

**AGLOMERALARIN DEFORMASYON MODÜLÜNÜN  
KESTİRİMİNE YÖNELİK GÖRGÜL YAKLAŞIMLARIN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**ASSESSMENT OF EMPIRICAL APPROACHES ON  
PREDICTING OF DEFORMATION MODULUS OF  
AGGLOMERATES**

**SEVDA GÜNEY**

**Prof . Dr. Harun Sönmez**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitimi – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

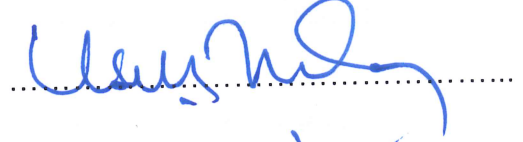
olarak hazırlanmıştır.

2018

SEVDA GÜNEY'in hazırladığı "Aglomeraların Deformasyon Modülünün Kestirimine Yönelik Görgül Yaklaşımların Değerlendirilmesi" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.


Başkan

Prof. Dr. Işık YILMAZ



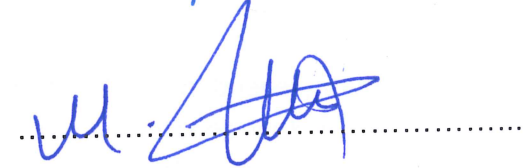
Danışman

Prof. Dr. Harun Sönmez



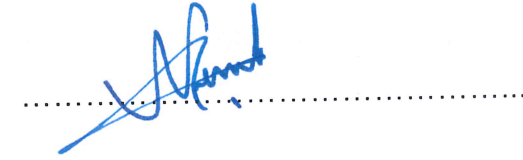
Üye

Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU



Üye

Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK



Prof. Dr. Harun Sönmez

Üye

Prof. Dr. Dilek Türer



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

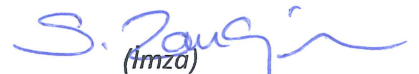
- Tezimin/Raporumun 01.07.2023 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun ..... tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

02 / 07 / 2018

  
(İmza)

Sevda Güney

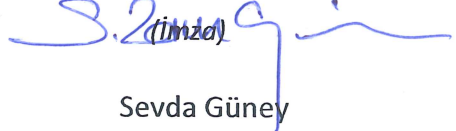
## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02 / 07 / 2018

  
(imza)  
Sevda Güney



# ÖZET

## AGLOMERALARIN DEFORMASYON MODÜLÜNÜN KESTİRİMİNE YÖNELİK GÖRGÜL YAKLAŞIMLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

SEVDA GÜNEY

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Harun SÖNMEZ

Haziran 2018, 76 sayfa

Tüf matriks içinde andezit bloklarından oluşan aglomera kaya malzemelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesine yönelik literatürde bazı ampirik çalışmalar bulunmaktadır. Bu tezde kullanılan aglomera kaya malzemesi ve aglomera kaya kütlelerinin deformasyon parametreleri verileri İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tünellerinin jeoteknik çalışmalarından elde edilmiş olup, veriler Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Bu veriler kullanılarak tek eksenli sıkışma dayanımı ve elastisite modülü arasında bazı yeni ilişkiler araştırılmış, daha sonra üretilen modellerin tahmin performansları literatürdeki bazı modellerle karşılaştırılmıştır. Aglomera ve konglomera kaya malzemelerinden elde edilen verileri içeren kestirim modellerinin daha iyi tahmin performanslarına sahip oldukları gözlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, çizgisel blok oranı (ÇBO) ve kayaç kalitesi göstergesi (RQD) girdi parametreleri ile deformasyon modülü çıktı parametresi arasındaki olası ilişkiler, dilatometre verileriyle elde edilen veriler kullanılarak değerlendirilmiştir. Sınırlı sayıdaki verilere dayanan bu değerlendirmelerde, ÇBO ve RQD'nin aglomeralar için deformasyon modülünün tahmin edilmesi için anlamlı ilişkiler üretme potansiyeline sahip olduğu yönünde bazı ön tespitler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aglomera, ampirik yöntemler, elastisite modülü, deformasyon modülü

# **ABSTRACT**

## **ASSESSMENT OF EMPIRICAL APPROACHES ON PREDICTING OF DEFORMATION MODULUS OF AGGLOMERATES**

**SEVDA GÜNEY**

**Master of Science, Department of Geology Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Harun SÖNMEZ**

**June 2018, 76 pages**

Some empirical studies have been carried out in the literature to determine the strength and deformation properties of agglomerate rock materials composed of andesite blocks in the tuff matrix. Deformation parameters data of agglomerate rock material and agglomerate rock mass used in this thesis were produced by the geotechnical studies of the Istanbul 3 Bosphorus bridge, Akyazı and Zigana tunnels, and data were supplied from General Directorate of Highways. Some new relationships between uniaxial compressive strength and modulus of elasticity were investigated by using these data, then prediction performances of the produced models were compared with the previous models in literature. It was observed that the models which include data obtained from agglomerate and conglomerate rock materials have better prediction performances. In the second part of the study, possible relationships between linear block ratio (LBR) and rock quality designation (RQD) as input parameters and the modulus of deformation as output were evaluated using data obtained from the dilatometer data. In these evaluations based on a limited number data, some preliminary determinations were made that LBR and RQD have potential to produce meaningful relations for predicting of modulus of deformation for agglomerates.

**Keywords:** Agglomerate, empirical approaches, modulus of elasticity, deformation modulus

## TEŞEKKÜR

Tezimde alıőmalarım sırasında bilgi birikimini ve ynlendirici katkılarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Harun Sönmez'e,

Tezimin son Őeklini almasındaki katkılarından dolayı Sayın Jüri yelerine,

Tezime konu olan verilerin kullanımını sağlayan Karayolları Genel Müdürlüğüne,

Tez çalıőmalarım sırasında desteğini esirgemeyen Jeolojik Hizmetler Őube Müdürü Sayın Aydın Durukan'a ve sevgili aileme,

teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

	<b>Syf</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER.....	v
ÇİZELGELER.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 Önceki Çalışmalar .....	2
2. VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI.....	26
2.1 Jeolojik Yapı .....	26
2.2 Aglomeralara ait Jeoteknik Çalışmalar ve Derlenen Veriler .....	31
2.2.1 Aglomera Kaya Malzemesine Yönelik Veriler ve İstatistiksel Değerlendirmesi .....	32
2.2.2 Kaya Kütlesi ve Deformasyon Modülüne Yönelik Veriler ve İstatistiksel Değerlendirmesi.....	37
3. KAROT SANDIĞI FOTOĞRAFLARINDAN ÇİZGİSEL BLOK ORANI BELİRLEMELERİ.....	44
4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE AMPİRİK YAKLAŞIMLARIN PERFORMANSLARININ SINANMASI .....	47
4.1 Aglomera Kaya Malzemesinin Elastisite Modülünün Kestirimine Yönelik Değerlendirmeler .....	47
4.1.1 Mevcut veri tabanı kullanılarak E <sub>r</sub> 'nin kestirimine yönelik değerlendirmeler.....	48
4.1.2 Bu çalışmada belirlenen ve literatürde sunulan bazı ilişkilerin kestirim performanslarının değerlendirilmesi.....	49
4.2 Aglomera Kaya Kütlesinin Deformasyon Modülünün Kestirimine Yönelik Değerlendirmeler .....	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR.....	72

## ŞEKİLLER

Syf

- Şekil 1.1. Ankara Mamak bölgesinde çekilen aglomera fotoğrafindan nokta sayma yöntemi ile bileşen oranlarının(blok-mariks) belirlenmesi [8]..... 5
- Şekil 1.2. (a) Ankara Kızılcaköy bölgesindeki aglomeralara, (b) Mamak bölgesindeki aglomeralara ait renkli ve gri ölçekteki fotoğraflar üzerinde yapılmış olan foto analiz çalışmaları [8]..... 6
- Şekil 1.3. Bir bloğun gözlenen en büyük boyutunun kuramsal gösterimi [9, 11, 12]. ..... 7
- Şekil 1.4. (a) Franciscan melanjında farklı büyüklükteki alanlarda yapılan blok boyutu ölçümleri, (b) İki farklı ölçüm alanındaki blok boyutlarının (dmod) logaritmik dağılımı [10]..... 8
- Şekil 1.5. Melanjlarda ölçüm alanının karekökü ile normalize edilerek belirlenen ölçekten bağımsız blok boyutu dağılımı [4, 9]..... 9
- Şekil 1.6. Blok yönelimi ve oranlarının dayanım üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla hazırlanan dört farklı blok yönelim açısına sahip model karotlar [5]. ..... 10
- Şekil 1.7. Lindquist [7]’ün hazırladığı model “BİMROCK”larda hacimsel blok oranı ile (a) içsel sürtünme açısı ve (b) kohezyon arasındaki ilişki [16]..... 11
- Şekil 1.8. Model bimrock karot örneğinde yenilme yüzeyinin gelişimi [7]. ..... 12
- Şekil 1.9. Ankara aglomerasında matriks-blok bileşen içeriğine bağlı olarak (a) pembe andezit, (b) siyah andezit ve (c) tüf matriks ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında belirlenen ilişkiler [18]. ..... 13
- Şekil 1.10. Ankara aglomerasında bileşen oranına bağlı olarak tek eksenli sıkışma dayanımının kestirimine yönelik yapılan

çoklu regresyon ile belirlenen eşitliğin performans grafiği [18].....	14
Şekil 1.11. Ankara Aglomerasının tek eksenli sıkışma dayanımı tahmin abağı [19]. .....	15
Şekil 1.12. Ankara Aglomerası örneklerine ait üçgen petrografik sınıflama abacı [20].....	16
Şekil 1.13. Ankara aglomerasının dayanımının belirlemek üzere oluşturulmuş bulanık tabanlı üçgen abak [8, 9]. .....	18
Şekil 1.14. Bimroklardaki olası yenilme yüzeyleri: (a1), yüksek dayanım kontrastı; (a2), daha düşük dayanım kontrastı; (b), bloğun içindeki ve blok-matriks sınırı yenilmelerinin gözlemlendiği aglomera karotunun yenilme yüzeyine dik kesilen yüzeyin görünümü [20]. .....	19
Şekil 1.15. Kaynaşmış bimroklar için dayanım kontrastının dikkate alındığı genelleştirilmiş yaklaşıma ait şematik gösterim [20].....	21
Şekil 1.16. Eşitlik 1.7'ye göre hazırlanan $E_i$ tahmin abağı (BPI eksenini Gökçeoğlu, 1997'den alınmıştır) [9].....	23
Şekil 1.17. Deere ve Miller (1966)'in modül oranı abağı ve Eşitlik 1.7'de verilen ampirik ilişki kullanılarak oluşturulan $E_i$ kestirim abağı (BPI eksenini Gökçeoğlu, 1997'den alınmıştır) [9]. .....	24
Şekil 2.1. Trabzon Akyazı bölgesine ait Jeoloji Haritası [29].....	27
Şekil 2.2. Akyazı Tüneli güzergahında açılmış olan sondaj kuyusuna ait karot sandığı fotoğrafı [30]. .....	27
Şekil 2.3. Zigana Geçidi Jeoloji Haritası [29].....	28
Şekil 2.4. Zigana Tüneli güzergahında açılmış olan sondaja ait karot sandığı fotoğrafı [31]. .....	29
Şekil 2.5. İstanbul Boğazının Karadenize çıkış bölgesine ait Jeoloji Haritası [32]. .....	30
Şekil 2.6. 3. Boğaz Köprüsü güzergahında açılmış olan sondaja ait karot sandığı fotoğrafı [33]. .....	31

Şekil 2.7. İstanbul 3. Boğaz köprüsü inşaatına ait karot örneklerindeki deneysel verilerin histogram grafikleri (a) birim hacim ağırlık, (b) tek eksenli sıkışma dayanımı ve (c) elastisite modülü. ....	34
Şekil 2.8. Zigana tüneli inşaatına ait karot örneklerindeki deneysel verilerin histogram grafikleri (a) birim hacim ağırlık, (b) tek eksenli sıkışma dayanımı ve (c) elastisite modülü.....	35
Şekil 2.9. Tüm projelere ait karot örneklerindeki deneysel verilerin histogram grafikleri (a) birim hacim ağırlık, (b) tek eksenli sıkışma dayanımı ve (c) elastisite modülü. ....	36
Şekil 2.10. Boğaz Köprüsü proje çalışmaları kapsamında yapılan dilatometre deneyi [33].....	38
Şekil 2.11. Dilatometre Deneyi şematik gösterimi [34]. ....	38
Şekil 2.12. İstanbul 3. Boğaz köprüsü inşaatına ait (a) RQD, (b) dilatometre deneyi derinliği ve (c) kütle deformasyon modülü histogram grafikleri. ....	39
Şekil 2.13. Akyazı tüneli inşaatına ait (a) RQD, (b) dilatometre deneyi derinliği ve (c) kütle deformasyon modülü histogram grafikleri. ....	40
Şekil 2.14. Zigana tüneli inşaatına ait (a) RQD, (b) dilatometre deneyi derinliği ve (c) kütle deformasyon modülü histogram grafikleri. ....	41
Şekil 2.15. Tüm projelere ait (a) RQD, (b) dilatometre deneyi derinliği ve (c) kütle deformasyon modülü histogram grafikleri. ....	42
Şekil 3.1. Fotoğraf analizi yapılan karot numuneleri. ....	45
Şekil 4.1. Mevcut veri tabanında tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve elastisite modülünün ( $E_i$ ) her ikisinin de bulunduğu 103 verinin UCS'ye karşılık $E_i$ grafiğine dökümü ve aykırı veriler (kırmızı sembollü).....	48
Şekil 4.2. Aykırı 5 verinin dikkate alınmadığı mevcut veri tabanında UCS ile $E_i$ arasında belirlenen en iyi ilişkiler. ....	49



Şekil 4.3. Sönmez et al. [20] tarafından ANN tabanlı kaya malzemesinin elastisite modülünün tahmin abağı ve tez çalışmasında derlenen verilerin abak üzerindeki dağılımı.....	51
Şekil 4.4. Model_1a'nın performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	52
Şekil 4.5. Model_1b'nin performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	53
Şekil 4.6. Model_2'nin performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	54
Şekil 4.7. Model_3'ün performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	55
Şekil 4.8. Model_4'ün performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	56
Şekil 4.9. Model_5'in performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	57
Şekil 4.10. Model_6'nın performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	58
Şekil 4.11. Model_7a'nın performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	59
Şekil 4.12. Model_7b'nin performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	60
Şekil 4.13. Model_8'in performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	61
Şekil 4.14. Model_9'un performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.....	62
Şekil 4.15. Bu çalışmada derlenen verilerin RQD'ye karşılık kütle deformasyon modülü grafiğindeki dağılımı ve tuf matris, aglomera ve andezit blok malzemelerinin grafik üzerindeki yerleşimleri. ....	65
Şekil 4.16. Karot sandığı fotoğraflarından ÇBO değerleri belirlenen veri grubunun $E_{k\text{ütle}}$ ile (a) RQD ve (b) ÇBO grafiği üzerindeki dağılımları.....	67

- Şekil 4.17. Karot sandığı fotoğraflarından ÇBO değerleri belirlenen veri grubunun  $E_{k\ddot{u}tle}/E_i$  ile (a) ÇBO ve (b) ÇBOxRQD/100 grafiği üzerindeki dağılımları ve belirlenen ilişkiler. .... 68
- Şekil 4.18.  $E_{k\ddot{u}tle}/E_i$  değeri 1'in altında olan verilerin ÇBOxRQD/100 bağımlı değişenine göre değerlendirilmesi..... 69

## ÇİZELGELER

syf

Çizelge 1.1. Bileşen oranlarının sözel terimlere dönüştürülmesinde kullanılan sınıf aralıkları [20]. .....	17
Çizelge 1.2. Önerilen birleştirilmiş parametreler (BP) ve elastisite modülleri arasındaki ilişkiler [9]. .....	22
Çizelge 2.1. İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tüneli inşaat sahalarındaki jeoteknik sondaj çalışmaları sırasında elde edilen karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ilişkin istatistiksel değerlendirmeler.....	33
Çizelge 2.2. İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tüneli inşaat sahalarındaki jeoteknik sondaj çalışmaları sırasında yapılan çalışmalardan sağlanan RQD ve dilatometre deneylerine ilişkin istatistiksel değerlendirmeler.....	43
Çizelge 3.1. Karot sandığı fotoğraflarından hacimsel blok oranı değerlerinin belirlenebildiği dilatometre deney seviyelerinde, RQD değerleri, hacimsel blok oranları ve deney sonuçları. ....	45
Çizelge 4.1. Performans analizlerinde dikkate alınan $E_i$ 'nin kestirimine yönelik ilişkiler. ....	50
Çizelge 4.2. Kaya kütlelerinin deformasyon modülünün tahminine yönelik geliştirilmiş olan ampirik ilişkiler [1]. ....	63
Çizelge 4.3. Çizgisel blok oranı değerlerinin de belirlendiği kütle deformasyon modülü verileri .....	66

## SİMGELER VE KISALTMALAR

- A Matriks ile bloklar arasındaki kenetlenme derecesine bağlı katsayı
- C Matriks ile bloklar arasındaki dayanım kontrastı katsayısı
- c Kohezyon
- ÇBO Çizgisel blok oranı
- DK Dayanım kontrastı
- $E_i$  Kaya malzemesinin elastisite modülü
- $E_m$  Kaya kütlesinin deformasyon modülü
- EBO Eşdeğer blok oranı
- HBO Hacimsel blok oranı
- $m_i$  Hoek-Brown kaya sabiti değeri
- RQD Kaya kalite göstergesi
- UCS Kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanımı
- $\sigma_c$  Kaya malzemesinin tek eksenli sıkışma dayanım
- $\phi$  İçsel sürtünme açısı  $\gamma$  Birim hacim ağırlık
- $\gamma$  Birim hacim ağırlık

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Amaç ve Kapsam

Kaya kütlelerinde tabakalanma, eklem, fay vb. süreksizlik yapıları gibi kütlelerin genel anlamda çekilme dayanımını azaltacak herhangi bir kırık ve/veya zayıflık düzlemi içermeyen farklı boyutlardaki kaya parçalarına kaya malzemesi, süreksizlik ağı ile kaya malzemesinin birlikte oluşturdukları sisteme ise kaya kütlesi adı verilir [1].

Köprü, viyadük, tünel, demiryolu ve baraj gibi büyük mühendislik yapılarının projelendirilmeden önce ortamın jeolojik yapısının ve jeoteknik özelliklerinin ayrıntılı ve doğru parametrelerle tanımlanması bu yapıların ekonomik ve güvenilir olarak tasarlanması açısından büyük önem arz etmektedir. Kaya malzemelerinin dayanım ve deformasyon parametreleri, homojen ve izotrop olan jeolojik ortamlardan alınan karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ile kolaylıkla elde edilebilmektedir. Ancak mühendislik yapılarının tasarlandığı bölge çoğu zaman sağlam/masif kaya üzerinde olmayıp, tabakalı veya eklemli kaya ortamları veya zayıf matriks içinde blok parçaları içeren aglomera, fay breşi ve melanj gibi jeolojik ortamlar üzerinde de inşa edilebilmektedirler. Bu gibi ortamlarda kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sağlam kaya/blok malzemesi ile birlikte süreksizlikleri ve/veya matriksi oluşturan malzemeyi de içerecek şekilde tüm kaya kütlelerini temsil edecek kadar büyük boyutlarda örselenmemiş numune hazırlanması genellikle olanaksızdır. Ayrıca, bütün kütleleri temsil edecek büyük çaplı numuneler alınabilse dahi bu örneklerin üzerinde deneylerin yapılabileceği laboratuvar koşullarına ulaşmak oldukça zordur.

Bu sınırlamalar nedeniyle birçok araştırmacı kaya malzemesi ve süreksizlikleri kapsayacak şekilde kaya kütlelerinin dayanım ve

deformasyonunun belirlenmesi için çok sayıda ampirik esaslı yöntemler geliştirmişlerdir.

İlk defa Raymond [2] tarafından tanımlanan zayıf bağlayıcı malzeme içerisinde farklı boyutlarda blok içeren kayalar olarak tanımlanan jeolojik birimlerde yerindeki koşulları temsil edebilecek özelliklerde örnek alınması oldukça zor olup, bu güçlüğün aşılmasına yönelik olarak bu tür jeolojik ortamların dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesi için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmaların genelleme kapasiteleri henüz yeterince sınınamamıştır. Bu tür kaya ortamlarında plaka yükleme, presiyometre ve dilatometre gibi deneylerle de dayanım ve deformasyon parametreleri yerinde belirlenebilmektedir. Ancak bu deneylerinde temel prensipleri gereği aynı ortamlarda farklı sonuçlar sunabilmektedir.

Tez çalışmasında farklı iki bölgedeki tuf matriksi içerisinde andezit bloklarının yer aldığı aglomera birimi inceleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu amaçla, Trabzon Akyazı Bölgesi, Trabzon Gümüşhane Yolundaki Zigana Geçidi ve İstanbul Boğazının Karadeniz'e çıkış bölgesinde yer alan ve bimrock olarak tanımlanan tuf matriks içinde andezit/bazalt parça ve/veya bloklarının yer aldığı aglomeralarda yapılan jeoteknik sondaj çalışmaları ve dilatometre deneyleri derlenmiş ve tezin amacına yönelik olarak değerlendirilmelerde kullanılmıştır.

## **1.2 Önceki Çalışmalar**

Zayıf bir bağlayıcı (matriks) içinde blokların bulunduğu bimrockları konu alan mühendislik jeolojisi çalışmaları, blok ve bağlayıcı oranının belirlenmesi (karakterizasyonu) ile dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar olmak üzere iki ana konu üzerinde yoğunlaşmıştır.

Raymond [2] tarafından literatüre kazandırılan "Block-in-Matrix-Rocks" terimi melanj ve olistostrom birimleri için kullanılmaktadır.

Melanj birimi jeolojide, dokanak ve tabakalarının iç devamlılığı olmayan her boyuttan blok ve/veya kaya parçalarının daha ince taneli malzemenin parçalanmış matriksine gömüldüğü kaya kütlesi olarak karakterize edilir [2, 3]. Medley [4], daha genel bir ifadeyle ince taneli bir kaya matriksi ile belirli kaya bloklarından oluşan jeolojik karmaşık için "Block-in-Matrix-Rocks" kelimelerinden "Bimrock" terimini üreterek literatüre kazandırmıştır. Melanjlar genellikle tektonik dalma batma bölgeleri ile ilişkili dağlık bölgelerde 60'dan fazla ülkede gözlenmektedir.

Genel bir tanımlama olarak, zayıf matriks içinde büyük blokların yer aldığı kayalar bimrock (blok-in-matrix-rock) olarak değerlendirilebilir [4]. Medley [4] ve Lindquist ve Goodman [5] tarafından herhangi bir zayıf matriks içinde blok içeren kayacın jeomekanik anlamda bimrock olarak nitelendirilebilmesi için içerdiği blok ve matriks bileşenlerinin dayanım ve deformasyon modülü oranlarının en az 2 olması gerektiği belirtilmektedir. Lindquist ve Goodman [5] ile Medley ve Goodman [6] aglomera gibi piroklastik kayaçları, konglomeraları, breşleri ve fay zonlarındaki makaslama maruz kalmış (fay breşi)kayaçları da bimrock olarak tanımlamışlardır.

Medley [4] ve Medley ve Goodman [6], melanjlar ve bimrock gibi kayalarda hacimsel blok oranının belirlenmesinde karşılaşılan problemleri ortaya koyan ve çözüm yaklaşımlarını kapsayan çalışmalarında, sondaj karotlarındaki tek boyuttaki değerlendirmelerden hacimsel blok oranına yani üç boyuttaki değerlendirmeye geçilmesi için çok sayıda sondaja gereksinim olduğunu vurgulamaktadırlar. Bu nedenle, sondaj ve/veya hat etüdü gibi tek boyutlu değerlendirmelerde önemli sınırlamalar olup, hacimsel değerlendirme anlamında önemini yitirdiğini belirtmektedirler. Buna karşın sondajlarda belirlenen blok oranının çizgisel blok oranı olarak değerlendirilmesinde yarar vardır.

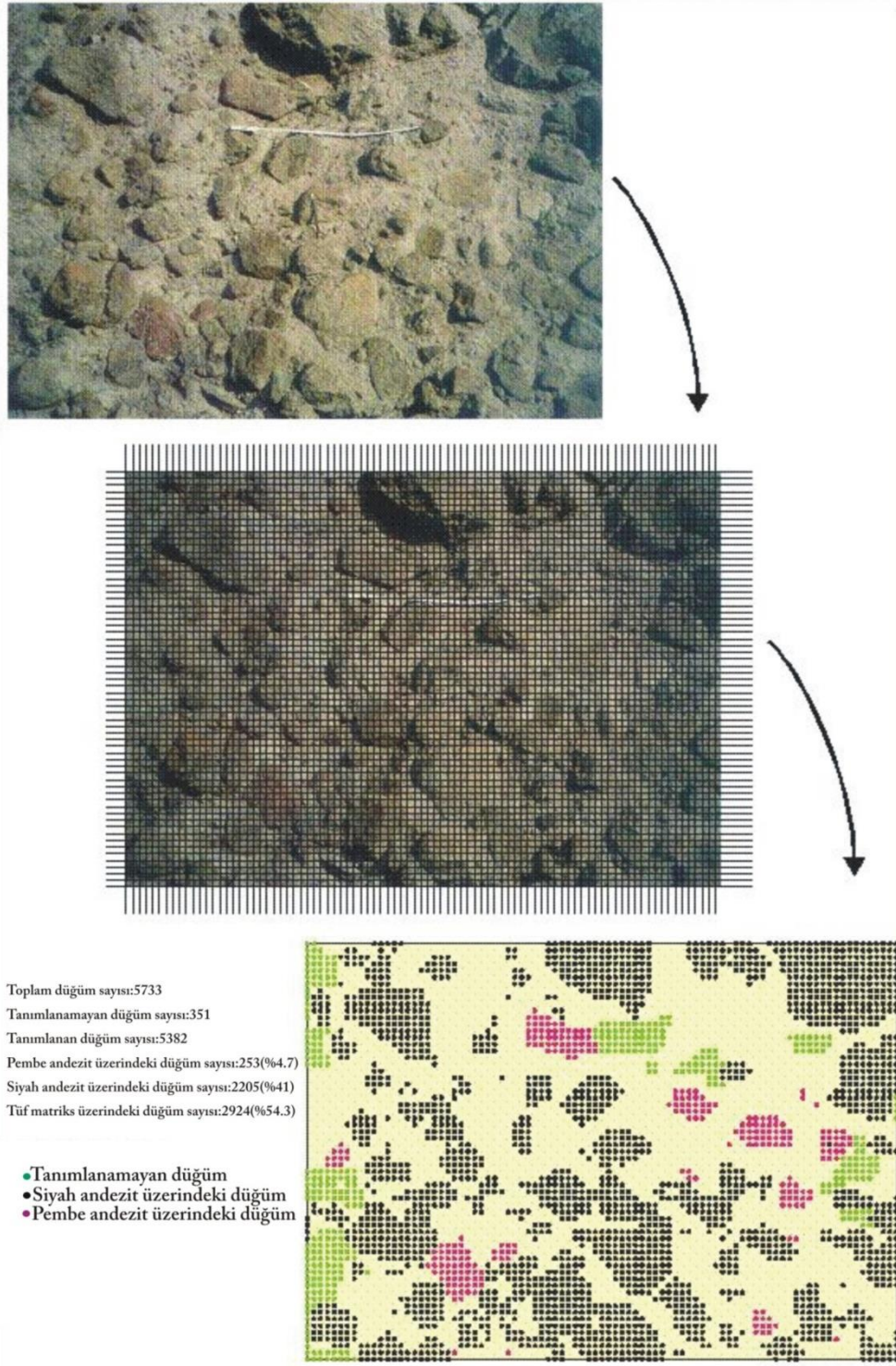


Lindquist [7], melanj ve benzeri karmaşık yapıdaki kaya kütlelerinin jeomekanik özelliklerini araştırmış ve bu çalışmasında belirli blok oranlarına sahip yüzdelerde ve farklı dizilimlerde blok içeren fiziksel model örnekler kullanmıştır. Hazırladığı bu model örneklerin matriks ve blok bileşenlerinin ortalama birim hacim ağırlıklarını kullanarak, bimrockların hacimsel blok oranının tayini için aşağıdaki eşitliğin kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Eş. 1.1).

$$HBO(\%) = \left( \frac{\gamma_{bimrock} - \gamma_{matriks}}{\gamma_{blok} - \gamma_{matriks}} \right) \times 100 \quad (1.1)$$

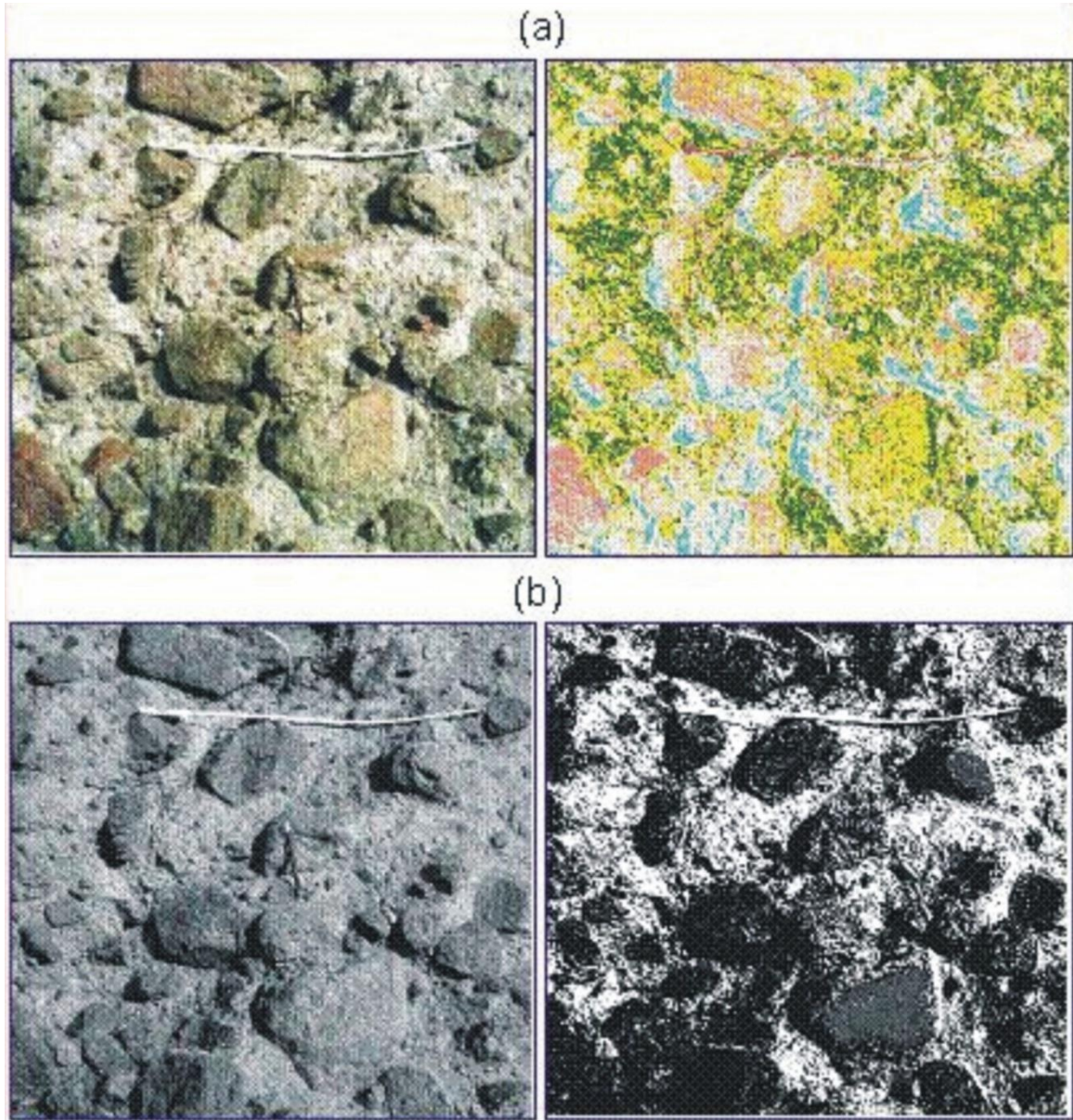
Burada, HBO: hacimsel blok oranı (%),  $\gamma_{bimrock}$ : Bimrock'ın birim hacim ağırlığı,  $\gamma_{matriks}$ : Matriks malzemesinin birim hacim ağırlığı ve  $\gamma_{blok}$ : Blokların birim hacim ağırlığıdır.

Sönmez vd. [8] ve Sönmez vd. [9], volkanoklastik bir malzeme olarak blok ve tuf matriksten oluşan Ankara aglomerasında yaptığı çalışmalarında, bimroklarda hacimsel blok oranı ve blok boyutu dağılımının üç boyutta kesin olarak belirlenmesi için elek analizleri yapmak gerektiğini vurgulamışlardır. Ancak, bloklar ile matriks arasındaki yüksek kaynaşma derecesi nedeniyle bunun mümkün olmadığını belirtmektedirler. Bu nedenle, çalışmalarında, hacimsel blok oranının belirlenmesi amacıyla, nokta sayma ve yüzey taraması ile gri ve renkli ölçekteki fotoğraflar üzerinde yapılan foto analiz çalışmaları gibi iki boyutlu ölçüm yöntemlerini kullanmışlardır (Şekil 1.1, 1.2). Araştırmacılar, bu yöntemlerle elde edilen sonuçların, matriks içinde eş boyutlu blokların olması durumunda hacimsel blok oranına eşit olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca, matriks içinde eş boyutlu blokların olmaması durumunda ise aynı bimrock kütlesi için farklı yönlerden alınmış görüntüler üzerinde çalışılması gerektiği araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır.



Şekil 1.1. Ankara Mamak bölgesinde çekilen aglomera fotoğrafından nokta sayma yöntemi ile bileşen oranlarının(blok-mariks) belirlenmesi [8].



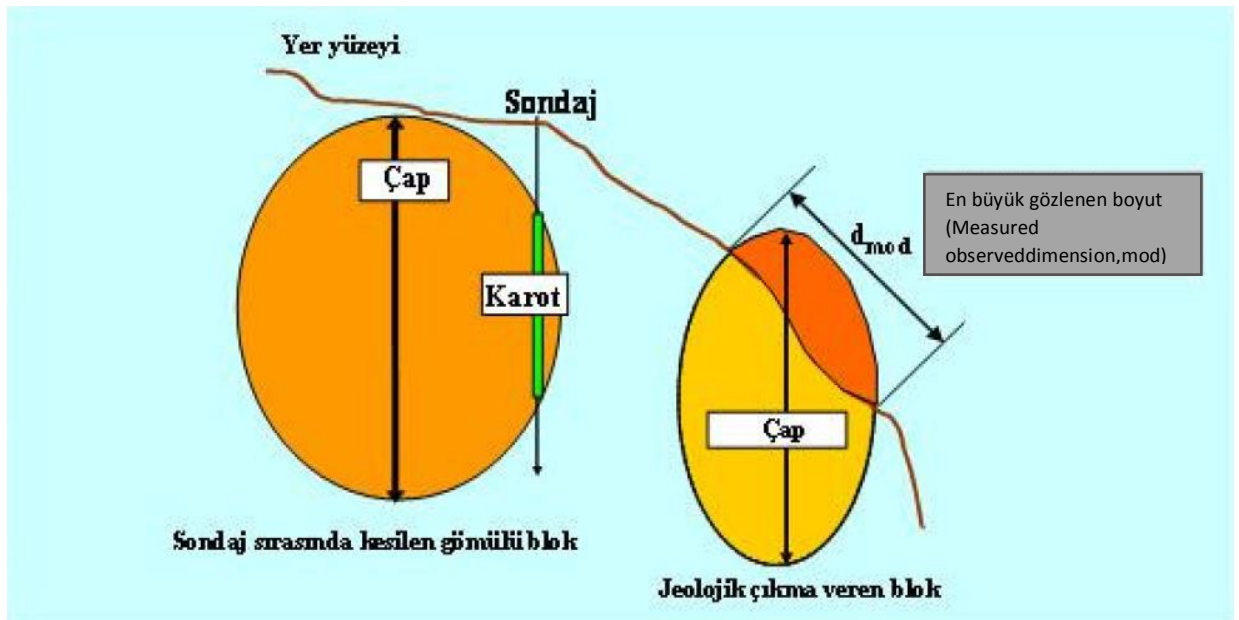


Şekil 1.2. (a) Ankara Kızılcaköy bölgesindeki aglomeralara, (b) Mamak bölgesindeki aglomeralara ait renkli ve gri ölçekteki fotoğraflar üzerinde yapılmış olan foto analiz çalışmaları [8].

Medley [4] ve Medley ve Lindquist [10], melanj ve buna benzer kaya ortamlarında blok dağılımının ölçekten bağımsız olduğunu, en geniş alanda 920 km<sup>2</sup>'lik Kuzey California'daki Franciscan melanji içerisindeki blokların büyüklüklerini ölçtükleri çalışmalarında vurgulamaktadırlar. Medley ve Lindquist [10], Medley [11] ve Medley [12], blokların boyutlarının belirlenmesinde, her bloğun sadece gözlenen en büyük

boyutu olarak tanımlanan  $d_{mod}$ 'un (measured observed dimension) ölçülebileceğini belirtmişlerdir (Şekil 1.3).

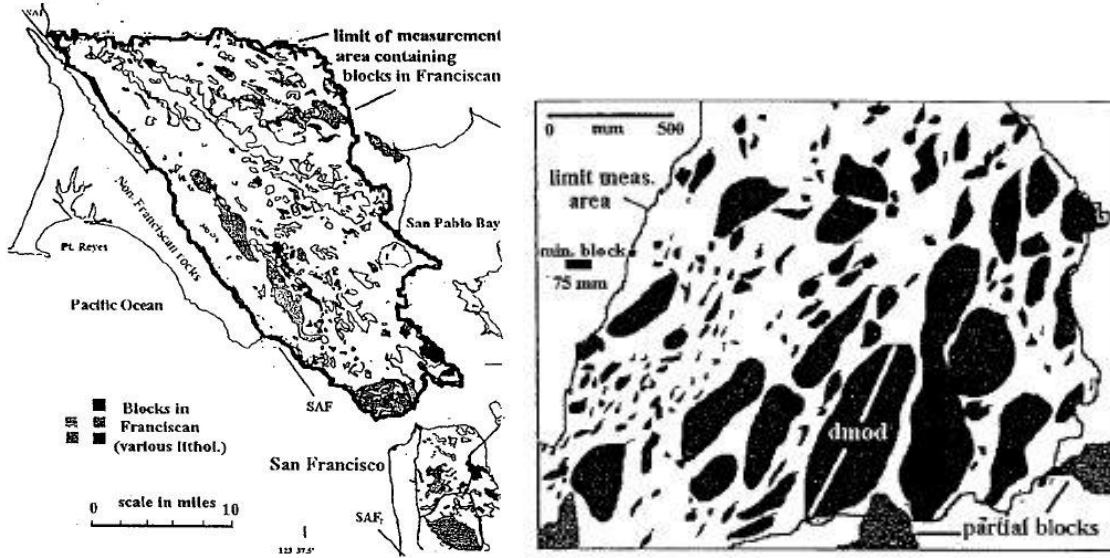
Şekil 1.4a'da Franciscan melanjının yayılımı ve bu alan içindeki haritalanabilecek boyutlardaki bloklar görülmektedir. Franciscan melanjının jeoloji haritası ve mostralarından yaklaşık 1900 adet bloğun görünen en büyük boyutunu ölçmüşler ve ölçüm alanının değişimiyle blok boyutu dağılımının genel karakterinin değişmediğini belirlemişlerdir (Şekil 1.4b). Araştırmacılar tarafından, Şekil 1.5'de verilen ve  $1 \text{ cm}^2$ 'den  $1000 \text{ km}^2$ 'ye kadar değişen alanlar içinde ölçülebilen blok boyutu değerlerinin, blok boyutunun incelendiği alanın kareköküne bölünmesiyle normalize edilmiş ve frekans dağılım grafiği çizilmiş ve ölçüm alanlarının artmasıyla dağılımların üst üste çakıştığını gözlemlemişlerdir. Medley [4] etkileşim alanı "A" olmak üzere  $0.05(A)^{0,5}$ den küçük bileşenin matriks, daha büyüklerinin ise blok olarak değerlendirilmesi gerektiğini önermiştir.



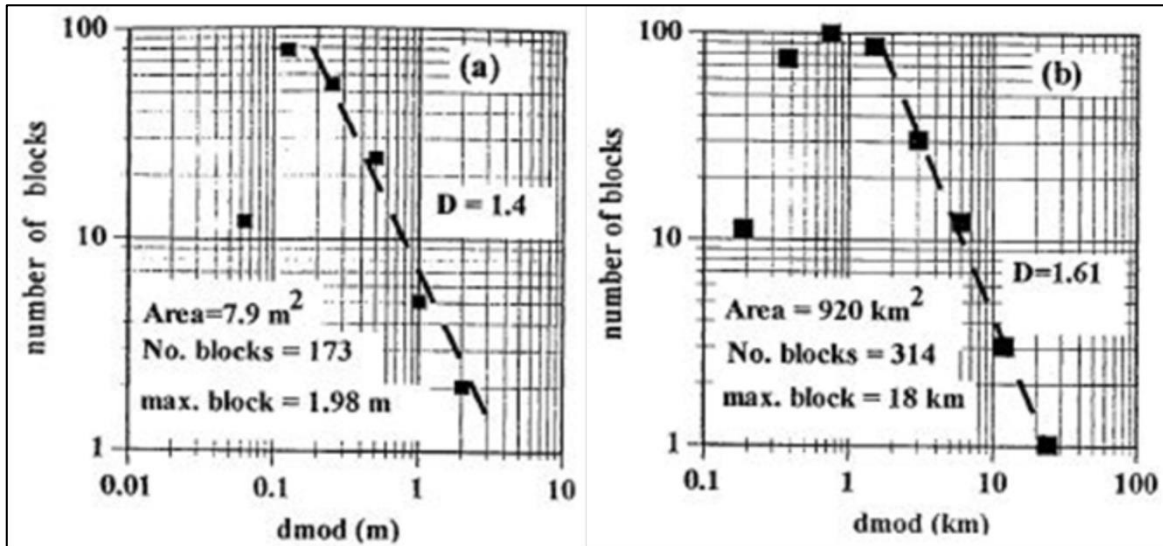
Şekil 1.3. Bir bloğun gözlenen en büyük boyutunun kuramsal gösterimi [9, 11, 12].

Riedmüller vd. [13] tarafından tektonik bimrockların sınıflaması için bir akış diyagramı önerilmiştir. Ancak, yaklaşım bimrockları hacimsel blok oranına bağlı olarak en genel hatlarıyla sınıflandırdığından dolayı jeomekanik anlamda yetersiz kalmıştır [14].

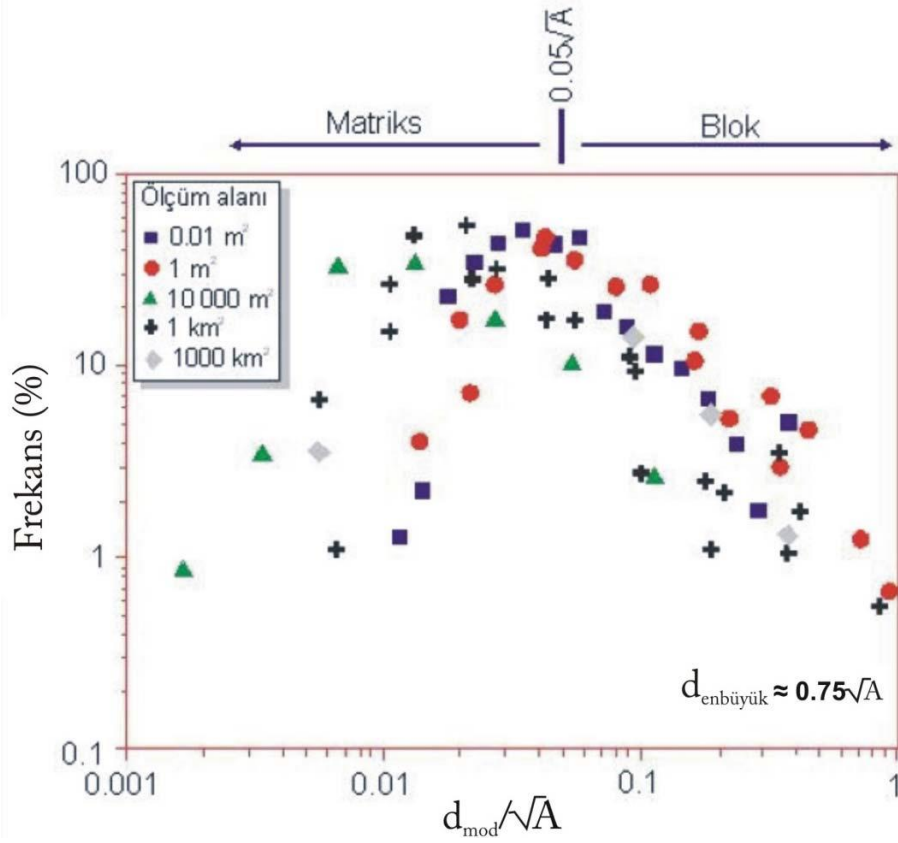
(a)



(b)



Şekil 1.4. (a) Franciscan melanjında farklı büyüklükteki alanlarda yapılan blok boyutu ölçümleri, (b) İki farklı ölçüm alanındaki blok boyutlarının (dmod) logaritmik dağılımı [10].



Şekil 1.5. Melanjlarda ölçüm alanının karekökü ile normalize edilerek belirlenen ölçekten bağımsız blok boyutu dağılımı [4, 9].

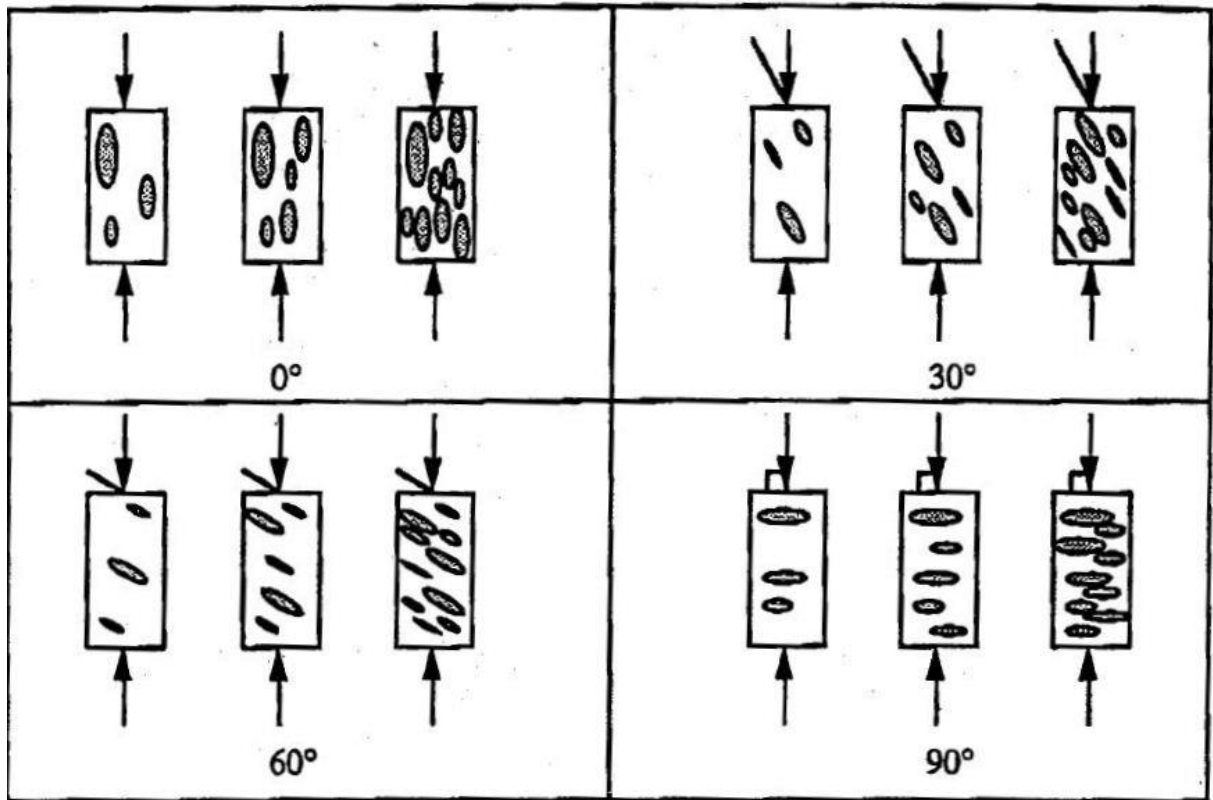
Bedrosian [14, 15] Franciscan melanjındaki çalışmalarında, zayıf matriks içinde kaya bloklarını bulunduran jeolojik malzemelerde en düşük dayanıma sahip olan matriksin dayanımının tüm kütleyi temsil edeceğinin doğru bir yaklaşım olacağını öne sürmüştür. Ancak Lindquist [7] bu durumun melanj kütlesinin büyük bir kısmını matriks bileşeni oluşturuyorsa mümkün olabileceğini belirtmiştir. Lindquist [7] ile Lindquist ve Goodman [5] bimrockların mekanik davranışlarının ağırlıklı olarak içerdiği blokların hacimsel oranıyla değiştiğini belirtmişlerdir.

Ancak dayanımı yüksek blokların zayıf bir matriks malzemesi içinde yer almasından dolayı, bu tür kayalardan örselenmemiş örnek alınımının oldukça güç olduğunu da belirtmektedirler. Bu nedenle araştırmacılar, blok oranının ve matriks içindeki yöneliminin melanj kütlesinin dayanımı ve deformasyonu üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla,



çalışmalarında fiziksel modellerden oluşturdukları yapay melanjlar kullanmışlardır.

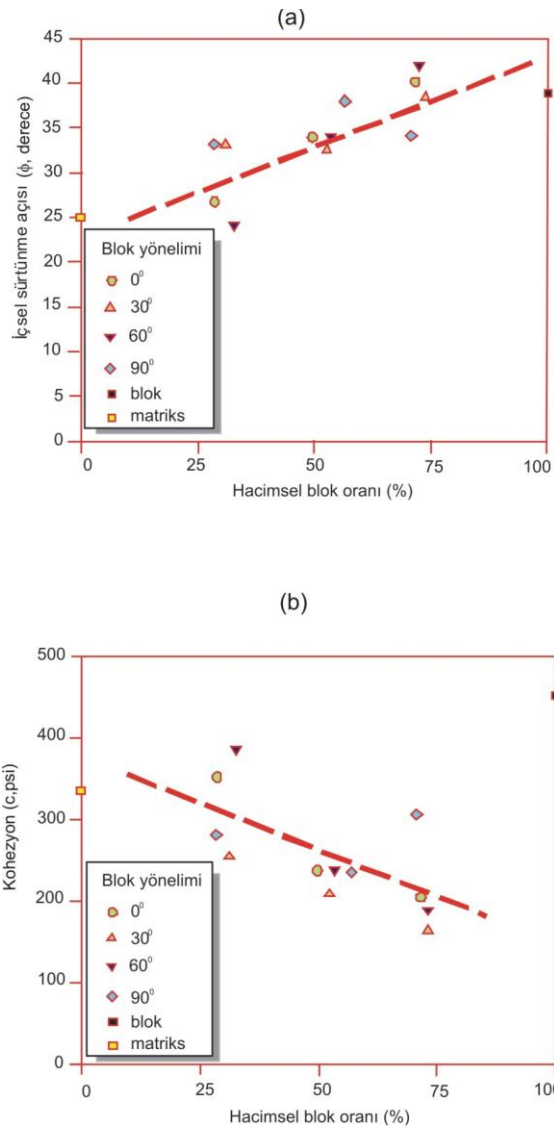
Bu amaçla Lindquist [7] kullanmış olduğu fiziksel modellerde matriksi oluşturmak için portland çimentosu ve bentonit, bloklar için ise portland çimentosu, kum ve uçucu kül kullanmıştır. Araştırmacılar, yapay olarak oluşturdukları dört farklı blok yönelim açısına sahip ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $90^\circ$ ) model karotlar üzerinde kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametrelerini belirlemek amacıyla üç eksenli sıkışma dayanımı ve deformasyon özelliklerini belirlemek amacıyla da elastisite modülü deneyleri gerçekleştirmişlerdir (Şekil 1.6.).



Şekil 1.6. Blok yönelimi ve oranlarının dayanım üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla hazırlanan dört farklı blok yönelim açısına sahip model karotlar [5].

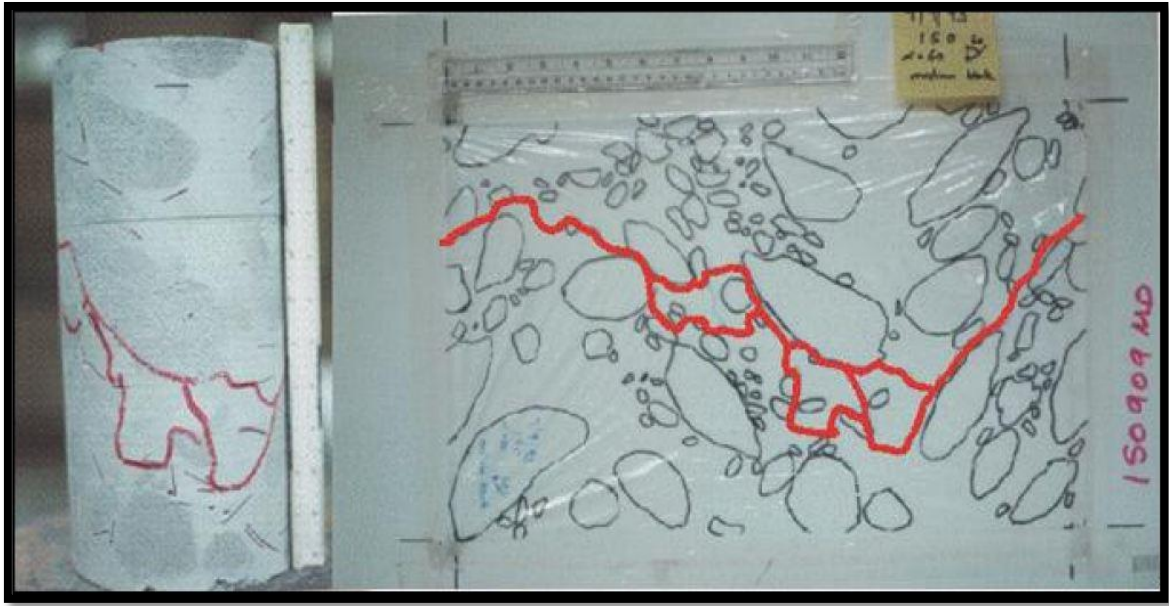


Lindquist [7], blok yöneliminin dayanım, deformasyon modülü ve büyük ölçekte de kohezyon üzerinde etkisi olduğunu saptamıştır. Hacimsel blok oranındaki artışla kohezyonda az bir azalma olduğunu gözlemlemiş, içsel sürtünme açısı ile birlikte de deformasyon modülünün arttığını belirlemiştir. En yüksek elastisite modülü değerleri ise blokların uzun eksenlerinin yükleme eksenine dik yönde olduğu modellerde elde edilmiştir (Şekil 1.7.)



Şekil 1.7. Lindquist [7]'ün hazırladığı model "BİMRock"larda hacimsel blok oranı ile (a) içsel sürtünme açısı ve (b) kohezyon arasındaki ilişki [16].

Araştırmacı, yenilme yüzeyinin pürüzlülüğünün yüksekliğine bağlı olarak içsel sürtünme açısında artışın geliştiğini belirtmektedir. Yenilme yüzeyi genellikle blokların etrafında gelişmekte ve artan hacimsel blok oranına bağlı olarak daha karmaşık bir yol izlemektedir (Şekil 1.8). Aynı araştırmacılar blok oranındaki artışa bağlı olarak yenilme yüzeyinin uzunluğunun arttığını ve buna bağlı olarak da dayanımının arttığını belirtmektedirler.

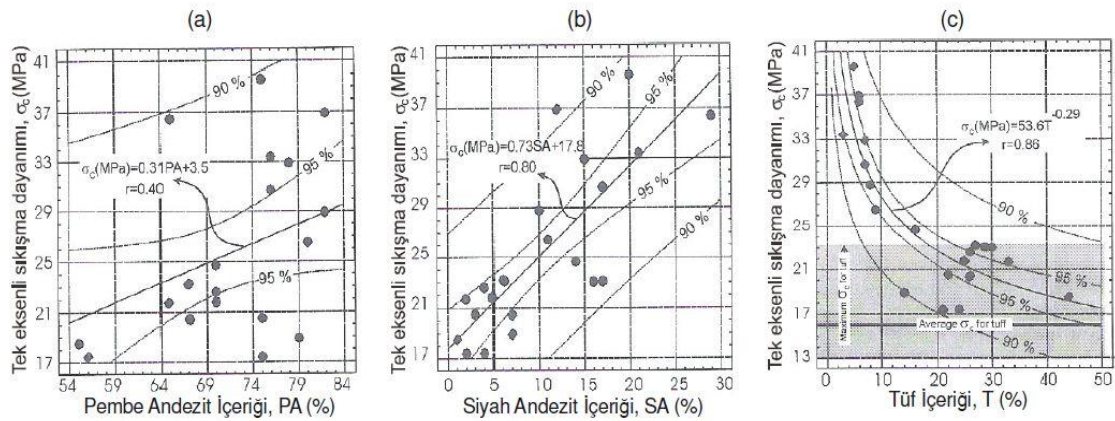


Şekil 1.8. Model bimrock karot örneğinde yenilme yüzeyinin gelişimi [7].

Linguist [7], tarafından gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki model deneyler ve İskoç baraj yerindeki bozunmuş melanja ait verilerden yola çıkarak bimrockların mekanik davranışlarının ağırlıklı olarak içerdiği blokların hacimsel oranıyla kontrol edildiğini belirtmiştir. Blokların tüm bimrockdaki hacimsel oranının % 25 ile % 75 arasındaki değerleri için dayanımda artış olduğu, % 25'in altındaki hacimsel blok oranlarında isedayanımın ağırlıklı olarak matriksin dayanımı ile denetlendiğini belirtmiştir (bkz. Şekil 1.7). Araştırmacı, bimrock kütlesindeki hacimsel blok oranı % 25 den az ise jeolojik ortamın dayanımı matriks

malzemesinin dayanımıyla tanımlarken, % 75'in üzerinde olduğu durumlarda ise ortamı, eklemlili kaya kütlesi olarak tanımlamaktadır.

Kasapoğlu [17], tuf matriks içinde siyah ve pembe andezit bloklarından oluşan Ankara Aglomerasının dayanım ve deformasyon davranışının belirlenmesini konu alan bir çalışma yapmıştır. Araştırmacı 7 adet karot örneği üzerinde deneyler gerçekleştirmiş, Ankara aglomeralarının tek eksenli sıkışma dayanımının 22.5MPa ile 114 MPa, elastisite modülünün ise 14.7 GPa ile 34.3 GPa arasında değiştiğini belirlemiştir. Gökçeoğlu vd. [18] ve Gökçeoğlu [19] ise yine Ankara Aglomerasında yapmış olduğu çalışmalarda matriks ve blok bileşenlerinin bileşen oranlarını gri ölçekli fotoğraflar kullanarak görüntü işleme teknikleri ile belirlemişler ve bileşen oranları ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında regresyon analizleri yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre Gökçeoğlu vd. [18] aglomeradaki tuf matriks içeriğinin % 20'nin üzerinde olması durumunda dayanımın ağırlıklı olarak tuf matriks tarafından denetlendiğini belirtmektedirler (Şekil 1.9.)

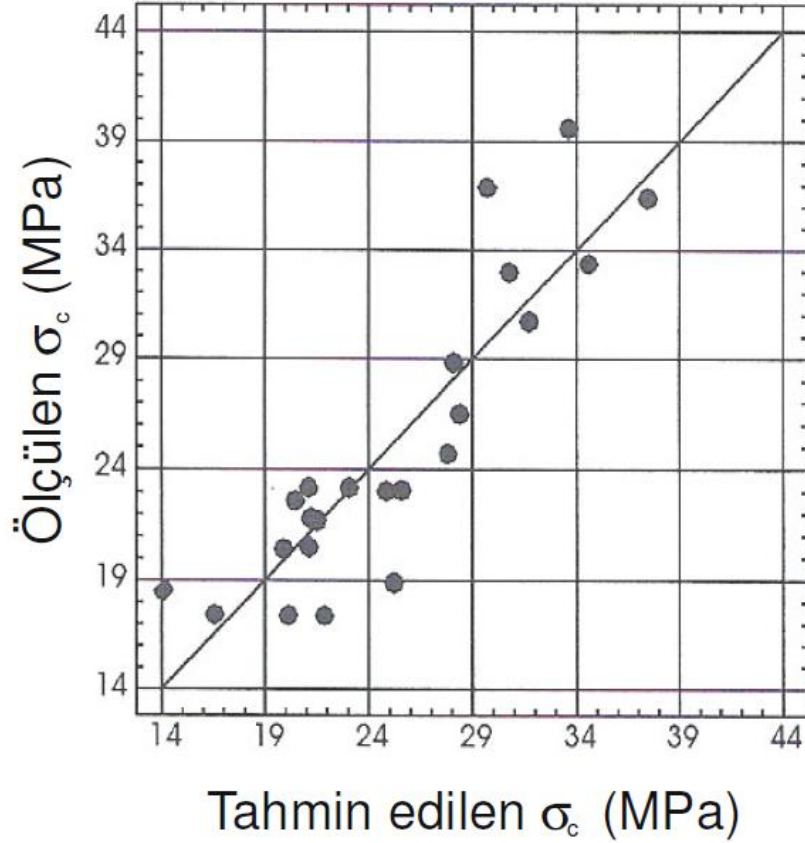


Şekil 1.9. Ankara aglomerasında matriks-blok bileşen içeriğine bağlı olarak (a) pembe andezit, (b) siyah andezit ve (c) tuf matriks ile tek eksenli sıkışma dayanımı arasında belirlenen ilişkiler [18].

Gökçeoğlu vd. [18] çalışmalarının ikinci aşamasında her üç bileşeni de siyah andezit, pembe andezit ve tüfe ait oransal içerikleri girdi olarak kullanmışlar, tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesine yönelik

çoklu regresyon analizi yapmışlar (Şekil 1.10) ve aşağıdaki ilişkiyi belirlemişlerdir (Eş. 1.2).

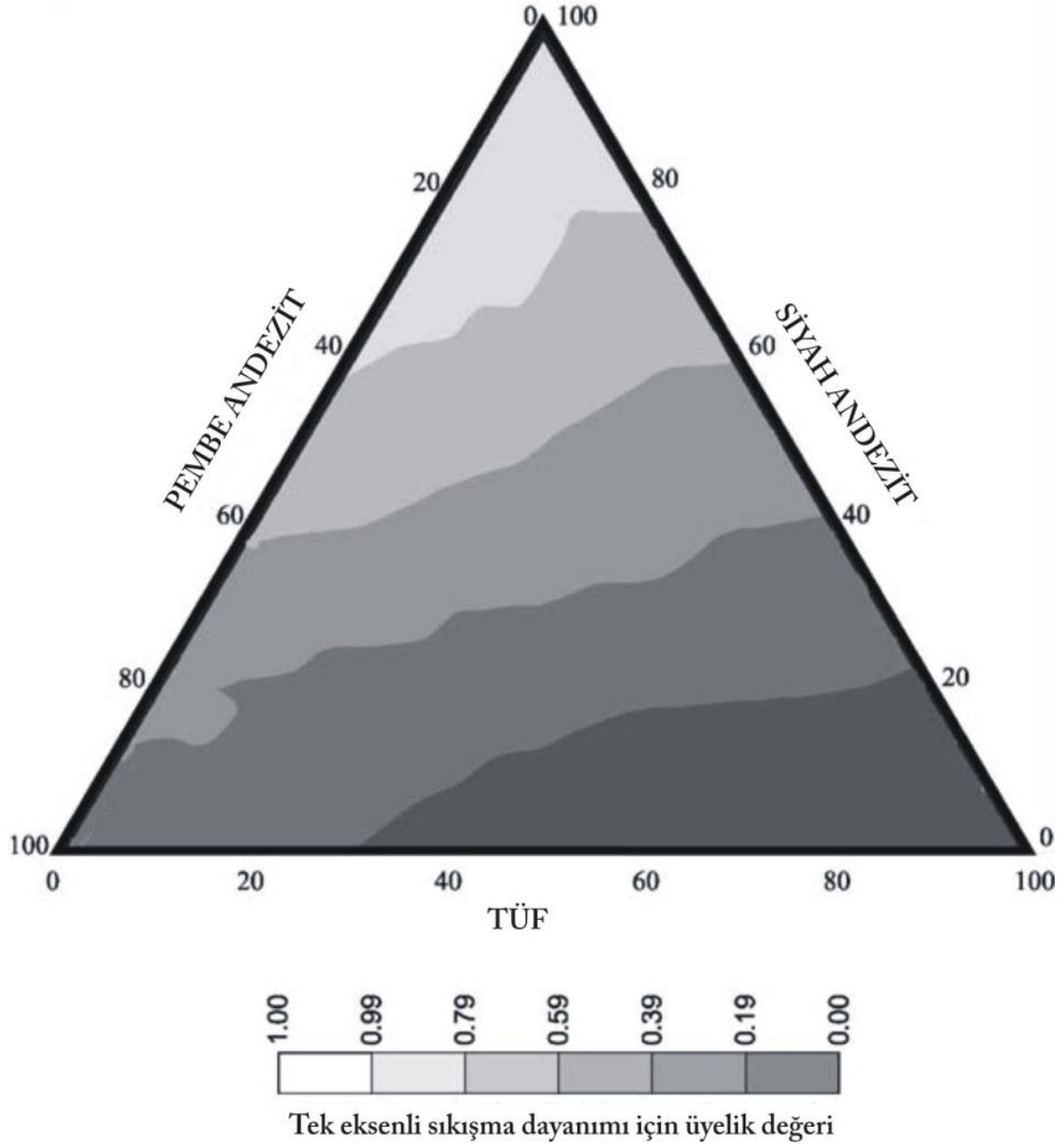
$$\sigma_c = 1976.2 - 19.5(\text{PA}) - 19.1(\text{SA}) - 19.8(\text{T}) \quad (r=0.87) \quad (1.2)$$



Şekil 1.10. Ankara aglomerasında bileşen oranına bağlı olarak tek eksenli sıkışma dayanımının kestirimine yönelik yapılan çoklu regresyon ile belirlenen eşitliğin performans grafiği [18].

Gökçeoğlu [19], Ankara aglomerasından alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli sıkışma dayanımı deney verileri ve blok-matriks bileşen oranlarını kullanarak sadece Ankara aglomerasının tek eksenli sıkışma dayanımı değerinin tahmin edilmesine yönelik bulanık kural tabanlı üçgen tahmin abağı geliştirmiştir. Üçgen tahmin abaklarının üç temel bileşenden oluşması ve birbirini %100'e tamamlayan değeri üçgen abakların mühendislik amaçlı sınıflandırmalarda kullanılması açısından kolaylıklar sunmaktadır. Bu nedenle, inceleme malzemesini oluşturan Ankara aglomerasının üç ana

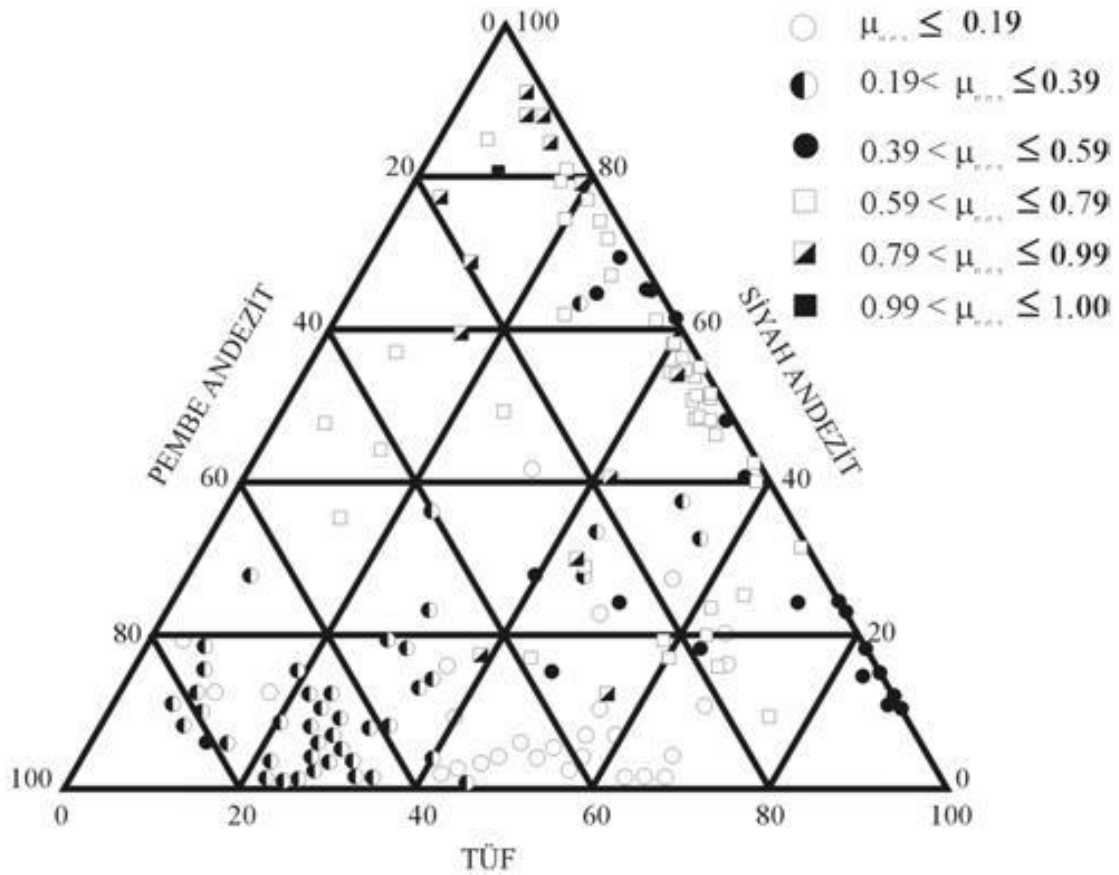
bileşenden oluşması Ankara aglomeralarının (andezit, pembe andezit ve tuf) üçgen sınıflama abağı için uygun bir kaya malzemesi olduğunu göstermektedir. Gökçeoğlu [19] her bir eksenini bir ana bileşeni temsil eden üçgen sınıflama abağını Ankara aglomerası için geliştirmiştir (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Ankara Aglomerasının tek eksenli sıkışma dayanımı tahmin abağı [19].

Gökçeoğlu [19]'nun çalışmasında özellikle eksik verileri olan siyah andezit ve tuf bileşeninden oluşan alt üçgenlerin verileri ise Sönmez vd.

[20] tarafından yapılan çalışmayla giderilmeye çalışılmış, ancak yine de bazı alt üçgenlerin sınırlı sayıda veri içerdiği veya hiç içermediği, bu durumun sonuçlar üzerinde olumsuz etki yapacağı araştırmacı tarafından belirtilmiştir. Ancak bu olumsuz etkinin örneklerin petrografik bileşenleri tarafından kontrol edildiği dikkate alınarak, bu durum nedeniyle ortaya çıkan hataları en aza indirmek amacıyla enterpolasyon yapılmasına yönelik olarak 15 adet veri kontrollü üyelik fonksiyonu basit regresyon yaklaşımıyla üretilmiştir. Bu amaçla önce her bir alt üçgenin bileşen oranlarına göre sınıflandırılabilmesi amacıyla sözel ifadelere dayanan bir sınıflama uygulanmıştır (Çizelge 1.1). Bu sınıflamalar kullanılarak Ankara aglomeralarının dayanımlarının belirlenmesine yönelik olarak güncellenmiş bir üçgen sınıflama abağı geliştirilmiştir (Şekil 1.12)



Şekil 1.12. Ankara Aglomerası örneklerine ait üçgen petrografik sınıflama abacı [20].

Çizelge 1.1. Bileşen oranlarının sözel terimlere dönüştürülmesinde kullanılan sınıf aralıkları [20].

<b>Bileşen oran aralığı (%)</b>	<b>Sözel terim</b>
0-20	Çok az (ÇA)
21-40	Az (A)
41-60	Orta (O)
61-80	Fazla (F)
81-100	Çok fazla (ÇF)

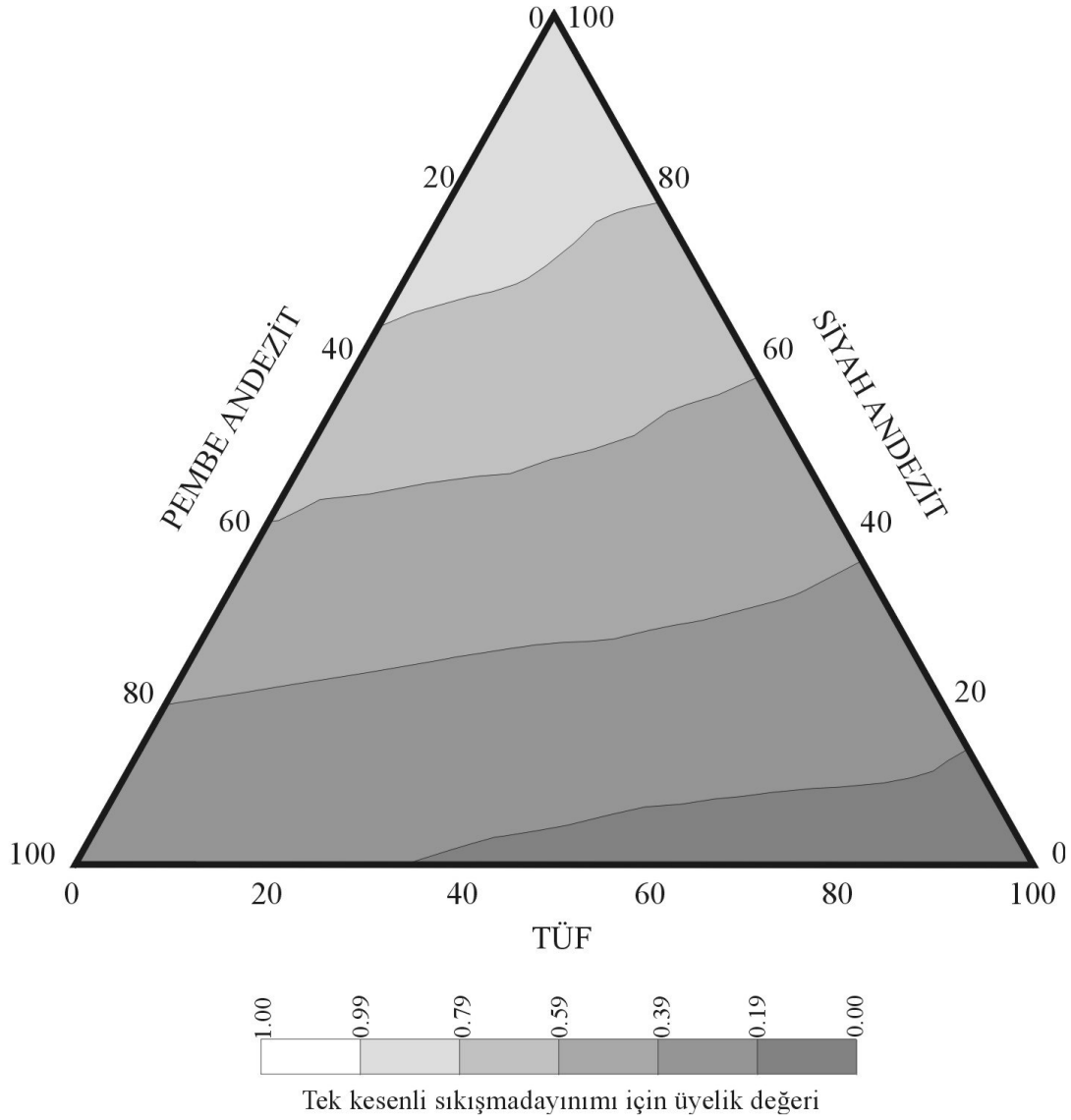
Gökçeoğlu [19] tarafından, Ankara aglomerası için tek eksenli sıkışma dayanımının [5.7, 55.0] aralığında değişen dayanımlarını 0-1 aralığında ifade edebilmek için, tek eksenli sıkışma dayanımı ile karakteristik üyelik derecesi arasında belirlenen aşağıdaki doğrusal eşitlik kullanılmıştır (Eş 1.3).

$$\mu_{UCS} = 0.02 UCS - 0.0947 \quad (1.3)$$

Gökçeoğlu [19] tarafından uygulanan bulanık mantık yaklaşımı, ilave veriler de kullanılarak, Sönmez vd. [9] tarafından yenilenmiştir. Petrografik bileşenler girdileri ve tek eksenli sıkışma dayanımı çıktısı olan bulanık algoritma ve üçgen doğrusal enterpolasyon yöntemi kullanılarak, Ankara aglomerasının içerdiği bileşenlerin oranlarına göre dayanımının tahmine yönelik bulanık tabanlı üçgen abak oluşturulmuştur (Sekil 1.13).

Sönmez vd. [20], bimrocklarda matriks malzemesi ile bloklar arasındaki dayanım kontrastı ilişkisini değerlendirmeyi konu alan bir yaklaşım geliştirmeye yönelmişlerdir. Araştırmacılar, hacimsel blok oranının % 0 olması durumunda incelenen malzemenin tümüyle matriks olarak değerlendirilmesi gerektiğini, bimrock tanımlamasından bahsedilemeyeceğini vurgulamışlardır.





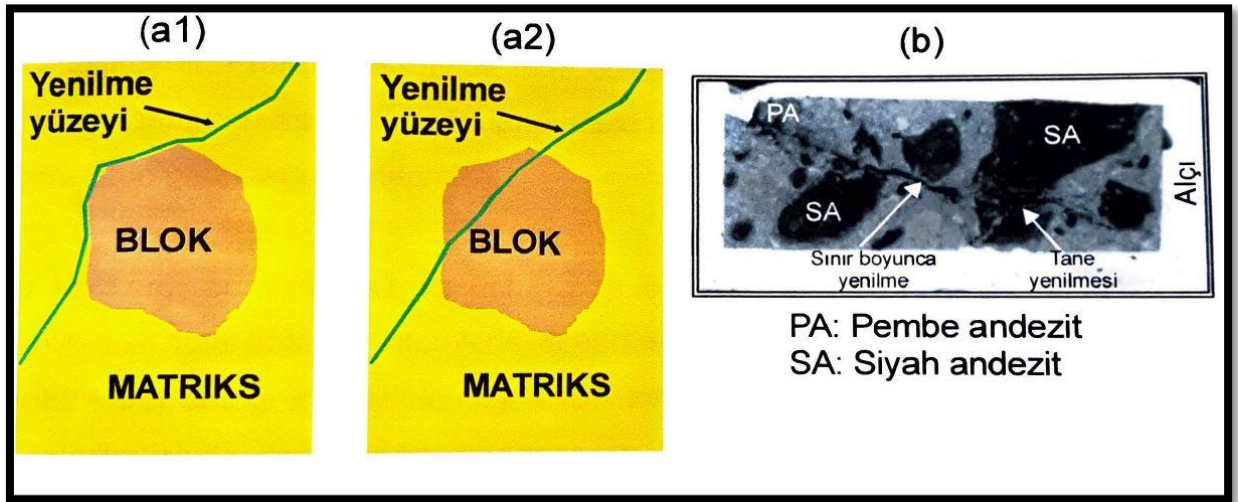
Şekil 1.13. Ankara aglomerasının dayanımının belirlemek üzere oluşturulmuş bulanık tabanlı üçgen abak [8, 9].

Bu nedenle, önerdikleri yaklaşımda elde edilecek en düşük tek eksenli sıkışma dayanımının, matriksin dayanımına eşit olmasını öngörmüşler ve gerçekleştirdikleri çalışmada, tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri sonrasında yenilmiş aglomera karot örneklerinin yenilme yüzeyine dik yönde kesilmesiyle oluşturulan yüzeyler üzerinde yapılan incelemelerinde bazı bulgular elde etmişlerdir.

Hacimsel blok oranının düşük olduğu örneklerde yenilme yüzeyi genel olarak blok sınırlarından geçmekte ve yenilme yüzeyinin uzunluğundaki artış, tek eksenli sıkışma dayanımının tüf matriksin ortalama

dayanımından bir miktar yüksek olmasına neden olmaktadır (Şekil 1.14-a1). Bununla birlikte, blok ile matriksin dayanımlarındaki kontrastın nispeten düşük olması durumunda yenilme yüzeyi blokların da içinden geçebilmektedir (Şekil 1.14-a2).

Hacimsel blok oranının  $\approx > \% 50$  durumlarda ise blok ve matriks dayanımları arasındaki kontrast fazla bile olsa yenilme yüzeyi blokların içinden de geçebilmektedir (Şekil 1.14b.). Ancak bu durum yenilme yüzeyini oluşturan kuvvetin (enerjinin) büyüklüğü ile ilgili olup, blok ve matriks hacimsel oranı ile bunların dayanımları arasındaki kontrasttan kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.14. Bimroklardaki olası yenilme yüzeyleri: (a1), yüksek dayanım kontrastı; (a2), daha düşük dayanım kontrastı; (b), bloğun içindeki ve blok-matriks sınırı yenilmelerinin gözlendiği aglomera karotunun yenilme yüzeyine dik kesilen yüzeyin görünümü [20].

Sönmez vd. [20], aynı eşdeğer blok oranı için blok ile matriksin dayanım kontrastına bağlı olarak bimrockın dayanımının da değiştiğini, ancak bunun sadece aglomera gibi matriks ile blok kontak dayanımının yüksek olduğu bimrocklar için geçerli olacağı belirtmektedirler. Ayrıca araştırmacılar, bimrockdaki matriks oranının % 20'nin altında olması durumunda kütleli eklemlili tuf kaya kütlesi olarak değerlendirilmesi gerektiğini de vurgulanmaktadır. Araştırmacılar, zayıf matriks içinde

farklı dayanıma sahip birden fazla türde bloktan oluşan bimrocklar için eşdeğer blok oranı (EBO) kavramı tanımlamışlardır (Eş. 1.4).

$$EBO = \sum_i^n HBO_i \frac{UCS_i}{UCS_{max\_blok}} \quad (1.4)$$

Bu eşitlikte HBO ilgili bileşenin tüm bimrocktaki oranı, UCS ilgili bileşenin tek eksenli sıkışma dayanımı, n bileşen sayısı (blok türü),  $UCS_{max\_blok}$  ise tek eksenli sıkışma dayanımı en büyük olan blok türünün ortalama tek eksenli sıkışma dayanımıdır ve eşitlik blok türü sayısından bağımsızdır.

Sönmez vd. [20], bimrock gibi kayalarda blok içeriğinin az olduğu durumlarda, dayanımın matrisin dayanımına eşit olacağı, blok oranındaki artışla birlikte dayanımda artışın olacağı gerçeğinden hareketle, aşağıdaki eğrisel ilişkiyi oluşturmuşlar ve blok ile matris dayanımları arasındaki kontrast ile bimrock'ın dayanımı arasındaki ilişkinin C katsayısı ile denetlenmesini düşünmüşlerdir (Eş. 1.5 ve Eş. 1.6). Bu amaçla şematik olarak Şekil 1.17'de gösterilen yaklaşım oluşturulmuştur.

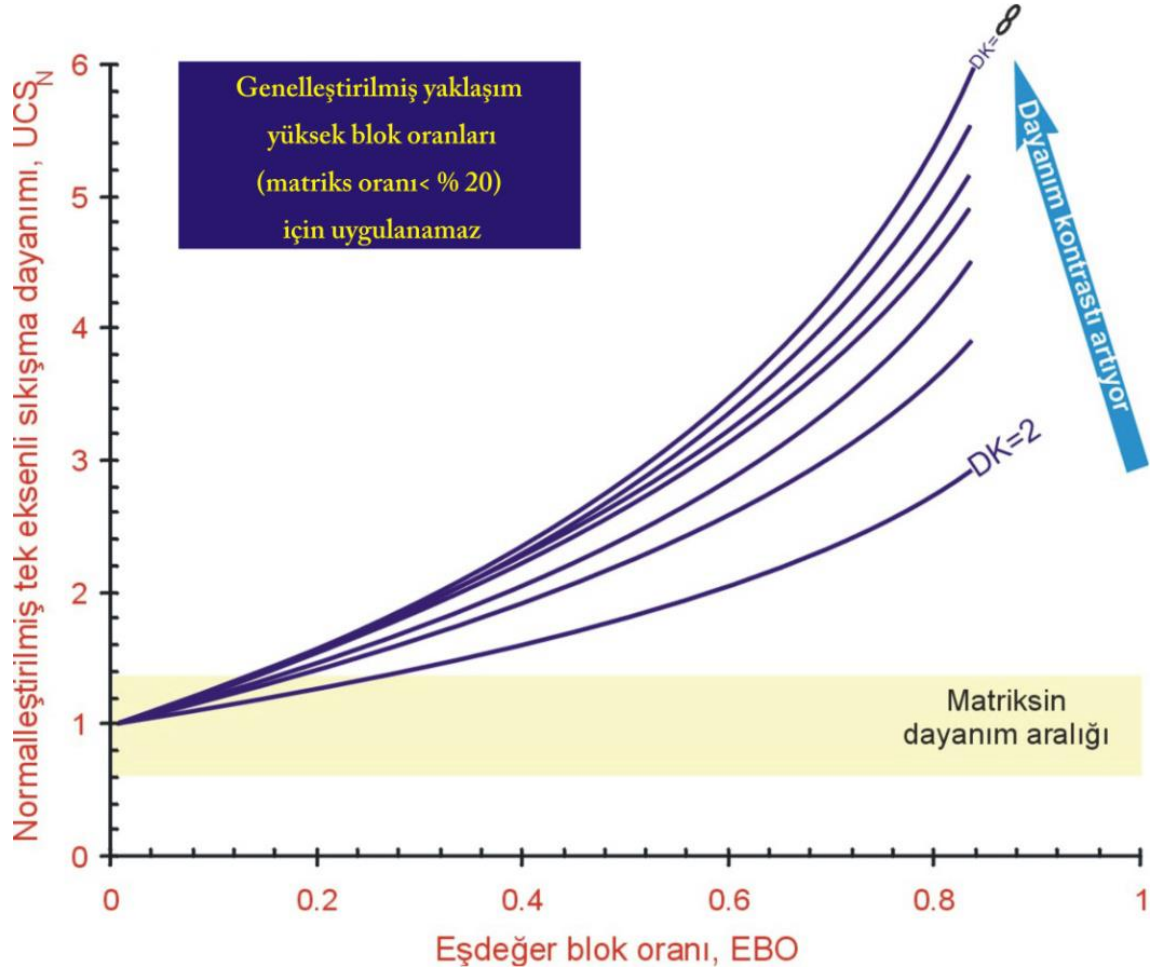
$$UCS_N = \exp(C \times EBO) \quad (1.5)$$

$$C = 0.85 \ln(DK) \quad (1.6)$$

Sönmez vd. [20] deney örneklerinin çoğunluğunun hem siyah hem de pembe andezit blokları içermesinden dolayı, her bir örneğe ait ortalama blok dayanımı siyah ve pembe andezit oranları ve bileşenlerin ortalama tek eksenli sıkışma dayanımları kullanılarak ağırlıklı ortalama ile hesaplanmıştır (Eş. 1.7a). Dayanım kontrastı için ise Eş. 1.7b'yi önermişlerdir.

$$UCS_{blok} = \frac{\sum_{i=1}^n DVB P_i \times UCS_i}{100} \quad (1.7a)$$

$$DK = \frac{UCS_{\text{blok}}}{UCS_{\text{matriks}}} \quad (1.7b)$$



Şekil 1.15. Kaynaşmış bimrocklar için dayanım kontrastının dikkate alındığı genelleştirilmiş yaklaşıma ait şematik gösterim [20].

Sönmez vd. [9] Ankara Aglomerasında bimrockların ve farklı kaya malzemelerinin elastisite modülünün kestirimine yönelik ampirik eşitlikler geliştirmeyi amaçlamış ve bazı ilişkilerde Hoek-Brown yenilme ölçütündeki  $m_i$  sabitini dikkate almıştır [21, 22, 23, 24]. İlk aşamada tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS), birim hacim ağırlık ve elastisite modülü ( $E_i$ ) verilerini kullanarak basit regresyon analizleri yapmış ve aşağıdaki eşitliklere ulaşmıştır.

$$E_i=0.3031UCS^{1.0157} \quad (1.8a)$$

$$E_i=0.0318\exp(0.2708\gamma) \quad (1.8b)$$

$$E_i=3.5764\sigma_{tB}^{1.0501} \quad (1.8c)$$

Sönmez vd. [9], literatür verileri ve Ankara Aglomerasyonundan alınan karot örnekleri üzerinde yaptığı tek eksenli sıkışma dayanımı, birim hacim ağırlık, elastisite modülü ve çekme dayanımı deney verileri ile birlikte 319 adet veri setinden oluşan bir veri tanı oluşturmuştur. Araştırmacılar basit regresyon analizleri ile, sağlam kayanın elastisite modülü ile tek eksenli sıkışma dayanımı, birim hacim ağırlık ve çekilme dayanımı arasında yüksek bir korelasyonun olduğu ve kaya malzemesinin modül oranı ile  $m_i$  arasında da genel anlamda bir korelasyonun olduğunu belirtmişlerdir. Tek eksenli sıkışma dayanımı, birim hacim ağırlık,  $m_i$  ve çekme dayanımını içeren 7 adet birleştirilmiş parametre türetilmiş ve birleştirilmiş parametreler (BP) ve elastisite modülleri arasındaki ilişkiler Çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Önerilen birleştirilmiş parametreler (BP) ve elastisite modülleri arasındaki ilişkiler [9].

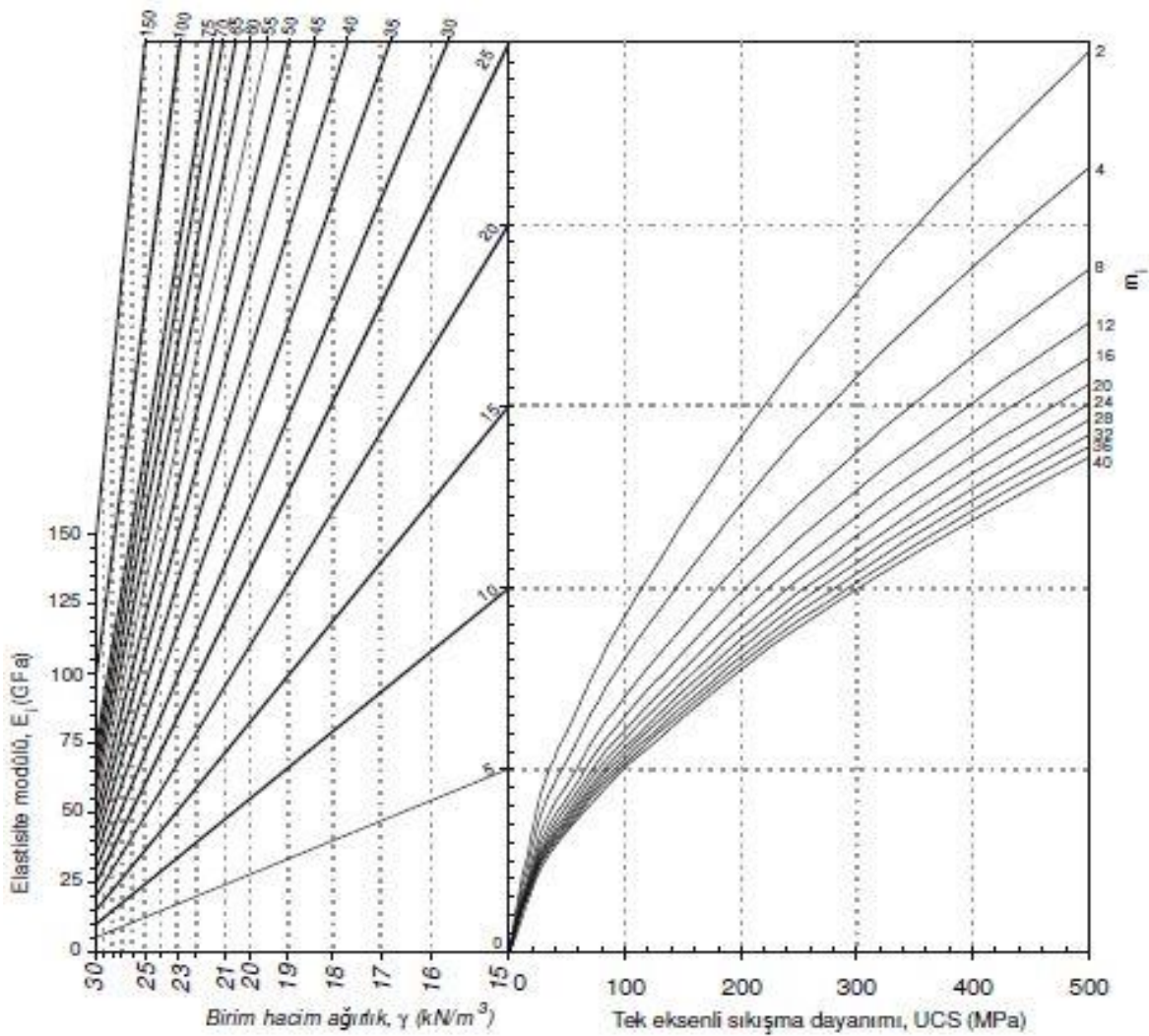
No	Birleştirilmiş parametre (BP)	Ampirik eşitlik	Korelasyon Katsayısı
1	$BP_1=UCS \times \sigma_{tB}$	$E_i=0,7605 BP_1^{0,5652}$	0,846
2	$BP_2=UCS \times 0,0138 \exp(0,2708\gamma)$	$E_i=0,7605 BP_2^{0,6007}$	0,852
3	$BP_3=\sigma_{tB} \times 0,0318 \exp(0,2708\gamma)$	$E_i=0,7605 BP_3^{0,5965}$	0,841
4	$BP_4=UCS \times 695,03 m_i^{-0,331}$	$E_i=0,7605 BP_4^{1,1132}$	0,846
5	$BP_5= \sigma_{tB} \times 695,03 m_i^{-0,331}$	$E_i=0,7605 BP_5^{0,8554}$	0,713
6	$BP_6= UCS \times 695,03 m_i^{-0,331} \times 0,0318 \exp(0,2708\gamma)$	$E_i=0,7605 BP_6^{0,6106}$	0,863
7	$BP_7=UCS \times \sigma_{tB} \times 0,0318 \exp(0,2708\gamma)$	$E_i=0,7605 BP_7^{0,4115}$	0,872

*UCS: tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa);  $\sigma_{tB}$ : dolaylı çekilme dayanımı (Brazilian)(MPa);  $\gamma$ : birim hacim ağırlık ( $kN/m^3$ );  $m_i$ : Hoek ve Brown yenilme ölçütü malzeme sabiti*

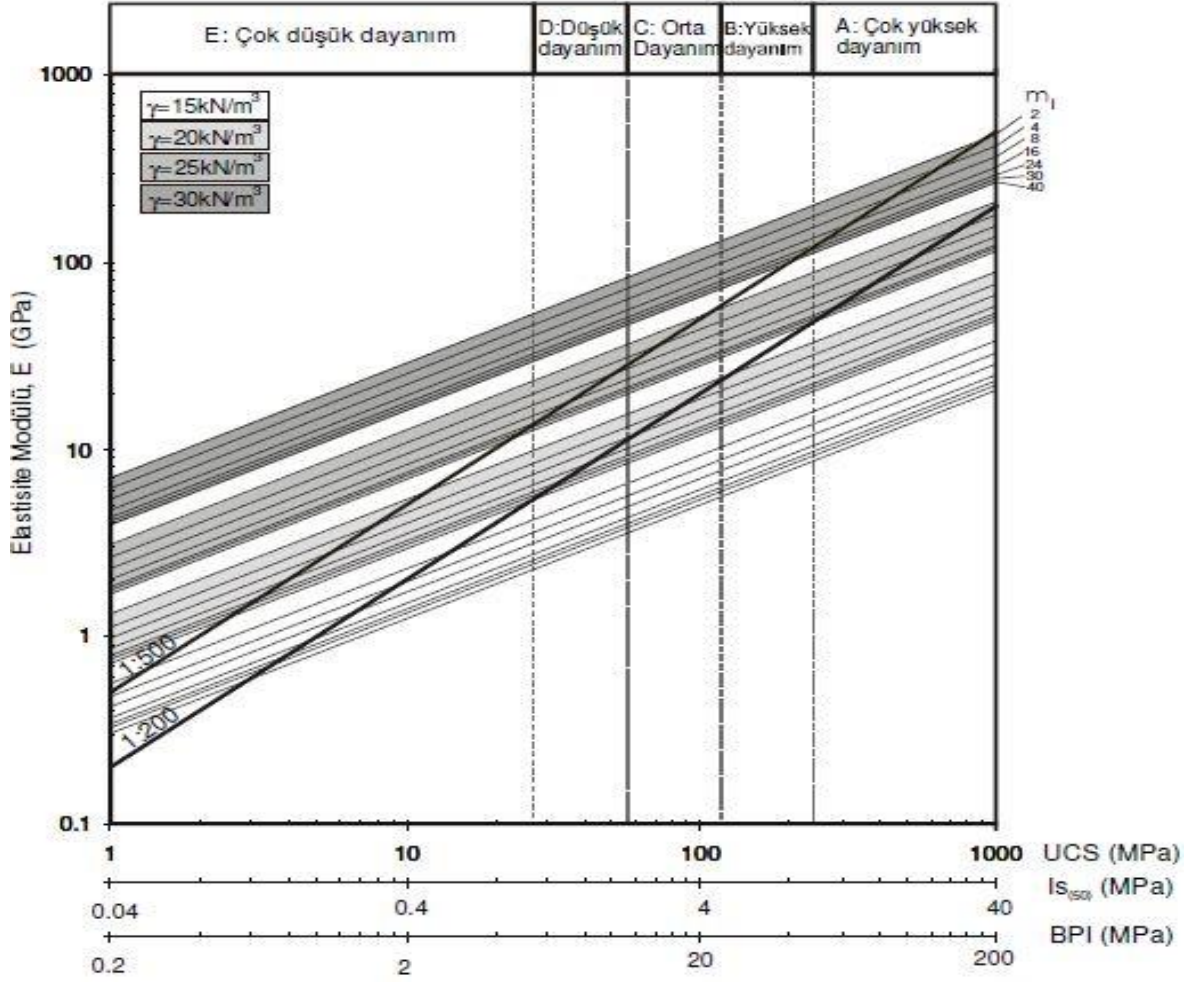
Araştırmacılar tarafından en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan Çizelge 1.2.'deki 6 ve 7. eşitlikler birleştirilip sadeleştirilerek aşağıdaki Eş. 1.7 ve Eş. 1.8'i üretmişlerdir. Ayrıca Sönmez vd. [9] belirledikleri eşitliklerin kullanım pratiğine yönelik olarak bu eşitlikleri abak şeklinde de hazırlanmıştır (Şekil 1.16. ve Şekil 1.17).

$$E_i = 0,05 \frac{UCS^{0,61} \exp(0,17\gamma)}{m_i^{0,2}} \quad (1.7)$$

$$E_i = x = \frac{\sqrt{UCSx\sigma_{tb}} \times \exp(\gamma/10)}{10} \quad (1.8)$$



Şekil 1.16. Eşitlik 1.7'ye göre hazırlanan  $E_i$  tahmin abağı (BPI eksenli Gökçeoğlu, 1997'den alınmıştır) [9].



Şekil 1.17. Deere ve Miller (1966)'in modül oranı abağı ve Eşitlik 1.7'de verilen ampirik ilişki kullanılarak oluşturulan  $E_i$  kestirim abağı (BPI eksenini Gökçeoğlu, 1997'den alınmıştır) [9].

Basu vd. [25] granitik kayalar üzerinde yaptığı çalışma sonucunda tek eksenli sıkışma dayanımı ile elastisite modülü arasında aşağıdaki ilişkiyi belirlemiştir.

$$E_i = 0.1888(UCS) + 30.234 \quad (1.9)$$

Burada, UCS: tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa) ve  $E_i$ : elastisite modülü (GPa)'dır.

Ocak [26] 9 farklı kaya malzemesinden örnekler üzerinde yürüttüğü laboratuvar çalışmalarıyla belirlediği tek eksenli sıkışma dayanımı ve elastisite modülü deney sonuçlarını kullanarak elastisite modülünün

tahmine yönelik ilişkiler araştırmıştır. Tez çalışmasında dikkate alınan kaya türüne benzerliği nedeniyle konglomera kaya malzemesine yönelik elde ettiği ilişki Eş. (1.10a)'da sunulurken, tüm kaya malzemeleri için belirledikleri ilişki ise Eş. (1.11b)'da verilmiştir.

$$E_i = 1.1329(UCS)^{0.5761} \quad (1.10a)$$

$$E_i = 0.4(UCS)^{0.854} \quad (1.10b)$$

Yukarıdaki ilişkilerde tek eksenli sıkışma dayanımının (UCS) birimi MPa olup, elastisite modülü ( $E_i$ ) GPa'dır.

Karagianni vd. [27] farklı kaya malzemelerinin elastik özelliklerine yönelik yürüttükleri çalışmalarında konglomeratik ve breşik kaya malzemeleri için aşağıdaki ilişkiyi belirlemişlerdir.

$$E_i = 452(UCS) \quad (1.11)$$

Burada elastisite modülü ( $E_i$ ) ve tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) MPa birimindedir.

Khazaei vd. [28] tarafından yapılan çalışmada şeyl ve karbonatlı kayalarda sabit bir çarpanla tek eksenli sıkışma dayanımından (UCS, MPa), elastisite modülüne ( $E_i$ , GPa) geçilmesine yönelik aşağıdaki ilişkiyi belirlenmiştir.

$$E_i = 0.3274(UCS) \quad (1.12)$$



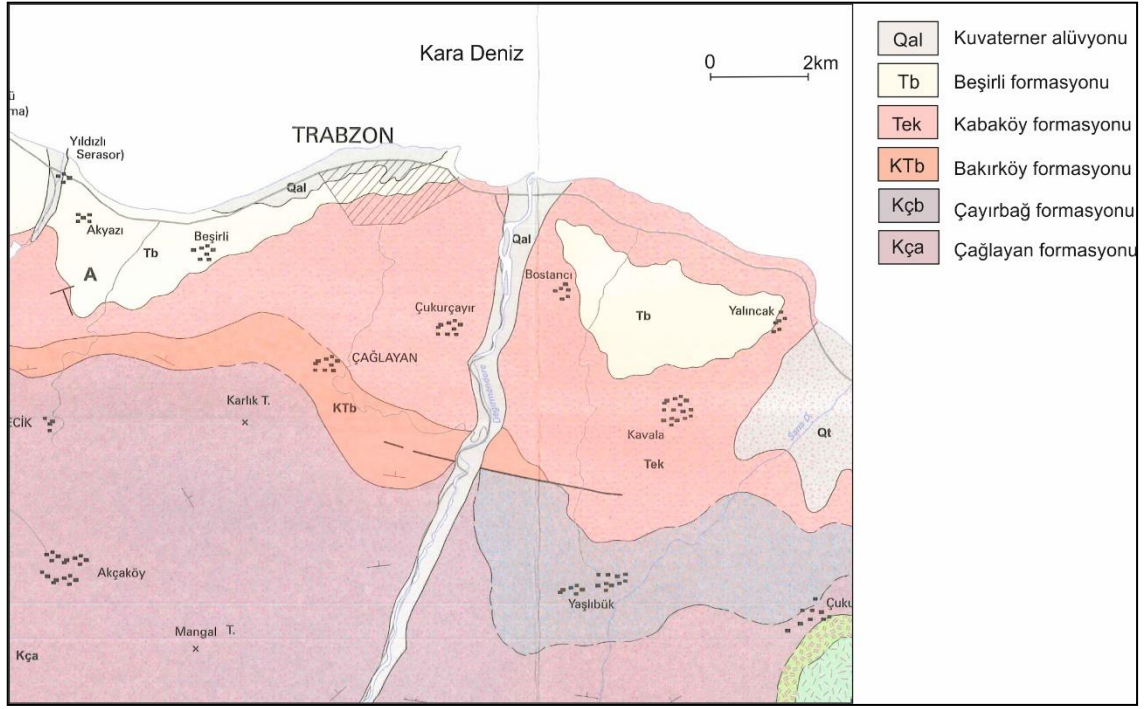
## 2. VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI

Aglomera kaya malzemesinde deformasyon modülünün belirlenmesinde kullanılan bazı yaklaşımların değerlendirilmesinin amaçlandığı tez çalışması kapsamında Trabzon Akyazı Bölgesi, Trabzon – Gümüşhane Yolundaki Zigana Geçidi ve İstanbul Boğazının Karadeniz'e çıkış bölgesinde yer alan ve tuf matriks içinde andezit/bazalt parça ve/veya bloklarının yer aldığı aglomeralar inceleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan veriler Karayolları Genel Müdürlüğü'nden sağlandığı için arazi çalışması ve karot sandıkları üzerinde bire bir inceleme yapılamamıştır. Bu nedenle, tüm çalışmalar mevcut karot fotoğraflarından, laboratuvar ve yerinde deney verilerinden faydalanılarak yapılmıştır. Literatürde bir kısmı aglomera kaya malzemelerini de içeren verilerinde kullanıldığı bazı ampirik yaklaşımların performanslarını sınımayı amaçlayan bu çalışmada Trabzon-Gümüşhane Yolu Zigana Tüneli, Trabzon Akyazı Tüneli ve İstanbul Boğazının Karadeniz'e çıkış bölgesinde yer alan İstanbul 3. Boğaz Köprüsü projeleri kapsamında açılan ve dilatometre deneyi uygulanan sondaj kuyuları ve bu kuyulardan elde edilen karot numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır.

Bu uygulama projelerinin yer aldığı bölgelere ilişkin jeolojik özellikler aşağıda kısaca sunulmuştur.

### 2.1 Jeolojik Yapı

Trabzon'un Akyazı bölgesindeki hakim birim, Beşirli formasyonuna ait aglomeralardır (Şekil 2.1). Birim arazide masif, düşey-düşeye yakın geniş aralıklı ve kapalı çatlak sistemlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Ancak birimin yüzeysel aşınma-bozunmalara bağlı olarak gelişen yüzey kırıkları ve çatlaklar içinde yağış sularının sığ dolaşımı söz konusudur. Güzergahta açılan sondaj kuyusuna ait karot sandığı fotoğrafı Şekil 2.2.'de verilmiştir.



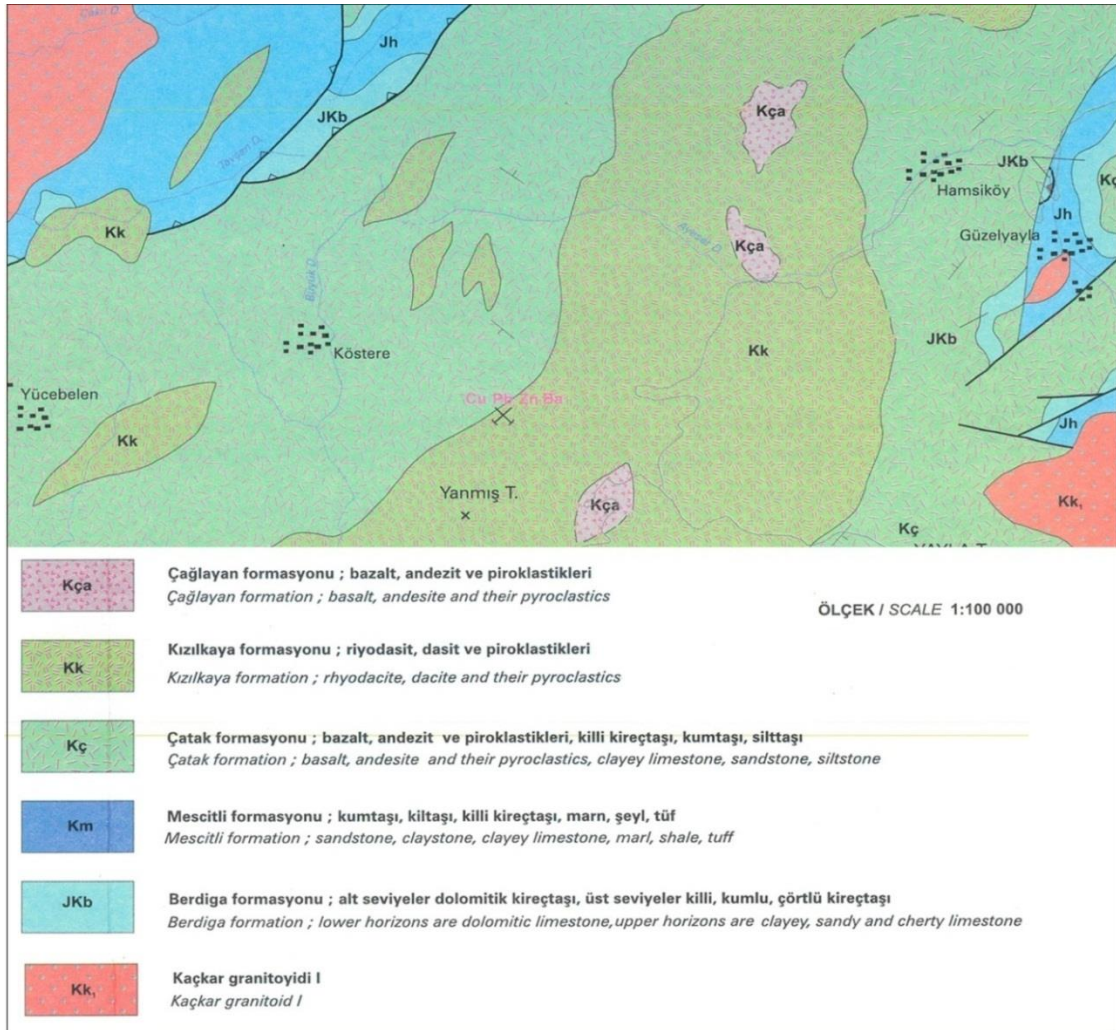
Şekil 2.1. Trabzon Akyazi bölgesine ait Jeoloji Haritası [29].

Yüzeysel gözlemlere göre birim sarımsı kahve renkli, orta - çok ayrıışmış, zayıf - orta sağlam dayanımlı, klastları andezit ve bazalt kökenli aglomeradır. Aglomeranın blok boyutlarının ortalama 10 cm ile 70 cm arasında değişen bloklardan kurulu olduğu gözlenmektedir [30].



Şekil 2.2. Akyazi Tüneli güzergahında açılmış olan sondaj kuyusuna ait karot sandığı fotoğrafı [30].

Trabzon – Gümüşhane Yolundaki Zigana Geçidi boyunca hakim birimler Üst Kretase yaşlı bazalt, andezit, piroklastik, marn, kumtaşı vb. kaya türlerinden oluşan Çatak formasyonu ve dasit, riyodasit ve piroklastiklerden oluşan Kızılkaya formasyonudur (Şekil 2.3.). Çatak formasyonu başlıca bazalt, andezit lav ve piroklastları ile kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı düzeylerinin ardalanmasından oluşur. Birimin lav, tuf ve breşlerden oluşan volkanik seviyeleri koyu gri, yer yer siyah renkli, ayrıştığında kahve renklidir. Lavlar genel olarak kırıklı, çatlaklı ve boşluklu olup etkin şekilde ayrışmış ve kloritleşmiştir. Breş ve aglomeralar içinde tortul kaya çakıl ve blokları bulunabilir [29].



Şekil 2.3. Zigana Geçidi Jeoloji Haritası [29].

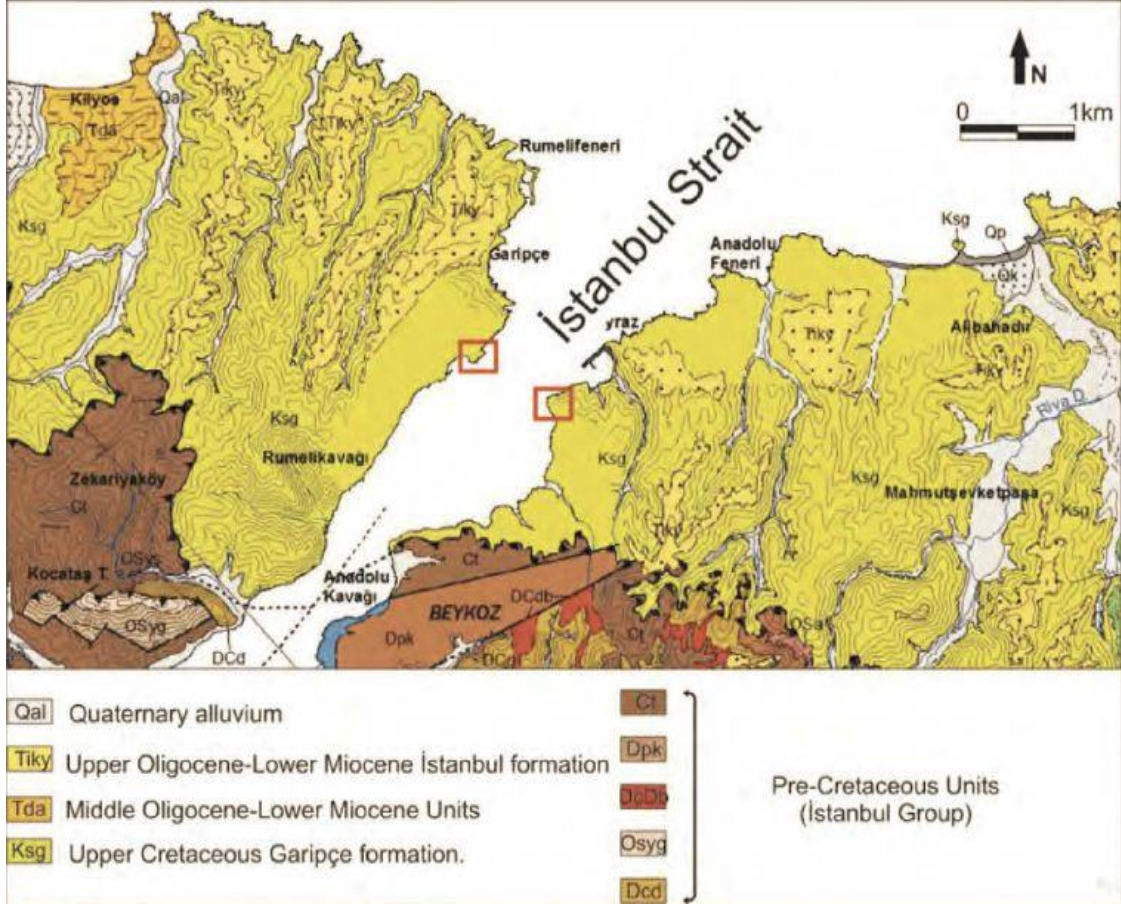
Çatak formasyonunu üstleyen asidik karakterli lav ve piroklastlar Kızılkaya formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kızılkaya formasyonu, çoğunlukla riyodasitik, dasitik lav ve piroklastlardan oluşur. Çatak formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen lavlar, genellikle sarımsı ayrışmalı gri renkleri ve prizmatik kolon yapıları ile dikkati çekerler. Yersel çok iri kuvarslı porfiritik dokulu ve akma (flüidal) yapılarıdır. Yer yer düzgün tabakalanma gösteren tuf, aglomera ve breş seviyeleri formasyonun üst horizonları içinde daha yaygındır. Güzergahta açılan sondaj kuyusuna ait karot sandığı fotoğrafı Şekil 2.4.'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Zigana Tüneli güzergahında açılmış olan sondaja ait karot sandığı fotoğrafı [31].

İstanbul Boğazının Karadenize çıkış bölgesinin her iki yakasında hakim olan birim Şekil 2.5.'deki jeoloji haritasından görüldüğü üzere Garipçe Formasyonuna ait andezit ve aglomeralardır [32].





Şekil 2.5. İstanbul Boğazının Karadenize çıkış bölgesine ait Jeoloji Haritası [32].

Bölgede gözlenen koyu yeşil aglomeralar orta derecede sağlam, mostraları az ayrışmıştır. Klastların matrikse oranı genelolarak 80-85%'dir. Klastlar yarı yuvarlak, 5-30 cm çapında bazen de 2 m çapında bulunmaktadır. Klastlar genel olarak andezit içeriklidir. Açık yeşil aglomeralar masif, orta derecede sağlam; orta derecede-çok ayrışmış. Su kaya yüzeyinden çok rahat bir şekilde emilmektedir ve klastların matrikse oranı klastların daha çok olduğu yerlerde 75-80%'e kadar ulaşmaktadır. Klastlar genel olarak 10-15 cm çapındadır yer yer 1,5 m ye kadar çıkmaktadırlar ve andezit baskındır. Koyu renkli aglomeralardan farkı, hava ile temas eden mostraların kolaylıkla ayrıştığı, aşınarak drenaj hatları oluşturduğu görülmektedir [33].

Ayrışmış aglomera açık yeşilimsi gri ve koyu sarımsı turuncu renkte, aşırı derecede zayıf-çok zayıf, tamamen-orta derecede ayrışmış birim,

tepe üstlerindeki düz morfolojilerde ve drenaj hatları boyunca görülmüştür. Bu birim tamamen aglomeradan türemiştir ve tamamen-orta derecede ayrılmıştır. Güzergahta açılan sondaj kuyusuna ait karot sandığı fotoğrafı Şekil'd 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6. 3. Boğaz Köprüsü güzergahında açılmış olan sondaja ait karot sandığı fotoğrafı [33].

## 2.2 Aglomeralara ait Jeoteknik Çalışmalar ve Derlenen Veriler

İstanbul 3. Boğaz Köprüsü, Akyazı ve Zigana Tünel projeleri kapsamında jeolojik birimlerin, yapısal ve jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Zigana Tünel güzergahında 2 adet, Akyazı Tünel güzergahında 2 adet ve 3. Boğaz Köprüsünde 22 adet jeoteknik sondaj çalışması yapılmış olup, bu çalışmalara ait veriler tez kapsamında kullanılmıştır. Toplamda 26 adet sondaj kuyusunda farklı seviyelerde dilatometre deneyleri ve karot örnekler üzerinde birim hacim ağırlık, elastik parametreler (elastisite modülü ve poisson oranı), tek eksenli sıkışma, sınırlı sayıda üç eksenli sıkışma ve eklem yüzeylerinde doğrudan makaslama deneyleri yapılmıştır. Tez çalışmasında kullanılamamakta birlikte, 3. Boğaz Köprüsü projesi kapsamında bazı kuyularda "optik ve akustik" görüntüleme yöntemleriyle jeofizik loglar alınmıştır [30, 31, 33].

Tez çalışması kapsamında bu verilerin oluşturulmasına ilişkin saha çalışmalarında yerinde gözlemler yapılamamış olup, bu nedenle

değerlendirmeler 26 adet sondajın karot fotoğrafları, sondaj logları, dilatometre deneyleri ve diğer laboratuvar deney verileri kullanılarak yapılmıştır.

Aglomera kaya malzemesi zayıf tuf matrisinde andezit blokları içeren kaynaşmış birmrock olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra, aglomera kaya malzemesini sınırlandıran süreksizliklerin varlığıyla birlikte ele alındığında aglomera kaya kütesinden söz etmek söz konusudur. Bu nedenle, aglomera karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları dikkate alındığında aglomera kaya malzemesinin (intak) elastisite modülü ( $E_i$ ) söz konusuyken, süreksizliklerle birlikte kaya kütesi olarak dikkate alındığında dilatometre deneylerinden belirlenen kütle deformasyon modülü ( $E_{kütle}$ ) söz konusudur.

Tez çalışması kapsamında her iki parametreye yönelik değerlendirmeler ayrı ayrı ele alınmış ve ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

### **2.2.1 Aglomera Kaya Malzemesine Yönelik Veriler ve İstatistiksel Değerlendirmesi**

İstanbul 3. Boğaz köprüsü inşaatına yönelik olarak jeoteknik sondajlardan sağlanan karot örnekleri üzerinde 249 adet tek eksenli sıkışma dayanımı ve birim hacim ağırlık deneyi yapılırken, 78 adet tek eksenli sıkışma dayanımı deney örneklerinde elastisite modülü deneyleri de gerçekleştirilmiştir.

Akyazı tüneli inşaatına yönelik iki sondajdan elde edilen karot örnekleri üzerinde 6 adet tek eksenli sıkışma dayanımı ve birim hacim ağırlık deneyi yapılırken, bu örneklerden 4 adedinde elastisite modülü deneyi yapılmıştır.

Zigana tüneline ise tüneli inşaatına yönelik jeoteknik çalışmalar sırasında iki jeoteknik sondaja ait karot örnekleri üzerinde 21 adet tek

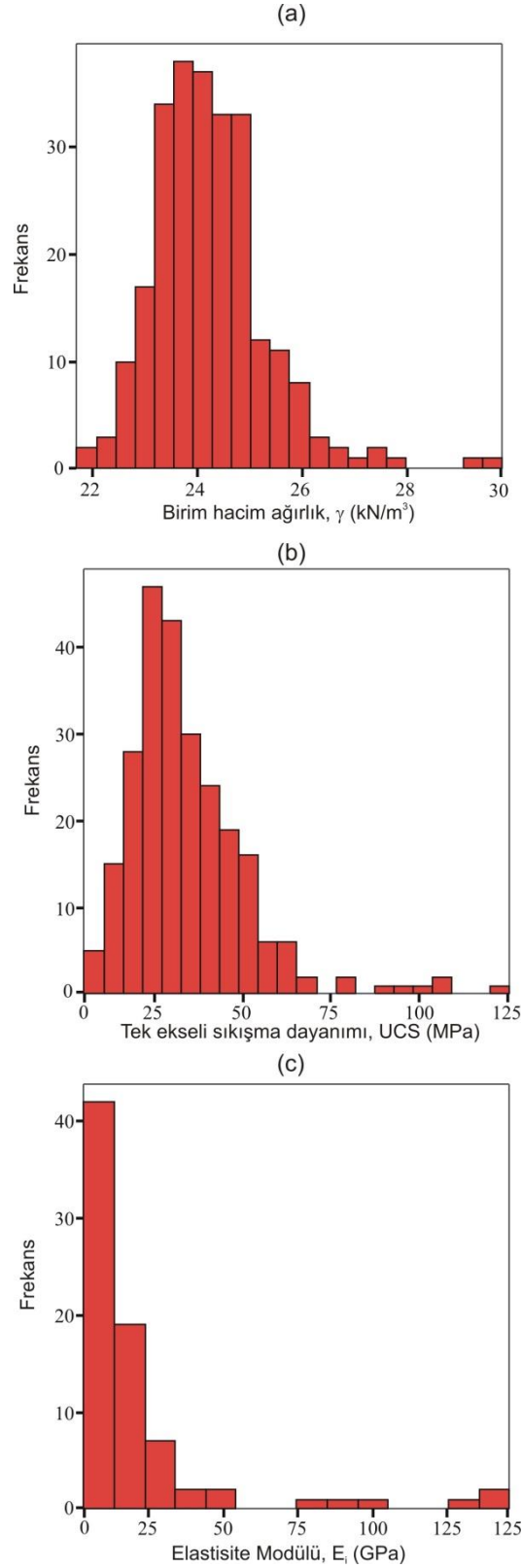
eksenli sıkışma dayanımı ve birim hacim ağırlık ve elastisite modülü deneyleri yapılmıştır.

Her üç projeden sağlanan tüm deneysel veriler Ek-1'de sunulmuştur. Verilere ilişkin istatistiksel değerlendirmeler Çizelge 2.1'de verilirken, deneyler bazındaki histogram grafikleri 3. Boğaz köprüsü projesine ilişkin verileri için Şekil 2.7'de, Zigana tüneli projesine ilişkin veriler birleştirilerek değerlendirilmiş ve Şekil 2.8'de verilmiştir. Akyazı tüneli inşaatındaki veriler ise sadece 6 adet olması nedeniyle tüm verilerin histogram değerlendirilmesinin yapıldığı Şekil 2.9'a dahil edilmiştir.

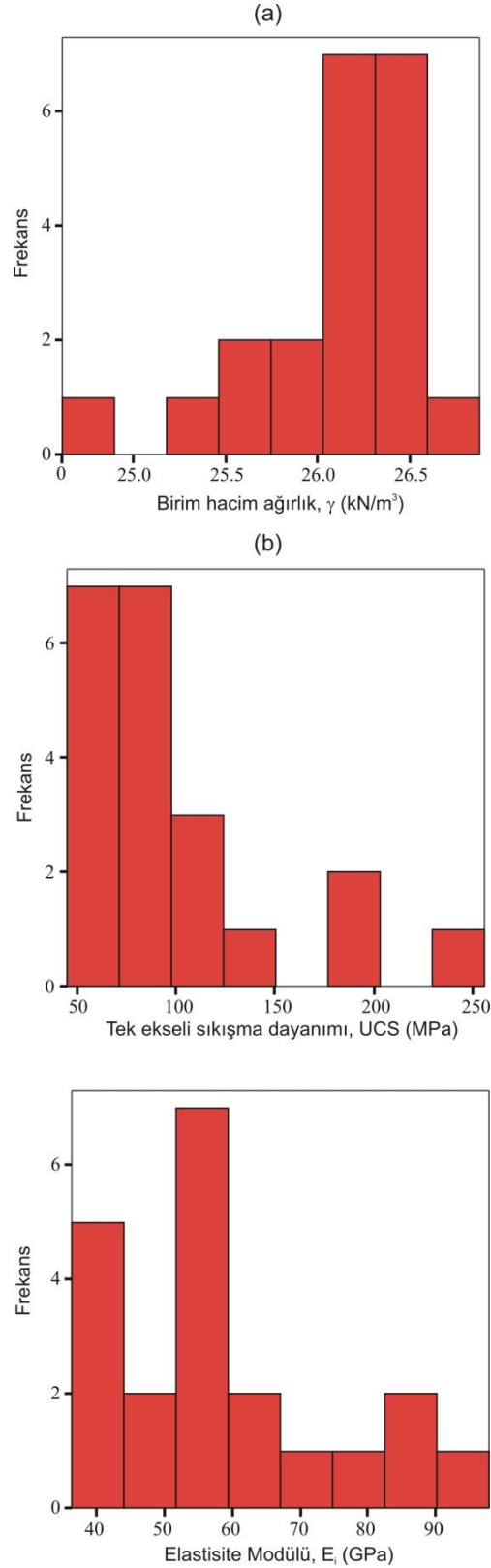
Çizelge 2.1. İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tüneli inşaat sahalarındaki jeoteknik sondaj çalışmaları sırasında elde edilen karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ilişkin istatistiksel değerlendirmeler.

Verinin sağlandığı proje	Parametre	Veri adedi, N	En küçük	En büyük	Ortalama	Std. Sapma.
İstanbul 3. Boğaz köprüsü	Birim hacim ağırlık, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	249	21.7	29.8	24.2	1.1
	Tek eksenli sıkışma dayanımı, UCS (MPa)	249	5.1	125.7	34.4	17.5
	Elastisite modülü, $E_i$ (GPa)	78	3.3	146.1	21.7	29.3
Akyazı tüneli	Birim hacim ağırlık, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	6	21.5	24.5	23.4	1.2
	Tek eksenli sıkışma dayanımı, UCS (MPa)	6	17.5	32.8	26.7	5.6
	Elastisite modülü, $E_i$ (GPa)	4	17.5	30.9	24.0	6.3
Zigana tüneli	Birim hacim ağırlık, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21	24.6	26.9	26.1	0.5
	Tek eksenli sıkışma dayanımı, UCS (MPa)	21	45.5	256.0	100.9	53.9
	Elastisite modülü, $E_i$ (GPa)	21	36.5	98.0	58.5	17.3
TÜM VERİLER	Birim hacim ağırlık, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	276	21.5	29.8	24.4	1.2
	Tek eksenli sıkışma dayanımı, UCS (MPa)	276	5.1	256.0	39.3	28.3
	Elastisite modülü, $E_i$ (GPa)	103	3.3	146.1	29.3	30.5

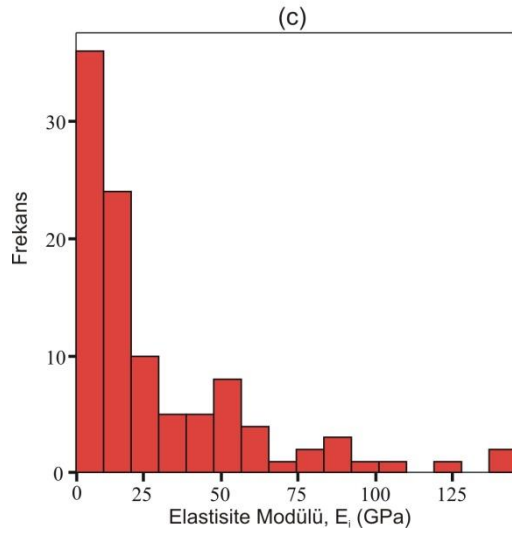
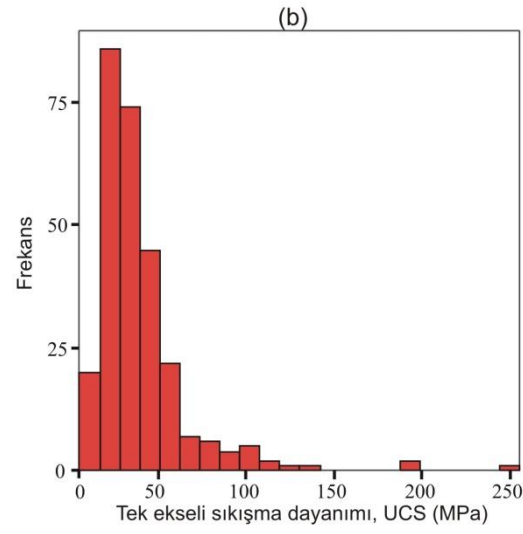
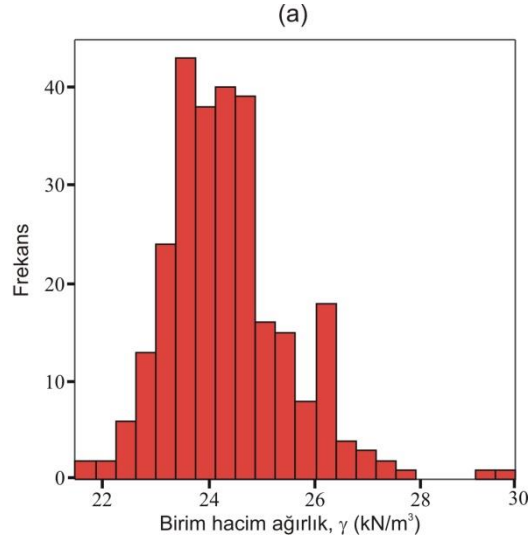




Şekil 2.7. İstanbul 3. Boğaz köprüsü inşaatına ait karot örneklerindeki deneysel verilerin histogram grafikleri (a) birim hacim ağırlık, (b) tek eksenli sıkışma dayanımı ve (c) elastisite modülü.



Şekil 2.8. Zigana tüneli inşaatına ait karot örneklerindeki deneysel verilerin histogram grafikleri (a) birim hacim ağırlık, (b) tek eksenli sıkışma dayanımı ve (c) elastisite modülü.



Şekil 2.9. Tüm projelere ait karot örneklerindeki deneysel verilerin histogram grafikleri (a) birim hacim ağırlık, (b) tek eksenli sıkışma dayanımı ve (c) elastisite modülü.

İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tünellerine ait jeoteknik sondaj karotları tuf, aglomera (matriks + bloklar) ve volkanik kaya bloklarından oluşmakta olup, birim hacim ağırlık ve tek eksenli sıkışma dayanımları sırasıyla  $21.5 \text{ kN/m}^3$  ile  $29.8 \text{ kN/m}^3$  ve  $5.1$  ile  $256.0 \text{ MPa}$  arasında değişmektedir. Elatisite modülü ise 103 önek üzerinde yapılmış olup,  $3.3$  ile  $146.2 \text{ GPa}$  arasındadır.

### **2.2.2 Kaya Kütlesi ve Deformasyon Modülüne Yönelik Veriler ve İstatistiksel Değerlendirmesi**

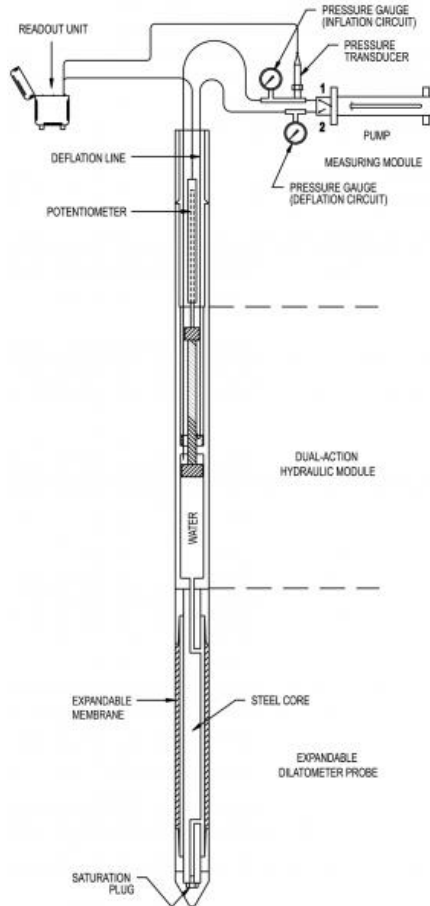
Kütle deformasyon modülü kaya kütesinin kalitesinin yanı sıra kaya malzemesinin özellikleriyle birlikte davranışının bir ürettiği deformasyon parametresidir. Bu parametrenin yerinde deneylerle belirlenmesine yönelik farklı deneysel yöntemler olmakla birlikte bu tez çalışmasına konu olan verilerin sağlandığı projelerde jeoteknik sondaj çalışmaları sırasında dilatometre deneyleri uygulanmıştır.

Dilatometre deneyi kaya kütesinin mekanik özelliklerinin silindirik çepere uygulanan basınç ve kuyu çapındaki değişim-deformasyon ölçümlerine bağlı olarak belirlenmesini sağlamaktadır. Şekil 2.10.'de 3. Boğaz Köprüsü projesi kapsamında yapılan dilatometre deneyinin arazi fotoğrafları yer almaktadır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 2.11'de görülmektedir.

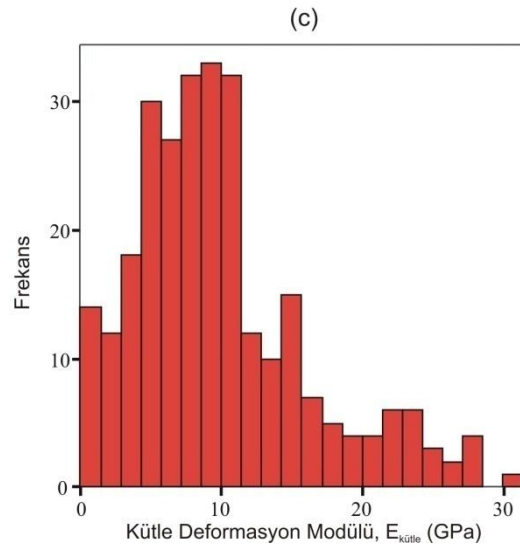
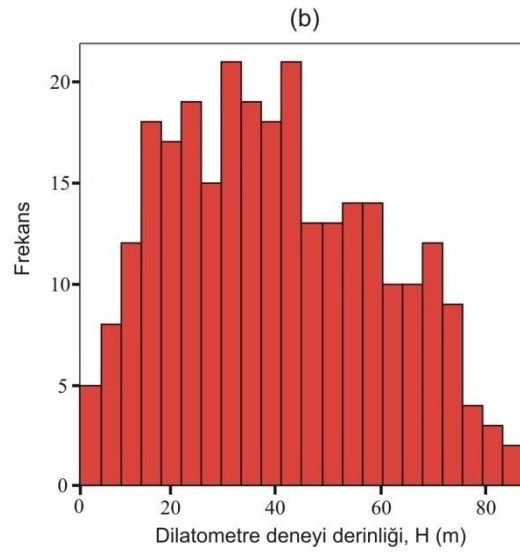
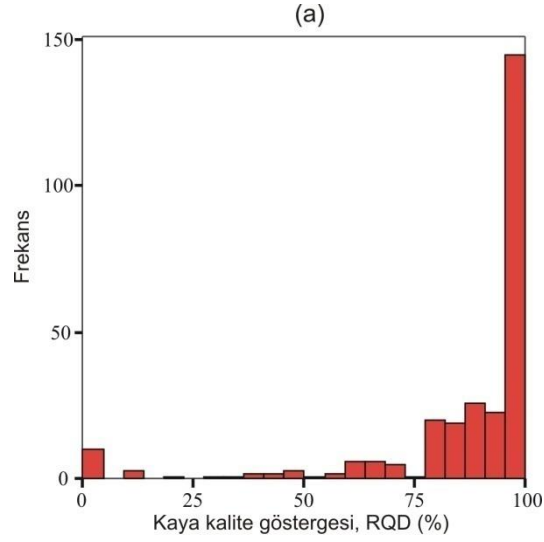
İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tünel inşaatlarına yönelik açılan jeoteknik sondajlarda gerçekleştirilen dilatometre deneylerine ilişkin derinlik ve hesaplanan deformasyon modülü ( $E_{\text{kütle}}$ ) değerlerinin yanı sıra deney derinliklerindeki RQD değerleri de tez çalışması kapsamında kütle deformasyon modülüne yönelik değerlendirmelerde kullanılmıştır. Bahsi geçen veriler EK-2'de sunulurken, histogram grafikleri Şekil 2.12'den Şekil 2.15'e kadar verilmiştir. Ayrıca, istatistiksel değerlendirmeleri de Çizelge 2.2'de özetlenmiştir.



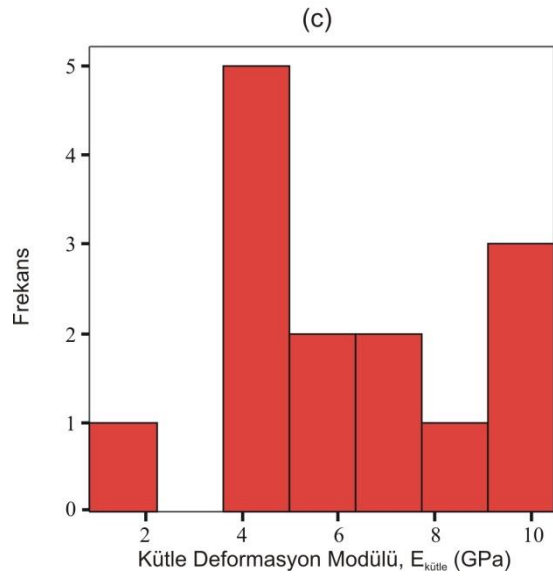
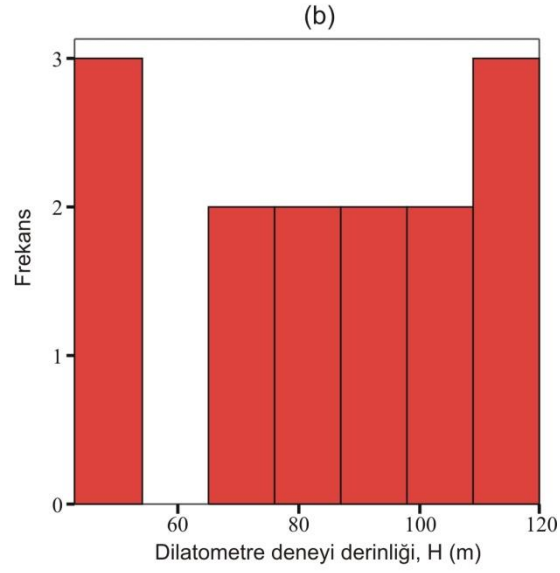
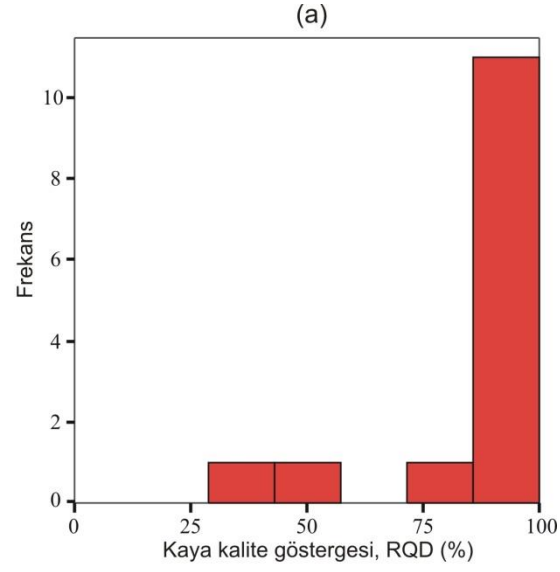
Şekil 2.10. Boğaz Köprüsü proje çalışmaları kapsamında yapılan dilatometre deneyi [33].



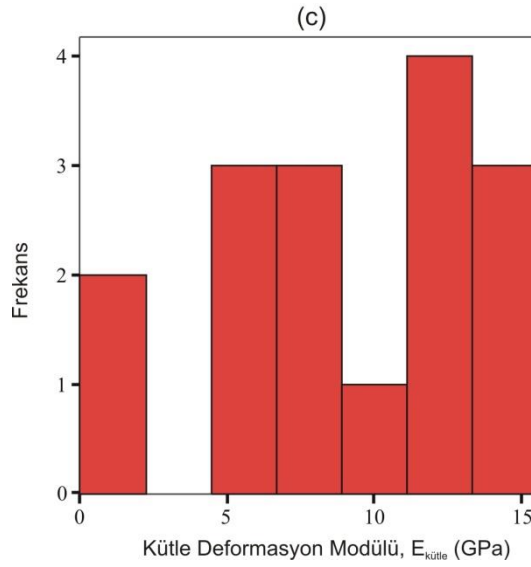
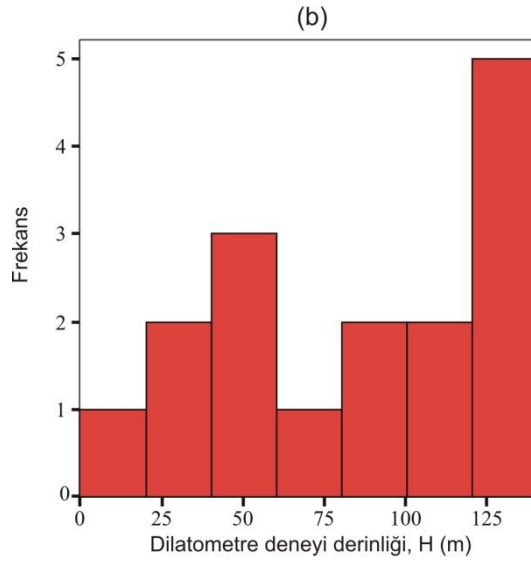
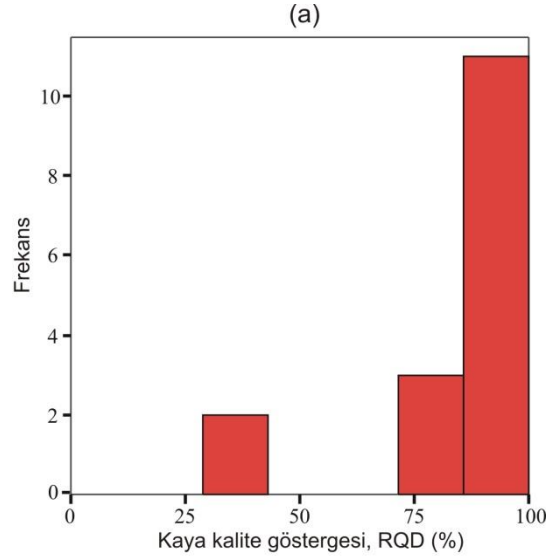
Şekil 2.11. Dilatometre Deneyi şematik gösterimi [34].



Şekil 2.12. İstanbul 3. Boğaz köprüsü inşaatına ait (a) RQD, (b) dilatometre deneyi derinliği ve (c) kütle deformasyon modülü histogram grafikleri.

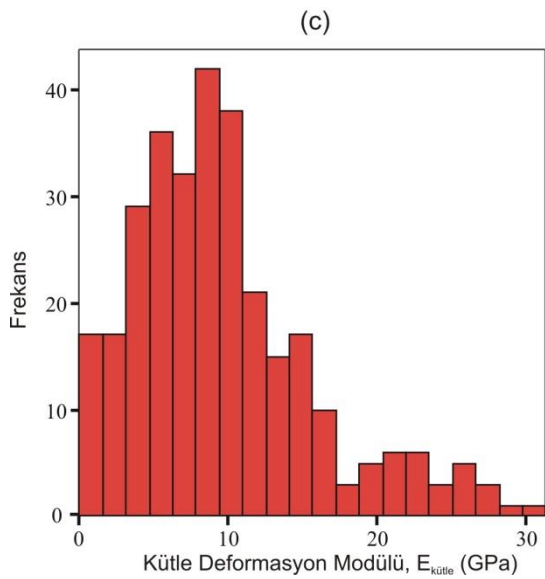
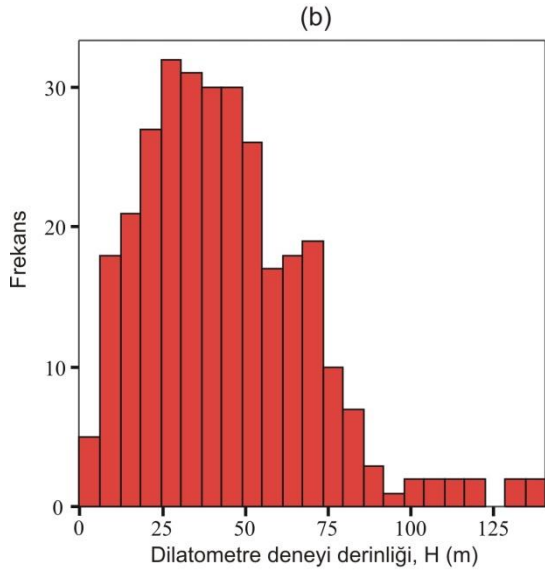
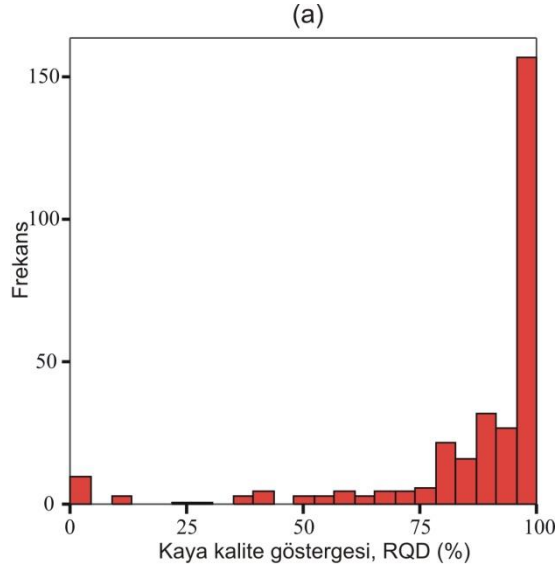


Şekil 2.13. Akyazı tüneli inşaatına ait (a) RQD, (b) dilatometre deneyi derinliği ve (c) kütle deformasyon modülü histogram grafikleri.



Şekil 2.14. Zigana tüneli inşaatına ait (a) RQD, (b) dilatometre deneyi derinliği ve (c) kütle deformasyon modülü histogram grafikleri.





Şekil 2.15. Tüm projelere ait (a) RQD, (b) dilatometre deneyi derinliği ve (c) kütle deformasyon modülü histogram grafikleri.

Çizelge 2.2. İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tüneli inşaat sahalarındaki jeoteknik sondaj çalışmaları sırasında yapılan çalışmalardan sağlanan RQD ve dilatometre deneylerine ilişkin istatistiksel değerlendirmeler.

Verinin sağlandığı proje	Parametre	Veri adedi, N	En küçük	En büyük	Ortalama	Std. Sapma.
İstanbul 3. Boğaz köprüsü	RQD (%)	277	0	100	86.2	23.4
	Dilatometre deneyi derinliği, H (m)	277	3.0	87.0	40.0	19.6
	Kütle deformasyon modülü, $E_{k\ddot{u}tle}$ (GPa)	277	0.02	31.4	9.9	6.3
Akyazı tüneli	RQD (%)	14	37.0	100	87.1	18.4
	Dilatometre deneyi derinliği, H (m)	14	43.0	120.0	84.3	25.8
	Kütle deformasyon modülü, $E_{k\ddot{u}tle}$ (GPa)	14	0.85	10.5	6.2	2.8
Zigana tüneli	RQD (%)	16	35.0	100	86.1	20.3
	Dilatometre deneyi derinliği, H (m)	16	10.0	141.0	83.4	44.2
	Kütle deformasyon modülü, $E_{k\ddot{u}tle}$ (GPa)	16	0.20	15.6	9.0	4.8
TÜM VERİLER	RQD (%)	307	0	100	86.2	23.0
	Dilatometre deneyi derinliği, H (m)	307	3.0	141.0	44.2	25.3
	Kütle deformasyon modülü, $E_{k\ddot{u}tle}$ (GPa)	307	0.02	31.4	9.7	6.1

### **3. KAROT SANDIĞI FOTOĞRAFLARINDAN ÇİZGİSEL BLOK ORANI BELİRLEMELERİ**

Aglomeralarda dayanım ve deformayona yönelik değerlendirmelerin yapıldığı önceki çalışmalarda genellikle tuf matriks içindeki andezit bloklarına ilişkin olarak hacimsel blok oranının belirlenmesi tercih edilmiştir. Ancak tez çalışması kapsamında karot sandıklarının fotoğrafları üzerinde karot eksenini boyunca andezit kaya bloklarının uzunlukları ve toplam karot uzunluğu arasındaki oran kullanılmış olup, yapılan bu değerlendirme ile belirlenen oranlar çizgisel blok oranı (ÇBO) olarak isimlendirilmiştir.

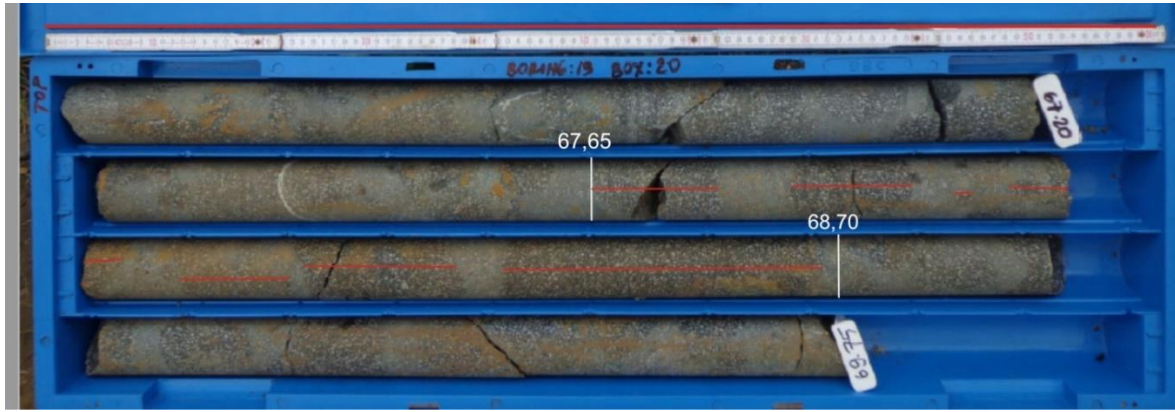
Bir önceki bölümde İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tünelleri inşaatlarına yönelik jeoteknik sondajlara ait karot örneklerinde gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları kaya malzemesi ölçeğinde elastisite modülü değerlendirmelerinde kullanılmak üzere derlenmiştir. Ayrıca, kütle deformasyon modülü değerlendirmelerinde de kullanılmak amacıyla dilatometre deney sonuçları ve dilatometre deney seviyesine ait RQD değerleri de derlenmiştir.

Tezin literatür özetinde de anlatıldığı üzere, aglomeralarda tuf matriks içinde andezit kaya blokları içeren aglomera türü kayalarda dayanım ve deformasyonundan itibaren hacimsel blok oranındaki artış tufün dayanım ve deformasyonundan itibaren bu özelliklerinde artışa neden olmaktadır. Ancak laboratuvar deneylerinde kullanılmış olan karot örneklerinin fotoğrafları olmadığından dolayı, hacimsel blok oranındaki artışın sadece kütle deformasyon modülü açısından bir değerlendirmesinin yapılabilmesi amacıyla, dilatometre deney derinliklerindeki karot sandığı fotoğraflarından tek boyutta (1D) çizgisel blok oranı belirlenmiştir.

Teze çalışma verisi sağlanan projeler kapsamında açılan 26 adet sondaj kuyusunda toplamda 328 adet dilatometre deneyi olmasına karşın, blok ve tuf matriks ayrımının sağlıklı olarak yapılabilmesi için blokların daha

belirgin izlenebildiği fotoğraflara yönelinmiş ve sadece 34 adet fotoğraf üzerinde çalışılabilmektedir.

Her bir karot sandığı fotoğrafında dilatometre deneyi yapılan derinlikler saptanmış, sonrasında bu derinliklerden itibaren 0.8m ile 1.05 m uzunluğundaki kısımda kesilen karotlar incelenmiştir. İncelenen aralıklarda karotların ekseninden geçen tek hat boyunca tuf matrisindeki tüm görünür blokların boyutları ölçülmüştür. Şekil 3.1.'de fotoğraf analizi yapılan karot sandıklarından bir örnek görülmektedir. Bu çalışma sonucunda 34 adet dilatometre deney seviyesinde karot sandığı fotoğrafları kullanılarak çizgisel blok oranları hesaplanmıştır. Kütle deformasyon modülleriyle birlikte, RQD değerleri ve çizgisel blok oranı değerleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Fotoğraf analizi yapılan karot numuneleri.

Çizelge 3.1. Karot sandığı fotoğraflarından hacimsel blok oranı değerlerinin belirlenebildiği dilatometre deney seviyelerinde, RQD değerleri, hacimsel blok oranları ve deney sonuçları.

Kuyu No	Karot Aralığı (m)	Toplam Karot Uzunluğu (cm)	Toplam Blok Uzunluğu (cm)	Çizgisel Blok Oranı, ÇBO (%)	RQD (%)	Dilatometre Deney Derinliği (m)	Kütle Deformasyon Modülü, E <sub>kütle</sub> (GPa)
3BK_C	55,00-55,80	80	62.0	77.5	100.0	55.0	9.3
3BK_D	35,00-36,00	100	72.3	72.3	95.0	35.0	10.8
	40,00-41,00	100	52.1	52.1	95.0	40.0	10.1
	44,95-46,00	105	83.5	79.5	78.0	45.0	10.6
	50,00-51,00	100	71.1	71.1	100.0	50.0	10.8

Çizelge 3.1. devam ediyor.

Kuyu No	Karot Aralığı (m)	Toplam Karot Uzunluğu (cm)	Toplam Blok Uzunluğu (cm)	Çizgisel Blok Oranı, ÇBO (%)	RQD (%)	Dilatometre Deney Derinliği (m)	Kütle Deformasyon Modülü, E <sub>kütle</sub> (GPa)
3BK_E	45,00-45,85	85	46.8	55.1	95.0	45.0	8.8
	49,95-50,85	90	39.0	43.3	82.0	50.0	10.3
	55,00-55,77	77	30.0	39.0	100.0	55.0	14.6
3BK_I	39,50-40,25	75	55.0	73.3	88.0	39.7	6.4
3BK_X	45,00-46,00	100	68.9	68.9	87.0	45.0	19.2
	48,00-49,00	100	62.7	62.7	100.0	48.0	16.6
3BK_7	20,00-21,00	100	24.2	24.2	100.0	20.0	17.1
3BK_13	55,00-56,00	100	32.7	32.7	82.0	55.0	8.4
	60,00-61,00	100	43.0	43.0	85.0	61.0	10.3
3BK_16	15,00-16,00	100	71.0	71.0	95.0	15.0	26.0
	39,00-40,00	100	34.8	34.8	100.0	39.0	11.3
	48,00-49,00	100	58.1	58.1	92.0	48.0	9.8
	72,00-73,05	105	77.3	73.6	98.0	72.0	5.7
3BK_19	49,65-50,65	100	60.1	60.1	98.0	49.7	10.6
	67,70-68,75	105	84.7	80.7	96.0	67.7	7.4
	70,70-71,70	100	45.7	45.7	100.0	70.7	8.1
	73,70-74,70	100	54.1	54.1	95.0	73.7	4.4
AkyazıSK8	70-71	100	42.8	42.8	80.0	70.0	7.4
	75-76	100	20.1	20.1	90.0	75.0	4.8
	80-81	100	48.5	48.5	90.0	80.0	3.9
	85-86	100	38.9	38.9	92.0	85.0	9.6
	90-90,62	62	40.8	65.8	100.0	90.0	10.5
	95-96	100	38.4	38.4	100.0	95.0	5.9
	100-101	100	45.7	45.7	100.0	100.0	4.2
	105-105,66	66	47.8	72.4	100.0	105.0	7.2
	110-111	100	54.2	54.2	92.0	110.0	4.4
115-116	100	61.1	61.1	95.0	115.0	10.3	
Zigana SK5	51,00-52,00	100	73.5	73.5	98.0	51.0	12.0
Zigana SK6	131-131,95	95	71.6	75.4	97.0	131.0	13.8

## **4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE AMPİRİK YAKLAŞIMLARIN PERFORMANSLARININ SINANMASI**

Tez çalışması kapsamında jeoteknik sondajlar sırasında kesilen aglomera karot örneklerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan ve dilatometre deneylerinin uygulandığı seviyelerden olmak üzere aglomera kaya malzemesinin elastisite modülünün ( $E_i$ ) ve aglomera kaya kütlesinin deformasyon modülünün ( $E_{k\ddot{u}tle}$ ) değerlendirilmesine yönelik iki ayrı veri tabanı oluşturulmuştur.

Mevcut bazı ampirik ilişkilerin performanslarının da sınıandığı tez çalışmasının bu bölümünde derlenen veri tabanları kullanılarak alternatif ampirik ilişkiler de araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikli olarak aglomera kaya malzemesinin elastisite modülüne yönelik değerlendirmeler yapılmış sonrasında ise kütle deformasyon modülüne yönelik değerlendirmelerle devam edilmiştir.

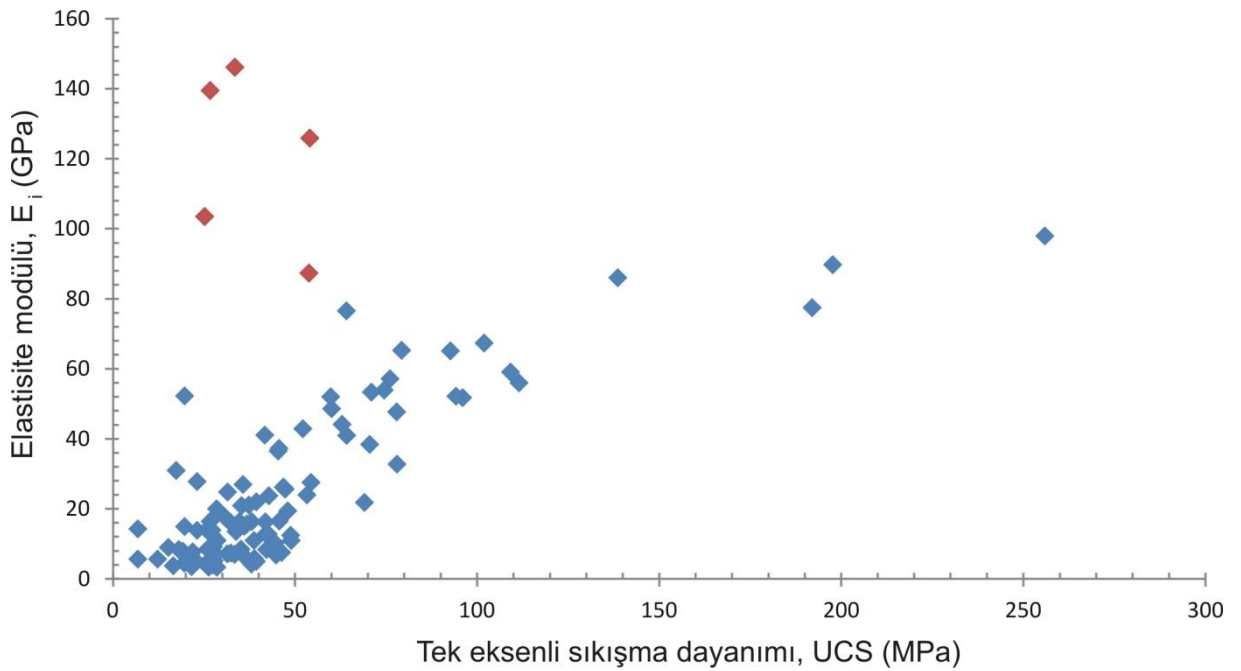
### **4.1 Aglomera Kaya Malzemesinin Elastisite Modülünün Kestirimine Yönelik Değerlendirmeler**

Aglomera kaya malzemesi düşük dayanımlı tuf matriks içerisinde andezit kaya bloklarını yer aldığı malzemedeki hacimsel blok oranının %0 değerinde tümüyle matriks malzemesi tariflenirken, %100 blok oranı ise tümüyle andezit kaya malzemesini tariflemektedir. Literatürde özellikle Ankara aglomeralarında yapılan önemli çalışmalarda aglomera karot örneklerinin üst ve alt yüzeyleriyle yan yüzeylerinin görüntüleri taranarak örneğin hacimsel blok oranına yaklaşım yapılma yönünde çalışmalar yürütülmüştür. Tez çalışması kapsamında İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tünellerinin inşaatlarına yönelik jeoteknik araştırmalar kapsamında sağlanan veriler kullanılmış olup, ne yazık ki laboratuvar deneylerinin yapıldığı karot örneklerinin hacimsel blok oranının tayinine yönelik fotoğraflarına ulaşamamıştır. Bununla birlikte, birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve elastisite modülü ( $E_i$ ) verilerinin olduğu 103 veri seti derlenmiştir. Bu aşamada

öncelikle bu veriler kullanılarak elastisite modülünün ( $E_i$ ) kestirimine yönelik ilişkiler araştırılmıştır.

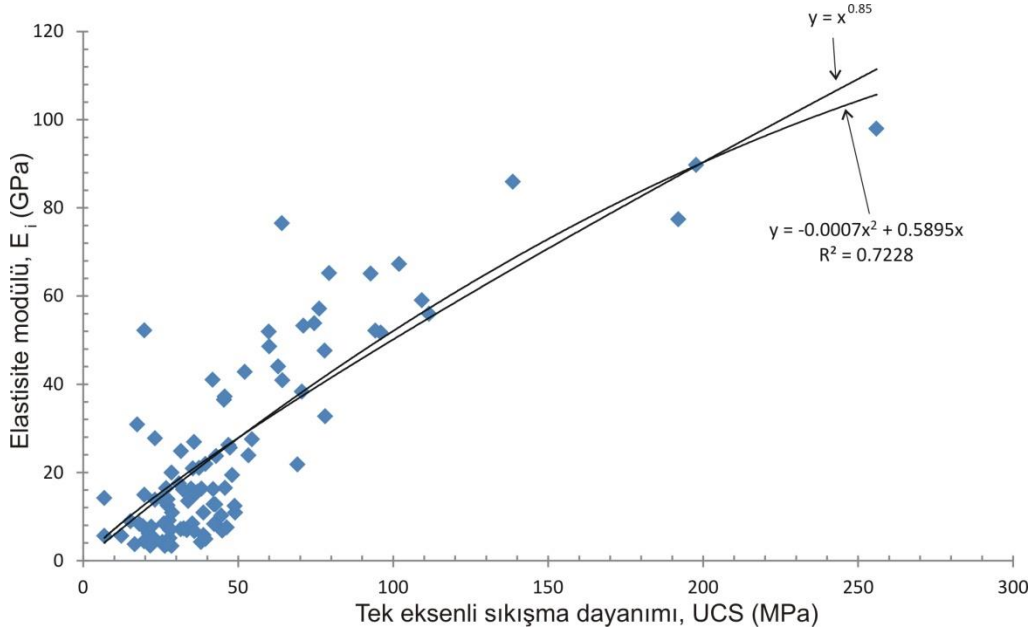
#### 4.1.1 Mevcut veri tabanı kullanılarak $E_i$ 'nin kestirimine yönelik değerlendirmeler

Mevcut veri tabanında tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve elastisite modülünün ( $E_i$ ) her ikisinin de bulunduğu 103 veri UCS'ye karşılık  $E_i$  grafiğine döküldüğünde 6 veri aykırı veri (grafikteki ilişkileri anlamsız) görünümündedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Mevcut veri tabanında tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve elastisite modülünün ( $E_i$ ) her ikisinin de bulunduğu 103 verinin UCS'ye karşılık  $E_i$  grafiğine dökümü ve aykırı veriler (kırmızı sembollü).

$E_i=f(\text{UCS})$  ilişkisine yönelik grafikteki yerleri anlamsız olan 5 veri dikkate alınmadan tek eksenli sıkışma dayanımının girdi parametresi olarak alınmış ve elastisite modülünün kestirimine yönelik olarak orijinden (0,0) geçen aşağıdaki ikinci derece ve ayrıca deneme ve yanılma yoluyla üssel ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 4.2).Mevcut veri tabanında sadece UCS'nin girdi parametresi olarak kullanılması durumunda elde edilen ve Şekil 4.2'de sunulan alternatif kestirim ilişkisi Eş. 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Aykırı 5 verinin dikkate alınmadığı mevcut veri tabanında UCS ile  $E_i$  arasında belirlenen en iyi ilişkiler.

$$E_i = -0.0007(UCS)^2 + 0.5895(UCS) \quad r=850 \quad (4.1a)$$

$$E_i = (UCS)^{0.85} \quad (4.1a)$$

Burada UCS: tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa) ve  $E_i$ : elastisite modülü (GPa)'dır.

#### 4.1.2 Bu çalışmada belirlenen ve literatürde sunulan bazı ilişkilerin kestirim performanslarının değerlendirilmesi

Tez çalışmasına konu alan üç proje kapsamında yapılan jeoteknik sondajlarda kesilen karot örnekler üzerinde gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalardan sağlanan tek eksenli sıkışma dayanımı, birim hacim ağırlık ve elastisite modülü deney verilerini içeren ve yukarıda alternatif ampirik ilişkilerin araştırılmasında kullanılan 98 adet veri seti kullanılarak, yeni alternatif ilişkilerin yanı sıra Çizelge 4.1'de sıralanan ampirik ilişkilerin kestirim performansları çapraz korelasyonlar ve % hata grafikleriyle değerlendirilmiştir. Model\_5 Sönmez et al. [20] tarafından yapılan çalışmada ANN tabanlı bir grafiksel sunum olup, bu grafiksel sunumdan birim hacim ağırlık ve tek eksenli sıkışma dayanımı



değerleri kullanılarak  $E_i$  değeri okunabilmektedir. Tez çalışmasında derlenen verilerin bu grafiksel sunum üzerindeki yerleri Şekil 4.8’de görülmekte olup, y ekseninden okunan  $E_i$  değerleri tahmin performans değerlendirmelerinde kullanılmıştır.

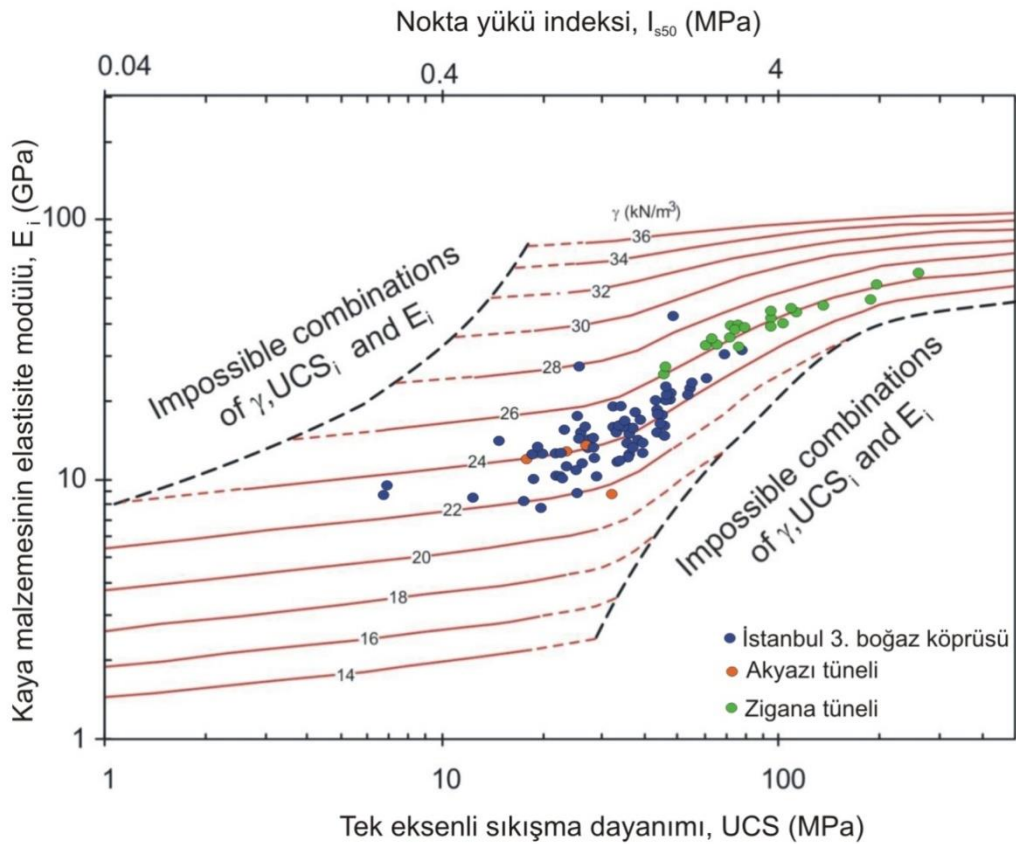
Çizelge 4.1. Performans analizlerinde dikkate alınan  $E_i$ ’nin kestirimine yönelik ilişkiler.

Model No	Ampirik ilişki	Kaynak
Model_1a	$E_i = -0.0007(UCS)^2 + 0.5895(UCS)$	Bu çalışma
Model_1b	$E_i = UCS^{0.85}$	
Model_2	$BP_2 = UCS \times 0,0138 \exp(0,2708\gamma)$ $E_i = 0,7605 BP_2^{0,6007}$	Sönmez vd. [9]
Model_3	$E_i = 0.3031 * UCS^{1.0157}$	
Model_4	$E_i = 0,05 \frac{UCS^{0,61} \exp(0,17\gamma)}{m_i^{0,2}}$	
Model_5	ANN tabanlı $E_i = f(\gamma, UCS)$ grafiği (Şekil 4.3)	Sönmez vd. [20]
Model_6	$E_i = 0.1888(UCS) + 30.234$	Basu vd. [25]
Model_7a	$E_i = 1.1329(UCS)^{0.5761}$	Ocak [26]
Model_7b	$E_i = 0.4(UCS)^{0.854}$	Ocak [26]
Model_8	$E_i = 452(UCS)$	Karagianni vd. [27]
Model_9	$E_i = 0.3274(UCS)$	Khazaei vd. [28]

Değerlendirmesi yapılan tüm modellerin performans değerlendirme grafikleri Şekil 4.4’den Şekil 4.14’e kadar sunulmuştur.

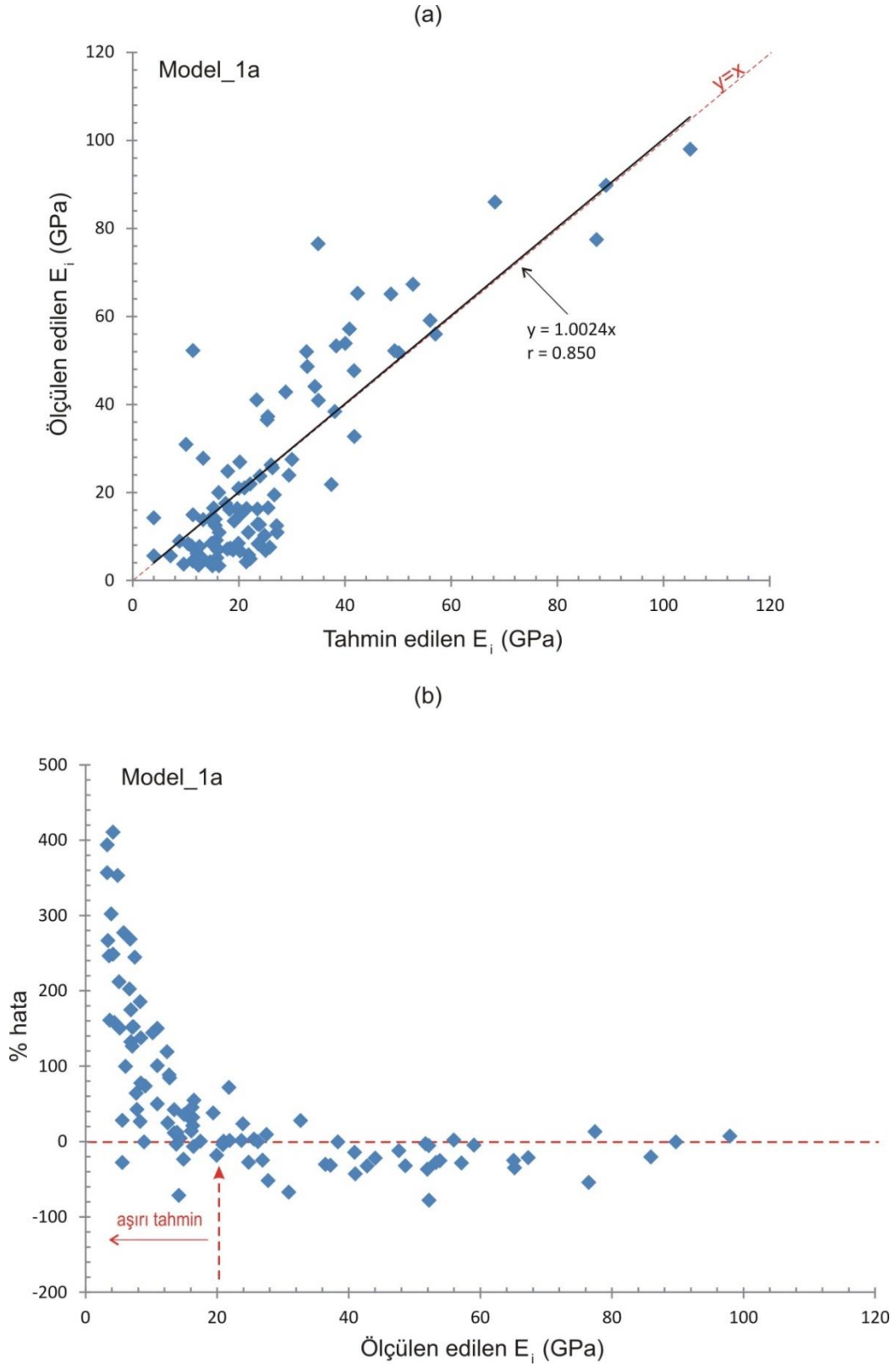
Performans değerlendirmelerine bakıldığında doğal olarak kendi verisi ile üretilmesi nedeniyle Model\_1a ve Model\_1b en iyi tahmin performansına sahipken, diğer modellerin içerisinde daha iyi olmakla

birlikte Model\_2 nispeten yüksek tahminler, buna karşın farklı büyüklüklerde olmak üzere diğer modeller ise genellikle düşük tahminler üretmektedir. % hata grafiklerinden de görüleceği üzere elastisite modülünün 20 GPa ile bazı modellerde 40 GPa'nın altındaki değerlerinde oldukça yüksek aşırı tahminler elde edilebilmektedir. Bu duruma ilişkin olarak veri kalitesindeki olası sorunların yanı sıra, tüm sonuçların tüf, aglomera ve andezit karotlarından elde edilmesiyle birlikte değerlendirildiğinde hacimsel blok oranı değerlerinin de bu hatalarda rolünün olabileceği söylenebilir.

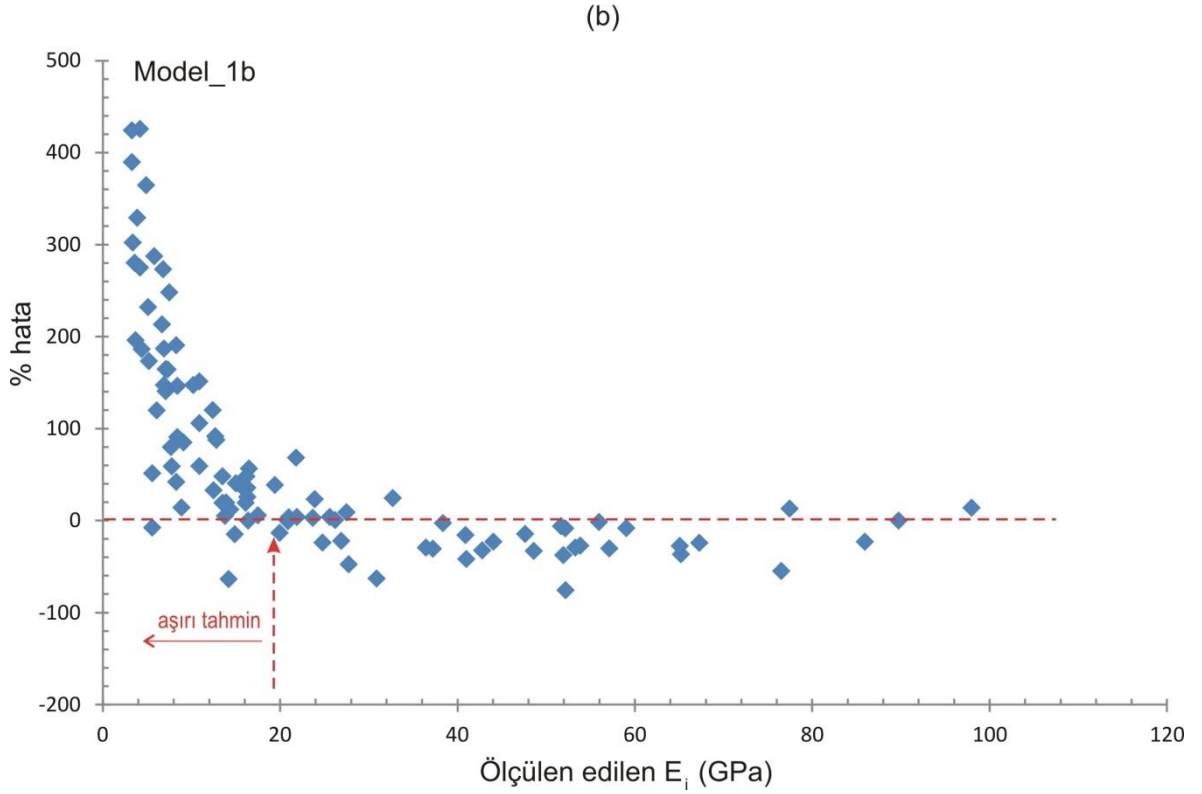
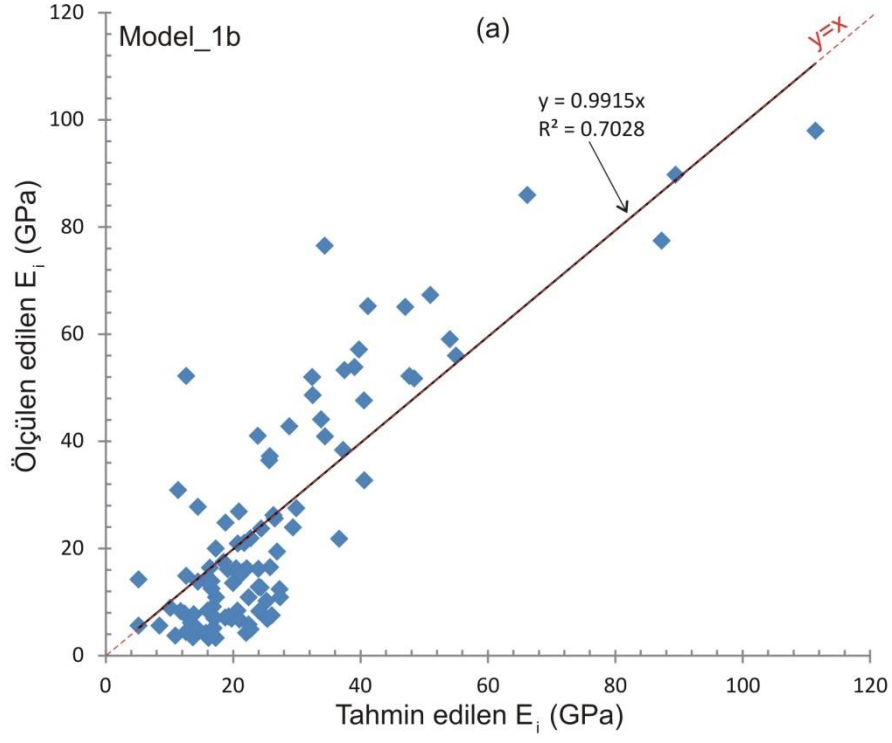


Şekil 4.3. Sönmez et al. [20] tarafından ANN tabanlı kaya malzemesinin elastisite modülünün tahmin abacı ve tez çalışmasında derlenen verilerin abak üzerindeki dağılımı.

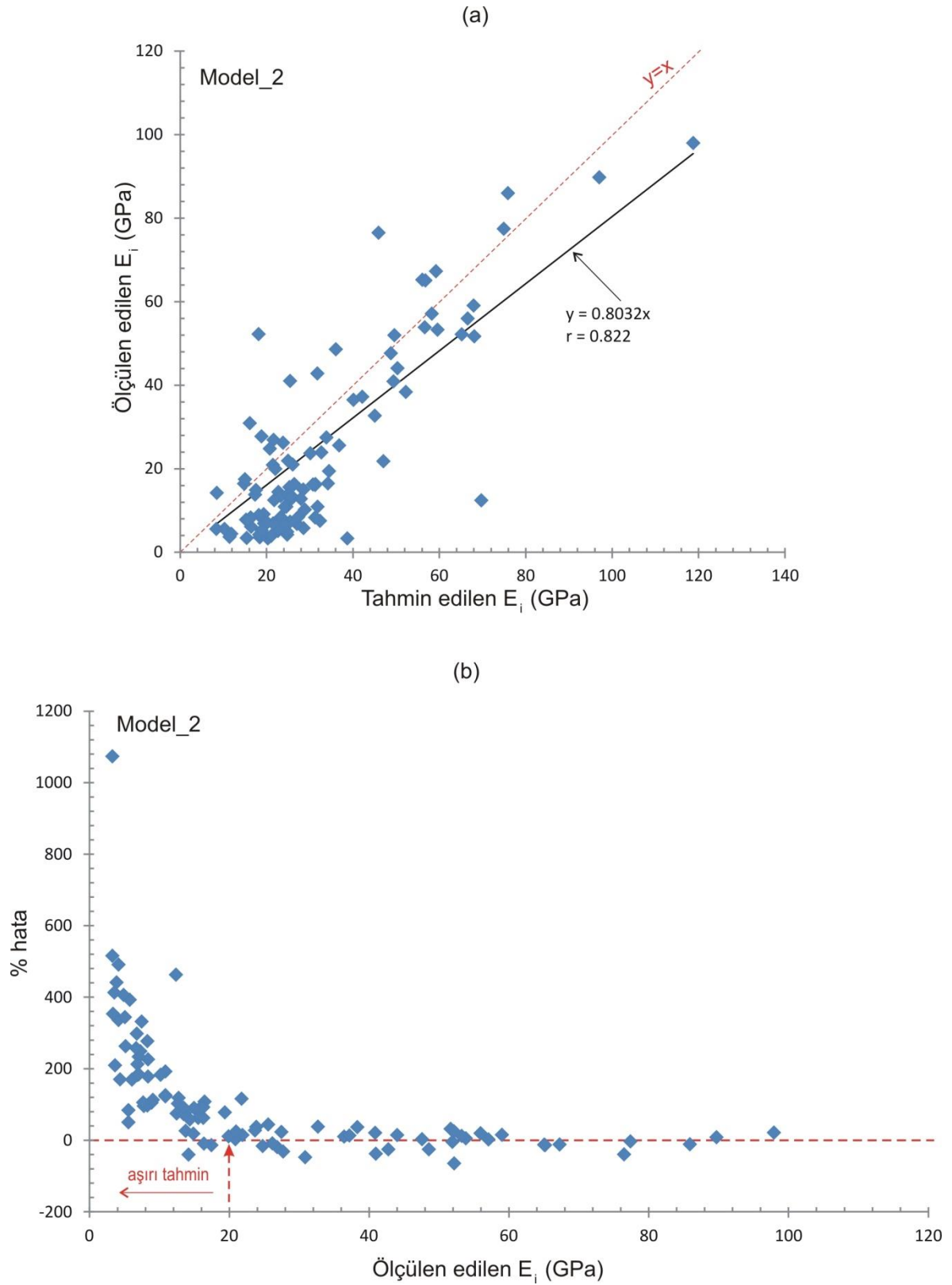
Diğer taraftan verilerin dağılımına bakıldığında "S" şekilli ilişkilerin araştırılması durumunda tahmin performansının özellikle düşük  $E_i$  değerleri için bir miktar artabileceği söylenebilir.



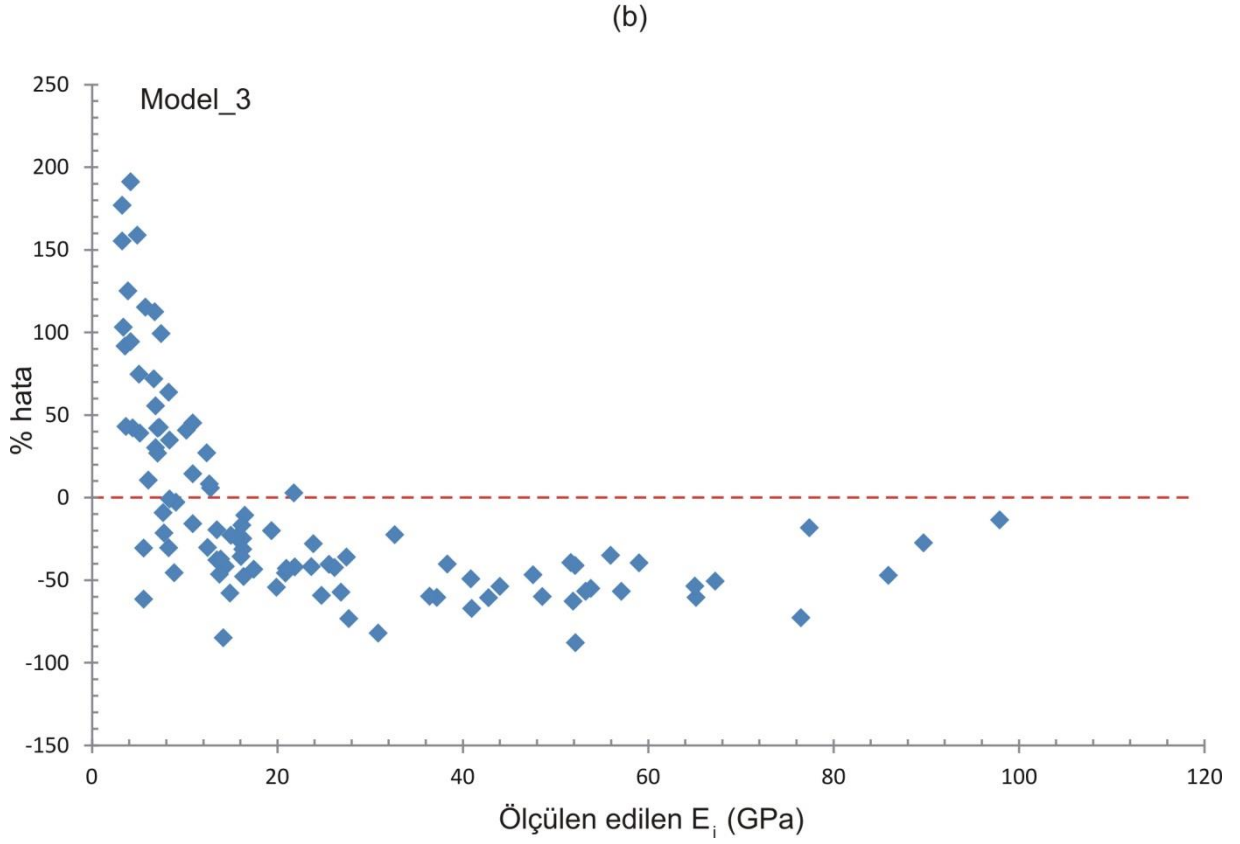
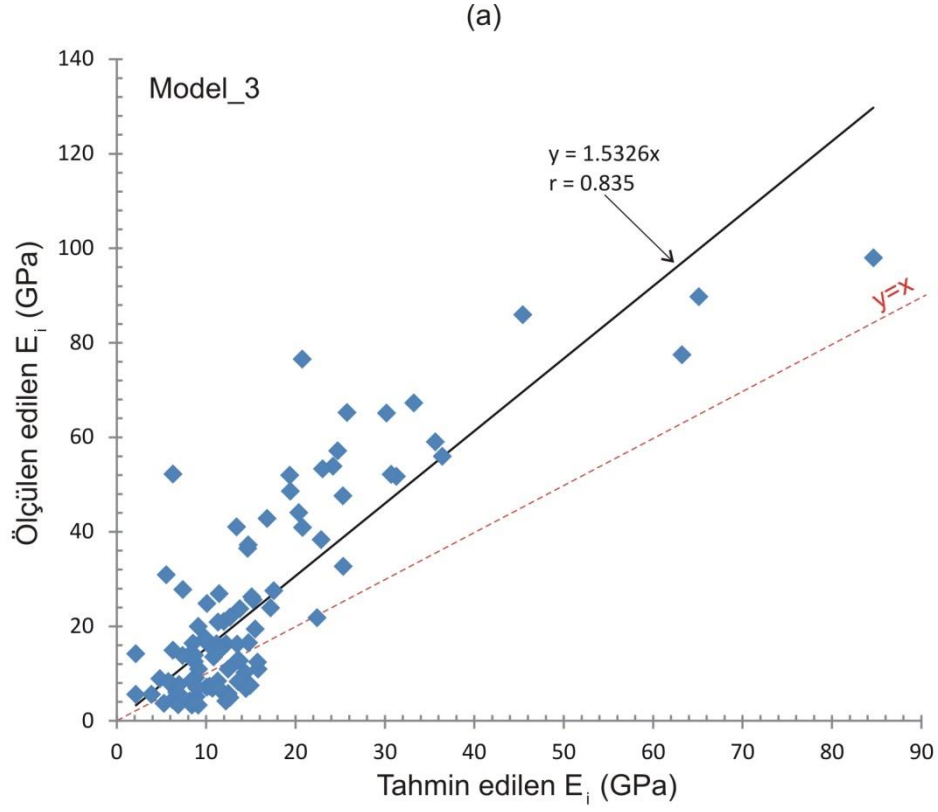
Şekil 4.4. Model\_1a'nın performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.



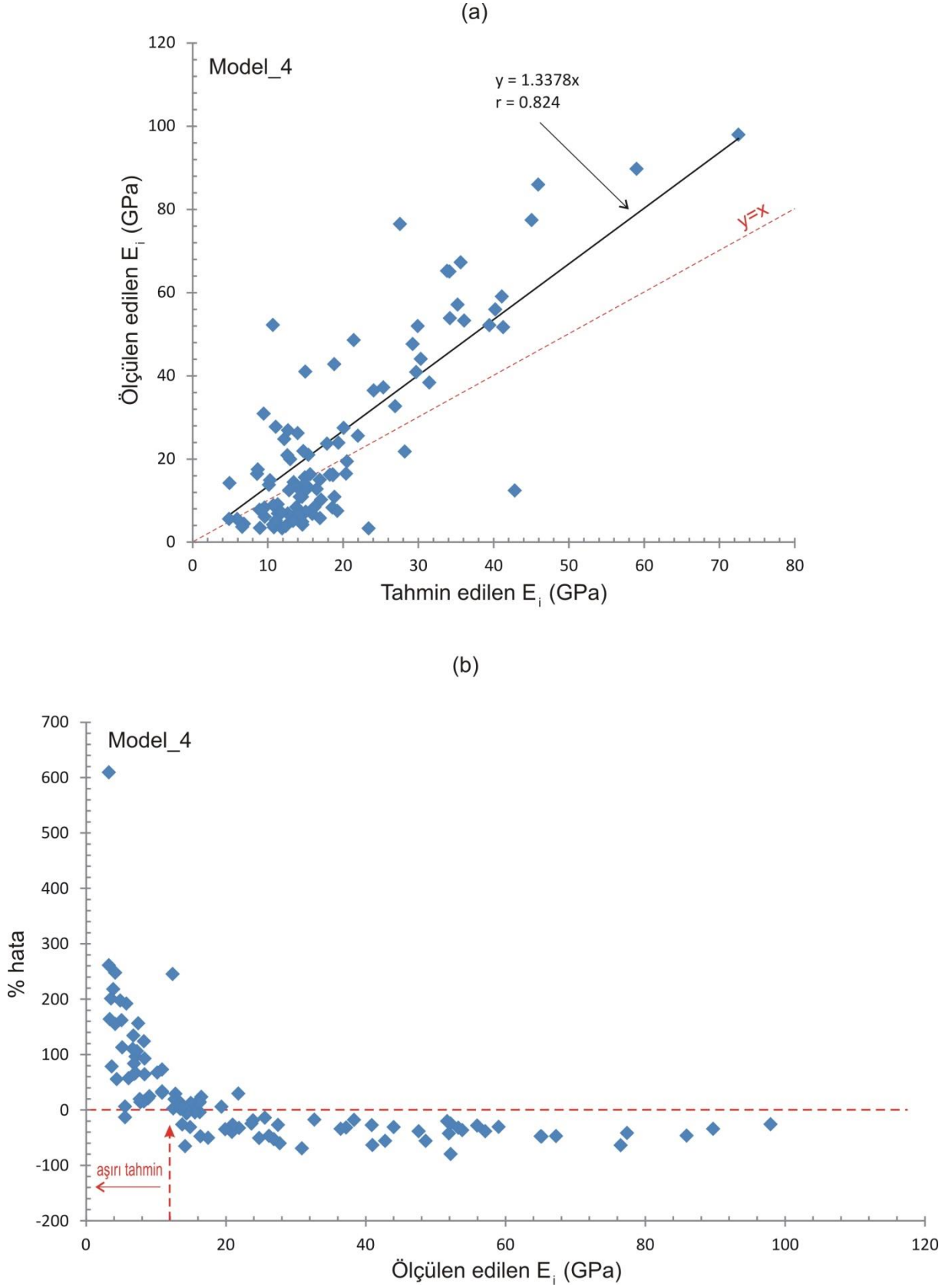
Şekil 4.5. Model\_1b'nin performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.



Şekil 4.6. Model\_2'nin performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.

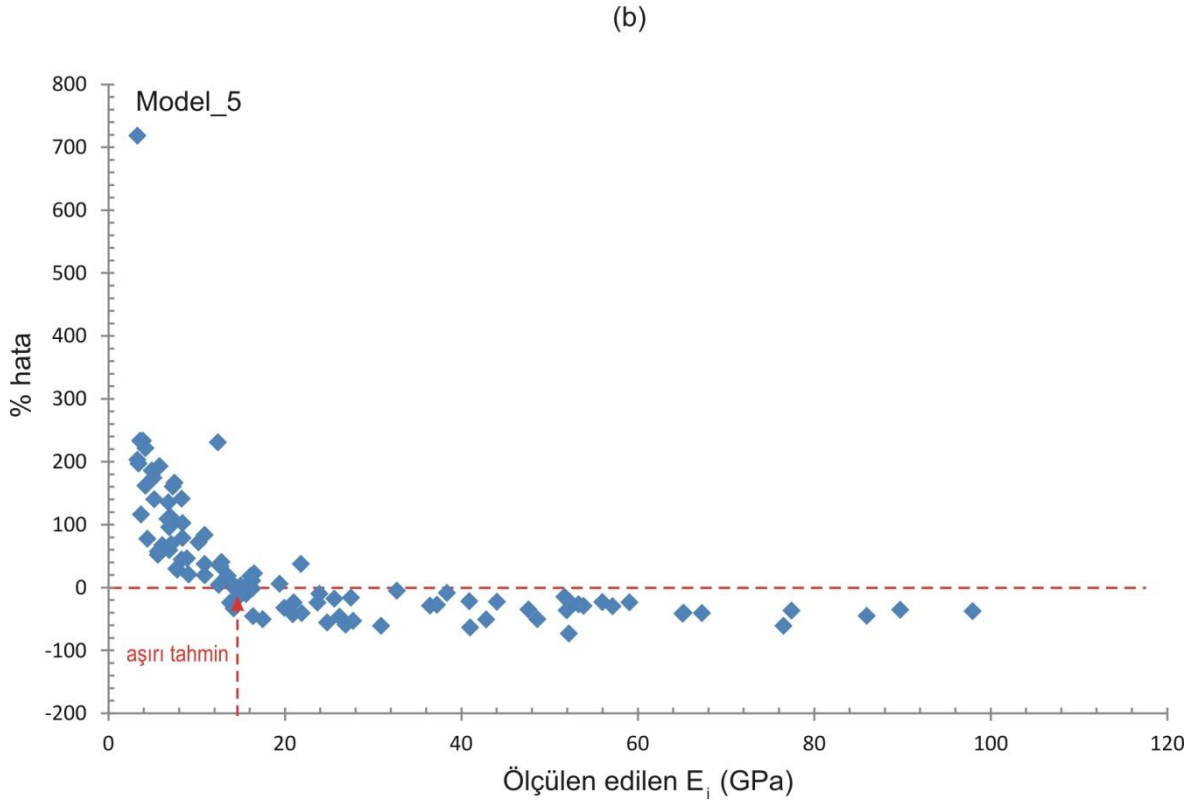
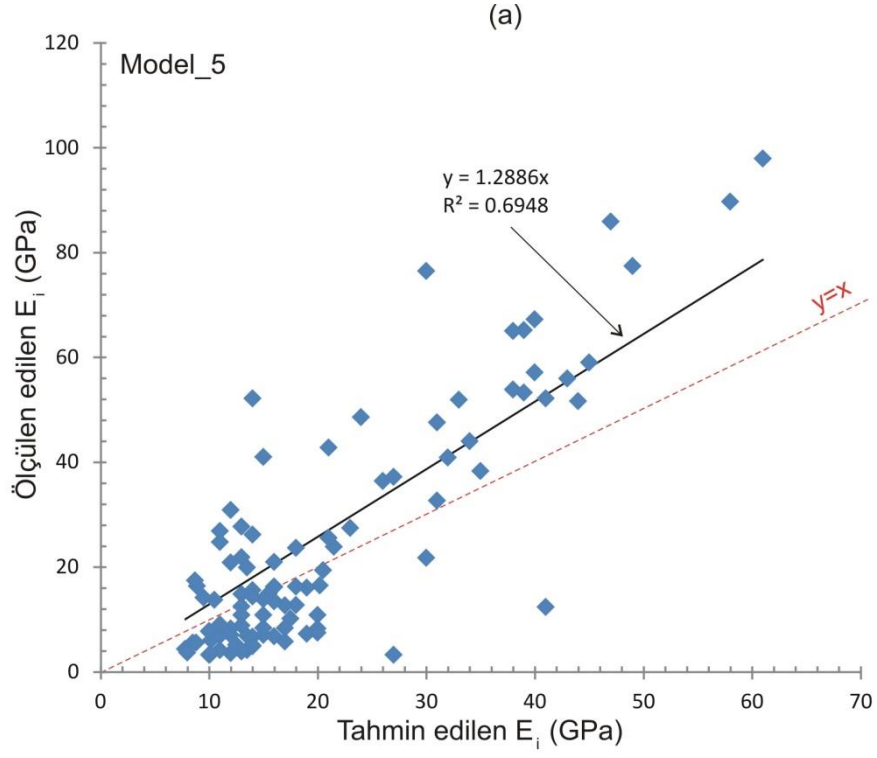


Şekil 4.7. Model\_3'ün performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.

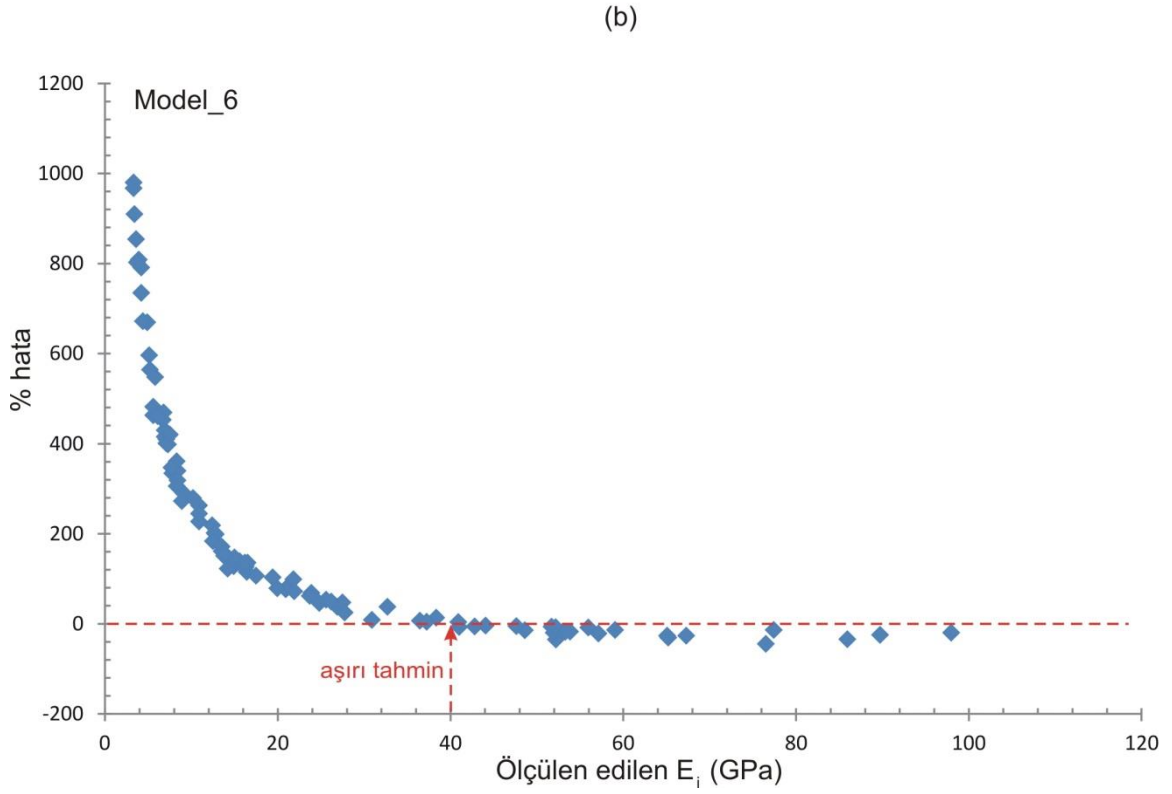
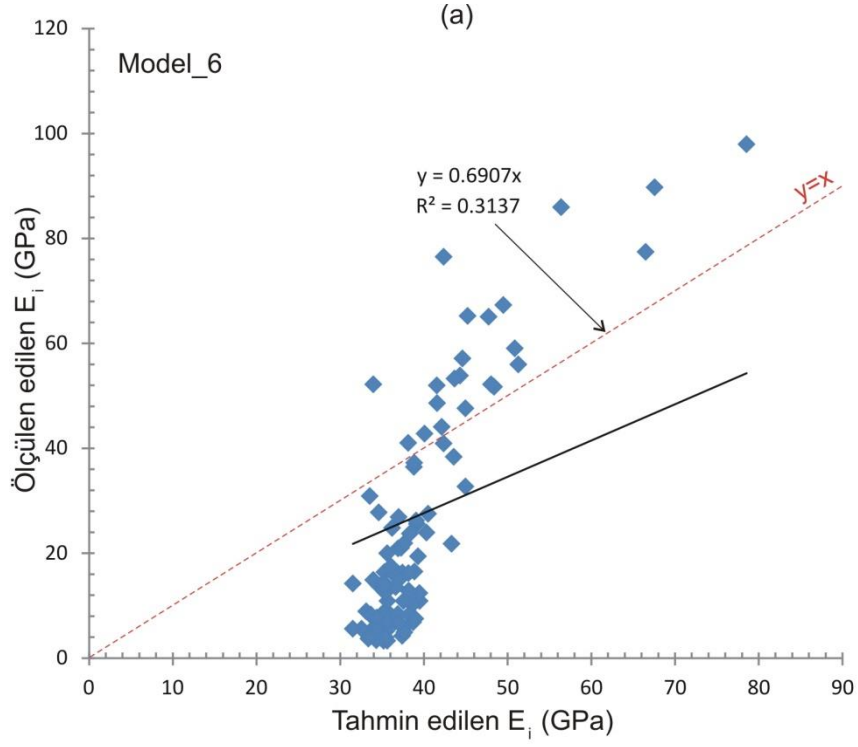


Şekil 4.8. Model\_4'ün performans değerlendirilmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.

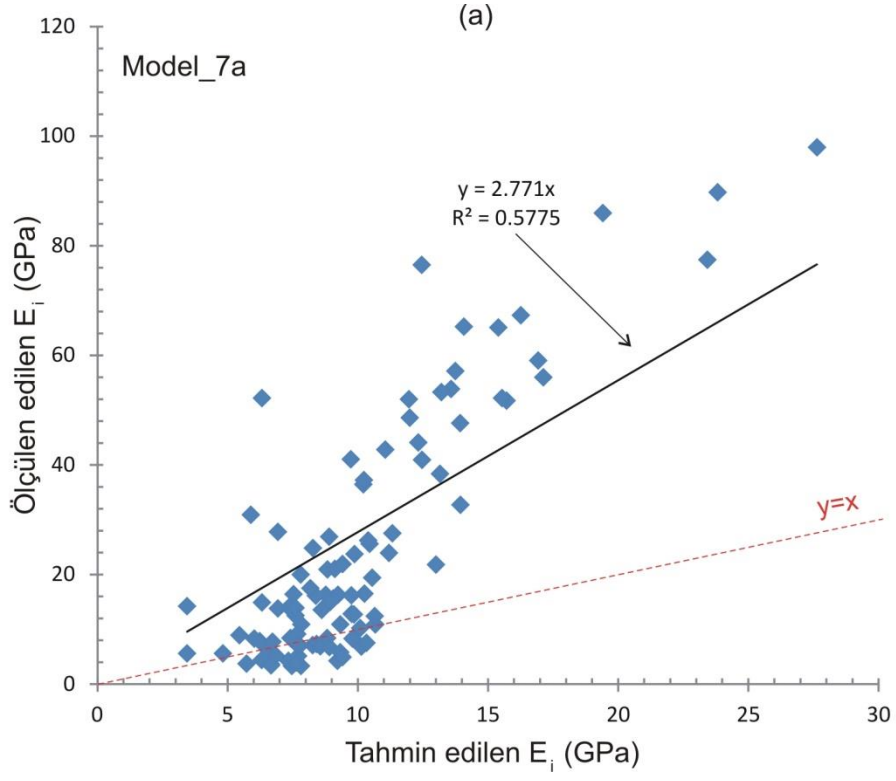




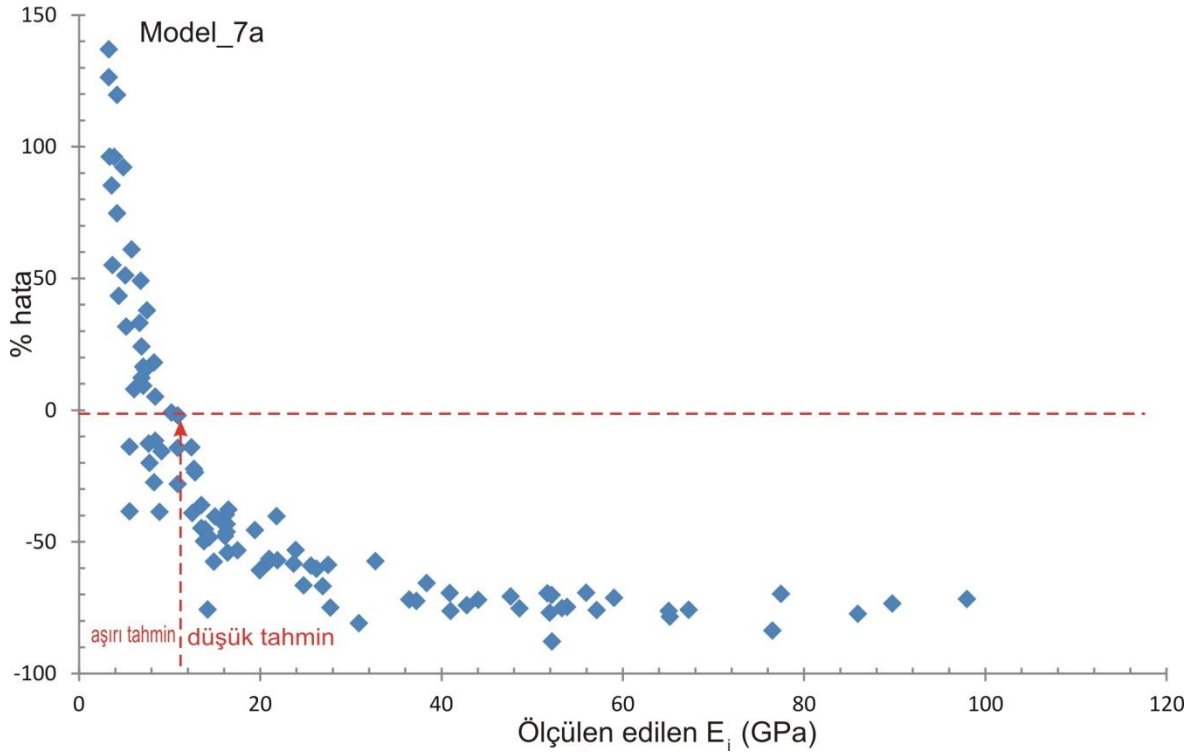
Şekil 4.9. Model\_5'in performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.



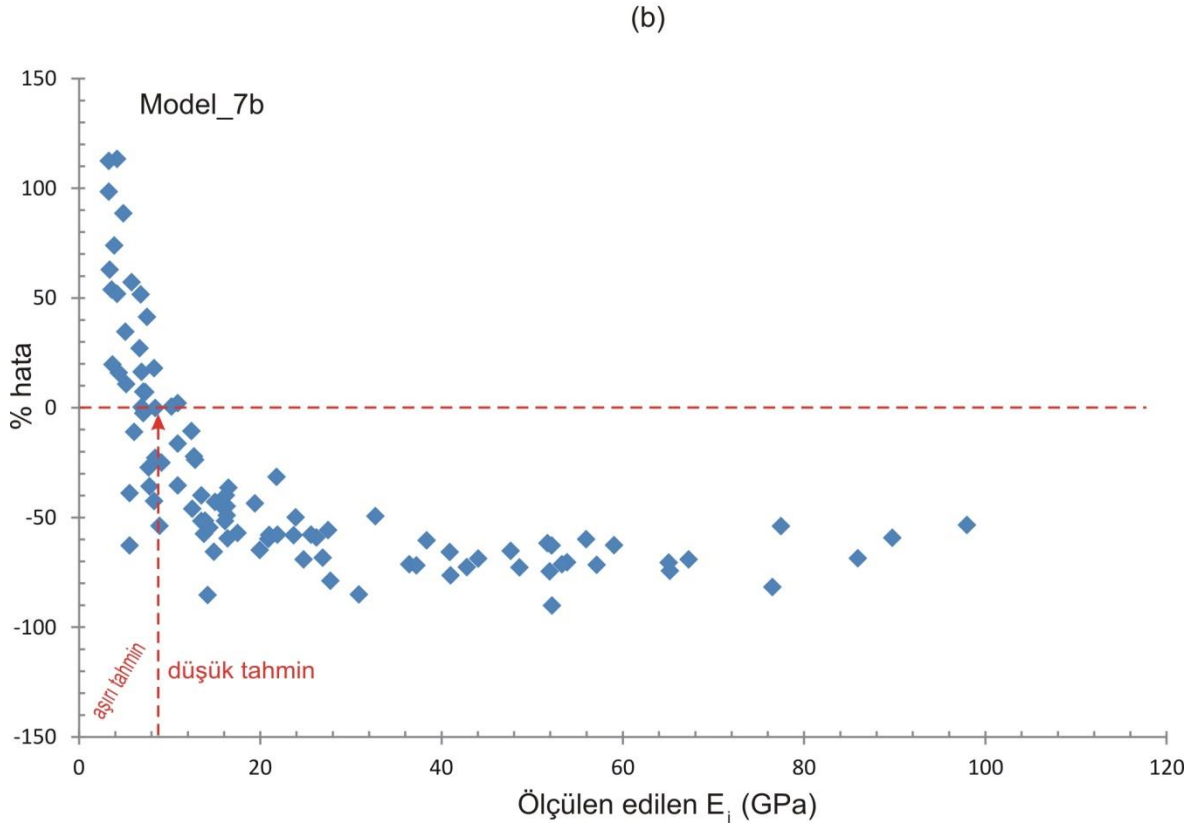
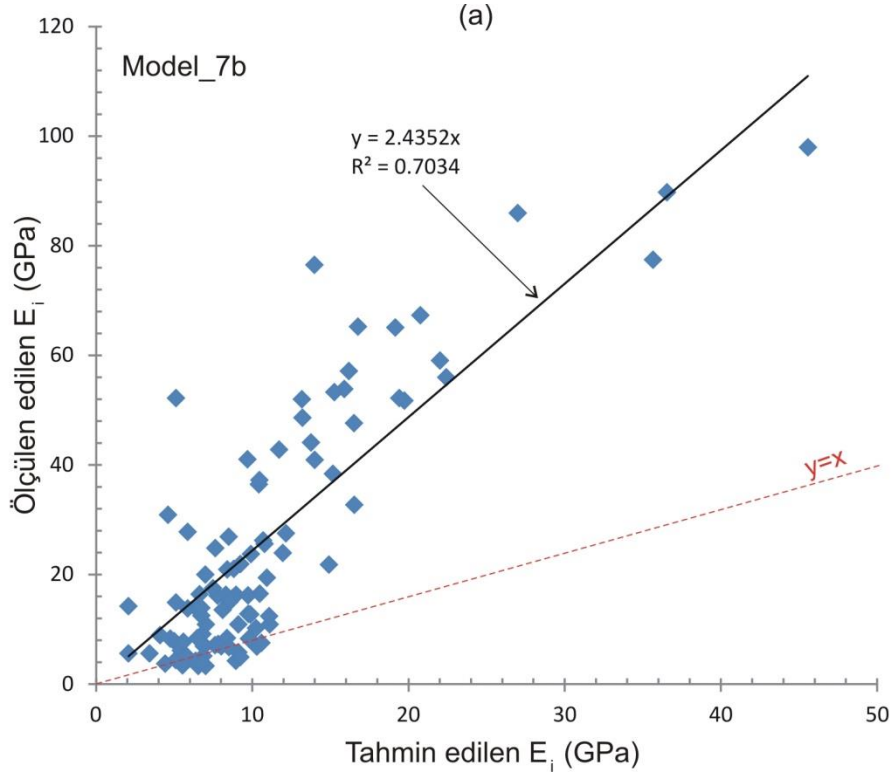
Şekil 4.10. Model\_6'nın performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.



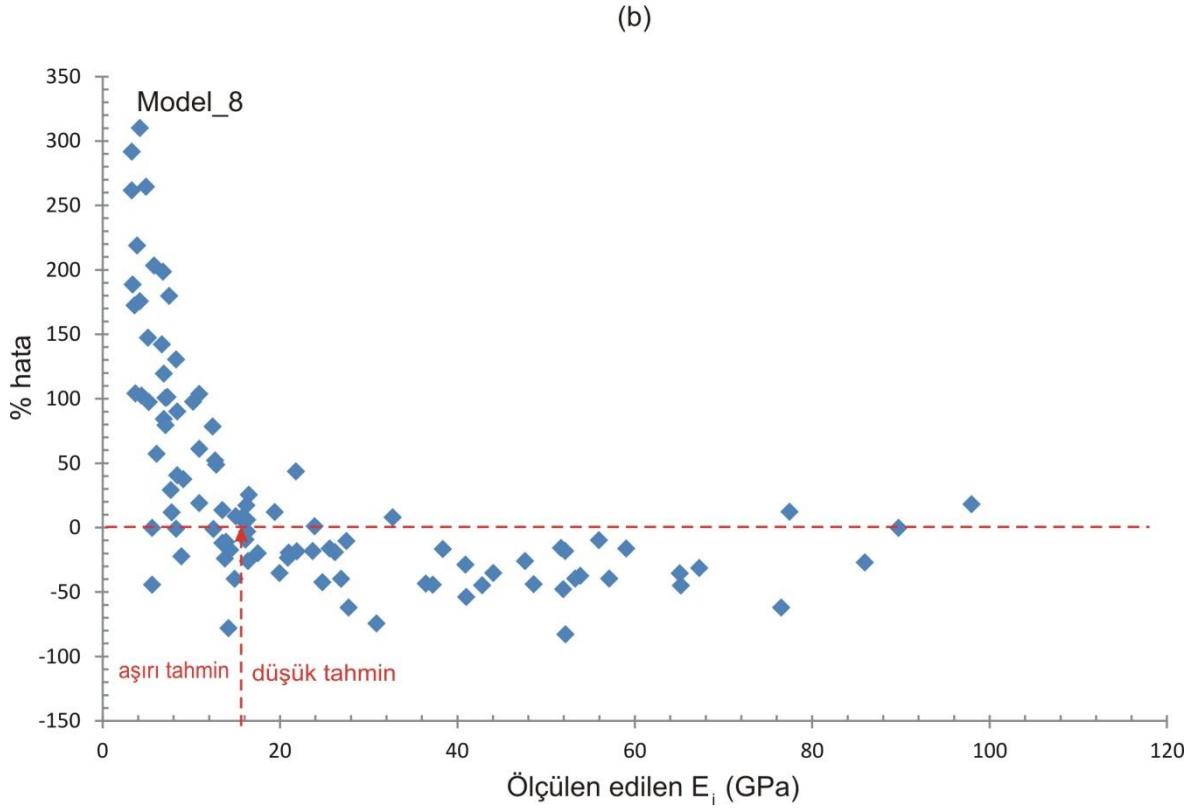
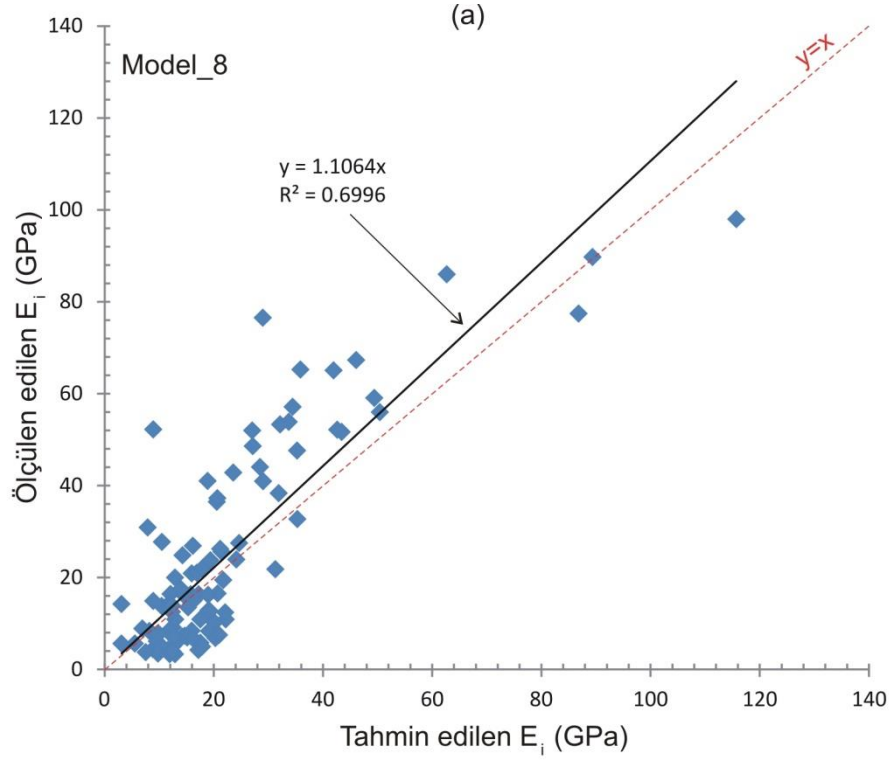
(b)



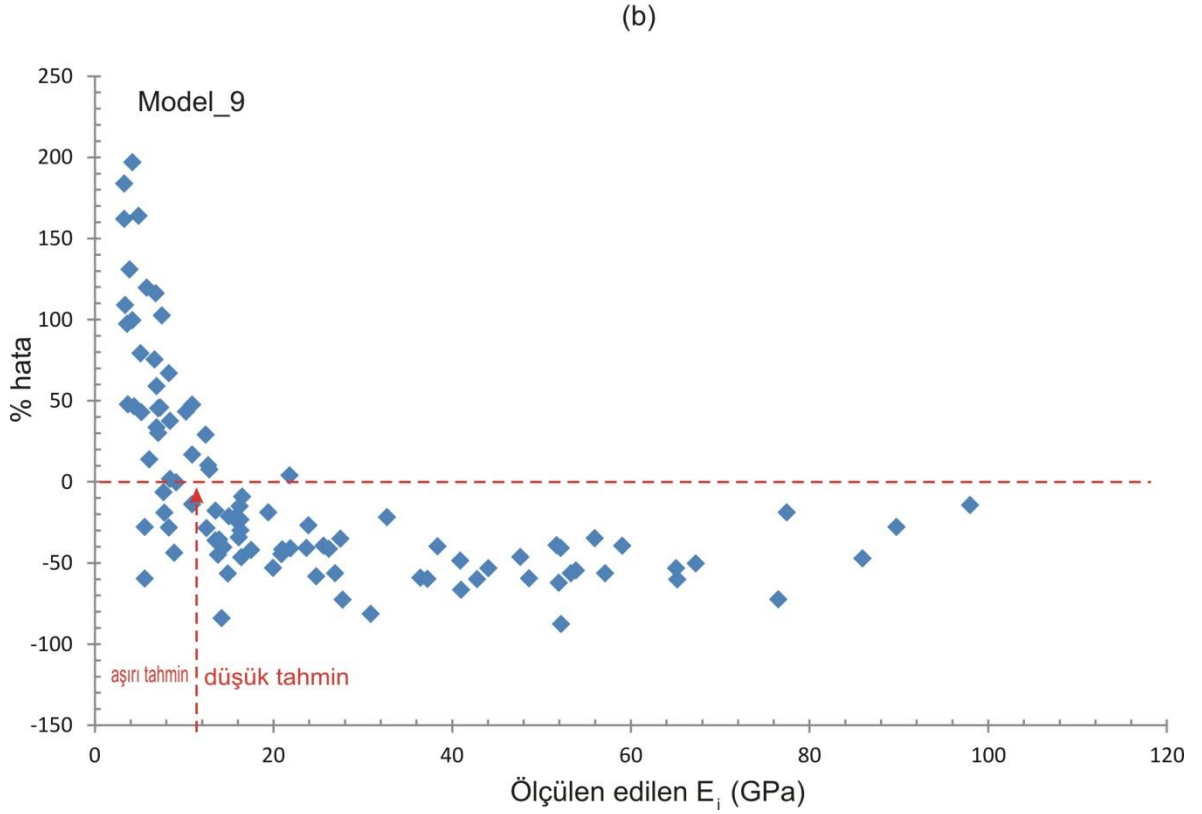
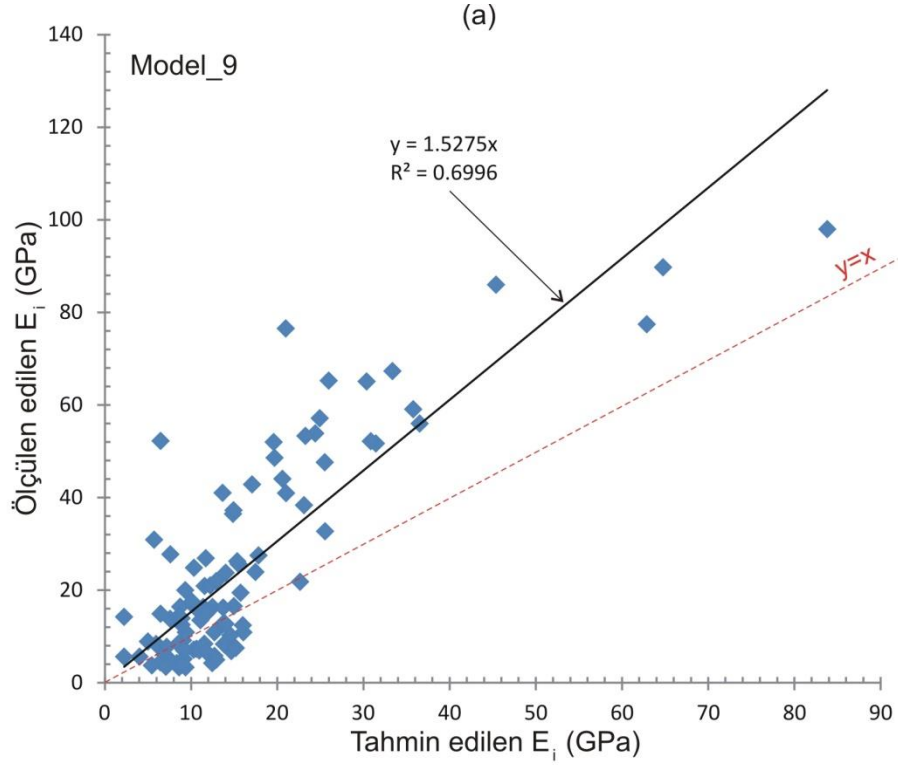
Şekil 4.11. Model\_7a'nın performans değerlendirilmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.



Şekil 4.12. Model\_7b'nin performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.



Şekil 4.13. Model\_8'in performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.



Şekil 4.14. Model\_9'un performans değerlendirmesi (a) çapraz korelasyon ve (b) % hata grafikleri.

## 4.2 Aglomera Kaya Kütlesinin Deformasyon Modülünün Kestirimine Yönelik Değerlendirmeler

Kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özellikleri süreksizlikleri de içerebilecek boyutlarda örnek alınmasındaki güçlükler ve ayrıca özel teçhizatlarla alınsa dahi deneylerin yapılabileceği laboratuvar düzeneklerinin her yerde bulunmaması nedeniyle, bu amaçla ampirik yaklaşımların kullanılması çok popüler araştırma konularından biri olmuştur. Konuyla ilgili literatürde kaya kütlesinin deformasyon modülünün kestirimine yönelik çalışmalarda sıkça yer verilen ampirik eşitlikler Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Kaya kütlesinin deformasyon modülün tahminine yönelik geliştirilmiş olan ampirik ilişkiler [1].

Kaynak	Kullanılan Parametreler	Ampirik İlişki	E <sub>kütle</sub> 'nin Birimi
Bieniawski (1978)	RMR	$E_m = 2RMR - 100$ (RMR > 50)	GPa
Serafim ve Pereira (1983)	RMR	$E_m = 10^{(RMR-10)/40}$ (RMR ≤ 50)	GPa
Nicholson ve Bieniawski (1990)	RMR, E <sub>i</sub>	$E_m = E_i(0.0028RMR^2 + 0.9\exp(RMR/22.82))$	GPa
Kayabaşı vd. (2003)	RMR, E <sub>i</sub> , WD	$E_m = 0.135 \left[ \frac{E_i(1+RQD/100)}{WD} \right]^{1.1811}$	GPa
Gökçeoğlu vd (2003)	RMR, E <sub>i</sub> , WD, σ <sub>ci</sub>	$E_m = 0.001 \left[ \frac{(E_i/\sigma_{ci})(1+RQD/100)}{WD} \right]^{1.5528}$	GPa
Sönmez vd. (2004a)	E <sub>i</sub> , s, a	$E_m = E_i(s^a)^{0.4}$	GPa
Hoek ve Diederichs (2006)	GSI, D	$E_m = 100000 \left[ \frac{1-(D/2)}{1+e^{(75+25D-GSI/11)}} \right]$	MPa
Hoek ve Diederichs (2006)	E <sub>i</sub> , GSI, D	$E_m = E_i \left[ \frac{1-(D/2)}{1+e^{(60+15D-GSI/11)}} \right]$	GPa
Sönmez vd. (2004b)	E <sub>i</sub> , RMR	$E_m = E_i 10^{(((RMR-100)(100-RMR)/4000 \exp(-RMR/100))]}$	GPa

Tez çalışması kapsamında İstanbul 3. Boğaz köprüsü, Akyazı ve Zigana tünel inşaatlarına yönelik aglomera kaya kütleleri içerisinde açılan jeoteknik sondaj çalışmaları ve dilatometre deneyi verileri derlenmiştir. Bu verilerde dilatometre yapılan seviyelerdeki RQD ve kütle deformasyon modülü ( $E_{k\ddot{u}tle}$ ) değerlerine yer verilirken, karot sandıklarının fotoğraflarından belirlenemediği için süreksizlik özelliklerine ilişkin tanımlamalara yer verilememiştir. Diğer taraftan karot sandıklarının fotoğraflarından bazı dilatometre seviyelerindeki çizgisel hat boyunca blok oranları da belirlenmiş olup, bu seviyelerde veya yakın konumlu karot örneklerine ait elastisite modülü ( $E_i$ ) ve tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) verisinin olması durumunda bu verilere de yer verilmiştir.

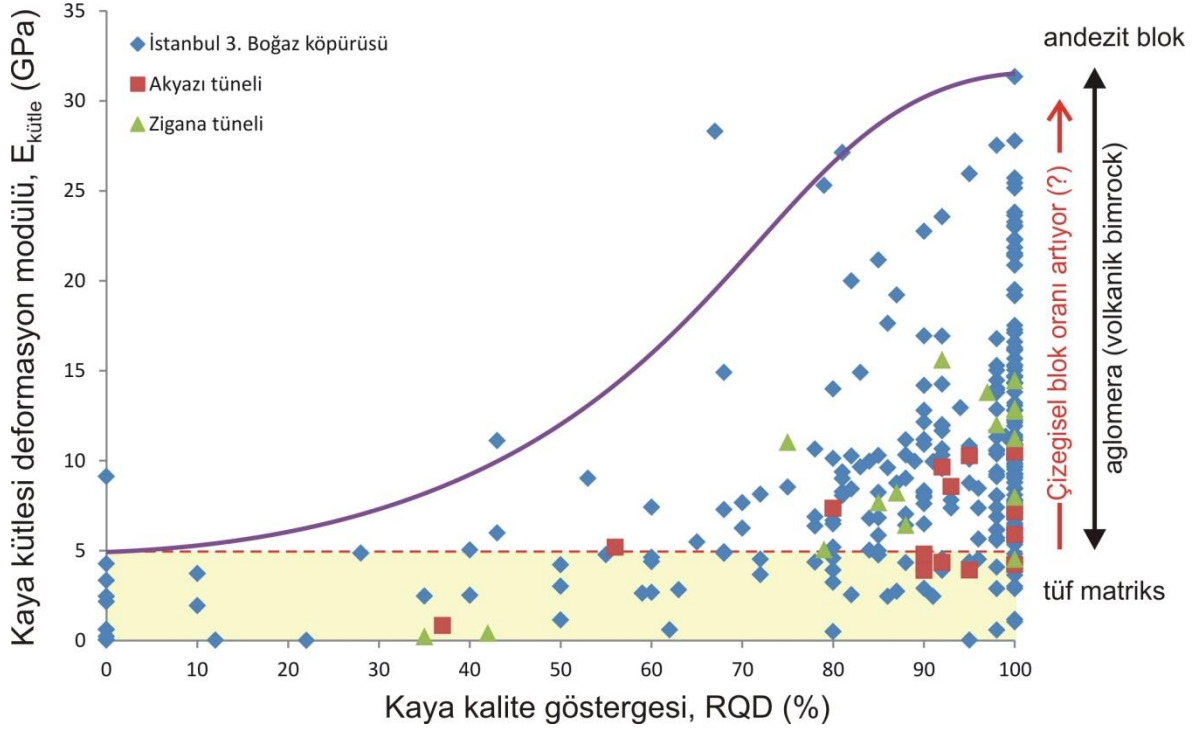
Yukarıdaki açıklamalardan da görüleceği üzere mevcut veri tabanı ile birlikte Çizelge 4.2’de yer verilen ampirik ilişkilerin kütle deformasyon modülünün kestirimine yönelik kullanımı mümkün olamamıştır.

Aglomera kaya kütlelerine ait verilerin RQD’ye karşılık kütle deformasyon modülüne grafiğindeki dağılımı Şekil 4.15’de görülmektedir. Grafikselle sunumda 5 GPa’dan düşük deformasyon modülü değerleri RQD’nin %0 değerinden %100’e kadar uzanan bir zon boyunca genellikle tüf matrisi temsil etmektedir. Buna karşın yine %0’dan %100’e doğru üst sınır ve altındaki veriler ise genişleyen bir zon kaplamaktadır. Verilere ait istatistiksel değerlendirme çizelgelerinden de görüleceği üzere verilerin ortalama RQD’si %85’in üzerinde olup, bu nedenle,  $E_{k\ddot{u}tle}$ ’nin RQD=%100 sınırındaki geniş yayılımın bir sebebinin hacimsel blok oranı olması muhtemeldir. Bu nedenle sayısal bir ölçüleme yapılmamakla birlikte RQD=%100 sınırına yaklaşırken hacimsel blok oranının artmasının da veri dağılımının geniş bir  $E_i$  aralığında olmasında katkısı olabilir (Şekil 4.15).

Tezin 3. Bölümünde de sunulduğu üzere çizgisel blok oranı belirlemelerinde blokların gözle ayırtılmasının mümkün olduğu dilatometre deney seviyelerine ait karot sandığı fotoğrafları üzerinden



çizgisel blok oranı (ÇBO) değerleri de belirlenmiş ayrıca bu seviyelere olabildiğince yakın karotların UCS ve  $E_i$  değerleri de dikkate alınmıştır. Çizgisel blok oranı (ÇBO) değerlerinin dikkate alındığı veri grubu Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Bu çalışmada derlenen verilerin RQD'ye karşılık kütle deformasyon modülü grafiğindeki dağılımı ve tüf matrisi, aglomera ve andezit blok malzemelerinin grafik üzerindeki yerleşimleri.

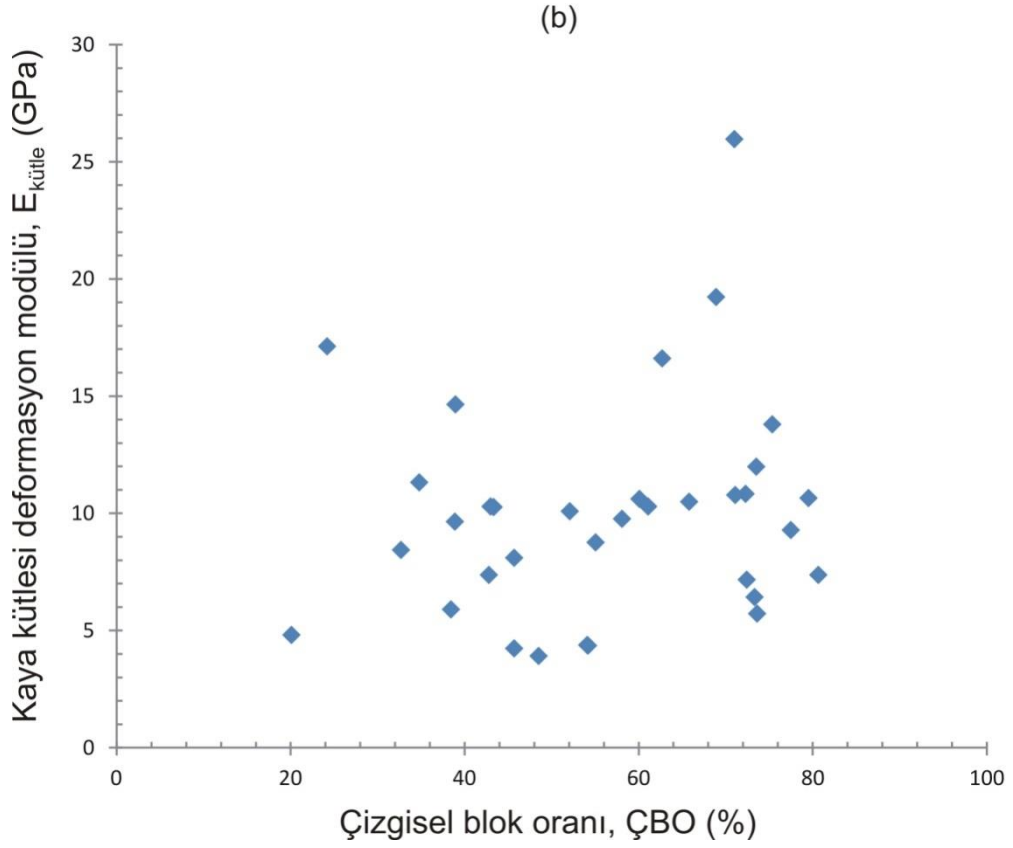
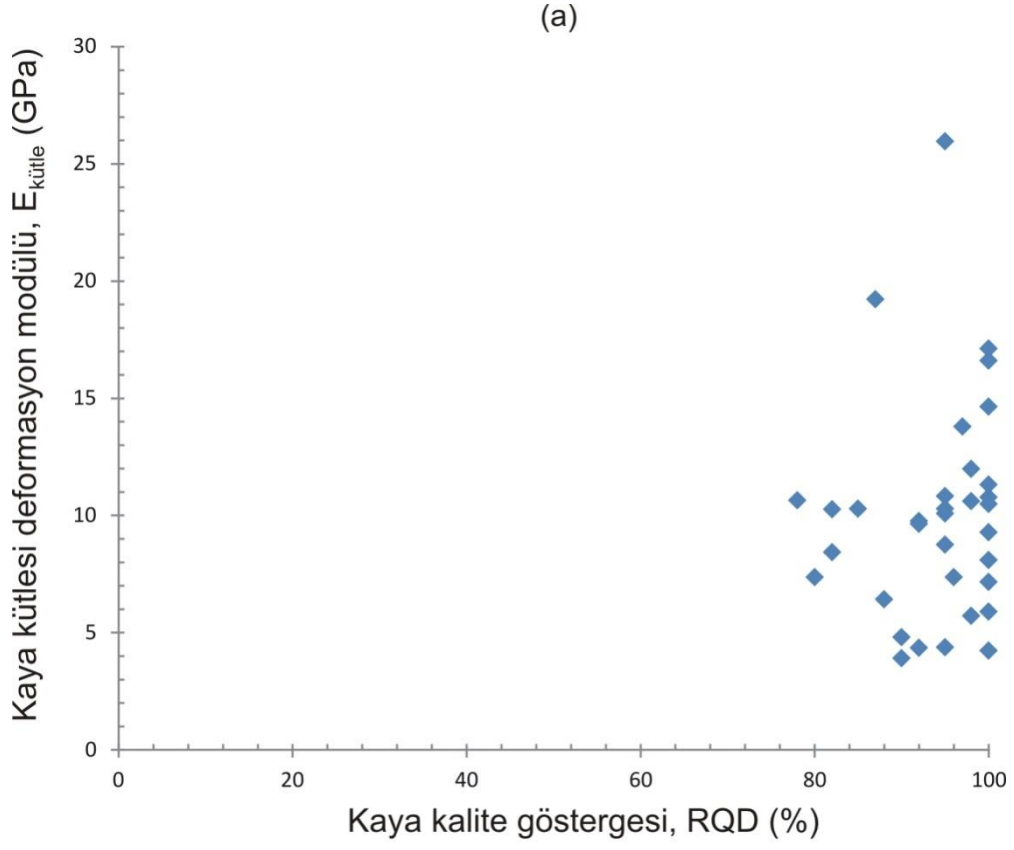
Çizelge 4.3'deki verilerin RQD'ye ve ÇBO'ya karşılık  $E_{kütle}$  grafikleri Şekil 4.16'de görülmektedir. Verilerin dağılımının her hangi anlamlı bir ilişki sunmadığı görülmektedir. İkinci aşamada ise  $E_{kütle}$  değerleri  $E_i$  parametresine bölünerek normalize edilmiş ve tekrar ÇBO'ya bağlı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.17).  $E_i$  değerleri için dilatometre deneyi seviyesindeki veya en yakınındaki örneğe ait değerler olup, bu aşamada  $E_i$  değerine sahip 12 verinin  $E_i$  ile normalize edildiğinde 1'den büyük olan değerler dikkate alınmadığı durumda veri sayısı 5'e düşmektedir. Bu verilerden dört tanesi nispeten anlamlı bir dizilim

sergilemekte olup, sadece bu dört veri için elde edilebilecek ilişki Şekil 4.18’de görülmektedir.

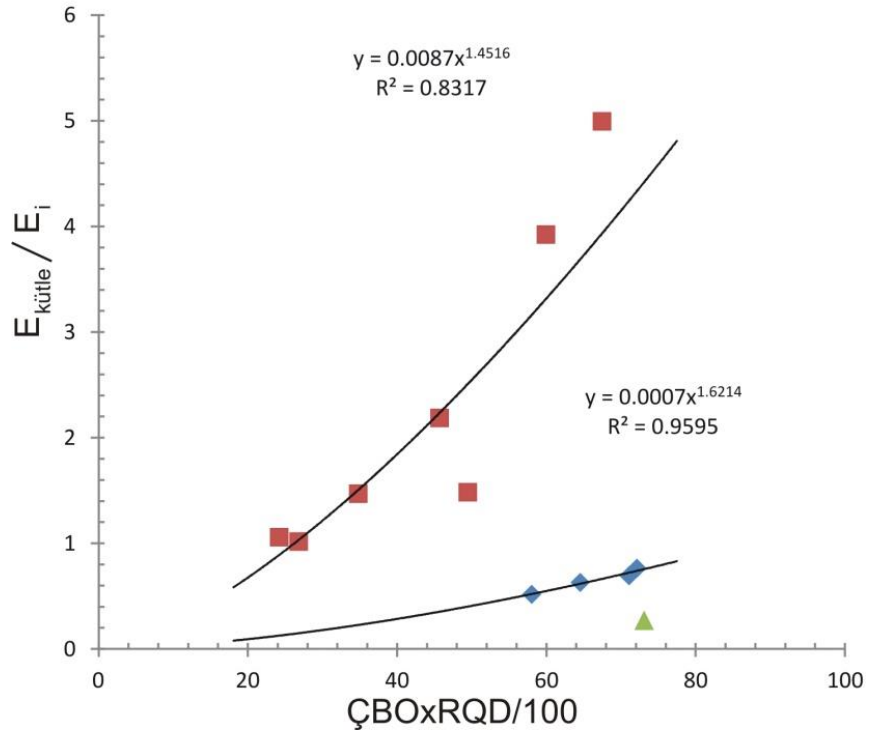
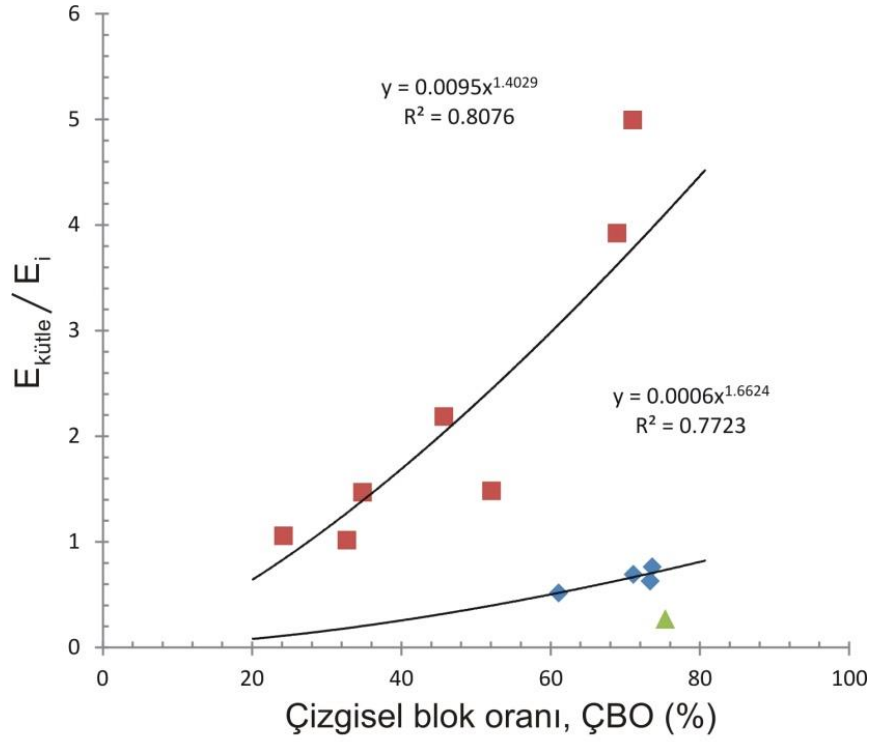
Çizelge 4.3. Çizgisel blok oranı değerlerinin de belirlendiği kütle deformasyon modülü verileri.

Kuyu No	Karot Aralığı (m)	Toplam Karot Uzunluğu (cm)	Toplam Blok Uzunluğu (cm)	Çizgisel Blok Oranı, ÇBO (%)	RQD (%)	(=ÇBO*RQD/100)	Ei (GPa)	Dilatometre Deney Derinliği (m)	Kütle Deformasyon Modülü, $E_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e}}$ (GPa)
3BK_C	55,00-55,80	80	62.0	77.5	100.0	77.5		55.0	9.3
3BK_D	35,00-36,00	100	72.3	72.3	95.0	68.7		35.0	10.8
	40,00-41,00	100	52.1	52.1	95.0	49.5	6.8	40.0	10.1
	44,95-46,00	105	83.5	79.5	78.0	62.0		45.0	10.6
	50,00-51,00	100	71.1	71.1	100.0	71.1	15.6	50.0	10.8
3BK_E	45,00-45,85	85	46.8	55.1	95.0	52.3		45.0	8.8
	49,95-50,85	90	39.0	43.3	82.0	35.5		50.0	10.3
	55,00-55,77	77	30.0	39.0	100.0	39.0		55.0	14.6
3BK_I	39,50-40,25	75	55.0	73.3	88.0	64.5	10.2	39.7	6.4
3BK_X	45,00-46,00	100	68.9	68.9	87.0	59.9	4.9	45.0	19.2
	48,00-49,00	100	62.7	62.7	100.0	62.7		48.0	16.6
3BK_7	20,00-21,00	100	24.2	24.2	100.0	24.2	16.2	20.0	17.1
3BK_13	55,00-56,00	100	32.7	32.7	82.0	26.8	8.3	55.0	8.4
	60,00-61,00	100	43.0	43.0	85.0	36.6		61.0	10.3
3BK_16	15,00-16,00	100	71.0	71.0	95.0	67.5	5.2	15.0	26.0
	39,00-40,00	100	34.8	34.8	100.0	34.8	7.7	39.0	11.3
	48,00-49,00	100	58.1	58.1	92.0	53.5		48.0	9.8
	72,00-73,05	105	77.3	73.6	98.0	72.1	7.5	72.0	5.7
3BK_19	49,65-50,65	100	60.1	60.1	98.0	58.9		49.7	10.6
	67,70-68,75	105	84.7	80.7	96.0	77.4		67.7	7.4
	70,70-71,70	100	45.7	45.7	100.0	45.7	3.7	70.7	8.1
	73,70-74,70	100	54.1	54.1	95.0	51.4		73.7	4.4
AkyazıSK8	70-71	100	42.8	42.8	80.0	34.2		70.0	7.4
	75-76	100	20.1	20.1	90.0	18.1		75.0	4.8
	80-81	100	48.5	48.5	90.0	43.7		80.0	3.9
	85-86	100	38.9	38.9	92.0	35.8		85.0	9.6
	90-90,62	62	40.8	65.8	100.0	65.8		90.0	10.5
	95-96	100	38.4	38.4	100.0	38.4		95.0	5.9
	100-101	100	45.7	45.7	100.0	45.7		100.0	4.2
	105-105,66	66	47.8	72.4	100.0	72.4		105.0	7.2
	110-111	100	54.2	54.2	92.0	49.9		110.0	4.4
115-116	100	61.1	61.1	95.0	58.0	20.0	115.0	10.3	
Zigana SK5	51,00-52,00	100	73.5	73.5	98.0	72.0		51.0	12.0
Zigana SK6	131-131,95	95	71.6	75.4	97.0	73.1	52.2	131.0	13.8

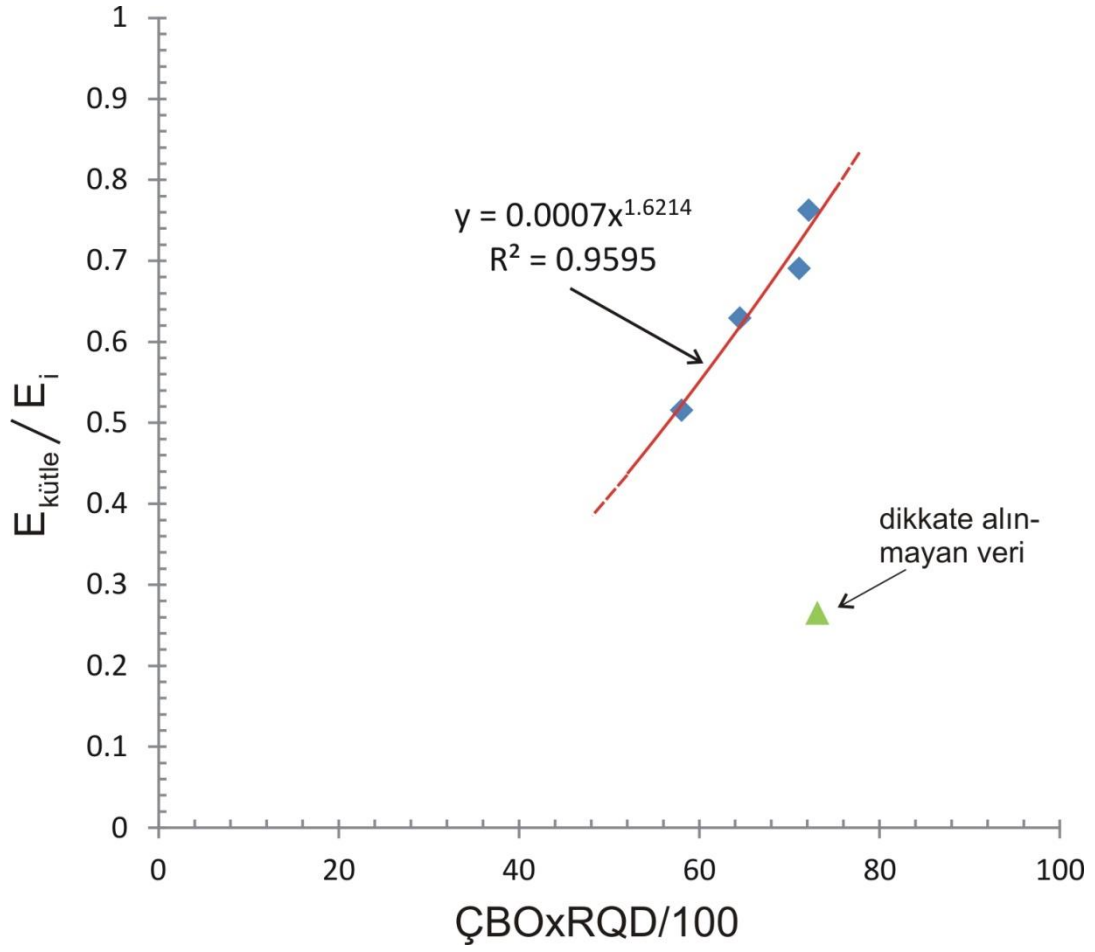
Burada sınırlı sayıda veriyle belirlenen bu ilişkiler genelleme yapılmaya yönelik algılanmamalıdır. Sonuç olarak, sınırlı sayıda veriyle yapılan değerlendirmelere göre jeoteknik sondajlara ait karotlarla belirlenen Çizgisel Blok Oranı (ÇBO) parametresinin kütle deformasyon modülünün belirlenmesine yönelik bir girdi parametresi olma potansiyele sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 4.16. Karot sandığı fotoğraflarından ÇBO değerleri belirlenen veri grubunun  $E_{küttele}$  ile (a) RQD ve (b) ÇBO grafiği üzerindeki dağılımları.



Şekil 4.17. Karot sandığı fotoğraflarından ÇBO değerleri belirlenen veri grubunun  $E_{\text{kütle}}/E_i$  ile (a) ÇBO ve (b)  $\text{ÇBO} \times \text{RQD}/100$  grafiği üzerindeki dağılımları ve belirlenen ilişkiler.



Şekil 4.18.  $E_{\text{kütle}}/E_i$  değeri 1'in altında olan verilerin  $\text{ÇBOxRQD}/100$  bağımlı değişenine göre değerlendirilmesi.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında aglomera kaya ortamında inşa edilen üç projeden sağlanan verilerin değerlendirilmesiyle, kaya malzemesi elastisite modülü ( $E_i$ ) ve kaya kütlesi deformasyon modülüne ( $E_{küt\le}$ ) yönelik iki veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı kullanılarak aglomeraların dayanım ve deformasyon davranışları değerlendirilmiş ve ayrıca literatürdeki bazı kestirim modelleriyle birlikte kestirime yönelik performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Ayrıca karot fotoğrafları üzerinde yapılan değerlendirmelerle bir grup veri setinin çizgisel blok oranları (ÇBO) da belirlenebilmiş olup, ÇBO parametresinin kütle deformasyon modülünün ( $E_{küt\le}$ ) belirlenmesine yönelik kullanılabilir potansiyeli açısından sınırlı sayıda veriyle bir değerlendirme de tezin son bölümünde sunulmuştur.

İlk aşamada jeoteknik sondajlar sırasında kesilen aglomera karot örneklerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen birim hacim ağırlık, tek eksenli sıkışma dayanımı (UCS) ve elastisite modülü ( $E_i$ ) verilerinin olduğu 103 veri seti derlenmiş ve bu veriler kullanılarak elastisite modülünün ( $E_i$ ) kestirimine yönelik ilişkiler araştırılmıştır.

Aglomera kaya malzemesinin elastisite modülünün ( $E_i$ ) kestirimine yönelik bu çalışmada belirlenen ilişkilerin (model\_1a ve model\_1b) yanı sıra literatürden alınan 8 modele ilişkin yapılan istatistiksel analizlerde UCS'nin bağımlı değişken kabul edildiği model\_1a ve model\_1b en iyi tahmin performansına sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak model\_1a ve model\_1b'ye yönelik bu değerlendirmenin ilişkinin geliştirilmesinde kullanılan verilerle yapılmasının da etkisi olduğu dikkate alınmalıdır. Literatürden ulaşılan diğer modellerin içerisinde daha iyi olmakla birlikte Model\_2 nispeten yüksek tahminler, buna karşın farklı büyüklüklerde olmak üzere diğer modeller ise genellikle düşük tahminler üretmektedir. % hata grafiklerinden de görüleceği üzere elastisite modülünün 20 GPa ile bazı modellerde 40 GPa'nın altındaki değerlerinde oldukça yüksek

aşırı tahminler elde edilebilmektedir. Bu duruma ilişkin olarak veri kalitesindeki olası sorunların yanı sıra, tüm sonuçların tuf, aglomera ve andezit karotlarından elde edilmesiyle birlikte değerlendirildiğinde hacimsel blok oranı değerlerinin de bu hatalarda rolünün olabileceği söylenebilir.

Mevcut verilerin dağılımına bakıldığında "S" şekilli ilişkilerin araştırılması durumunda tahmin performansının özellikle düşük  $E_i$  değerleri için bir miktar artabileceği söylenebilir.

Aglomera örneklerinin kütle deformasyon modülü açısından yapılan değerlendirmelerde 307 adet dilatometre verisinden çizgisel blok oranının belirlenebildiği 34 adet veri kullanılabilmiştir. RQD'ye ve ÇBO'ya karşılık  $E_{k\ddot{u}tle}$  grafiklerinde verilerin dağılımının her hangi anlamlı bir ilişki sunmadığı görülmektedir. İkinci aşamada ise  $E_{k\ddot{u}tle}$  değerleri  $E_i$  parametresine bölünerek normalize edilmiş ve tekrar ÇBO'ya bağlı olarak değerlendirilmiştir.

$E_i$  değerleri için dilatometre deneyi seviyesindeki veya en yakınındaki örneğe ait değerler olup, bu aşamada  $E_i$  değerlerine sahip 12 verinin  $E_i$  ile normalize edildiğinde 1'den büyük olan değerler dikkate alınmadığı durumda veri sayısı 5'e düşmüştür. Bu verilerden dört tanesi nispeten anlamlı bir dizilim sergilediği gözlenmiştir. Burada sınırlı sayıda veriyle belirlenen bu ilişkiler genelleme yapılmaya yönelik algılanmamalıdır. Sonuç olarak, sınırlı sayıda veriyle yapılan değerlendirmelere göre jeoteknik sondajlara ait karotlarla belirlenen Çizgisel Blok Oranı (ÇBO) parametresinin kütle deformasyon modülünün jeoteknik sondaj kuyularında yapılan deneylerle belirlenmesine yönelik yaklaşımlarda bir girdi parametresi olma potansiyele sahip olduğu söylenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ulusay, R., Sönmez H., Kaya kütlelerinin mühendislik özellikleri: Güncellenmiş – genişletilmiş 2. Baskı, TMMOB Jeoloji mühendisleri odası yayınları, No:60, **2007**.
- [2] Raymond, L.A., Classification of Melanges. In Melanges: Their nature, origin and significance; ed. L.A. Raymond L.A. Boulder: Geological Society of America, 7-20, **1984**.
- [3] Bates, R.L., Jackson, J.A., Glossary of Geology, 3rd Edition, American Geology Institute, Alexabdria, V.A., 788 p, **1984**.
- [4] Medley, E.W., The engineering Characterization of melanges and similar block-in-matrix rocks ("BIMRock"s), Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, **1994**.
- [5] Lindquist, E.S., Goodman, R.E., The strength and deformation properties of a physical model melange, Proc. 1st North American Rock Mechanics Conference (NARMS), Austin, Texas, eds. Nelson, P.P. and Laubach, S.E., A.A. Balkema, Rotterdam, 843-850, **1994**.
- [6] Medley, E.W., Goodman, R.E., Estimating the block volumetric proportion of melanges and similar block-in-matrix rocks (bimrocks), Proc. 1st North American Rock Mechanics Conference (NARMS), Austin, Texas; eds. Nelson, P.P. ve Laubach, S.E., Roterdam: A.A. Balkema, 851-858, **1994**.
- [7] Lindquist, E.S., The strength and deformation properties of melange, Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, **1994**.
- [8] Sönmez, H., Tuncay, E., Gökçeoğlu, C., Models to predict the uniaxial compressive strength and the modulus of elasticity for Ankara agglomerates. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 41(5), 717-729, **2004**.
- [9] Sönmez, H., Tuncay, E., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H., Matriks içinde blok içeren kayaların deformasyon modülünün



saptanabilmesine yönelik fotoanaliz destekli yaklaşımların geliştirilmesi. TÜBİTAK Proje No: 102Y033, **2005**.

- [10] Medley, E.W., Lindquist, E.S., The engineering significance of the scaleindependence of some Franciscan Melanges in California, USA, Proc. 35th US Rock Mechanics Symposium, eds. Daemen, J.K. ve Schultz, R.A., Rotterdam: A.A. Balkema, 907-914, **1995**.
- [11] Medley, E. W., Orderly Characterization of Chaotic Franciscan Melanges, Felsbau, Journal of Engineering Geology, Geomechanics and Tunnelling, 19 (4) 20-33, **2001**.
- [12] Medley, E. W., Estimating Block Size Distributions of Melanges and Similar Block-in-Matrix Rocks ("BIMRock"s), Proc. Of 5th North american Rock Mechanics Symposium (NARMS), ed. By Hammah, R., Bawden, W., Curran, J. and Telesnicki, M.; July 2002, Toronto, Canada; University of Toronto Press, 509-606, **2002**.
- [13] Riedmüller, G., Brosch, F.J., Klima, K., Medley, E.W., 2001. Engineering Geological Characterization of Brittle Faults and Classification of Fault Rocks. Felsbau, Journal for Engineering Geology, Geomechanics and Tunneling, Vol. 19, (4/2001): 13-19.
- [14] Bedrossian, T.L., Geology and slope stability in the Geysers Geothermal: Resources area, California Geology, 31, 151-159, **1978**.
- [15] Bedrossian, T.L., Geology and slope stability in selected parts of the Geysers Geothermal resources area, No.142 of special reports: Sacramento, California, California Division of Mines and Geology, 66 p, **1980**.
- [16] Altınsoy, H., Matriks içinde blok içeren kayaların makaslama dayanımının belirlenmesi için fiziksel model esaslı bir araştırma. (Yüksek Lisans Tezi) Hacettepe Üniversitesi, **2006**.
- [17] Kasapoğlu, K.E., Ankara kenti zeminlerinin jeo-mühendislik özellikleri. (Doçentlik Tezi), Hacettepe Üniversitesi, **1980**.

- [18] Gökçeoğlu, C., Kasapoglu, K.E., Sönmez, H., Prediction of uniaxial compressive strength of Ankara agglomerates from their petrographical composition. In: Moore, D., Hungr, O. (Eds.), Proceedings of 8th International Congress of IAEG and the Environment, Vancouver, Canada. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 455- 459, **1998**.
- [19] Gökçeoğlu, C., A fuzzy triangular chart to predict the uniaxial compressive strength of the Ankara agglomerates from their petrographic composition. Engineering Geology, 66, 39-51, **2002**.
- [20] Sönmez, H., Gökçeoğlu C., Medley E.W., Tuncay E., and Nefeslioglu H.A, Estimating the Uniaxial Compressive Strength of a Volcanic "BİMRock", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 43, 554-561, **2006**.
- [21] Hoek, E., Brown, E.T., Practical estimates of rock mass strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34 (8), 1165-1186, **1997**.
- [22] Sönmez, H., Ulusay, R., Modifications to the geological strength index(GSI) and their applicability to stability of slopes. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 35 (2), 219-233, **1999**.
- [23] Hoek, E, Carranza-Torres, C.T., Corkum, B., Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. In: Proceedings of the Fifth North American Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada, Vol. 1, 267-273, **2002**.
- [24] Sönmez, H., Ulusay, R., A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. Yerbilimleri, 26, 77-99 (in English), **2002**.
- [25] Basu, A., Celestino, T. B., Bortolucci, A. A., Evaluation of rock mechanical behaviors under uniaxial compression with reference to

assessed weathering grades, Rock Mechanics and Rock Engineering, **2009**.

- [26] Ocak, İ., Tek eksenli basınç dayanımını kullanarak kaya malzemesinin elastisite modülünün tahmini, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C. 21, S. 2, SS. 91-9, **2009**.
- [27] Karagianni, A., Karoutzos, G., Ktena, S., Vagenas, N., Vlachopoulos, I., Sabatakakis, N. and Koukis, G., Elastic properties of rocks, Bulletin of the Geological Society of Greece, **2010**.
- [28] Khazaei C., Hazzard J., Chalaturnyk R., Damage quantification of intact rocks using acoustic emission energies recorded during uniaxial compression test and discrete element modeling, Computers and Geotechnics, Volume 67, Pages 94-102, **2015**.
- [29] MTA, Türkiye Jeoloji Haritası, Trabzon-C29 ve D29 Paftası ve Raporu, **1998**.
- [30] KGM, Akyazı Tüneli Jeolojik-Jeoteknik Kesin Proje Etüd Raporu, 176 syf, **2014**.
- [31] KGM, Zigana Tüneli Kesin Proje Jeolojik-Jeoteknik Etüd Raporu, 109 syf, **2012b**.
- [32] MTA, Türkiye Jeoloji Haritası, İstanbul-F22d Paftası ve Raporu, **2005**.
- [33] KGM, 3. Boğaz Köprüsü Jeoteknik ve Jeofizik Arazi İnceleme Veri Raporu, 2966 syf, **2012a**.
- [34] Roktest, PROBEX Borehole Dilatometer Instruction Manual, <https://roctest.com/wp-content/uploads/2017/01/E10037-170214.pdf>, **2017**.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Sevda Güney

Doğum Yeri: Artvin

Medeni Hali: Evli

E-posta: tamguneys@gmail.com

Adresi: Dil Devrimi Cad. 286. Sok. Hassas Çizgi Sitesi A12/15  
Eryamanevleri Etimesgut/Ankara

## Eğitim

Lise: Kılıçarslan Lisesi

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

## Yabancı Dil Düzeyi

İngilizce (Orta)

## İş Deneyimi

(Ağustos 2011-) Jeolojik Etüt Mühendisi-Karayolları Genel Müdürlüğü  
Arge Dairesi Başkanlığı

## Deneyim Alanları

Şev Stabilitesi, Heyelan, Jeoteknik Saha İncelemeleri, Tünel Projeleri.

## Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

## Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

## Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ .ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 02/07/2018

Tez Başlığı / Konusu: AGLOMERALARIN DEFORMASYON MODÜLÜNÜN KESTİRİMİNE YÖNELİK GÖRGÜL YAKLAŞIMLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 72 sayfalık kısmına ilişkin, 02/07/2018/ tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 'dür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

02.07.2018  
  
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Sevdâ Güney

Öğrenci No: N09126621

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Jeoloji Mühendisliği

Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Harun Sönmez

(Unvan, Ad Soyad, İmza)