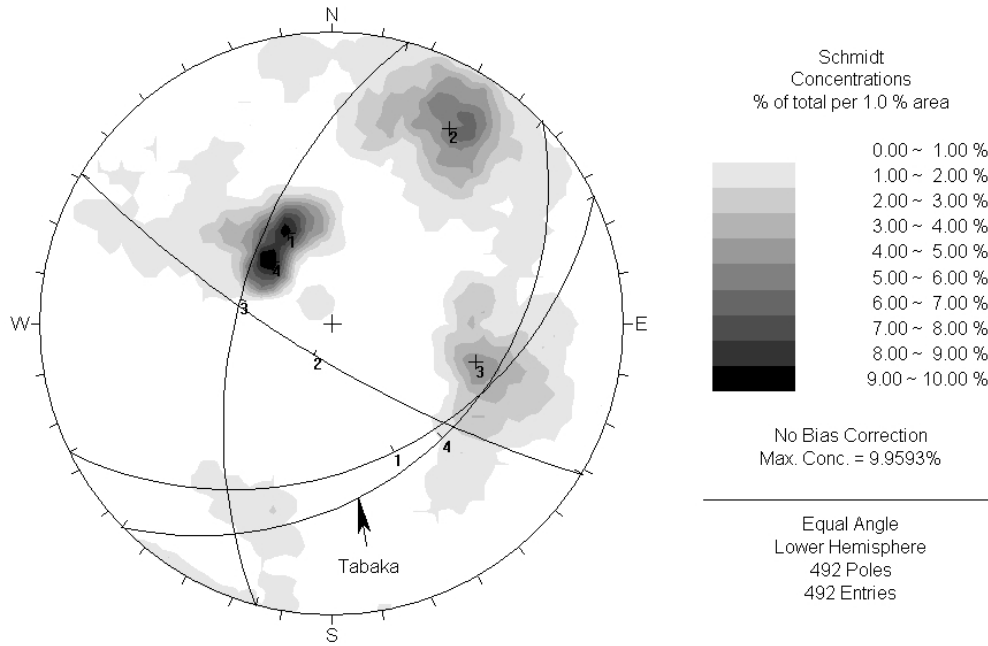
Hat etütleri ile kaya kütlelerinin içerdiği süreksizliklerin ara uzaklığı, devamlılığı, açıklığı, dolgu malzemesinin özelliği, sıklığı, süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü, bozunma derecesi ile su durumu belirlenmiştir. Bu çalışmada eklem sıklığı Franklin vd. (1971)'ne göre belirlenmiş olup, süreksizliklerin diğer özelliklerin belirlenmesinde ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri esas alınmıştır.

4.1.1. Süreksizlik Yönelimi ve Süreksizlik Takımı

Süreksizliklerin uzaydaki konumları genellikle eğim ve doğrultuları veya eğim ve eğim yönü ile tanımlanır. Eğim, bir süreksizlik düzleminin yatay düzlemle yaptığı açıdır. Kuzeyden itibaren saat yönünde ölçülen ve kuzey yönü ile eğim çizgisinin yatay düzlemdeki izdüşümü arasındaki açı ise, eğim yönü açısı olarak tanımlanır. Süreksizlik düzlemlerinin konumlarını tanımlayan veriler eğim-eğim yönü olarak kaydedilmiştir. Yönelimleri hemen hemen birbirleriyle aynı olan tekil süreksizliklerin oluşturduğu topluluğa ise "süreksizlik takımı" adı verilir. Kaya kütleleri çoğu kez birden fazla süreksizlik takımı içerirler. Bu nedenle, arazide ölçülmüş çok sayıdaki süreksizlik yöneliminin istatistiksel yöntemlerle

değerlendirilerek, süreksizlik takımı sayısının belirlenmesi, mühendislik jeolojisi uygulamalarının ayrılmaz bir parçasıdır.

Bu çalışmada silttaşlarındaki tabakalanma ve eklem düzlemlerinden alınan yönelim ölçülerinin (eğim yönü-eğim açısı) DIPS 5.0 (Rocscience, 1999) bilgisayar programında değerlendirilmiş ve yoğunlaşan kutup noktalarına ait olan düzlemler belirlenmiştir. Buna göre silttaşlarının 3 eklem takımı ve 1 tabaka düzlemi içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Silttaşlarından alınan süreksizlik yönelimi ölçülerine ait kontur diyagram.

Silttaşlarının içerdiği süreksizlik düzlemlerine ait ana yönelimler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. İnceleme alanındaki silttaşlarına ait süreksizlik yönelimi ölçüleri.

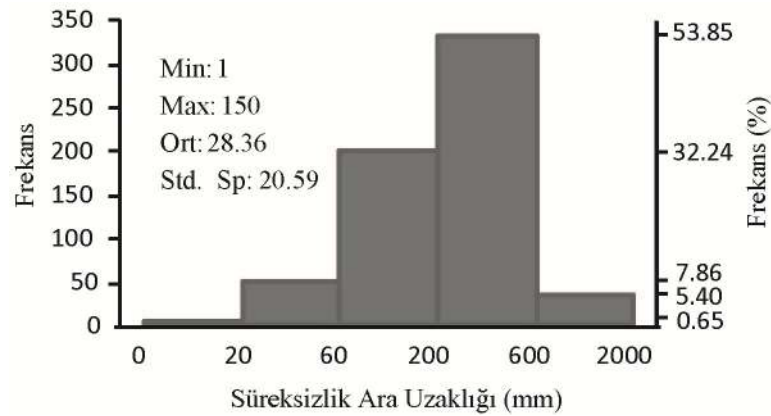
Birim	Süreksizlik Tipi	Süreksizliklerin Eğim Açısı / Eğim Yönü
Silttaşı	Eklem	40/164 (Eklem takımı 1)
		77/211 (Eklem takımı 2)
		55/286 (Eklem takımı 3)
	Tabakalanma	33/135

4.1.2. Süreksizlik Ara Uzaklığı

Süreksizlik ara uzaklığı kaya kütlelerinde birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik takımındaki iki süreksizlik arasındaki dik mesafedir. Kaya kütlelerinin geçirgenliğini ve kaya kütlelerinde oluşan blokların boyutlarını denetleyen önemli bir özelliktir. Süreksizlik ara uzaklığı, mostra yüzeyinde süreksizlik doğrultusuna dik yönde serilen bir şerit metre boyunca gözlenen süreksizliklerin sayılması ile belirleneceği gibi, sondaj karotlarından da belirlenebilmektedir. Ölçüm hattı veya sondaj eksenini boyunca iki süreksizlik arasında ölçülen uzaklık görünür ara uzaklık olarak bilinir. Bir süreksizlik takımındaki süreksizliklerin bir birine paralel olduğu durum çok ender görüldüğü için gerçek aralığı ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı mostranın konumundan etkilenmektedir.

Bu çalışmada süreksizlik ara uzaklığı arazide hat etüdü yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. Tüm bu parametreler dikkate alınarak kaya kütleleri için süreksizlik ara uzaklığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM (2007) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır.

Silttaşlarından alınan süreksizlik ara uzaklığı ölçümleri ISRM (2007)'e göre değerlendirildiğinde (Şekil 4.3) süreksizliklerin genel olarak orta derecede aralıklı olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2).



Şekil 4.3. Silttaşlarındaki süreksizlik ara uzaklığı dağılımı

Çizelge 4.2. Silttaşlarının süreksizlik aralığı, devamlılığı, açıklığı, pürüzlülüğü, bozunma derecesi ve tabaka yüzeyi su durumunun tanımı (ISRM, 2007) ve yüzde dağılımları. (Ölçümler silttaşı mostralarında yapılmıştır)

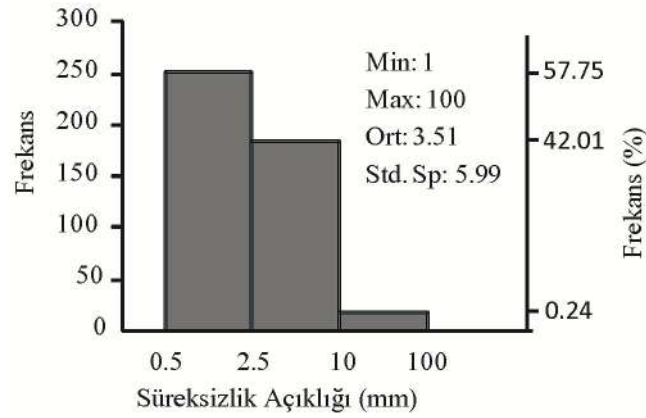
Özellik	Sınır Değerleri	Tanımlama	Dağılım (%)
Süreksizlik Aralığı (mm)	<20	Çok dar aralıklı	0.65
	20-60	Dar aralıklı	7.86
	60-200	Yakın aralıklı	32.24
	200-600	Orta derecede aralıklı	53.85
	600-2000	Geniş aralıklı	5.40
Süreksizlik Devamlılığı (m)	< 1	Çok düşük devamlılık	20.44
	1-3	Düşük derecede devamlılık	21.34
	3-10	Orta derecede devamlılık	28.89
	10-20	Yüksek devamlılık	2.22
	>20	Çok yüksek devamlılık	27.11
Süreksizlik Açıklığı (mm)	< 0.1	Çok sıkı	0.00
	0.1-0.25	Sıkı	0.00
	0.25-0.5	Kısmen açık	0.00
	0.5-2.5	Açık	57.75
	2.5-10	Orta derecede geniş	42.01
	>10	Geniş	0.24
Süreksizlik Pürüzlülüğü	VII	Düzlemsel pürüzlü özellikte	
Süreksizlik bozunma derecesi	Taze (I)		
	Az Bozunmuş (II)		
	Orta Bozunmuş (III)		
	İleri Bozunmuş (IV)		
	Tamamen Bozunmuş (V)		
	Rezidüel Zemin (VI)		
Süreksizlik dolgu durumu	Genellikle ortalama 3 mm kalınlığında kalsit dolgu içeriyor, yer yer kil ve sert kayaç parçalarıyla dolu eklemler mevcut.		
Tabaka Yüzeyi Su Durumu	Kuru		

4.1.3. Süreksizlik Açıklığı

Açıklık, bir süreksizlik yüzeyinin karşılıklı iki yüzeyi arasındaki dik mesafe olarak tanımlanır (ISRM, 2007). Süreksizlik yüzeyleri kapalı olabileceği gibi su veya dolgu malzemesiyle doldurulmuş olabilir. Eğer süreksizlik yüzeyi temiz ve kapalı ise diğer süreksizlik parametreleri jeoteknik tanımlama için yeterli olabilmektedir.

Bu çalışmada milimetre ölçekli şerit metrelerden yararlanarak, süreksizliklerin açıklıkları ölçülmüş ve ortalaması hesaplanmıştır. Çalışmada süreksizliklerin açıklığı ISRM (2007) tarafından önerilen süreksizlik açıklığı tanımlama ölçütleri (Çizelge 4.2) kullanılarak değerlendirilmiştir.

Silttaşlarının süreksizlik açıklığı dağılımı Şekil 4.4’de verilmiş olup, bu verilere göre eklemler orta derecede geniş-açık özelliktedir (Çizelge 4.2).



Şekil 4.4. Silttaşlarındaki süreksizlik açıklığının dağılımı.

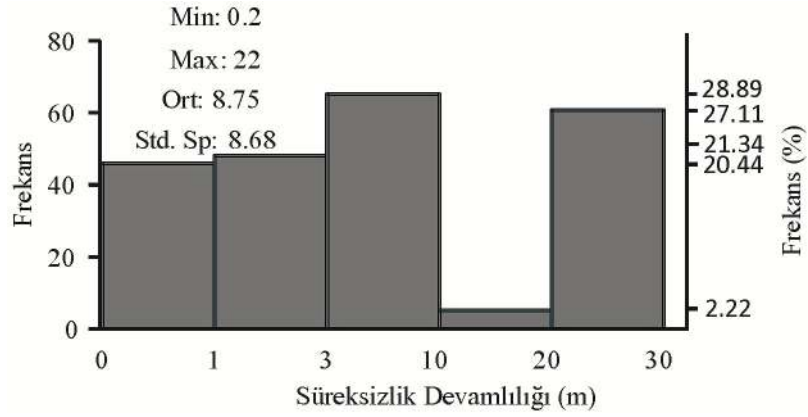
4.1.4. Süreksizliklerin Devamlılığı

Süreksizliklerin devamlılığı, süreksizliklerin bir düzlemdeki alansal yayılımının göstergesi veya boyutları olup, duraylılığı etkileyen önemli bir özelliktir. Devamlılık alansal oran olarak tanımlanmasına karşın, alansal ölçümün zor olması nedeniyle genellikle mostradaki süreksizlik izinin ölçülmesiyle bulunmaktadır (ISRM, 2007). Bu durumda devamlılık, süreksizlik izi olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada devamlılık, ISRM (2007)'deki tanımlamalar esas alınarak doğrudan şerit metre ile mostra yüzeylerinde ölçülmüş ve tanımlamalar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

İnceleme alanından alınan devamlılık ölçüleri (Şekil 4.5) ISRM (2007) tarafından önerilen sınıflamaya göre değerlendirilmiş (Şekil 4.6) ve silttaşlarından alınan devamlılık ölçülerinin yüzde dağılımına göre (Çizelge 4.2) orta derecede devamlılık gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 4.5. İnceleme alanındaki silttaşlarında gözlenen eklem devamlılıkları.



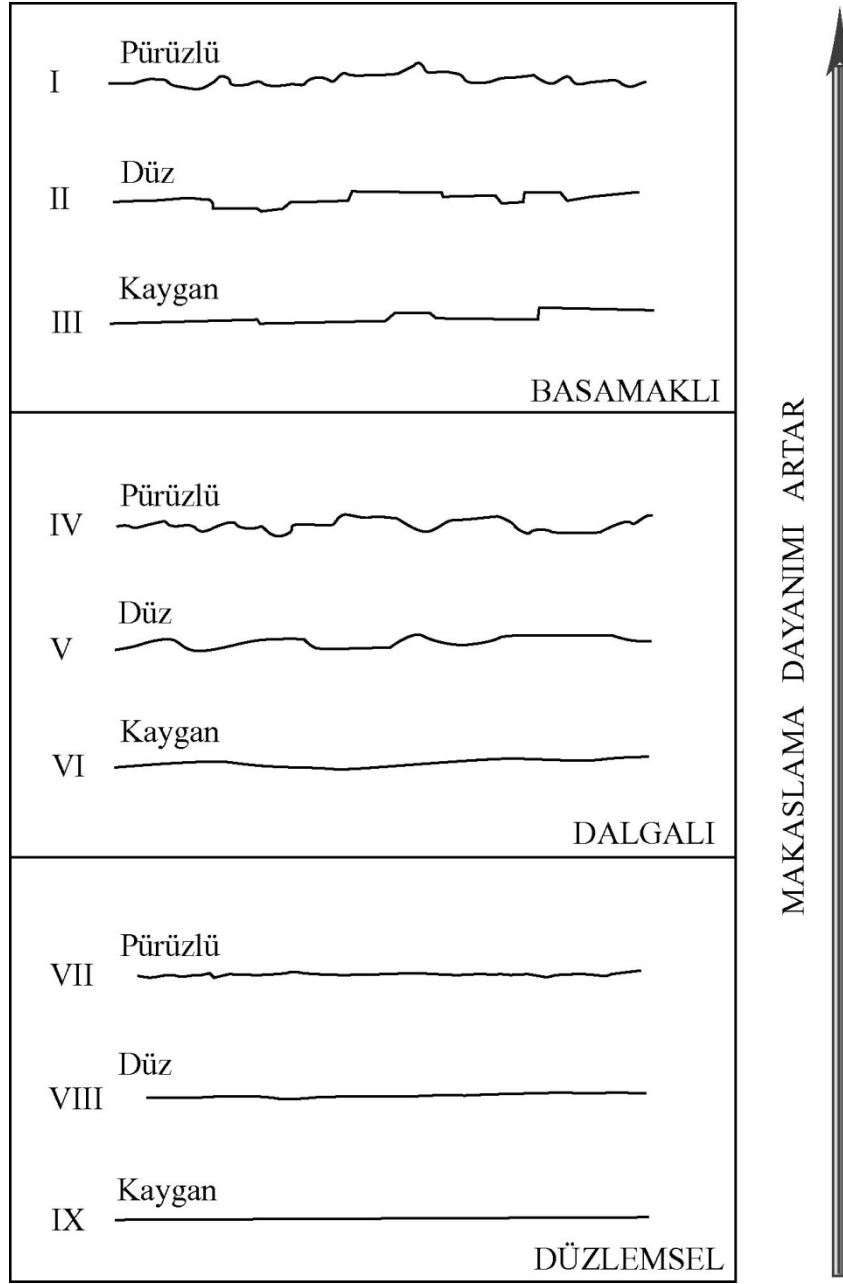
Şekil 4.6. İnceleme alanındaki süreksizlik devamlılığının dağılımı.

4.1.5. Süreksizlik Pürüzlülüğü

Pürüzlülük, bir süreksizlik yüzeyinin küçük ölçekte (cm boyutunda), dalgalılık ise büyük ölçekte (metre boyutunda) düzlemsellikten sapmasının bir ölçütü olarak tanımlanabilir (ISRM 2007). Her iki özellik de süreksizlik yüzeylerine ait makaslama dayanımının önemli bir bileşeni olarak rol oynar. Ancak süreksizlik açıklığı veya dolgu malzemesinin kalınlığının artmasıyla, pürüzlülüğün süreksizlik makaslama dayanım üzerine etkisi de azalmaktadır.

Süreksizlik pürüzlülüğünün belirlenmesine yönelik değişik yöntemler önerilmiştir (ISRM, 2007). Bunlar doğrusal profil alma yöntemi, pusula ve disk şeklindeki klinometre ile yapılan ölçümler ve mekanik profilometreler ile yapılan ölçümler şeklinde sıralanabilir. Profilometreler, arazide veya laboratuvar ölçeğinde süreksizliklerin pürüzlülük profillerinin sayısallaştırılması amacıyla kullanılan mekanik gereçlerdir (Wissbach, 1978; Swan, 1981; Aydan vd., 1995). Standart profillerde verilen süreksizlik yüzeyi pürüzlülük sayısı (JRC) ise 0-20 arasında değişmektedir. Barton ve Bandis (1982 ve 1990) süreksizlik yüzeyinde alınan değişik ölçüm uzunlukları için JRC'yi bulmak amacıyla pürüzlülük genliği ve ölçüm uzunluğundan yararlanmışlardır.

Bu çalışmada pürüzlülük ölçümünde, ISRM (2007) tarafından önerilen süreksizlik yüzeyi üzerinde pürüzlülük tarağı kullanılarak belirlenen profillerin standard pürüzlülük profilleri (Şekil 4.7) ile karşılaştırılması sonucunda süreksizliklerin pürüzlülüğü belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Pürüzlülüğün kalitatif olarak belirlenmesinde kullanılan pürüzlülük profilleri (ISRM, 2007).

Buna göre silttaşlarının süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğü genel olarak düzlemsel pürüzlü özellikte olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

4.1.6. Dolgu Malzemesinin Özelliği

Dolgu malzemesi, süreksizliğin karşılıklı iki yüzeyinin arasını dolduran ve genellikle ana kaya malzemesinden daha zayıf olan malzemedir. Kum, silt, kil, breş ve milonit tipik

dolgu malzemeleridir. Dolgulu bir süreksizlikte süreksizliğin iki yüzeyi arasındaki dik uzaklık dolgunun kalınlığını verir. Kalsit, kuvars ve pirit gibi yüksek dayanıma sahip mineraller hariç tutulursa, dolgu içeren süreksizlikler dolgusuz veya pürüzlü yüzeylere oranla daha düşük makaslama dayanımına sahiptirler ve bu nedenle kaya kütlelerinin dayanımı üzerinde daha etkin bir rol oynamaları beklenir. Çalışma alanındaki silttaşındaki süreksizlik dolgu kalınlığı milimetre bölmeli çelik şerit metreyle ölçülmüştür. Dolgu özelliklerinin belirlenmesinde ISRM (2007) tanımlama ölçütlerinden faydalanılmıştır.

İnceleme alanındaki süreksizlikler genellikle 1 mm ile 5 mm kalınlığında kalsit dolgulu, yer yer kil ve silttaş parçacıkları ile dolmuş durumdadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Silttaş eklemlerinde gözlenen kalsit dolgu.

4.1.7. Süreksizlik Yüzeyinin Bozunma Derecesi

Kaya kütleleri yüzeye yakın kesimlerde genellikle bozunmuş, daha derinlerde ise hidrotermal alterasyonun da etkisi ile ayrılmış olabilirler. Süreksizlik yüzeylerindeki bozunma derecesi ISRM (2007) tarafından önerilen ve arazi çalışması sırasında kolaylıkla belirlenebilen görsel bir sınıflamadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Süreksizliklerin bozunma derecesinin tanımlanması (ISRM, 2007).

Tanım	Tanımlama Ölçütü	Bozunma Derecesi
Taze	Kayaçlarda bozunma gözlenmiyor, ana süreksizlik yüzeylerinde önemsiz bir renk değişimi olabilir.	I
Az Bozunmuş	Kaya malzemesi ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir. Bozunma nedeni ile tüm kayacın rengi değişmiş ve kaya taze halinden daha zayıf olabilir.	II
Orta Derecede Bozunmuş	Kayanın yarısından daha az bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Kaya; taze yada renk değişimine uğramış olup, sürekli bir kütle veya çekirdek taşı halindedir.	III
İleri Derecede Bozunmuş	Kayanın yarısından daha fazla bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Kaya; taze yada renk değişimine uğramış olup ya bir süreksiz kütle yada çekirdek taşı halindedir.	IV
Tamamen Bozunmuş	Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış veya parçalanmıştır. Ancak orijinal kaya kütlelerinin yapısı halen korunmaktadır.	V
Artık Zemin	Kayanın tümü toprak zemine dönüşmüştür. Kaya kütlelerinin yapısı ve dokusu kaybolmuştur. Hacim olarak büyük bir değişiklik olmamakla birlikte zemin taşınmamıştır.	VI

Buna sınıflamaya göre çalışma alanındaki silttaşlarının süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesinin az bozunmuş özellikte olduğu belirlenmiştir.

4.1.8. Süreksizlik Yüzeyindeki Su Durumu

Kaya kütlelerinde suyun sızması, birbiriyle bağlantılı süreksizlikler boyunca (ikincil geçirgenlik) meydana gelen akışla gerçekleşir. Bu çalışmada, süreksizliklerdeki su durumunun sondajlar, kazı ve yarmalar ile takip edilebilmesindeki güçlükler nedeniyle, ISRM (2007) tarafından önerilen kayaç mostralarında yapılacak gözlemleri esas alan su sızıntılarıyla ilgili tanımlamalardan yararlanılmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Kaya kütleleri için su sızıntılarını sınıflama ve tanımlama ölçütleri (ISRM, 2007)

Sızıntı sınıflaması	Tanımlama
1	Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış (bu durumda sürekli akışın gözlemlendiği süreksizlikler gözlenmelidir)
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmelidir
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir

Çalışma alanında yapılan incelemeler sonucunda silttaşı kaya kütlelerinde süreksizlik düzlemlerinde herhangi bir su sızması veya damlamasına rastlanmamıştır. ISRM (2007) tanımlama ölçütlerine göre süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok özelliğindedir.

4.2. Jeoteknik Amaçlı Sondajlar

Sondaj çalışmaları, litolojik birimlerin özelliklerinin yatay ve düşey yönde değişimini belirlemek ve birimleri temsil eden örneklerin alınması amacıyla uygulanmıştır.

Bu çalışmada, süreksizliklerin özelliklerinin belirlenmesi, kaya kütlelerinin deformasyon modülünün belirlenmesine yönelik presiyometre deneylerinin gerçekleştirilmesi ve laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere karot örneklerin alınması amacıyla, tabaka düzlemleri ile 10° lik açılar yapan toplam 50 m uzunluğunda (SK1-SK7 beşer metre, SK8-SK12 üçer metre) 12 adet karotlu jeoteknik sondaj yapılmıştır (Şekil 4.9). Sondajlar tabaka düzlemi ile 0°-90° arasında değişen açılarda gerçekleştirilmiştir. Sondajlardan elde edilen karotlar üzerindeki ölçümler (Şekil 4.10) ile süreksizlik sıklığı, sağlam karot verimi (SKV), toplam karot verimi (TKV), kaya kalite göstergesi (RQD) ve bozunma derecesi (W) belirlenmiştir. Sondaj logları Ek-2’de verilmiştir.



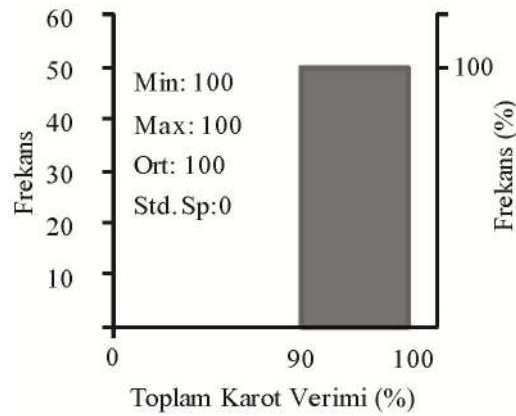
Şekil 4.9. Silttaşlarında 40°'lik jeoteknik amaçlı sondajın yapılması (Bakış yönü KD)



Şekil 4.10. Silttaşlarındaki sondajlardan alınan karotlardaki ölçümlerin yapılması.

4.2.1. Toplam Karot Verimi (TKV, %)

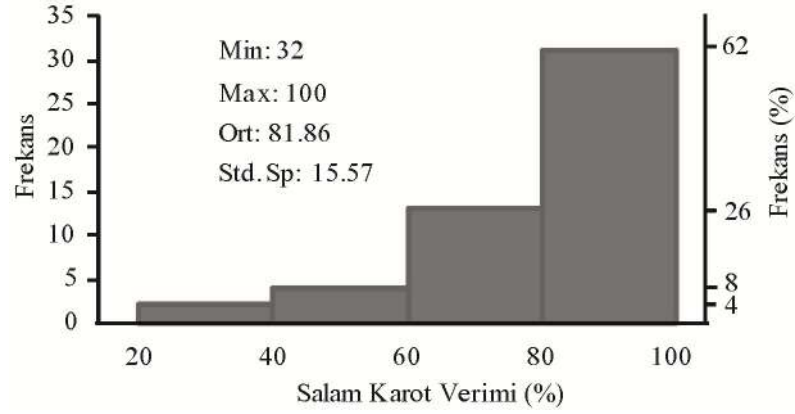
Toplam karot verimi, bir kademe ilerlemesinde karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme uzunluğuna oranının yüzde olarak ifadesidir. Karotların çok parçalı olması durumunda, parçalar yan yana getirilerek bunların uzunluğu ölçülür. Toplam karot verimi % 100'ü geçemez. Karot veriminin azalması kaya kütleindeki zayıf veya kırıklı zonların varlığına işaret eder. Toplam karot verimi belirlenirken, kaya kütleleri içinde bozunma nedeniyle zemine dönüşmüş seviyeler ile kil vb. zemin türü malzemeler de değerlendirmeye alınır (ISRM, 2007). Silttaşlarındaki toplam karot verimi %100 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Silttaşlarındaki toplam karot verimi dağılımı

4.2.2. Sağlam Karot Verimi (SKV, %)

Bir kademe ilerlemesinde tam çapını koruyan silindirik şekilli karot parçalarının toplam uzunluğunun ilerleme aralığına oranının yüzde olarak ifadesidir. Hesaplamada silindir şeklini koruması koşuluyla, kaya ve zeminlerden alınan tüm karotlar hesaplamaya dahil edilirler. Sağlam karot verimi, toplam karot veriminden hiçbir zaman daha büyük olamaz. Ancak kaya kütlesi masif olduğu zaman, dolayısıyla kırılmış parçalar halinde karot alınmadığı durumlarda bu iki değişken birbirine eşit olabilir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Silttaşlarındaki sağlam karot verimi %32-%100 arasındadır. Ortalama %81.86 sağlam karot verimine sahiptir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Silttaşlarının sağlam karot verimi dağılımı

4.2.3. Kaya Kalite Göstergesi (RQD, %)

Kaya kalite göstergesi, bir kademe ilerlemesinde doğal süreksizliklerle kesilmiş, boyu 10 cm ve daha büyük olan ve silindirik şeklini koruyan karot parçalarının toplam uzunluğunun kademe aralığının uzunluğuna oranı olup, yüzde olarak ifade edilir. Sondaj esnasında yapılan hatalar ve karotiyerden çıkarılırken veya sandığa yerleştirilirken oluşan yapay kırıklar RQD'nin tayininde göz ardı edilir. Silttaşlarının RQD değerinin belirlenmesinde Deere (1964) tarafından önerilen sınıflama (Çizelge 4.5) dikkate alınmıştır.

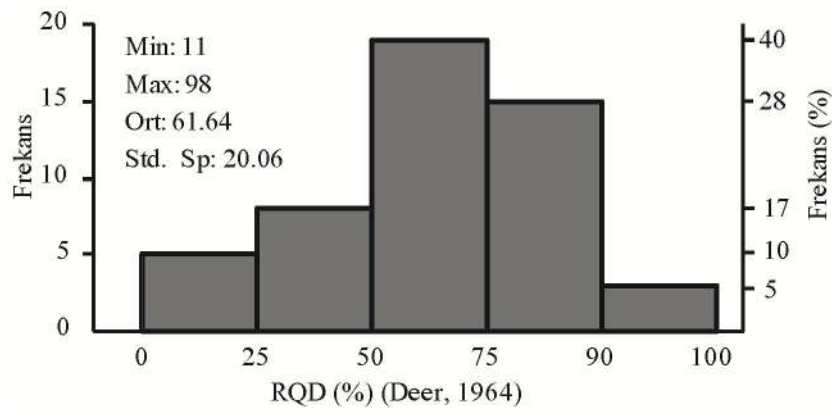
Çizelge 4.5. RQD sınıflaması (Deere, 1964)

RQD	Kaya Kalite Göstergesi
0-25	A. Çok zayıf
25-50	B. Zayıf
50-75	C.Orta
75-90	D. İyi
90-100	E. Çok iyi (mükemmel)

Silttaşı karotlarının incelenmesi ile her metre için; Deere (1964)'e göre RQD'nin dağılımı Çizelge 4.6'da ve istatistiksel değerlendirilmesi Şekil 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Silttaşlarının sondaj karotlarından elde edilen süreksizlik özellikleri

Özellik	Sınır Değerleri	Kaya Kalitesi	Dağılım (%)
RQD	0-25	Çok düşük	10
	25-50	Düşük	17
	50-75	Orta	40
	75-90	İyi	28
	90-100	Çok iyi	5
1 m deki süreksizlik sayısı	<1	Masif	0
	1-4	Az çatlaklı-kırıklı	28
	5-10	Kırıklı-çatlaklı	64
	11-50	Çok çatlaklı-kırıklı	8
Bozunma Derecesi	W1	Taze	0.00
	W2	Az Bozunmuş	61.22
	W3	Orta Bozunmuş	38.78
	W4	Tamamen Bozunmuş	0.00
	W5	Artık Zemin	0.00

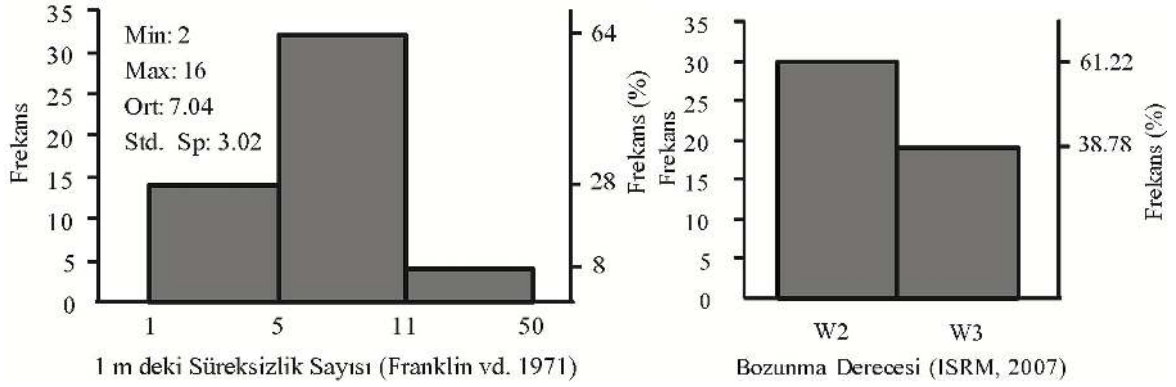


Şekil 4.13. Silttaşlarında RQD dağılımı

RQD'ye göre kaya kütlelerinin % 10'u çok düşük, % 17 si düşük, % 40'ı orta kaya, % 28'i iyi ve % 5'i çok iyi kaya kalitesinde olduğu ve ortalama RQD % 61.64 ve orta kaya kalitesindedir.

4.2.4. Bir Metredeki Süreksizlik Sayısı ve Bozunma Derecesi

Bir metredeki doğal süreksizliklerin sayısı, ilerleme aralığı boyunca doğal süreksizliklerin sayısı için hesaplanır. Eğer bir ilerleme aralığı boyunca eklem sıklığında, örneğin faylanma veya makaslama nedeniyle belirgin farklılıklar gözleniyorsa, bu kısımlar için ayrıca hesaplanır. Bozunma derecesi; kaya malzemesindeki renk, dokusal özellik ve süreksizlik özellikleri göz önünde bulundurularak görsel olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalarda 1 m deki süreksizlik sayısı Franklin vd. (1971)'e göre, bozunma derecesi ise ISRM (1981)'ye göre belirlenmiş ve elde edilen veriler yardımıyla yüzde dağılımı Şekil 4.14'de verilmiştir. Sondajlardan alınan karot örneklerin fotoğrafları Ek 3'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Silttaşlarının 1 m deki süreksizlik sayısı ve bozunma derecesi dağılımı

Silttaşlarının 1 m deki süreksizlik sayısına göre % 28'i az çatlaklı kırıklı, % 64'ü kırıklı çatlaklı ve % 8'i çok çatlaklı-kırıklıdır. Silttaşları bozunma derecesine göre % 61.22 si az bozunmuş ve %38.78'i ise orta derecede bozunmuş özelliktedir (Çizelge 4.6).

4.3. Presiyometre Deneyi ve Kaya Kütlesinin Deformasyon Modülünün Belirlenmesi

Dilatometre ve presiyometre deneyleri kaya kütle deformasyon modülünü yerinde belirlemede kullanılan en uygun yöntemlerdir (Galera, at al., 2005). Sondaj kuyusu içinde yanal yükleme şeklinde uygulanan presiyometre deneyi ile kaya kütle deformasyon modülü, taşıma gücü, zeminlerde meydana gelen oturmalar ve zeminin dayanım parametrelerini belirlemek amacıyla kullanılır.

1950'li yılların ortalarında, Mr. Louis Menard adlı bir Fransız, presiyometreyi bularak İllionis (ABD) Üniversitesi'nden mezuniyet çalışmalarında, araştırma için kullanmıştır.

Yerinde deney yöntemleri arasında yaygın bir kullanıma sahip olan presiyometre deneyi ilk defa Menard (1956) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonra Menard sonsuz uzunluktaki silindirik boşlukların genişlemesi teorisini kullanarak kesme modülünün hesaplanmasını önermiştir. Ülkemizde ise ilk presiyometre deneyleri 1969 yıllarında DSİ tarafından Menard firmasından alınan G tipi presiyometre ile başlamıştır. Presiyometre deneyi kullanım potansiyeli, dünyanın birçok ülkelerinde olduğu gibi, ülkemizde de gittikçe artmakta ve ağırlık kazanmaktadır. Günümüzde, zemine en fazla basınç uygulayabilen presiyometre cihazları GB ve GA tipi olup zemine 10000 kPa – 20000 kPa’a kadar basınç uygulayabilmektedir.

Presiyometre deneyi yerinde (in-situ) yapılan bir deney olup açılan bir sondaj kuyusu içerisinde radyal basınç uygulanması ve uygulanan basıncın sondaj çeperinde oluşturduğu deformasyonların ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Pratikte bu testin yapılacağı seviyeye kadar sondaj kuyusu açılır. Bu kuyu silindirik bir boşluk oluşturur. Radyal genişlemeye elverişli presiyometre probu istenilen test seviyesine indirilir ve boşluğu genişletmek için şişirilir. Uygulanan her basınç kademesinde oluşan hacim artışları kaydedilir. Prob öyle tasarlanmış ki, boşluğun boyu değişmez ve hacim artışı sadece kuyunun radyal olarak genişlemesiyle mümkün olur. Böylece presiyometre deneyi arazide sondaj kuyuları içinde uygulanabilen bir çeşit “statik yüklenme deneyi” olarak tarif edilebilir. Deneye başlamadan önce, cihazlardan kaynaklanan basınç ve hacim kayıpları aşağıda verilen testlerle belirlenmeye çalışılıp, deneyde elde edilen ham veriler düzeltilir. Deney esnasında kullanılacak olan standard prob tipi ve boyutları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Presiyometre deneyinde kullanılan prob tipi ve boyutları

Tipi	Kuyu Çapı (mm)		Prob Çapı (mm)	Ölçüm Hücresi Hacmi V_o (cm ³)	Aktif Prob Boyu (cm)	Toplam Prob Boyu (cm)
	Min.	Max.				
BX	60	66	58	535	40	42
NX	76	82	74	790	43	45

a) Basınç Kaybı Deneyi

Probun lastik kısmının az da olsa bir direnci vardır. Bu direnç için kullanılan basıncın deneyin yapıldığı zemine verilen basınç içine dahil edilmemesi için kuyu içine prob

indirilmeden, açık havada, toplam suyun (700 cm^3) proba gidebileceği kadar basınç verilerek deney yapılır (Şekil 4.15).



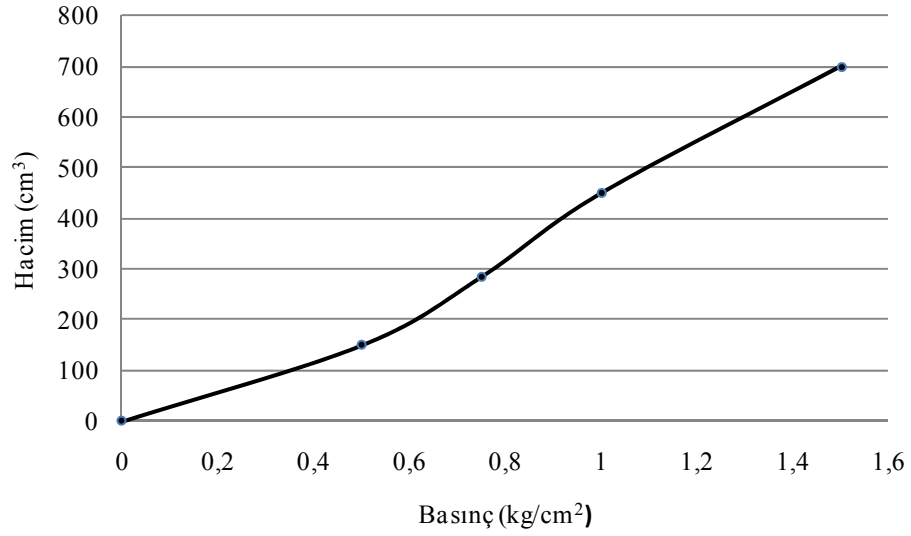
Şekil 4.15. Presiyometre için açık havada basınç kalibrasyonu deney düzeneği.

74 mm lik probun basınç kalibrasyonuna ait deney sonuçları Çizelge 4.8’de, bu sonuçlara göre çizilen basınç-hacim grafiği ise Şekil 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Basınç kaybı test sonuçları.

Basınç (kg/cm^2)	Hacim (cm^3)
0	0
0.5	150
0.75	285
1	450
1.5	700

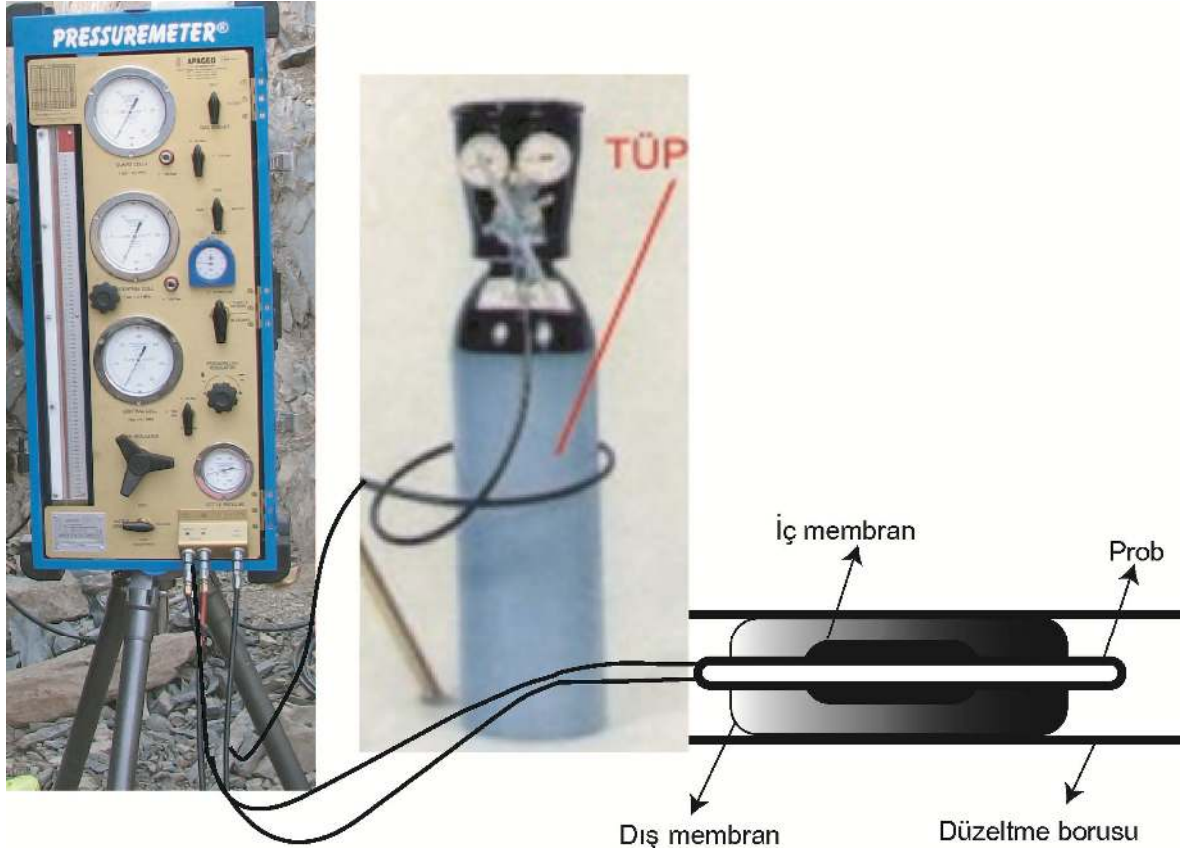
Bu basınçlar daha sonra deneyde oluşacak basınçlardan çıkarılarak basınç düzeltmesi yapılır.



Şekil 4.16. Basınç düzeltme verilerinden elde edilen 74 mm lik proba ait hacim-basınç ilişkisi

b) Hacim Kaybı Deneyi

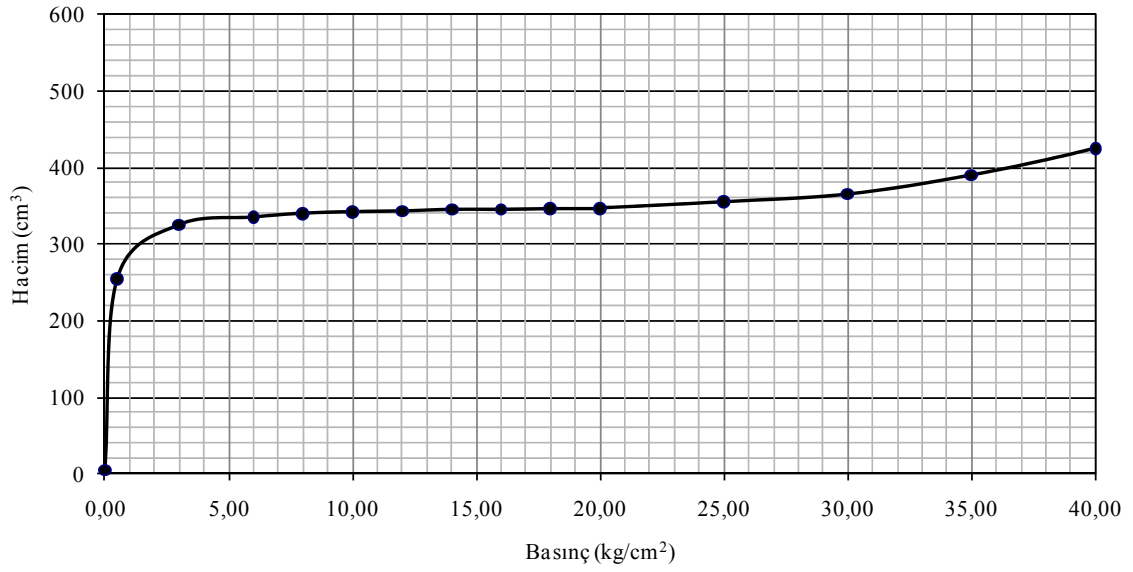
Tüm prob boyunca oluşabilecek hacimsel bir genişleme deney sonuçlarını etkileyebilecektir. Bu nedenden dolayı prob kuyuya sokulmadan önce, kuyu çapında yapılmış düzeltme aleti içerisine sokularak deney yapılır (Şekil 4.17). Hacim düzeltmesine ait basınç ve oluşan hacimsel genişleme verileri Çizelge 4.9’da, bu değerlere karşılık gelen hacim-basınç ilişkisi ise Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Hacim düzeltme deney düzeneği

Çizelge 4.9. 74 mm lik proba ait hacim düzeltme değerleri

Basınç Okuması (kg/cm ²)	Hacim Okuması (cm ³)
0	0
0.5	255
3	325
6	335
8	340
10	342
12	343
14	345
16	345
18	346
20	347
25	355
30	365
35	390
40	425



Şekil 4.18. Hacim düzeltme verilerinden elde edilen basınç-hacim ilişkisi

Hacim düzeltmesi yapıldıktan sonra deneyden elde edilen ham verilerin düzeltmesi aşağıdaki eşitlik ile belirlenir.

$$V_c = V_r - a \cdot P_r \quad (4.4)$$

$$a = \Delta V / \Delta P \quad (4.5)$$

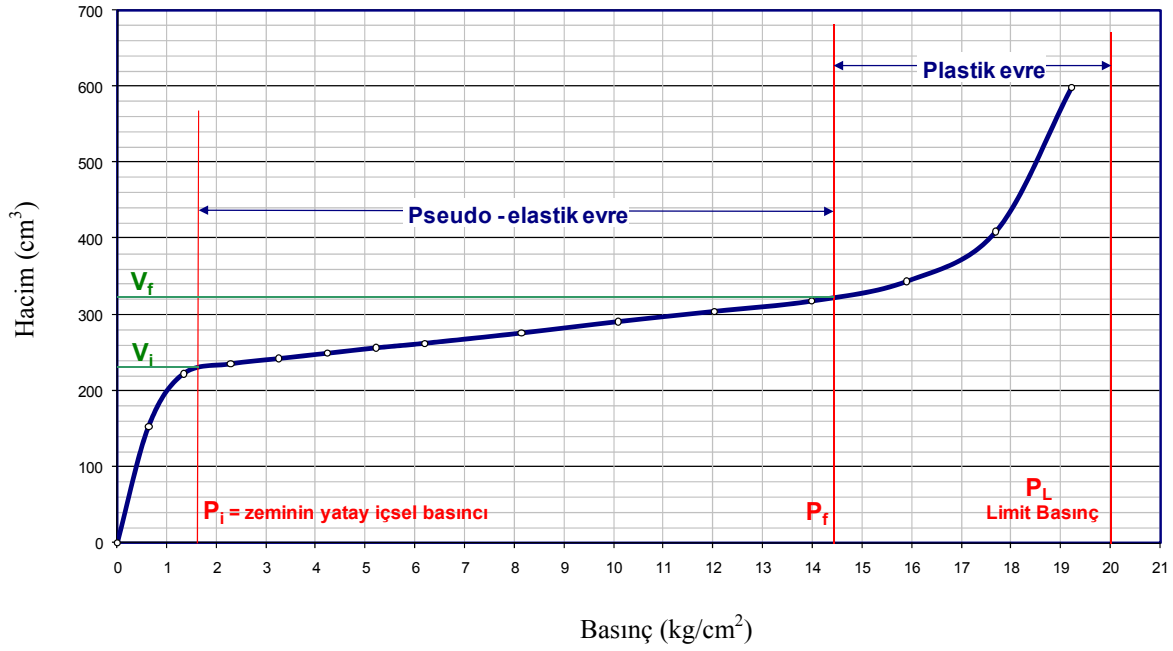
V_c : Hacim kaybı

V_r : Deney esnasında herhangi bir kademedeki hacim okuması

P_r : Deney esnasında herhangi bir kademedeki basınç okuması

a : Hacim düzeltme eğrisinin pseudo elastik evresinden elde edilir.

Basınç ve hacim düzeltmeleri yapıldıktan sonra düzeltilmiş basınç-hacim verileri kullanılarak presiyometre deneyinden elde edilen hacim-basınç ilişkisi çizilir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Presiyometre deneyi hacim-basınç ilişkisi

Silindirik bir boşlukta, basıncın ΔP kadar artması ile çapta meydana gelen Δr değişmesi için aşağıdaki temel bağıntı yazılabilir.

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{1 + \mu}{E} \Delta P \text{ buradan} \quad (4.6)$$

$$E = r (1 + \mu) \frac{\Delta P}{\Delta r} \text{ olur} \quad (4.7)$$

μ = Poisson oranı

E = Menard Elastisite Modülü (kg/cm^2) (Presiyometre deformasyon modülü)

Presiyometre deney eğrisinin elastik kısmında, ΔP (kg/cm^2) basınç artışına karşılık gelen hacimsel deformasyon ΔV (cm^3) ile gösterilirse, kayma modülü

$$G = V \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (4.8)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Elastik ortamda G ve E arasındaki temel bağıntı ;

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (4.9)$$

Buradan ;

$$E = 2V(1 + \mu) \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (4.10)$$

Burada V ve ΔP basınç uygulama safhasında ortalama prop hacmi olup,

$$V = V_0 + V_m \quad (4.12)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlikte

V_0 = Ölçüm hücresinin boş hacmi (cm^3),

V_m = Elastik safhadaki suyun hacmi (cm^3)

$$V_m = \frac{V_i + V_f}{2} \quad (4.12)$$

V_i = Elastik safhanın başlangıcındaki hacim (cm^3) dir.

V_f = Elastik safhanın bitiminde, yani plastik safhanın başlangıcındaki hacim (cm^3)

Böylece presiyometre deformasyon modülü

$$E_m = 2(1 + \mu)(V_0 + V_m) \frac{\Delta P}{\Delta V} \quad (4.13)$$

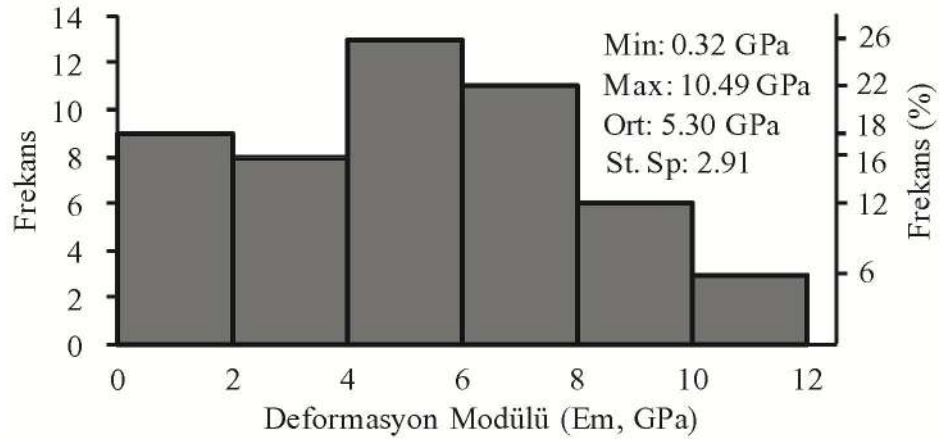
olarak yazılabilir. Bu formülde Poisson oranı Menard tarafından 0.33 olarak seçilmiş olup, Centre D'Etudes Ménard (1975) ve ASTM (2000) tarafından kaya ve zeminler için kullanılabilirliği uygun görülmüştür. Bu çalışmadaki deformasyon modülü hesaplamalarında Poisson oranı 0.33 olarak kabul edilmiştir.

Kaya kütle deformasyon modülünü belirlemek amacıyla, çalışma alanında belirlenen 12 farklı sondaj lokasyonunda tabakalanma düzlemine farklı açılarda (0° - 90°) yaptırılan toplam 50 m karotlu temel sondajının her metresinde Menard GA tipi presiyometre ile deneyler yapılmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Arazide Menard GA tipi presiometre deney aleti ile deneyin yapılışı.

Deformasyon modülünün hesaplanmasında eşitlik 4.13 kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10’da verilmiştir. Hesaplanan kaya kütle deformasyon modülünün dağılımı Şekil 4.21’de verilmiştir. Silttaşlarına ait kaya kütle deformasyon modülü 0.32 GPa ile 10.49 GPa arasında değişmekte olup, ortalama 5.30 GPa dır. Silttaşlarına ait kaya kütle deformasyon modülünün geniş aralıkta değişim göstermesi, presiometre deneylerinin tabaka düzlemine farklı açılarda açılmış olan jeoteknik amaçlı sondajlarda yapılmasına ve kaya kütle özelliklerine bağlı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.21. Kaya kütle deformasyon modülü dağılımı

Çizelge 4.10. Presiyometre deney verilerinden hesaplanan deformasyon modülü (E_m)

Sondaj No	Derinlik (m)	*Açı	E_m (GPa)	Sondaj No	Derinlik (m)	*Açı	E_m (GPa)
SK1	1	0	6,9	SK6	1	40	10,34
	2	0	10,49		2	40	6,88
	3	0	7,7		3	40	0,7
	4	0	9,75		4	40	3,8
	5	0	6,87		5	40	2,69
SK2	1	10	3,77	SK7	1	60	8,44
	2	10	4,09		2	60	3,04
	3	10	4,95		3	60	5,79
	4	10	6,56		4	60	4,75
	5	10	3,32		5	60	1,53
SK3	1	30	4,63	SK8	1	50	0,71
	2	30	5,85		2	50	3,04
	3	30	3,07		3	50	5,5
	4	30	1,92		1	80	5,06
	5	30	5,96	SK9	2	80	4,34
SK4	1	90	4,06		3	80	3,31
	2	90	2,52		1	70	5,48
	3	90	7,98	SK10	2	70	1,75
	4	90	9,3		3	70	7,21
	5	90	9,65		1	60	9,2
SK5	1	20	0,47	SK11	2	60	4,67
	2	20	5,06		3	60	4,07
	3	20	8,32		1	30	6,53
	4	20	7,2	SK12	2	30	10,06
	5	20	7,99		3	30	7,61

*Açı: Sondaj doğrultusu ile tabaka düzlemi arasındaki açı (β , derece)

4.4. Laboratuvar İncelemeleri

Kayaçların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması kaya mekaniği biliminin ve bununla ilgili tasarım uygulamalarının önemli bir parçasıdır. Kayaçların doğal birim hacim ağırlığı, gözenekliliği, kohezyonu, içsel sürtünme açısı, tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü tasarımda kullanılan en önemli özellikleridir.

Laboratuvar çalışmalarında karot örnekleri kullanılmıştır. Örnekler ISRM (2007) deney standartlarına uygun bir şekilde hazırlanmış ve jeomekanik özellikleri Fırat Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda belirlenmiştir.

Hazırlanan karot örneklerinde ISRM (2007) standartlarına uygun olarak; tek eksenli basma dayanımı, üç eksenli sıkışma deneyinden kohezyon ve içsel sürtünme açısı, elastisite modülü ve poisson oranı incelenmiştir. Nokta yükü dayanım indeksi deneyi ISRM (1985)'e göre yapılmıştır.

4.4.1. Örnek Hazırlama

Kaya mekaniği deneylerinden sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla standartlara uygun boyutta ve nitelikte karot örnek hazırlanmalıdır. Karotların boy/çap oranı 2.5-3.0 alınmış, alt ve üst yüzeyleri karot kesme makinasında düzeltilmiştir (Şekil 4.22). Örnek yüzeylerinin birbirine paralellliğini sağlamak için 0.01 hassasiyetli komparatörle test edilmiştir.



Şekil 4.22. Karot örneklerinin hazırlanması

4.4.2. Mekanik Özellikler

4.4.2.1. Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (σ_c)

Deney, silindirik bir şekle sahip kayaç örneklerinin tek eksenli sıkışma gerilmesi altındaki dayanımını belirlemek amacıyla yapılır. Bu özellik kaya kütle sınıflamalarında ve jeoteknik tasarımlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımları belirlenirken, ISRM (2007) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır. Örneklerin tek eksenli sıkışma dayanımı (σ_c) aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma_c = F/A \quad (4.16)$$

Burada,

F: Yenilme anında kaydedilen yük,

A: Silindirik örneğin kesit alanı = $\pi(D/2)^2$

Çalışmada 51.00-60.00 mm çaplı karotlar üzerinde deneyler yapılmış (Şekil 4.23), deney sonuçları aşağıdaki formül kullanılarak referans çapa (50 mm) göre düzeltilmiştir (Hoek ve Brown, 1980).



Şekil 4.23. Silttaşlarında yapılan tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{cd}}{\left(\frac{50}{D}\right)^{0.18}} \quad (4.17)$$

Bu eşitlikte;

σ_c : 50 mm çapında bir karot için eşdeğer tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

σ_{cd} : D çapındaki bir örneğin tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

D: Örnek çapıdır. (mm)

Bu çalışmada silttaşlarının anizotropisi (tabakalanma) dikkate alınarak 0° ile 90° arasında 10°'lik açılarla yönlü örnek alınmış, ve laboratuarda tek eksenli basma deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Ek 4'te, bu sonuçlara ait istatistiksel dağılım ise Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Silttaşlarına ait mekanik ve elastik özelliklerin yükleme doğrultusuna göre değişimi

Yükleme doğrultusu İle tabaka düzlemi arasındaki açı	Özet İstatistik	Mekanik Özellikler		Elastik Özellikler	
		Tek eksenli sıkışma dayanımı σ_c (MPa)	Nokta yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)}$ (MPa)	Elastisite modülü, E_i (GPa)	Poisson oranı, ν
0°	Örnek sayısı	6	15	5	5
	En az	67.3	0.71	14.9	0.11
	En çok	119	5.21	32.8	0.27
	Ortalama	104.18	2.35	26.4	0.17
	Standard Hata	8.01	0.27	3.37	0.029
	Standard Sapma	19.62	1.06	7.54	0.06
10°	Örnek sayısı	5	15	5	5
	En az	39.15	0.56	11.87	0.08
	En çok	100.4	4.36	38.28	0.14
	Ortalama	75.38	2.32	21.88	0.11
	Standard Hata	10.98	0.29	4.46	0.012
	Standard Sapma	24.55	1.14	9.97	0.03
20°	Örnek sayısı	7	9	5	5
	En az	44.5	1.22	28.41	0.07
	En çok	115.2	3.61	47.51	0.39
	Ortalama	73.77	2.28	36.36	0.21
	Standard Hata	8.99	0.27	3.40	0.05
	Standard Sapma	23.78	0.82	7.60	0.12
30°	Örnek sayısı	12	22	8	8
	En az	20.8	0.64	17.95	0.08
	En çok	81	7.27	43.15	0.21
	Ortalama	54.88	3.30	31.40	0.15
	Standard Hata	5.26	0.33	3.07	0.016
	Standard Sapma	18.23	1.53	8.70	0.05
40°	Örnek sayısı	4	7	5	5
	En az	12.3	0.39	21.67	0.15
	En çok	85.9	3.79	42.02	0.23
	Ortalama	41.8	2.11	32.25	0.18
	Standard Hata	15.64	0.43	3.68	0.017
	Standard Sapma	31.28	1.14	8.24	0.038
50°	Örnek sayısı	3	12	3	3
	En az	15.4	1.18	12.01	0.12
	En çok	60.18	3.84	43.63	0.16
	Ortalama	38.06	2.14	29.73	0.14
	Standard Hata	12.93	0.24	9.32	0.012
	Standard Sapma	22.39	0.83	16.15	0.021

Çizelge 4.11'in devamı

Yükleme doğrultusu İle tabaka düzlemi arasındaki açı	Özet İstatistik	Mekanik Özellikler		Elastik Özellikler	
		Tek eksenli sıkışma dayanımı σ_c (MPa)	Nokta yükü dayanım indeksi, $I_{s(50)}$ (MPa)	Elastisite modülü, E_i (GPa)	Poisson oranı, ν
60°	Örnek sayısı	9	21	8	8
	En az	18.9	0.69	16.06	0.03
	En çok	85.6	5.87	55.26	0.23
	Ortalama	56.12	2.77	32.07	0.12
	Standard Hata	7.18	0.31	5.41	0.029
	Standard Sapma	21.53	1.43	15.31	0.08
70°	Örnek sayısı	6	5	3	3
	En az	40.5	1.82	30.05	0.12
	En çok	74.9	5.16	46.25	0.19
	Ortalama	60.6	3.34	37.50	0.16
	Standard Hata	5.52	0.56	4.72	0.02
	Standard Sapma	13.53	1.25	8.18	0.036
80°	Örnek sayısı	4	4	3	3
	En az	48.2	0.72	19.12	0.08
	En çok	79.4	2.57	35.36	0.17
	Ortalama	65.6	1.66	28.25	0.12
	Standard Hata	6.48	0.38	4.80	0.03
	Standard Sapma	12.96	0.77	8.31	0.045
90°	Örnek sayısı	8	13	5	5
	En az	40.7	0.53	22.35	0.08
	En çok	86.1	6.11	41.43	0.4
	Ortalama	67.04	2.76	29.11	0.23
	Standard Hata	5.45	0.38	3.29	0.06
	Standard Sapma	15.43	1.39	7.36	0.13

Silttaşının tek eksenli basma dayanımı 0° için, 67.30 MPa ile 119.00 MPa arasında, 10° için, 39.15 MPa ile 100.40 MPa arasında, 20° için, 44.50 MPa ile 115.20 MPa arasında, 30° için, 20.80 MPa ile 81.00 MPa arasında, 40° için, 12.30 MPa ile 85.90 MPa arasında, 50° için, 15.40 MPa ile 60.18 MPa arasında, 60° için, 18.90 MPa ile 85.60 MPa arasında, 70° için, 40.50 MPa ile 74.90 MPa arasında, 80° için, 48.20 MPa ile 79.40 MPa arasında, 90° için, 40.70 MPa ile 86.10 MPa arasında değişim göstermektedir.

4.4.2.2. Üç Eksenli Gerilme ve m_i Sabiti

Üç eksenli sıkışma, kaya malzemesinin makaslama dayanımı parametrelerini (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) ve Hoek-Brown yenilme ölçütündeki kaya malzemesine ait “ m_i ” sabitini bulmak için yapılmıştır (ISRM, 2007). Üç eksenli gerilmede kullanılacak hücrenin çapına (NX veya NQ) uygun olarak boy/çap oranı 2.5 olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 4.24).

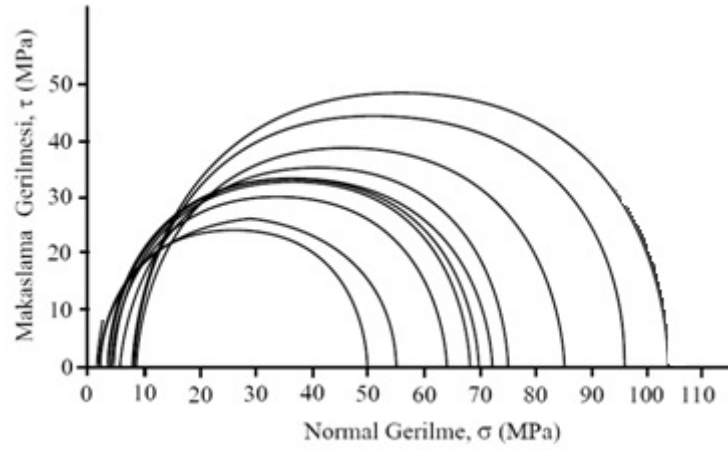


Şekil 4.24. Siltaşlarının üç eksenli gerilmede kullanılan örnekleri, Hoek hücresi ve yenilen bir karot

Eksenel yükleme hızı, deneyin başında ve kayaç 5-15 dakika arasında yenilecek veya gerilme hızı 0.5 ile 1 MPa/s olacak şekilde ayarlanır. Yenilme her seferinde bir önceki deneyde seçilen yanal basınç değerinden daha yüksek bir yanal basınç uygulanarak tekrarlanır. Yenilmeler sonucunda elde edilen en büyük ve en küçük (σ_1 ve σ_3) asal gerilmelerden yararlanarak Mohr daireleri τ - σ ekseninde gösterilmiştir. Siltaşının üç eksenli sıkışma dayanımı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir. Yenilmelerden elde edilen Mohr daireleri Şekil 4.25’de gösterilmiştir.

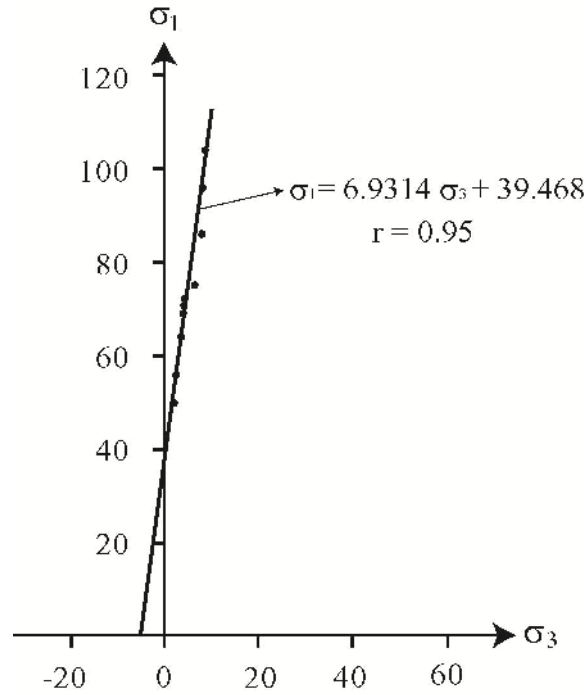
Çizelge 4.12. Silttaşına ait üç eksenli gerilme değerleri

Örnek No	Boy(cm)	Çap(cm)	σ_3 (MPa)	σ_1 (MPa)
1	12,75	5,1	2	55
2	12,75	5,1	4	64
3	12,75	5,1	8	96
4	12,75	5,1	2	50,09
5	12,75	5,1	4	68
6	12,75	5,1	4	70,16
7	12,75	5,1	8	105
8	12,75	5,1	8	86
9	10,2	5,1	6	75
10	10,2	5,1	4	72



Şekil 4.25. Silttaşlarında yapılan üç eksenli sıkışma deneylerine ait Mohr daireleri

Sağlam kayanın dayanımı üç eksenli sıkışma deneyinde uygulanan yanal basınç seviyelerinden oldukça yüksek olması sebebi ile bu verilerle çizilen Mohr daireleri iç içe girdiği için (Şekil 4.25) bu dairelere uygun bir teğet çizilememiştir. Bu durumda makaslama dayanımı değişkenleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) Bulut (2002) tarafından önerilen üç eksenli sıkışma dayanımı deney verilerinin (σ_1 ve σ_3) kullanılmasıyla çizilen regresyon doğrusundan (Şekil 4.26) elde edilen denklem kullanılarak türetilen eşitlikler yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 4.26. σ_1 ve σ_3 veri çiftleri kullanılarak çizilen regresyon grafiği

Yukarıdaki basit regresyon grafiğinden elde edilen fonksiyon $\sigma_1 = a \sigma_3 + b$ dir.

Kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerini belirlemeye yönelik Bulut (2002) tarafından önerilen eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$a = \tan^2(45 + \phi/2) \text{ eşitliğinden} \quad \phi = 2[(\text{Arc tg} \sqrt{a}) - 45] \quad (4.18)$$

ve

$$b = 2c \tan(45 + \phi/2) \text{ eşitliğinden ise} \quad c = \frac{b}{2 \tan(45 + \frac{\phi}{2})} \quad (4.19)$$

Bu eşitliklerden yararlanarak kohezyon 7.49 MPa, içsel sürtünme açısı ise 48.40° olarak bulunmuştur.

Silttaşlarına ait mi sabiti ise yapılan üç eksenli sıkışma dayanımından elde edilen veri çiftleri kullanılarak aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir (Hoek-Brown, 1980).

$$mi = \frac{1}{\sigma_c} \left[\frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \right] \quad (4.20)$$

bu eşitlikte;

σ_c : Tek eksenli sıkışma dayanımı

x_i : en küçük asal gerilme (σ_3)

$$y_i: (\sigma_1 - \sigma_3)^2$$

n: σ_1 ve σ_3 veri çiftlerinin sayısıdır.

Eşitlik 4.20'ye göre mi sabiti 8.92 olarak hesaplanmıştır.

4.4.2.3. Nokta Yüğü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$)

Nokta yüğü dayanım indeksi, tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde ve bazı kaya kütle sınıflama sistemlerinde sağlam kayanın dayanım parametresi olarak kullanılır. Deneyde silindirik karot örneklerinin yanı sıra, blok ve düzensiz şekilli örnekler de kullanılabilir. Bu çalışmada nokta yüğü dayanım indeksi ISRM (1985)'e göre karot örnekleri üzerinde belirlenmiştir (Şekil 4.27). Karotun uzunluğunun (L) çapına (D) oranı $L/D=1.0-1.4$ alınmıştır. Çapı ve boyu kompas ile ölçülen örnekler konik uçların arasına karotun eksenine dik yönde yerleştirilmiş, yükleme örneklerin 10-60 s içinde kırılacak şekilde yapılmıştır. Nokta yüğü dayanım indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (4.21)$$

Burada;

I_s : Düzeltilmemiş nokta yüğü dayanım indeksi

D_e : Çapsal deneyde karot çapı

P: Yenilme anındaki yük

Düzeltilmiş nokta yüğü dayanım indeksi ise

$$I_{s(50)} = F \cdot I_s \quad (4.22)$$

eşitliğinden, boyut düzeltme faktörü ise

$$F = (D_e/50)^{0.45} \quad (4.23)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

F: Boyut düzeltme faktörü, $I_{s(50)}$: Düzeltilmiş nokta yüğü dayanım indeksidir.



Şekil 4.27. Silttaşlarında nokta yükü dayanım indeksinin belirlenmesi

Bu çalışmada silttaşlarının anizotropisi (tabakalanma) dikkate alınarak 0° ile 90° arasında 10° 'lik açılarla yönlü örnek alınmış, ve laboratuarda nokta yükü dayanım indeksi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Ek 4'te, bu sonuçlara ait istatistiksel dağılım ise Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Silttaşının nokta yükü dayanım indeksi 0° için, 0.71 MPa ile 5.21 MPa arasında, 10° için, 0.56 MPa ile 4.36 MPa arasında, 20° için, 1.22 MPa ile 3.61 MPa arasında, 30° için, 0.64 MPa ile 7.27 MPa arasında, 40° için, 0.39 MPa ile 3.79 MPa arasında, 50° için, 1.18 MPa ile 3.84 MPa arasında, 60° için, 0.69 MPa ile 5.87 MPa arasında, 70° için, 1.82 MPa ile 5.16 MPa arasında, 80° için, 0.72 MPa ile 2.57 MPa arasında, 90° için, 0.53 MPa ile 6.11 MPa arasında değişim göstermektedir.

4.4.3. Elastik Özellikler

4.4.3.1. Statik Elastisite (Young) Modülü (E_i) ve Poisson Oranı (ν)

Bu deney, silindirik şekilli sağlam kayaç karot örneklerinin tek eksenli yükleme koşulunda "gerilme-birim deformasyon" eğrilerinin çizilmesi ve Young modülü ile Poisson oranının tayini amacıyla yapılır. Deneyde ISRM (2007)'nin önerileri dikkate alınmıştır. Tek eksenli sıkışma dayanımı deneyindeki gibi, boy/çap oranı 2.5-3.0 arasında

olacak şekilde, alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz, düz ve herhangi bir kırık-çatlak içermeyen sağlam karot örnekleri hazırlanır. Birim deformasyon ölçerler (strain gauges), uygulamada genellikle deneye tabi tutulacak örneğin silindirik yüzeylerinin orta noktasına biri yatay, diğeri düşey yönde olacak şekilde yapıştırılır (Şekil 4.28). Deney örneği prese yerleştirildikten sonra, birim deformasyon ölçerlerin uçları bağlantı kabloları aracılığıyla birim deformasyon göstergesinin iki ayrı kanalına bağlanır. Birim deformasyon göstergesinin her iki kanalı da sıfırlanır ve yükleme yapılmadan önce ilk değerler okunur. Örneğin 5 ile 10 dakika arasında yenilmesini sağlayacak bir yükleme hızı seçilerek, bu hız preste ayarlanır veya alternatif olarak 0.5 – 1 MPa/s'lik bir gerilme hızı uygulanır. Sabit yükleme altında, belirli yük düzeylerinde düşey ve yatay birim deformasyonlar, birim deformasyon ölçerlerin bağlı olduğu kanallardan; bu değerlere karşılık gelen eksenel (düşey) yük değerleri ise, presin üzerindeki göstergeden birlikte okunarak kaydedilir (Şekil 4.28). Deneyde en az 10 adet okuma yapılmalıdır. Belirli yükleme aşamalarında yapılacak okumalar için izlenebilecek bir yol da, ilk okumaların deney örneğinin tahmin edilen tek eksenli sıkışma dayanımının %5'ine karşılık gelen yük değerinde alınması, daha sonraki okumaların da dayanımın %10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 ve 60'ına karşı gelen yük seviyelerinde yapılmasıdır. İstenirse, kayaç örneği yenilene kadar deneye devam edilerek daha çok sayıda okuma alınabilir. Bu çalışmada elastisite modülü ve poisson oranı ISRM (2007)'ye göre belirlenmiştir. Deneyde eksenel ve çapsal birim deformasyonlar 10 kanallı TDS-530 Data Logger deformasyon ölçer kullanılarak tek eksenli basma deneyi yapılırken oluşan deformasyonlar kaydedilmiştir. Eksenel ve yanal birim deformasyonlar $\mu\epsilon$ (mikro epsilon) olarak, eksenel yük ise kN cinsinden okunmuştur. Bu verilerden yararlanarak silttaşının yanal ve eksenel gerilme-birim deformasyon eğrileri çizilmiştir (Ek 5) bu grafiklerin eksenel birim deformasyon-düşey gerilme eğrisinden elastisite modülü (teğet) hesaplanır. Poisson oranı ise eksenel birim deformasyonun eğiminin, yanal birim deformasyonun eğimine oranı ile belirlenir.



Şekil 4.28. Elastisite modülü deney düzeneği ve karot örneğinin hazırlanması.

Bu çalışmada silttaşlarının anizotropisi (tabakalanma) dikkate alınarak 0° ile 90° arasında 10° 'lik açılarla yönlü örnek alınmış, ve laboratuvarında elastisite modülü deneyi yapılmıştır. Elde edilen elastisite modülü ve poisson oranı sonuçlar Ek 4'te, bu sonuçlara ait istatistiksel dağılım ise Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Silttaşının elastisite modülü (teğet) 0° için, 14.90 GPa ile 32.80 GPa arasında, 10° için, 11.87 GPa ile 38.28 GPa arasında, 20° için, 28.41 GPa ile 47.51 GPa arasında, 30° için, 17.95 GPa ile 43.15 GPa arasında, 40° için, 21.67 GPa ile 42.02 GPa arasında, 50° için, 12.01 GPa ile 43.63 GPa arasında, 60° için, 16.06 GPa ile 55.26 GPa arasında, 70° için, 30.05 GPa ile 46.25 GPa arasında, 80° için, 19.12 GPa ile 35.36 GPa arasında, 90° için, 22.35 GPa ile 41.43 GPa arasında değişim göstermektedir.

Silttaşının poisson oranı 0° için, 0.11 ile 0.27 arasında, 10° için, 0.08 ile 0.14 arasında, 20° için, 0.07 ile 0.39 arasında, 30° için, 0.08 ile 0.21 arasında, 40° için, 0.15 ile 0.23 arasında, 50° için, 0.12 ile 0.16 arasında, 60° için, 0.03 ile 0.23 arasında, 70° için, 0.12 ile 0.19 arasında, 80° için, 0.08 ile 0.17 arasında, 90° için, 0.08 ile 0.40 arasında değişim göstermektedir.

4.5. Kaya Kütle Sınıflama Sistemleri

Kaya kütlelerinde yapılan jeoteknik esaslı çalışmalarda uygulanan tasarım yöntemleri genel anlamda, analitik (sayısal), gözleme dayalı ve görgül (ampirik) olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir. Kaya mekaniği uygulamalarında kaya kütlelerinin mühendislik özelliklerini belirlemek amacıyla sınıflandırma sistemlerine gereksinim duyulmuştur. Mühendislik jeolojisi çalışmalarında tasarımın ayrılmaz bir parçası olan bu sistemler, uzun yıllar süren gözlemlere bağlı olarak geliştirilen ve istatistiksel değerlendirmeler esas

alınarak önerilmiş yöntemlerdir. Bu çalışmada silttaşları RMR, RMI ve GSI kaya kütle sınıflamaları kullanılarak sınıflandırılmıştır.

4.5.1. Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)

Görgül bir kaya kütle sınıflama sistemi olan RMR Sınıflama Sistemi, ilk kez 1972-1973 yılları arasında yapılan çalışmalar sonucunda Bieniawski (1973) tarafından geliştirilmiştir. Daha sonraki yıllarda yöntem, eldeki bir çok mevcut durum ve karşılaşılan mühendislik probleminin amacına yönelik olarak modifiye edilmiş (Laubscher, 1977 ve 1984; Weaver, 1975; Olivier, 1979, Ghose ve Raju, 1981; Nakao vd., 1983; Kendorski vd., 1983; Ünal, 1983; Serafim ve Pereira, 1983; Gonzalez, 1983; Romana,1985) ve son halini 1989 yılında yapılan değişikliklerle almıştır (Bieniawski, 1989). RMR sistemine göre kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır;

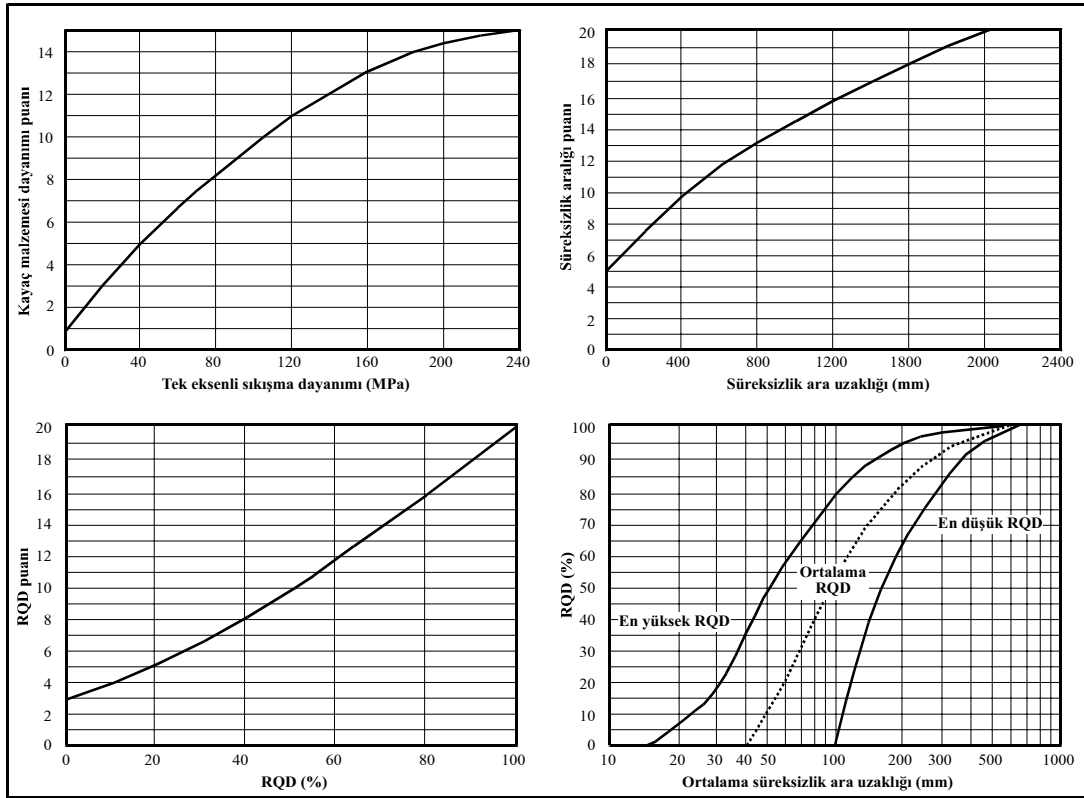
- Kayacın tek eksenli sıkışma dayanımı veya nokta yük dayanım indeksi,
- Kaya kalitesi göstergesi (% RQD)
- Süreksizlik ara uzaklığı
- Süreksizliklerin durumu (devamlılık, açıklık, pürüzlülük, dolgu ve bozunma)
- Yeraltısuyu durumu

Sistemde bu parametrelerle beraber parametrelere ait puan değerleri yer almakta, hat etüdlerinden ve bir dizi laboratuvar deneyinden elde edilen sonuçlara göre parametrelere verilen puanların toplamı kullanılarak kaya kütleleri sınıflandırılmaktadır. Çizelge 4.13’de RMR kaya sınıflama sisteminin 1989’daki son versiyonu ve bu sisteme göre verilen puanlar görülmektedir.

Çizelge 4.13. RMR kaya kütlesi sınıflama sistemin parametlerin puanlama tablosu(Bieniawski, 1989).

1	Kaya Malzemesinin Dayanımı (MPa)	Nokta yük dayanım indeksi	> 10	4-10	2-4	1-2	Düşük aralıklar için tek eksenli dayanım		
		Tek eksenli basınç dayanımı	> 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 Ara Uzaklığı (cm)		>200	60-200	20-60	20-6	<6		
	Puan		20	15	10	8	5		
4	Süreksizlik Durumu	Devamlılık (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20		
		Puan	6	4	2	1	0		
		Açıklık (mm)	Yok	<0.1	0.1-1	1-5	>5		
		Puan	6	5	4	1	0		
		Pürüzlülük	Çok pürüzlü	Pürüzlü	Az pürüzlü	Düz	Kaygan		
		Puan	6	5	3	1	0		
		Dolgu	Yok	<5 mm (sert)	>5 mm (sert)	<5 mm (yumuşak)	>5 mm (yumuşak)		
		Puan	6	4	2	2	0		
		Bozunma	Bozunmamış	Az bozunmuş	Orta derecede bozunmuş	Bozunmuş	Çok bozunmuş		
		Puan	6	5	3	1	0		
5	Yeraltısuyu (lt/dk)	10 m'lik kısımdan gelen su	Yok	10	25	25-125	>125		
		Genel koşullar	Tamamen kuru	Nemli	Islak	Damlama	Su akışı		
	Puan		15	10	7	4	0		

RMR sınıflama sisteminin 1989'daki son versiyonuna kadar, sistemin ilk üç parametresi olan dayanım, % RQD ve süreksizlik aralığı için yapılan değerlendirilmelerde belli aralıklardaki parametrelere ilişkin puanlar, aralıkların sınır değerlerini de kapsamaktaydı ve uygulamada ise bu durum çeşitli hatalara neden olmaktaydı. Bu üç parametre için daha hassas bir puanlamanın yapılabilmesi amacıyla Bieniawski (1989), ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlama ölçütleri esas alarak, çeşitli grafikler geliştirmiştir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. RMR sisteminin son versiyonunda tek eksenli sıkışma dayanımı, süreksizlik aralığı ve RQD parametrelerine ait puanları tanımlama grafikleri (Bieniawski,1989).

Kaya kütlesi sınıfı, yukarıda belirtilen işlemlerin yapılmasıyla elde edilen RMR puanına göre Çizelge 4.14'den belirlenmektedir.

Çizelge 4.14. RMR sınıflama sistemine göre kaya sınıfları ve puanları (Bieniawski,1989).

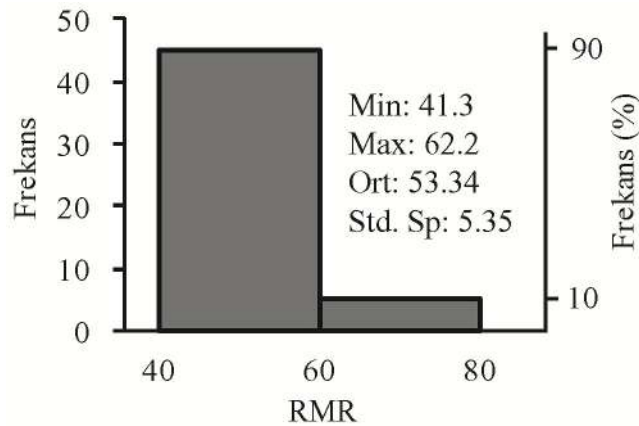
Sınıf No	I	II	III	IV	V
Tanımlama	Çok iyi kaya	İyi kaya	Orta kaya	Zayıf kaya	Çok zayıf kaya
Puan	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

Bu çalışmada silttaşlarında açılan jeoteknik amaçlı sondajların her bir metresi için RMR sınıflama sistemi (Bieniawski, 1989) kullanılarak kaya kütesinin temel RMR'si hesaplanmıştır. Bu kaya kütle sınıflamasının uygulanmasında hat etüdleri, sondaj karotlarının incelenmesi ve laboratuvarında elde edilen veriler kullanılmıştır. RMR sınıflamasına ait değişkenler ve puanlar Ek 6'da verilmiştir. Silttaşlarında 12 farklı lokasyonda açılan jeoteknik amaçlı sondaj kuyularında belirlenen 50 adet RMR istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve sonuçları Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15. Silttaşlarının RMR, R_{Mi} ve GSI sınıflama sistemlerinin istatistiksel dağılımı

Kaya kütle sınıflamaları	En az	En çok	Ortalama	Std. Hata	Std. Sapma	t değeri
Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	41.3	62.2	53.34	0.76	5.35	70.48
Kaya Kütle İndeksi (R _{Mi})	0.21	3.75	1.44	0.14	0.99	10.22
Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	40	54	45.09	0.48	3.41	93.43

Bu sınıflamaya göre silttaşlarının temel RMR değeri 41.3 ile 62.2 arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Silttaşlarında RMR'nin dağılımı

4.5.2. Kaya Kütle İndeksi (R_{Mi}) Sınıflama Sistemi

Kaya Kütle İndeksi Sınıflama Sistemi (R_{Mi}) ilk defa Palmström (1995) tarafından önerilmiştir. Eklemlili ve masif kaya kütlelerinin; tasarımı, kaya kütle dayanımı, kaya kütle

deformasyon modülü, Hoek-Brown kaya kütle sabitlerinin (s, mb) belirlenmesi, yeraltı açıklıklarının kaya destek tasarımında, stabilitesinde ve tünel açmada kullanılan tünel delme makinasının (TBM) performans değerlendirmesinde, Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu'nun sayısal olarak tanımlanmasında kullanmıştır (Palmström 1995 ve 1996). Beş yıllık pratik uygulamalardan sonra kaya kütle destek sisteminde önemli gelişmeler ve değişikliklerle, tünel çapı ve blok hacmini girdi parametresi olarak kullanmış ve kaya kütlelerinin ön destek tahmini geliştirilmiştir Palmström (2000). Kaya Kütle İndeksi (R_{Mi}) eklemli kaya kütlelerinde aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır;

$$R_{Mi} = \sigma_c J P = \sigma_c 0.2 \sqrt{jC} V_b^D \quad (D = 0.37 jC^{-0.2}) \quad (4.24)$$

Burada;

σ_c = Sağlam kayanın tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa)

jC = Eklem Faktörü; Eklem uzunluğu (jL , (m), Eklem pürüzlülüğü (jR), ve Eklem alterasyonu (jA) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$jC = jL \frac{jR}{jA} \quad (4.25)$$

V_b = Blok hacmi (m^3),

JP = Eklem parametresi,

$$JP = 0.2 \sqrt{jC} V_b^D \quad (4.26)$$

Blok hacmi aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Palmström, 2000);

$$V_b = \beta J_v^{-3} \quad (4.27)$$

Burada, β blok şekli faktörü, J_v ise hacimsel eklem sayısıdır. J_v 'nin hesaplanmasında RQD kullanılarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Palmström, 2000);

$$J_v = 35 - \frac{RQD}{3.3} \quad (4.28)$$

Blok şekli faktörü (β) ise (Palmström, (2000) tarafından önerilen

$$\beta = 20 + 7 \times (S_{max} | S_{min}) \quad (4.29)$$

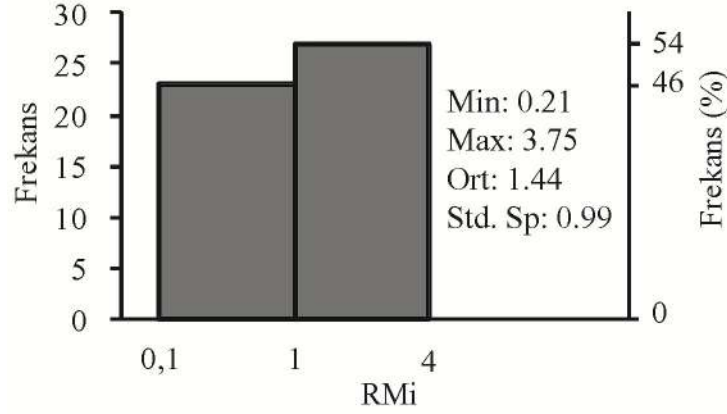
eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Burada;

S_{max} : Bloğun en uzun kenar uzunluğu

S_{min} : Bloğun en kısa kenar uzunluğudur.

Bu çalışmada silttaşlarında jeoteknik amaçlı sondajların her bir metresi için R_{Mi} sınıflama sistemi Palmström (1995) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak kaya kütlelerinin

RMi'si hesaplanmış ve puanları Ek 7'de verilmiştir. Silttaşlarında 12 farklı noktada açılan sondaj kuyularında belirlenen 50 adet RMi istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve sonuçları Çizelge 4.15'de verilmiştir. Bu sınıflamaya göre silttaşlarının RMi'si 0.21 ile 3.75 arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Silttaşlarına ait RMi dağılımı

4.5.3. Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)

İlk kez Hoek vd. (1995) tarafından önerilen Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) 1995 yılında RMR'nin yerine Hoek-Brown Yenilme Ölçütüne dahil edilerek kaya kütlesi sabitlerinin belirlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta, RMR ve Q sınıflaması puanlarıyla ilişkilendirilen GSI, daha sonraki yıllarda yapılan değişikliklerle tek başına bir sınıflama sistemi olarak ölçütteki yerini korumuştur. GSI, sağlam kaya için alınan 85 çok düşük kaliteli kaya kütleleri için alınan 10 arasında değişmektedir. Hoek vd. (1995), önerdikleri son değişikliklerde GSI'yı kullanarak kaya kütle sabitlerini (mb, s ve a) belirlemişlerdir.

Hoek vd. (1995) GSI'nin RMR ve Q kaya kütlesi sınıflama sistemleriyle ilişkisini incelemişler ve aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir. GSI'nın tahmini için RMR'nin 1976 versiyonunun kullanılması durumunda; $RMR_{76} > 18$ olması koşuluyla,

$$GSI = RMR_{76} \quad (4.30)$$

eşitliği alınabilir. GSI'nın tahmini için RMR nin 1989 versiyonunun kullanılması durumunda ise $RMR_{89} > 23$ olması koşuluyla,

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (4.31)$$

eşitliği kullanılır.

GSI'nin tahmini için modifiye edilmiş Q değeri (Q') aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

$$Q' = \frac{RQD * jr}{Jn * Ja} \quad (4.32)$$

Modifiye edilmiş Q değeri (Q') GSI'nin tahmini için aşağıdaki eşitlikte kullanılır (Hoek vd., 1995).

$$GSI = 9 \log_e Q' + 44 \quad (4.33)$$

Jeolojik Dayanım İndeksi'nde 1997 yılında değişiklikler yapılarak RMR ve Q sistemlerinden bağımsız bir sistem haline getirilmiştir (Hoek ve Brown, 1997). Bir abak haline dönüştürülen GSI sınıflama sistemi; bloklu, çok bloklu, bloklu/örselenmiş ve parçalanmış olmak üzere dört kaya grubundan oluşmaktadır. Burada sisteme bir puanlama kavramıda dahil edilmiştir. GSI'nin bir sınıflama sistemi olarak önerilmesinden sonra Hoek vd., (1998) ve Hoek (1999) GSI sınıflamasına foliasyonlu veya laminalanma düzlemleri içeren, sağlam veya masif kaya grubunda ekleyerek GSI sınıflama sistemindeki kaya grubunu altıya çıkarmıştır. Ölçütün gerek 1995, gerekse 1997'deki değişikliklerinde yer alan kaya kütle sabitlerinin hesaplanmasında kullanılan GSI küçük bir değişime uğradığında kaya kütlesi sabitlerini doğrudan etkilemektedir. Bu hususu göz önünde bulunduran araştırmacılar (Sönmez ve Ulusay, 1999; Ulusay ve Sönmez, 2000) süreksizlik yüzeyi koşulunun ve kaya kütlesi yapısının doğru ve duyarlı bir şekilde tayini amacıyla ölçülebilen veya tanımlanabilen bir puanlama sistemine geçilmesini ve bu amaçla Yapısal Özellik Puanı (SR) ve Süreksizlik Yüzey Koşulu Puanı (SCR) olarak tanımlanan iki özelliğin sisteme dahil edilmesi önerilmiştir. Süreksizlik Yüzey Koşulu puanı

$$SCR = R_r + R_w + R_f \quad (4.34)$$

ifadesinden hesaplanmaktadır. Burada, R_r , R_w ve R_f sırasıyla; süreksizliklerin pürüzlülük, bozunma ve dolgu puanları olup, burada Bieniawski (1989) tarafından bu değişkenlere verilen puanlar kullanılmıştır. Sönmez ve Ulusay (1999) Yapısal Özellik Puanı'nın (SR) belirlenmesi amacıyla

$$J_v = (N/L)^3 \quad (4.35)$$

$$J_v = (1/S)^3 \quad (4.36)$$

eşitliklerini önermişlerdir.

Burada;

N: eklem sayısı,

L: ölçüm hattının uzunluğu

S: ortalama süreksizlik aralığıdır.

J_v için ISRM (1981) tarafından önerilen aralıklar esas alınmış ve ayrıntısı Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından verilen bir yaklaşımla Yapısal Özellik Puanı (SR) GSI sistemine uyarlanmıştır. Bu düzenlemeye göre SR ve SCR puanları esas alınarak Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen abakda ki kesim noktasından GSI belirlenir.

Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen sayısal GSI abağı, orijinal GSI abağına Hoek (1999a) tarafından eklenen "sağlam veya masif kaya" sınıfı dikkate alınarak modifiye edilmiştir (Sönmez ve Ulusay, 2002). Hoek-Brown yenilme ölçütü en az üç eklem takımına sahip, homojen ve izotrop kaya kütleleri ile kaya malzemelerinin dayanımlarının belirlenmesi amacıyla önerilmiştir. Laminalı-foliasyonlu kaya kütlelerinde dayanım farklılığının (anizotropiye göre) daha da önem kazanması, ölçütün bu tür kaya kütlelerinde uygulanmasına olanak sağlamamaktadır. Bu nedenle, Sönmez ve Ulusay (2002) sayısal GSI abağıyla ilgili değişiklikleri yaparlarken laminasyonlu - foliasyonlu kaya kütlelerini dikkate almamışlardır. Ayrıca sayısal GSI abağında yer alan J_v -SR ilişkisi "sağlam veya masif kaya grubunu da içerecek şekilde ve ISRM (1982) tarafından $J_v < 1$ eklem/m³ olan kaya kütleleri için yapılan "çok geniş bloklar" tamını da dikkate alınarak yeniden düzenlemişlerdir. Sayısal GSI sisteminin bu son şekli Şekil 4.32’de verilmiştir.

Sayısal GSI abağında kullanılan J_v için Sönmez ve Ulusay (2002) bazı yeni önerilerde bulunmuşlardır. Bir kaya kütlelerinde süreksizlik takımı sayısı,

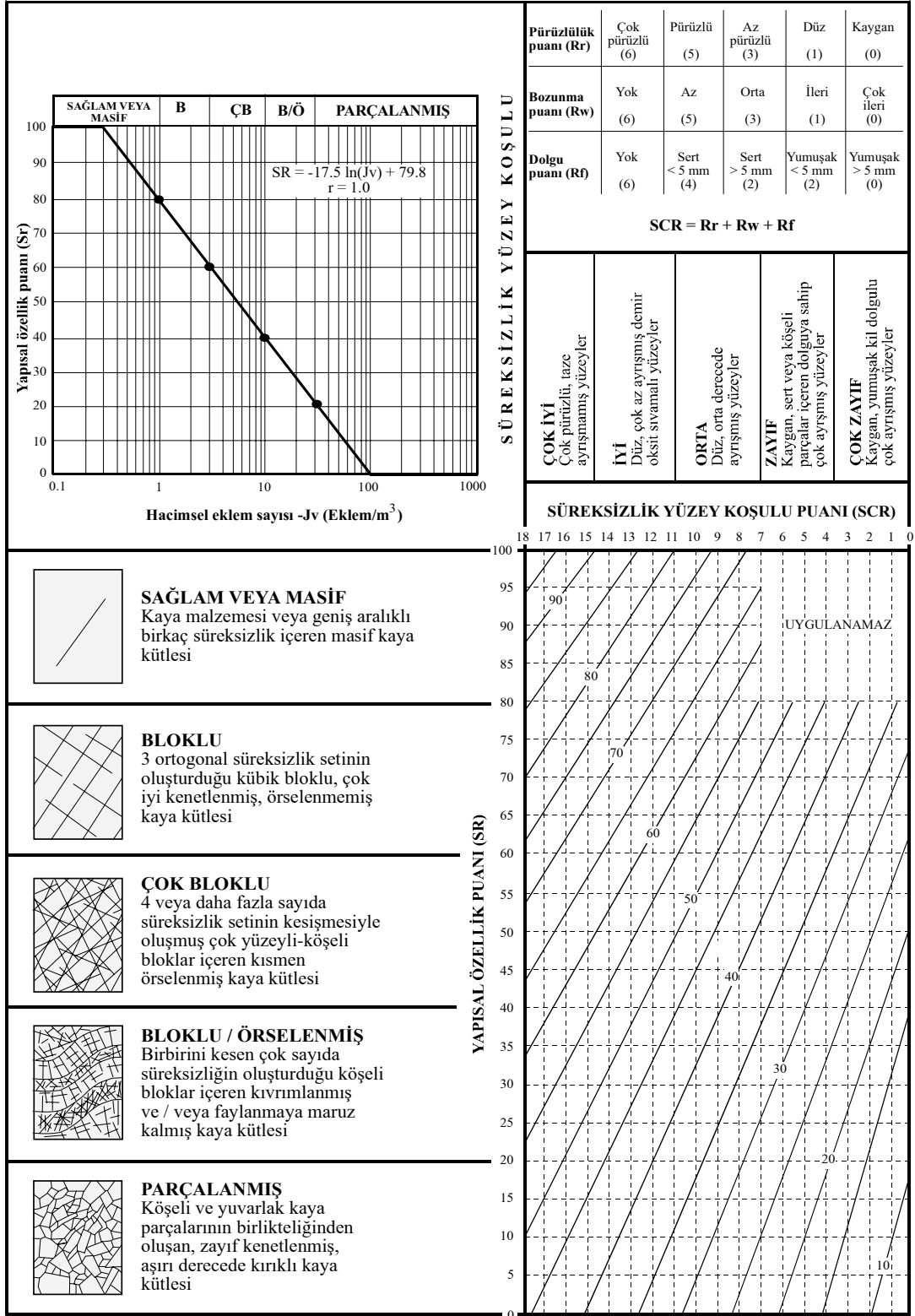
$$D_n = N/2 \quad (4.37)$$

ifadesinden tahmin edilebilir. Burada D_n tahmini süreksizlik seti sayısı, N ise kaya bloğunun yüzey sayısıdır. Sık eklemli kaya kütlelerinde J_v ; kaya kütlelerinin homojen ve izotrop olduğu kabul edilerek ve ortalama süreksizlik aralığı (S) esas alınarak belirlenmiştir Sönmez ve Ulusay (2002).

$$J_v = D_n \left(\frac{1}{S} \right) \quad (4.38)$$

Bu çalışmada silttaşları için GSI’nin hesaplanmasında Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen niceliksel GSI Sınıflama Sistemi kullanılmıştır. Ancak bu sınıflamada Yapısal Özellik Puanının (SR) belirlenmesinde kullanılan hacimsel eklem sayısı (J_v), Palmström (2000) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

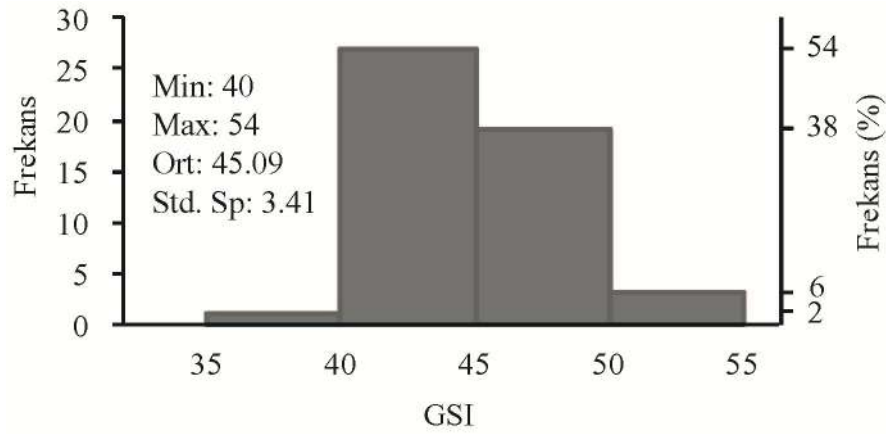
$$J_v = 35 - \frac{RQD}{3.3} \quad (4.39)$$



Şekil 4.32. Sönmez ve Ulusay (1999)’ın önerdiği niceliksel GSI Sınıflama Sistemi Abağı’nın “Sağlam ve Masif” kaya grubu da eklendikten sonraki değiştirilmiş son hali (Sönmez ve Ulusay, 2002).

Bu çalışmada silttaşlarında açtırılan jeoteknik amaçlı sondajların her bir metresi için Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından önerilen GSI sınıflama sistemine ait değişkenler, bu değişkenlere ait puanlar ve elde edilen GSI Ek 8’de verilmiştir.

Belirlenen 50 adet GSI istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve sonuçları Çizelge 4.15’de verilmiştir. Bu sınıflamaya göre silttaşlarının GSI’sı 40 ile 54 arasında değişmektedir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Silttaşlarının GSI dağılımı

5. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

Kaya kütlelerinin deformasyon modülü (E_m), mühendislik uygulamalarının tasarımında kullanılan en önemli parametrelerden birisi olması nedeniyle, günümüze değin bu parametrenin belirlenmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. E_m 'nin belirlenmesindeki en önemli sınırlamalar, kaya kütlelerinin sağlam kaya ile birlikte süreksizlikleri de içermesi nedeniyle laboratuvar da deney yapabilecek kadar büyük boyutta örnek alınamaması ve arazide yapılan deneylerin ise uzun zaman alması ve maliyetinin yüksek olmasıdır.

Bu sınırlamalar, araştırmacıları kaya kütlelerinin deformasyon modülünü görgül ilişkiler yardımıyla belirleyebilmek için çalışmalar yapmaya yönlendirmiş ve değişik araştırmacılar (Nicholson and Bieniawski, 1990; Barton, 2002; Hoek at al, 2002; Gokceoglu at al, 2003; Sonmez at al. 2006; Hoek and Diederichs, 2006) tarafından E_i (sağlam kayanın elastisite modülü), RMR, Q, GSI, RQD, R_{mi} ve WD (bozunma derecesi) gibi özelliklerin kullanıldığı görgül eşitlikler önerilmiştir.

Özellikler arasındaki ilişkilerde üzerinde durulan ve varlığının objektif yöntemlerle test edildiği Mühendislik Jeolojisinde bir konudur. Bu çalışmada kullanılan analiz yöntemleri; t testi, korelasyon analizi, basit regresyon analizi ve korelasyon katsayıları yüksek olan eşitliklerin performansını belirlemek için RMSE (karekök ortalama hata payı) ve VAF (Values Account For) indeksleri kullanılmıştır.

5.1. t Testi

t testi tek bir örneğe, bağımlı iki örneğe ve bağımsız iki örneğe uygulanabilmektedir. Bu testin amacı incelenen örneğin ortalamasının bilinen bir popülasyona ait olup olmaması durumunu karşılaştırmaktır (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Bu çalışmada E_m , RMR, R_{mi}, GSI ve RQD'nin kendi aralarında anlamlılığını belirlemek için SPSS 15.0 bilgisayar programı kullanılmış ve tek bir örneğe göre t testi uygulanmıştır.

Öncelikle kaya kütle özelliklerinden ve yerinde deneylerden elde edilen özelliklerin kendi içinde anlamlı olup olmadığını belirlemek için t testi yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Özelliklerin her birine ait % 95 güven aralığında hesaplanan t değerleri, tablo t değerleriyle karşılaştırıldığında (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) hesaplanan t değerleri

tablo-t değerlerinden büyük olduğundan, özelliklerin kendi içerisinde anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.1. Silttaşlarına ait RMR, R_{Mi}, GSI, RQD ve E_m parametrelerinin t testi sonuçları

Kaya kütle sınıflamaları	Örnek sayısı	Hesaplanan t değeri	*Kritik t değeri (tablo-t)
Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR)	50	70.48	2.01
Kaya Kütle İndeksi (R _{Mi})	50	10.22	
Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)	50	93.43	
Kaya Kalite Göstergesi (RQD)	50	18.14	
Deformasyon Modülü (E _m)	50	12.89	

* Tüysüz ve Yaylalı, 2005'den alınmıştır.

5.2. Korelasyon Analizi

Korelasyon, iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini araştırır. Korelasyon analizinde bağımlı veya bağımsız değişken dikkate alınmaz. Korelasyon katsayısı (r) x ve y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişkinin derecesini gösterir ve -1 ile +1 arasında değişen değerler alır. r=0 durumu ise iki değişken arasında herhangi bir ilişkinin olmadığını belirtir.

Bu çalışmada kaya kütlelerinin deformasyon modülünü dolaylı yöntemlerle belirlemek için kullanılacak olan RMR, R_{Mi}, GSI ve RQD ile yerinde yapılan Presiyometre deneylerinden elde edilen deformasyon modülü (E_m) arasında bir anlamlılığın olup olmadığını belirlemek için SPSS 15.0 istatistik programında %95 güvenilirlik düzeyinde, Pearson ve Two-tailed seçilerek iki değişkenli (bivariate) korelasyon analizi yapılmıştır (Çizelge 5.2). Aynı işlem elastisite modül oranı (E_m/E_i) ile RMR, R_{Mi}, GSI ve RQD için de uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Em ile RMR, RMI, GSI ve RQD değerleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları

Karşılaştırılan Özellikler	Pearson Korelasyon Katsayısı (r)	%95 güvenirlik düzeyinde ($\alpha=0.05$) anlamlılık
E_m -RMR	0.886	0.0001
E_m -RMI	0.801	0.0001
E_m -GSI	0.743	0.0001
E_m -RQD	0.798	0.0001

Çizelge 5.3. E_m/E_i ile RMR, RMI, GSI ve RQD değerleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları

Karşılaştırılan Özellikler	Pearson Korelasyon Katsayısı (r)	%95 güvenirlik düzeyinde ($\alpha=0.05$) anlamlılık
E_m/E_i -RMR	0.664	0.0001
E_m/E_i -RMI	0.560	0.0001
E_m/E_i -GSI	0.537	0.0001
E_m/E_i -RQD	0.599	0.0001

Çizelge 5.2-5.3 incelendiğinde yapılan korelasyon analizinde %95 güvenirlik düzeyinde elde edilen anlamlılık katsayılarının 0.05 değerinden küçük çıkması karşılaştırılan tüm değişkenlerin anlamlı olduğunu belirtmektedir. Ancak, değişkenlerin anlamlı olup olmadığını söylemek için sadece korelasyon katsayısına bakmak yeterli olmaz, bu katsayının önemli olup olmadığını test etmek ve ilişkinin grafiğini de çizmek gerekir. Bu amaç doğrultusunda 5.3 nolu bölümde bu testler ve regresyon grafikleri verilmiştir.

5.3. Basit Regresyon Analizleri ve Korelasyon Katsayısı Testi

Basit regresyon iki değişken arasındaki ilişkiyi ifade eden matematiksel bir eşitlik olup, y bağımlı değişkenin değerini seçilen bir x bağımsız değişken değerinden tahmin eder (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Bu çalışmada silttaşlarının kaya kütle deformasyon modülünü dolaylı yoldan belirlemek amacıyla, yerinde yapılan presiyometre deneyinden elde edilen deformasyon modülü (bağımlı değişken, E_m) ile mevcut kaya kütlesi için belirlenen RMR, GSI, RMI kaya kütle sınıflama sistemleri ve RQD (bağımsız değişkenler) basit regresyon analizleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca elastisite modül oranı E_m/E_i (bağımlı değişken) ile RMR, RMI, GSI ve RQD basit regresyon analizleri ile incelenmiştir. Bu tür analizler

sonucunda elde edilen korelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadığı her zaman test edilmelidir. Bu amaçla değişkenler arasındaki hesaplanan korelasyon katsayısı Pearson'ın belirlediği Çizelge 5.4'de verilen kritik r değerleriyle karşılaştırılır (Tüysüz ve Yaylalı, 2005). Hesaplanan r değeri tablodaki r değerinden büyükse ilişkinin anlamlı olduğu söylenilebilir.

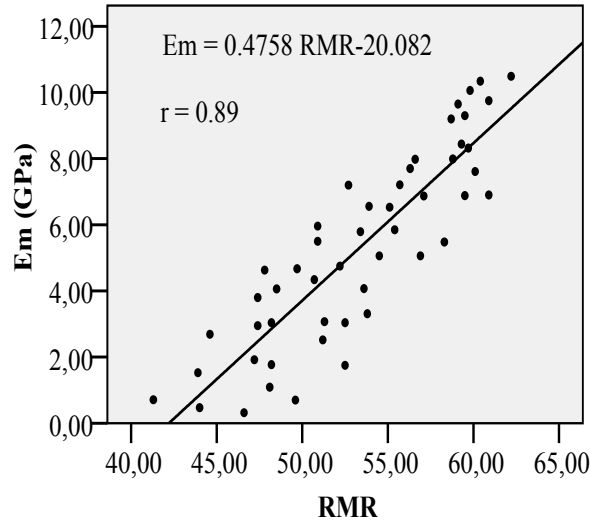
5.3.1. E_m ile RMR Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi

Basit regresyon analizleri gerçekleştirilirken E_m ile RMR doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutulmuş, elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları (r) ve Pearson'a göre kritik r değerleri (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Siltaşlarına ait E_m ile RMR arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri

Eşitliğin Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$E_m = 0.4758RMR - 20.082$	0.89	0.287	5.1
Logaritmik	$E_m = 24.695\ln(RMR) - 92.781$	0.85		5.2
Geometrik	$E_m = 2E-11RMR^{6.5294}$	0.81		5.3
Üssel	$E_m = 0.0056e^{0.124RMR}$	0.80		5.4

Çizelge 5.4'te hesaplanan r değerleri Pearson'a ait kritik r değerleriyle karşılaştırıldığında her bir eşitlikte hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda E_m ile RMR arasında çok kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik doğrusal eşitlik olup, regresyon analiz grafiği Şekil 5.1'de verilmiştir. Belirlenen ve Çizelge 5.4'te verilen 5.1 nolu eşitlik $RMR > 42.3$ koşulu için geçerlilik sunmaktadır.



Şekil 5.1. E_m ile RMR arasındaki basit regresyon ilişkisi

5.3.2. E_m ile R_{Mi} Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi

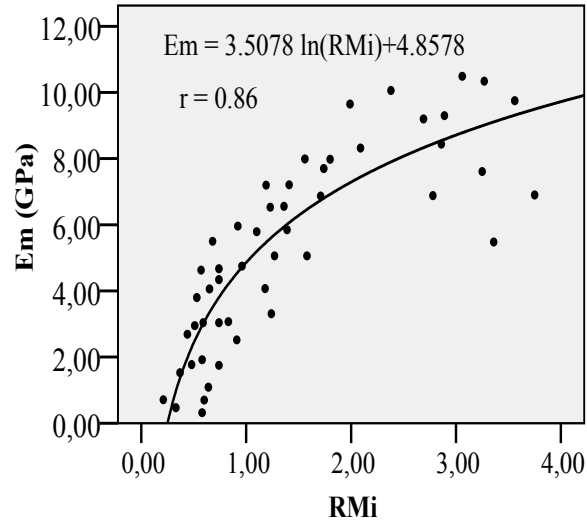
Basit regresyon analizleri gerçekleştirilirken E_m ile R_{Mi} doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutulmuş, elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları (r) ve Pearson'a göre kritik r değerleri (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Silttaşlarına ait E_m ile R_{Mi} arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri

Eşitliğin Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$E_m = 2.3364R_{Mi} + 1.9317$	0.80		5.5
Logaritmik	$E_m = 3.5078 \ln(R_{Mi}) + 4.8578$	0.86	0.287	5.6
Geometrik	$E_m = 3.7206R_{Mi}^{0.9092}$	0.79		5.7
Üssel	$E_m = 1.8606e^{0.5602R_{Mi}}$	0.67		5.8

Çizelge 5.5'de hesaplanan r değerleri Pearson'a ait kritik r değerleriyle karşılaştırıldığında her bir eşitlikte hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda E_m ile R_{Mi} arasında çok kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik logaritmik eşitlik olup, aralarındaki ilişki Şekil 5.2'de verilmiştir.

Belirlenen 5.6 nolu eşitlik $R_{Mi} > 0.26$ koşulu için geçerlilik sunmaktadır.



Şekil 5.2. E_m ile R_{mi} arasındaki basit regresyon ilişkisi

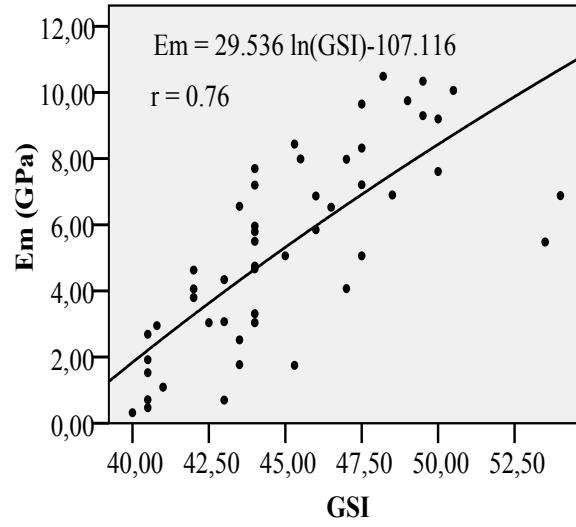
5.3.3. E_m ile GSI Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi

E_m ile GSI doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutulmuş, elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları (r) ve Pearson'a göre kritik r değerleri (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Silttaşlarına ait E_m ile GSI arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri

Eşitliğin Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$E_m = 0.633 \text{ GSI} - 23.237$	0.74	0.287	5.9
Logaritmik	$E_m = 29.536 \ln(\text{GSI}) - 107.116$	0.76		5.10
Geometrik	$E_m = 4.76E-13 \text{ GSI}^{7.830}$	0.70		5.11
Üssel	$E_m = 0.002e^{0.167 \text{ GSI}}$	0.69		5.12

Çizelge 5.6'da hesaplanan r değerleri Pearson'a ait kritik r değerleriyle karşılaştırıldığında her bir eşitlikte hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda E_m ile GSI arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik logaritmik eşitlik olup regresyon analiz grafiği Şekil 5.3'te verilmiştir. Belirlenen 5.10 nolu eşitlik $\text{GSI} > 37$ koşulu için geçerlilik sunmaktadır.



Şekil 5.3. E_m ile GSI arasındaki basit regresyon ilişkisi

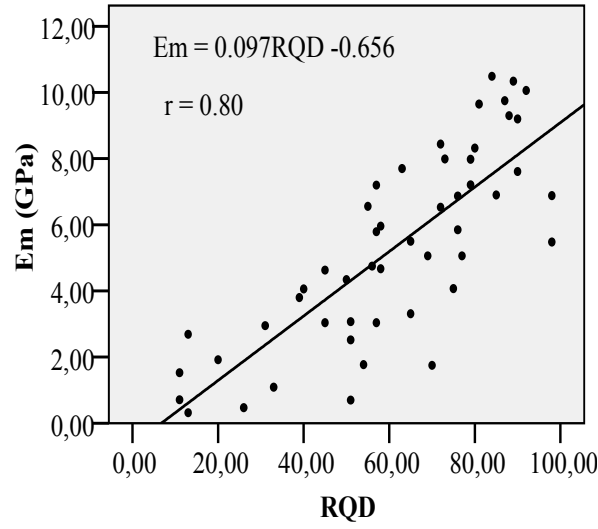
5.3.4. E_m ile RQD Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi

E_m ile RQD doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutulmuş, elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları (r) ve Pearson'a göre kritik r değerleri (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Silttaşlarına ait E_m ile RQD arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri

Eşitliğin Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$E_m = 0.097 \text{ RQD} - 0.656$	0.80	0.287	5.13
Logaritmik	$E_m = 3.754 \ln(\text{RQD}) - 9.696$	0.73		5.14
Geometrik	$E_m = 0.047 \text{RQD}^{1.123}$	0.77		5.15
Üssel	$E_m = 0.8e^{0.027 \text{RQD}}$	0.78		5.16

Çizelge 5.7'de hesaplanan r değerleri Pearson'a ait kritik r değerleriyle karşılaştırıldığında her bir eşitlikte hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda E_m ile RQD arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik doğrusal eşitlik olup regresyon analiz grafiği Şekil 5.4'de verilmiştir. Belirlenen 5.13 nolu eşitlik $\text{RQD} > 7$ koşulu için geçerlilik sunmaktadır.



Şekil 5.4. E_m ile RQD arasındaki basit regresyon ilişkisi

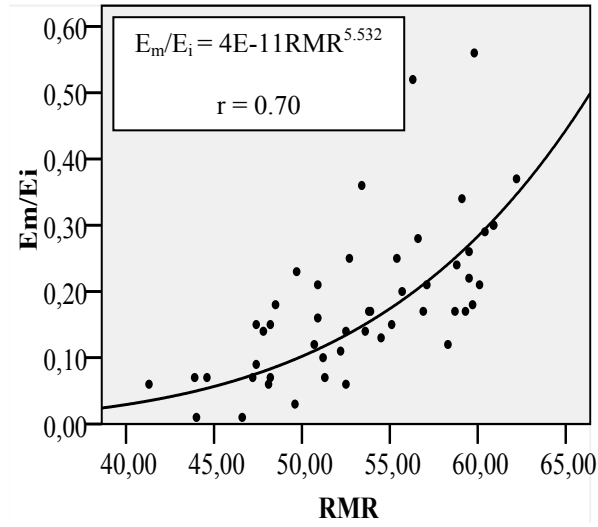
5.3.5. E_m/E_i ile RMR Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi

E_m/E_i ile RMR doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutulmuş, elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları (r) ve Pearson'a göre kritik r değerleri (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Silttaşlarına ait E_m/E_i ile RMR arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri

Eşitliğin Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$E_m/E_i = 0.0142RMR - 0.5744$	0.66	0.287	5.17
Logaritmik	$E_m/E_i = 0.7367\ln(RMR) - 2.745$	0.66		5.18
Geometrik	$E_m/E_i = 4E-11RMR^{5.532}$	0.70		5.19
Üssel	$E_m/E_i = 0.0005e^{0.1051RMR}$	0.69		5.20

Çizelge 5.8'de hesaplanan r değerleri Pearson'a ait kritik r değerleriyle karşılaştırıldığında her bir eşitlikte hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda E_m/E_i ile RMR arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik, geometrik eşitlik olup, regresyon analiz ilişkisi Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5. E_m/E_i ile RMR arasındaki basit regresyon ilişkisi

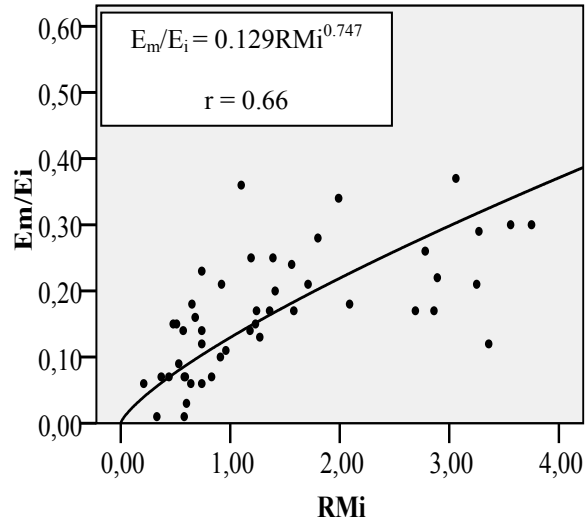
5.3.6. E_m/E_i ile R_{Mi} Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi

E_m/E_i ile R_{Mi} doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutulmuş, elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları (r) ve Pearson'a göre kritik r değerleri (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Silttaşlarına ait E_m/E_i ile R_{Mi} arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri

Eşitliğin Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$E_m/E_i = 0.0642R_{Mi} + 0.0883$	0.56	0.287	5.21
Logaritmik	$E_m/E_i = 0.101\ln(R_{Mi}) + 0.1681$	0.62		5.22
Geometrik	$E_m/E_i = 0.129R_{Mi}^{0.747}$	0.66		5.23
Üssel	$E_m/E_i = 0.0736e^{0.4548R_{Mi}}$	0.56		5.24

Çizelge 5.9'da hesaplanan r değerleri Pearson'a ait kritik r değerleriyle karşılaştırıldığında her bir eşitlikte hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda E_m/E_i ile R_{Mi} arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik, geometrik eşitlik olup, regresyon analiz ilişkisi Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. E_m/E_i ile R_{Mi} arasındaki basit regresyon ilişkisi

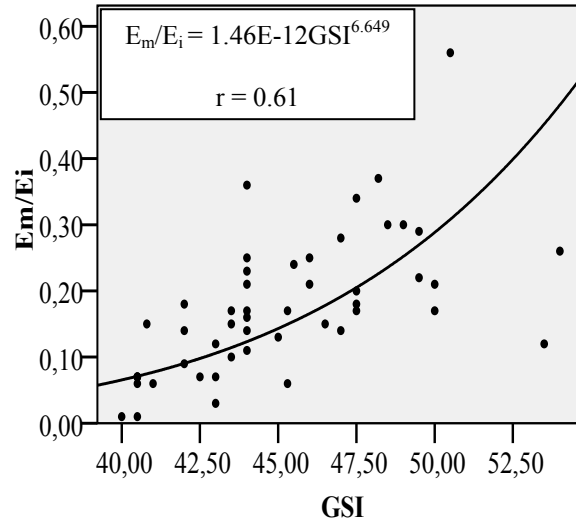
5.3.7. E_m/E_i ile GSI Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi

E_m/E_i ile GSI doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutulmuş, elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları (r) ve Pearson'a göre kritik r değerleri (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Silttaşlarına ait E_m/E_i ile GSI arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri

Eşitliğin Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$E_m/E_i = 0.018GSI - 0.637$	0.54		5.25
Logaritmik	$E_m/E_i = 0.851 \ln(GSI) - 3.056$	0.55		5.26
Geometrik	$E_m/E_i = 1.46E-12 GSI^{6.649}$	0.61	0.287	5.27
Üssel	$E_m/E_i = e^{0.141GSI}$	0.59		5.28

Çizelge 5.10'da hesaplanan r değerleri Pearson'a ait kritik r değerleriyle karşılaştırıldığında her bir eşitlikte hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda E_m/E_i ile GSI arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik geometrik eşitlik olup regresyon analiz ilişkisi Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. E_m/E_i ile GSI arasındaki basit regresyon ilişkisi

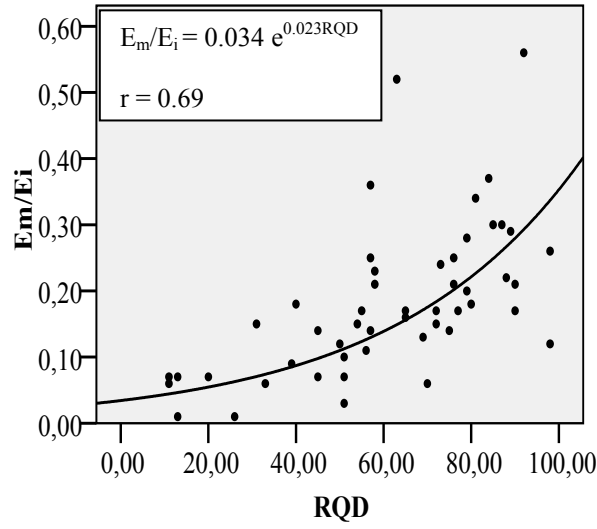
5.3.8. E_m/E_i ile RQD Arasındaki İlişki ve Korelasyon Katsayısının Testi

E_m/E_i ile RQD doğrusal, logaritmik, geometrik ve üssel fonksiyonlar şeklinde ayrı ayrı analizlere tabi tutulmuş, elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları (r) ve Pearson'a göre kritik r değerleri (Tüysüz ve Yaylalı, 2005) Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Silttaşlarına ait E_m/E_i ile RQD arasındaki basit regresyon analizlerine ilişkin eşitlikler ve kritik r değerleri

Eşitliğin Tipi	Eşitlik	Korelasyon Katsayısı (r)	Pearson'a ait kritik r değerleri	Eşitlik No
Doğrusal	$E_m/E_i = 0.003RQD + 0.004$	0.60	0.287	5.29
Logaritmik	$E_m/E_i = 0.115 \ln(RQD) - 0.277$	0.56		5.30
Geometrik	$E_m/E_i = 0.003RQD^{0.973}$	0.68		5.31
Üssel	$E_m/E_i = 0.034e^{0.023RQD}$	0.69		5.32

Çizelge 5.11'de hesaplanan r değerleri Pearson'a ait kritik r değerleriyle karşılaştırıldığında her bir eşitlikte hesaplanan korelasyon katsayılarının anlamlı olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda E_m/E_i ile RQD arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik üssel eşitlik olup, ilişki Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. E_m/E_i ile RQD arasındaki basit regresyon ilişkisi

5.4. Eşitliklerin Performanslarının Değerlendirilmesi

Bu çalışmada oluşturulan istatistiksel modellerde, doğrusal ($y=ax+b$), geometrik ($y=ax^b$), logaritmik, ($y=a \ln x+b$), ve üssel ($y=ae^{bx}$) fonksiyonlar kullanılmıştır. Oluşturulan modellerin performansını ölçmek için ölçülen değerin hesaplanan değere farkları ile ölçülen değerin varyans değerlerini esas alan ölçüt (VAF) ve hataların standart sapmasını ifade eden ölçüt (RMSE) dikkate alınmıştır. VAF ve RMSE değerleri Alvarez Grima ve Babuska, 1999; Finol et al., 2001; Gökçeoğlu, 2002 ve Gökçeoğlu ve Zorlu 2004 tarafından kullanıldığı şekliyle aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - y')^2} \quad (5.33)$$

$$VAF = \left[1 - \frac{\text{var}(y - y')}{\text{var}(y)} \right] \times 100 \quad (5.34)$$

Bu eşitliklerde y ve y' terimleri, sırasıyla, bağımlı değişkenin ölçülen ve hesaplanan değerlerini göstermektedir.

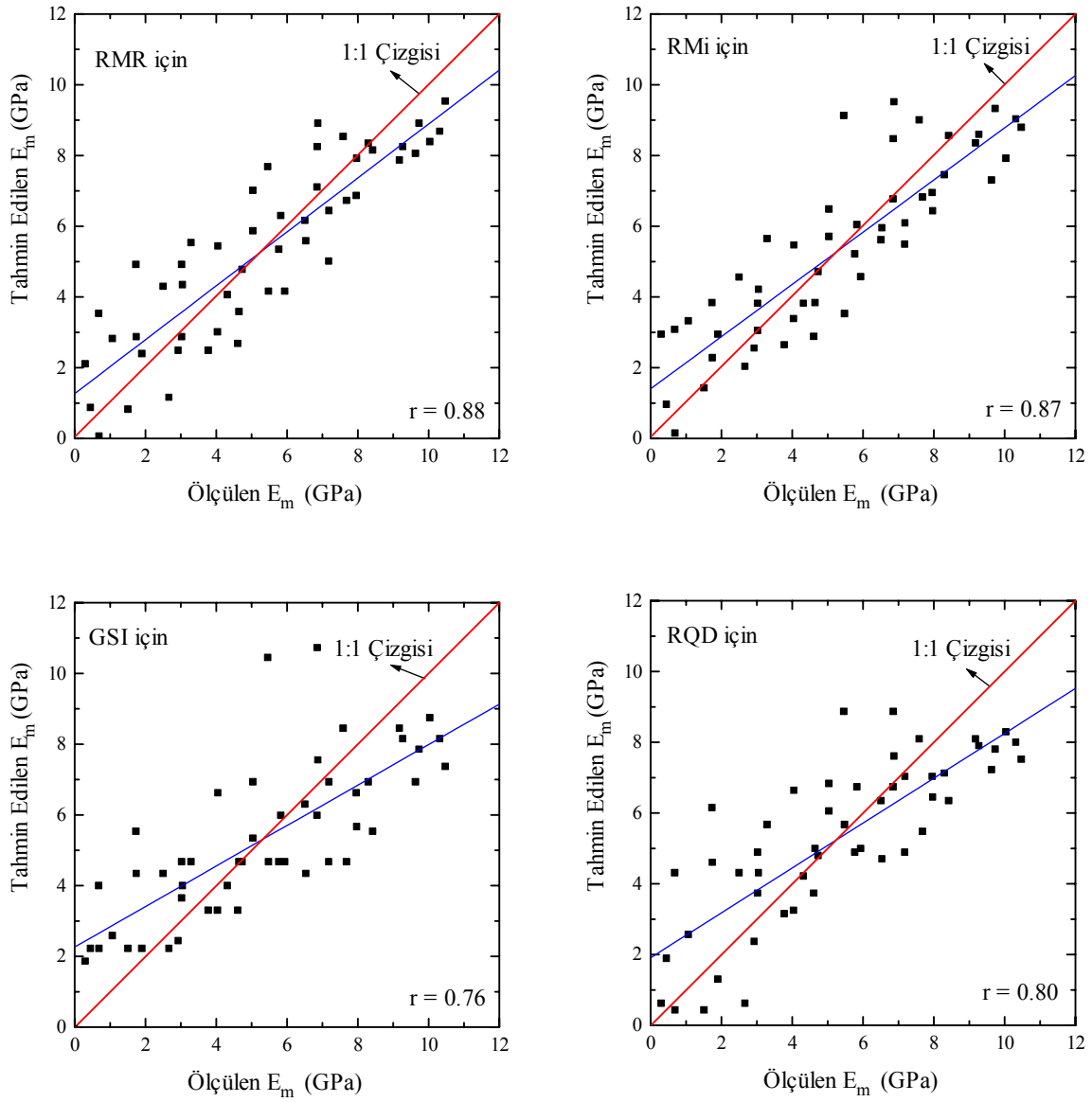
Kaya kütlelerinin deformasyon modülü (E_m) ve elastisite modül oranı (E_m/E_i) ile RMR, RMI, GSI ve RQD arasında basit regresyon analizleri yapılarak elde edilen eşitliklerin performans değerleri VAF (values account for), RMSE (karekök ortalama hata payı) indeksleri (Çizelge 5.12) ve ve çapraz kontrol grafikleri ile değerlendirilmiştir (Şekil 5.9 ve 5.10). Bu indekslerden VAF'nin 100 ve RMSE'nin 0 olması tahmin modelinin mükemmel

olduğunu gösterir. Ancak görgül bir eşitliğin performansı kötü olduğu zaman VAF genelde sonuç vermemektedir. Yani ölçülen ve tahmin edilen verilerin farkının varyansı, ölçülen verinin varyansından büyük olması durumunda VAF negatif değer alacak ve elde edilen eşitliğin performansının VAF ile değerlendirilmesi söz konusu olmayacaktır. Bu durum eşitliğin performansının kötü olduğunu ifade eder. Basit regresyon analizlerinden elde edilen eşitliklerin performans indeksleriyle değerlendirilmeleri sonucunda elde edilen tüm eşitlikler incelendiğinde; E_m ile RMR'nin karşılaştırılmasında $VAf = \%76.77$ ve $RMSE = 1.39$ olduğu durumda 5.1 nolu eşitlik en iyi performansı göstermektedir. E_m ile RM_i 'nin karşılaştırılmasında en iyi performansı 5.6 nolu eşitlik göstermekte olup, $VAf = \%74.71$ ve $RMSE = 1.45$ dir. E_m ile GSI'nin karşılaştırılmasında en iyi performansı 5.10 nolu eşitlik göstermektedir ve $VAf \%57.24$ ve $RMSE$ ise 1.88 dir. E_m ile RQD'nin karşılaştırılmasında en iyi performansı 5.13 nolu eşitlik göstermekte olup, VAf değeri $\%63.75$ ve $RMSE$ değeri ise 1.73'tür. E_m/E_i ile RMR'nin karşılaştırılmasında 5.19 nolu eşitlik en iyi performansı göstermekte olup, bu eşitliğin VAf değeri $\%43.56$, $RMSE$ değeri ise 0.088'dir. E_m/E_i ile RM_i 'nin karşılaştırılmasında en iyi performansı 5.23 nolu eşitlik göstermekte olup, bu eşitlikte $VAf = \%32.95$ ve $RMSE = 0.096$ 'dir. E_m/E_i ile GSI'nin karşılaştırılmasında en iyi performansı 5.27 nolu eşitliktir. Bu eşitlikte $VAf \%8.34$ ve $RMSE$ ise 0.11 dir. E_m/E_i ile RQD'nin karşılaştırılmasında ise en iyi performansı 5.32 nolu eşitlik göstermektedir. Burada VAf değeri $\%31.87$, $RMSE$ değeri ise 0.097'dir.

Çizelge 5.12. Deformasyon modülünün dolaylı olarak belirlenmesi için önerilen eşitliklere ait performans indeksleri

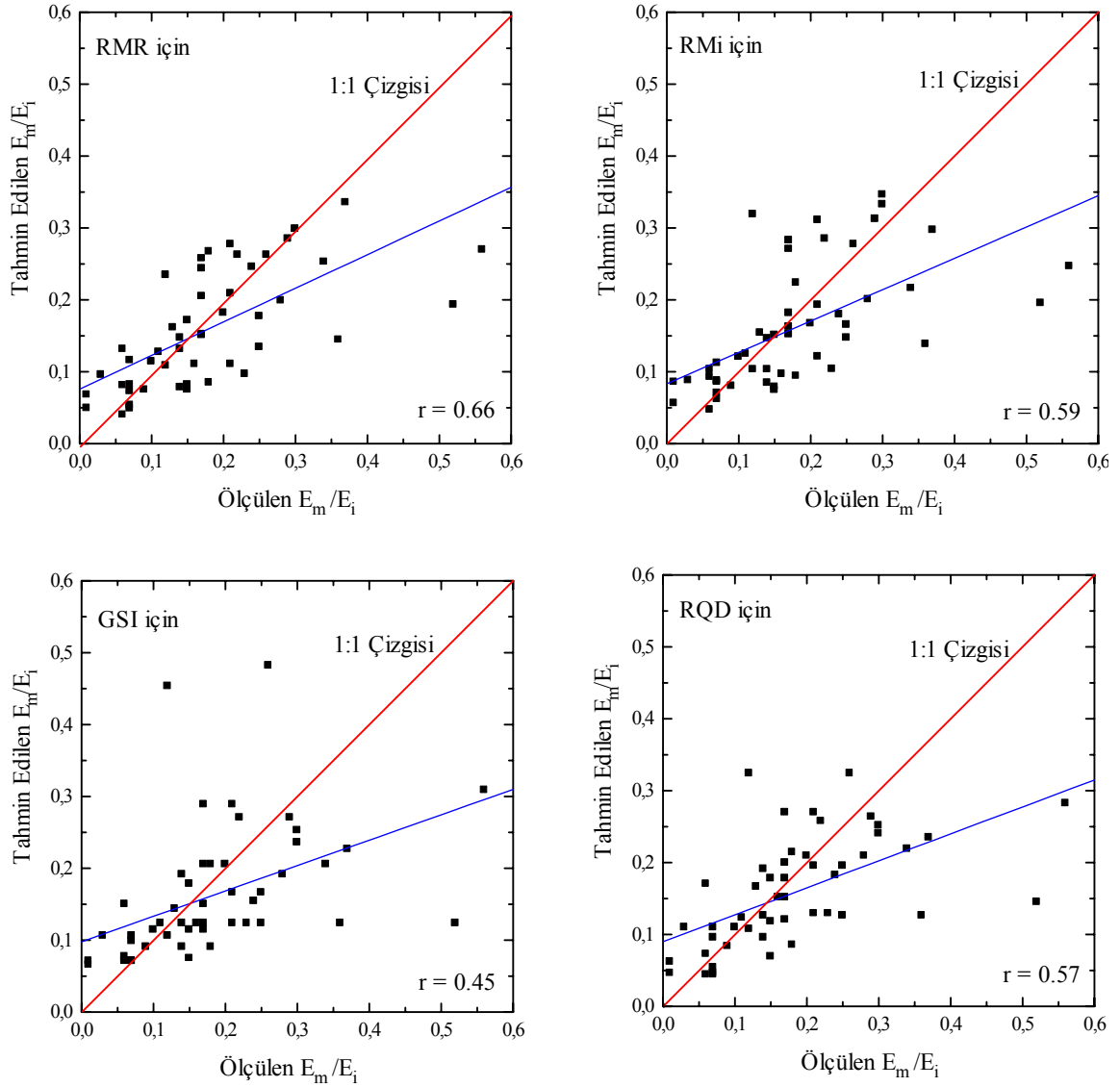
Eşitlik	RMSE	VAF (%)	Veri sayısı (n)	Eşitlik No
$E_m = 0.4758RMR - 20.082$	1.39	76.77	50	5.1
$E_m = 24.695 \ln(RMR) - 92.781$	1.42	75.57	50	5.2
$E_m = 2E-11RMR^{6.5294}$	1.63	76.50	50	5.3
$E_m = 0.0056e^{0.124RMR}$	1.54	71.77	50	5.4
$E_m = 2.3364Rm_i + 1.9317$	1.72	64.24	50	5.5
$E_m = 3.5078 \ln(Rm_i) + 4.8578$	1.45	74.71	50	5.6
$E_m = 3.7206Rm_i^{0.9092}$	1.90	56.89	50	5.7
$E_m = 1.8606e^{0.5602Rm_i}$	2.50	25.84	50	5.8
$E_m = 0.633 GSI - 23.237$	1.93	55.22	50	5.9
$E_m = 29.536 \ln(GSI) - 107.116$	1.88	57.24	50	5.10
$E_m = 4.76E-13 GSI^{7.830}$	2.83	4.29	50	5.11
$E_m = 0.002e^{0.167 GSI}$	2.89	7.68	50	5.12
$E_m = 0.097 RQD - 0.656$	1.73	63.75	50	5.13
$E_m = 3.754 \ln(RQD) - 9.696$	1.96	53.37	50	5.14
$E_m = 0.047RQD^{1.123}$	1.81	63.18	50	5.15
$E_m = 0.8e^{0.027 RQD}$	1.92	56.72	50	5.16
$E_m/E_i = 0.0142RMR - 0.5744$	0.085	44.24	50	5.17
$E_m/E_i = 0.7367 \ln(RMR) - 2.745$	0.086	43.74	50	5.18
$E_m/E_i = 4E-11RMR^{5.532}$	0.088	43.56	50	5.19
$E_m/E_i = 0.0005e^{0.1051RMR}$	0.090	42.92	50	5.20
$E_m/E_i = 0.0642Rm_i + 0.0883$	0.094	32.32	50	5.21
$E_m/E_i = 0.101 \ln(Rm_i) + 0.1681$	0.088	40.72	50	5.22
$E_m/E_i = 0.129Rm_i^{0.747}$	0.096	32.95	50	5.23
$E_m/E_i = 0.0736e^{0.4548Rm_i}$	0.106	18.15	50	5.24
$E_m/E_i = 0.018GSI - 0.637$	0.097	28.70	50	5.25
$E_m/E_i = 0.851 \ln(GSI) - 3.056$	0.096	29.94	50	5.26
$E_m/E_i = 1.46E-12 GSI^{6.649}$	0.11	8.34	50	5.27
$E_m/E_i = 0.0002 e^{0.141GSI}$	0.12	13.60	50	5.28
$E_m/E_i = 0.003RQD + 0.004$	0.092	35.66	50	5.29
$E_m/E_i = 0.115 \ln(RQD) - 0.277$	0.094	31.51	50	5.30
$E_m/E_i = 0.003RQD^{0.973}$	0.094	35.39	50	5.31
$E_m/E_i = 0.034e^{0.023RQD}$	0.097	31.87	50	5.32

Şekil 5.9’da verilen ilişkilerde tahmin edilen deformasyon modülü sırasıyla 5.1, 5.6, 5.10 ve 5.13 nolu eşitlikler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen deformasyon modülüne ait veri çiftlerinin sırasıyla 0.88, 0.87, 0.76 ve 0.80 korelasyon katsayıları ile 1:1 çizgisi üzerinde dağıldıkları gözlenmektedir. Bu dağılım, görgül eşitliklerin yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 5.9. Ölçülen ve tahmin edilen deformasyon modülü (E_m) ilişkisi

Şekil 5.10’da verilen ilişkilerde tahmin edilen E_m/E_i sırasıyla 5.19, 5.23, 5.27 ve 5.32 nolu eşitlikler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ölçülen ve tahmin edilen E_m/E_i ’ye ait veri çiftlerinin sırasıyla 0.66, 0.59, 0.45 ve 0.57 korelasyon katsayıları ile 1:1 çizgisi üzerinde dağıldıkları gözlenmektedir. E_m/E_i değerlerinin 1:1 çizgisi üzerinde dağılımları incelendiğinde, 5.19 nolu eşitliğin haricindeki eşitlikler düşük korelasyona sahiptirler.



Şekil 5.10. Ölçülen ve tahmin edilen E_m/E_i ilişkisi

5.5. Eşitliklerin Önceki Çalışmalarla Karşılaştırılması

Kaya kütlelerinin deformasyon modülünün belirlenmesine yönelik elde edilen görgül eşitliklerin daha önceden belirlenen eşitliklerle karşılaştırılmasında bazı önemli kriterler vardır. Bu kriterler;

***Test Metotları:** Kaya kütlelerinin deformasyon modülünün yerinde belirlenmesine yönelik aynı kaya kütlelerine uygulanan yöntemlerin (presiyometre, dilatometre ve plaka yükleme gibi) farklı olması nedeni ile deformasyon modülü farklılık sunmaktadır (Zhang and Einstein, 2004).

***Süreksizlik Koşulları:** Kaya kütlelerinin anizotropik olması ve kütledeki süreksizlik koşulları göz önünde bulundurulduğunda (aralık, açıklık, dolgu, pürüzlülük, bozunma vs.) görgül olarak belirlenen deformasyon modülü geniş aralıklarda değişim göstermektedir. Ayrıca belirlenen görgül eşitliklerdeki değişkenlerin farklılığından dolayı hesaplanan deformasyon modülü farklılık göstermektedir.

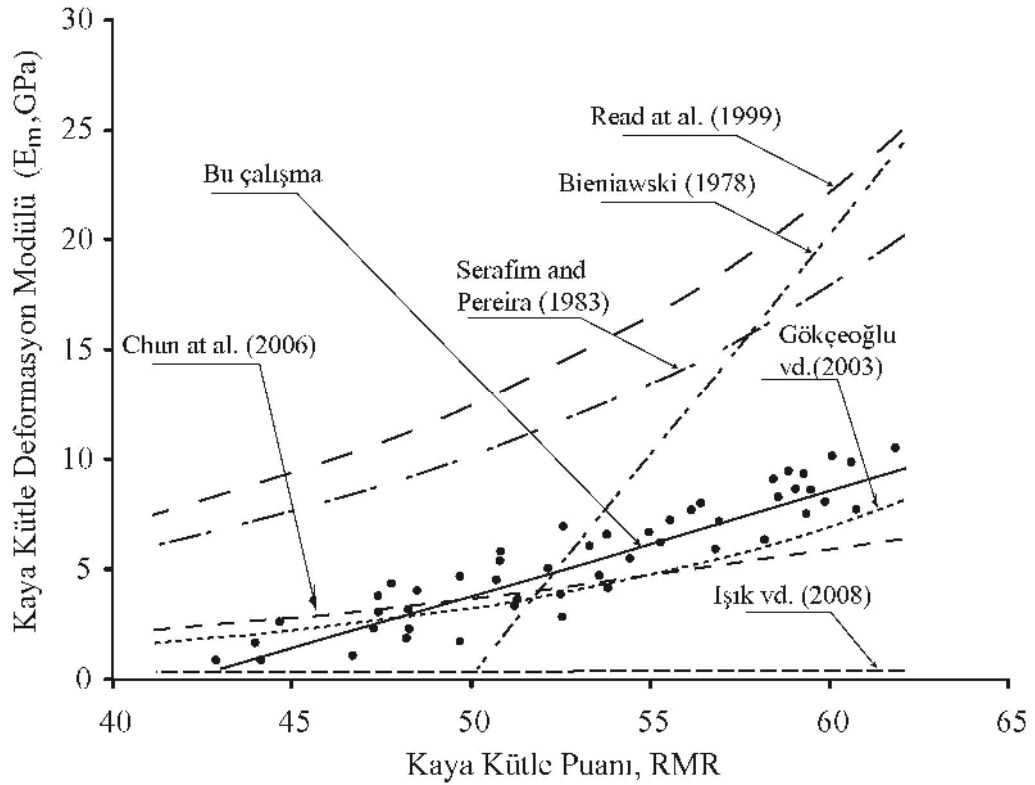
Bu dezavantajlara ek olarak yerinde deformasyon modülünü belirlemeye yönelik çalışmalar genellikle açılmış sondaj kuyularında uygulandığı için kuyuların açım esnasında gereğinden fazla örselenmesi de deformasyon modülünün değerlerinde geniş aralıklarda farklılık göstermesine neden olmaktadır (Işık vd., 2008). Ayrıca, farklı araştırmacılar (Bieniawski, 1978; Nicholson and Bieniawski, 1990; Read et al. 1999; Ramamurthy, 2004; Chun et al., 2006) tarafından şimdiye kadar önerilen görgül deformasyon modülü eşitliklerinde; süreksizlik yönelimi ve deney yapılan derinlik (arazideki gerilme durumu) dikkate alınmamıştır.

Bu çalışmada kaya kütlelerinin deformasyon modülünü belirlemek için RMR, R_{Mi}, GSI ve RQD kullanılmıştır. Kaya kütlelerinin deformasyon modülünü yerinde belirlemeye yönelik yapılan presiyometre deneyleri ise tabaka yönelimi dikkate alınarak tabaka düzlemi ile farklı açılar yapacak şekilde (0° ile 90°) gerçekleştirilmiştir. Ancak, bu çalışmada da diğer önerilen görgül eşitliklerde olduğu gibi arazideki gerilme durumu dikkate alınmamıştır.

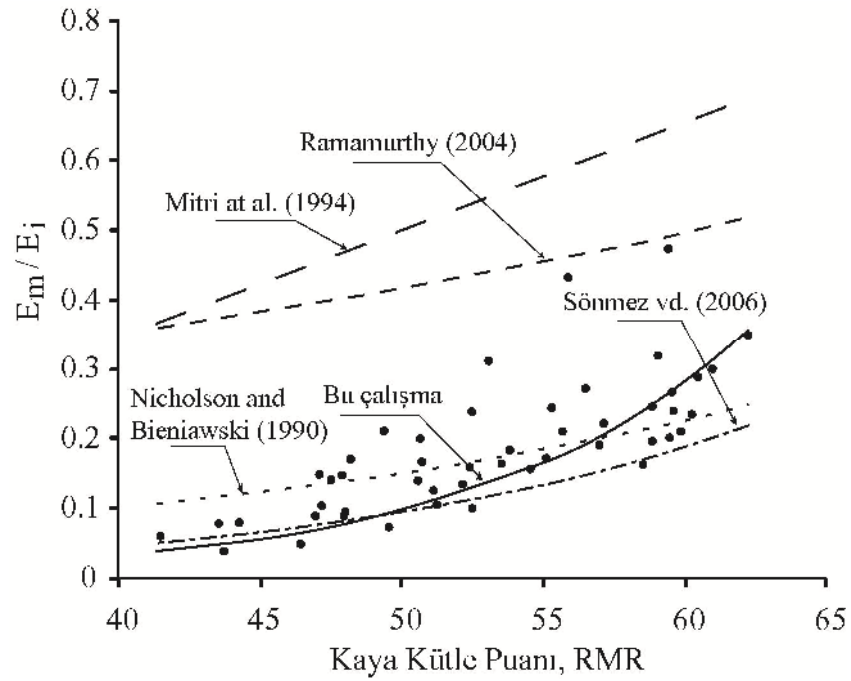
RMR ve E_i parametreleri kullanılarak çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen ve bu çalışmada belirlenen eşitlikler Çizelge 5.13’de, bu eşitliklere ait ilişkiler ise Şekil 5.11 ve 5.12’de verilmiştir. Şekil 5.11 incelendiğinde; bu çalışmada silttaşları için önerilen eşitliğin, Gökçeoğlu vd. (2003) tarafından kuvarsdiorit, kireçtaşı ve marn kaya kütleleri için önerilen eşitlik ve Chun vd. (2006) tarafından andezit, tuf, gnays, granit ve kumtaşı kaya kütleleri için önerilen eşitliklerle litolojik olarak farklılık sunmasına rağmen uyum sağladığı gözlenmektedir. Şekil 5.12’de ise silttaşı kaya kütleleri için önerilen eşitlik, Nicholson and Bieniawski (1990) ile Sönmez vd. (2006) tarafından önerilen eşitliklerle uyum sağlamaktadır. Daha önceden farklı litolojik birimlerde önerilen eşitliklerin bazıları silttaşı kaya kütlelerinde önerdiğimiz eşitliklerle uyum sağlamaktadır. Bunun sebebi Kaya kütlelerinin deformasyon modülünün görgül eşitlikler kullanılarak hesaplanmasında RMR bağımsız değişken olarak kullanıldığı için litoloji farklı olsa bile RMR değişkeni benzer olan eşitlikler benzerlik göstermektedir. Bu durum R_{Mi}, GSI ve RQD’nin bağımsız değişken olarak kullanıldığı görgül eşitlikler içinde geçerlidir.

Çizelge 5.13. Farklı yazarlar tarafından önerilen RMR'ye bağlı deformasyon modülü eşitlikleri

Yazarlar	Kayaç türü	Eşitlik ve Sınırlama
Bieniawski (1978)	Kumtaşı, çamurtaşı, diyabaz, sleyt, fillit, kuvarsit	$E_m = 2RMR - 100$ RMR>50 için
Serafim and Pereira (1983)	-	$E_m = 10^{\frac{RMR-10}{40}}$ RMR<50
Nicholson and Bieniawski (1990)	-	$E_m / E_i = 1/100 * [0.0028RMR^2 + 0.9\exp(RMR/22.82)]$
Mitri et al. (1994)	-	$E_m / E_i = [0.5(1 - (\cos(\pi * RMR/100)))]$
Read et al. (1999)	-	$E_m = 0.1 \left(\frac{RMR}{10} \right)^3$
Gökçeoğlu vd. (2003)	Kuvarsdiyorit, kireçtaşı, marn	$E_m = 0.0736e^{0.0755RMR}$
Ramamurthy (2004)	Kumtaşı, granit, kireçtaşı	$E_m / E_i = \exp - 0.0035[5(100 - RMR)]$
Sönmez vd. (2006)	-	$E_m / E_i = 10^{[(RMR-100)(100-RMR)/4000\exp(-RMR/100)]}$
Chun at al. (2006)	Andezit, granit, gnays, tuf, kumtaşı	$E_m = 0.3228 \exp(0.0485RMR)$
Işık vd. (2008)	Kiltaşı, kumtaşı, andezit	$E_m = 6.7RMR - 103.06$ RMR ≥ 27
Bu çalışma	Silttaşı	$E_m = 0.4758RMR - 20.082$ RMR > 42.3
Bu çalışma	Silttaşı	$E_m/E_i = 4E-11RMR^{5.532}$



Şekil 5.11. Silttaşı kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile RMR ilişkisi ve diğer araştırma sonuçları ile karşılaştırılması

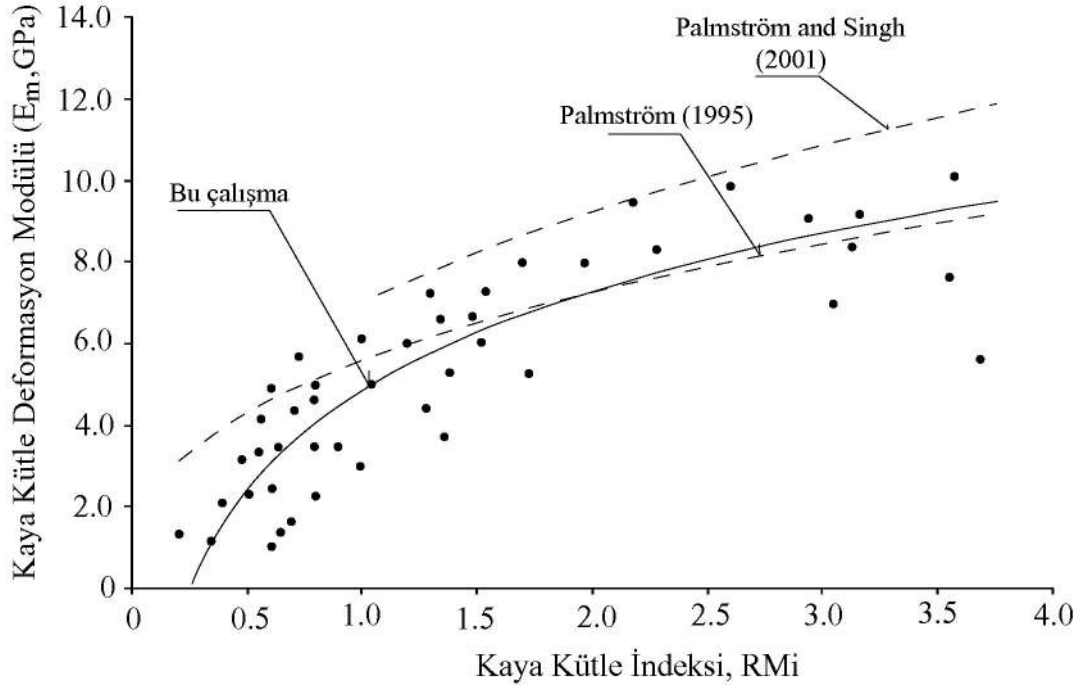


Şekil 5.12. Silttaşı kaya kütlelerinde E_m/E_i ile RMR arasındaki ilişkiler ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması

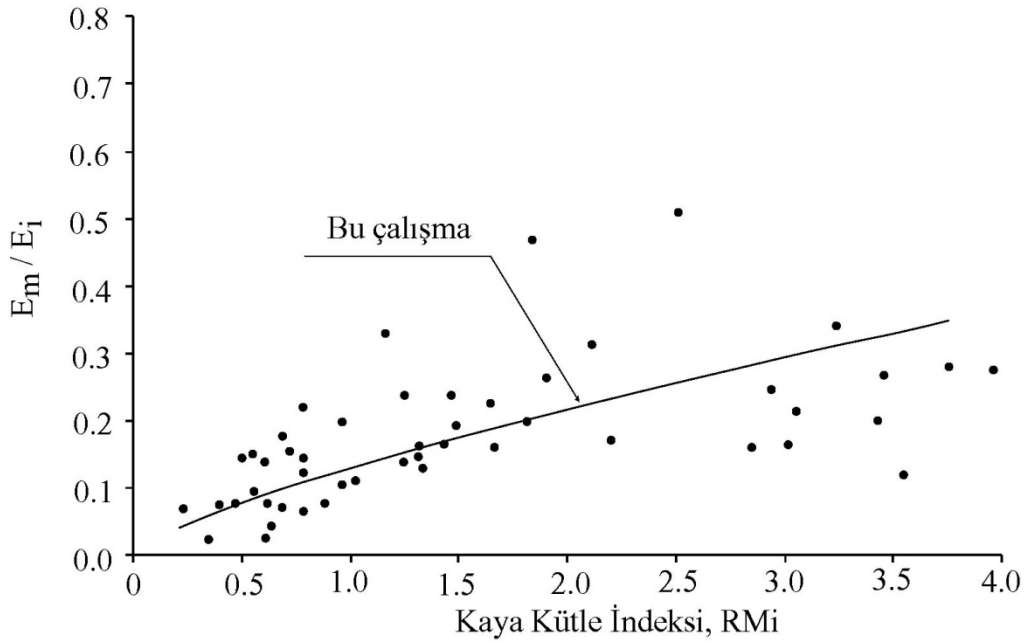
Deformasyon modülünün belirlenmesinde R_{Mi} kullanılarak önerilmiş eşitlikler Çizelge 5.14’de, bu eşitliklere ait ilişkiler ise Şekil 5.13 ve 5.14’de verilmiştir. Şekil 5.13’de verilen ilişkiler incelendiğinde bu çalışmada önerilen eşitliğin Palmström (1995) tarafından önerilen eşitlikle uyum sağladığı gözlenmektedir. Şekil 5.14’de ise ilk defa bu çalışmada incelenen E_m/E_i ile R_{Mi} arasındaki kuvvetli bir korelasyona sahip ilişki verilmiştir.

Çizelge 5.14. Farklı yazarlar tarafından önerilen R_{Mi}’ye bağlı deformasyon modülü eşitlikleri

Yazarlar	Kayaç türü	Eşitlik ve Sınırlama
Palmström (1995)	Garnit, monzonit, dasitik tuf, şist	$E_m = 5.6R_{Mi}^{0.375}$ $R_{Mi} > 0.1$
Palmström and Singh (2001)	Gnays, granit, mikaşist, kumtaşı, riyolit	$E_m = 7R_{Mi}^{0.4}$ $1 < R_{Mi} < 30$
Bu çalışma	Silttaşı	$E_m = 3.5078 \ln(R_{Mi}) + 4.8578$ $R_{Mi} > 0.26$
Bu çalışma	Silttaşı	$E_m/E_i = 0.129R_{Mi}^{0.747}$



Şekil 5.13. Silttaşı kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile RMI arasındaki ilişkiler ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması



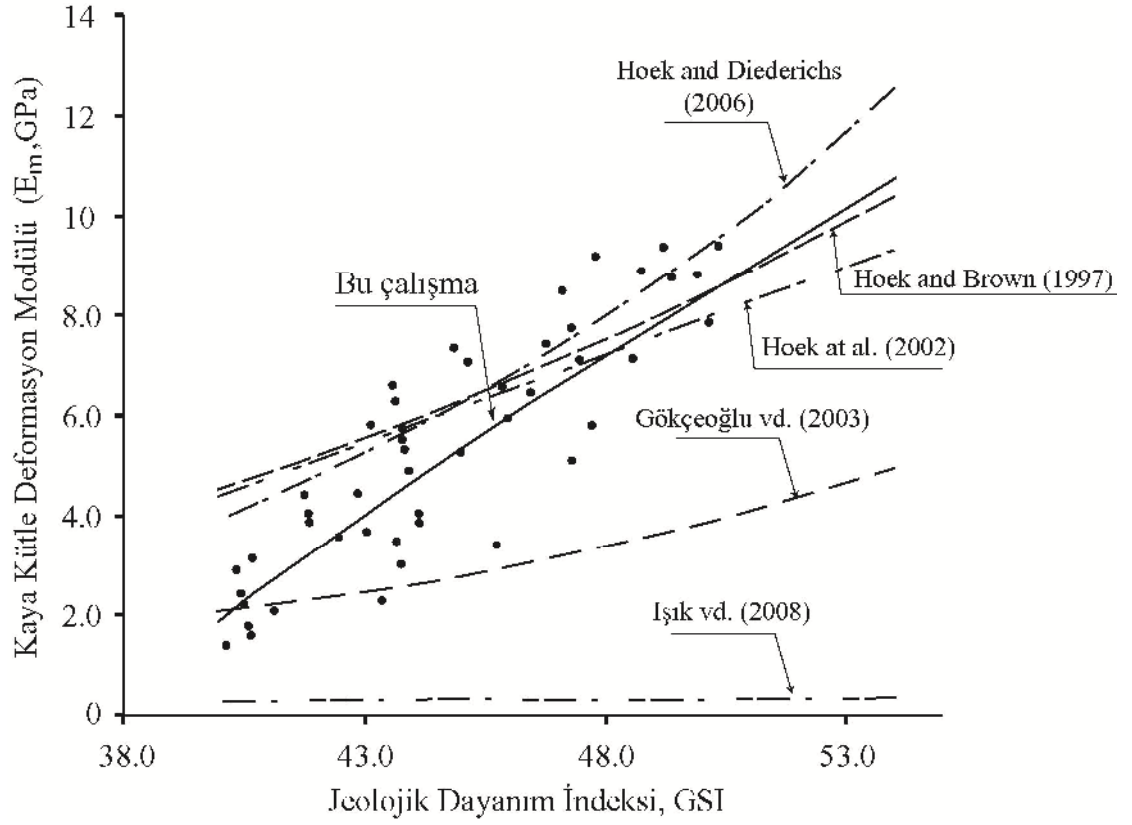
Şekil 5.14. Silttaşı kaya kütlelerinde E_m/E_i ile RMI arasındaki ilişki

GSI, E_i ve σ_{ci} kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından önerilen ve bu çalışmadan belirlenen eşitlikler Çizelge 5.15’de, bu eşitliklere ait ilişkiler ise Şekil 5.15 ve 5.16’da verilmiştir. Şekil 5.15 incelendiğinde bu çalışmada önerilen eşitliğin Hoek and Brown

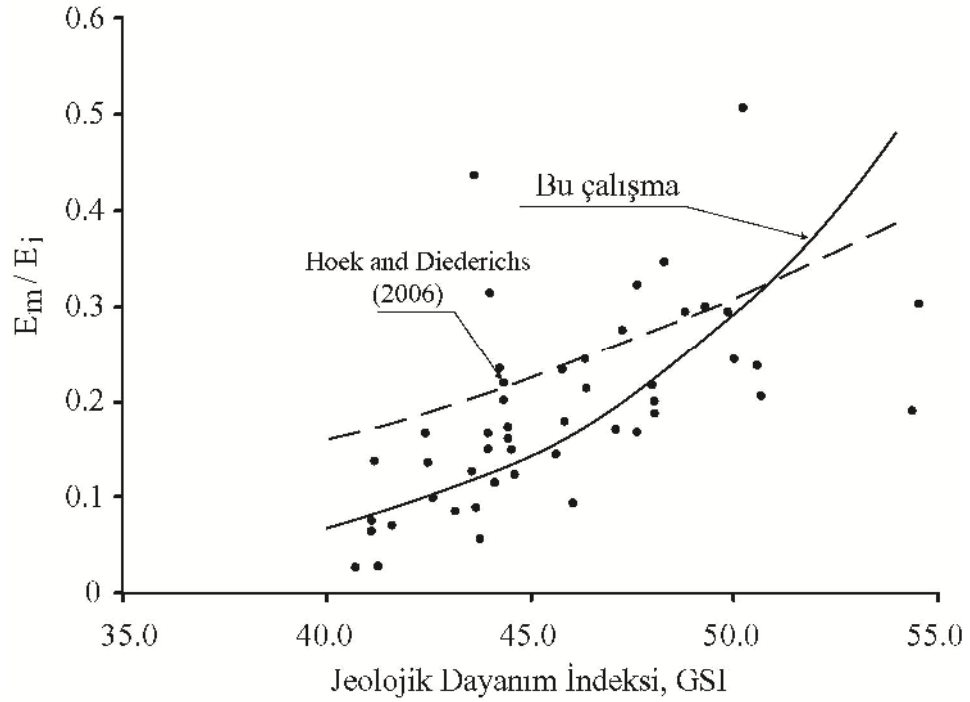
(1997), Hoek et al. (2002) ve Hoek and Diederichs (2006) tarafından önerilen eşitliklerle uyum sağladığı gözlenmektedir. Şekil 5.16’da ise önerilen eşitliğin Hoek and Diederichs (2006) tarafından önerilen eşitlikle yakın değer aralıklarında dağılım gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 5.15. Farklı yazarlar tarafından önerilen GSI, σ_c ve E_i ’ye bağlı deformasyon modülü eşitlikleri

Yazarlar	Kayaç türü	Eşitlik ve Sınırlama
Hoek and Brown (1997)	Marn	$E_m = \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}}$
Hoek et al. (2002)	-	$E_m = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}} \quad \sigma_{ci} < 100$
Gökçeoğlu vd. (2003)	Kuvarsdiyorit, kireçtaşı, marn	$E_m = 0.1451 e^{0.0654 GSI}$
Hoek and Diederichs (2006)	Kumtaşı, kireçtaşı, silttaşı, kıltaşı, konglomera, şeyl, bazalt, aglomera, diyorit,	$E_m = 100000 \left(\frac{1 - (D/2)}{1 + e^{(75+25D-GSI)/11}} \right)$
Hoek and Diederichs (2006)	granit, gabro, dolerit, andezit, tüf, kuvarsit, arjilit, gnays, şist	$E_m/E_i = \left(0.02 + \frac{1}{1 + e^{(60+15D-GSI)/11}} \right)$
Işık vd. (2008)	Kıltaşı, kumtaşı, andezit	$E_m = 5.67 GSI$
Bu çalışma	Silttaşı	$E_m = 29.536 \ln(GSI) - 107.116 \quad GSI > 37$
Bu çalışma	Silttaşı	$E_m/E_i = 1.46 E^{-12} GSI^{6.649}$



Şekil 5.15. Silttaşı kaya kütlelerinin yerinde deformasyon modülü ile GSI arasındaki ilişkiler ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması

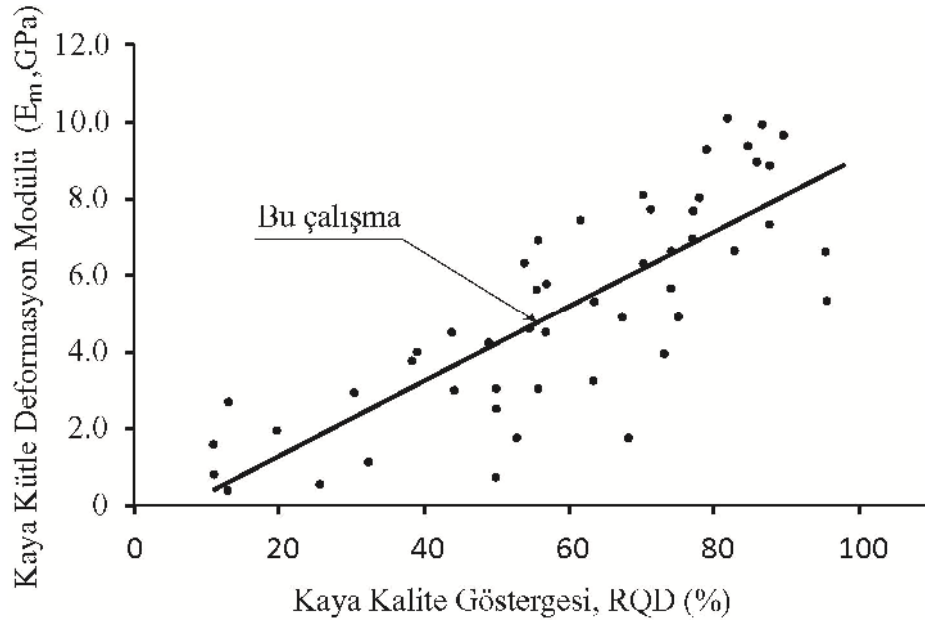


Şekil 5.16. Silttaşı kaya kütlelerinde E_m/E_i ile GSI arasındaki ilişkiler ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması

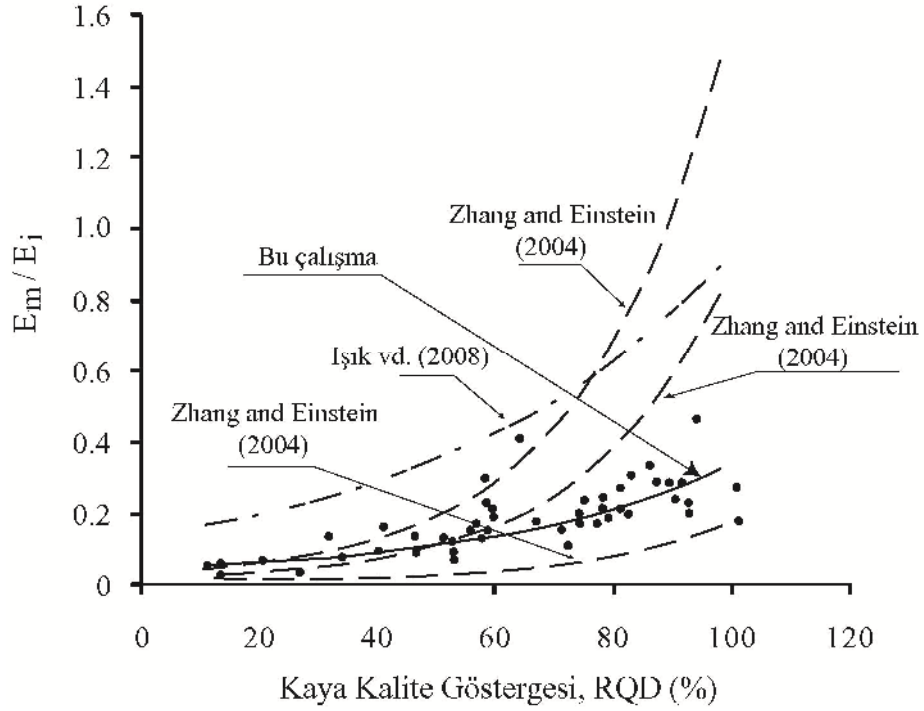
RQD ve E_i kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından önerilen ve bu çalışmadan belirlenen eşitlikler Çizelge 5.16’da, bu eşitliklere ait ilişkiler ise Şekil 5.17 ve 5.18’de verilmiştir. Bu çalışmada sadece RQD değerinin girdi parametresi olarak kullanılmasıyla deformasyon modülü grafiği çizilmiştir (Şekil 5.17). Şekil 5.18’de E_m/E_i değeri ile RQD değeri arasındaki ilişkiler incelendiğinde önerilen eşitliğin Zhang and Einstein (2004) tarafından önerilen 2.20 nolu eşitlikle benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 5.16. Farklı yazarlar tarafından önerilen RQD’ye bağlı deformasyon modülü eşitlikleri

Yazarlar	Kayaç türü	Eşitlik ve Sınırlama
Zhang and Einstein (2004)		$E_m/E_i = 0.2 \times 10^{0.0186RQD - 1.91}$
Zhang and Einstein (2004)	Granit, gnays, kireçtaşı, kumtaşı	$E_m/E_i = 1.8 \times 10^{0.0186RQD - 1.91}$
Zhang and Einstein (2004)		$E_m/E_i = 10^{0.0186RQD - 1.91}$
Işık vd. (2008)	Kıltaşı, kumtaşı, andezit	$E_m/E_i = 0.1292e^{0.0197RQD}$
Bu çalışma	Silttaşı	$E_m/E_i = 0.034e^{0.023RQD}$
Bu çalışma	Silttaşı	$E_m = 0.097 RQD - 0.656$ RQD > 7



Şekil 5.17. Silttaşı kaya kütesinin yerinde deformasyon modülü ile RQD arasındaki ilişki



Şekil 5.18. Siltaşı kaya kütlelerinin E_m/E_i ile RQD arasındaki ilişki ve diğer araştırmalar ile karşılaştırılması

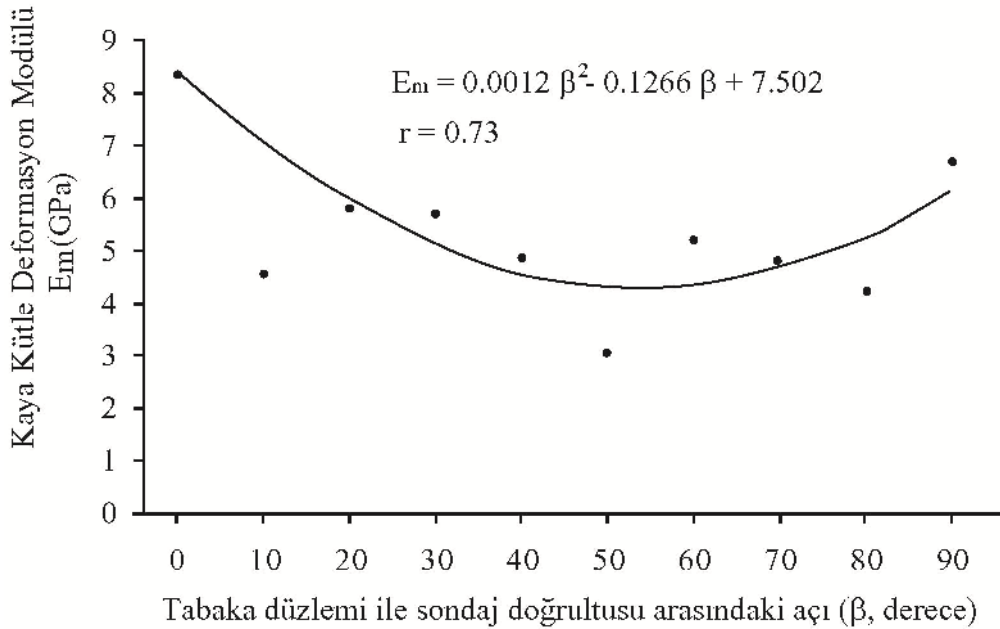
Farklı araştırmacılar tarafından şimdiye kadar önerilmiş olan eşitliklerde farklı kaya türlerinin kullanılmış olması ve bu çalışmada önceki çalışmalardan farklı olarak 0° ile 90° arasında açılı sondajlarda yapılan presiometre deneylerinden deformasyon modülü değerlerinin belirlenmesi nedeni ile önerilen eşitlikler önceki çalışmalarda önerilen eşitliklerden farklılıklar sunmaktadır. Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen görgül eşitlikte kullanılan birçok litolojik birim arasında siltaşıları da kullanılmış olması nedeniyle bu çalışmada önerilen görgül eşitlik en büyük benzerliği bu araştırmacılar tarafından önerilen eşitliklerle göstermektedir.

5.6. Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu Arasındaki Açının Deformasyon Modülü (E_m) Üzerindeki Etkisi

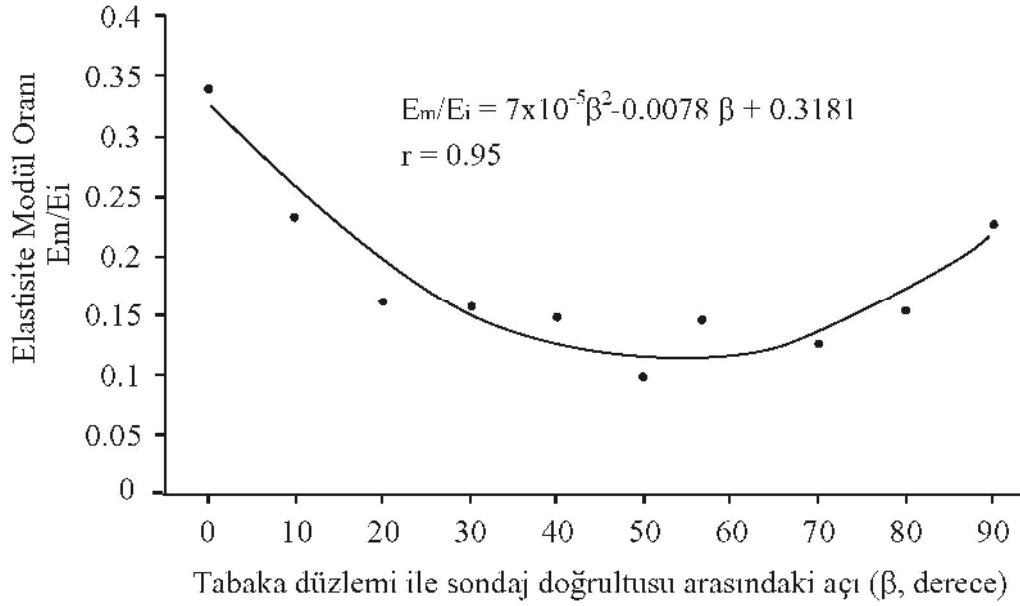
Kaya kütlelerinin deformasyon modülünün görgül olarak belirlenmesi konusunda bugüne kadar yapılmış olan çalışmalarda (Nicholson and Bieniawski, 1990; Barton, 2002; Hoek et al., 2002; Gokceoglu et al., 2003; Sonmez et al., 2006; Hoek and Diederichs, 2006) önerilen eşitliklerde RMR, R_{mi}, Q, GSI, RQD ve E_i kullanılmıştır. Bu araştırmalarda kaya kütlelerinin içerdiği süreksizlik düzlemlerinin aralığı, açıklığı, devamlılığı, pürüzlülüğü, dolgu türü, bozunma derecesi ve su durumu gibi özellikleri kullanılmış, süreksizlik yönelimi araştırmacılar tarafından önerilen görgül eşitliklerde kullanılmadığı gözlenmiştir.

Süreksizlik yöneliminin, kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda (Einstein et al., 1969; Reik and Zacas, 1978; Yoshinaka and Yamabe, 1986; Yang et al., 1998; Singh et al., 2002; Wang and Huang, 2009), kaya kütle deformasyon modülü ve dayanımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmaktadır. Yang et al. (1998); Singh et al. (2002) ve Wang and Huang (2009) laboratuvarında plastik materyal ve tuğla kullanarak yaptıkları modelleme çalışmasında, farklı yönelim ve sayıda süreksizlik içeren modellerde yükleme doğrultusu ile süreksizlik düzlemleri arasındaki açı (β) farkının E_m 'yi etkilediğini belirtmektedirler.

Bu çalışmada silttaşı için, E_m 'nin sondaj doğrultusu ve süreksizlik düzlemi arasındaki açıya (β) bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Bu amaçla tabakalanma düzlemlerine 10° lik açılarla jeoteknik amaçlı sondajlar açılmış ve bu sondajların her bir metresinde presiyometre deneyleri yapılmıştır. İncelenen silttaşı kütlelerinin içerdiği süreksizliğin en önemlisi tabaka düzlemi olduğu için tabakalanma düzlemleri referans düzlem olarak dikkate alınmıştır. Presiyometre deneylerinden elde edilen E_m ve elastisite modül oranı (E_m/E_i) ile β açısı arasındaki ilişkiler regresyon analizleri ile incelenmiştir. Ortalama E_m - β ve E_m/E_i - β değerleri ile β açısı arasındaki ilişkiler Şekil 5.19 ve 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.19. E_m - β arasındaki ilişkiler



Şekil 5.20. E_m/E_i - β arasındaki ilişkiler

Şekil 5.19’da verilen dağılım eğrisi E_m - β arasında çok kuvvetli bir korelasyonun olduğunu göstermekte olup, elde edilen eşitlik;

$$E_m = 0.0012 \beta^2 - 0.1266 \beta + 7.502, (r=0.73) \quad (5.35)$$

ve benzer durum E_m/E_i - β ilişkisi içinde geçerlidir. Bu ilişkilerden elde edilen eşitlik ise

$$E_m/E_i = 7 \cdot 10^{-5} \beta^2 - 0.0078 \beta + 0.3181, (r=0.95) \quad (5.36)$$

olarak belirlenmiştir.

Bu dağılım grafikleri önceki yıllarda yapılan modellemelerle benzerlik sunmaktadır. Şekil 5.19 ve 5.20’ye ait dağılım eğrileri incelendiğinde E_m ve E_m/E_i değerlerinin Singh et al. (2002) de verilen grafiklerde olduğu gibi β açısı 0° ve 90° olduğu durumlarda maksimum değerlere ulaşmaktadır. Ayrıca deformasyon modülü ve elastisite modül oranlarının açılarla değişimi incelendiğinde (Şekil 5.19 ve 5.20) bu ilişkilerin 45° ile 55° arasında en düşük değerler aldığı gözlenmektedir.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Elazığ doğusunda yüzeylenen silttaşlarının kaya kütle özellikleri ile kaya kütle deformasyon özellikleri arazi ve laboratuvarında incelenmiş elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1) Silttaşı kaya kütlesi, üç eklem ve bir tabaka olmak üzere 4 adet süreksizlik takımından oluşmaktadır. Bu eklem takımlarının eğimi ve eğim yönü 40/164, 77/211, 55/286 ve tabakanın eğim ve eğim yönü 33/135 dir. Süreksizlik aralığına göre, yakın-orta derecede aralıklı, süreksizlik açıklığına göre, orta derecede geniş-açık özellikte, süreksizlik devamlılığına göre, orta-çok yüksek devamlılık, az bozunmuş, düzlemsel pürüzlü, kalsit dolgulu ve tabaka yüzeylerinde su gözlenmemektedir.
- 2) Silttaşı kaya kütlesinde açılan jeoteknik amaçlı sondajlardan elde edilen karot örnekleri incelenmiş ve kaya kütlesine ait toplam karot verimi % 100, sağlam karot verimi % 82, süreksizlik sıklığı, kırıklı çatlaklı özellikte ve kaya kalite göstergesi % 11 ile % 98 arasında değişmekte olup, Silttaşı kaya kütlesi RQD sınıflamasına göre orta kaya kalitesindedir.
- 3) Sondaj kuyularında presiyometre deneyi ile elde edilen deformasyon modülü 0.32 GPa ile 10.49 GPa arasındadır.
- 4) Silttaşlarının kaya kütle deformasyon modülünü dolaylı olarak belirleyebilmek amacıyla silttaşı kaya kütlesinde yapılan RMR, R_{Mi}, ve GSI sınıflamalarının değişim aralıkları sırasıyla verilmiş olup bu değerler; 41.3 ile 62.2 arasında, 0.21 ile 3.75 arasında ve 40 ile 54 arasında değişmektedir.
- 5) Kaya kütle deformasyon modülünü dolaylı olarak belirlemek amacıyla karşılaştırılan RMR, R_{Mi}, GSI, RQD ve E_m değişkenlerinin kendi aralarında anlamlı olup olmadığını belirlemek için t testi yapılmış ve değişkenlerin herbirinin kendi içinde anlamlı olduğu belirlenmiştir.
- 6) Bu çalışmada kaya kütlesinin deformasyon modülünü dolaylı yöntemlerle belirlemek için kullanılan RMR, R_{Mi}, GSI ve RQD ile deformasyon modülü (E_m) ve elastisite modül oranı E_m/E_i arasında bir anlamlılığın olup olmadığını belirlemek için değişkenler arasında yapılan korelasyon analizi sonuçlarına göre tüm değişkenlerin anlamlılığı 0.0001 tir ve karşılaştırılan özellikler anlamlıdır.

- 7) Kaya kütlesinin deformasyon modülünü dolaylı yöntemlerle belirlemek için (E_m -RMR, E_m -RMI, E_m -GSI, E_m -RQD, E_m/E_i -RMR, E_m/E_i -RMI, E_m/E_i -GSI ve E_m/E_i -RQD) parametreleri arasındaki ilişkiler basit regresyon analizleriyle değerlendirilmiş, eşitlikler için hesaplanan korelasyon katsayıları test edilmiş ve önerilen eşitliklerin her birinin korelasyon katsayısı testine göre anlamlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen eşitliklerin performansları çapraz korelasyon analizleri, RMSE ve VAF değerleriyle irdelenmiştir. Bu değerlendirme sonuçlarına göre; E_m ile RMR arasında çok kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik doğrusaldır.

$$E_m = 0.4758RMR - 20.082 \quad (r=0.89)$$

ve bu eşitliğe ait VAF= %76.77 ve RMSE= 1.39 değerlerini almaktadır ve en iyi performansı göstermektedir. Yapılan çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısı 0.88 olarak belirlenmiştir. Böylece belirlenen görgül eşitliğin yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğu ortaya konulmuştur. Ancak bu eşitlik $RMR > 42.3$ koşulu için geçerli olmaktadır.

E_m ile RMI arasında çok kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik logaritmiktir

$$E_m = 3.5078 \ln(RMI) + 4.8578 \quad (r=0.86)$$

ve bu eşitliğe ait VAF= %74.71 ve RMSE= 1.45 değerlerini almasıyla eşitliğin iyi performans gösterdiği ve yapılan çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısı 0.87 olarak belirlenmiştir. Bu değer belirlenen görgül eşitliğin yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Belirlenen eşitlik $RMI > 0.26$ koşulu için geçerli olmaktadır.

E_m ile GSI arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik logaritmik eşitlik olup,

$$E_m = 29.536 \ln(GSI) - 107.116 \quad (r=0.76)$$

bu eşitliğe ait VAF= %57.24 ve RMSE= 1.88 değerlerini alması eşitliğin iyi performans sahip olduğunu göstermektedir ve yapılan çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısı 0.76 olarak belirlenmiştir. Böylece belirlenen görgül eşitliğin yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğu ortaya konulmuştur. Belirlenen GSI > 37 koşulu için geçerli olmaktadır.

E_m ile RQD arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik doğrusal eşitlik olup,

$$E_m = 0.097 RQD - 0.656 \quad (r=0.80)$$

bu eşitliğin VAF değeri %63.75, RMSE değeri ise 1.73'tür eşitliğin performansı iyidir. Yapılan çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısının 0.80 olarak belirlenmiş

olması da, bu görgül eşitliğin yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğu ortaya koymaktadır. Belirlenen 5.13 nolu eşitlik $RQD > 7$ koşulu için geçerli olmaktadır.

E_m/E_i ile RMR arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik geometriktir

$$E_m/E_i = 4E-11RMR^{5.532} \quad (r=0.70)$$

ve bu eşitliğe ait VAF= %43.56 ve RMSE= 0.088 değerlerini almaktadır. Bu değerler eşitliğin iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir. Yapılan çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısı 0.66 olarak belirlenmiş ve böylece belirlenen görgül eşitliğin yeterli tahmin kapasitesine sahip olduğu ortaya konulmuştur.

E_m/E_i ile R_{mi} arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik geometrik eşitlik olup,

$$E_m/E_i = 0.129R_{mi}^{0.747} \quad (r=0.66)$$

bu eşitliğe ait çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısı 0.59 olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu eşitliğe ait VAF ve RMSE değerleri sırasıyla %32.95 ve 0.096 olarak belirlenmiştir. Bu değerler, eşitliğin performansının diğer eşitliklerle göre daha zayıf olduğunu göstermektedir.

E_m/E_i ile GSI arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik geometriktir

$$E_m/E_i = 1.46E-12 GSI^{6.649} \quad (r=0.61)$$

bu eşitliğe ait çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısı 0.45, VAF değeri %8.34, RMSE değeri ise 0.11 olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre eşitliğin performansının iyi olduğunu söylemek mümkün değildir.

E_m/E_i ile RQD arasında kuvvetli pozitif ilişki sunan eşitlik üssel eşitlik olup,

$$E_m/E_i = 0.034e^{0.023RQD} \quad (r=0.69)$$

bu eşitliğe ait çapraz korelasyon sonucunda korelasyon katsayısı 0.57 olarak belirlenmiştir. Eşitliğin VAF değeri %31.87, RMSE değeri ise 0.097 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre eşitliğin performansının iyi olduğunu söylemek mümkün değildir.

8. Bu çalışmada önerilen görgül eşitliklerin literatürdeki önceki çalışmalarda önerilen eşitliklerle uyumlu olup olmadığını ortaya koymak için önceki önerilen eşitliklerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada önerilen E_m -RMR arasındaki eşitliğin, Gökçeoğlu vd. (2003) ve Chun at al. (2006) tarafından önerilen eşitliklerle uyumlu olduğu, E_m/E_i -RMR arasındaki eşitliğin ise Nicholson and Bieniawski (1990) ve Sönmez vd. (2006) tarafından önerilen eşitliklerle uyumlu olduğu belirlenmiştir. E_m -R_{mi} arasında önerilen eşitliğin Palmström (1995) tarafından önerilen eşitlikle uyumlu olduğu belirlenmiştir. E_m -GSI arasında önerilen eşitliğin Hoek and Brown (1997), Hoek at al. (2002) ve Hoek

and Diederichs (2006) tarafından önerilen eşitliklerle uyum gösterdiği, E_m/E_i -GSI arasında önerilen eşitliğin ise Hoek and Diederichs (2006) tarafından önerilen eşitlik ile uyum göstermektedir. E_m/E_i -RQD arasında önerilen eşitliğin Zhang and Einstein (2004) tarafından önerilen eşitlikle uyum gösterdiği belirlenmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından şimdiye kadar önerilen görgül eşitliklerden sadece Hoek and Diederichs (2006) tarafından önerilen eşitlikte kullanılan litolojik birimler arasında silttaşları yer almaktadır. Bu çalışmada silttaşı kaya kütlesi için önerilen eşitliklerin önceden önerilen bazı eşitliklerle uyum göstermesi kullanılan bağımsız değişkenlerin (RMR, RMI, GSI) benzerlik göstermesine bağlıdır.

9. Yapılan regresyon analizlerinden, E_m ile RMR, RMI, GSI ve RQD arasındaki ilişkilerin E_m/E_i ile RMR, RMI, GSI ve RQD arasındaki ilişkilere göre daha kuvvetli korelasyona ve daha yüksek performansa sahip oldukları belirlenmiştir.
10. Süreksizlik düzlemi ile sondaj doğrultusu arasındaki açının kaya kütle deformasyon modülü üzerindeki etkisi şimdiye kadar sadece laboratuvar koşullarında oluşturulmuş modeller üzerinde test edilmiştir. İlk kez bu çalışmada tabakalanma düzlemi ile sondaj doğrultusu arasındaki ilişki gerçek kaya kütlelerine uygulanmıştır. Bu çalışmada ortalama E_m - β ve E_m/E_i - β ile β açısı arasındaki ilişkiler incelendiğinde sırasıyla $r=0.73$ ve $r=0.95$ gibi kuvvetli ve çok kuvvetli bir korelasyonun olduğu belirlenmiştir. Bu dağılım grafikleri önceki yıllarda yapılan laboratuvar modellemeleriyle benzerlik sunmaktadır. E_m ve E_m/E_i değerlerinin β açısının 0° ve 90° olduğu durumlarda maksimum değerlere ulaştığı ve 45° ile 55° arasında ise en düşük değerleri aldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kaya kütlelerinin deformasyon modülü belirlenirken β açısının mutlaka dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.
11. Bu çalışma silttaşı kaya kütlesinde gerçekleştirilmiştir. Bu kaya kütlesi RQD değerine göre iyi-orta kaya, RMR ve RMI değerlerine göre ise sırasıyla orta ve orta-iyi kaya özelliğindedir. Dolayısıyla bu çalışmada önerilen görgül eşitlikler iyi-orta kaya kalitesindeki kütleleri daha iyi yansıtmaktadır.
12. Kaya kütlelerinin deformasyon modülünü görgül eşitliklerle belirlemeye yönelik literatürde daha önceden önerilmiş olan eşitliklerin belirlenmesinde yapılan yerinde deneylerde süreksizlik yönelimi dikkate alınmamıştır. Oysa bu çalışmada yapılan sondaj çalışmaları 0° ile 90° arasında 10 ar derecelik açılarla gerçekleştirildiği için, eşitliklerin bazı sınırlamalara ($RMR>42.3$, $RMI>0.26$, $GSI>37$ ve $RQD>7$) sahip

olmasına rağmen, bu görgül eşitliklerin silttaş kaya kütlelerinin deformasyon modülünün belirlenmesinde daha sağlıklı olduğunu söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

- Aksoy, E., İnceöz, M., Koçyiğit, A., 2007. Lake Hazar Basin: a negative flower structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **16**, 319-338.
- Aktaş, E. ve Robertson, A. H. F., 1984, The Maden Complex SE Turkey; Evolution of the Neotethyan active margin; Dixon, J. E. And Robertson, A.H. F., eds., The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean 375-402, London.
- Aktaş, G. ve Robertson, A.H.F., 1990. Late Cretaceous–Early Tertiary fore-arc tectonics and sedimentation: Maden Complex, SE Turkey. In: M.Y. Savaşçın and A.H. Eronat, Editors, *Proceedings of the International Earth Sciences Congress on Aegean Regions*, İzmir–Turkey, pp. 271–276.
- Altunbey, M. ve Çelik, S., 2005. Anayatak (Maden – Elazığ) Bakır Cevherleşmesinin Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri, *Geosound/Yerbilimleri Dergisi*, **47**, 63-90.
- Alvarez Grima, M. and Babuska, R., 1999. Fuzzy model for the prediction of unconfined compressive strength of rock samples. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, **36**, 339-349.
- Arpat, E., Şaroğlu, F., 1972, Doğu Anadolu Fayı ile ilgili gözlemler ve düşünceler: *MTA Enst.Dergisi*, **78**, 44-50, Ankara.
- ASTM, 2000. Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soils: *Annual Book of ASTM Standards*. ASTM Publications, Philadelphia.
- Attewell, P.B., Farmer, I.W., 1976. Principles of Engineering Geology, Chapman and Hall, London, 1045.
- Aydan, Ö., Shimizu, Y. ve Kuvamoto, T., 1995. A Portable System for In-situ Characterization of Surface Morphology and Frictional Properties of Rock Discontinuities. Proc. 4th Intl. Symp. Field Measurements in Geomechanics, Bergamo, Italy, 463-470.
- Barton, N.R., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* **4**, 189-239.
- Barton, N. ve Bannis, S., 1982. Effect of Block Size on the Shear Behavior of Jointed Rock, *Issue in Rock Mechanic*, 23 rd U.S. Symposium on Rock Mechanic, Berkeley, California, Society of Mining Engineers of AIME
- Barton, N. R. ve Bandis, S., 1990. Review of Predictive Capabilities of JRC-JCS Model In Engineering Practice, Rock Joints, Leon, Norway. Balkema, Rotterdam, 603-610.
- Barton, N., 2002. Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* **39**, 185-216.
- Bieniawski, Z.T., 1973. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. *Transactions of The South African Institution of Civil Engineers*, **15**, 335-344.
- Bieniawski, Z.T., 1978. Determining rock mass deformability: experience from case histories. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* **15**, 237–247.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classifications. John Wiley and Sons, New York. 237 pp.
- Bulut, F., 2002. Mohr-Coulomb Yenilme Kriterinden Elde Edilen Makaslama Dayanımı Parametrelerinin Güvenilirliği. Uluslar arası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı 10, 1-7s.

- Carvalho, J.**, 2004. Estimation of rock mass modulus. Personal communication. Cited in Ref. [33].
- Centre D Etudes Ménard**, 1975. Interpretation and application of pressuremeter test results to foundation design. Sols-Soils No: 26. 44 pp.
- Chun, B, Lee, Y., Seo, D., Lim, B.**, 2006. Correlation of Deformation Modulus by PMT with RMR and Rock Mass Condition. *Tunnelling and Underground Space Technology* **21**, (3-4), 231-232.
- Çağlar, M.**, 2009. Kişisel görüşme.
- Çelik, H.**, 2003, Mastar Dağı (Elazığ GD' su) çevresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri. F.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi* (Yayınlanmamış).
- Çelik, H.**, 2008. Dogu Anadolu Fay Sistemi'nde Sivrice Fay Zonu'nun Palu-Hazar Gölü (Elazığ) Arasındaki Bölümünde Atımla ilgili Yeni Arazi Bulgusu, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, **20** (2), 305-314.
- Çetin, H. Güneyli, H. ve Mayer, L.**, 2000. Dogu Anadolu Fayı (Hazar Gölü-Sincik Segmenti) üzerinde paleosismolojik trench'çalışmaları. *ATAG-4 Bildiri özleri*, Sivas, 35-36.
- Çetin, H. Güneyli, H. ve Mayer, L.**, 2003. Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, **374**, 163-197.
- Deere, D.U.**, 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mech. Rock Eng* **1**, 17-22.
- Dewey, J.F. and Sengör, A.M.C.**, 1979. Aegean and surrounding regions, complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone.
- Dewey, J.F., Hempton, M. R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. And Şengör, A. M. C.**, 1986, Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia a young collision zone: *Geol. Soc: Spec. Publ.*, **19**, 3-36.
- Einstein, H.H., Nelson, R.A., Bruhn, R.W., Hirshfeld, R.**, 1969. Model studies of jointed-rock behavior. *In Proc. of 11th U.S. Symp. on Rock Mech.*, Berkeley, pp. 83-103.
- Erdem, E.**, 1987. Elazığ-Kartaldere-Gölardı köyleri arasındaki magmatitlerin petrografik incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enst., 67s.
- Erdoğan, B.**, 1982. Ergani-Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu ofiyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaları. *TJK Bülteni*, **25**, 49-60.
- Finol, J., Guo, Y.K., Jing, X.D.**, 2001. A rule based fuzzy model for the prediction of petrophysical rock parameters. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **29**, 97-113.
- Fookes P., G. ve Denness, B.**, 1969., Observational Studies on Fissure Patterns Cretaceous Sediments of South- East England . *Geotechnique*, **19**, 4, 453-477.
- Franklin, J.A., Broch, E. ve Walton, G.**, 1971. Logging the Mechanical Character of Rock, *Trans. Ins. of Mining and Metallurgy*, vol: **80**.
- Galera, J.M., Alvarez, M., Bieniawski, Z.T.**, 2005. Evaluation of the deformation modulus of rock masses: comparison of pressuremeter and dilatometer tests with RMR prediction. *Proceedings of the ISP5-PRESSIO*. Paris, pp. 1-25.
- Ghose, A. K. ve Raju, N. M.**, 1981. Characterization of Rock Mass Vis-A-Vis Application of Rock Bolting in Indian Coal Measures, *Proc. 22 Nd U.S. Symp. Rock Mechanics.*, MIT, Cambridge, MA, 422-427.
- Gokceoglu, C., Sonmez, H. and Kayabasi, A.**, 2003. Predicting the deformation modulus of rock masses. *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci.* **40**, 701-710.

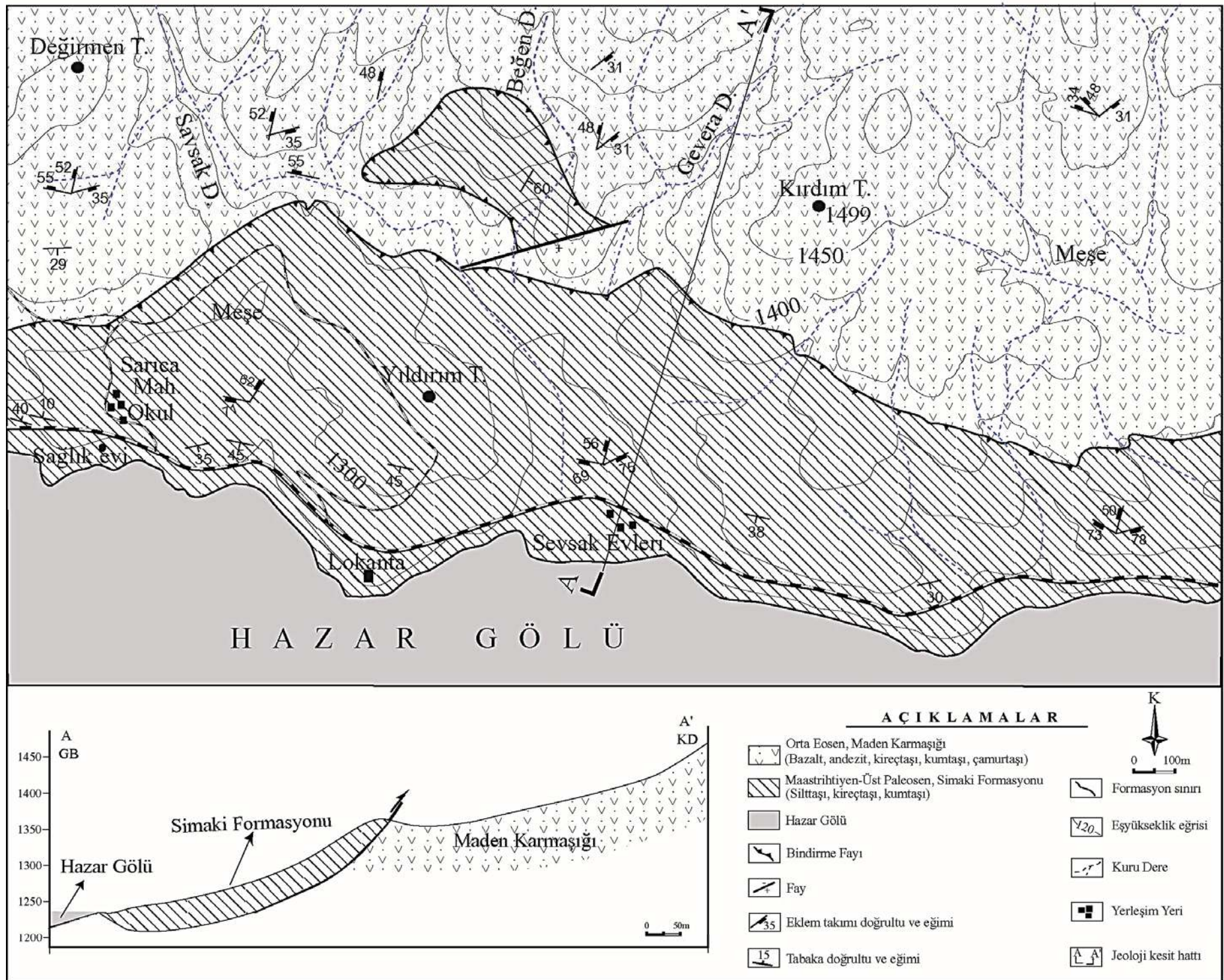
- Gokceoglu**, 2002. A fuzzy triangular chart to predict the uniaxial compressive strength of the Ankara agglomerates from their petrographic composition. *Engineering Geology*. **66**. 39-51.
- Gokceoglu and Zorlu**, 2004. A fuzzy model to predict the uniaxial compressive strength and modulus of elasticity of a problematic rock. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. **17**. 61-72.
- Gonzalez De Vallejo, L. I.**, 1983. A New Rock Classification System for Underground Assessment Using Surface Data, Proc. *Int. Symp. Eng. Geol. Underground Constr. LNEC*, Lisbon, 1, 85-94.
- Grimstad, E. and Barton, N.**, 1993. Updating the Q-system for NMT, *Proc. Int. Symp. on Sprayed Concrete-Modern use of wet mix sprayed concrete for underground support*, Osla, Norwegian Concrete Association, Oslo **Vol. 1993** 20 pp.
- Gülen, L., Barka, A. ve Toksöz, M. N.**, 1987. Kıtaların çarpışması ile ilgili kompleks deformasyon: Maras üçlü eklemi ve çevre yapıları. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Bült.*, **14**, 319-336.
- Gürocak, Z.**, 1993. Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi. *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enst., 72s.
- Hempton, M. R., Dune, L.A., and Dewey, J.F.**, 1983. Sedimentation active strike-slip basin, South eastern Turkey: Jown, *Geology*, **91**, 401-412.
- Herece, E. ve Akay, E.**, 1992. KarlıovaÇelikhan arasında Dogu Anadolu Fayı. *Türkiye 9. Petrol Kongresi. Bildiriler*, 361–372.
- Hoek, E., and Brown, E.T.**, 1980, Underground Excavations in Rock. Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons Ltd., Hertford, England, 527pp.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F.**, 1995. Support of Underground Excavations in Hard Rock. Balkema, Rotterdam, 214p
- Hoek, E. and Brown, E.T.**, 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Int J Rock Mech Min Sci Geomechanics Abstracts*. **27** (3), 227-229.
- Hoek, E., Marinos, P. ve 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** (2),151-160.
- Hoek E, Carranza-Torres CT, Corkum B.**, 2002. Hoek Brown failure criterion: 2002 edition. Proceedings of the North American Rock Mechanics Society Meeting Toronto, Canada,. p. 1–6.
- Hoek, E., and Diederichs, M. S.**, 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *Int J Rock Mech Min Sci*, **43**, 203-215.
- ISRM**, 1978. Suggested Methods for The Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, *International Rock Mechanics and Mining Science ,Geomech. Abstr.* **15**, 319-368.
- ISRM**, 1981, International Society for Rock Mechanics. Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Brown ET (editor), Pergamon Press, Oxford, p 211.
- ISRM**. 1982. Rock Characterization, Testing and Monitoring, *International Society for Rock Mechanics*, Pergamon Press, Oxford.

- ISRM**, 1985 (International Society for Rock Mechanics). Suggested method for determining point load strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, 22(2), 51-60.
- ISRM**, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring, eds: Ulusay, R., J.A. Hudson, Kazan Offset Press, Ankara, 628 s.
- Isik, N.S., Ulusay, R., Doyuran, V.**, 2008. Deformation modulus of heavily jointed-sheared and blocky greywackes by pressuremeter tests: Numerical, experimental and empirical assessments. *Engineering Geology* **101**, 269-282.
- Jennings, J. E.**, 1970. A mathematical theory for the calculation of the stability of slopes in open cast mines. Proceedings of the Symposium on Planning Open Pit Mines, Cape Town, Balkema, pp. 87-102.
- Kaya, A.**, 1993. Gezin-Maden (Elazığ) çevresinde jeolojik araştırmalar, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enst., 72s.
- Kaya, A.**, 2004. Gezin (Maden-Elazığ) Çevresinin Jeolojisi. *Pamukkale Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **10** (1), 41-50.
- Kayabasi, A., Gokceoglu, C., Ercanoglu, M.**, 2003, Estimating the deformation modulus of rock masses: a comparative study. *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci.* **40**, 55-63.
- Kendorski, F. S., Cummings, R.A., Bieniawski, Z. T. ve Sinner, E. H.**, 1983. Rock Mass Classification for Block Caving Mine Drift Support, Proc. 5th Int. Cong. Rock Mech. ISRM, Melbourne, B51-B63.
- Ketin, İ.**, 1966, Anadolu'nun Tektonik Birlikleri: *MTA dergisi*, **66**, 20-34.
- Kim G.**, 1993. Revaluation of geomechanics classification of rock masses. In: *Proceedings of the Korean geotechnical society of spring national conference, Seoul*. p. 3340.
- Laubscher, D. H.**, 1977. Geomechanics Classification of Jointed Rock Masses-Mining Applications, *Transactions of The Institution of Mining and Metallurgy, Section A, Mining Industry*, **86**, 1-8.
- Laubscher, D. H.**, 1984. Design Aspects and Effectiveness of Support Systems in Different Mining Conditions, *T. Min. Metall. A.*, **93**, A70-A81.
- Ménard, L.**, 1956. An apparatus for measuring the strength of soils in place. *MSc Thesis*, University of Illinois, Urbana.
- Mitri, H. S., Edrissi, R., and Henning, J.**, 1994. Finite element modelling of cablebolted slopes in hard rock ground mines. *SME Annual Meeting, New Mexico, Albuquerque*, pp. 94-116.
- Nakao, K., Iihoshi, S. ve Koyama, S.**, 1983. Statistical Reconsiderations On The Parameters for Geomechanics Classification, *Proc. 5th Int. Congre. Rock Mech, ISRM, Melbourne*, 1, 13-16.
- Nicholson, G.A. and Bieniawski, Z.T.**, 1990. A nonlinear deformation modulus based on rock mass classification, *Int. J. Min. Geol. Eng.* **8** (3), pp. 181-202.
- Olivier, H. J.**, 1979. Applicability of Geomechanics Classification to The Orange-Fish Tunnel Rock Masses, *Civ. Eng. S. Afr.*, **21**, 179-185.
- Palmström, A.**, 1995. Rmi - a rock mass characterization system for rock engineering purposes. *Ph.D. thesis*, Univ. of Oslo, Norway, 400 pp
- Palmström, A.**, 1996. Rmi-A System for Rock Mass Strength for Use in Rock Engineering. *Journal . of Rock Mechanics. and Tunneling Technique*, India, **1** (2), 69-108.
- Palmström, A.**, 2000. Recent developments in rock support estimates by the Rmi. *J Rock Mech. Tunn. Technol*, **6** (1), 1-19

- Palmström, A., Singh, R.**, 2001. The deformation modulus of rock masses-comparisons between in situ tests and indirect estimates. *Tunneling and Underground Space Technology* **16**, 115-131.
- Palmstrom, A. and Broch, E.**, 2006. Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system, *Tunn. Undergr. Space Technol.* **21**, pp. 575–593.
- Perinçek, D.**, 1979a. Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları: *TPAO arşiv no*: 1361.
- Perinçek, D.**, 1979b. The geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar Malatya area. guide book, *TJK yayını*, 33s.
- Perinçek, D.** 1980a. Arabistan Kıtası Kuzeyindeki Tektonik Evrimin Kıta Üzerinde Çökelen İstifteki Etkileri, *Türkiye 5. Petrol Kong.*, *Tebliğler*, 77-93.
- Perinçek, D.**, 1980b. Bitlis metamorfitlelerinde volkanitli Triyas: *TJK bült.*, **23**, 201-211.
- Perinçek ve Özkaya**, 1981, Arabistan kıtası kuzey kenarının tektonik evrimi. *Yerbilimleri*, **8**, 91-101.
- Perinçek, D., Günay, K., Kozlu, H.**, 1987, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler, *Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildirileri*, 89– 103, Ankara
- Piteau, D.R.**, 1970. Geological Factors Significant to The Stability of Slopes Cut in Rock. *Proc. of The Symp. on Planning Open Pit Mines*, S.A. Inst. Min. and Metal., Johannesburg, 33-53.
- Priest, S.D. ve Hudson, J. A.**, 1981. Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, **18**, 183-97.
- Ramamurthy, T.**, 2001. Shear strength response of some geological materials in triaxial compression. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* **38**, 683-97.
- Ramamurthy, T.**, 2004. A geo-engineering classification for rocks and rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* **41**, 89-101.
- Read, S.A.L., Richards, L.R. and Perrin, N.D.**, 1999. Applicability of the Hoek–Brown failure criterion to New Zealand greywacke rocks. *Proceedings 9th Int. Society for Rock Mechanics Congress*, Paris, Vol. 2, 655-660.
- Reik, G., Zacas, M.**, 1978. Strength and deformation characteristics of jointed media in true triaxial compression. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.* **15**, 295-303.
- Reillinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G.**, 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research* **111**, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Rigo De Righi, M., and Cortesini, A.**, 1964. Gravity tectonics in Foothill structure of southeast Turkey: *Amer. Assoc. Petrol. Geologist Bull.*, **48**, 1911-1937.
- Rocscience**, 1999. DIPS 5.0-Graphical and Statistical Analysis of Orientation Data Rocscience, Canada. 90 pp.

- Romana, M.**, 1985. New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes. *International Symposium On The Role of Rock Mechanics, Zacatecas, ISRM*. 49–53.
- Serafim, J. L. and Pereira, J.P.**, 1983. Considerations on the Geomechanical classification of Bieniawski. In: *Proceedings of the symposium on engineering geology and underground openings*. Portugal: Lisboa. p. 1133-44.
- Seymen, İ., Aydın, A.**, 1972, Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi: *MTA derg.*, **79**, 1-9.
- Singh, M., Rao, K.S., Ramamurthy, T.**, 2002. Strength and deformational behaviour of a jointed rock mass. *Rock Mech Rock Eng* **35**, 46-64.
- Sönmez, H. ve Ulusay, R.**, 1999. Modifications to The Geological Strength Index (GSI) and Their Applicability to Stability of Slopes, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, **36** (6), 743-760.
- Sönmez, H. ve Ulusay, R.**, 2002. A Discussion On The Hoek-Brown Failure Criterion and Suggested Modification to The Criterion Verified by Slope Stability Case Studies, *Yerbilimleri*, **26**, 77-9.
- Sonmez, H., Gokceoglu, C. and Ulusay, R.**, 2004. Indirect determination of the modulus of deformation of rock masses based on the GSI system. *Int. J. of Rock Mech. and Mining Sci.* **41** (5), 849-857.
- Sonmez, H., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A. and Kayabasi, A.**, 2006. Estimation of rock modulus: For intact with an artificial neural network and for rock masses with a new empirical equation. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* **43**, 224-235.
- Sungurlu O.**, 1974, VI. Bölge kuzey sahalarının jeolojisi. *Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğlerinden*, pp. 85-107
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E., Naz, H.**, 1985. Elazığ-Palu-Hazar alanının jeolojisi, *Petrol İşleri genel müdürlüğü dergisi.*, **29**, 83-191.
- Swan, G.**, 1981. Tribology and Characterization of Rock Joints. *22nd U. S. Symp. on Rock Mechanics*, Cambridge, Massachusetts, MIT, 402-407.
- Şengör, A.C.M.**, 1980, Türkiye'nin neotektoniğinin esasları: *TJK konferanslar serisi*, **2**, 40s.
- Şengör, A. M. C., ve Yılmaz, Y.**, 1983, Türkiye' de Tetis' in evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım. *TJK yerbilimleri özel dizisi*, no:1, Ankara.
- Tatar, Y.**, 1987. Elazığ Bölgesinin genel tektonik yapıları ve Landsat fotoğrafları üzerinde yapılan bazı gözlemler. *H.Ü. Yerbilimleri Ens. Derg.* **14**, 295-308.
- Turan, M.**, 1993. Elazığ yakın civarındaki bazı önemli tektonik yapılar ve bunların bölgenin jeolojik evrimindeki yeri, *Suat Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri*, Ankara Üniversitesi Fen Fak. Jeoloji Bölümü, Ankara, 193 – 204.
- Turan, M., Aksoy, E., Bingöl, A.F.**, 1993. Doğu Toroslar'ın jeodinamik evriminin Elazığ civarındaki özellikleri. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri'nin 25. yılı sempozyumu bildirileri*, 15 – 18 Kasım, Ankara.
- Turan, M., Aksoy, E., Bingöl, A.F.** 1995. Doğu Toroslar'ın Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri. *F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi* **7** (2), 177-199.
- Turan, M ve Gürocak, Z.**, 1997. Sivrice (Elazığ) Bölgesinde Doğu Anadolu FayZonu'nun Tektonik Özellikleri. *Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği 20. Yıl Sempozyumu*, 465-477, Konya.
- Tüysüz, N. ve Yaylalı, G.**, 2005. Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar. Karadeniz Teknik Üniversitesi, yayın no:220, fakülte no:61, 382s.

- Ulusay, R. ve Sönmez, H.**, 2000. Hoek-Brown Görgül Yenilme Ölçütüne İlişkin Değişiklik Önerileri ve Bunların Uygulanabilirliği. *Jeoloji Mühendisliği*, **23/24** (1), 1-21.
- Ulusay, R. ve Sönmez, H.**, 2007. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, 2. Baskı, Jeoloji Mühendisleri Odası, 292s., Ankara.
- Ünal, E.**, 1983. Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal Mine Roofs. *Ph. D. Thesis*, Pennsylvania State University, University Park, 355.
- Wang, T.T., Huang, T.H.**, 2009. A constitutive model for the deformation of a rock mass containing sets of ubiquitous joints. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* **46**, 521–530.
- Weaver, J. M.**, 1975. Geological Factors Significant in The Assessment of Rippability, *The Civil Engineer in South Africa*, **17**, 313–316.
- Wissbach, C.**, 1978. A New Method for The Determination of The Roughness of Rock Joints in Laboratory, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, **16**, 303-307.
- Yang, Z.Y., Chen, J.M., Huang, T.H.**, 1998. Effect of Joint Sets on the Strength and Deformation of Rock Mass Models. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* **35** (1), 75-84.
- Yazgan, E., and Chessex, R.**, 1991. Geology and Tectonic Evolution of the Southeastern Taurides in the Region of Malatya, *Turk Assoc Petrol Geol.*, **3**:1-42.
- Yiğitbaş, E. ve Yılmaz, Y.**, 1996, New evidence and solution the Maden complex controversy of the southeast Anatolian orogenic belt (Turkey). *Geologische Rundschau*, **85**, 250–263.
- Yoshinaka, R., Yamabe, T.**, 1986. Joint stiffness and the deformation behavior of discontinuous rock. *Int. J. Min. Sci. Geomech. Abstr.* **23**, 19-28.
- Zhang L, Einstein H.** 2004. Using RQD to estimate the deformation modulus of rock masses. *Int J Rock Mech Min Sci*, **41** (2), 337–41.



Ek 1. İnceleme alanının jeoloji haritası ve kesiti

EK 2. JEOTEKNİK AMAÇLI SONDAJLARA AİT LOGLAR

Araştırma Sondajı Kuyu Logu			Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel					Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 0°		
Sondaj No: SK-1		Derinlik : 5 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ					Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)										
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary										
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ		
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı				
0										
0.3		100	93	85	W3	3	Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu			
0.7										
1										
1.3		100	98	84	W3	2	Silttaşı			
1.7										
2										
2.3		100	89	63	W3	6	Silttaşı			
2.7										
3										
3.3		100	94	87	W3	5	Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu			
3.7										
4										
4.3		100	93	76	W3	5	Silttaşı			
4.7										
5										
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)		AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)					1 m DEKİ EKLEM SAYISI			
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış					< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış			

Araştırma Sondajı Kuyu Logu				Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel				Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 10°	
Sondaj No: SK-2		Derinlik : 5 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ				Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)									
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary									
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ	
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı			
0							Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu		
0.3		100	79	54	W3	9			
0.7									
1							Silttaşı		
1.3		100	81	33	W2	6			
1.7									
2							Silttaşı		
2.3		100	86	31	W2	9			
2.7									
3							Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu		
3.3		100	86	55	W2	10			
3.7									
4							Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu		
4.3		100	66	13	W3	14			
4.7									
5									
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)		AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)					1 m DEKİ EKLEM SAYISI		
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış					< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış		

Araştırma Sondajı Kuyu Logu				Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel				Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 30°	
Sondaj No: SK-3		Derinlik : 5 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ				Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)									
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary									
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ	
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı			
0							Silttaşı Eklemli kalsit dolgu		
0.3		100	69	45	W2	7			
0.7									
1							Silttaşı		
1.3		100	94	76	W2	7			
1.7									
2							Silttaşı		
2.3		100	91	51	W2	9			
2.7									
3							Silttaşı		
3.3		100	56	20	W2	16			
3.7									
4							Silttaşı Eklemli kalsit dolgu		
4.3		100	75	58	W2	9			
4.7									
5									
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)		AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)					1 m DEKİ EKLEM SAYISI		
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış					< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış		

Araştırma Sondajı Kuyu Logu				Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel				Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 90°	
Sondaj No: SK- 4		Derinlik : 5 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ				Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)									
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary									
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ	
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı			
0									
0.3		100	93	40	W2	12	Silttaşı Eklemli kalsit dolgu		
0.7									
1									
1.3		100	85	51	W2	10	Silttaşı		
1.7									
2									
2.3		100	93	79	W2	9	Silttaşı Eklemli kalsit dolgu		
2.7									
3									
3.3		100	98	88	W2	6	Silttaşı Eklemli kalsit dolgu		
3.7									
4									
4.3		100	85	81	W2	6	Silttaşı		
4.7									
5									
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)		AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)				1 m DEKİ EKLEM SAYISI			
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış				< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış			

Araştırma Sondajı Kuyu Logu				Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel				Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 20°	
Sondaj No: SK- 5		Derinlik : 5 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ				Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)									
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary									
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ	
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı			
0									
0.3		100	77	26	W2	11	Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu		
0.7									
1									
1.3		100	76	69	W2	6	Silttaşı		
1.7									
2									
2.3		100	83	80	W2	6	Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu		
2.7									
3									
3.3		100	68	57	W2	10	Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu		
3.7									
4									
4.3		100	73	73	W2	3	Silttaşı		
4.7									
5									
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)		AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)				1 m DEKİ EKLEM SAYISI			
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış				< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış			

Araştırma Sondajı Kuyu Logu			Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel				Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 40°	
Sondaj No: SK- 6		Derinlik : 5 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ				Tabaka Yönelimi (35/135)
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)								
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary								
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı		
0							Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu	
0.3		100	93	89	W2	6		
0.7								
1							Silttaşı	
1.3		100	98	98	W2	5		
1.7								
2							Silttaşı	
2.3		100	60	51	W3	7		
2.7								
3							Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu	
3.3		100	57	39	W3	6		
3.7								
4							Silttaşı	
4.3		100	32	13	W3	6		
4.7								
5								
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)		AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)				1 m DEKİ EKLEM SAYISI		
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış				< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış		

Araştırma Sondajı Kuyu Logu			Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel					Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 60°	
Sondaj No: SK- 7		Derinlik : 5 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ					Tabaka Yönelimi (35/135)
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)									
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary									
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ	
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı			
0									
0.3									
0.7									
1									
1.3									
1.7									
2									
2.3									
2.7									
3									
3.3									
3.7									
4									
4.3									
4.7									
5									
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)			AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)				1 m DEKİ EKLEM SAYISI		
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi			W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış				< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış		

Araştırma Sondajı Kuyu Logu				Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel				Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 50°	
Sondaj No: SK- 8		Derinlik : 3 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ				Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)									
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary									
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ	
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı			
0							Silttaşı Eklemler kalsit dolgulu		
0.3		100	80	11	W2	15			
0.7									
1							Silttaşı		
1.3		100	94	45	W3	8			
1.7									
2							Silttaşı		
2.3		100	87	65	W3	8			
2.7									
3									
3.3									
3.7									
4									
4.3									
4.7									
5									
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)			AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)				1 m DEKİ EKLEM SAYISI		
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi			W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış				< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış		

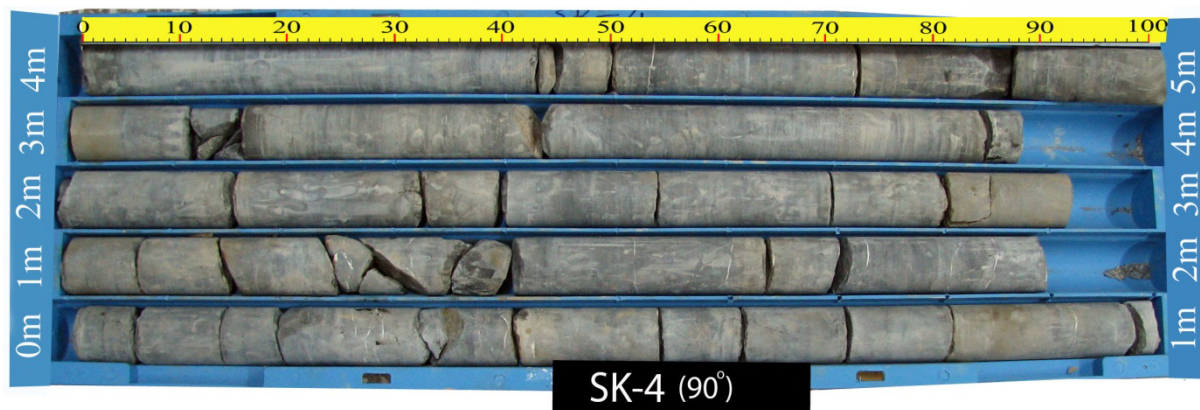
Araştırma Sondajı Kuyu Logu				Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel				Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 80°	
Sondaj No: SK- 9		Derinlik : 3 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ				Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)									
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary									
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ	
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı			
0							Silttaşı Eklemli kalsit dolgulu		
0.3		100	96	77	W3	4			
0.7									
1							Silttaşı Eklemli kalsit dolgulu		
1.3		100	76	50	W3	8			
1.7									
2							Silttaşı		
2.3		100	86	86	W3	4			
2.7									
3									
3.3									
3.7									
4									
4.3									
4.7									
5									
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)		AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)				1 m DEKİ EKLEM SAYISI			
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış				< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış			

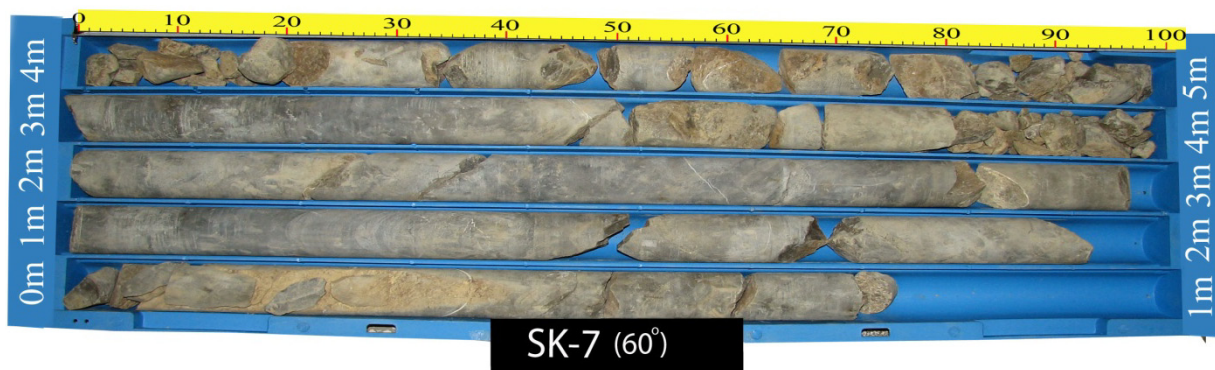
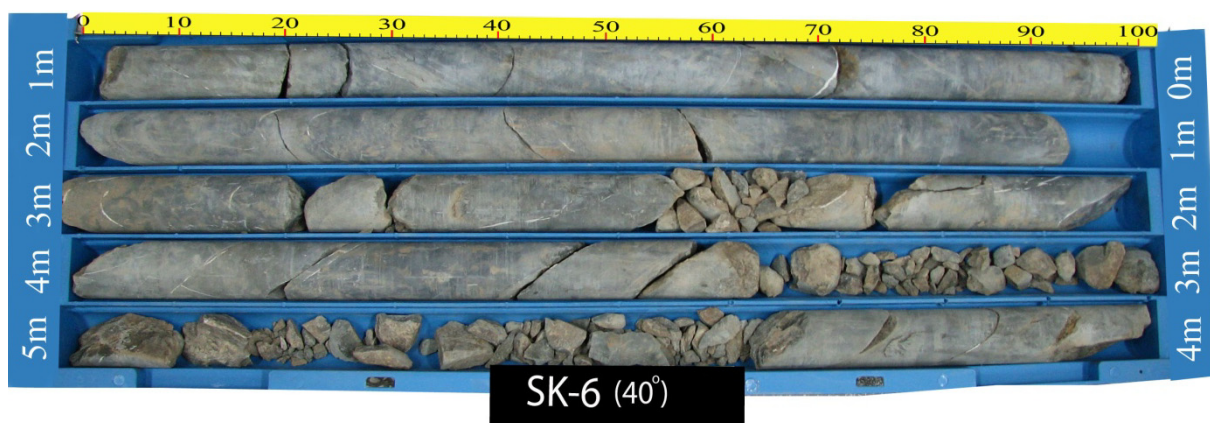
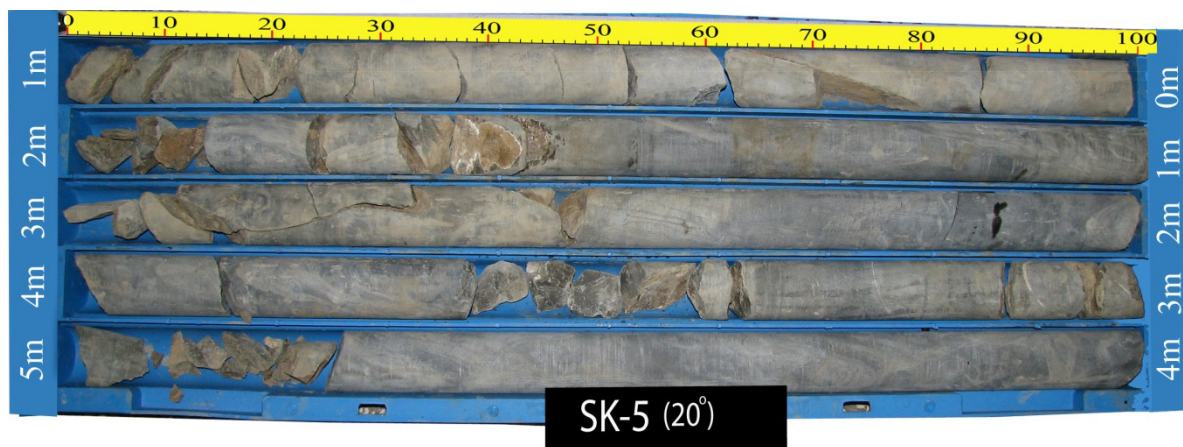
Araştırma Sondajı Kuyu Logu			Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel					Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 70°		
Sondaj No: SK-10		Derinlik : 3 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ					Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)										
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary										
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ		
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı				
0							Silttaşı Eklemli kalsit dolgu			
0.3		100	98	98	W2	3				
0.7										
1							Silttaşı Eklemli kalsit dolgu			
1.3		100	98	70	W2	4				
1.7										
2							Silttaşı			
2.3		100	95	79	W2	6				
2.7										
3										
3.3										
3.7										
4										
4.3										
4.7										
5										
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)		AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)					1 m DEKİ EKLEM SAYISI			
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış					< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış			

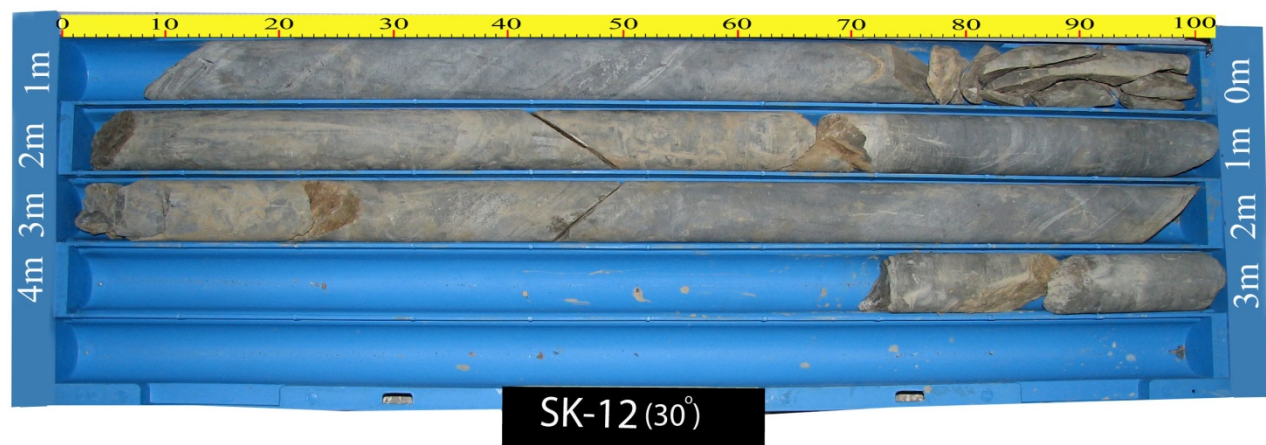
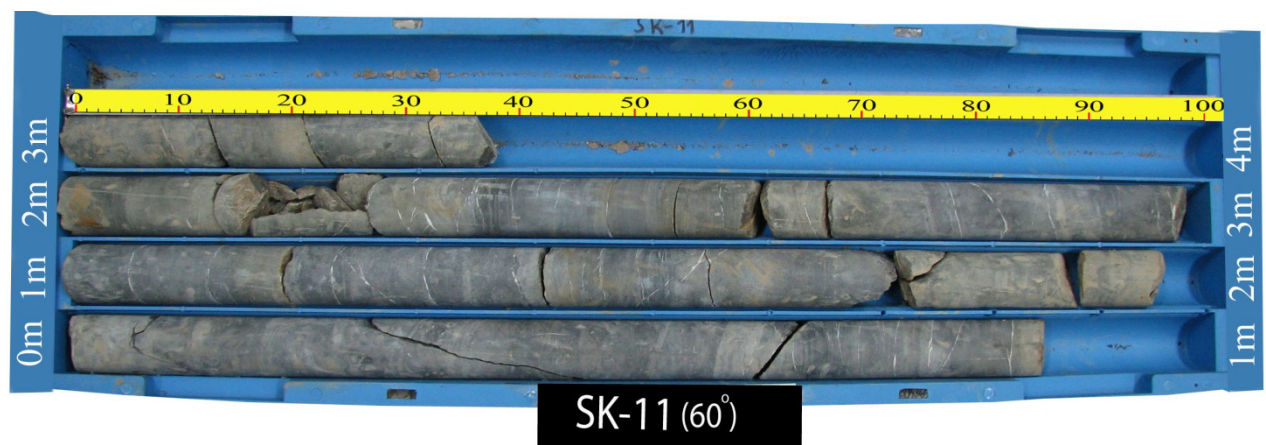
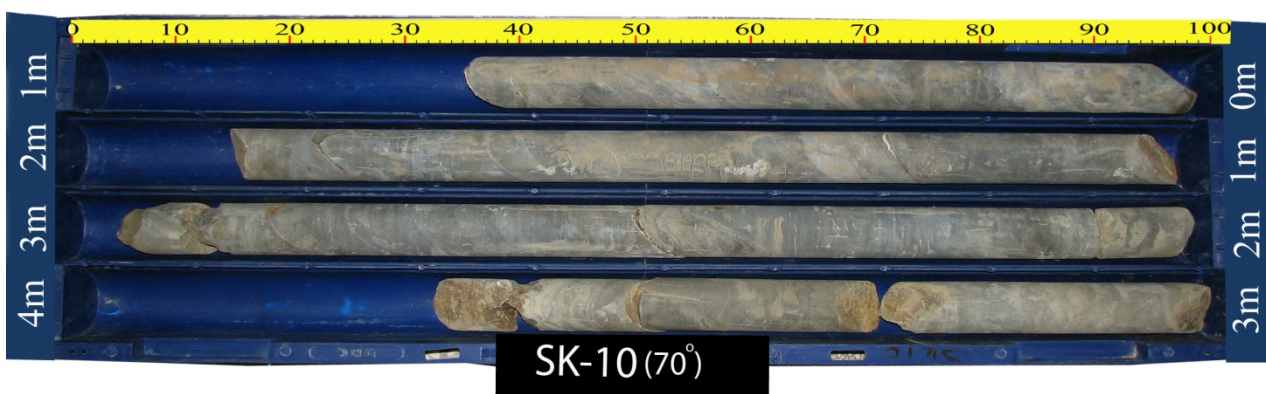
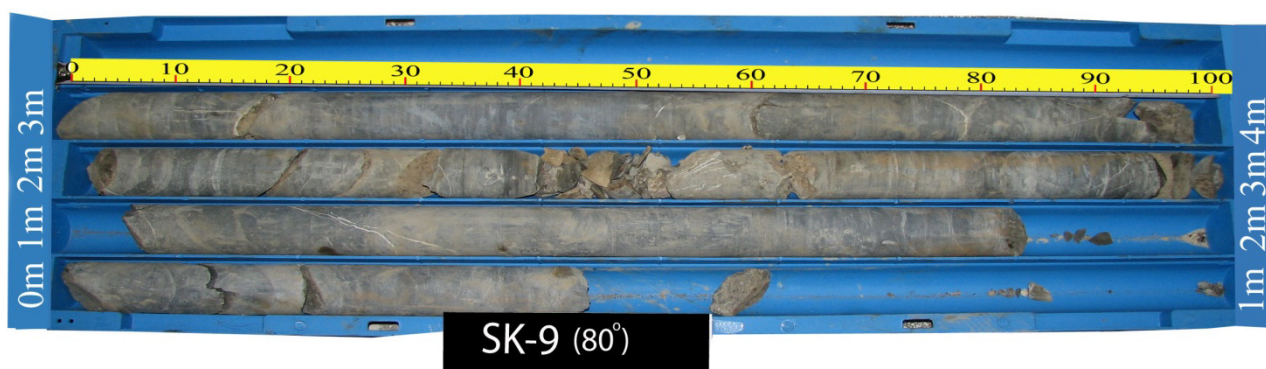
Araştırma Sondajı Kuyu Logu			Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel					Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 60°		
Sondaj No: SK- 11		Derinlik : 3 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ					Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)										
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary										
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ		
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı				
0							Silttaşı Eklemli kalsit dolgulu			
0.3										
0.7										
1							Silttaşı			
1.3										
1.7										
2							Silttaşı			
2.3										
2.7										
3										
3.3										
3.7										
4										
4.3										
4.7										
5										
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)			AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)				1 m DEKİ EKLEM SAYISI			
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi			W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış				< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış			

Araştırma Sondajı Kuyu Logu			Sondaj Yönelimi: Tabaka Düzlemine Paralel					Tabaka Düzlemi ile Sondaj Doğrultusu arasındaki açı : 30°		
Sondaj No: SK- 12		Derinlik : 3 m		Logu Hazırlayan: Selçuk ALİMDAĞ					Tabaka Yönelimi (35/135)	
SONDAJ YERİ : Gezin (ELAZIĞ)										
MAKİNE TİPİ : Crealius SONDAJ METODU : Rotary										
Sondaj derinliği (m)	Presiyometre Deney Seviyeleri	Kaya Özellikleri					KAYA TANIMLAMASI	LİTOLOJİ		
		TKV (%)	SKV (%)	RQD (%)	Ayrışma Derecesi (W)	1 m deki eklem sayısı				
0							Silttaşı Eklemli kalsit dolgu			
0.3										
0.7										
1							Silttaşı Eklemli kalsit dolgu			
1.3										
1.7										
2							Silttaşı			
2.3										
2.7										
3										
3.3										
3.7										
4										
4.3										
4.7										
5										
KAYA NİTELİĞİ RQD (%)		AYRIŞMA DERECESİ (ISRM, 1981)					1 m DEKİ EKLEM SAYISI			
0 - 25 Çok Zayıf 25 - 50 Zayıf 50 - 75 Orta 75 - 90 İyi 90 - 100 Çok İyi		W1 Taze (Ayrışmamış) W2 Az Ayrışmış W3 Orta Derecede Ayrışmış W4 Ayrışmış W5 Tamamen Ayrışmış					< 1 Masif 1 - 3 Az çatlaklı - kırıklı 3 - 10 Kırıklı 10 - 50 Çok Çatlaklı Kırıklı > 50 Parçalanmış			

EK 3. SONDAJ KUYULARINA AİT KAROT FOTOĞRAFLARI







EK 4. LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI

Sondaj No	Açı	Örnek No	Derinlik (m)	σ_c (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	ν	E_t (GPa)
SK-1	0	1	0,05	-	5,21	-	-
SK-1	0	2	0,1	-	-	-	-
SK-1	0	3	0,25	-	-	-	-
SK-1	0	4	0,43	119	-	-	-
SK-1	0	5	0,8	-	-	-	-
SK-1	0	6	0,96	119	-	0,11	23,18
SK-1	0	7	1,16	-	3,12	-	-
SK-1	0	8	1,22	-	1,74	-	-
SK-1	0	9	1,28	-	-	-	-
SK-1	0	10	1,43	-	1,63	-	-
SK-1	0	11	1,47	-	-	-	-
SK-1	0	12	1,78	-	-	-	-
SK-1	0	13	1,94	-	-	-	-
SK-1	0	14	2,01	101,5	-	0,27	28,44
SK-1	0	15	2,15	-	-	-	-
SK-1	0	16	2,25	-	-	-	-
SK-1	0	17	2,35	-	2,57	-	-
SK-1	0	18	2,39	-	-	-	-
SK-1	0	19	2,55	-	-	-	-
SK-1	0	20	2,7	-	3,11	-	-
SK-1	0	21	2,9	-	-	-	-
SK-1	0	22	2,96	-	2,1	-	-
SK-1	0	23	3,01	115	-	0,12	14,9
SK-1	0	24	3,15	-	-	-	-
SK-1	0	25	3,25	-	2,16	-	-
SK-1	0	26	3,3	-	2,06	-	-
SK-1	0	27	3,4	-	-	-	-
SK-1	0	28	3,76	-	-	-	-
SK-1	0	29	3,94	-	1,58	-	-
SK-1	0	30	4	103,3	-	0,19	32,8
SK-1	0	31	4,17	-	-	-	-
SK-1	0	32	4,3	-	3,54	-	-
SK-1	0	33	4,52	-	-	-	-
SK-1	0	34	4,65	-	2,19	-	-
SK-1	0	35	4,7	-	1,6	-	-
SK-1	0	36	4,73	-	-	-	-
SK-1	0	37	4,8	-	0,71	-	-
SK-1	0	38	4,85	67,3	-	0,18	32,68
SK-1	0	39	5	-	1,99	-	-
SK-1	0	40	5,1	-	-	-	-
SK-2	10	1	0,3	-	-	-	-
SK-2	10	2	0,6	-	3,11	-	-
SK-2	10	3	0,9	39,15	-	0,08	11,87
SK-2	10	4	1,14	-	2,56	-	-
SK-2	10	5	1,2	-	3,2	-	-
SK-2	10	6	1,35	-	-	-	-
SK-2	10	7	1,75	-	-	-	-
SK-2	10	8	1,83	-	0,86	-	-
SK-2	10	9	2,05	-	-	-	-
SK-2	10	10	2,1	78,39	-	0,11	17,34
SK-2	10	11	2,23	-	0,56	-	-
SK-2	10	12	2,4	-	-	-	-
SK-2	10	13	2,77	-	-	-	-
SK-2	10	14	2,86	-	1,04	-	-

*Açı: Yükleme doğrultusu ile tabaka düzlemi arasındaki açı

Sondaj No	Açı	Örnek No	Derinlik (m)	σ_c (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	ν	E_t (GPa)
SK-2	10	15	3,02	-	2,96	-	-
SK-2	10	16	3,07	64,82	-	0,14	19,22
SK-2	10	17	3,27	-	1,47	-	-
SK-2	10	18	3,38	-	2,64	-	-
SK-2	10	19	3,45	-	3,03	-	-
SK-2	10	20	3,54	-	1,96	-	-
SK-2	10	21	3,82	-	4,36	-	-
SK-2	10	22	4	100,4	-	0,14	38,28
SK-2	10	23	4,55	-	0,78	-	-
SK-2	10	24	4,66	-	2,73	-	-
SK-2	10	25	4,77	-	3,51	-	-
SK-2	10	26	4,82	94,14	-	0,10	22,68
SK-3	30	1	0,12	-	2,7	-	-
SK-3	30	2	0,2	-	4,04	-	-
SK-3	30	3	0,3	-	-	-	-
SK-3	30	4	0,6	-	-	-	-
SK-3	30	5	0,68	-	4,05	-	-
SK-3	30	6	0,8	-	3,22	-	-
SK-3	30	7	1,1	55,81	-	0,12	32,8
SK-3	30	8	1,38	-	-	-	-
SK-3	30	9	1,45	-	4,25	-	-
SK-3	30	10	1,52	47,4	-	-	-
SK-3	30	11	1,65	-	-	-	-
SK-3	30	12	1,72	-	1,58	-	-
SK-3	30	13	1,87	-	3,95	-	-
SK-3	30	14	2,07	62,79	-	0,16	23,12
SK-3	30	15	2,2	-	3188	-	-
SK-3	30	16	2,6	-	-	-	-
SK-3	30	17	2,78	-	6,22	-	-
SK-3	30	18	3,04	-	4,09	-	-
SK-3	30	19	3,1	22,3	-	0,08	22,3
SK-3	30	20	3,32	-	0,64	-	-
SK-3	30	21	3,44	-	0,78	-	-
SK-3	30	22	4,06	-	3,42	-	-
SK-3	30	23	4,15	-	-	0,12	28,16
SK-3	30	24	4,57	-	3,18	-	-
SK-3	30	25	4,64	-	3,97	-	-
SK-3	30	26	4,8	48,68	-	0,12	28,44
SK-4	90	1	0,02	-	6,11	-	-
SK-4	90	2	0,08	-	2,53	-	-
SK-4	90	3	0,2	-	2,35	-	-
SK-4	90	4	0,28	-	1,66	-	-
SK-4	90	5	0,51	-	3,55	-	-
SK-4	90	6	0,59	-	2	-	-
SK-4	90	7	0,65	-	2,81	-	-
SK-4	90	8	0,7	-	2,67	-	-
SK-4	90	9	0,8	-	-	-	-
SK-4	90	10	1	-	4,19	-	-
SK-4	90	11	1,1	70,71	-	0,12	22,35
SK-4	90	12	1,48	-	-	-	-
SK-4	90	13	1,71	-	-	-	-
SK-4	90	14	1,83	86,1	-	-	-
SK-4	90	15	2	79,88	-	0,08	24,86
SK-4	90	16	2,15	-	-	-	-
SK-4	90	17	2,32	-	-	-	-
SK-4	90	18	2,45	-	3,68	-	-
SK-4	90	19	2,5	-	-	-	-

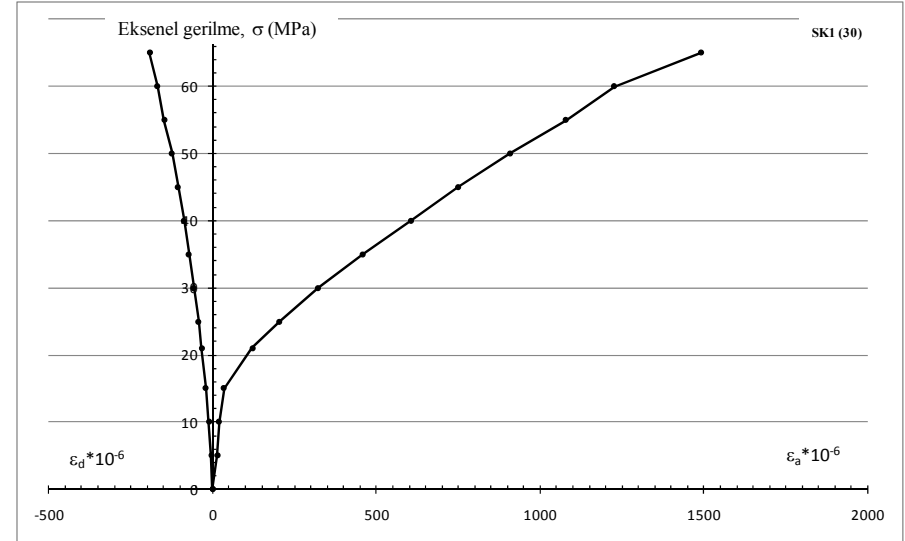
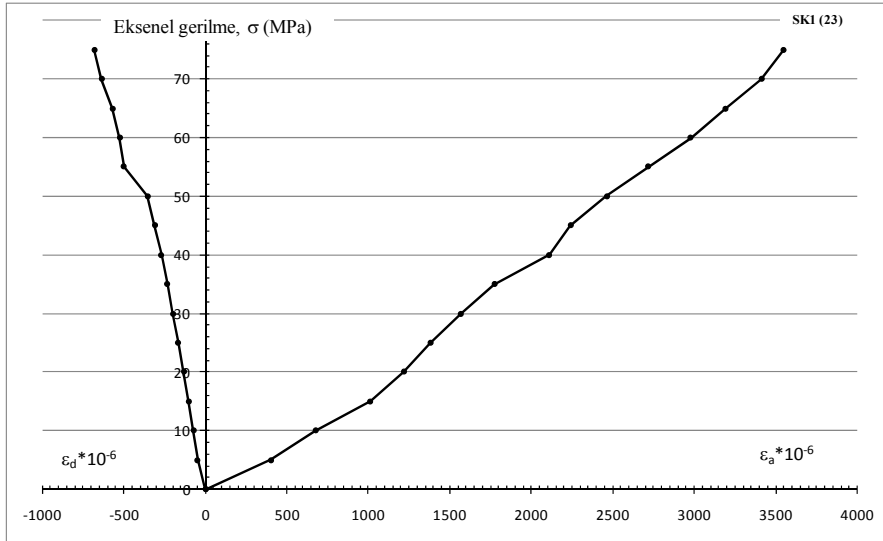
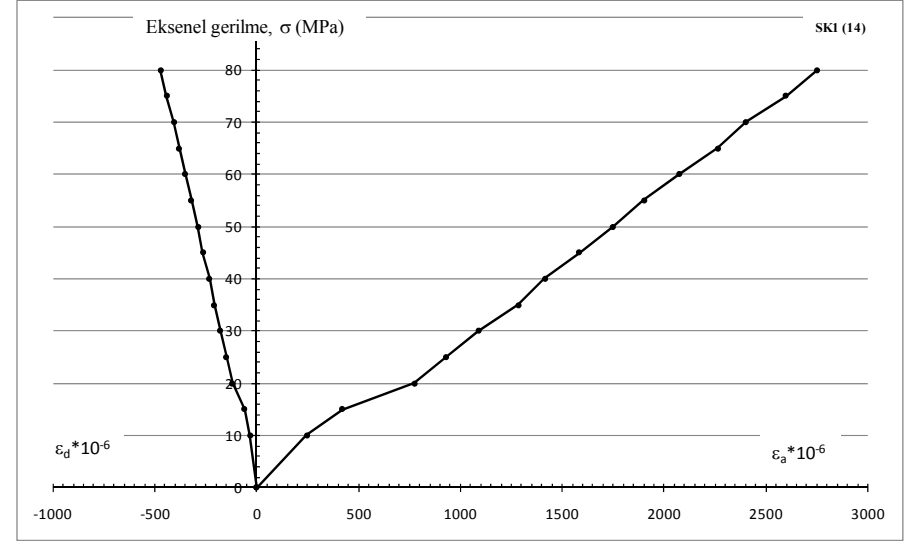
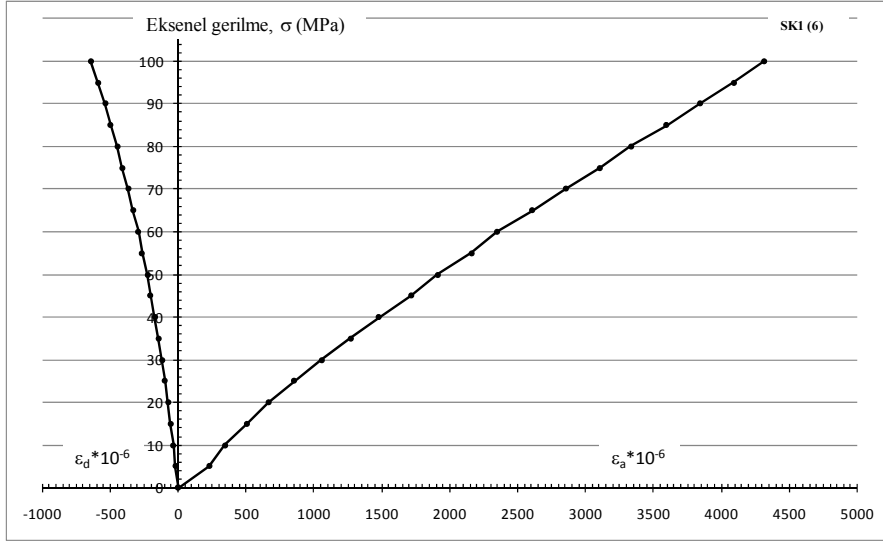
Sondaj No	Açı	Örnek No	Derinlik (m)	σ_c (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	ν	E_t (GPa)
SK-4	90	20	2,9	-	-	-	-
SK-4	90	21	3	73,1	-	0,30	28,12
SK-4	90	22	3,16	-	2,09	-	-
SK-4	90	23	3,2	-	-	-	-
SK-4	90	24	3,57	-	-	-	-
SK-4	90	25	3,7	-	-	-	-
SK-4	90	26	3,84	49,8	-	0,40	41,43
SK-4	90	27	4	-	-	-	-
SK-4	90	28	4,14	-	-	-	-
SK-4	90	29	4,28	40,7	-	-	-
SK-4	90	30	4,45	-	1,76	-	-
SK-4	90	31	4,55	-	-	-	-
SK-4	90	32	4,61	-	-	-	-
SK-4	90	33	4,68	-	0,53	-	-
SK-4	90	34	4,75	61,1	-	-	-
SK-4	90	35	4,9	74,9	-	0,26	28,78
SK-5	20	1	0,04	55,3	-	-	-
SK-5	20	2	0,2	-	3,61	-	-
SK-5	20	3	0,45	-	2,19	-	-
SK-5	20	4	0,53	-	1,86	-	-
SK-5	20	5	0,69	-	-	-	-
SK-5	20	6	0,7	-	1,22	-	-
SK-5	20	7	1,07	44,5	-	0,07	31,94
SK-5	20	8	1,19	115,2	-	-	-
SK-5	20	9	1,46	-	-	-	-
SK-5	20	10	1,62	-	-	-	-
SK-5	20	11	1,7	-	1,94	-	-
SK-5	20	12	1,86	71,18	-	0,39	40,37
SK-5	20	13	2	-	-	-	-
SK-5	20	14	2,2	61,4	-	0,20	47,51
SK-5	20	15	2,33	-	-	-	-
SK-5	20	16	2,56	-	1,49	-	-
SK-5	20	17	2,6	-	2,66	-	-
SK-5	20	18	3,15	-	-	-	-
SK-5	20	19	3,26	-	-	-	-
SK-5	20	20	3,62	-	-	-	-
SK-5	20	21	3,72	-	3,45	-	-
SK-5	20	22	3,78	-	-	-	-
SK-5	20	23	3,84	-	2,15	-	-
SK-5	20	24	3,9	91,3	-	0,24	28,41
SK-5	20	25	4,12	-	-	-	-
SK-5	20	26	4,26	-	-	-	-
SK-5	20	27	4,38	-	-	-	-
SK-5	20	28	4,52	-	-	-	-
SK-5	20	29	4,85	77,5	-	0,16	33,59
SK-6	40	1	0,06	37,2	-	-	-
SK-6	40	2	0,2	-	-	-	-
SK-6	40	3	0,4	-	-	-	-
SK-6	40	4	0,53	85,9	-	0,16	35,39
SK-6	40	5	0,76	-	0,96	-	-
SK-6	40	6	0,85	-	-	-	-
SK-6	40	7	1	-	-	-	-
SK-6	40	8	1,14	-	-	-	-
SK-6	40	9	1,28	-	2,34	-	-
SK-6	40	10	1,36	-	-	-	-
SK-6	40	11	1,4	-	3,79	-	-
SK-6	40	12	1,68	-	2,06	-	-

Sondaj No	Açı	Örnek No	Derinlik (m)	σ_c (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	ν	E_t (GPa)
SK-6	40	13	1,8	-	-	-	-
SK-6	40	14	1,85	31,8	-	0,15	26
SK-6	40	15	2,03	-	2,33	-	-
SK-6	40	16	2,78	-	2,91	-	-
SK-6	40	17	3,6	-	-	-	-
SK-6	40	18	4	-	-	0,22	42,02
SK-6	40	19	3,0	12,3	-	0,16	21,67
SK-6	40	20	4,2	-	0,39	0,23	36,15
SK-6	40	21	4,8	-	-	-	-
SK-7	60	1	0,1	-	1,01	-	-
SK-7	60	2	0,5	-	-	-	-
SK-7	60	3	0,56	-	2,07	-	-
SK-7	60	4	0,63	-	-	-	-
SK-7	60	5	0,7	-	5,87	-	-
SK-7	60	6	1,04	-	-	0,18	50,26
SK-7	60	7	1,32	-	-	-	-
SK-7	60	8	1,45	-	4,27	-	-
SK-7	60	9	1,56	-	-	-	-
SK-7	60	10	1,66	-	2,66	-	-
SK-7	60	11	1,82	-	-	-	-
SK-7	60	12	1,86	-	1,6	-	-
SK-7	60	13	1,9	56,6	-	0,03	21,23
SK-7	60	14	2,11	-	-	-	-
SK-7	60	15	2,15	-	2,56	-	-
SK-7	60	16	2,2	-	2,1	-	-
SK-7	60	17	2,49	-	-	-	-
SK-7	60	18	2,68	-	-	-	-
SK-7	60	19	2,84	-	1,34	-	-
SK-7	60	20	2,9	84,3	-	0,19	16,06
SK-7	60	21	3,04	18,9	-	-	-
SK-7	60	22	3,17	-	-	-	-
SK-7	60	23	3,39	-	2,09	-	-
SK-7	60	24	4,2	-	2,66	-	-
SK-7	60	25	4,35	-	2,51	-	-
SK-7	60	26	4,85	46,8	-	0,03	21,57
SK-7	60	27	4,0	34,9	-	0,23	43,63
SK-8	50	1	0,05	-	2,56	-	-
SK-8	50	2	0,18	-	1,35	-	-
SK-8	50	3	0,39	-	1,4	-	-
SK-8	50	4	0,57	-	1,91	-	-
SK-8	50	5	0,71	-	3,84	-	-
SK-8	50	6	0,83	-	2,97	-	-
SK-8	50	7	1	15,4	-	0,12	12,01
SK-8	50	8	1,15	-	-	-	-
SK-8	50	9	1,2	-	1,21	-	-
SK-8	50	10	1,68	-	-	-	-
SK-8	50	11	1,76	-	-	-	-
SK-8	50	12	1,82	-	1,18	-	-
SK-8	50	13	1,87	-	-	-	-
SK-8	50	14	2,05	-	2,21	-	-
SK-8	50	15	2,1	38,6	-	0,15	43,63
SK-8	50	16	2,22	-	2,86	-	-
SK-8	50	17	2,34	-	-	-	-
SK-8	50	18	2,4	-	2,54	-	-
SK-8	50	19	2,52	-	1,71	-	-

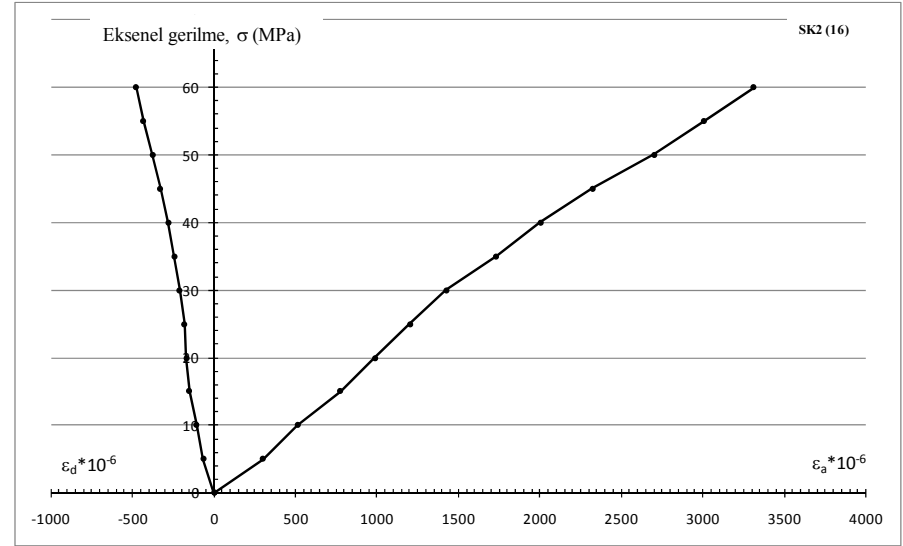
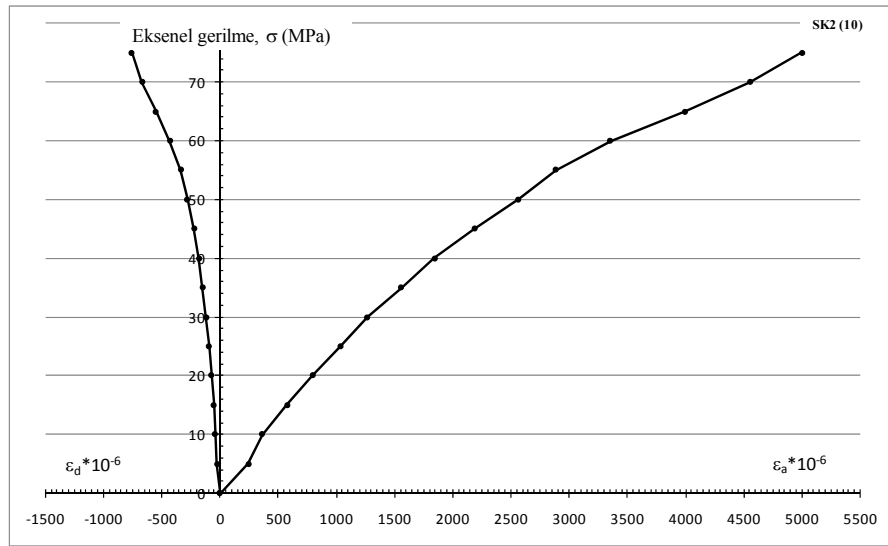
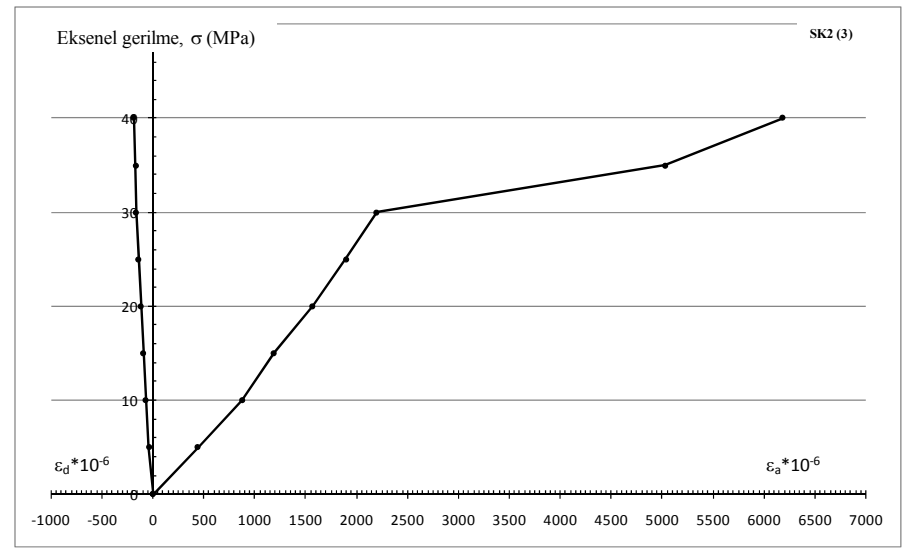
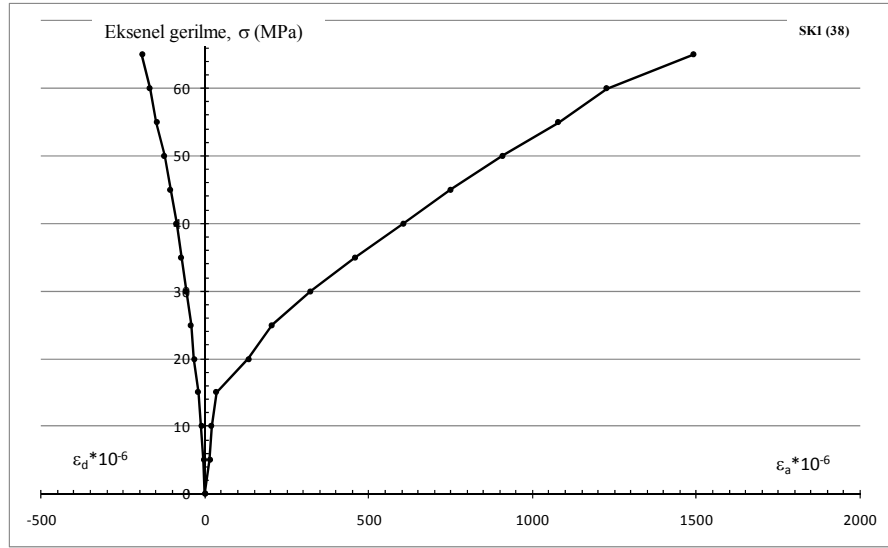
Sondaj No	Açı	Örnek No	Derinlik (m)	σ_c (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	ν	E_t (GPa)
SK-8	50	20	2,7	-	-	-	-
SK-8	50	21	2,84	60,18	-	0,16	33,54
SK-8	50	22	4,35	-	-	-	-
SK-9	80	1	0,3	-	-	-	-
SK-9	80	2	0,45	-	-	-	-
SK-9	80	3	0,62	68,8	-	-	-
SK-9	80	4	0,8	-	-	-	-
SK-9	80	5	1,03	79,4	-	0,08	30,28
SK-9	80	6	1,17	-	-	-	-
SK-9	80	7	1,42	-	-	-	-
SK-9	80	8	1,7	-	0,72	-	-
SK-9	80	9	1,85	66	-	0,17	35,36
SK-9	80	10	2,13	-	-	-	-
SK-9	80	11	2,26	-	1,51	-	-
SK-9	80	12	2,56	-	-	-	-
SK-9	80	13	2,69	-	-	-	-
SK-9	80	14	2,83	-	-	-	-
SK-9	80	15	3,15	-	-	-	-
SK-9	80	16	3,2	48,2	-	0,12	19,12
SK-9	80	17	3,4	-	-	-	-
SK-9	80	18	3,5	-	1,86	-	-
SK-9	80	19	3,58	-	2,57	-	-
SK-10	70	1	0,05	-	-	-	-
SK-10	70	2	0,17	72	-	-	-
SK-10	70	3	0,43	-	-	-	-
SK-10	70	4	0,6	-	2,7	-	-
SK-10	70	5	0,7	-	-	-	-
SK-10	70	6	0,84	50,4	-	0,12	46,25
SK-10	70	7	0,95	-	3,82	-	-
SK-10	70	8	1	-	-	-	-
SK-10	70	9	1,14	74,9	-	-	-
SK-10	70	10	1,4	-	5,16	-	-
SK-10	70	11	1,46	-	1,82	-	-
SK-10	70	12	1,52	-	-	-	-
SK-10	70	13	1,61	-	3,21	-	-
SK-10	70	14	1,66	-	-	-	-
SK-10	70	15	1,72	-	-	-	-
SK-10	70	16	1,85	68,5	-	-	-
SK-10	70	17	2,08	-	-	-	-
SK-10	70	18	2,35	-	-	-	-
SK-10	70	19	2,4	40,5	-	0,17	30,05
SK-10	70	20	2,54	-	-	-	-
SK-10	70	21	2,68	-	-	-	-
SK-10	70	22	2,84	-	-	-	-
SK-10	70	23	3	57,3	-	0,19	36,19
SK-10	70	24	3,22	-	-	-	-
SK-11	60	1	0,03	-	2,42	-	-
SK-11	60	2	0,18	-	-	-	-
SK-11	60	3	0,25	-	4,2	-	-
SK-11	60	4	0,76	-	-	-	-
SK-11	60	5	0,9	85,6	-	-	-
SK-11	60	6	1,06	67,2	-	0,15	55,26
SK-11	60	7	1,19	-	-	-	-
SK-11	60	8	1,34	-	-	-	-
SK-11	60	9	1,48	-	2,46	-	-
SK-11	60	10	1,55	-	2,79	-	-

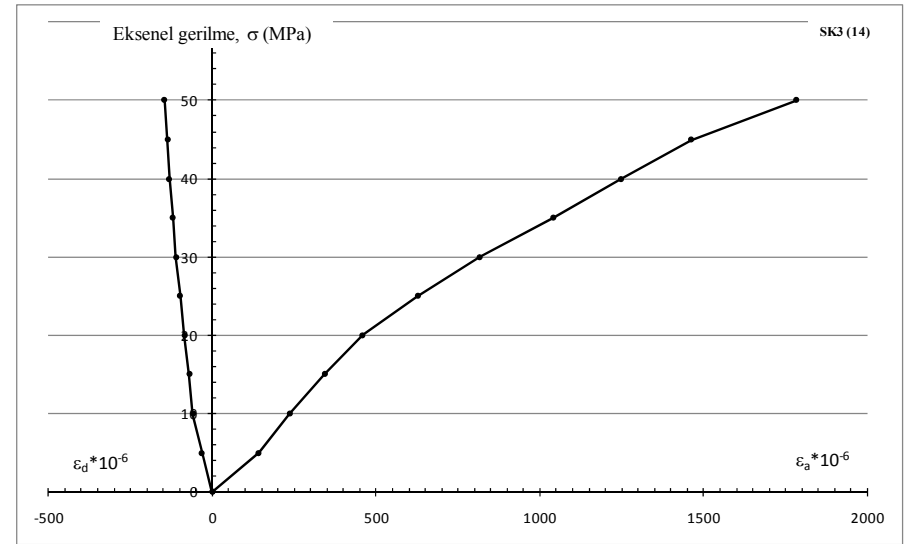
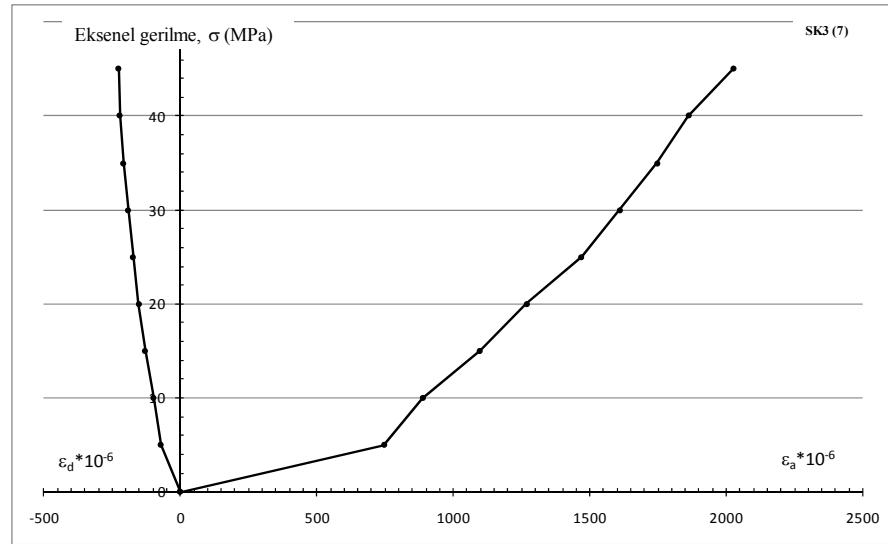
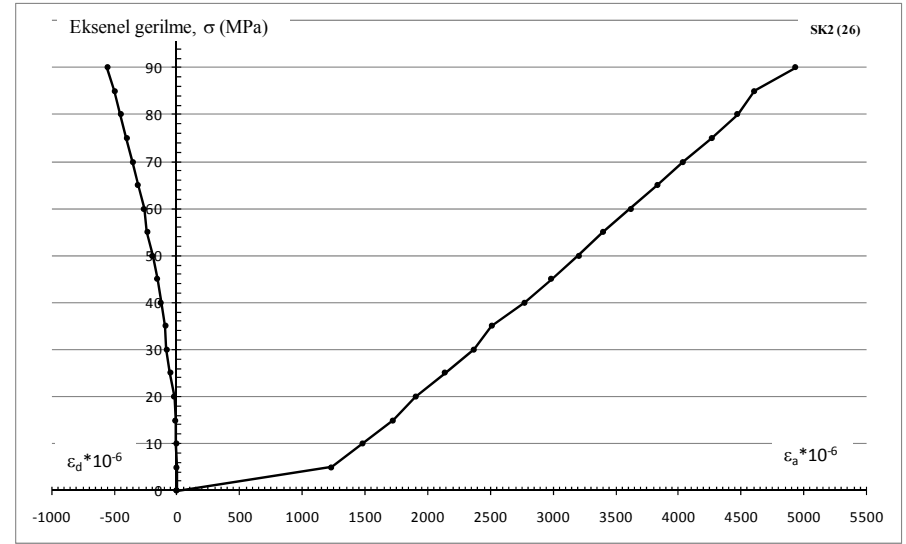
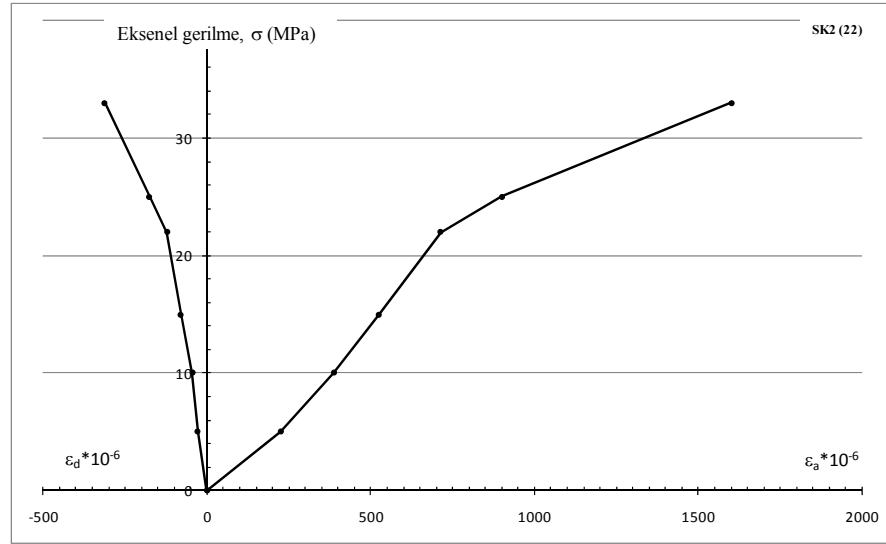
Sondaj No	Açı	Örnek No	Derinlik (m)	σ_c (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	ν	E_t (GPa)
SK-11		11	1,8	-	0,69	-	-
SK-11		12	1,92	-	5,65	-	-
SK-11		13	2	55,7	-	0,03	20,15
SK-11		14	2,15	-	-	-	-
SK-11		15	2,3	-	2,04	-	-
SK-11		16	2,33	-	-	-	-
SK-11		17	2,54	-	-	-	-
SK-11		18	2,7	-	-	-	-
SK-11		19	2,85	55,10	-	0,14	28,42
SK-11		20	3	-	-	-	-
SK-11		21	3,05	-	2,2	-	-
SK-11		22	3,18	-	-	-	-
SK-11		23	3,23	-	-	-	-
SK-11		24	3,64	-	5,06	-	-
SK-12		1	0,07	-	2,86	-	-
SK-12		2	0,5	-	-	-	-
SK-12		3	0,54	-	-	-	-
SK-12		4	0,63	-	-	-	-
SK-12		5	0,76	-	-	-	-
SK-12		6	1,05	-	3,11	-	-
SK-12		7	1,09	63,3	-	0,21	43,15
SK-12		8	1,21	68,59	-	-	-
SK-12		9	1,25	-	7,27	-	-
SK-12		10	1,38	-	1,74	-	-
SK-12		11	1,54	70,5	-	-	-
SK-12		12	1,78	53,1	-	-	-
SK-12		13	1,9	-	-	-	-
SK-12		14	2	20,8	-	0,21	17,95
SK-12		15	2,08	-	-	-	-
SK-12		16	2,2	64,3	-	-	-
SK-12		17	2,42	-	3,65	-	-
SK-12		18	2,64	-	-	-	-
SK-12		19	3	81	-	0,16	36,3
SK-12		20	3,63	-	-	-	-
SK-12		21	3,7	-	2,59	-	-
SK-12		22	3,8	-	-	-	-
SK-12		23	3,9	-	2,04	-	-

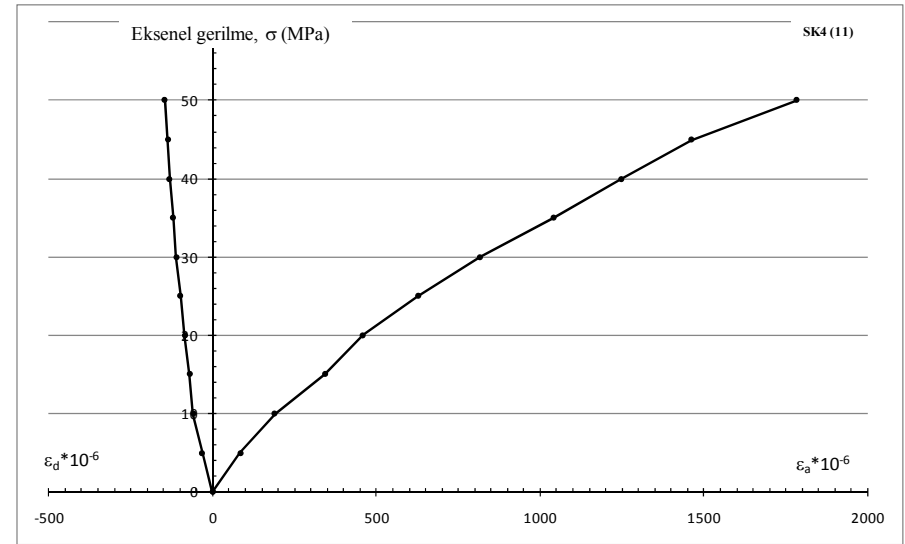
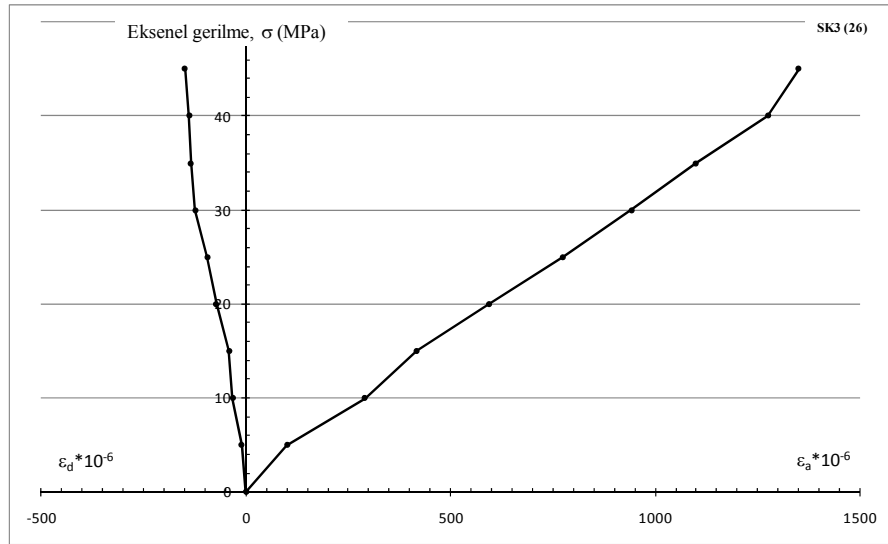
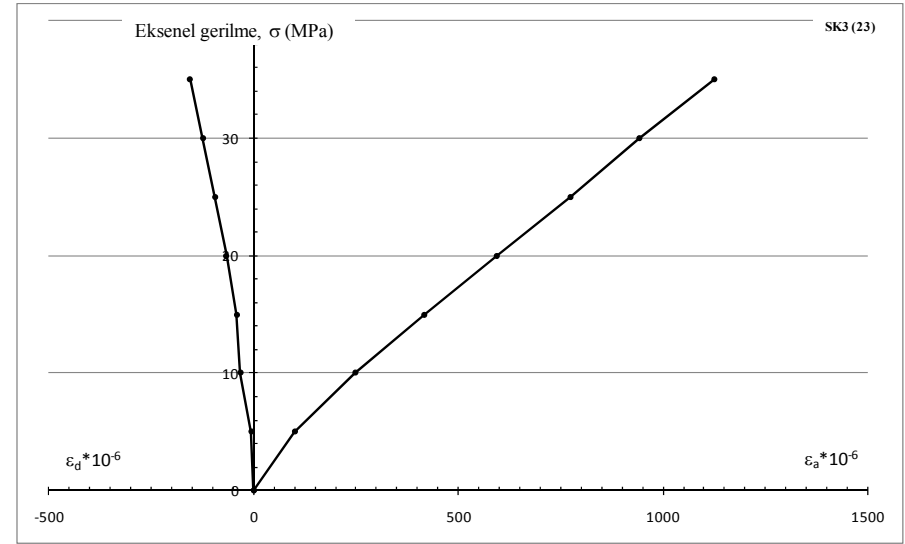
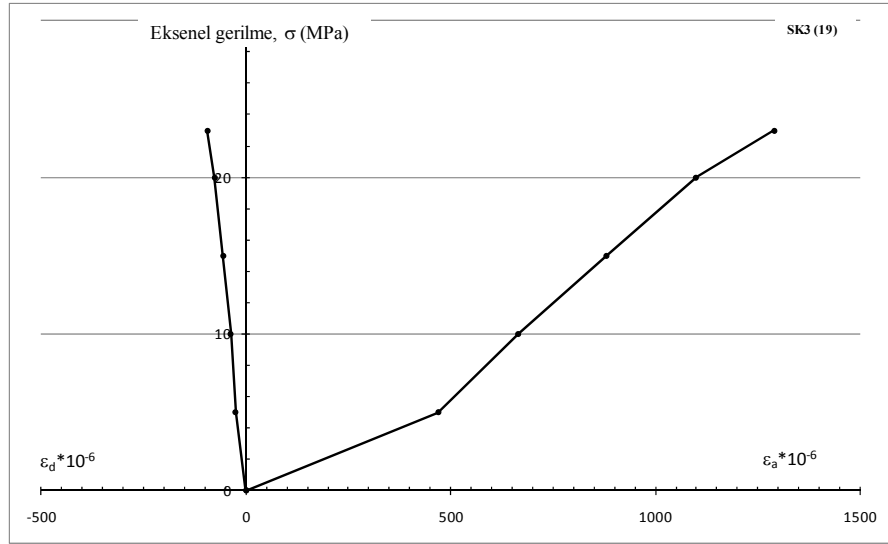
EK 5. SİLT TAŞINA AİT ELASTİSİTE MODÜLÜ GRAFİKLERİ

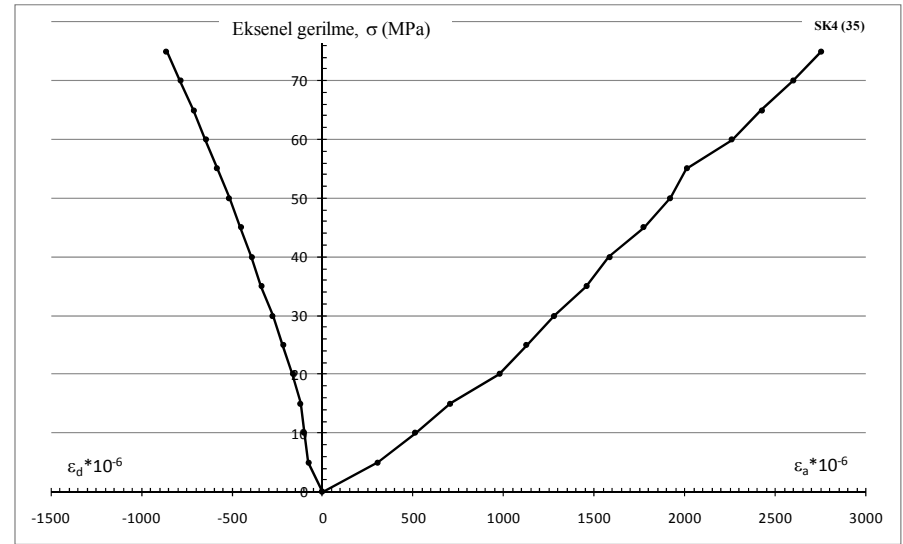
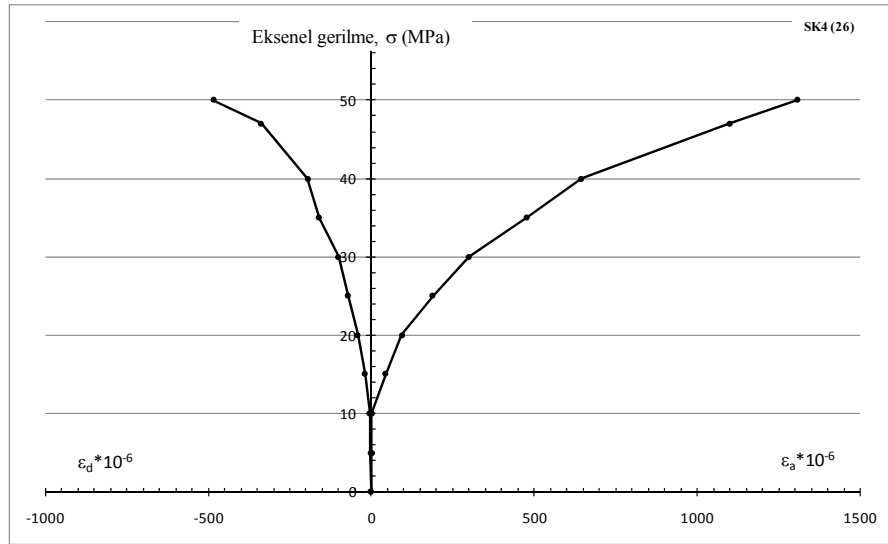
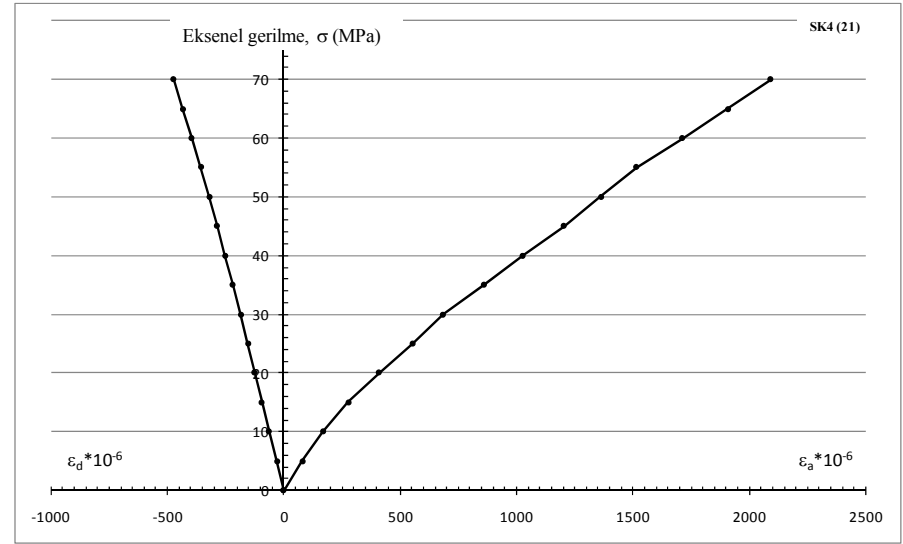
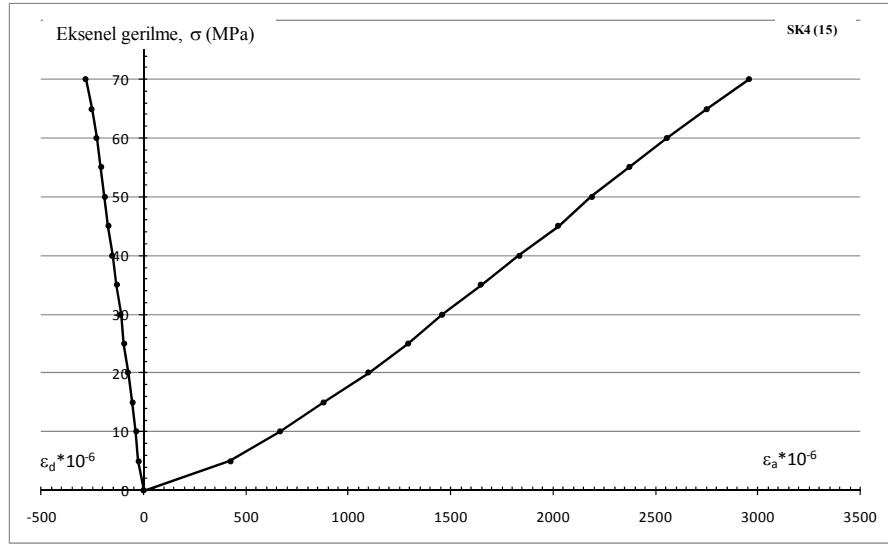


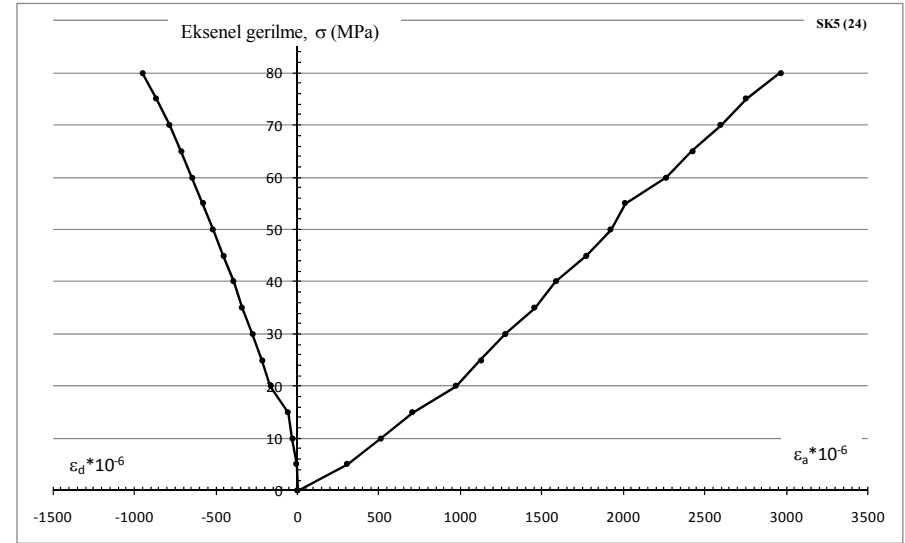
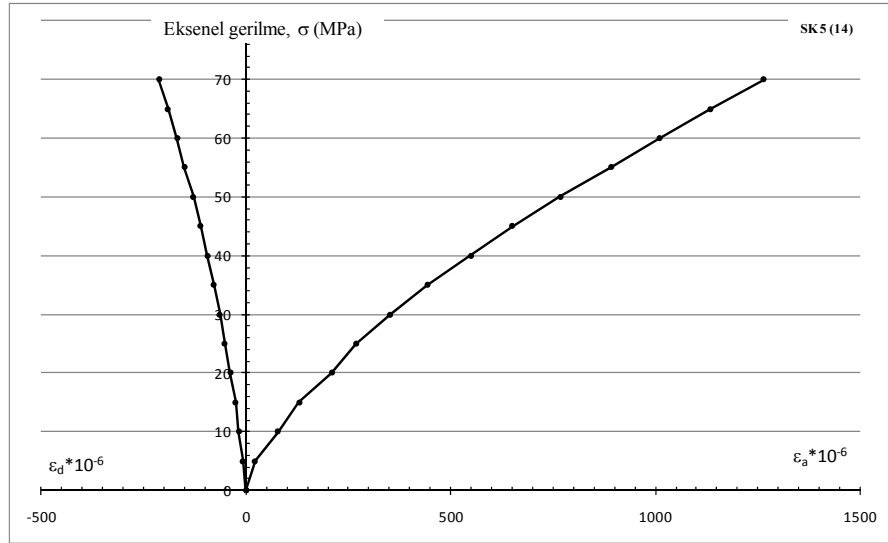
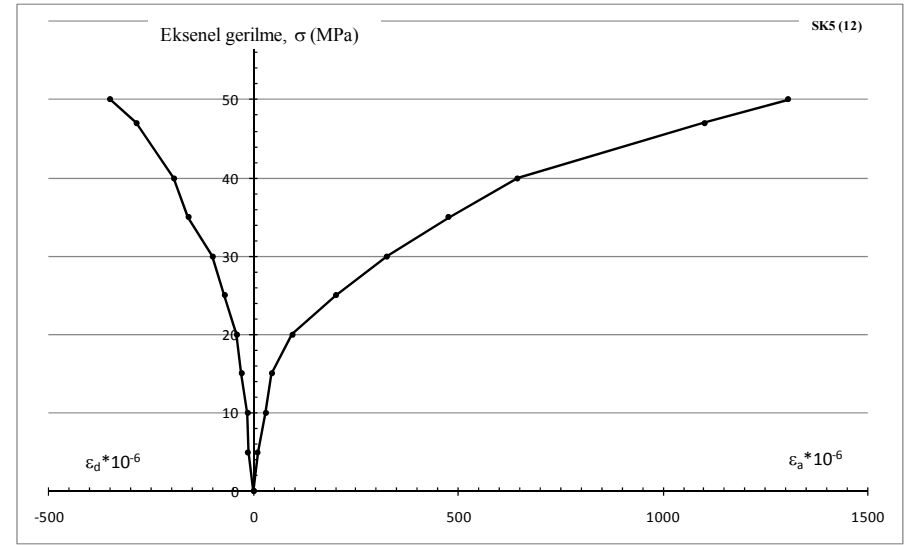
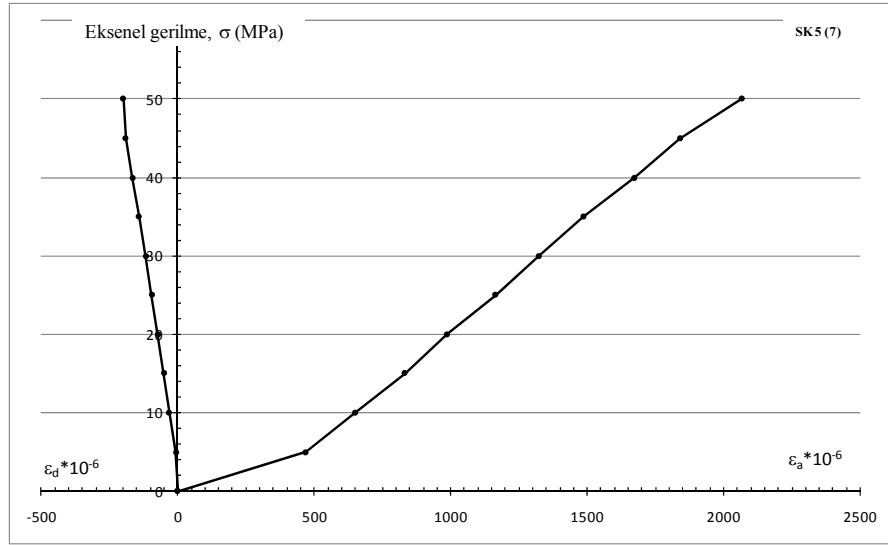
* ϵ_d : Çapsal birim deformasyon (-), ϵ_a : Eksenel birim deformasyon, **SK1 (6)**: Sondaj kuyusu ve örnek numarası

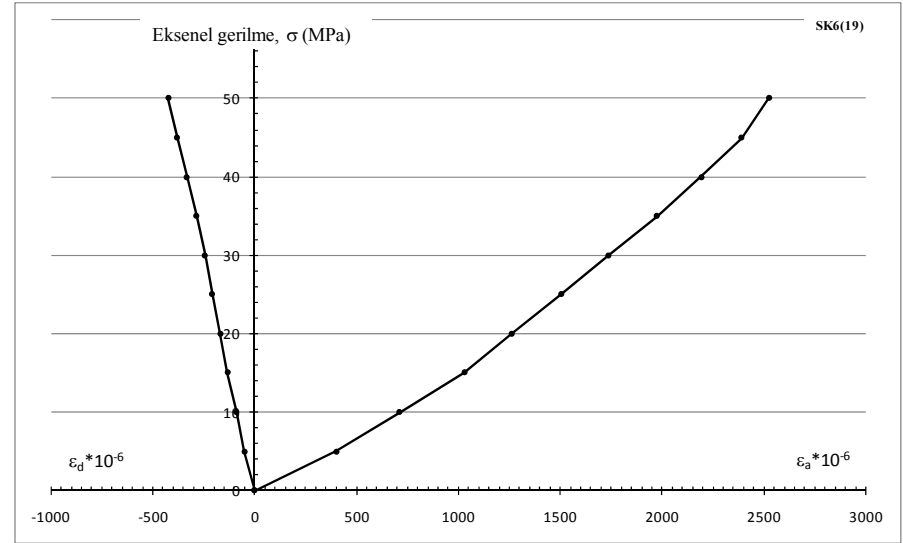
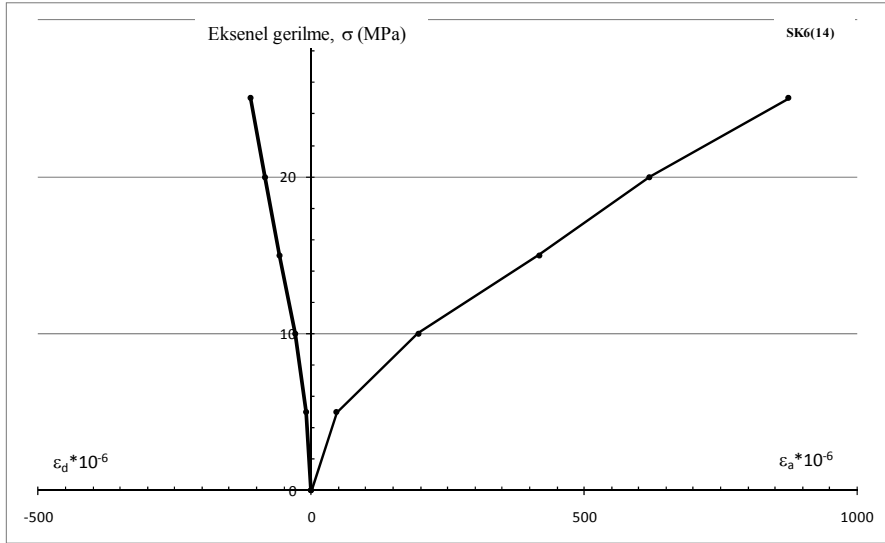
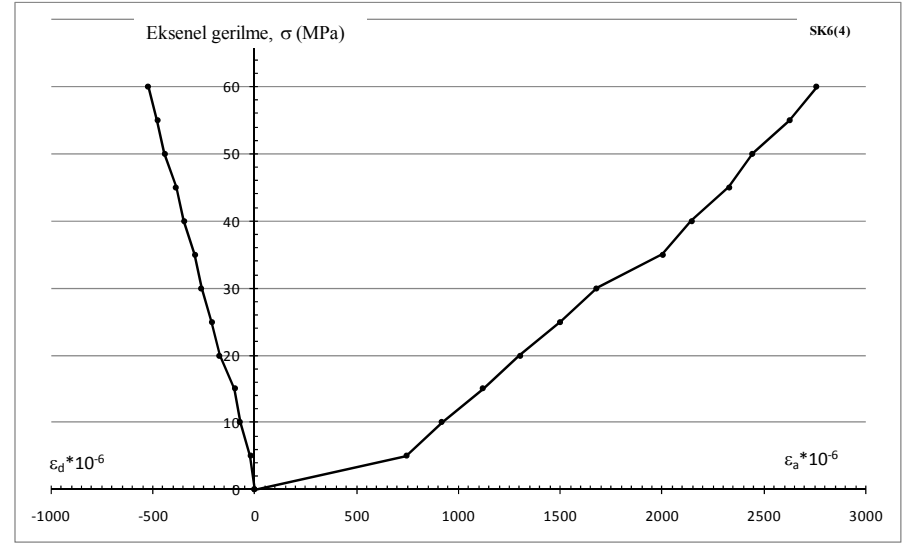
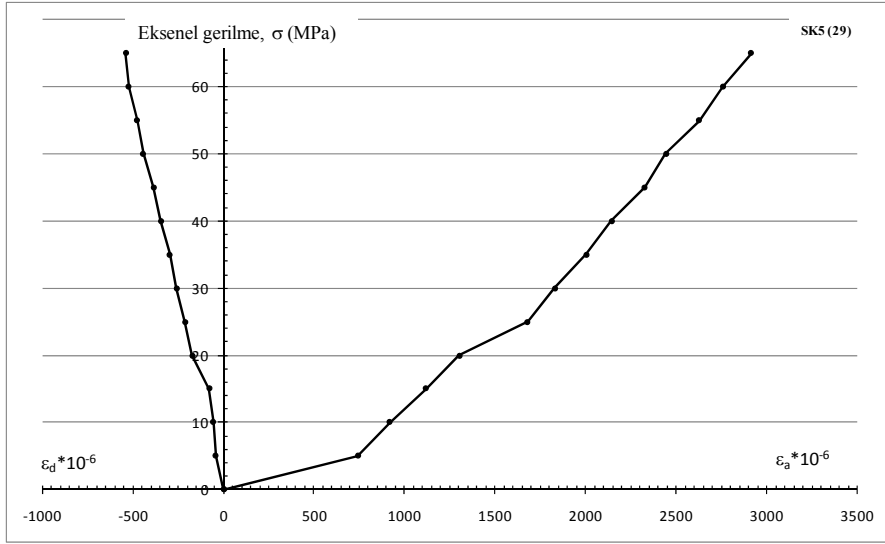


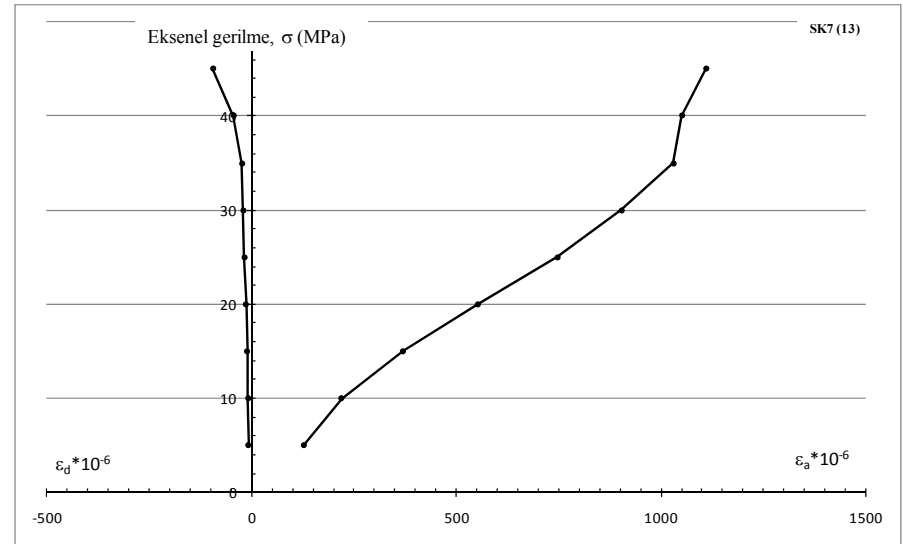
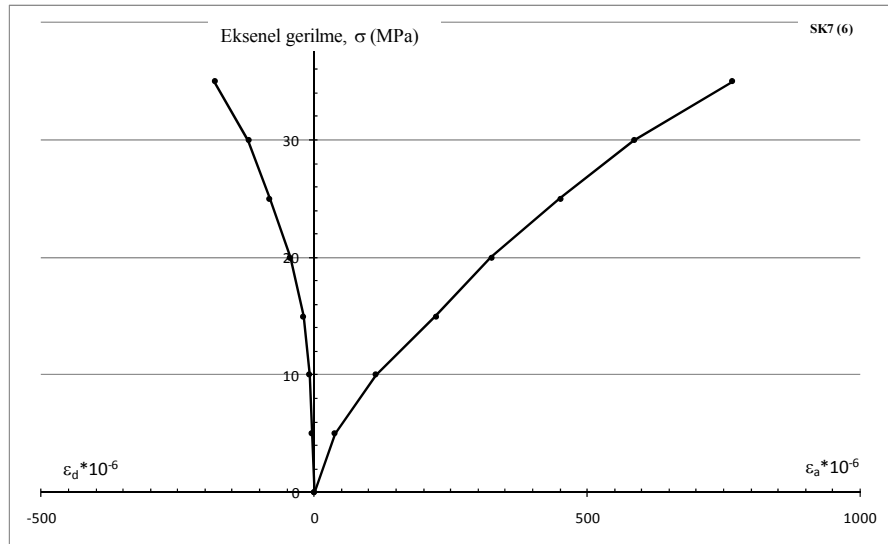
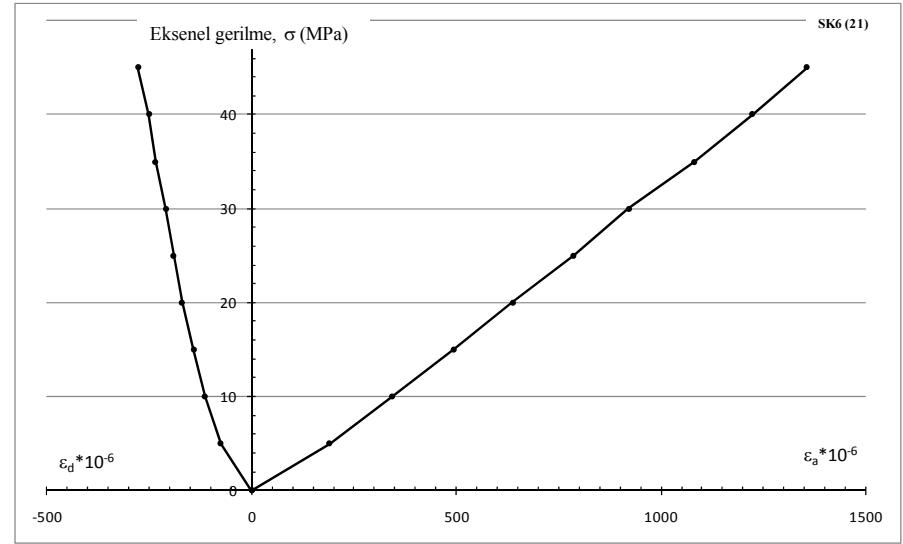
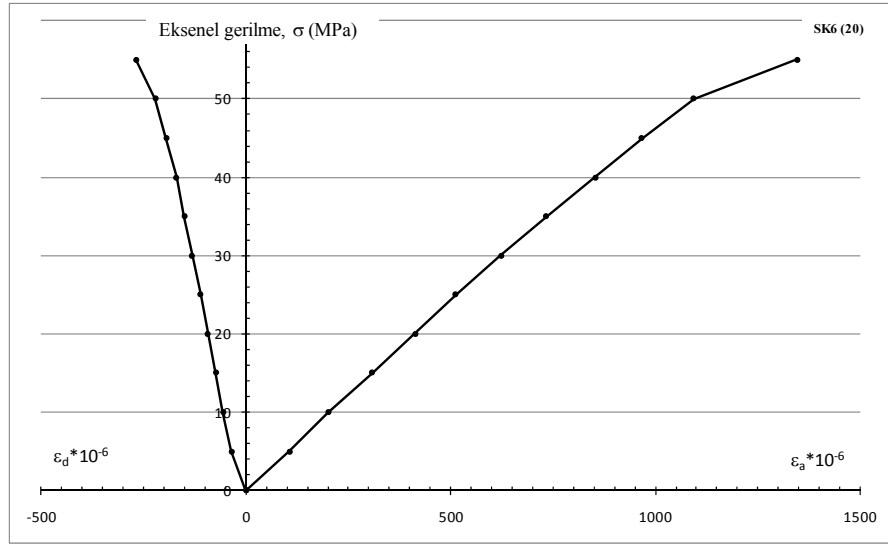


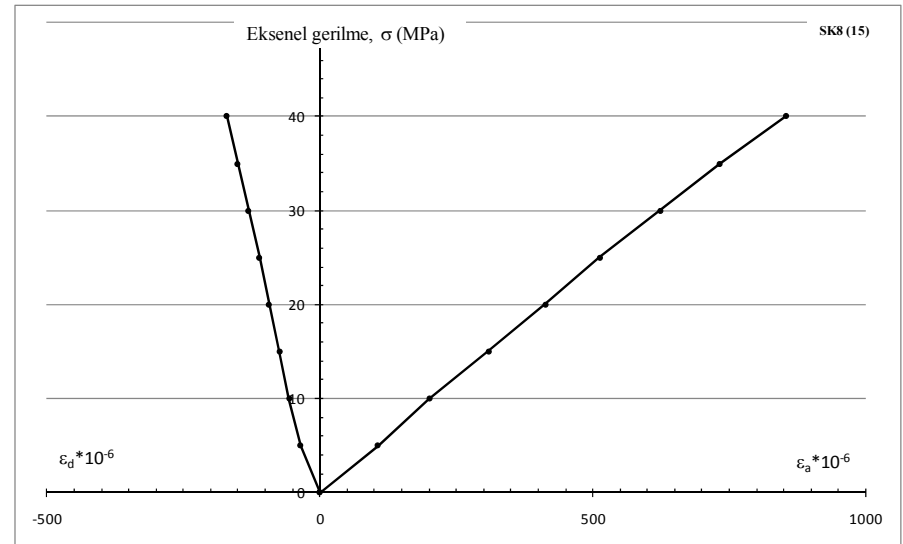
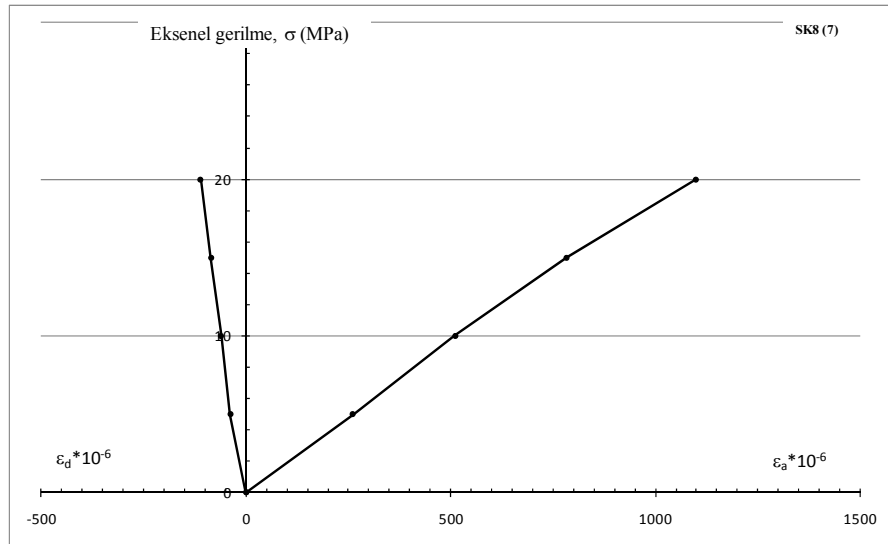
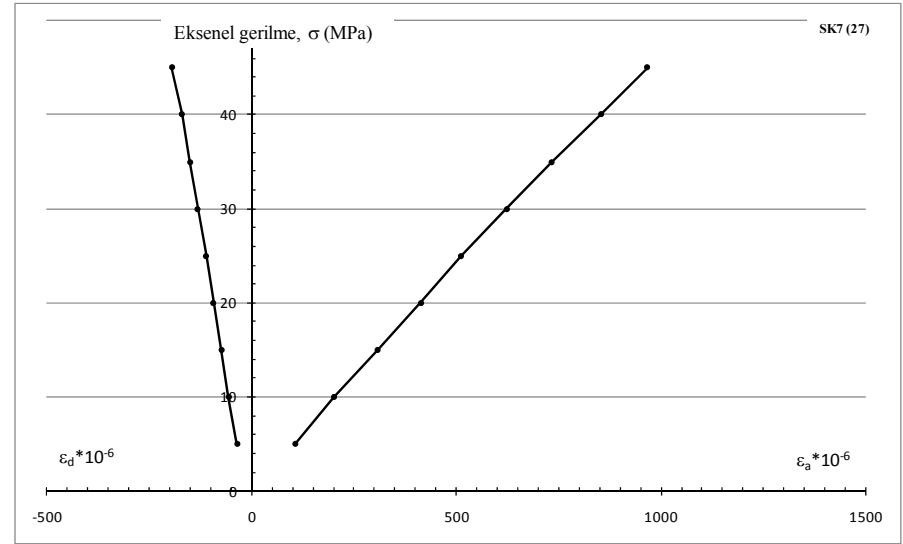
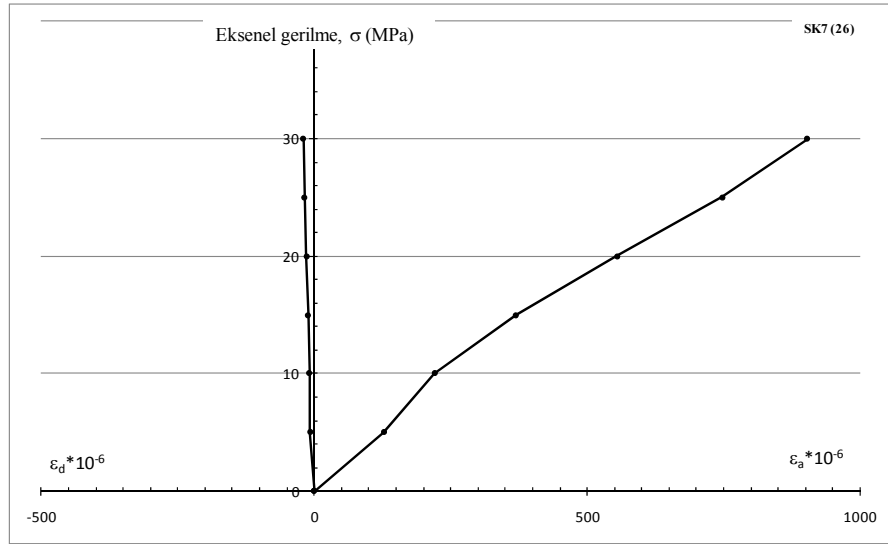


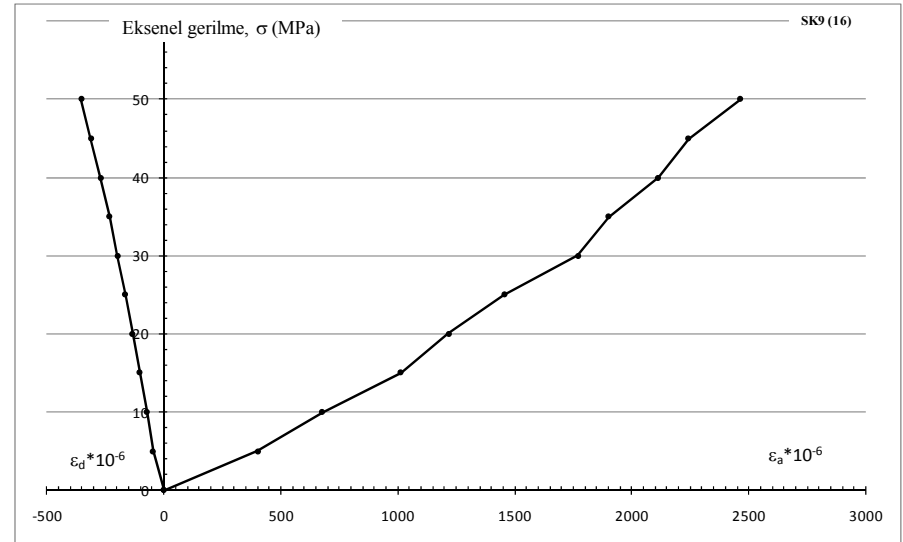
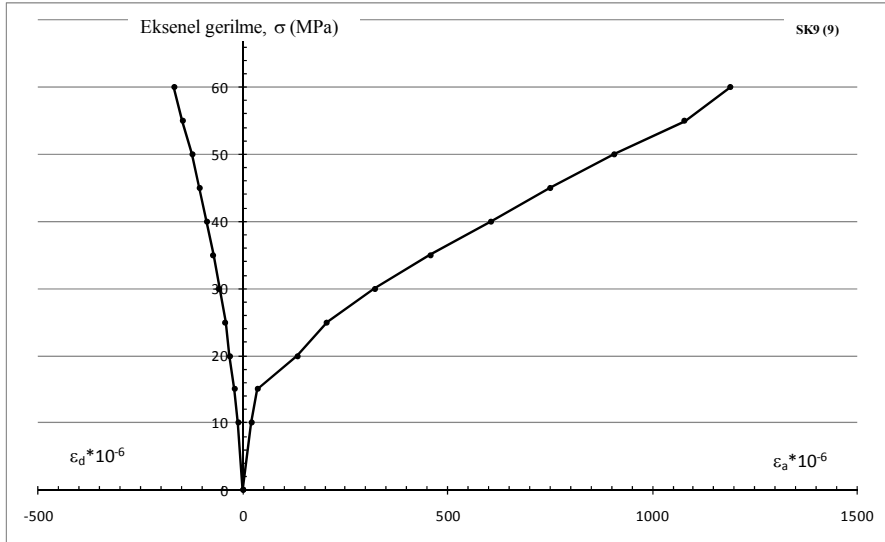
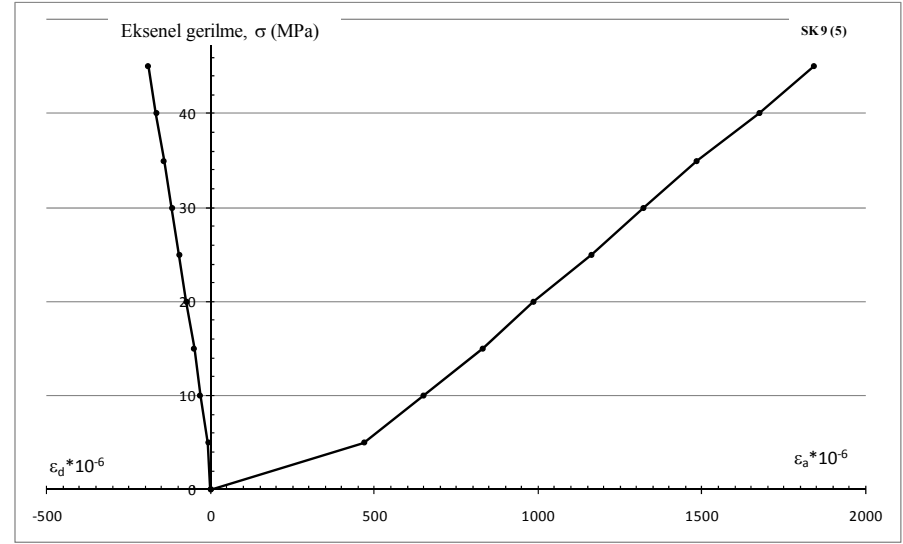
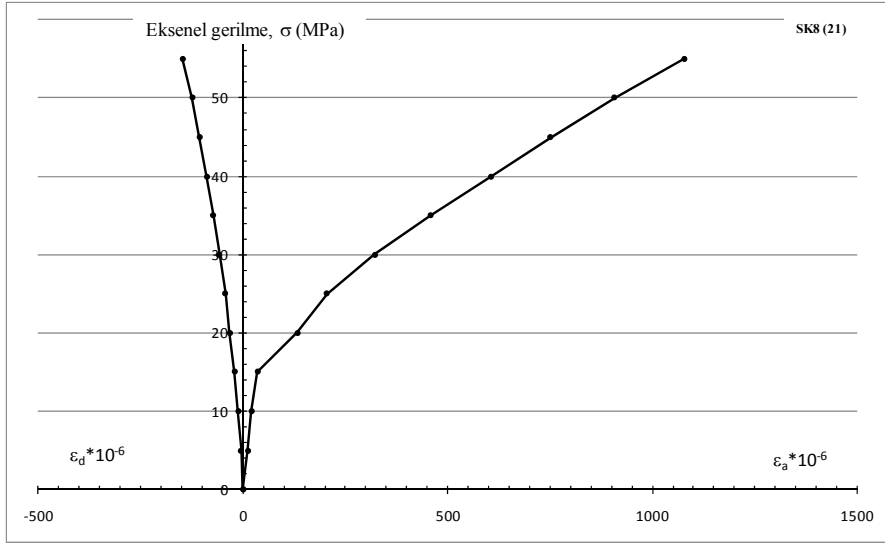


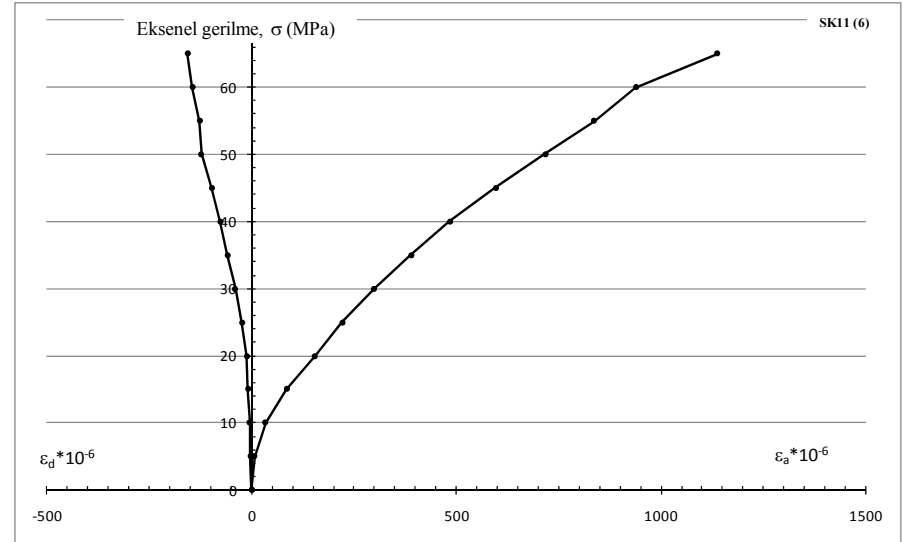
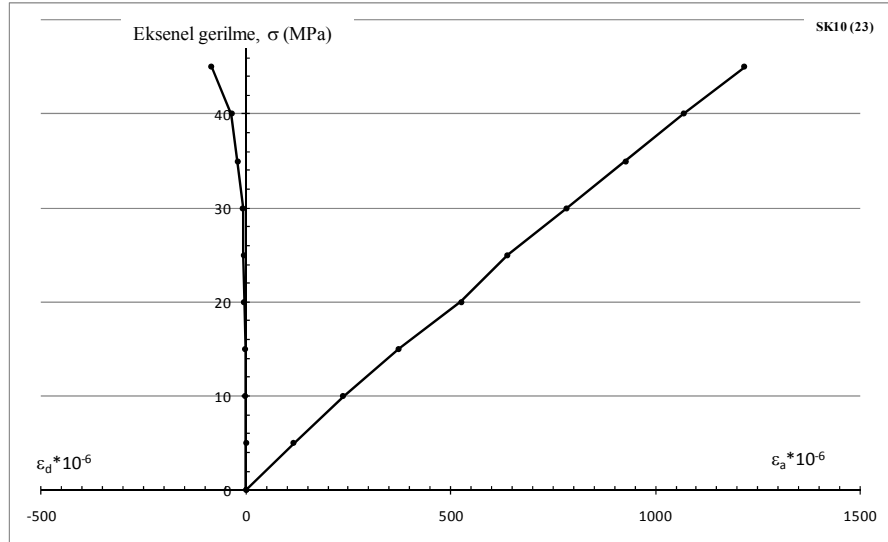
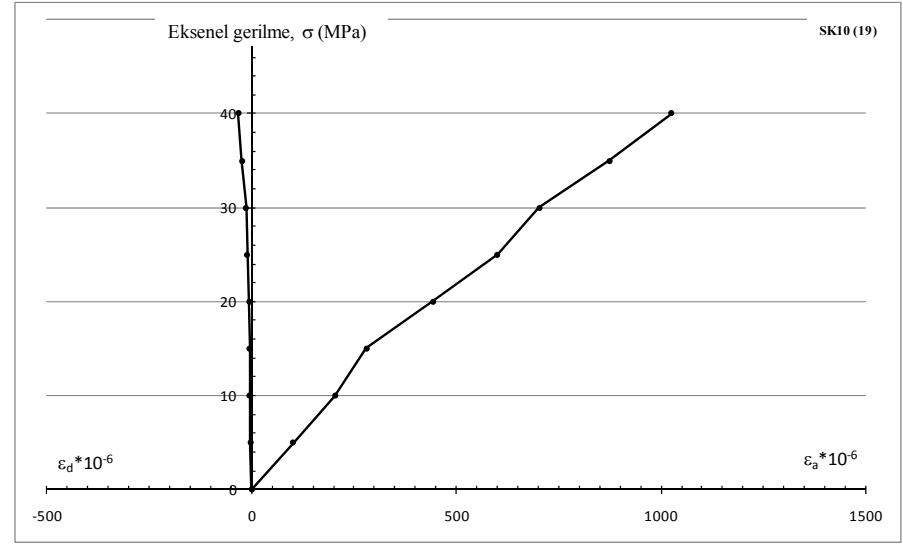
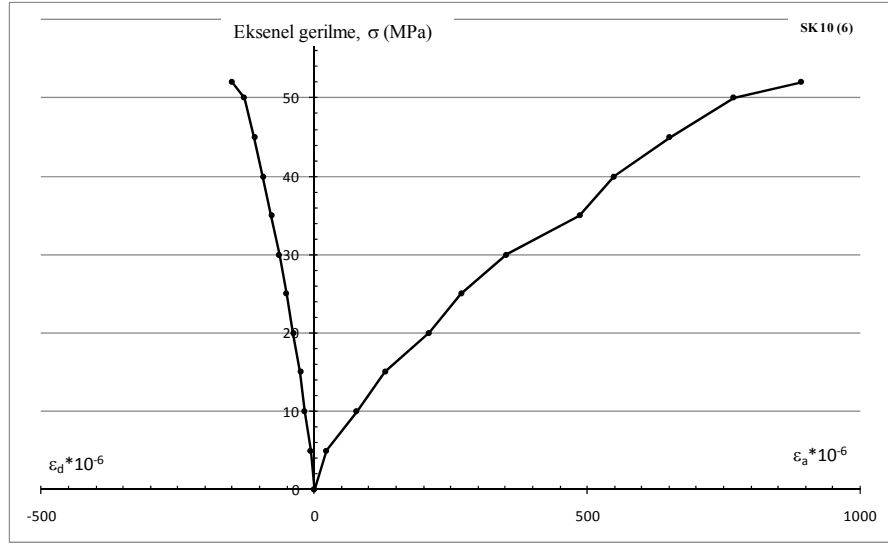


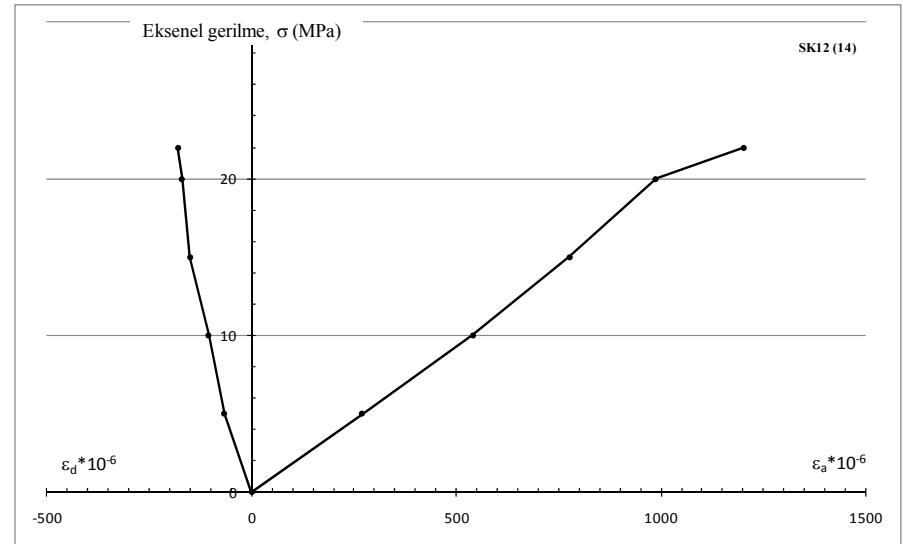
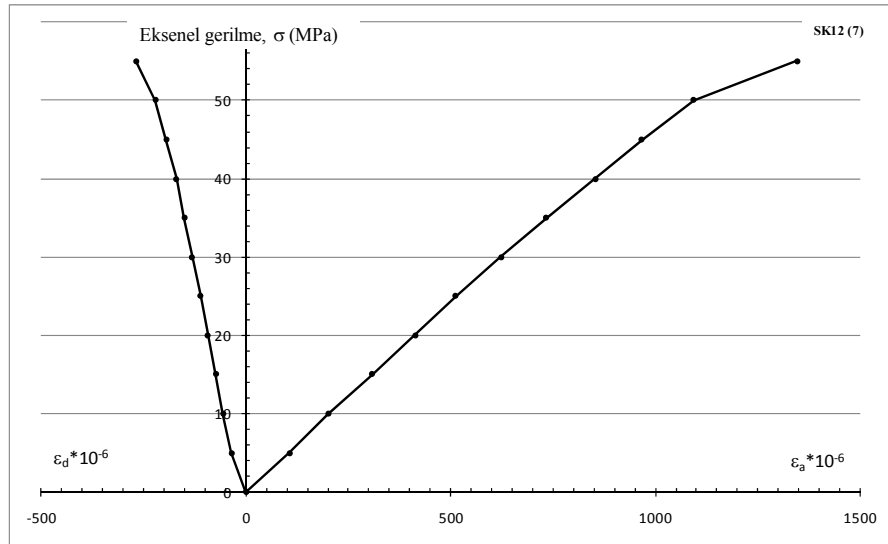
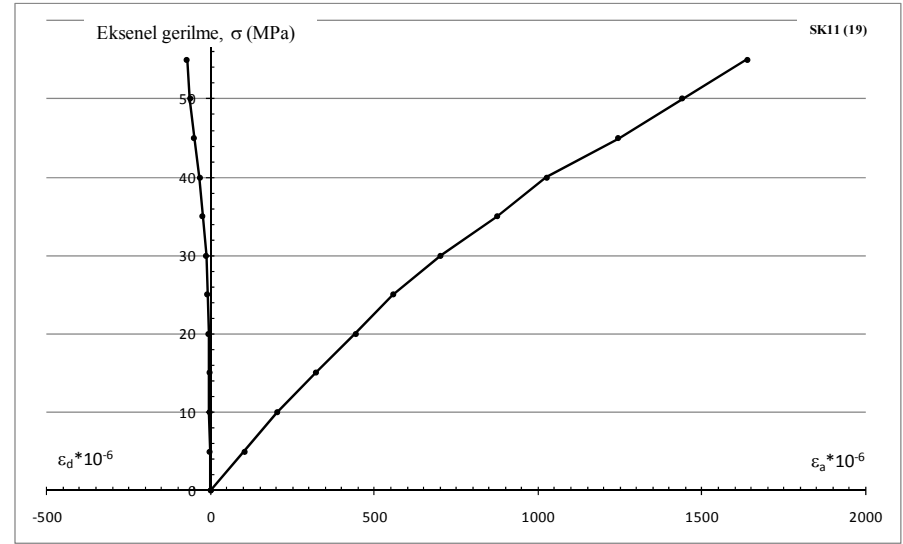
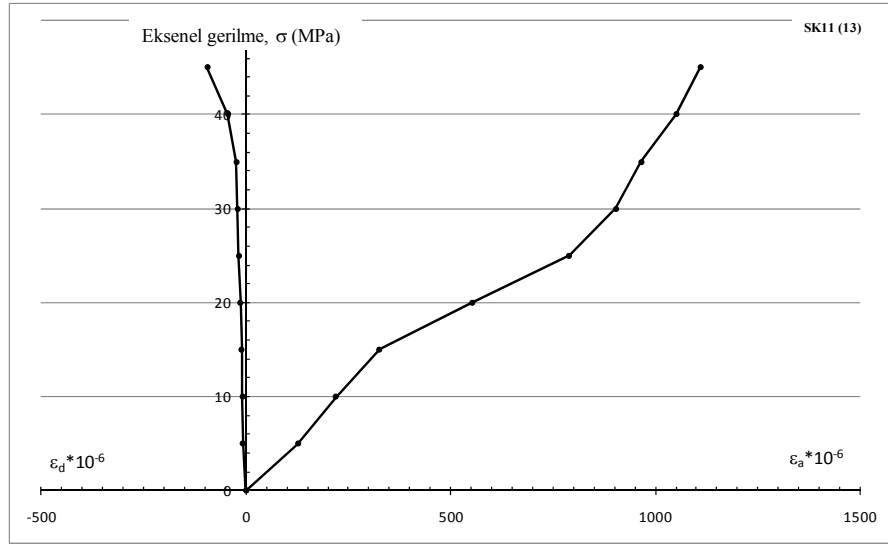


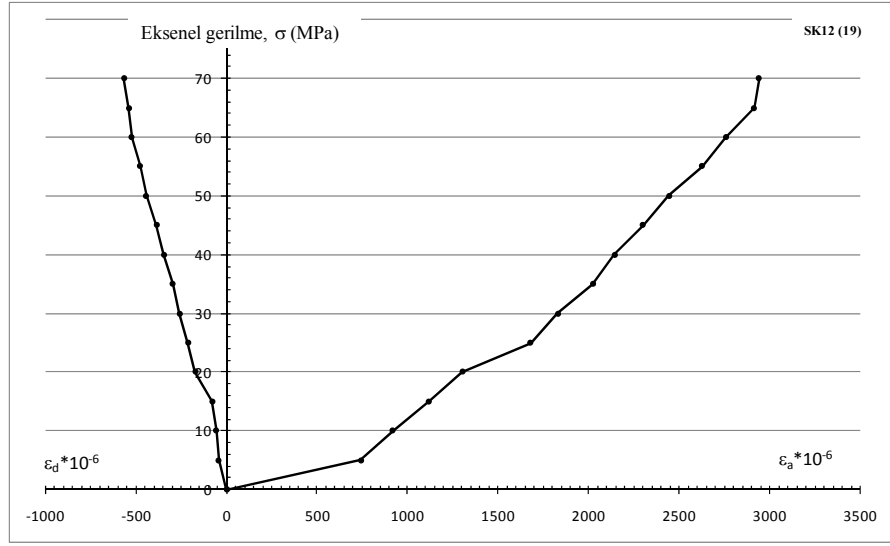












EK 6. JEOMEKANİK KAYA KÜTLE SINIFLAMASI (RMR)

Sondaj No	Derinlik (m)	σ_c (MPa)	Puan	%RQD	Puan	Ara Uzaklık (cm)	Puan	Devamlılık(m)	Puan	Ağıklık (mm)	Puan	Dolgu	Puan	Bozunma	Puan	Y.Suyu	Puan	RMR
SK1	1	119,21	10,9	85	17	10	6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	60,9
	2	101,55	9,7	84	17	23,5	8,5	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	62,2
	3	115,4	10,6	63	12,7	9,78	6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	56,3
	4	103,21	9,8	87	17,3	13,88	6,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	60,9
	5	77,31	7,8	76	15	17,4	7,3	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	57,1
SK2	1	39,15	4,7	54	10,8	6,13	5,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	48,2
	2	78,39	7,8	33	7,5	8,18	5,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	48,1
	3	64,82	6,9	31	7,5	9,5	6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	47,4
	4	109,05	10,1	55	10,9	9,11	5,9	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	53,9
	5	94,14	9,3	13	4,4	8,9	5,9	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	46,6
SK3	1	55,81	6,1	45	9	7,2	5,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	47,8
	2	62,79	6,7	76	15	12,13	6,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	55,4
	3	72,37	7,5	51	10,2	11,13	6,6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	51,3
	4	85,53	8,9	20	5,3	9,22	6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	47,2
	5	68,68	7,2	58	11	6,35	5,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	50,9
SK4	1	70,71	7,4	40	8,4	7,08	5,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	48,5
	2	79,88	8,2	51	10,2	7,5	5,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	51,2
	3	73,13	7,6	79	15,1	14,16	6,9	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	56,6
	4	79,82	8,2	88	17,1	19	7,2	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	59,5
	5	74,95	7,7	81	16,9	20	7,5	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	59,1
SK5	1	44,58	5,3	26	5,9	8,5	5,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	44
	2	71,18	7,4	69	14	10,38	6,1	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	54,5
	3	81,45	8,2	80	16	23,75	8,5	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	59,7
	4	91,36	9	57	10,9	8,5	5,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	52,7
	5	77,52	7,8	73	14,7	28,33	9,3	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	58,8
SK6	1	85,94	8,5	89	17,9	16,17	7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	60,4
	2	41,82	4,9	98	19,7	22,5	7,9	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	59,5
	3	52,36	5,8	51	10,2	11,57	6,6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	49,6
	4	58,25	6,3	39	8,4	7	5,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	47,4
	5	72,75	7,7	13	4,4	5,78	5,5	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	44,6

EK-6. Silttaşlarına ait Jeomekanik Kaya Kütle Sınıflaması (RMR) Çizelgesi

Sondaj No	Derinlik (m)	σ_c (MPa)	Puan	%RQD	Puan	Ara Uzaklık (cm)	Puan	Devamlılık (m)	Puan	Açıklık (mm)	Puan	Dolgu	Puan	Bozunma	Puan	Y. Suyu	Puan	RMR
SK7	1	146,75	12,2	72	14,3	9	5,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	59,3
	2	56,62	5,8	57	10,9	26,67	8,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	52,5
	3	84,38	8,7	57	10,9	15	6,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	53,4
	4	74,93	7,8	56	10,9	10,88	6,5	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	52,2
	5	62,75	7	11	4,2	6,08	5,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	43,9
SK8	1	35,41	4,5	11	4,2	5,87	5,6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	41,3
	2	58,6	6,4	45	9	8,1	5,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	48,2
	3	42,75	5,1	65	13	8,1	5,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	50,9
SK9	1	68,85	7,3	77	15,4	17	7,2	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	56,9
	2	66,03	7,1	50	10	11,25	6,6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	50,7
	3	78,25	8	65	13	8,1	5,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	53,8
SK10	1	50,43	5,6	98	19,7	9,75	6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	58,3
	2	40,59	4,7	70	14	13,43	6,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	52,5
	3	57,33	6	79	16	12	6,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	55,7
SK11	1	67,25	7,1	90	17,9	12,13	6,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	58,7
	2	55,74	6,1	58	10,9	7,33	5,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	49,7
	3	55,07	6,1	75	14,9	5,88	5,6	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	53,6
SK12	1	63,36	6,7	72	14,7	12,57	6,7	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	55,1
	2	53,17	5,8	92	18,2	32,33	8,8	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	59,8
	3	81,07	8,2	90	18	15,17	6,9	8,75	2	3,51	1	3mm kalsit	4	Az	5	Yok	15	60,1

EK 6.'nın devamı

EK 7. KAYA KÜTLE İNDEKSİ (RMi)

Sondaj No	Derinlik (m)	σ_c (MPa)	jR	jA	jL	jC	%RQD	J _v	β	D	V _b	JP	RMi
SK1	1	119,21	1,5	4	1	0,375	85	9,24	38,5	0,45	0,0488	0,0314	3,75
	2	101,55	1,5	4	1	0,375	84	9,55	38,5	0,45	0,0443	0,0301	3,06
	3	115,4	1,5	4	1	0,375	63	15,91	38,5	0,45	0,0096	0,0151	1,74
	4	103,21	1,5	4	1	0,375	87	8,64	38,5	0,45	0,0598	0,0345	3,56
	5	77,31	1,5	4	1	0,375	76	11,97	38,5	0,45	0,0224	0,0222	1,71
SK2	1	39,15	1,5	4	1	0,375	54	18,64	38,5	0,45	0,0059	0,0122	0,48
	2	78,39	1,5	4	1	0,375	33	25,00	38,5	0,45	0,0025	0,0082	0,64
	3	64,82	1,5	4	1	0,375	31	25,61	38,5	0,45	0,0023	0,0079	0,51
	4	109,05	1,5	4	1	0,375	55	18,33	38,5	0,45	0,0062	0,0125	1,36
	5	94,14	1,5	4	1	0,375	13	31,06	38,5	0,45	0,0013	0,0061	0,58
SK3	1	55,81	1,5	4	1	0,375	45	21,36	38,5	0,45	0,0039	0,0101	0,57
	2	62,79	1,5	4	1	0,375	76	11,97	38,5	0,45	0,0224	0,0222	1,39
	3	72,37	1,5	4	1	0,375	51	19,55	38,5	0,45	0,0052	0,0114	0,83
	4	85,53	1,5	4	1	0,375	20	28,94	38,5	0,45	0,0016	0,0067	0,58
	5	68,68	1,5	4	1	0,375	58	17,42	38,5	0,45	0,0073	0,0134	0,92
SK4	1	70,71	1,5	4	1	0,375	40	22,88	38,5	0,45	0,0032	0,0092	0,65
	2	79,88	1,5	4	1	0,375	51	19,55	38,5	0,45	0,0052	0,0114	0,91
	3	73,13	1,5	4	1	0,375	79	11,06	38,5	0,45	0,0285	0,0247	1,80
	4	79,82	1,5	4	1	0,375	88	8,33	38,5	0,45	0,0665	0,0362	2,89
	5	74,95	1,5	4	1	0,375	81	10,45	38,5	0,45	0,0337	0,0266	1,99
SK5	1	44,58	1,5	4	1	0,375	26	27,12	38,5	0,45	0,0019	0,0073	0,33
	2	71,18	1,5	4	1	0,375	69	14,09	38,5	0,45	0,0138	0,0178	1,27
	3	81,45	1,5	4	1	0,375	80	10,76	38,5	0,45	0,0309	0,0256	2,09
	4	91,36	1,5	4	1	0,375	57	17,73	38,5	0,45	0,0069	0,0130	1,19
	5	77,52	1,5	4	1	0,375	73	12,88	38,5	0,45	0,0180	0,0201	1,56
SK6	1	85,94	1,5	4	1	0,375	89	8,03	38,5	0,45	0,0743	0,0380	3,27
	2	41,82	1,5	4	1	0,375	98	5,30	38,5	0,45	0,2582	0,0666	2,78
	3	52,36	1,5	4	1	0,375	51	19,55	38,5	0,45	0,0052	0,0114	0,60
	4	58,25	1,5	4	1	0,375	39	23,18	38,5	0,45	0,0031	0,0091	0,53
	5	72,75	1,5	4	1	0,375	13	31,06	38,5	0,45	0,0013	0,0061	0,44
SK7	1	146,75	1,5	4	1	0,375	72	13,18	38,5	0,45	0,0168	0,0195	2,86
	2	56,62	1,5	4	1	0,375	57	17,73	38,5	0,45	0,0069	0,0130	0,74
	3	84,38	1,5	4	1	0,375	57	17,73	38,5	0,45	0,0069	0,0130	1,10
	4	74,93	1,5	4	1	0,375	56	18,03	38,5	0,45	0,0066	0,0127	0,96
	5	62,75	1,5	4	1	0,375	11	31,67	38,5	0,45	0,0012	0,0060	0,37
SK8	1	35,41	1,5	4	1	0,375	11	31,67	38,5	0,45	0,0012	0,0060	0,21
	2	58,6	1,5	4	1	0,375	45	21,36	38,5	0,45	0,0039	0,0101	0,59
	3	42,75	1,5	4	1	0,375	65	15,30	38,5	0,45	0,0107	0,0159	0,68
SK9	1	68,85	1,5	4	1	0,375	77	11,67	38,5	0,45	0,0242	0,0230	1,58
	2	66,03	1,5	4	1	0,375	50	19,85	38,5	0,45	0,0049	0,0112	0,74
	3	78,25	1,5	4	1	0,375	65	15,30	38,5	0,45	0,0107	0,0159	1,24
SK10	1	50,43	1,5	4	1	0,375	98	5,30	38,5	0,45	0,2582	0,0666	3,36
	2	40,59	1,5	4	1	0,375	70	13,79	38,5	0,45	0,0147	0,0183	0,74
	3	57,33	1,5	4	1	0,375	79	11,06	38,5	0,45	0,0285	0,0247	1,41
SK11	1	67,25	1,5	4	1	0,375	90	7,73	38,5	0,45	0,0834	0,0400	2,69
	2	55,74	1,5	4	1	0,375	58	17,42	38,5	0,45	0,0073	0,0134	0,74
	3	55,07	1,5	4	1	0,375	75	12,27	38,5	0,45	0,0208	0,0214	1,18
SK12	1	63,36	1,5	4	1	0,375	72	13,18	38,5	0,45	0,0168	0,0195	1,23
	2	53,17	1,5	4	1	0,375	92	7,12	38,5	0,45	0,1066	0,0447	2,38
	3	81,07	1,5	4	1	0,375	90	7,73	38,5	0,45	0,0834	0,0400	3,25

EK 7. Silttaşlarına ait Kaya Kütle İndeksi (RMi) Çizelgesi

EK 8. JEOLojİK DAYANIM İNDEKSİ (GSI)

Sondaj No	Derinlik (m)	Pürüzlülük	Puan	Dolgu	Puan	Bozunma	Puan	%RQD	Jv	SR	SCR	GSI
SK1	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	85	9,2	40,88	12	48,5
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	84	9,5	40,32	12	48,2
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	63	15,9	31,38	12	44
	4	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	87	8,6	42,07	12	49
	5	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	76	12,0	36,36	12	46
SK2	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	54	18,6	28,61	12	43,5
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	33	25,0	23,47	12	41
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	31	25,6	23,05	12	40,8
	4	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	55	18,3	28,90	12	43,5
	5	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	13	31,1	19,67	12	40
SK3	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	45	21,4	26,22	12	42
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	76	12,0	36,36	12	46
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	51	19,5	27,78	12	43
	4	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	20	28,9	20,91	12	40,5
	5	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	58	17,4	29,79	12	44
SK4	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	40	22,9	25,02	12	42
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	51	19,5	27,78	12	43,5
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	79	11,1	37,74	12	47
	4	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	88	8,3	42,70	12	49,5
	5	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	81	10,5	38,73	12	47,50
SK5	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	26	27,1	22,04	12	40,50
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	69	14,1	33,50	12	45,00
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	80	10,8	38,23	12	47,50
	4	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	57	17,7	29,49	12	44,00
	5	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	73	12,9	35,08	12	45,50
SK6	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	89	8,0	43,34	12	49,50
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	98	5,3	50,61	12	54,00
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	51	19,5	27,78	12	43,00
	4	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	39	23,2	24,79	12	42,00
	5	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	13	31,1	19,67	12	40,50
SK7	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	72	13,2	34,67	12	45,30
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	57	17,7	29,49	12	44,00
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	57	17,7	29,49	12	44,00
	4	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	56	18,0	29,19	12	44,00
	5	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	11	31,7	19,33	12	40,50
SK8	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	11	31,7	19,33	12	40,50
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	45	21,4	26,22	12	42,50
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	65	15,3	32,06	12	44,00
SK9	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	77	11,7	36,81	12	47,50
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	50	19,8	27,51	12	43,00
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	65	15,3	32,06	12	44,00
SK10	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	98	5,3	50,61	12	53,50
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	70	13,8	33,88	12	45,30
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	79	11,1	37,74	12	47,50
SK11	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	90	7,7	44,02	12	50,00
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	58	17,4	29,79	12	44,00
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	75	12,3	35,92	12	47,00
SK12	1	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	72	13,2	34,67	12	46,50
	2	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	92	7,1	45,45	12	50,50
	3	Az Pürüzlü	3	3mm kalsit	4	Az Bozunmuş	5	90	7,7	44,02	12	50,00

EK 8. Silttaşlarına ait Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) Çizelgesi

ÖZGEÇMİŞ

Selçuk ALEMDAĞ 9 Ekim 1979 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladıktan sonra 1997 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nü kazanarak Lisans öğrenimine başladı. 2001 yılında Jeoloji mühendisi olarak mezun oldu. 2001-2004 yılları arasında F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans eğitimini tamamladı ve Doktora eğitimine başladı. 05.02.2002 yılında F.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji ABD'na Araştırma Görevlisi olarak atandı, 7 yıl F.Ü. çalıştıktan sonra, 2009 yılında Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne Öğretim Görevlisi olarak atandı. Halen G.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Öğr. Gör. olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.