

**KOHEZYONLU TOPRAK MATRİKS İÇİNDE BLOK İÇEREN
ZEMİNLERDE BLOK SAYISININ MAKASLAMA DAYANIMI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF BLOCK COUNT ON
SHEAR STRENGTH OF BLOCK IN COHESIVE SOIL MATRIX**

BİRKE BESBELLİ

**Prof. Dr. Harun SÖNMEZ
Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2018

BİRKE BESBELLİ'nin hazırladığı “**Kohezyonlu Toprak Matriks İçinde Blok İçeren Zeminlerde Blok Sayısının Makaslama Dayanımı Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK
Başkan

Prof. Dr. Harun Sönmez
Danışman

Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU
Üye

Prof. Dr. Işık YILMAZ
Üye

Doç. Dr. M.Celal TUNUSLUOĞLU
Üye

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.

Tezimin 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 kullanılması 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)

Birke Besbelli

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

Birke Besbelli



ÖZET

KOHEZYONLU TOPRAK MATRİKS İÇİNDE BLOK İÇEREN ZEMİNLERDE BLOK SAYISININ MAKASLAMA DAYANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

BİRKE BESBELLİ

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Harun SÖNMEZ

Haziran 2018, 77 sayfa

Zayıf matriks içinde blok içeren zeminlerin dayanım ve deformasyon davranışları matriksin, blokların ve matriks ile bloklar arasındaki dokanağın jeomekanik özelliklerine bağlı olarak farklılıklar sunmaktadır. Bu nedenle bu tür karmaşık jeolojik kütlelerin dayanım ve deformasyon parametrelerinin belirlenmesi konusunda genellikle önemli güçlükler yaşanabilmektedir. Bu güçlüklerin aşılmasına yönelik olarak 1990'lardan günümüze kadar ampirik çalışmalar yapılmaktadır. Bu ampirik yaklaşımlar literatürdeki bulgulara belirli ölçüde güvenli taraftan yaklaşarak önerilmiştir. Literatürdeki ampirik kestirim yöntemleri uygulayıcıya doruk makaslama dayanımına yönelik parametre seçiminde yardımcı araçlardır. Literatürdeki ampirik yaklaşımlarda temel girdi parametresi olarak hacimsel blok oranı (HBO) tercih edilmiştir. Bu çalışmada kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zeminlerde hacimsel blok oranının yanı sıra, mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısının da kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Mühendislik uygulaması boyutuna bağlı olarak türetilen blok sayısı parametrelerinin, bu tür jeolojik malzemelerin makaslama dayanımına yönelik yapılan değerlendirilmeleri sonucunda anlamlı ilişkilerin belirlenebildiği söylenebilir. Ancak, bu anlamlı ilişki düzeylerinin göstergesi olarak belirlenen korelasyon katsayıları, hacimsel blok oranı yerine tercih edilebilecek kadar bir üstünlüğe (yüksekliğe) sahip değildir. Ayrıca, hacimsel blok oranının belirlenmesiyle kıyaslandığında, türetilen blok sayısı parametreleri elde edilmesi bakımından daha pratik parametreler de değildir. Bununla birlikte, genellemeye yönelik olarak veri grupları birleştirildiğinde bu çalışmada türetilen blok sayısı parametrelerinin kullanımı ile korelasyon katsayılarının olumsuz etkilendiği görülmektedir. Bu nedenle, dayanım ve deformasyon parametrelerinin belirlenmesinde literatürdeki önerildiği şekliyle HBO'nun ampirik bir ölçüt için önemli ve temel bir girdi parametresi olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Ampirik yöntemler, makaslama dayanımı, toprak-kaya karışımı

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF BLOCK COUNT ON SHEAR STRENGTH OF BLOCK IN COHESIVE SOIL MATRIX

BİRKE BESBELLİ

Master of Science, Department of Geology Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Harun SÖNMEZ

June 2018, 77 pages

Strength and deformation behaviours of block in weak matrix soils exhibit differences depending on geomechanical properties of matrix, blocks and boundaries between matrix and blocks. Therefore generally some difficulties may be encountered during determination of strength and deformation parameters of these kinds of geological masses. Empirical studies have been performed to overcome these difficulties since 1990s. These empirical approaches have been proposed based on the findings in the literature from a certain degree of safe side. Empirical prediction tools in the literature are assistant tools for selection of the peak shear strength parameters. Volumetric block proportion (VBP) has been preferred as fundamental input parameter in the existing empirical approach in the literature. In this study, the use of the block count in the engineering application dimension has been evaluated, as well as the volumetric block proportion of blocks in the cohesive soil matrix. It can be said that significant correlations can be determined for shear strength of these geological materials as a result of evaluation of the derived block count parameters depending on the engineering application dimension. However, the correlation coefficients, which are indicative of these significant correlation levels, do not have a superiority (high) to be preferred over the volumetric block ratio. Furthermore, when compared with determining the volumetric block proportion, the derived block count parameters are not a more practical parameter to achieve. However, when data groups are combined for generalization, it is observed that the correlation coefficients were adversely affected by the use of the derived block count parameters in this study. For this reason, it can be said that VBP is an important and fundamental input parameter for an empirical criterion in determining the strength and deformation parameters as suggested in the literature.

Keywords: Empirical approaches, shear strength, soil-rock mixture

TEŞEKKÜR

Tezime çalışmalarım sırasında bilgi birikimini ve yönlendirici katkılarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Harun Sönmez'e,

Tezmin son şeklini almasındaki katkılarından dolayı Sayın Jüri Üyelerine,

Saha çalışmalarını sırasında örnekleme aşamasındaki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Yılmaz Özçelik'e,

Laboratuvar çalışmalarım sırasında sürekli yardım ve desteklerini aldığım Dr. Nazlı Tunar Özcan'a ve mühendislik jeolojisi laboratuvarları teknisyenleri Ahmet Bay ve Özgür Erol'a,

Çanakkale Çan Linyit İşletmesi açık ocaklarında çalışmamı olanak sağlayan ve saha çalışmalarını için gerekli diğer lojistik yardımlarından dolayı İşletme Müdürü Sn. Fatih Sarıca'ya,

ve

çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen annem Asuman Besbelli, babam Berk Besbelli ve nişanlım Canberk Özen'e

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER	v
ÇİZELGELER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
2. ZAYIF MATRİKS İÇİNDE BLOKLAR İÇEREN ZEMİNLERLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1 Tanımlanmaya Yönelik Önceki Çalışmalar	3
2.2 Dayanım ve Deformasyon Davranışına Yönelik Önceki Çalışmalar	9
3. SAHA ÇALIŞMALARI	28
3.1 Yapay Örneklerinin Hazırlanmasında Kullanılacak Kohezyonlu Toprak Matriks ve Kaya Blokların Temin Edilmesi	28
3.2 TKİ Çanakkale Çan Linyit İşletmesi Açık Ocağı B Panosunda Aglomeratik Birimdeki Basamak Bazındaki Duraysızlığa İlişkin Saha Çalışması	30
4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	34
4.1 Yapay Örneklerin Hazırlanmasında Blok Malzemesi Olarak Kullanılan Alüvyon Çakıllarının Özellikleri	34
4.1.1 Alüvyon Çakıllarının Yoğunluklarının Belirlenmesi	34
4.2 Büyük Makaslama Kutusu Deneyleri	36
4.2.1 Kohezyonlu toprak matriksin seçilmesine yönelik gerçekleştirilen büyük makaslama kutusu deneyleri	37
4.2.2 Kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren yapay zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen büyük makaslama kutusu deneyleri	41
5. BÜYÜK MAKASLAMA KUTUSU DENEYLERİNDEN ELDE EDİLEN BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YORUMLANMASI	49
6. AGLOMERATİK ZEMİNDE GELİŞEN BİR DURAYSIZLIĞIN MEVCUT AMPİRİK YAKLAŞIMLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ.....	64
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Bimrocklarda yoğun gözlenen veya farklı şekillerde ölçülebilen boyutuna ilişkin kuramsal gösterim (Medley [8, 9]; Sönmez vd., [10]'den).....	4
Şekil 2.2. Fransican melanjında farklı ölçüm alanlarında blokların dağılımı (a) sınırlandırılan alan 226 m ² ve (b) bölgesel ölçek A≈1000 km ² (Medley [11]'den).	5
Şekil 2.3. Bimrocklarda farklı alansal büyüklükler için yapılan ölçümlerle ölçekten bağımsız tanımlamaya ilişkin grafiksel sunum (Medley [7]; Sönmez vd. [10]'den).....	6
Şekil 2.4. Fransican melanjında aynı lokasyonda farklı alansal büyüklüklerdeki fotoğraf karelerinde bloklar (Medley [11]'den).	6
Şekil 2.5. Ankara aglomeralarında hacimsel blok oranının belirlenmesine yönelik olarak nokta sayma yönteminin kullanılması (Sönmez vd. [12]'den).....	8
Şekil 2.6. Ankara aglomeralarında foto analiz teknikleriyle hacimsel blok oranının belirlenmesine yönelik olarak (a) renkli (b) gri fotoğrafların kullanılması (Sönmez vd. [12]'den).....	9
Şekil 2.7. Lindquist [3] tarafından yapay bimrocklar üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarına göre hacimsel blok oranıyla (a) içsel sürtünme açısının ve (b) kohezyonun değişimi [18].....	11
Şekil 2.8. Iannacchione ve Vallejo [19] çalışmalarında yer verdikleri (a) Miller ve Sowers [20] ve (b) Holtz ve Ellis [21] tarafından yapılan araştırmalarda belirledikleri kohezyonlu zeminlerdeki çakıl içeriğindeki artışa bağlı olarak makaslama dayanımı verileri.....	13
Şekil 2.9. Çakıl içeren kum-kil zemin örneklerine ait makaslama dayanımı verileri (Donaghe ve Taylor [22]; Iannacchione ve Vallejo [19]'dan)	14
Şekil 2.10. Kaynaşmamış (unwelded) ve kaynaşmış (welded) bimrockların dayanım davranışlarının kuramsal yorumuyla birlikte şematik gösterimi [24].	15
Şekil 2.11. (a) "Bimtest" yerinde makaslama deney ekipmanı (1) örnek, (2) ön çelik plaka, (3) yatay fleksiğlas plaka, (4) hidrolik kriko, (5) demir barlar ve (6) reaksiyon için dozer (b) deney öncesinde (b-1) ve deney sırasında (b-2) şematik gösterim (1) orijinal topoğrafya, (2) ön çelik plaka, (3) örnek, (4) LVDT, (5) hidrolik kriko, (6) L şekilli taban plakası ve tutucular, (7) manuel jack, (8) naylon kayış (9) yük hücresi ve (10) yenilme yüzeyi [26].	16
Şekil 2.12. Coli vd. [26] tarafından Bimtest yerinde makaslama deney düzeneğiyle gerçekleştirilen deneyler sonucunda (a) içsel sürtünme açısı ve (b) kohezyonun hacimsel blok oranına (HBO) bağlı değişimi (Coli vd. [26]'den yeniden düzenlenerek alınmıştır).	17

Şekil 2.13. (a) Toprak zemin kaya (S-RM) karışımı malzemelerde tüm yapısal model ve (b) farklı çalışma ölçeğinde basitleştirilmiş S-RM model ve (c) S-RM iç yapısının orijinal ve dijital görüntü işleme tekniği sonrasında elde edilen siyah-beyaz (ikili) görüntüleri (Xu vd. [27] 2011'den düzenlenmiştir).....	18
Şekil 2.14. Xu vd. [27] tarafından yapılan çalışmada kullanılan büyük ölçekli doğrudan makaslama deney düzeneği (a) sahada uygulaması (b) şematik açıklamalar (1-krikolar, 2- traversler, 3-dial indikatör, 4- makaslama kutusu, 5-sürgülü çelik levha, 6-geri basınç sistemi, 7- kiriş, 8-kızak, 9-yükleme başlığı) ve elde ettikleri deneysel verilere göre kaya blok içeriğine bağlı olarak (c) içsel sürtünme açısı ve (d) kohezyondaki değişim.	19
Şekil 2.15. Pek çok verinin birlikte yorumlanmasıyla belirlenen hacimsel blok oranına bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim zonu [4].	20
Şekil 2.16. Bimrock ve matriksin içsel sürtünme açısının oransal değerinin hacimsel blok oranına (HBO) bağlı olarak değişim ilişkisi [4].	20
Şekil 2.17. Normalize edilmiş tek eksenli sıkışma dayanımı ile hacimsel blok oranı (HBO) arasındaki ilişki ve (b) bu ilişkideki "A" parametresinin belirlenmesine yönelik grafiksel abak [4].	22
Şekil 2.18. Sinshan bölgesindeki bloklar, çakıllar, kum ve daha ince malzemeden oluşan karışımların gözlemlendiği bir yamacın görüntüsü [28].....	23
Şekil 2.19. Chang ve Cheng [28]'ün bloklar, çakıllar, kumlar ve daha ince taneler içeren doğal depolanmalar için deneysel çalışmalarla belirledikleri yenilme zarfı.....	24
Şekil 2.20. Gong ve Liu [29] tarafından ayrık elemanlar yöntemiyle toprak-kaya karışımı malzemelere yönelik yapılan değerlendirmeye göre belirlenen (a) normal gerilme – doruk makaslama dayanımı ilişkileri (b) kaya içeriğindeki değişime bağlı olarak doruk içsel sürtünme açısının ve kohezyonun değişimi.	25
Şekil 2.21. Tek tür kaynaşmış aglomera örnekleri için blok sayısı (N), hacimsel blok oranı (VBP) ve fraktal boyutu (D_2) parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı regresyon temelli kestirim ilişkileri (a) tek eksenli sıkışma dayanımı, UCS ve (b) Elastisite modülü, E [31].	26
Şekil 2.22. Tek tür kaynaşmış aglomera örnekleri için blok sayısı (N), hacimsel blok oranı (VBP) ve fraktal boyutu (D_2) parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı ANN temelli kestirim abakları (a) tek eksenli sıkışma dayanımı, UCS ve (b) Elastisite modülü, E [31].	27
Şekil 3.1. Çanakkale Çan Linyit İşletmesinde Kocabaş çayının eski yatağının bıraktığı çakıllı alüvyon zemin.....	29
Şekil 3.2. Çanakkale Çan Linyit İşletmesi B panosunda üst kotlardaki agomeratik kütlede duraysızlığının planının çıkarılmasına yönelik hassas GPS ölçüm çalışması	30

Şekil 3.3. Çanakkale Çan Linyit İşletmesi B panosunda üst kotlardaki aglomeratik kütlede (a) duraysızlığın uzaktan görünümü ve (b) duraysızlığa ilişkin ölçülen noktaların kotlarıyla birlikte dökümü	31
Şekil 3.4. Çanakkale Çan linyit İşletmesi açık ocağı B panosundaki zayıf matriksli aglomeratik birime ait fotoğraflar.....	32
Şekil 4.1. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan alüvyon çakıllarında yapılan cıva taşıma yoğunluk deneyleri	35
Şekil 4.2. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan alüvyon çakıllarının yoğunluğuna ait histogram grafiği	35
Şekil 4.3. Büyük makaslama kutusu deney düzeneği	36
Şekil 4.4. (a) Ön yükleme sonrasında yükleme başlığının makaslama kutusunun üstüne kalan kısmının her iki taraftan ölçümü ve (b) deney sonrası makaslama kutusundaki toprak matriks örneği.....	38
Şekil 4.5. Toprak matriks örneğinin dayanım özelliklerinin belirlenmesine yönelik uygulanan üç aşamalı deney sersinin makaslama dayanım zarfları: (a) ön yükleme yok, (b) 1 dk süreyle 1000 kg ön yükleme ve (c) 3 dk süreyle 3000 kg ön yükleme	39
Şekil 4.6. Büyük makaslama kutusu deneylerinde kullanılan “büyük bloklu” ve “küçük bloklu” alüvyon çakılları	43
Şekil 4.7. Çakıllar (Bloklar) ile kohezyonlu toprak matriks karışımının ve karışımın makaslama kutusunda deney sonrasındaki görüntüleri	46
Şekil 4.8. Büyük makaslama kutusu deney verilerinin normal gerilme-makaslama dayanımı zarfındaki dökümü: (a) büyük bloklu ve (b) küçük bloklu yapay örnekler.....	48
Şekil 5.1. (a) Büyük ve (b) küçük alüvyon çakıllı yapay örneklerin Mohr-Coulomb doğrusal yenilme zarfına göre değerlendirilmesi	51
Şekil 5.2. Büyük ve küçük bloklu yapay örneklerin doğrusal Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre hacimsel blok oranı değişimine bağlı olarak (a) kohezyon, (b) çok düşük normal gerilme düzeyindeki makaslama dayanımı, (b) içsel sürtünme açısı değişimi ve (c) kohezyonlu toprak matriks örneğinin değerine göre içsel sürtünme açısındaki artış.....	52
Şekil 5.3. a) Büyük ve (b) küçük alüvyon çakıllı yapay örneklerin üssel eğrisel yenilme zarfına göre değerlendirilmesi	54
Şekil 5.4. Artan hacimsel blok oranına sahip deney kodlarına bağlı olarak üssel eşitliğe sahip yenilme ilişkilerindeki (a) “A” ve (b) “B” sabitlerinin değişimi	55
Şekil 5.5. Doğrusal ve eğrisel yenilme eşitliklerinin korelasyon katsayılarının karşılaştırmalı histogram grafikleri	56
Şekil 5.6. (a) VBP-I ve (b) VBP_II deney kodlu verilerin ve matriksin yenilme zarfının da dahil edildiği eğrisel yenilme zarflarının üssel ilişkilerinin büyük ve küçük bloklu örnekler bazında karşılaştırılması.....	57

ÇİZELGELER

	Sayfa
Çizelge 4.1 Laboratuvar çalışmalarında kullanılan alüvyon çakıllarının yoğunluk deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi	34
Çizelge 4.2. III. aşamada farklı normal gerilme düzeylerindeki deney serisindeki yükleme aşamaları için 3 dk süreyle 3000 kg ön yükleme sonrasında toprak matriks örneğinin hesaplanan yoğunluk değerleri	40
Çizelge 4.3. Toprak matriks örneğinin dayanım özelliklerinin belirlenmesine yönelik uygulanan üç aşamalı deney serisiyle belirlenen makaslama dayanımı parametreleri	40
Çizelge 4.4. Büyük makaslama kutusu deneylerine tabi tutulan (a) iri ve (b) küçük bloklü yapay örneklerde hesaplanan hacimsel blok oranları	45
Çizelge 4.5. (a) iri ve (b) küçük bloklü yapay örnekler üzerinde uygulanan büyük makaslama kutusu deney sonuçları	47
Çizelge 5.1. Kohezyonlu toprak matriks örneğinin makaslama dayanımının yanı sıra, küçük ve büyük bloklü yapay örneklere ait VBP-I, VBP-II, VBP-III ve VBP-IV kodlu deneylerden belirlenen kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametreleri	50
Çizelge 5.2. Kohezyonlu toprak matriks örneğinin dayanımının yanı sıra, küçük ve büyük bloklü yapay örneklere ait VBP-I, VBP-II, VBP-III ve VBP-IV kodlu deneylerden belirlenen üssel eşitliğin A ve B sabitleri	53
Çizelge 6.1. Matriksin dayanımından itibaren HBO değişim aralığına bağlı olarak aglomeratik kütleye dayanım parametrelerinin Lindquist [3] ve Kalender vd. [4] tarafından önerilen yaklaşımlara göre belirlenmesi.	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

1D: Tek boyutlu

2D: İki boyutlu

3D: Üç boyutlu

Bimrock: Matriks içinde blok içeren kaya (Block-in-matriks rock)

Bimsoil: Toprak matriks içinde blok içeren zemin (Block-in-matriks soil)

c: Kohezyon

C_G: Çakıl içeriği

c_p: Doruk kohezyon

c_r: Artık kohezyon

D₅₀: Ortalama tane çapı

d_{mod}: Blok ölçüm uzunluğu

E: Elastisite modülü

HBO: Hacimsel blok oranı

HBS: Hacimsel blok sayısı

J_v: Hacimsel eklem katsayısı

r: Korelasyon katsayısı

R²: Determinasyon katsayısı

UCS: Tek eksenli sıkışma dayanımı

UCS_N: Normalize edilmiş tek eksenli sıkışma dayanımı

VBC: Volumetric block count

VBP: Volumetrik blok proportion

α: yığılma açısı

φ: İçsel sürtünme açısı

φ_p: Doruk içsel sürtünme açısı

φ_r: Artık içsel sürtünme açısı

γ: Birim hacim ağırlık

σ_n: Normal gerilme

τ: Makaslama dayanımı

τ_p: Doruk makaslama dayanımı

τ_r: Artık makaslama dayanımı

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Tüneller, barajlar ve yüksek şevler gibi mühendislik yapılarının tasarım analizlerinde jeolojik kütlenin dayanım ve deformasyon özelliklerinin gerçekçi bir şekilde belirlenmesi, ekonomik, uygulanabilir ve güvenli mühendislik uygulamaları açısından oldukça önemlidir. Zayıf matriks içinde bloklar içeren jeolojik kütleler yaygın bir şekilde bimrock (block-in-matrix rock) olarak tanımlanmakla birlikte, matriks malzemesinin toprak olduğu durumlarda son yıllarda bimsoil (block-in-matrix soil) terimi de kullanılabilir. Tez çalışması kapsamında kohezyonlu toprak matriks ile blokların karışımı şeklinde hazırlanan yapay örnekler üzerinde deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Toprak zeminlerin ve kaya malzemelerinin dayanım ve deformasyon parametrelerini laboratuvar koşullarında örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan deneylerle belirlemek mümkün olurken, eklemli kaya kütlelerinde olduğu gibi örselenmemiş örnek alınması hemen hemen olanaksız olan kohezyonlu toprak zayıf matriks içinde blok içeren jeolojik malzemelerde laboratuvar deneyleriyle dayanım ve deformasyon özelliklerini belirlemek mümkün olamamaktadır.

Kaya mekaniği literatüründe ampirik yaklaşımlarla dayanım ve deformasyon özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar 1950'lerden günümüze kadar artarak devam ederken, zayıf matriks içinde bloklar içeren zeminlerde bu güçlüklerin aşılmasına yönelik analitik temelli ampirik çalışmalar, 1990'lı yıllara kadar uzanmaktadır. Son yıllardaki çalışmalarda, matriksin makaslama dayanım parametreleri ölçek parametresi olarak kullanılırken, hacimsel blok oranına (volumetric block proportion, VBP) bağlı olarak kohezyonun düşürüldüğü buna karşın içsel sürtünme açısının ise artırıldığı ampirik yaklaşımlar önerilmiştir. Her ne kadar hacimsel blok oranı bu yaklaşımlarda tek başına girdi parametresi olarak kullanılsa da kaya kütlelerindeki hacimsel eklem katsayısında (J_v) olduğu gibi ampirik yaklaşımlarda mühendislik uygulaması boyutuna (Engineering application dimension) bağlı olarak alansal veya hacimsel blok sayısının (areal or volumetric block count, VBC) da kullanılabilirliği düşüncesi tez çalışması kapsamında araştırılmıştır.

Tez konusuna da temel teşkil eden kohezyonlu toprak matriks içinde bloklar içeren zeminlerde mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısının kullanımına yönelik düşüncenin temelinde ilk defa Plamström [1, 2] tarafından önerilen hacimsel eklem sayısı (J_v) kavramı bulunmaktadır. Diğer bir ifadeyle, hacimsel eklem sayısı kavramı mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısı düşüncesinin temel fikir kaynağı olarak değerlendirilebilir.

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda, bu tez çalışması kapsamında öncelikli olarak hacimsel blok oranının yanı sıra mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısının kohezyonlu toprak matriks içinde bloklar içeren zeminlerde makaslama dayanımına olan etkileri değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının son aşamasında Çanakkale Çan Linyit İşletmesi B panosundaki matriks malzemesi toprak özellikli (zayıf çimentolu) aglomeratik birim içerisindeki basamak bazındaki lokal bir duraysızlığın geriye dönük analizleri yapılmış ve literatürdeki Lindquist [3] ve Kalender vd. [4] tarafından önerilen iki bilinen yaklaşımla olası makaslama dayanım değişimi belirlenerek tezin amacı doğrultusunda mühendislik uygulaması boyutu kavramıyla birlikte yorumlanmıştır.

2. ZAYIF MATRİKS İÇİNDE BLOKLAR İÇEREN ZEMİNLERLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İçerdiği bloklarla matriks arasında dayanım ve deformasyon kontrastı bulunan, diğer bir ifadeyle, zayıf matriks içinde blok içeren kayalar olarak tanımlanan bimrockların kütleli anlamda dayanım ve deformasyon davranışları matriks, blok ve matriks ile blok dokanağının jeomekanik özelliklerine bağlı olarak farklılıklar sunmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda bazı önemli kuramsal temelli çalışmalar literatürde yayınlanmış olmakla birlikte, özellikle blokların özellikleri ve matriksle olan sınırındaki dayanım ilişkisinin kütleli dayanım üzerindeki etkilerine yönelik halen bazı belirsizlikler veya yetersizlikler bulunmaktadır. Tez çalışmasında kohezyonlu toprak matriks ile blokların karışımı şeklinde hazırlanan yapay örnekler üzerinde deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu tür malzemeleri de kapsayacak şekilde daha geniş anlamda zayıf matriks içinde bloklar içeren kayaları (block-in-matrix rocks, bimrocks) konu alan çalışmalara da bu bölümde yer verilmiştir.

Bimrocklarla ilgili literatür 1990'lı yıllara kadar uzanmakta olup, konuya ilişkin 2010 yılına kadarki literatürün önemli bir kısmı Medley ve Zekkos [5] tarafından yapılan çalışmada sunulmaktadır. Medley ve Zekkos [5] tarafından yapılan çalışmadan sonraki bazı önemli çalışmalar da bu bölümde sunulmuştur.

Genel olarak zayıf matriks içinde bloklar içeren jeolojik kütlelerle ilgili çalışmalar bimrockların tanımlanması ve dayanım ve deformasyon özelliklerinin yorumlanması şeklinde iki başlık altında gruplanabilmektedir. Önceki çalışmaların yer aldığı bu bölümde konuyla ilgili literatür, bu iki alt başlık altında sunulmuştur.

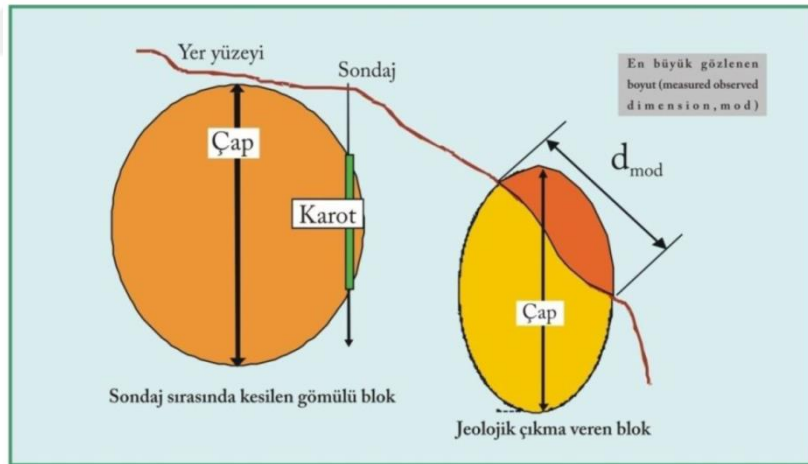
2.1 Tanımlanmaya Yönelik Önceki Çalışmalar

İlk defa Raymond [6] tarafından melanijlar iç devamlılıklarının olmadığı ve karmaşık, yerli ince taneli malzeme veya parçalanmış matriksin içine gömülü her boyutta blok ve parçaların katılımıyla temsil edilen ve 1:24.000 veya daha küçük ölçekte haritalanabilir kaya kütleli olarak tanımlanmıştır. Raymond [6] melanijlar, breşler, makaslama gerilmelerine maruz kalmış kayalar gibi karmaşık jeolojik ortamları tanımlamak için "block-in-matrix rock" (matriks içinde blok içeren kaya)

terminolojisi kullanmıştır. Medley [7] ise bu terminojinin ilk harflerinden esinlenerek bimrock (**block-in-matrix rock**) terimini türetmiş ve günümüze kadar yaygın bir şekilde kullanılagelmiştir. Bununla birlikte, Kalender vd. [4]'ün çalışmasında da yer aldığı gibi, son yıllardaki çalışmalarda matriks malzemesinin toprak gibi zayıf özelliklere sahip olduğu durumlarda, bimsoil terimi de literatüre girmiştir.

Medley [7] ve Linquist [3] tarafından yapılan doktora tezi çalışmaları bimrockların tanımlanması ve dayanım ve deformasyonları konularında iz bırakan başlangıç niteliğindeki çalışmalardır.

Bimrockların tanımlanmasında temel sorunlardan en önemlisi, matriks içindeki kaya bloklarının boyutunun ölçülmesi ve hacimsel blok oranının belirlenmesidir. Kaya bloklarının boyutlarına yönelik ölçümlerin çizgisel, alansal veya hacimsel olarak yapılabilmesi teorik olarak mümkün olmakla birlikte, bu ölçüm yöntemleri uygulama pratiğinde önemli problemler içermektedir. Medley (2001 ve 2002) blok ölçümüne yönelik olarak sondaj ve yüzey çıkmasındaki olası ölçüm farklılıklarına dikkat çekmek amacıyla Şekil 2.1.'deki kavramsal gösterimi yapmıştır.

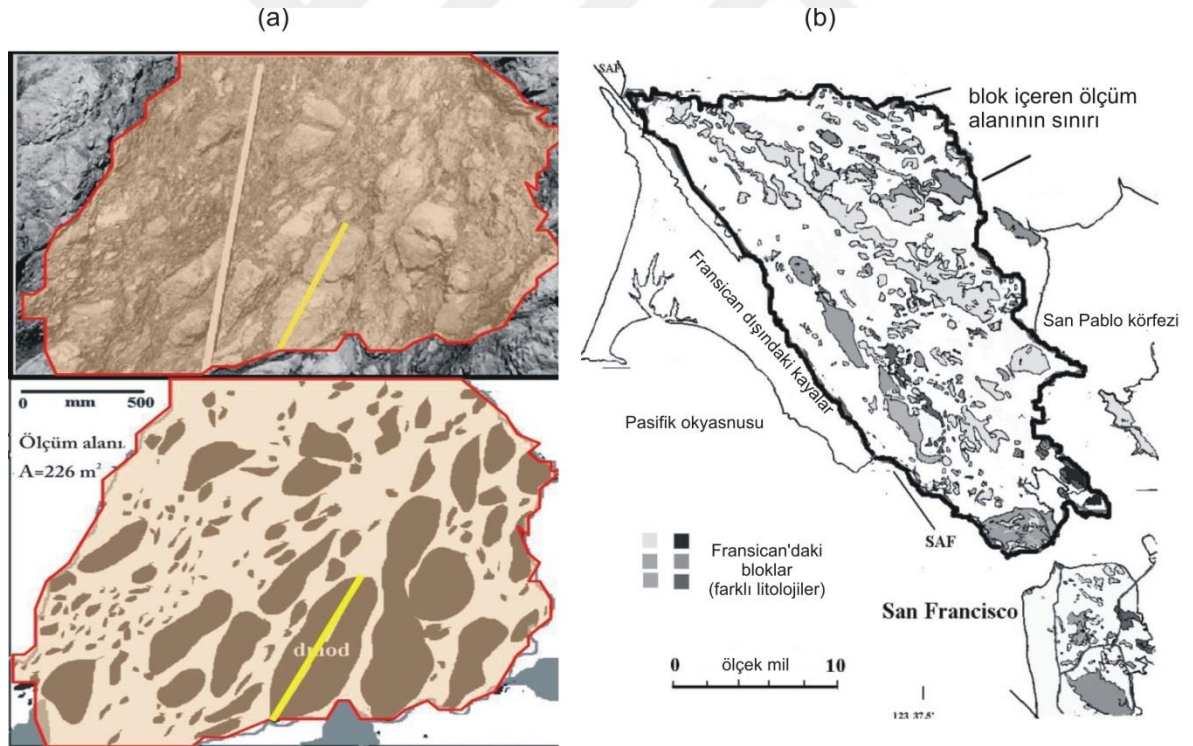


Şekil 2.1. Bimrocklarda yoğun gözlenen veya farklı şekillerde ölçülebilen boyutuna ilişkin kuramsal gösterim (Medley [8, 9]; Sönmez vd., [10]'den)

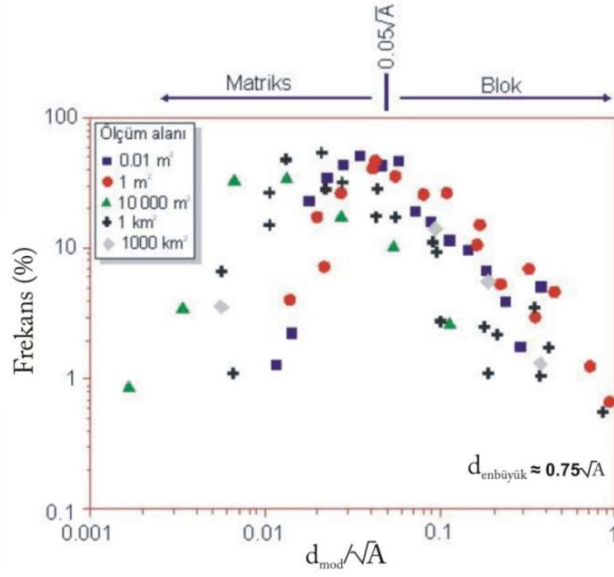
Bununla birlikte, kaya bloklarının boyutlandırılmasına ilişkin bu sınırlamalar devam etmekle birlikte, örneklem sayısının artırılması, bu sınırlamaları indirgemeye yönelik yapılabilecek en etkin yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Medley [7] bimrocklardaki blokların ölçekten bağımsız tanımlanabileceğini belirtmiştir. Bu belirlemesini Fransican melanji olarak bilinen malzemede harita

ölçeğinde ($\sim 1000 \text{ km}^2$) büyük bir alandan 0.01 m^2 gibi oldukça küçük bir alana kadar yapmış olduğu gözlem ve ölçümlerle desteklemiştir (Şekil 2.2). Bu amaçla farklı alana sahip yüzeyler için Fransican melanjındaki çok sayıdaki blok ölçümlerini (d_{mod}) yüzey alanının kareköküne bölerek, diğer bir ifadeyle, ölçüm alanı büyüklüğüne normalize ederek, frekans dağılımını grafiklemiştir (Şekil 2.3). Bu grafiksel sunumda farklı alansal büyüklüklerde alınan tüm ölçümlerin üst üste çakıştıklarını ve yaklaşık $d_{mod} = 0.05\sqrt{A}$ değerinde de maksimum frekansa ulaştığını gözlemlemiş ve bu belirlemesiyle bimrocklardaki blokların ölçekten bağımsız tanımlamaya sahip olduğunu öne sürmüştür. Gerçekte bu değerlendirmenin blok ölçümlerinin yapıldığı alanın büyüklüğüne göre blok ile matriks arasındaki boyut ilişkisini tanımlamak amacına hizmet ettiği dikkate alınmalıdır. Diğer bir ifadeyle, mühendislik uygulama pratiğinde ölçümsel alan büyüklüğünün, örneğin şevin yüksekliği vb. mühendislik uygulaması boyutuyla ilişkilendirilmesinde yarar vardır.

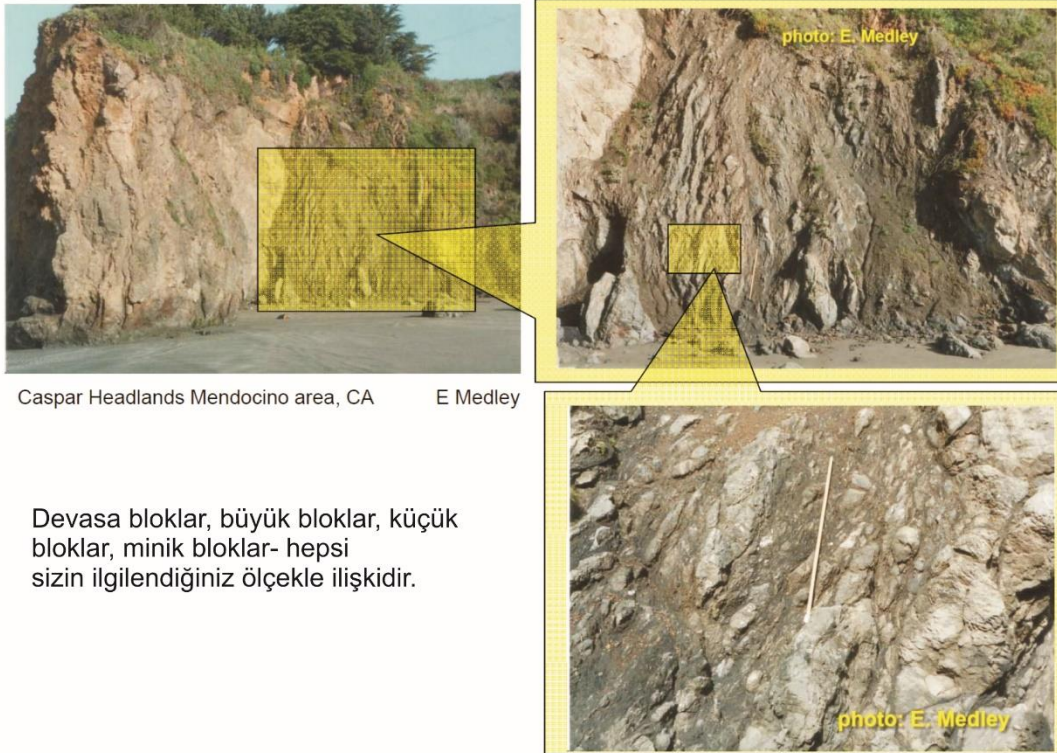


Şekil 2.2. Fransican melanjında farklı ölçüm alanlarında blokların dağılımı (a) sınırlandırılan alan 226 m^2 ve (b) bölgesel ölçek $A \sim 1000 \text{ km}^2$ (Medley [11]'den).



Şekil 2.3. Bimrocklarda farklı alansal büyüklükler için yapılan ölçümlerle ölçekten bağımsız tanımlamaya ilişkin grafiksel sunum (Medley [7]; Sönmez vd. [10]'den)

Fransican melanjında aynı lokasyonda farklı alansal büyüklüklerdeki fotoğraf karelerinde blokların gösterildiği fotoğraflar ise Şekil 2.4'de görülmektedir (fotoğraflar Medley [11]'den alınmıştır).



Şekil 2.4. Fransican melanjında aynı lokasyonda farklı alansal büyüklüklerdeki fotoğraf karelerinde bloklar (Medley [11]'den).

Sönmez vd. [10] ve Sönmez vd. [12], tuf matriks içinde volkanik bloklardan oluşan Ankara aglomerasının çalışma malzemesi olarak kullanıldığı araştırmalarında, hacimsel blok oranının belirlenmesine yönelik fotoğraf üzerinde bazı ölçüm yaklaşımları üzerinde durmuşlardır. Temelde tüm blokları matriksten ayırmadan yüksek gerçekçiliğe sahip bir ölçümlemenin yapılamayacağını belirten araştırmacılar, fotoğraf üzerinde nokta sayımı ve renkli (veya gri) fotoğraflar üzerinde foto analiz yaklaşımlarını hacimsel blok oranının tespitinde kullanmışlardır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6). Araştırmacılar, eş boyutlu blokların fotoğraf yüzeyi gibi 2D (2 boyutlu) değerlendirmesiyle belirlenebilecek olan hacimsel blok oranının gerçekteki 3D (3 boyutlu) değerine yakınsayacağını belirtmişlerdir.

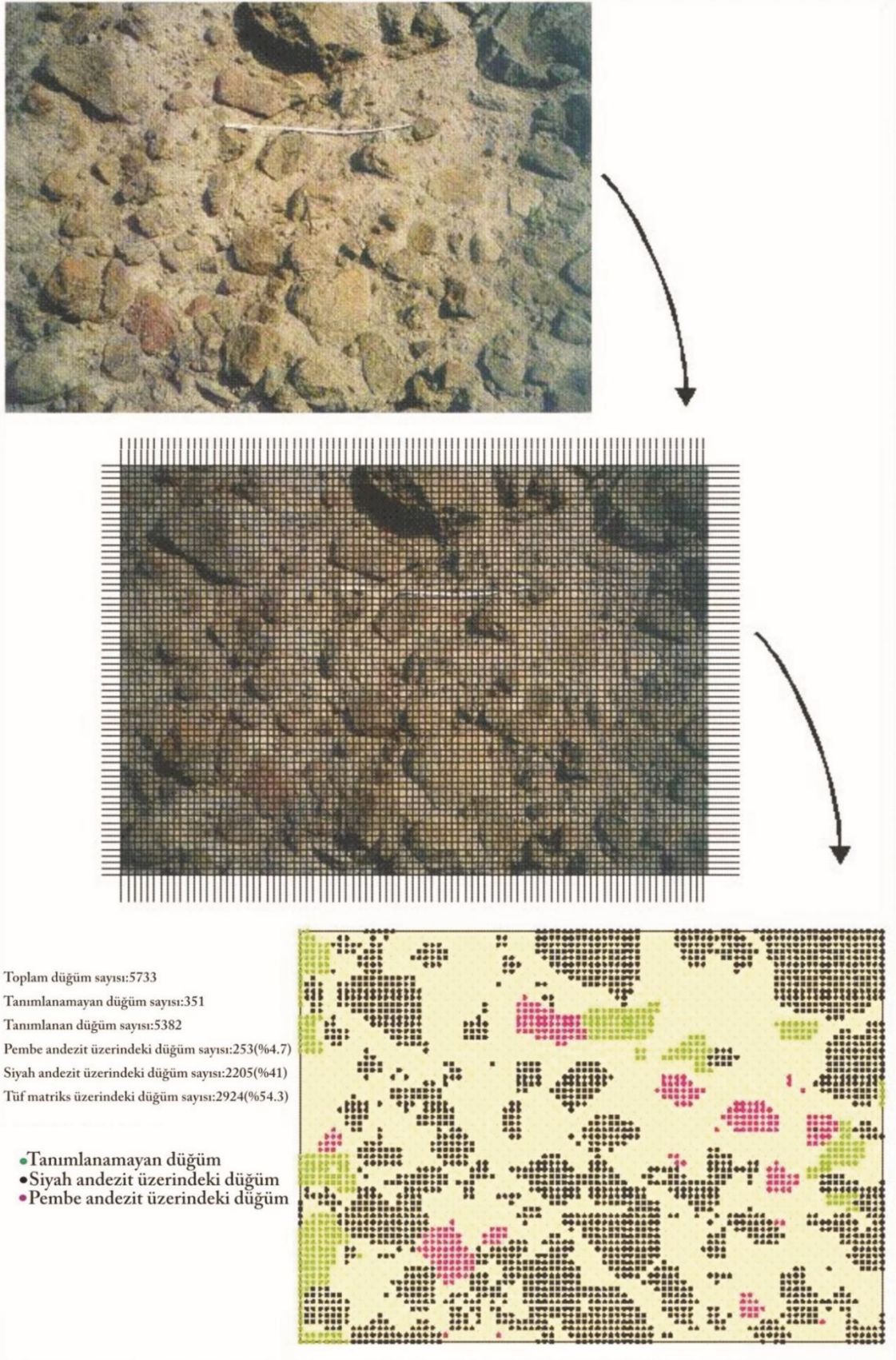
Kaynaşmış bimrocklarda blokları matriksten tümüyle ayırmak uygulama pratiğinde mümkün olmadığı için, 3 boyutta (3D) hacimsel blok oranını belirlemek olanaklı bir yaklaşım değildir. Çizgisel (hat) boyunca blok uzunluklarının ölçülerek toplam ölçüm uzunluğuna bölünmesiyle de tek boyutta (1D) hacimsel blok oranına yaklaşmak mümkün olabilmektedir. Ancak, Medley [11] önceki çalışmalarındaki bulgularla bu yaklaşımın gerçeğe yaklaşması için çok sayıda hat üzerinde ölçüm yapılması gerektiğini vurgulamıştır. Bu anlamda, sondaj karotlarındaki ölçümler de tek boyutlu değerlendirme olarak yorumlanmalıdır.

Lindquist [3] bimrocklarda matriks ile blokların birim hacim ağırlıkları arasında belirgin bir kontrastın olması durumunda aşağıdaki eşitliğin hacimsel blok oranının belirlenmesinde kullanılabileceğini belirtmiştir.

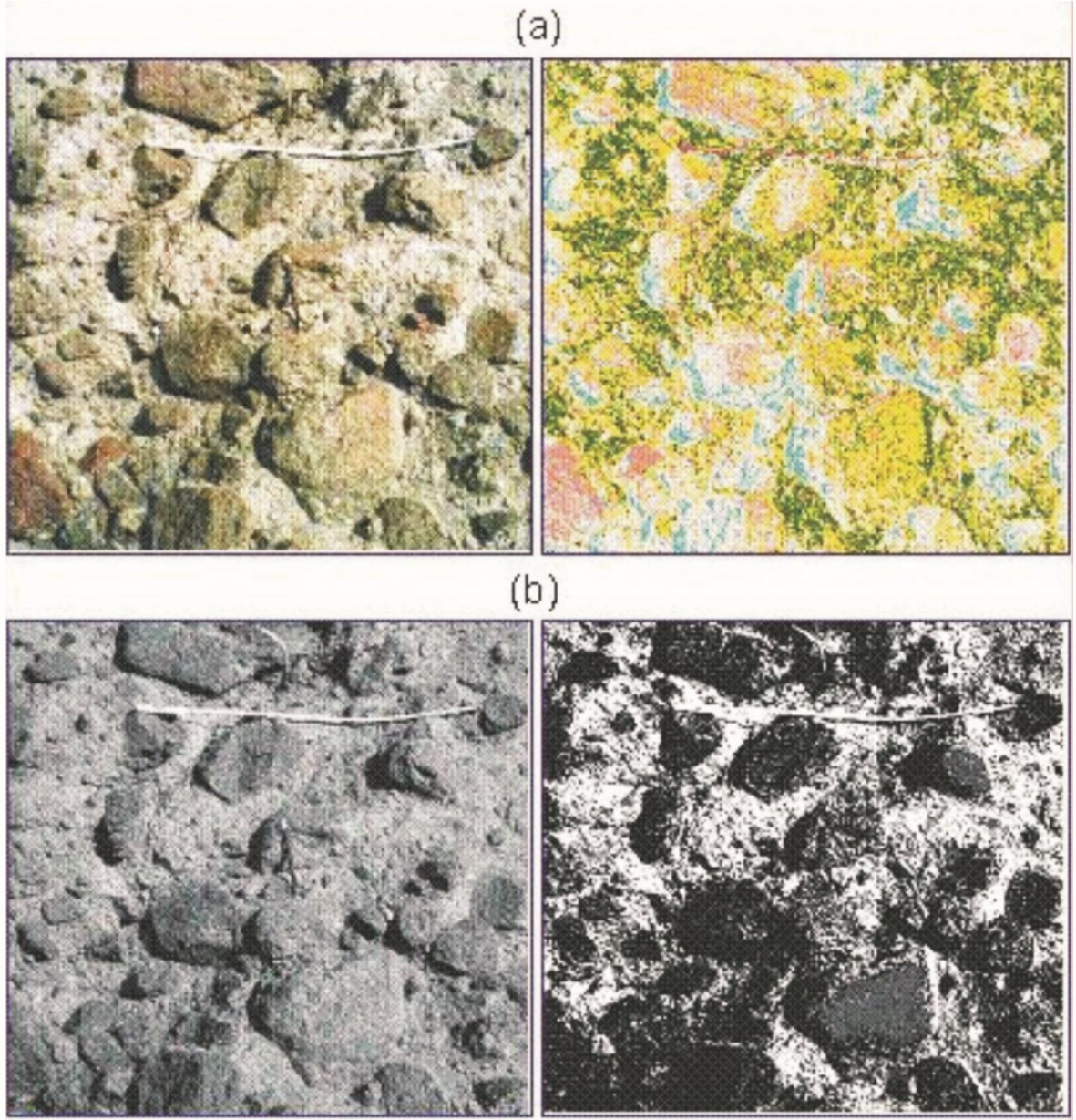
$$HBO(\%) = \left(\frac{\gamma_{bimrock} - \gamma_{matriks}}{\gamma_{blok} - \gamma_{matriks}} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte; $\gamma_{bimrock}$: bimrockın ortalama birim hacim ağırlığı, γ_{blok} : blokların ortalama birim hacim ağırlığı ve $\gamma_{matriks}$: matriksin ortalama birim hacim ağırlığıdır. Bu ilişki farklı tipte blok türlerinin varlığı durumunda dikkatli kullanılmalıdır.

Reidmüller vd. [13] tektonik kökenli bimrockların sınıflamasına yönelik bir akış şeması önermişlerdir. Sönmez ve Tunusluoğlu (2010) bu sınıflamanın genel tanımlarıyla birlikte jeomekanik anlamda yetersiz olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 2.5. Ankara aglomeralarında hacimsel blok oranının belirlenmesine yönelik olarak nokta sayma yönteminin kullanılması (Sönmez vd. [12]'den)



Şekil 2.6. Ankara aglomeralarında foto analiz teknikleriyle hacimsel blok oranının belirlenmesine yönelik olarak (a) renkli (b) gri fotoğrafların kullanılması (Sönmez vd. [12]'den)

2.2 Dayanım ve Deformasyon Davranışına Yönelik Önceki Çalışmalar

Zayıf bir matriks tarafından kuşatılan daha dayanımlı kaya bloklarının karışımından oluşan bimrockların tasarıma yönelik jeomekanik parametrelerinin seçilmesindeki (belirlenmesindeki) zorluklara karşın, son 30 yılda bu konu pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır [3, 4, 10, 12, 14].

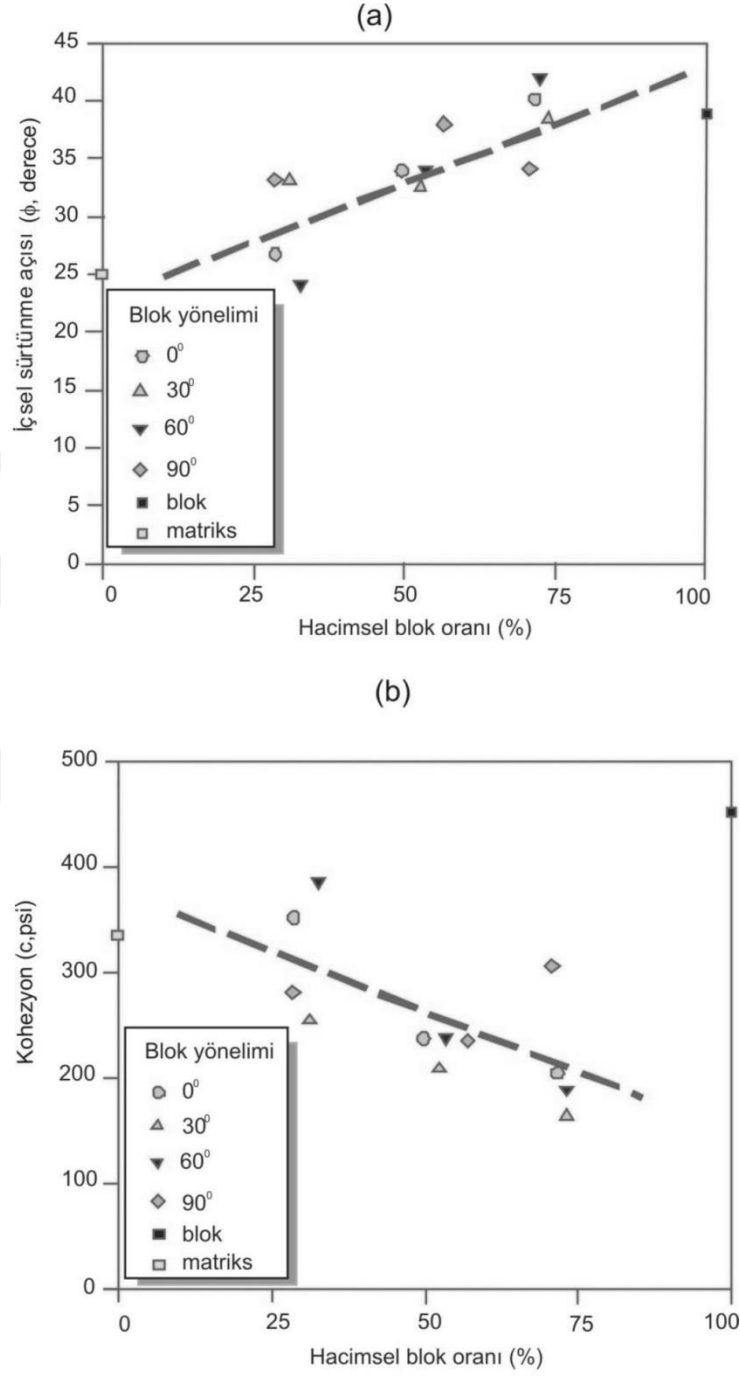
Medley [7] tarafından yapılan çalışma ve sonraki süreçte karmaşık jeolojik kütlelerin bimrock olarak tanımlanabilmesi için, blokların dayanımı ile matriksin dayanımları arasında belirgin dayanım ve deformasyon kontrastının olması gerektiği vurgulanmıştır. Medley and Zekkos [5] tarafından bloklar ile matriks arasındaki dayanım ve deformasyon kontrastının asgari sınır değerleri aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- i. $\tan(\phi_{\text{block}})/\tan(\phi_{\text{matriks}}) > \sim 1.5 - 2.0$ (Medley [7]; Lindquist ve Goodman [15])
- ii. $E_{\text{block}}/E_{\text{matriks}} > \sim 2.0$ (Lindquist [3])
- iii. $UCS_{\text{block}}/UCS_{\text{matriks}} > \sim 1.5$ (Medley and Zekkos [5]; H. Sönmez ile sözlü görüşme)

Fransican melanjındaki şevlerin duraylılığını inceleyen Bedrosian [16, 17] melanjın dayanımının matriksin dayanımı tarafından kontrol edildiğini öne sürmüştür. Buna karşın, Lindquist [3] yapay bimrock örnekleri hazırlayarak yapmış olduğu deneysel çalışmalarda hacimsel blok oranını (HBO) yaklaşık %25'e kadar olan düşük değerlerinde içsel sürtünme açısının matriksinkine eşit olduğunu; ancak, daha yüksek blok oranlarında ise içsel sürtünme açısının yükseldiğini belirlemiştir. Diğer bir ifadeyle, yüksek hacimsel blok oranlarında matriksin içsel sürtünme açısının kullanılmasının tutucu sonuçlar verebileceğini belirtmiştir.

Lindquist [3] hazırlamış olduğu yapay bimrock örneklerinde blok yönelmesinin etkisini izleyebilmek amacıyla, yönlendirilmiş blokların olduğu yapay bimrock örnekleri üzerinde deneysel çalışmalarını yürütmüştür. Bu amaçla, dört farklı blok yönelimine sahip (0° , 30° , 60° ve 90°) yapay silindirik örnekler üzerinde üç eksenli sıkışma dayanımı ve elastisite modülü deneyleri gerçekleştirmiştir. Araştırmacı, bimrockların dayanımlarının büyük ölçüde hacimsel blok oranına bağlı olduğunu belirtmiş, blok dayanımının etkin olmadığını ifade etmiştir. Bu durumu yenilme yüzeyinin blokların etrafından dolaşarak ilerlemesiyle açıklamışlardır. Bu davranışın bir sonucu olarak, yenilme yüzeyi hacimsel blok oranındaki artışa bağlı olarak daha dolambaçlı gelişmektedir. Sonuç olarak, Lindquist [3] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile hacimsel blok oranındaki artışa bağlı olarak içsel sürtünme açısının arttığı, kohezyonun ise azaldığı belirlenmiştir (Şekil 2.7).

Ayrıca, araştırmacı elastisite modülünün de hacimsel blok oranındaki artışa bağlı olarak arttığını belirtmiştir.



Şekil 2.7. Lindquist [3] tarafından yapay bimrocklar üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarına göre hacimsel blok oranıyla (a) içsel sürtünme açısının ve (b) kohezyonun değişimi [18].

Lindquist [3] yapay bimrock modelleri ile yapmış olduğu araştırma sonucunda bimrockların dayanımlarının aşağıdaki eşitliklerle ön görülebileceğini belirtmiştir.

$$\tau_p = c_{\text{matriks}} \left(1 - \frac{\text{HBO}}{100}\right) + \sigma_n \tan(\phi_{\text{matriks}} + \Delta\phi_{\text{HBO}}) \quad (2.2)$$

Burada τ_p : doruk makaslama dayanımı, HBO: hacimsel blok oranı (%), σ_n : normal gerilme, ϕ_{matriks} : matriksin içsel sürtünme açısı, c_{matriks} : matriksin kohezyonu; $\Delta\phi_{\text{HBO}}$ HBO'ya bağlı olarak içsel sürtünme artış miktarıdır.

$$\Delta\phi_{\text{HBO}} = 0.3(\text{HBO}) - 7.5 \quad (2.3)$$

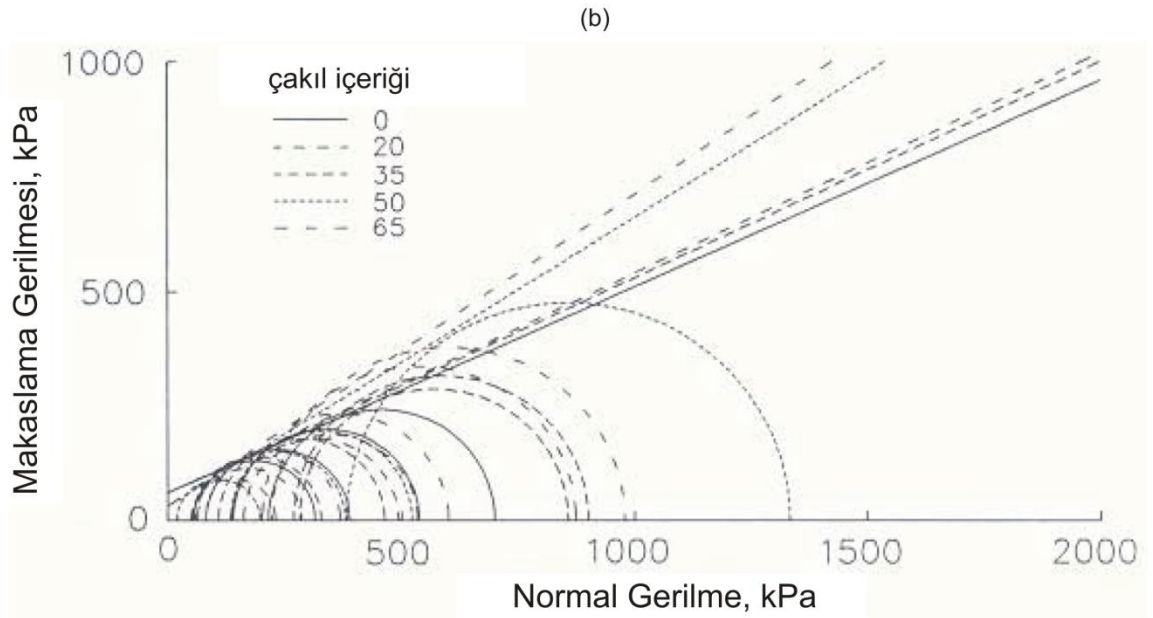
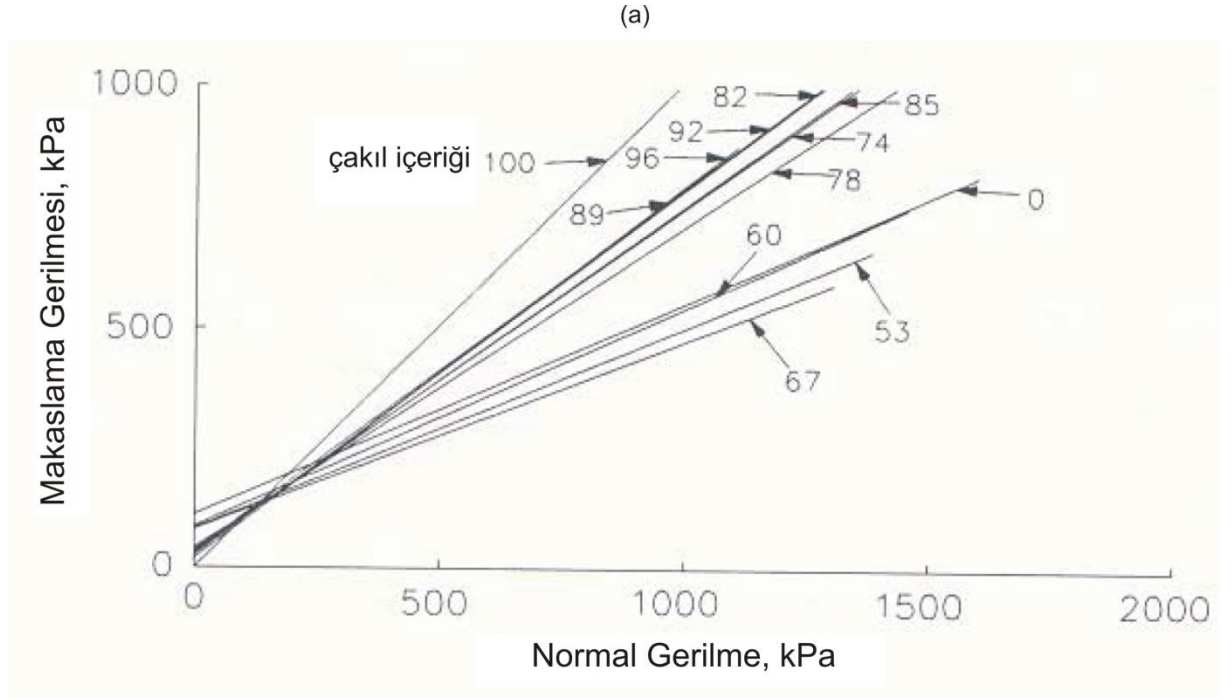
HBO>%25 aksi takdirde $\Delta\phi_{\text{HBO}} = 0$ olup, ayrıca HBO>%75% olduğu durumlar için herhangi bir artış uygulanmamaktadır.

Lindquist [3]'in yaklaşımı oldukça basit olup, sadece HBO'yu bloklara ilişkin girdi parametresi olarak kullanmaktadır. Buna karşın, blokların köşeliliği gibi blok ile matriks dokanak dayanımı üzerinde etkili olabilecek hiçbir özellik dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle, bu yaklaşım genel anlamda tutucu sonuçlara yönelmektedir.

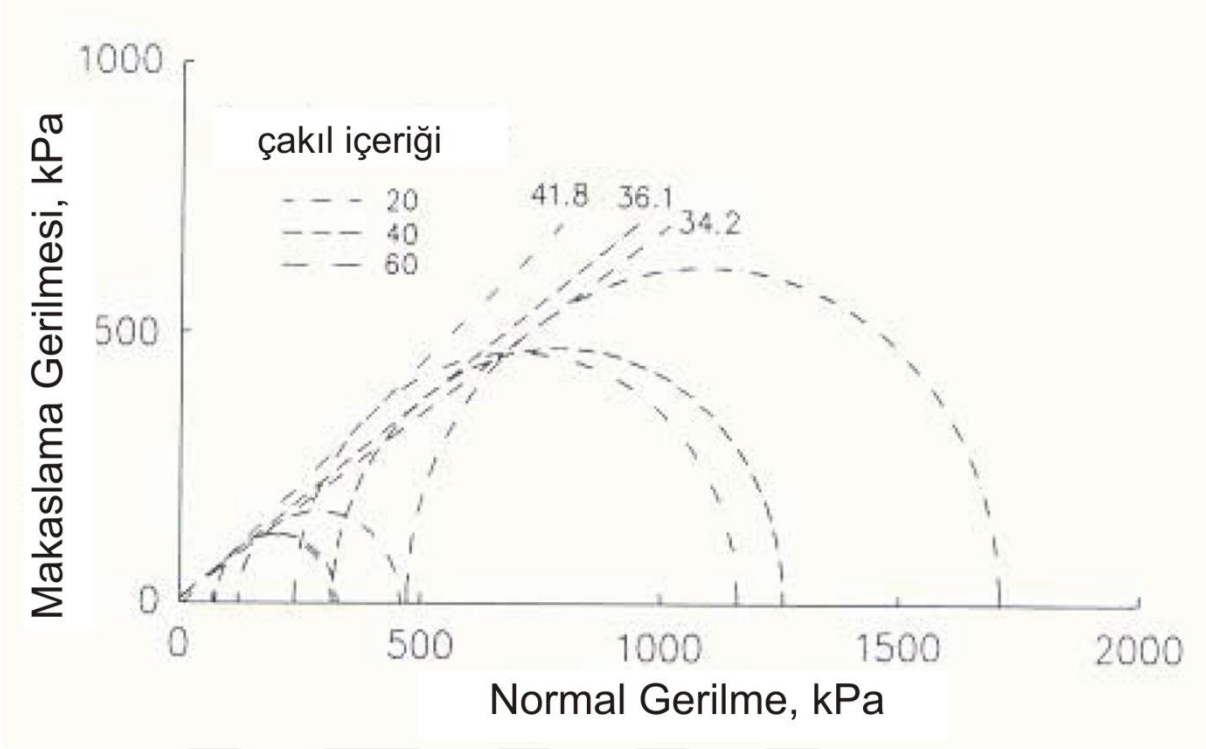
Iannacchione ve Vallejo [19] tarafından yapılan çalışmada kaya parçaları içeren kil ve kum karışımlarıyla ilgili 40 yıllık bir döneme ait 31 çalışmayı değerlendirmişlerdir. Araştırmacıların literatüre yönelik bu değerlendirmelerinde Miller ve Sowers [20] ve Holtz ve Ellis [21] tarafından yapılan çalışmalardaki artan kaya parçası miktarına bağlı olarak içsel sürtünme açısının arttığını buna karşın kohezyonun azaldığını ifade eden bulgulara yer verilmiştir (Şekil 2.8 a ve b). Yine Iannacchione ve Vallejo [19] tarafından yapılan çalışmada yer verilen, makaslama dayanımı açısından benzer sonuçlar sunan Donaghe ve Torrey [22] tarafından çakıl içeren kum-kil zemin örneklerine ait yenilme zarfı da Şekil 2.9'da görülmektedir. Iannacchione ve Vallejo [19], toprak – kaya karşımı malzemelerin makaslama dayanımlarının belirlenmesinde uygulanan yaklaşımların dört grup altında toplanabileceğini belirtmişlerdir: (1) geriye dönük analizler, (2) fiziksel model deneyler (3) ampirik yöntemler ve (4) analitik yöntemler.

Iannacchione ve Vallejo [19] ayrıca, kohezyonlu toprak ve kaya karşımı malzemelerin davranışı ile ilgili önemli belirlemeler de yapmışlardır. Tane-tane (blok-blok) temaslarının blok içeriğinin %40'dan fazla olduğu durumlarda

gözlenmeye başladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, diğer bir belirleme ise artan kaya parçası içeriğiyle birlikte, kaya parçalarının kontak kısmındaki toprak matrisi iyi kompakte olurken, diğer kısımlarında açık boşluklar ve tane-tane kontakları gözlenir.



Şekil 2.8. Iannacchione ve Vallejo [19] çalışmalarında yer verdikleri (a) Miller ve Sowers [20] ve (b) Holtz ve Ellis [21] tarafından yapılan araştırmalarda belirledikleri kohezyonlu zeminlerdeki çakıl içeriğindeki artışa bağlı olarak makaslama dayanımı verileri.



Şekil 2.9. Çakıl içeren kum-kil zemin örneklerine ait makaslama dayanımı verileri (Donaghe ve Taylor [22]; Iannacchione ve Vallejo [19]'dan)

Diğer taraftan, Altınsoy [23] tarafından yapılan çalışmada matriks ile bloklar arasındaki sınır boyunca dayanımın en az matriksin dayanımına eşit olduğu bimrocklar kaynaşmış (welded) bimrock olarak tanımlanırken, bu tezde de araştırma malzemesi olarak dikkate alınan sınırları boyunca dayanımın daha düşük olduğu bimrocklar ise kaynaşmamış (unwelded) olarak tanımlanmıştır. Bimrock olarak tanımlanan jeolojik kütlelerin dayanım davranışları birbirinden farklılıklar göstermekte olup, bu davranış farklılığı kuramsal olarak Şekil 2.10'da sunulduğu gibi özetlenebilmektedir [24].

Yukarıda da sıklıkla vurgulandığı üzere, bimrockların dayanımlarının ampirik olarak kestirimine yönelik çalışmalarda hacimsel blok oranı (volumetric block proportion, VBP) yaygın olarak kullanılan en temel girdi parametresidir [3, 4, 12, 18, 25, 26].

Coli et al. [26] bimrockların dayanım parametrelerinin yerinde deneylerle belirlenmesine yönelik olarak "bimtest" adını verdikleri yerinde makaslama deneyi geliştirmişlerdir. Bimtest cihazının sahadaki uygulaması Şekil 2.11a'da görülürken, deneyin uygulanmasına ilişkin şematik çizimler ise Şekil 2.11b'de verilmiştir. Coli

et al. (2011) tarafından yerinde uygulanan 6 adet Bimtest deney sonuçlarında da, hacimsel blok oranındaki artışla içsel sürtünme açısının arttığı ve kohezyonun ise azaldığı şeklinde bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 2.12).

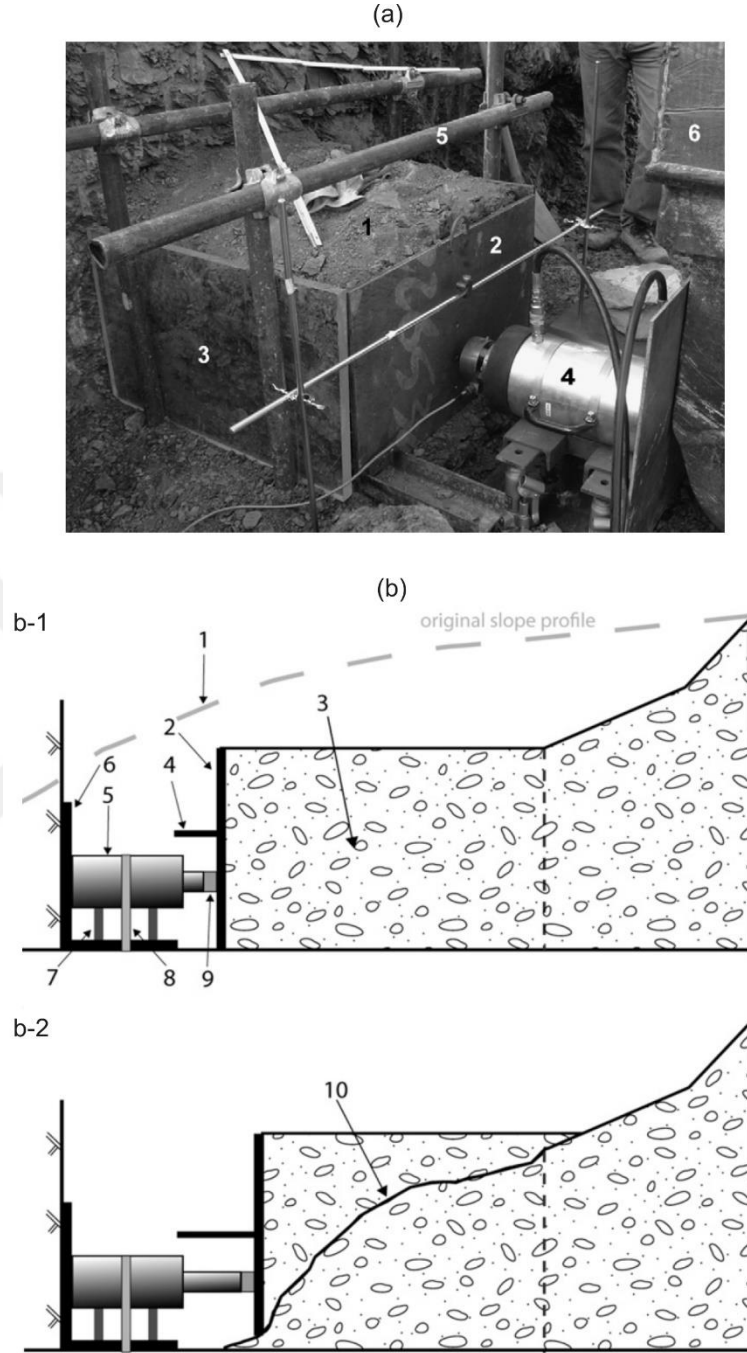


Şekil 2.10. Kaynaşmamış (unwelded) ve kaynaşmış (welded) bimrockların dayanım davranışlarının kuramsal yorumuyla birlikte şematik gösterimi [24].

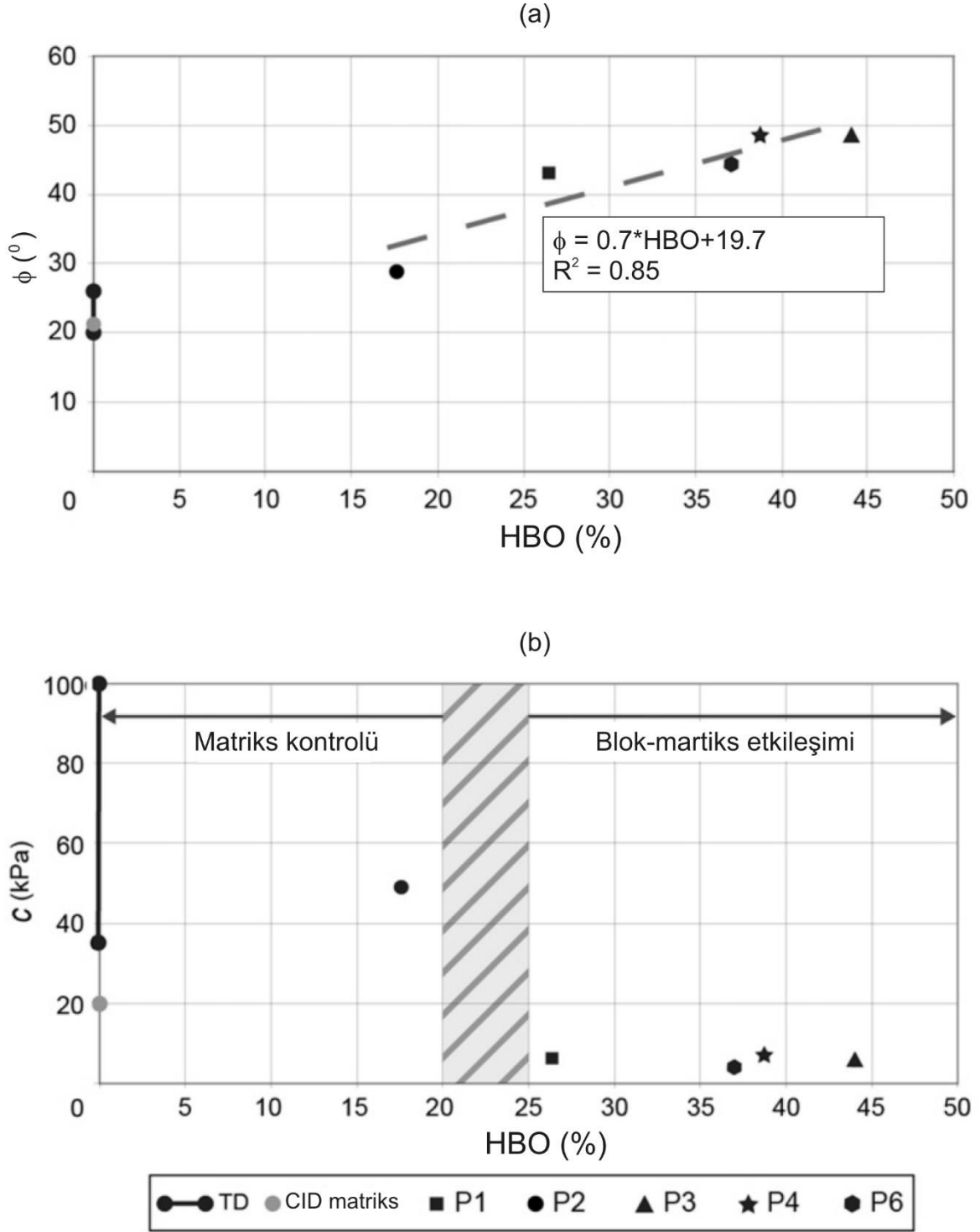
Xu vd. [27] büyük ölçekli doğrudan makaslama deneyleriyle toprak kaya karışımı malzemelerin makaslama dayanımlarını belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, farklı alansal boyutlarda toprak matriks ile kaya blok boyutunun sınır değerinin belirlenmesinde, Medley [7] tarafından önerilen $d=0.05 \cdot L_c$ önerisini dikkate almışlardır (Şekil 2.13). Ayrıca, kaya blok oranlarının belirlenmesinde siyah-beyaz sınıflandırılmış dijital görüntü işleme tekniğini kullanılmışlardır (Şekil 2.13b).

Xu vd. [27] çalışmasında yerinde büyük ölçekli (60cm x 60cm x 40cm boyutlu) doğrudan makaslama deneyleri uygulamış ve kaya blok içeriğine bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişimi Lindquist [3]'in grafiksel sunumunda gösterirken, kohezyonun kaya blok içeriğine bağlı olarak değişimini ise grafiksel olarak vermiştir (Şekil 2.13). Xu vd. [27] tarafından yapılan çalışmada da kaya blok

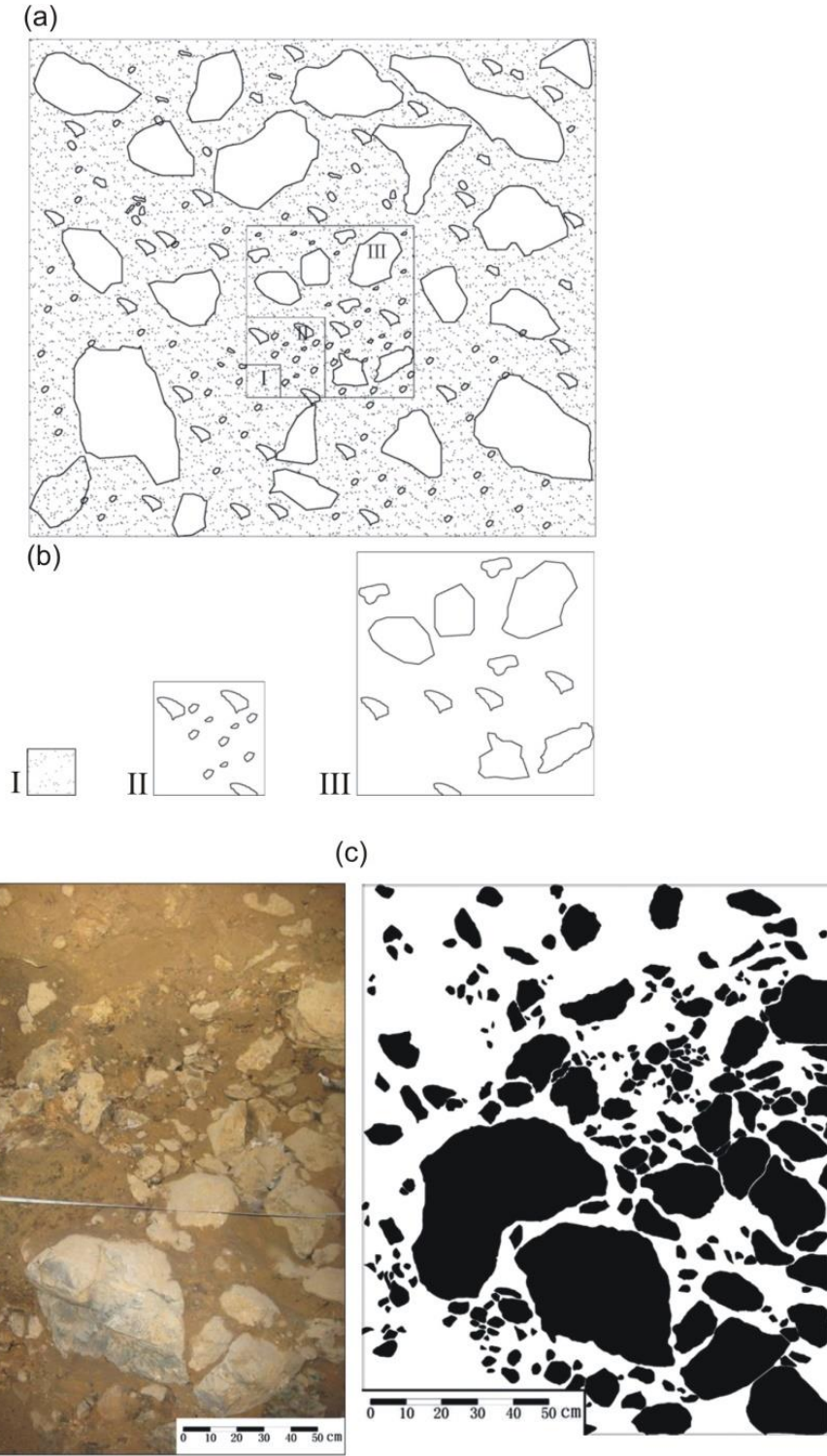
içeriğinin artışıyla içsel sürtünme açısının arttığı buna karşın kohezyonun azaldığı gözlenmiştir.



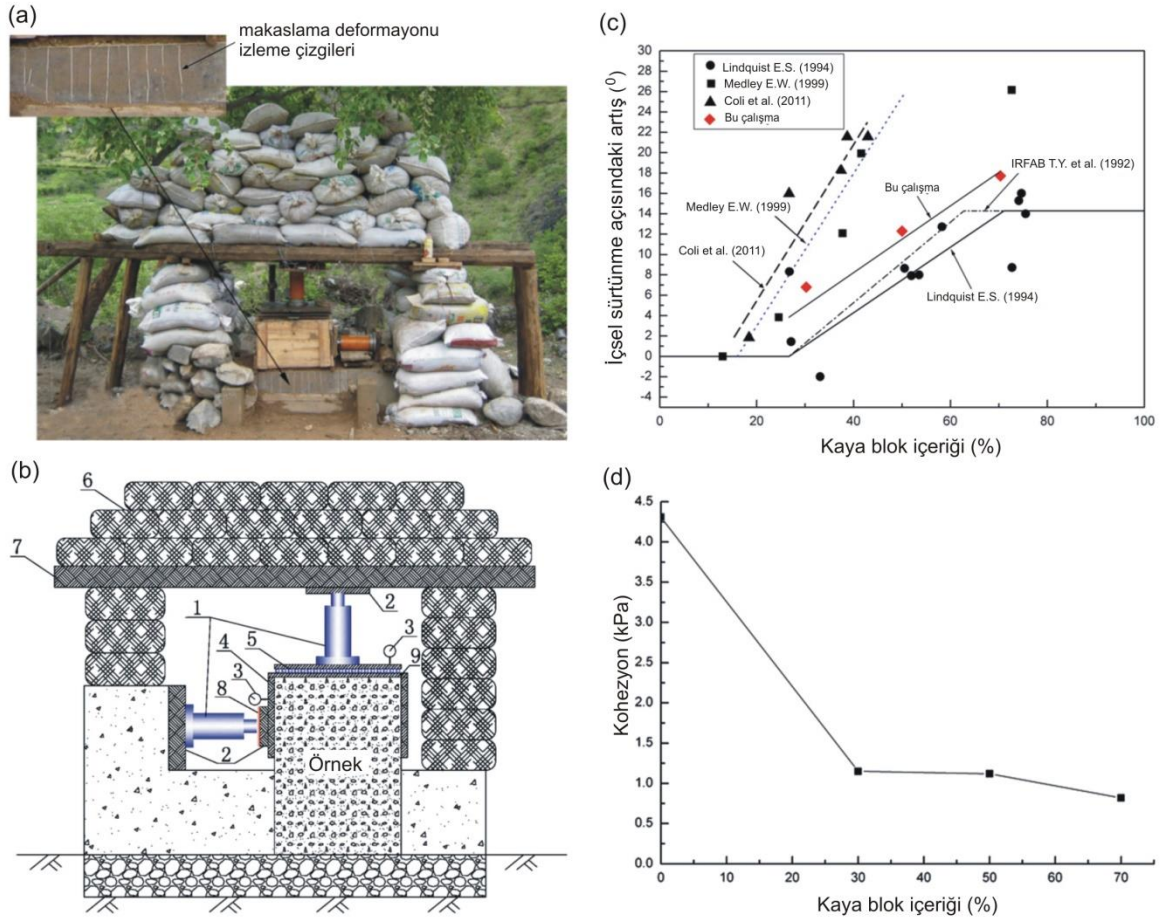
Şekil 2.11. (a) “Bimtest” yerinde makaslama deney ekipmanı (1) örnek, (2) ön çelik plaka, (3) yatay fleksiğlas plaka, (4) hidrolik kriko, (5) demir barlar ve (6) reaksiyon için dozer (b) deney öncesinde (b-1) ve deney sırasında (b-2) şematik gösterim (1) orijinal topoğrafya, (2) ön çelik plaka, (3) örnek, (4) LVDT, (5) hidrolik kriko, (6) L şekilli taban plakası ve tutucular, (7) manuel jack, (8) naylon kayış (9) yük hücresi ve (10) yenilme yüzeyi [26].



Şekil 2.12. Coli vd. [26] tarafından Bimtest yerinde makaslama deney düzeneğiyle gerçekleştirilen deneyler sonucunda (a) içsel sürtünme açısı ve (b) kohezyonun hacimsel blok oranına (HBO) bağlı değişimi (Coli vd. [26]'den yeniden düzenlenerek alınmıştır).



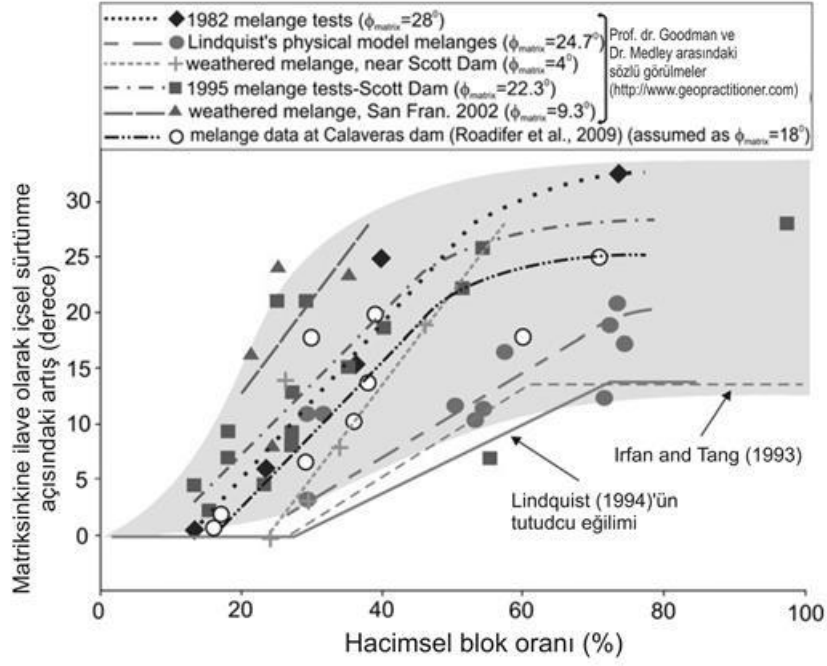
Şekil 2.13. (a) Toprak zemin kaya (S-RM) karışımı malzemelerde tüm yapısal model ve (b) farklı çalışma ölçeğinde basitleştirilmiş S-RM model ve (c) S-RM iç yapısının orijinal ve dijital görüntü işleme tekniği sonrasında elde edilen siyah-beyaz (ikili) görüntüleri (Xu vd. [27] 2011'den düzenlenmiştir).



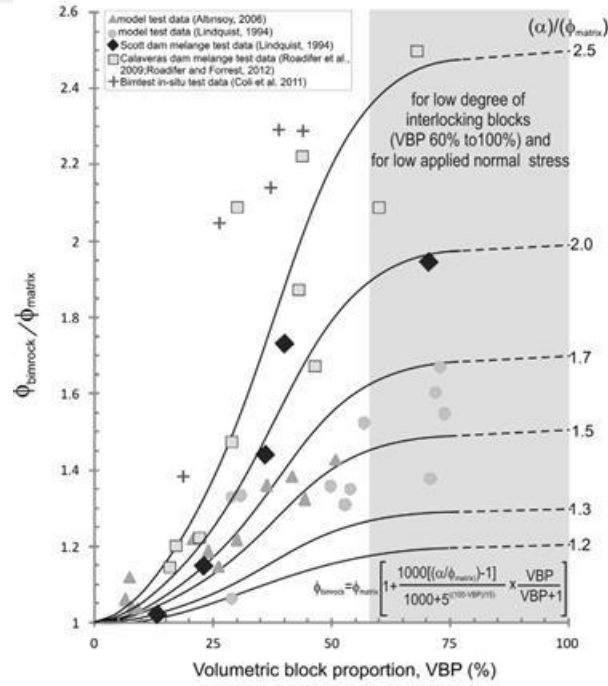
Şekil 2.14. Xu vd. [27] tarafından yapılan çalışmada kullanılan büyük ölçekli doğrudan makaslama deney düzeneği (a) sahada uygulaması (b) şematik açıklamalar (1-krikolar, 2- traversler, 3-dial indikatör, 4-makaslama kutusu, 5-sürgülü çelik levha, 6-geri basınç sistemi, 7-kiriş, 8-kızak, 9-yükleme başlığı) ve elde ettikleri deneysel verilere göre kaya blok içeriğine bağlı olarak (c) içsel sürtünme açısı ve (d) kohezyondaki değişim.

Coşkun [24] ve Sönmez ve Tunusluoğlu [18] tarafından yapılan çalışmaların devamında, Kalender vd. [4] tarafından yapılan çalışma, literatürdeki bulgularla kuramsal olarak olabildiğince uyumlu olarak geliştirilmiş olup, kaynaşmamış bimrockların dayanımının belirlenmesine son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalardan biridir. Araştırmacılar, literatürdeki pek çok veriyi birlikte yorumlayarak hacimsel blok oranına bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişimin geniş bir zon içerisinde gelişebileceğini gözlemlemişlerdir (Şekil 2.15). İçsel sürtünme açısındaki bu değişimin blokların özelliklerine bağlı olarak kontrol edildiğini öne sürmüşler ve blokların yığılma açısını (α , angle of repose)

HBO= \sim %75 için bir üst sınır olarak tanımlayarak, kaynaşmamış bimrockların içsel sürtünme açısının belirlenmesine yönelik Şekil 2.16'daki yaklaşımı geliştirmişlerdir.



Şekil 2.15. Pek çok verinin birlikte yorumlanmasıyla belirlenen hacimsel blok oranına bağlı olarak içsel sürtünme açısındaki değişim zonu [4].



Şekil 2.16. Bimrock ve matriksin içsel sürtünme açısının oransal değerinin hacimsel blok oranına (HBO) bağlı olarak değişim ilişkisi [4].

Kalender vd. [4] tarafından önerilen bu yaklaşımda özellikle bloklar arası temasın başladığı HBO'nun yaklaşık %60'ın üzerinde olduğu durumlarda normal gerilme (veya çevresel basınca) bağlı olarak blokların temasından kaynaklı dayanımlarında gelişebileceğine dikkat çekmişlerdir. Bu belirleme tümüyle gözlemsel olup, bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar sırasındaki gözlemlere göre Iannacchione ve Vallejo [19] çalışmasında belirttiği gibi blok-blok temaslarının HBO'nun %40 değerlerinden sonra başladığı söylenebilir.

Ayrıca, bimrockların tek eksenli sıkışma dayanımının da bloklar ile matriks arasındaki sınır dayanımıyla ilişkili olduğunu belirterek, bu etkinin de ifadesine yönelik "A" parametresini tanımlayarak, bimrockların tek eksenli sıkışma dayanımının belirlenmesi amacıyla Şekil 2.17'de sunulan yaklaşımı önermişlerdir.

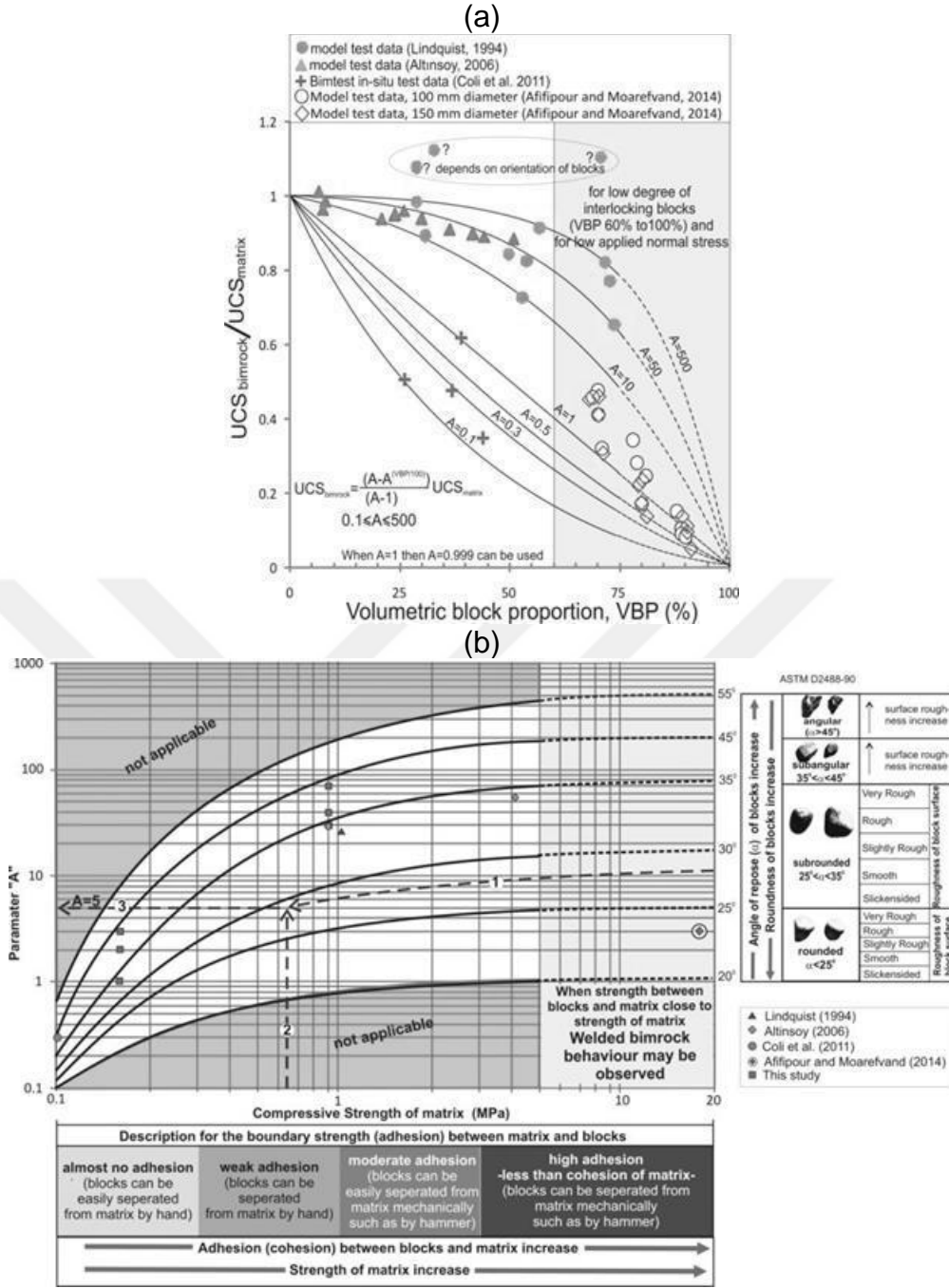
Kalender vd. [4] tarafından kaynaşmamış bimrockların dayanımlarının belirlenmesine yönelik geliştirilen ampirik yaklaşımın eşitlikleri ise aşağıda sunulmuştur.

$$\phi_{\text{bimrock}} = \phi_{\text{matriks}} \left[1 + \frac{1000 \left[\left(\frac{\alpha}{\phi_{\text{matriks}}} \right)^{-1} - 1 \right]}{1000 + 5 \left(\frac{100 - \text{HBO}}{15} \right)} \right] \left(\frac{\text{HBO}}{\text{HBO} + 1} \right) \quad (2.4)$$

$$\text{UCS}_{\text{bimrock}} = \frac{\left(A - A \left(\frac{\text{HBO}}{100} \right) \right)}{(A-1)} \text{UCS}_{\text{matriks}} \quad 0.1 \leq A \leq 500 \quad (2.5)$$

$$c_{\text{bimrock}} = \frac{\text{UCS}_{\text{bimrock}} \times (1 - \sin(\phi_{\text{bimrock}}))}{2 \cos(\phi_{\text{bimrock}})} \quad (2.6)$$

Yukarıdaki eşitliklerde ϕ_{bimrock} ve ϕ_{matriks} : bimrock ve matriksin içsel sürtünme açıları, α : blokların yığılma açısı, $\text{UCS}_{\text{bimrock}}$ and $\text{UCS}_{\text{matriks}}$: bimrock ve matriksin tek eksenli sıkışma dayanımı, c_{bimrock} : bimrock'ın kohezyonu, HBO: % olarak hacimsel blok oranı'dır.



Şekil 2.17. Normalize edilmiş tek eksenli sıkışma dayanımı ile hacimsel blok oranı (HBO) arasındaki ilişki ve (b) bu ilişkideki “A” parametresinin belirlenmesine yönelik grafiksel abak [4].

Lindquist [3]’in kohezyona yönelik HBO’nun %0 ile %100 arasındaki doğrusal yaklaşımına karşın, Kalender vd. [4] blokların özellikleri ve bloklar ile matriks arasındaki adezyona bağlı olarak tek eksenli sıkışma dayanımı üzerinde genellemeye yönelik bir katkı sağlamışlardır.

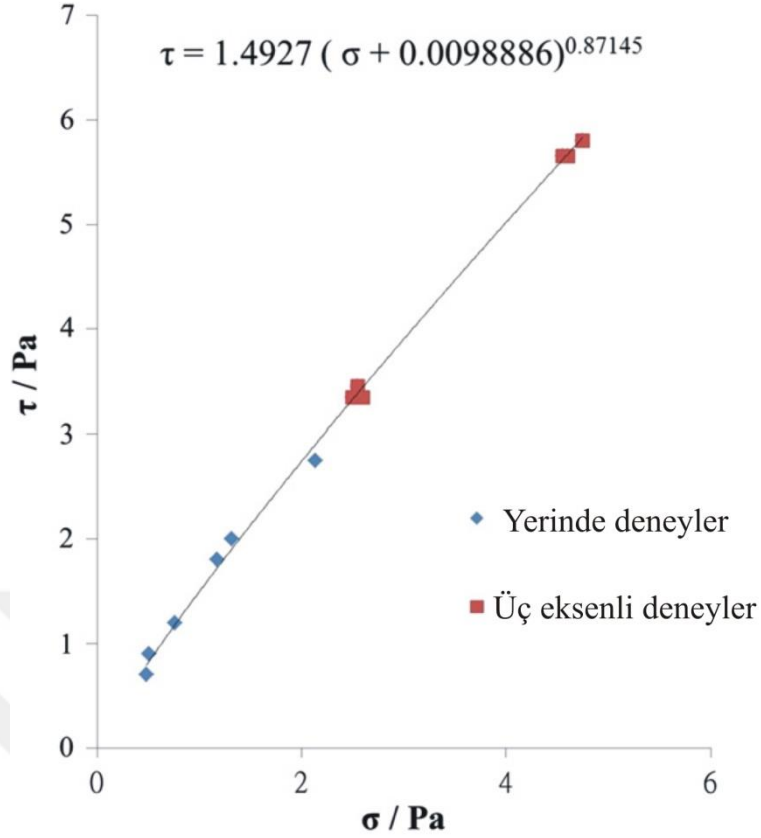
Kalender vd. [4] tarafından geliştirilen yaklaşım analitik yönüyle nispeten kapsamlı bir yaklaşım olmasına karşın yüksek hacimsel blok oranlarında bloklar arası etkileşim dikkate alınmamakla birlikte, literatürdeki diğer örneklerinde olduğu gibi, sadece hacimsel blok oranı temel girdi parametresi olarak kullanılmaktadır.

Chang ve Cheng [28] bloklar, çakıllar, kum ve daha ince malzemenin karışımından oluşan taşınarak bir yerde depolanan yığınların Tayvan'da sıklıkla gözlemlendiğini belirterek, bu tür karışımların makaslama dayanımlarının belirlenmesine yönelik bir araştırma yapmışlardır. Araştırmacıların çalışma alanlarından biri olan Sinshan bölgesinde, üzerinde çalıştıkları malzemenin görünümü Şekil 2.18'de görülmektedir.



Şekil 2.18. Sinshan bölgesindeki bloklar, çakıllar, kum ve daha ince malzemedan oluşan karışımların gözlemlendiği bir yamacın görüntüsü [28].

Chang ve Cheng [28] yerinde deneylerden ve üç eksenli sıkışma dayanımı deneylerinden elde ettikleri verileri genel şekli Eş. 2.7 ile ifade edilen eğrisel ilişkiyle tanımlanabileceğini belirtmişlerdir (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. Chang ve Cheng [28]'ün bloklar, çakıllar, kumlar ve daha ince taneler içeren doğal depolanmalar için deneysel çalışmalarla belirledikleri yenilme zarfı

$$\tau = P_a A \left(\frac{\sigma}{P_a} + T \right)^n \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte τ ve σ sırasıyla makaslama ve normal gerilme, P_a : atmosferik basıncı, A ve n boyutsuz dayanım parametreleri olup, A makaslama dayanımının büyüklüğü ile n ise yenilme zarfının eğriselliği ile ilişkilidir. Ayrıca, araştırmacılar elde ettikleri veri özelinde A 'nın belirlenmesi amacıyla matriksin tek eksenli sıkışma dayanımı (q_M), ortalama tane çapı (D_{50}) ve çakıl içeriği (C_G) parametrelerinin dikkate alan aşağıdaki iki ilişkiyi önermişlerdir.

$$A = -0.84 + 0.45q_M - 0.0056D_{50} + 0.014C_G \quad (2.8)$$

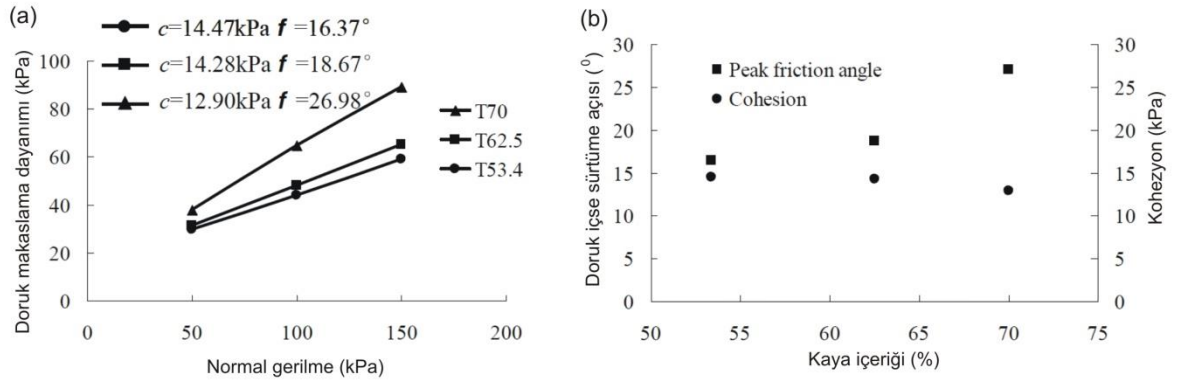
$$A = 0.0575 + 0.457q_M \quad (2.9)$$

Yukarıdaki veriye dayalı iki eşitlikten tek girdi parametresi kullanan Eş. (2.9) daha pratik gözükmesine karşın, yaklaşımın yenilme zarfı üzerinde matriksin

makaslama dayanımı gibi sınır koşulları yeterli yansıtılabildiği, diğer bir ifadeyle, genellemeye açık olduğu tartışmaya açıktır.

Genellikle ampirik ve kuramsal temelli yaklaşımların yoğunlaştığı çalışmaların yanı sıra, son yıllarda farklı nümerik analiz yöntemleriyle de bimrockların jeomekanik davranışının araştırıldığı çalışmalar da literatürde yer almaktadır.

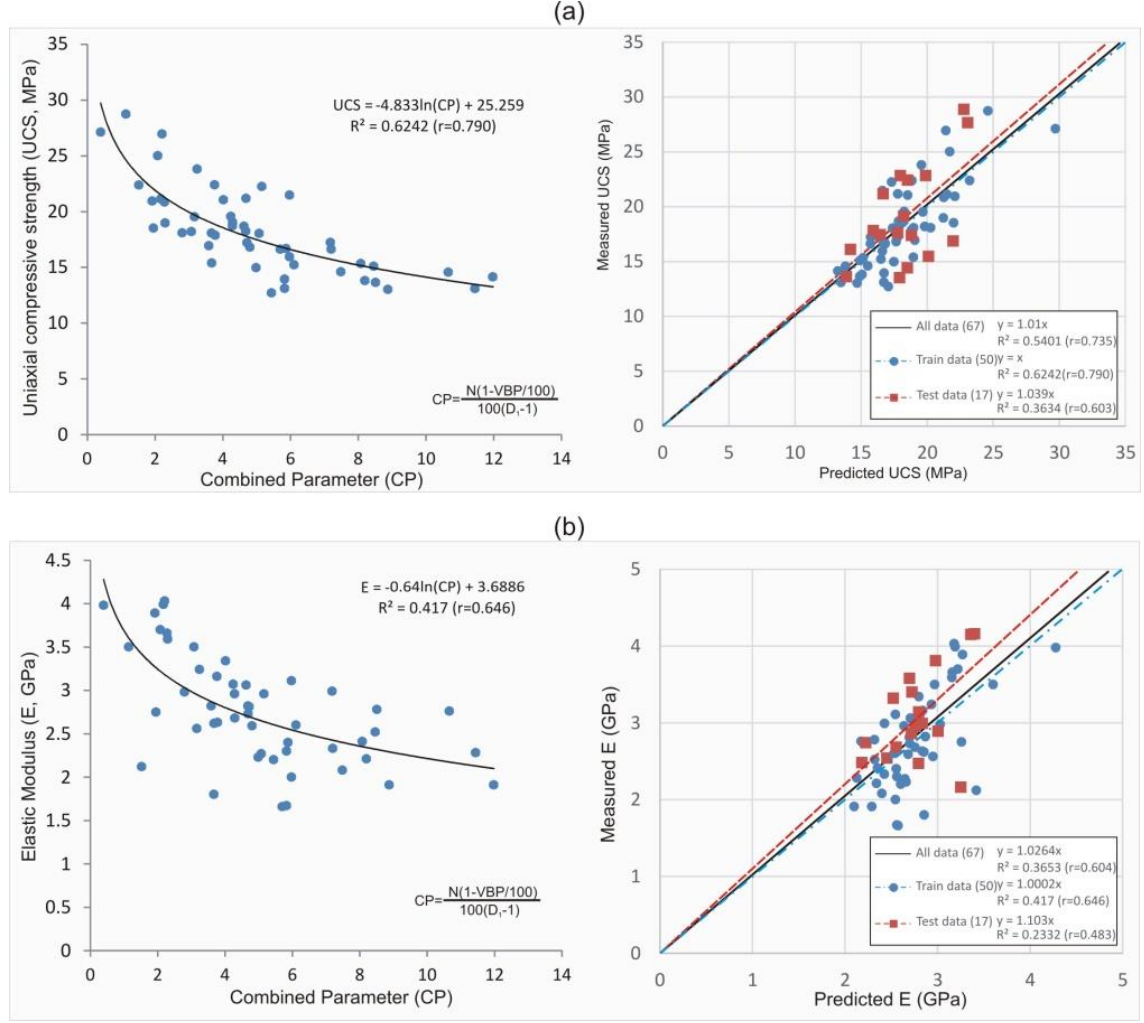
Gong ve Liu [29] toprak-kaya karışımlarının mekanik davranışını ayırık elemanlar yöntemiyle (Discrete Element Method) değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, sayısal çözümlerinde (%) kaya içeriğinin artmasıyla içsel sürtünme açısının arttığını, buna karşılık, kohezyonun ise azaldığını belirlemişlerdir (Şekil 2.20).



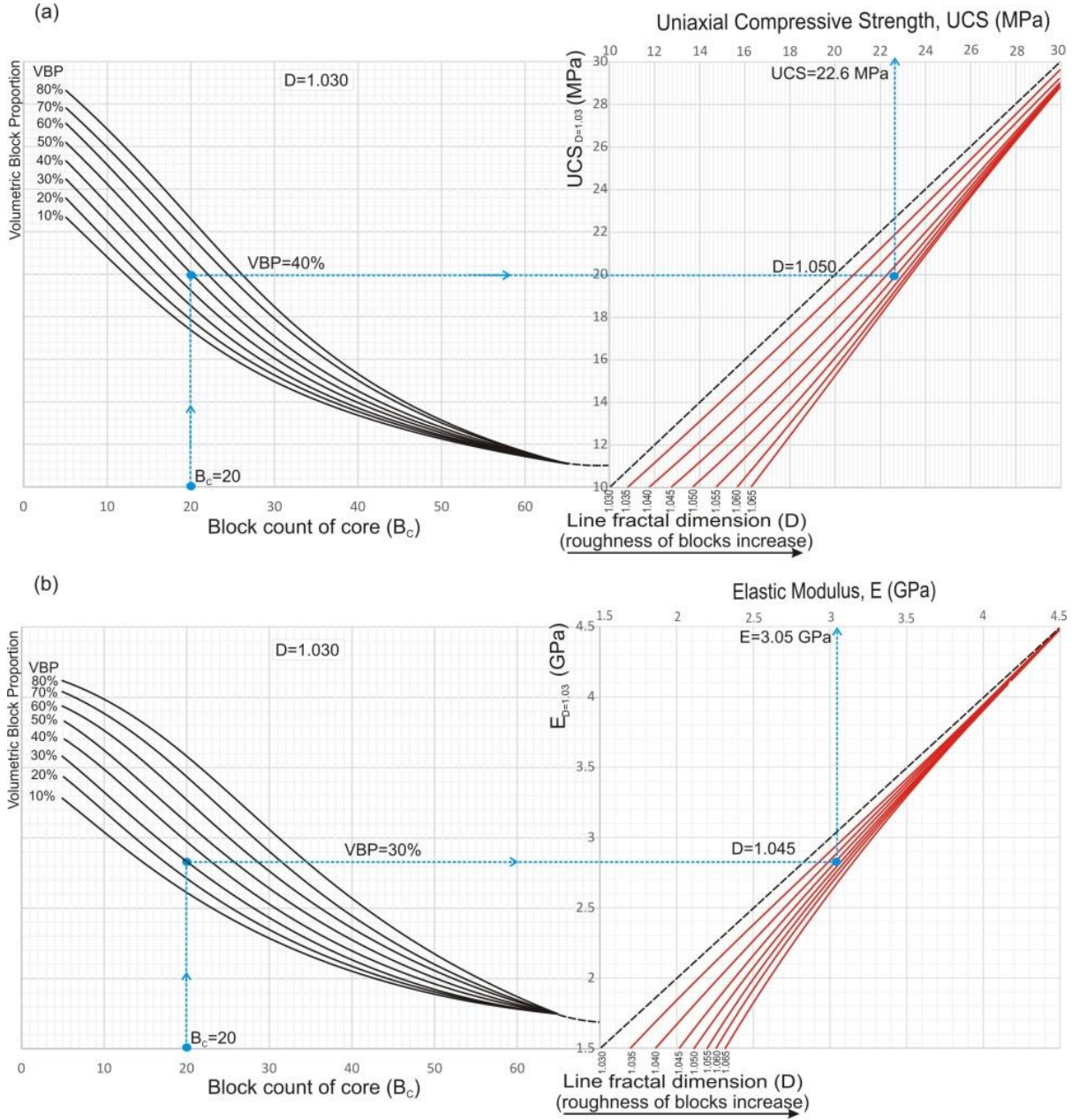
Şekil 2.20. Gong ve Liu [29] tarafından ayırık elemanlar yöntemiyle toprak-kaya karışımı malzemelere yönelik yapılan değerlendirmeye göre belirlenen (a) normal gerilme – doruk makaslama dayanımı ilişkileri (b) kaya içeriğindeki değişime bağlı olarak doruk içsel sürtünme açısının ve kohezyonun değişimi.

Belirli bir hacimsel blok ile matriks arasındaki dokanağın yoğunluğunu (yüzeysel temas büyüklüğünü - iki boyutta çizgisel uzunluğunu) doğrudan etkileyen bir parametre olarak hacimsel blok sayısını (volumetric block count, VBC) da dikkate alan bir çalışma Sönmez et al., (2016) tarafından kaynaşmış bimrocklar özelinde yapılmıştır. Bu çalışma da kaynaşmış bimrock örneği olan aglomera karot örneklerine ait deneysel çalışmaları girdi olarak kullanmış olup, çalışmada hacimsel blok oranının (HBO) yanı sıra hacimsel blok sayısı (HBS) ile blok pürüzlülüğünün yansımaları olarak 2-D fractal boyutunu dikkate almaktadır. Çalışmada hem regresyon yaklaşımı hem de yapay sinir ağı (ANN) kestirim hesaplama araçları olarak kullanılmıştır (Şekil 2.22 ve Şekil 2.23).

Sönmez vd. [30]'nin çalışmasındaki ön bulguları da hacimsel blok sayısının da etkili bir parametre olarak dikkate alınabileceğini desteklemektedir. Bu çalışmanın en temel sınırlaması, kaynaşmış bimrock olarak nitelendirilebilecek sadece aglomera kaya grubu üzerinde yapılan deney sonuçlarının kullanılmasıdır. Bu çalışmanın genellemeye yönelik değerlendirilmesi olanaklı değildir.



Şekil 2.21. Tek tür kaynaşmış aglomera örnekleri için blok sayısı (N), hacimsel blok oranı (VBP) ve fraktal boyutu (D_2) parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı regresyon temelli kestirim ilişkileri (a) tek eksenli sıkışma dayanımı, UCS ve (b) Elastisite modülü, E [31].



Şekil 2.22. Tek tür kaynaşmış aglomera örnekleri için blok sayısı (N), hacimsel blok oranı (VBP) ve fraktal boyutu (D_2) parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı ANN temelli kestirim abakları (a) tek eksenli sıkışma dayanımı, UCS ve (b) Elastisite modülü, E [31].

3. SAHA ÇALIŞMALARI

Tez çalışması kapsamında, kohezyonlu toprak matriks içinde bloklar içeren yapay zemin örnekleri hazırlanarak yapılması ön görülen laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere, matriks ve blok örneklerine gereksinim olmuştur. Ayrıca, TKİ Çanakkale Çan Linyit İşletmesi açık ocağı B panosunda kömür üzerinde yer alan aglomeratik birim içerisinde gelişen basamak bazındaki bir duraysızlığın geriye dönük şev duraylılığı analizlerinin yapılmasına yönelik olarak, duraysızlığın planı saha çalışmaları sırasında hazırlanmıştır. Yapılan bu çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

3.1 Yapay Örneklerinin Hazırlanmasında Kullanılacak Kohezyonlu Toprak Matriks ve Kaya Blokların Temin Edilmesi

Tez konusuna yönelik önceki çalışmaların sunulduğu literatür bölümünden de görüleceği üzere, zayıf matriks içinde dayanım ve deformasyon kontrastına sahip kaya bloklarından oluşan jeolojik kütlelerin dayanım ve deformasyon özelliklerinin yerindeki koşulları temsil edebilecek boyutlarda örnekler hazırlanarak deneysel çalışmalarla belirlenmesi hemen hemen olanaksızdır. Bununla birlikte, konuya yönelik ilk çalışmalardan sayılabilecek Lindquist [3]'in çalışmasından günümüze değin literatürde yapay bimrock örneklerinin laboratuvar ortamında hazırlanarak, dayanım ve deformasyon deneylerine tabi tutulması sıklıkla kullanılmıştır. Yapay örnekler üzerinde gerçekleştirilen bu deneysel çalışmalar, bimrockların dayanım ve deformasyon davranışlarının yorumlanmasında karmaşık jeolojik kütleler olarak tanımlanan bimrockların gerçekçi bir şekilde modellenmesine yönelik bazı sınırlamalarına karşın, yerinde deneyler ve sayısal çözümlerle birlikte diğer bir seçenek olarak kullanılmaktadır. Buna karşın, yapay örnekler üzerinde yapılan deneysel çalışmaların genel davranış modellerinin yorumlanmasında yararlı oldukları da literatürdeki örnekleriyle birlikte bilinmektedir.

Kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zemin örneklerinin yapay olarak hazırlanabilmesi için killi toprak örneği matriks malzemesi olarak kullanılmıştır. Kohezyonlu zayıf matriks içinde kaya bloklarının karışımından oluşan zeminlerde makaslama dayanımlarının belirlenmesinde temel girdi parametresi olarak

kullanılan hacimsel blok oranı (HBO)'nun yanı sıra, mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısının de etkisinin araştırılmasının amaçlandığı tez çalışması kapsamında kaya bloklarına gereksinim olmuştur.

Tez çalışmasının amaç ve kapsamına uygun olarak, kohezyonlu matriks hazırlanmasında kullanılmak üzere toprak örnekleri alınmıştır. Ayrıca yapay örneklerin hazırlanmasında kullanılan kaya blokları Çanakkale Çan Linyit İşletmesi Kocabaş çayının eski yatağının bıraktığı alüvyon çakıllarından temin edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çanakkale Çan Linyit İşletmesinde Kocabaş çayının eski yatağının bıraktığı çakıllı alüvyon zemin

Çanakkale Çan Linyit İşletmesindeki açık ocağın güneyinden akan Kocabaş çayının eski yatağının bıraktığı alüvyondan alınan çakıl örnekleri yuvarlaklaşmış ve pürüzsüz bloklar şeklinde tanımlanabilir.

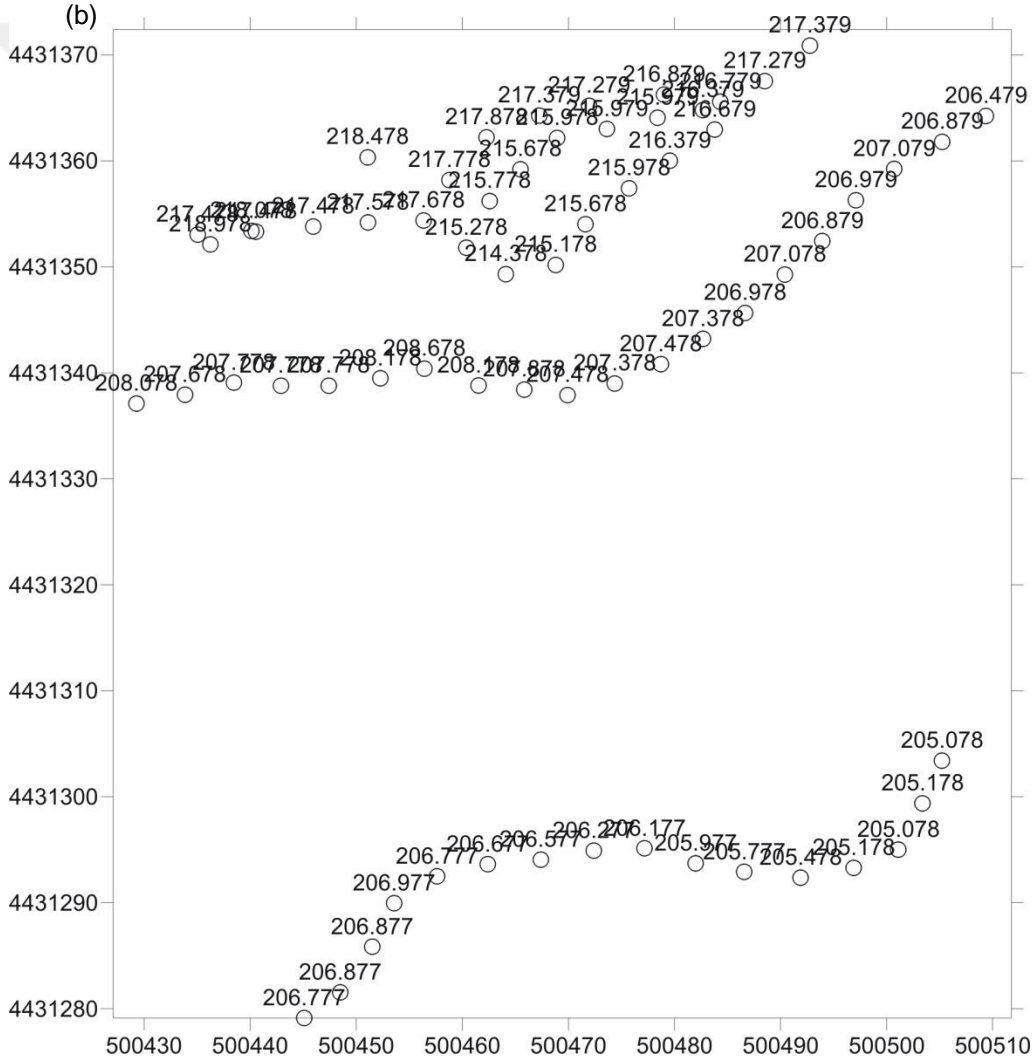
3.2 TKİ Çanakkale Çan Linyit İşletmesi Açık Ocağı B Panosunda Aglomeratik Birimdeki Basamak Bazındaki Duraysızlığa İlişkin Saha Çalışması

Zayıf matrik içinde bloklar içeren zeminlerin dayanım ve deformasyon parametrelerinin belirlenmesine yönelik mevcut ampirik çalışmalar, yapay örnekler üzerinde gerçekleştirilen kontrollü deneysel çalışmalarla belirlenen bulgular ve ayrıca jeomekaniğin kabul gören kuralları çerçevesinde geliştirilmişlerdir. Doğal olarak, ampirik yaklaşımların hiç biri özellikle tecrübe gerektiren karmaşık problemlerin çözümünde tek başına tasarım aracı olarak kullanılmamalıdır. Bununla birlikte, ampirik yaklaşımların gerçek vakalardaki performanslarının değerlendirilmesinde ve modifikasyonlarında duraysızlıkların geliştiği mühendislik uygulamaları oldukça değerlidirler.

Çanakkale Çan Linyit İşletmesi B panosundaki aglomeratik kütlede gelişen bir adet duraysızlık, bu tez çalışması kapsamında belirlenmiş ve mevcut ampirik yaklaşımların performansının değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu amaçla, duraysızlığın planı hassas GPS ölçümleriyle çıkarılmıştır (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Çanakkale Çan Linyit İşletmesi B panosunda üst kottardaki aglomeratik kütlede duraysızlığının planının çıkarılmasına yönelik hassas GPS ölçüm çalışması



Şekil 3.3. Çanakkale Çan Linyit İşletmesi B panosunda üst kotlardaki aglomeratik kütlede (a) duraysızlığın uzaktan görünümü ve (b) duraysızlığa ilişkin ölçülen noktaların kotlarıyla birlikte dökümü

Aglomeratik birimdeki duraysızlığın yeni (taze) bir duraysızlık olmaması ve ayrıca zayıf matriks malzemesinin de ayrışması nedeniyle, bu basamaktaki yüzeylerden hacimsel blok oranına ilişkin gözlemlerin sağlıklı olamayacağı dikkate alınarak, yakın lokasyonlarda daha temiz yüzeylerden fotoğraflar alınmış olup, bu fotoğraflar duraysızlığın değerlendirmesinin yapıldığı 6. Bölümdeki yorumlamalarda dikkate alınmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Çanakkale Çan linyit İşletmesi açık ocağı B panosundaki zayıf matriksli aglomeratik birime ait fotoğraflar



Şekil 3.4. devam ediyor.

4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zeminlerde hacimsel blok oranının (HBO) yanı sıra mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısının (HBS) da makaslama dayanımı davranışının üzerindeki etkilerinin araştırılmasının amaçlandığı tez çalışması kapsamında, kaya bloklarının yoğunluklarının belirlenmesi ve yapay örnekler üzerinde büyük makaslama kutusu doğrudan makaslama deneyleri yapılmıştır. Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlar aşağıda ayrı başlıklar halinde sunulmuştur.

4.1 Yapay Örneklerin Hazırlanmasında Blok Malzemesi Olarak Kullanılan Alüvyon Çakıllarının Özellikleri

Tez çalışmasının amacı doğrultusunda büyük makaslama kutusu deneylerinde farklı blok sayılarının sağlanması amacıyla iki farklı ortalama büyüklüğe sahip alüvyon çakılından hazırlanan bloklar kullanılmıştır. Alüvyon çakıllarının özellikleri aşağıda ayrı alt başlıklarda sunulmuştur.

4.1.1 Alüvyon Çakıllarının Yoğunluklarının Belirlenmesi

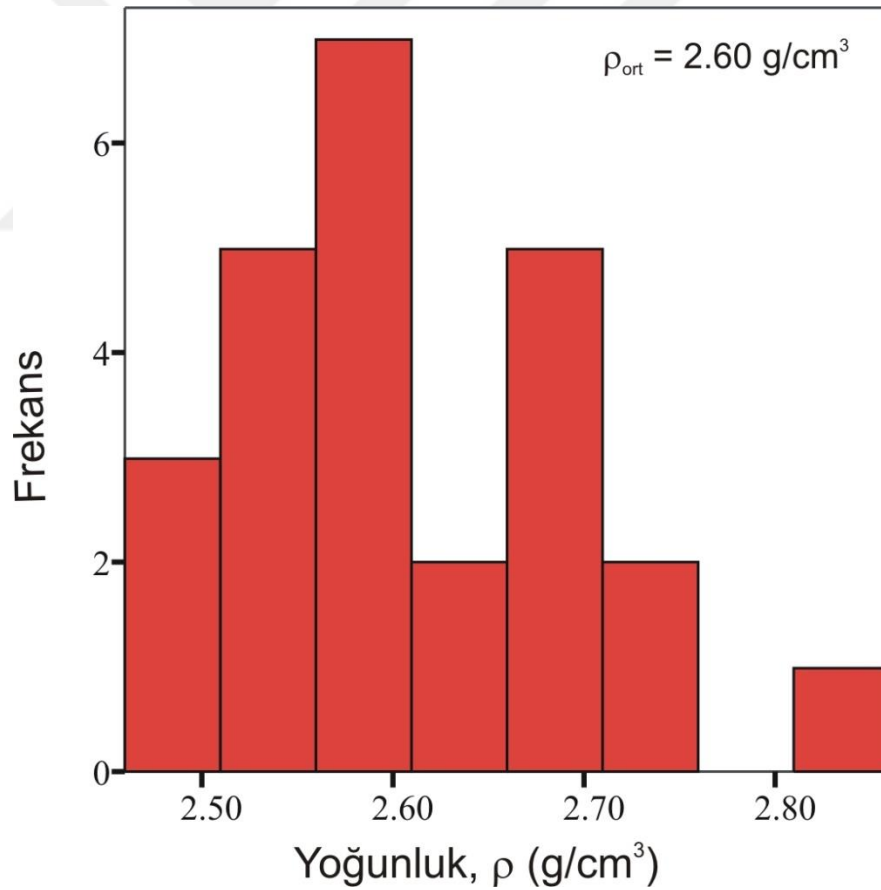
Tez çalışmasında hazırlanan kohezyonlu toprak matriks malzemesiyle karıştırılarak blok içeren yapay örneklerinin hazırlanması amacıyla Çanakkale Çan Linyit İşletmesi açık ocağının güneyinden akan Kocabaş çayının eski yatağına ait çakılların yoğunlukları çok sayıdaki örnek üzerinde düzensiz şekle sahip olmaları nedeniyle cıva taşıma yöntemiyle belirlenmiştir (Şekil 4.1). Alüvyon çakıllarının farklı türdeki kaya malzemelerinden oluşmasından dolayı 25 adet çakıl üzerinde yoğunluk deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve histogram grafikleri Şekil 4.2'de istatistiksel değerlendirme özet tablosu ise Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Laboratuvar çalışmalarında kullanılan alüvyon çakıllarının yoğunluk deney sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi

Örnek Türü	Örnek sayısı	En küçük (g/cm ³)	En büyük (g/cm ³)	Ortalama (g/cm ³)	Standart sapma (g/cm ³)
Alüvyon çakılları	25	2.46	2.86	2.60	0.08978



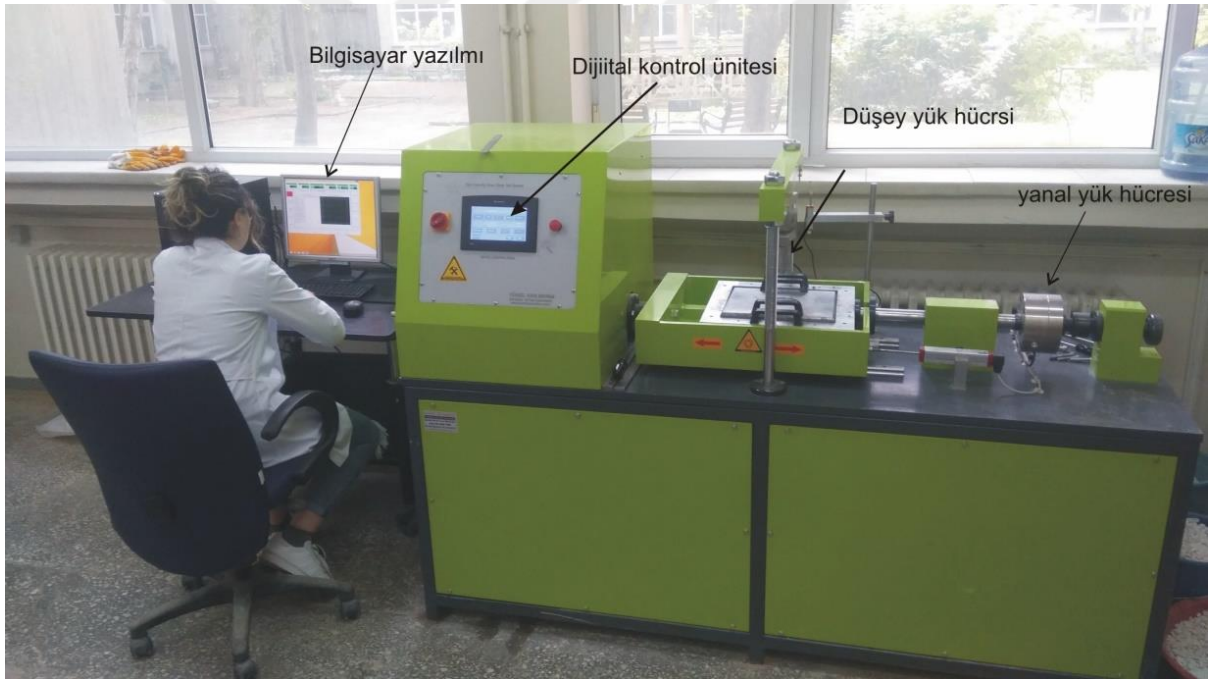
Şekil 4.1. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan alüvyon çakıllarında yapılan cıva taşıma yoğunluk deneyleri



Şekil 4.2. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan alüvyon çakıllarının yoğunluğuna ait histogram grafiği

4.2 Büyük Makaslama Kutusu Deneyleri

Tez çalışması kapsamında farklı hacimsel blok sayısına sahip alüvyon çakıllarının kullanıldığı kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren yapay zemin örneklerinin makaslama dayanım parametreleri büyük makaslama kutusu deney düzeneği kullanılarak yapılan deneylerle belirlenmiştir. H.Ü. BAB birimi tarafından desteklenen Proje No: FBA-2015-6221 no.lu kapsamında temin edilen Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mühendislik Jeolojisi laboratuvarlarındaki büyük makaslama kutusu deney düzeneğinde 30cm x 30cm x 8cm boyutlarına sahip örnekler doğrudan makaslama deneyine tabi tutulabilmektedir. Deney düzeneğinde düşey yönde 5 ton normal yükleme yapılabilirken, yatay yönde makaslama kuvveti de en fazla 5 ton kapasiteli yük hücresi ile ölçülmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Büyük makaslama kutusu deney düzeneği

Kohezyonlu toprak matriks içerisinde kaya bloklarının karışımı şeklinde hazırlanan yapay örnekler, makaslama deneyine tabi tutulmuş ve 4.5 mm/dak makaslama hızı kullanılmıştır. Maksimum makaslama yer değiştirmesi 30 cm x 30 cm boyutundaki makaslama alanının kenar uzunluğunun %15'i kadar (4.5 cm) uygulanmıştır. Oldukça düşük normal gerilme düzeyindeki makaslama dayanımı davranışının da izlenebildiği deneylere sadece yükleme başlığının yükü altında (17 kg) başlanılmış olup, deney düzeneğinin kapasitesi de dikkate alınarak 250 kg,

500 kg, 750 kg, 1250 kg ve 3000 kg normal yük aşamaları için deneyler tekrarlanmıştır. Bu yükleme düzeylerinde uygulanan normal gerilme büyüklükleri ise 1.85 kPa, 27.3 kPa, 54.5 kPa, 81.8 kPa ve ve 326.9 kPa'dır.

4.2.1 Kohezyonlu toprak matriks seçilmesine yönelik gerçekleştirilen büyük makaslama kutusu deneyleri

Kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren yapay örneklerin her birinde olabildiğince benzer özellikte matriks malzemesinin kullanılması, deneysel sonuçların bütünlük içerisinde anlamlı bir şekilde yorumlanabilmesi açısından öneme sahiptir. Bu nedenle, ilk aşamada yapay örneklerin hazırlanmasında kullanılacak kohezyonlu toprak matriks seçilmesine yönelik bir dizi deneme yapılmıştır. Killi toprak malzemesiyle hazırlanan örneğin makaslama dayanımının önemli ölçüde nem içeriği ve sıkıştırılma derecesi tarafından birlikte denetlenmesi olağan bir durumdur. Bu nedenle, deneysel çalışmalardaki uygulama pratiğinin de sağlanması amacıyla killi toprak matriks malzemesinin çok ıslak olmasından kaçınılarak nemli olmasının yeterli olacağı dikkate alınmış ve havada kurutulmuş örneğin nemini arttırmaya yönelik olarak işlemler az miktarlarda su püskürtülerek ve karıştırılarak yapılmıştır. Bir sonraki adımda blok ve kohezyonlu toprak matriks karışımı zemin örneklerinde yapılacak makaslama dayanımı deneylerinde kullanılacak matriks özelliğine karar verilebilmesi için, aşağıdaki aşamalarda sunulan örnekler dikkate alınmıştır.

- I. Aşama: ~% 8 nem içeriğine sahip örneğin makaslama kutusuna serbest dökümü ile hazırlanan toprak matriks örneği.
- II. Aşama: ~% 11 nem içeriğine sahip örneğin makaslama kutusuna serbest dökümü sonrasında 1 dk süreyle 1000 kg ön yükleme uygulayarak hazırlanan toprak matriks örneği.
- III. Aşama: ~% 8 nem içeriğine sahip örneğe 250 g bentonit ilave edilerek elde edilen karışımın makaslama kutusuna serbest dökümü sonrasında 3 dk süreyle 3000 kg ön yükleme uygulayarak hazırlanan toprak matriks örneği.

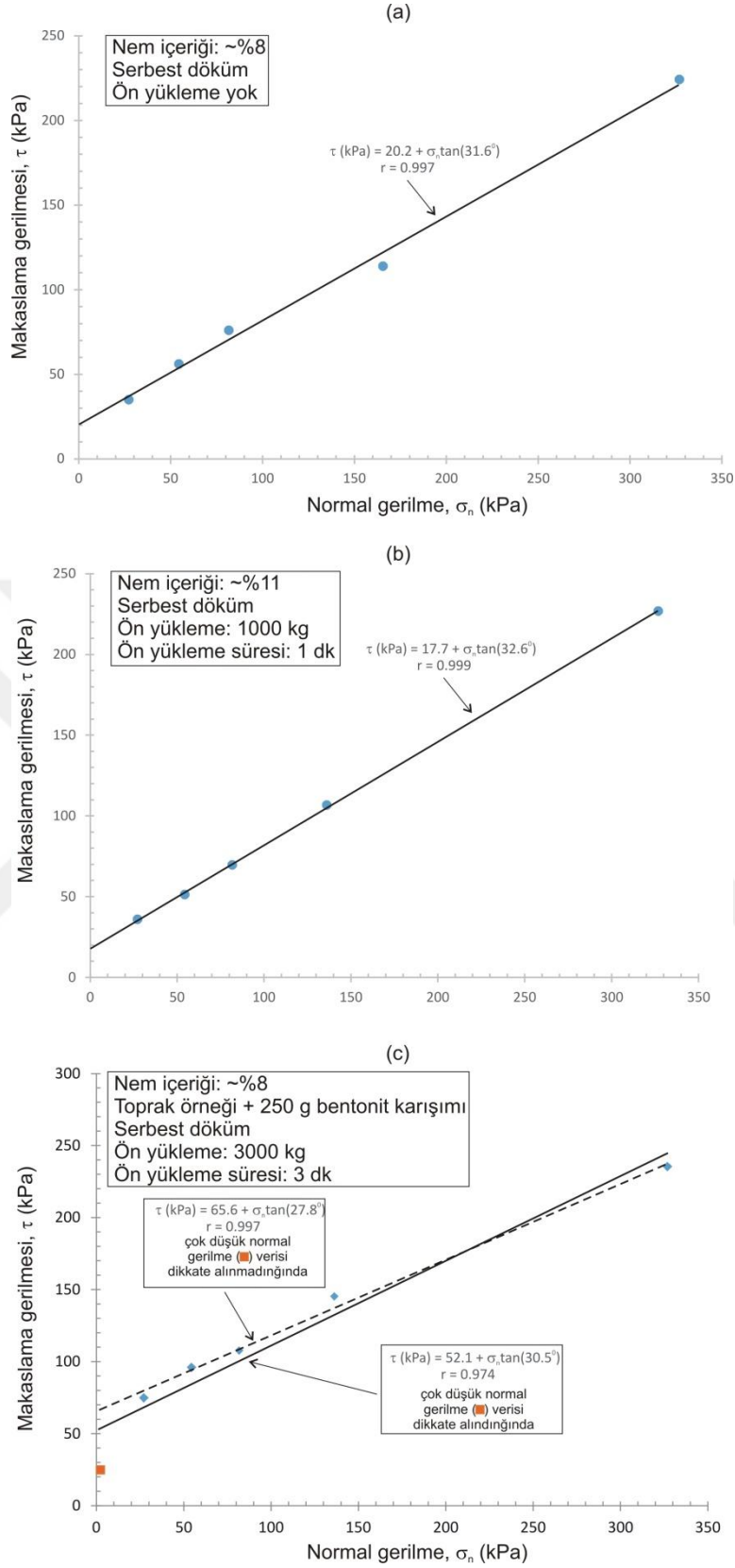
Ön yükleme uygulanan deneylerde, deneye başlanılmadan önce örneğin birim hacim ağırlığının daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesi amacıyla, 3 cm kalınlığındaki yükleme başlığının makaslama kutusunun üzerinde kalan kısmı da

yükleme başlığının iki yanından ölçülmüştür (Şekil 4.4a). Deney sonrasında makaslama kutusundaki toprak matriks örneği de Şekil 4.4b'de görülmektedir. III. aşamada farklı normal gerilme düzeylerindeki deney serisindeki yükleme aşamaları için 3 dk süreyle 3000 kg ön yükleme sonrasında toprak matriks örneğinin hesaplanan yoğunluk değerleri Çizelge 4.3'de verilmiş olup, matriks örneğinin ortalama kütlesi ve yoğunluğu sırasıyla 4882.5g ve 1.67 g/cm³'dür.

Yukarıda sıralanan üç aşama için belirlenen makaslama dayanımı zarfları Şekil 4.5'de sunulurken, makaslama dayanım parametreleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.4. (a) Ön yükleme sonrasında yükleme başlığının makaslama kutusunun üstüne kalan kısmının her iki taraftan ölçümü ve (b) deney sonrası makaslama kutusundaki toprak matriks örneği



Şekil 4.5. Toprak matris örneğinin dayanım özelliklerinin belirlenmesine yönelik uygulanan üç aşamalı deney sersinin makaslama dayanım zarfları: (a) ön yükleme yok, (b) 1 dk süreyle 1000 kg ön yükleme ve (c) 3 dk süreyle 3000 kg ön yükleme

Çizelge 4.2. III. aşamada farklı normal gerilme düzeylerindeki deney serisindeki yükleme aşamaları için 3 dk süreyle 3000 kg ön yükleme sonrasında toprak matriks örneğinin hesaplanan yoğunluk değerleri

Deney kodu	Normal yükleme aşaması	Yükleme başlığının sağ ve sol tarafında makaslama kutusunun üstünde kalan kısmı (cm)		Örneğin kütlesi (gram)	Örneğin hacmi (cm ³)	Örneğin makaslama kutsundaki başlangıç yoğunluğu (g/cm ³)
		Sol	Sağ			
VBP-0-0	17 (yükleme başlığı)	0	0.3	8118	4635	1.75
VBP-0-1	250 kg	0.7	0.3	8118	4950	1.64
VBP-0-2	500 kg	0.7	0.7	8118	5130	1.58
VBP-0-3	750 kg	0.7	0.4	8118	4995	1.63
VBP-0-4	1250 kg	0.1	0.1	8118	4590	1.77
VBP-0-5	3000 kg	0.7	0.4	8118	4995	1.63
				Ortalama:	4882.5	1.67

Çizelge 4.3. Toprak matriks örneğinin dayanım özelliklerinin belirlenmesine yönelik uygulanan üç aşamalı deney serisiyle belirlenen makaslama dayanımı parametreleri

Deney aşaması	Doğrusal Makaslama Dayanım Parametreleri		Korelasyon katsayısı (r)
	Kohezyon, c (kPa)	İçsel sürtünme açısı, ϕ (derece)	
I.	20.2	31.6	0.997
II.	17.7	32.6	0.999
III. (çok düşük normal gerilme yok)	65.6	27.8	0.997
III. (çok düşük normal gerilme var)	52.1	30.5	0.974

Matriks örneğinin hazırlanmasına karar verilmesi amacıyla yapılan üç aşamalı deneylerden son aşamada çok düşük normal gerilme düzeyi için makaslama dayanımının da belirlenmesi için, sadece yükleme başlığının ağırlığı (17 kg) ile bir ilave normal yük aşaması da uygulanmıştır. Çok düşük normal gerilme düzeyi (1.853 kPa) için elde edilen verinin dikkate alınması durumunda yenilme zarfının çok düşük normal gerilme düzeylerinde doğrusal olmayan bir karakterde olabileceği görülmektedir (bkz. Şekil 4.5c). Diğer taraftan, sonraki deneysel çalışmalarda belirli hacimsel oranlarda çakılların da toprak matrikse dahil edilmesiyle birlikte düşük normal gerilme düzeylerindeki makaslama dayanım davranışının yorumlanması da büyük öneme sahip olacaktır. Bu nedenle, sonraki tüm aşamalarda çok düşük normal gerilme düzeyi de normal yükleme serisine dahil edilmiştir.

Sonuç olarak, kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zeminlerde blok içeriğindeki artışa bağlı olarak kohezyonun azalması ve içsel sürtünme açısının artışı şeklinde beklenen dayanım davranışının izlenebilmesi için kohezyonlu matriks malzemesine gereksinim duyulması nedeniyle, toprak malzemesine 250 g bentonit karışımı eklenen ve % ~8 nem içeriğine sahip ve 3 dk süreyle 3000 kg ön yükleme uygulanması sonucunda belirlenen, daha kohezyonlu makaslama dayanım parametrelerine sahip matriksle yapay örnekler üzerindeki deneylere devam edilmesine karar verilmiştir.

4.2.2 Kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren yapay zemin örnekleri üzerinde gerçekleştirilen büyük makaslama kutusu deneyleri

Bir önceki alt başlıkta sunulan yöntemle seçilen kohezyonlu toprak matriks malzemesinin belirgin bir kohezyon değerine ulaşılmasına yönelik olarak 3 dk boyunca uygulanan 3000 kg ön yüklemenin makaslama kutusuna serbest döküm şeklinde yerleştirilen yapay çakıllı (bloklü) örneklerde blokları arasındaki toprak matriksin sıkışması açısından da ayrıca faydası vardır.

Kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zeminlerde, mühendislik boyutuna bağlı olarak blok sayısının makaslama dayanımı üzerindeki etkisini araştırmaya yönelik olarak Çanakkale Çan Linyit İşletmesi açık ocağının güneyinden akan Kocabaş çayının eski alüvyon malzemesine ait yuvarlaklaşmış çakıllar kullanılmıştır. Bu amaçla çakıl örnekleri elenerek sınıflandırılmış ve sonuçta büyük bloklar 1" (2.54 cm) ile 3/4" (1.875 cm) mm arasındaki boyutlu çakıllardan ve küçük bloklar ise 3/4" (1.875 cm) mm ve 3/8" (0.9385 cm) arasındaki boyutlu çakıllardan oluşmaktadır (Şekil 4.6). Büyük makaslama dayanımı deneylerinde yapay örneklerin hazırlanmasında yuvarlaklaşmış alüvyon çakılları kullanılmış olup, tez çalışmasının bu bölümünde ve sonrasında tanımlamada kolaylık olması açısından "büyük bloklü" ve "küçük bloklü" şeklinde adlandırılmıştır.

Tez çalışmasının bu bölümünde, küçük ve büyük bloklü yapay örneklerin makaslama dayanımlarının karşılaştırılması amacıyla tümüyle matriksin (HBO=%0) yanı sıra, farklı hacimsel blok oranı (blok sayısı) değerleri için bir dizi deneysel çalışmaya gereksinim duyulmuştur. Bu amaçla, HBO'nun yaklaşık olarak ~%25, ~%50, ~%75 ve ~%100 değerlerine yönelik örneklerin hazırlanması ön

görülmüştür. Makaslama kutusu 30cm x 30cm kesit alanı ve 4 cm yüksekliğinde iki çelik çerçeveye (frame) sahiptir. Deney programına uygun olarak, kohezyonlu toprak matriks örneğinin hazırlanmasında olduğu gibi bloklu yapay örneklerinin hazırlanmasında da makaslama kutusuna serbest döküm yapılmış ve sonrasında 3 dk süreyle 3000 kg ön yükleme uygulanmıştır. Uygulanan bu prosedür nedeniyle toplam 8 cm yüksekliğin sıkışma sonucunda azalması ve buna bağlı olarak örnek hacminin de, her örnekte farklılıklar göstermesi uygulanan ön yüklemenin bir sonucudur. Buna bağlı olarak, her bir yapay örnek için hacimsel blok oranının tam olarak ön görülen değerlerde olmaması da olağandır. Ancak, yine de küçük ve büyük bloklu modellerin sonuçlarında karşılaştırma yapılabilmesi için birbirlerine yakın hacimsel blok oranlarında örnek hazırlamak mümkün olmuştur.

Belirli hacimsel blok oranına sahip yapay örneklerin hazırlanmasında kullanılacak çakılların (kaya bloklarının) kütlece miktarının hesaplanması toplam örnek hacmi ve kaya bloklarının yoğunluğu ile mümkündür. Ancak, yukarıda da açıklandığı üzere, ön yükleme nedeniyle makaslama deneyi başlangıcında her bir örneğin makaslama kutusu içerisindeki toplam hacminin farklılıklar göstermesi de söz konusudur. Ayrıca, gerekli çakıl (kaya bloğu) miktarının belirlenmesinde farklı kaya türlerinden oluşan eski alüvyon çakıllarının ortalama yoğunluğunun kullanılmasından da bir miktar hatanın gelişebileceği düşünülmüştür. İlk aşamada ortalama bir değer olarak deney öncesindeki örnek hacmi makaslama kutusunun en fazla 7200 cm³lük hacmi de dikkate alınmış ve ön yükleme ile yükleme başlığının yaklaşık 2 cm makaslama kutusuna ilerleyeceği kabul edilerek toplam örnek hacmi 5400 cm³ olarak alınmıştır. Kohezyolu toprak matriks içinde kullanılacak çakılların hacmi kadar sıvıyı taşıyacağı düşüncesiyle, HBO=%25 için 1350cm³ çakıl örneğinin hazırlanması için su taşıma yöntemi uygulanmıştır.

Özellikle eski alüvyon çakıllarının farklı kaya türlerinden oluşması nedeniyle, ön görülen her bir farklı HBO değerleri için gerekli kaya bloğu hacminin sağlanmasına yönelik hesaplamalarda ortalama yoğunluk kullanılmasının yaratacağı belirsizliğin boyutlarına da yaklaşık yapılabilmesine yönelik olarak çakılların hacmi kadar sıvıyı taşıyabileceği düşüncesiyle su taşıma yaklaşımı yapılmıştır. Doğal olarak, zamana bağlı bir şekilde çakıl tanelerinin bünyesine su alması söz konusu olacağından, uygulama olabildiğince hızlı yapılmıştır.

(a)



(b)



Şekil 4.6. Büyük makaslama kutusu deneylerinde kullanılan “büyük bloklı” ve “küçük bloklı” alüvyon çakılları

Yukarıda da açıklandığı üzere HBO'nun yaklaşık %25 değerine yaklaşmak amacıyla gereksinim duyulan alüvyon çakılı hacmi $V_{\text{blok}}=5400 \cdot 0.25=1350 \text{ cm}^3$ olup, bu hacme sahip kaya blok örneğinin hazırlanması için öncelikle su taşıma yaklaşımı yapılmıştır. Su taşıma yöntemiyle belirlenen 1350 cm^3 hacme sahip

kaya bloğu örneğinin kütlesi ise yüzey suyundan arındırılması için kağıt havlu ile kurulandıktan sonra tartılarak belirlenmiş ve 4271 gram olarak ölçülmüştür. Bu çakıl kütlesinin ortama 2.6 g/cm^3 yoğunluk değerine bölünmesiyle hesaplanan hacminin 5400 cm^3 'e bölünmesiyle belirlenen hacimsel blok oranı ise %30.4'dir.

Sonuç olarak, uygulama pratiği de dikkate alınarak, her bir deney adımında kullanılması gerekli çakıl (kaya bloğu) miktarlarının belirlenmesi ortalama yoğunluk yaklaşımıyla hesaplanmıştır.

Yapay örneklerinin hazırlanmasında artan çakıl miktarları için ön görülen hacimsel oran kadar kütleye kohezyonlu toprak matriks örneği başlangıçtaki 8118g örnekten eksiltilerek, yapay örneklerin hazırlanması yöntemi izlenmiştir. Büyük makaslama kutusu deneylerine tabi tutulan büyük ve küçük bloklu kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren yapay zemin örneklerinin ön yükleme sonrasında ortalama yoğunluk kullanılarak hesaplanan hacimsel blok oranları, Çizelge 4.4'de sunulmuştur. Bu noktada karışıklık yaratmamak için hesaplanarak belirlenen değerler etkin hacimsel blok oranı (HBO_e) olarak adlandırılmıştır.

Deney programında HBO'nun ön görülen %75 ve %100 gibi özellikle HBO'nun artan değerlerine ulaşılması çakıl taneleri arasındaki boşluktan dolayı pratikte mümkün olamamıştır. Bu nedenle, özellikle VBP-IV deney kodlu yapay örneklerdeki bloklar (çakıllar) arasındaki boşluk miktarının varlığı ve buna karşın bu boşlukların da matriksle dolgulanmadığı dikkate alındığında mekanik davranışlarının kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zemin davranışından ziyade, kaya yığını (rock accumulation) davranışına uygun gelişmesi beklenebilir. Benzer yorum yetersiz matriks dolgulamaları nedeniyle VBP-III deney kodlu örnek için de söylenebilir. Buna karşın, VBP-III ve VBP-IV deney kodlu örneklerde çakılların (kaya bloklarının) arasındaki boşlukların karışımın ince seviyeler şeklinde dökümüyle olabildiğince azaltılması ve bu boşlukların matriksle dolgulanması sonucunda HBO değeri %65'lere ulaşan yapay örneklerin elde edilmesi, uygulama pratiğindeki güçlüklerine karşın mümkündür.

Diğer taraftan, kullanılan çakılların (kaya bloklarının) boyolanmasına (derecelenmesine) bağlı olarak nispeten daha yüksek HBO değerlerine de çıkılabilmesi mümkündür. Bu nedenle, tez çalışmasının bu bölümünde uygulama

pratiğinde kolaylıkla ulaşılan ve etkin hacimsel blok oranı (HBO_e) olarak tanımlanan değerler, sonuçların değerlendirilmesinde dikkate alınmıştır.

Çizelge 4.4. Büyük makaslama kutusu deneylerine tabi tutulan (a) iri ve (b) küçük blokluyapay örneklerde hesaplanan hacimsel blok oranları

(a) büyük blokluyapay örnekler													
Deney kodu ve kullanılan blok sayısı	Blok (çakıl) kütlesi, M_b (g)	Kohezyonlu toprak matris kütlesi, M_m (g)	Toplam örnek kütlesi, M_T (g)	Yükleme başlığının sol tarafında makaslama kutusunun üstünde kalan kısmı, t_{sol} (cm)	Yükleme başlığının sağ tarafında makaslama kutusunun üstünde kalan kısmı, $t_{sağ}$ (cm)	ortalama örnek yüksekliği (cm) $h=8-(t_{sol}+t_{sağ})/2$	V_T (cm ³) (=30x30xh)	V_{blok} (= M_b/ρ_{blok}) $\rho_{blok}=2.6$ g/cm ³	Ön görülen HBO_o (%)	Etkin HBO_e (%)	$HBO_{e,ort}$ (%)		
VBP_I	262	VBP-I-0	4271	6088	10359	2.0	1.9	6.95	6255	1642.7	25.0	26.3	29.1
		VBP-I-1	4271	6088	10359	1.6	1.3	6.45	5805	1642.7		28.3	
		VBP-I-2	4271	6088	10359	1.2	1.1	6.15	5535	1642.7		29.7	
		VBP-I-4	4271	6088	10359	1.3	0.8	6.05	5445	1642.7		30.2	
		VBP-I-5	4271	6088	10359	1.0	1.1	6.05	5445	1642.7		30.2	
		VBP-I-6	4271	6088	10359	0.9	1.2	6.05	5445	1642.7		30.2	
VBP_II	424	VBP-II-0	7077	4059	11136	1.5	2.2	6.85	6165	2721.9	50.0	44.2	44.8
		VBP-II-1	7077	4059	11136	2.0	1.7	6.85	6165	2721.9		44.2	
		VBP-II-2	7077	4059	11136	1.8	2.2	7.00	6300	2721.9		43.2	
		VBP-II-4	7077	4059	11136	1.6	2.1	6.85	6165	2721.9		44.2	
		VBP-II-5	7077	4059	11136	1.0	1.1	6.05	5445	2721.9		50.0	
		VBP-II-6	7077	4059	11136	2.2	1.8	7.00	6300	2721.9		43.2	
VBP_III	797	VBP-III-0	10636	1973	12609	2.9	2.9	7.90	7110	4090.8	75.0	57.5	58.2
		VBP-III-1	10636	1973	12609	3.0	2.9	7.95	7155	4090.8		57.2	
		VBP-III-2	10636	1973	12609	2.8	2.7	7.75	6975	4090.8		58.6	
		VBP-III-4	10636	1973	12609	2.8	2.8	7.80	7020	4090.8		58.3	
		VBP-III-5	10636	1973	12609	2.7	2.8	7.75	6975	4090.8		58.6	
		VBP-III-6	10636	1973	12609	2.9	2.6	7.75	6975	4090.8		58.6	
VBP_IV	624	VBP-IV-0	10204	0	10204	2.4	2.3	7.35	6615	3924.6	100.0	59.3	62.4
		VBP-IV-1	10204	0	10204	2.2	2.1	7.15	6435	3924.6		61.0	
		VBP-IV-2	10204	0	10204	2.2	1.7	6.95	6255	3924.6		62.7	
		VBP-IV-4	10204	0	10204	2.1	1.9	7.00	6300	3924.6		62.3	
		VBP-IV-5	10204	0	10204	1.8	1.9	6.85	6165	3924.6		63.7	
		VBP-IV-6	10204	0	10204	1.9	1.4	6.65	5985	3924.6		65.6	
(b) küçük blokluyapay örnekler													
Deney kodu ve kullanılan blok sayısı	Blok (çakıl) kütlesi, M_b (g)	Kohezyonlu toprak matris kütlesi, M_m (g)	Toplam örnek kütlesi, M_T (g)	Yükleme başlığının sol tarafında makaslama kutusunun üstünde kalan kısmı, t_{sol} (cm)	Yükleme başlığının sağ tarafında makaslama kutusunun üstünde kalan kısmı, $t_{sağ}$ (cm)	ortalama örnek yüksekliği (cm) $h=8-(t_{sol}+t_{sağ})/2$	V_T (cm ³) (=30x30xh)	V_{blok} (= M_b/ρ_{blok}) $\rho_{blok}=2.6$ g/cm ³	Ön görülen HBO_o (%)	Etkin HBO_e (%)	$HBO_{e,ort}$ (%)		
VBP_I	1015	VBP-I-0	4393	6088	10481	1.2	1.5	6.35	5715	1689.6	25.0	29.6	30.6
		VBP-I-1	4393	6088	10481	1.1	1.3	6.20	5580	1689.6		30.3	
		VBP-I-2	4393	6088	10481	1.1	0.8	5.95	5355	1689.6		31.6	
		VBP-I-4	4393	6088	10481	1.2	1.0	6.10	5490	1689.6		30.8	
		VBP-I-5	4393	6088	10481	1.1	1.2	6.15	5535	1689.6		30.5	
		VBP-I-6	4393	6088	10481	1.3	0.9	6.10	5490	1689.6		30.8	
VBP_II	1910	VBP-II-0	7077	4384	11461	2.0	1.5	6.75	6075	2721.9	50.0	44.8	44.6
		VBP-II-1	7077	4384	11461	1.9	1.5	6.70	6030	2721.9		45.1	
		VBP-II-2	7077	4384	11461	1.9	1.8	6.85	6165	2721.9		44.2	
		VBP-II-4	7077	4384	11461	1.8	1.8	6.80	6120	2721.9		44.5	
		VBP-II-5	7077	4384	11461	2.0	1.7	6.85	6165	2721.9		44.2	
		VBP-II-6	7077	4384	11461	1.9	1.6	6.75	6075	2721.9		44.8	
VBP_III	2550	VBP-III-0	8530	1582	10112	1.2	1.2	6.20	5580	3280.8	75.0	58.8	57.3
		VBP-III-1	8530	1582	10112	1.4	1.5	6.45	5805	3280.8		56.5	
		VBP-III-2	8530	1582	10112	1.3	1.2	6.25	5625	3280.8		58.3	
		VBP-III-4	8530	1582	10112	1.2	1.7	6.45	5805	3280.8		56.5	
		VBP-III-5	8530	1582	10112	1.4	1.6	6.50	5850	3280.8		56.1	
		VBP-III-6	8530	1582	10112	1.5	1.1	6.30	5670	3280.8		57.9	
VBP_IV	3240	VBP-IV-0	10204	0	10204	1.7	1.6	6.65	5985	3924.6	100.0	65.6	66.6
		VBP-IV-1	10204	0	10204	1.8	1.5	6.65	5985	3924.6		65.6	
		VBP-IV-2	10204	0	10204	1.2	1.6	6.40	5760	3924.6		68.1	
		VBP-IV-4	10204	0	10204	1.8	1.4	6.60	5940	3924.6		66.1	
		VBP-IV-5	10204	0	10204	2.0	1.1	6.55	5895	3924.6		66.6	
		VBP-IV-6	10204	0	10204	1.5	1.4	6.45	5805	3924.6		67.6	

Yukarıda açıklandığı üzere, tezin bir sonraki bölümünde bütünlüğün korunması amacıyla, tüm yenilme zarfları birlikte değerlendirilmesine karşın, büyük ve küçük bloklu yapay örneklere ilişkin karşılaştırmalı yorumlama sadece VBP-I ve VBP-II deney kodlu örnekler dikkate alınarak yapılmıştır.

Kaya blokları ile matriks karışımı ve karışımın makaslama kutundaki deney sonrasındaki görüntüleri Şekil 4.7’de görülmektedir. Ayrıntısı Çizelge 4.5’de verilen yapay örneklere uygulanan büyük makaslama kutusu deneyi sonuçları Çizelge 4.5’de sunulmuş olup, sonuçlara ilişkin değerlendirme ve yorumlar tezin 5. Bölümünde yapıldığı için, sadece deneysel verilerin normal gerilme - makaslama dayanımı zarfı üzerindeki dökümü Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Çakıllar (Blokler) ile kohezyonlu toprak matriks karışımının ve karışımın makaslama kutusunda deney sonrasındaki görüntüleri

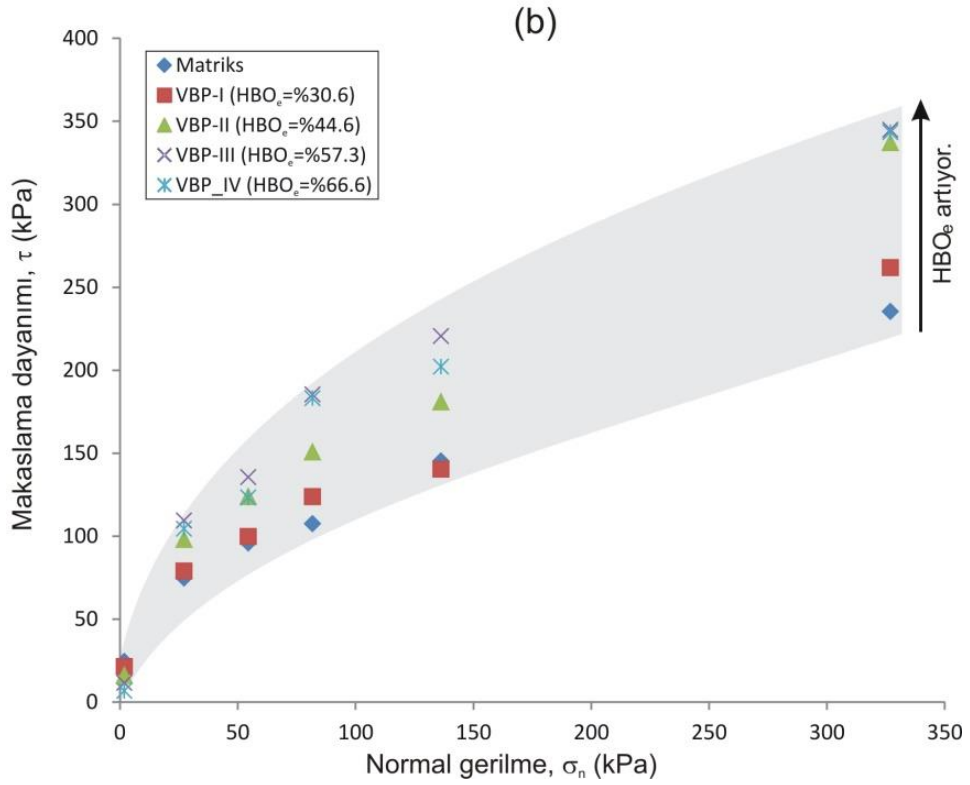
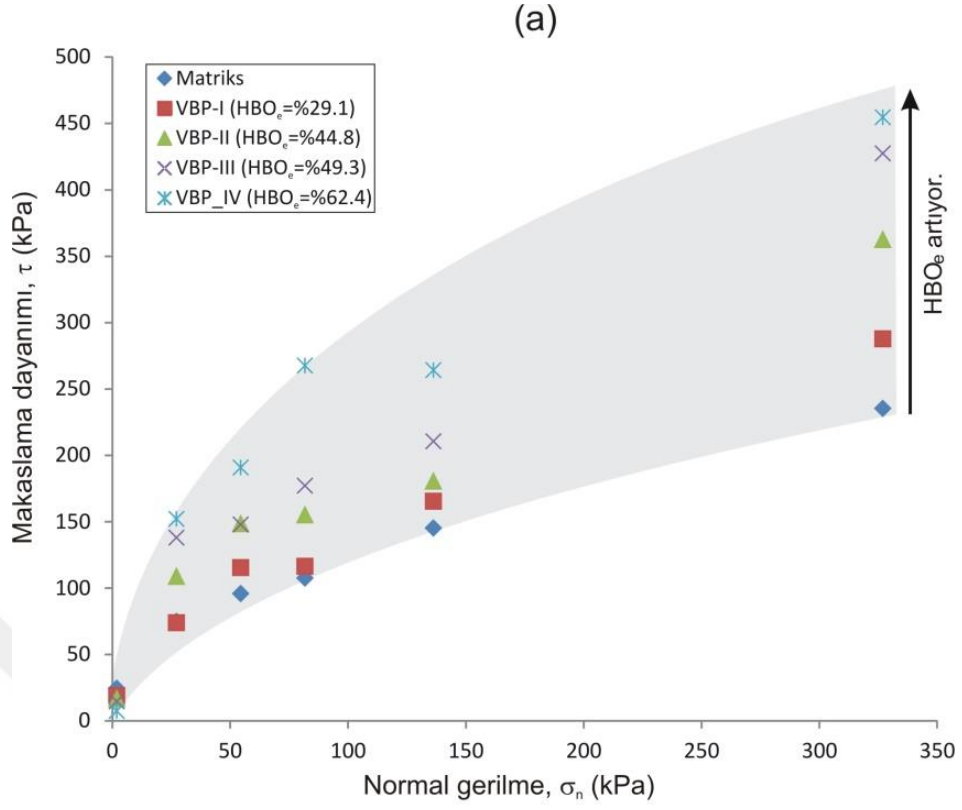
Çizelge 4.5. (a) iri ve (b) küçük bloklı yapay örnekler üzerinde uygulanan büyük makaslama kutusu deney sonuçları

(a) İri bloklı yapay örnekler

Normal gerilme σ_n (kPa)	Matriks	VBP_I	VBP_II	VBP_III	VBP-IV
	τ (kPa)	τ (kPa)	τ (kPa)	τ (kPa)	τ (kPa)
1.853	24.4	18.7	16.6	14.5	7.3
27.25	74.8	73.8	108.8	138.0	152.1
54.5	95.8	115.4	148.5	147.9	190.8
81.75	107.5	116.3	155.1	177.1	267.5
136.25	145.2	165.5	180.5	210.6	264.2
327	235.3	287.7	362.4	427.5	454.6

(b) küçük bloklı yapay örnekler

Normal gerilme σ_n (kPa)	Matriks	VBP_I	VBP_II	VBP_III	VBP-IV
	τ (kPa)	τ (kPa)	τ (kPa)	τ (kPa)	τ (kPa)
1.853	24.4	21.4	16.0	11.4	6.6
27.25	74.8	78.9	97.9	109.4	104.3
54.5	95.8	99.7	123.8	135.6	123.3
81.75	107.5	123.8	150.6	185.3	183.1
136.25	145.2	140.4	180.8	220.5	202.1
327	235.3	261.8	337.1	344.9	343.5



Şekil 4.8. Büyük makaslama kutusu deney verilerinin normal gerilme-makaslama dayanımı zarfındaki dökümü: (a) büyük bloklı ve (b) küçük bloklı yapay örnekler

5. BÜYÜK MAKASLAMA KUTUSU DENEYLERİNDEN ELDE EDİLEN BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YORUMLANMASI

Yüksek lisans tez çalışmasının amacı doğrultusunda gerçekleştirilen büyük makaslama kutusu deneylerinden elde edilen bulgular, bu bölümde değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Büyük makaslama dayanımı deneylerinde kohezyonlu toprak matriks içerisinde yuvarlaklaşmış alüvyon çakıllardan oluşan yapay zemin örneklerinin kullanılmasından dolayı, büyük makaslama kutusu dayanımı deney sonuçlarıyla mühendislik uygulaması boyutuna bağlı olarak blok sayısının etkisine ilişkin yorumlamalar, bu bölümde yapılmıştır.

Deney programının ve sonuçlarının sunulduğu 4. Bölümde de açıklandığı üzere, ön görülen %75 ve %100 hacimsel blok oranına sahip örneklerin hazırlanması blok-blok temaslarıyla birlikte alüvyon çakıl taneleri arasındaki kalan boşluklardan dolayı mümkün olamamıştır. Ayrıca, Lindquist [3] ve Medley [7] tarafından yapılan çalışmalar ve sonrasındaki diğer çalışmalarda da vurgulandığı üzere, hacimsel blok oranın %75 ve daha üzerindeki yüksek değerleri için zayıf matriks içinde blok içeren kaya kavramından ziyade ortamın kaya kütlesi gibi değerlendirilmesinin dikkate alınması da önerilmektedir. Özellikle sadece alüvyon çakılı örneklerinden oluşan VBP-IV deney kodlu yapay örneklerdeki çakıllar arasındaki boşluk miktarının varlığı ve buna karşın, bu boşlukların da matriksle dolgulanmadığı dikkate alındığında, mekanik davranışlarının kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zemin davranışından ziyade, kaya yığını (rock accumulation) davranışına uygun gelişmesi beklenmelidir. Benzer yorum, başlangıçtaki matriks miktarından eksiltme yaklaşımıyla yapılan yetersiz matriks dolgularını nedeniyle VBP-III deney kodlu örnek için de yapılabilir. Buna karşın, VBP-III ve VBP-IV deney kodlu örneklerde kaya bloklarının (alüvyon çakıllarının) arasındaki boşlukların ince seviyeler şeklinde dökümüyle olabildiğince azaltılması ve bu boşluklarında matriksle dolgulanması sonucunda, HBO değeri %65'lere ulaşan kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zemin örneklerinin elde edilmesi, örnek hazırlanmasına yönelik uygulama güçlüğüne karşın mümkündür. Bu nedenle,

sonuçların bütünlüğü açısından makaslama dayanım zarfları topluca değerlendirilirken, VBP-I ve VBP-II kodlu örnekler için sonuçlar kohezyonlu toprak matriks örneğine ait sonuçlarla birlikte ayrıca elde alınmıştır.

Bu bölümde öncelikle kohezyonlu toprak matriks örneğinden başlayarak VBP-I, VBP-II, VBP-III ve VBP-IV deney kodlu yapay örneklerine doğru yenilme zarfları doğrusal ve eğrisel ilişkiler kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, tez çalışmasının amacına uygun olarak, mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısı olarak (1) kullanılan blok sayısı (adet), (2) makaslama kutusundaki örnek hacmine bağlı olarak hacimsel blok sayısı (adet/cm^3) ve (3) makaslama birim alanındaki blok sayısı ($(=\text{adet} \cdot d_{\text{mod_ort}}/h)$; adet/cm^2) kullanılmıştır. Ayrıca, klasik olarak literatürde tercih edilen hacimsel blok oranı da blok sayısına bağlı türetilen bu parametrelerle karşılaştırılması amacıyla dikkate alınmıştır. Karşılaştırmaya yönelik olarak girdi parametrelerinin her birinin dayanımla olan ilişki düzeyleri basit doğrusal regresyon analizleriyle değerlendirilmiştir. Küçük ve büyük bloklulu yapay örneklerin büyük makaslama kutusu deney sonuçları öncelikli olarak doğrusal Mohr-Coulomb yenilme eşitliği kullanılarak yorumlanmıştır. Kohezyonlu toprak matriks örneğinin makaslama dayanımının yanı sıra, küçük ve büyük bloklulu yapay örnekler için VBP-I, VBP-II, VBP-III ve VBP-IV kodlu deneylerin sonuçları kullanılarak doğrusal yenilme ölçütüne göre elde edilen kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametreleri Çizelge 5.1’de yenilme zarfları ise Şekil 5.1’de verilmiştir.

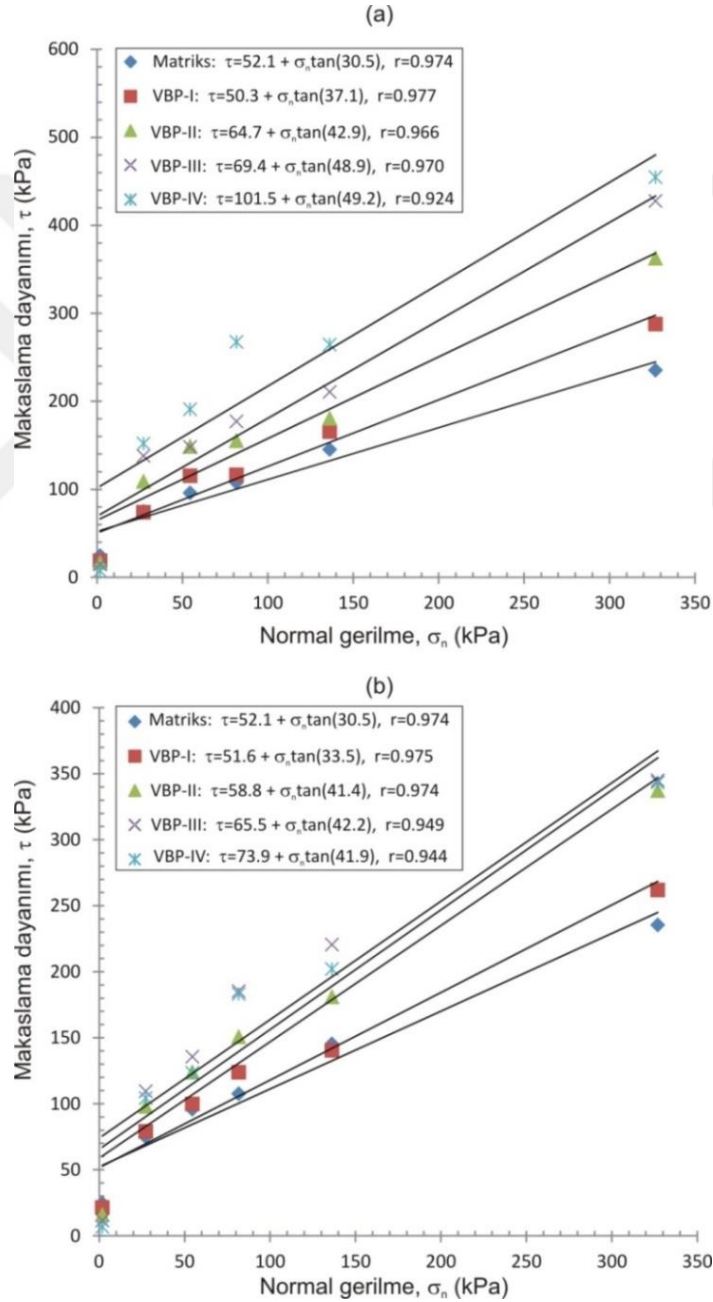
Çizelge 5.1. Kohezyonlu toprak matriks örneğinin makaslama dayanımının yanı sıra, küçük ve büyük bloklulu yapay örnekler için VBP-I, VBP-II, VBP-III ve VBP-IV kodlu deneylerden belirlenen kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametreleri

Deney kodu	Büyük bloklulu			Küçük bloklulu		
	c (kPa)	ϕ (derece)	r	c (kPa)	ϕ (derece)	r
Matriks	52.1	30.5	0.974	52.1	30.5	0.974
VBP-I	50.3	37.1	0.977	51.6	33.5	0.975
VBP-II	64.7	42.9	0.966	58.8	41.4	0.974
VBP-III	69.4	48.1	0.970	65.5	41.9	0.949
VBP-IV	101.5	49.2	0.924	73.9	42.2	0.944

c: kohezyon, ϕ : içsel sürtünme açısı ve r: korelasyon katsayısı

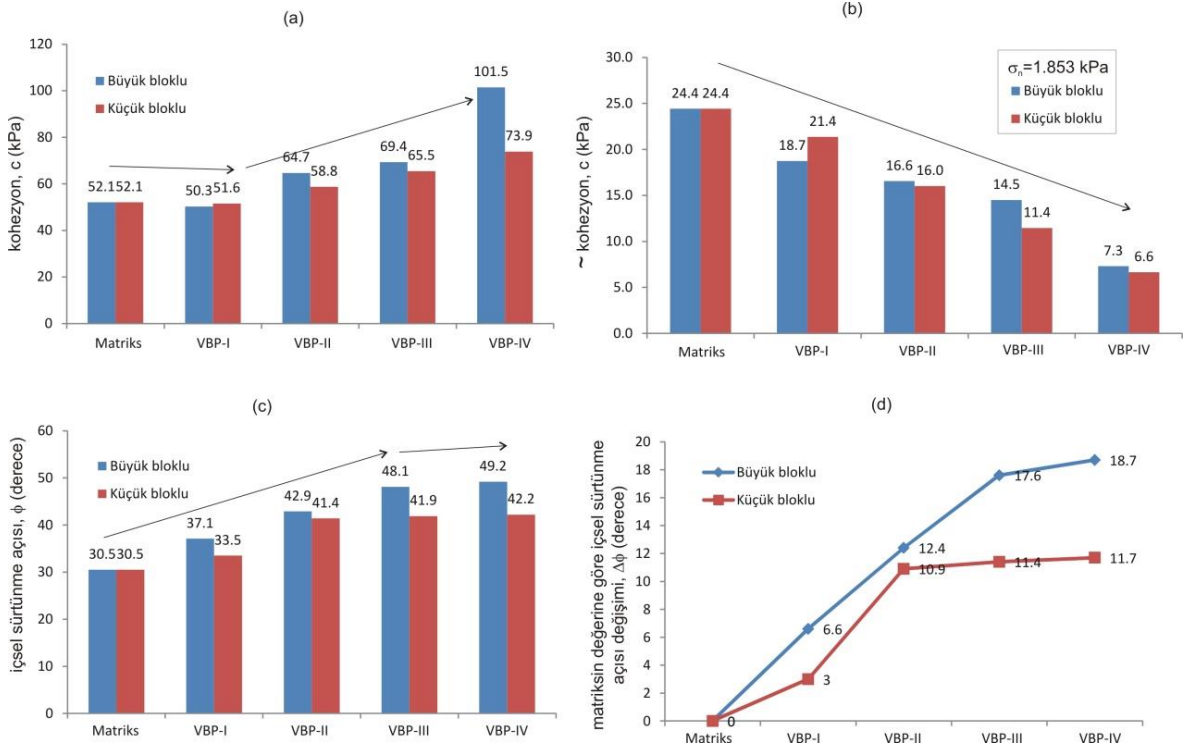
Büyük makaslama kutusu deneylerinin sonuçları Mohr-Coulomb doğrusal yenilme ölçütüne göre değerlendirildiğinde, hacimsel blok oranının artışına bağlı olarak

küçük ve büyük bloklu modellerin her ikisinde de içsel sürtünme açısının arttığı gözlenmekle birlikte, büyük bloklu örneklerde bu artışın bir miktar daha fazla olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, çok düşük normal gerilme düzeyine ait verilerin yeterince temsil edilemediği doğrusal yenilme zarflarında, sadece büyük ve küçük bloklu VBP-I modellerinde kohezyonun az da olsa matrikse göre bir miktar azalması gözlenmektedir (Şekil 5.2a ve 5.2b). Ayrıca, doğrusal yenilme zarfının düşük normal gerilme düzeylerinde verileri yeterli derecede temsil edemediği de görülmektedir (bkz. Şekil 5.1).



Şekil 5.1. (a) Büyük ve (b) küçük alüvyon çakıllı yapay örneklerin Mohr-Coulomb doğrusal yenilme zarfına göre değerlendirilmesi

Artan hacimsel blok oranına bağlı olarak içsel sürtünme açısı da artma eğiliminde olup, büyük bloklulu yapay örneklerdeki artış küçük boyutlu yapay örneklerine kıyasla daha fazladır (Şekil 5.2c ve 5.2d). Bu davranış blok büyüklüğündeki artışla birlikte yenilme yüzeyinin daha dolambaçlı gelişme eğilimiyle açıklanabilir.



Şekil 5.2. Büyük ve küçük bloklulu yapay örneklerin doğrusal Mohr-Coulomb yenilme ölçütüne göre hacimsel blok oranı değişimine bağlı olarak (a) kohezyon, (b) çok düşük normal gerilme düzeyindeki makaslama dayanımı, (c) içsel sürtünme açısı değişimi ve (d) kohezyonlu toprak matris örneğinin değerine göre içsel sürtünme açısındaki artış.

Doğrusal Mohr-Coulomb yenilme ölçütünün yanı sıra, büyük makaslama kutusu deney sonuçları genel şekli aşağıda verilen eğrisel üssel eşitlik kullanılarak da değerlendirilmiştir.

$$\tau = A(\sigma_n)^B \quad (5.1)$$

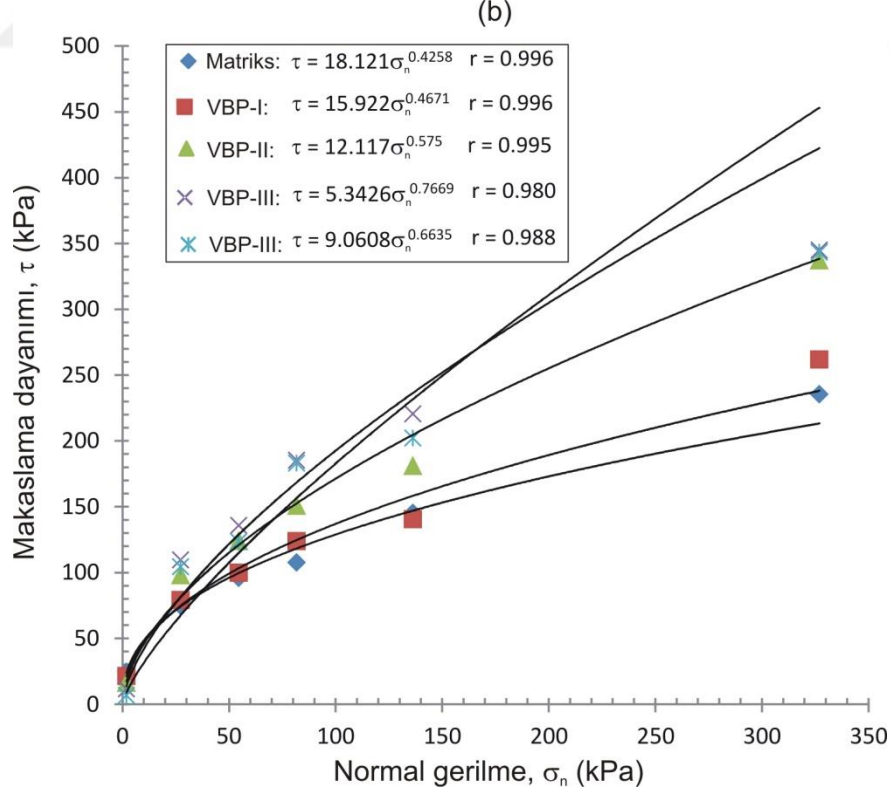
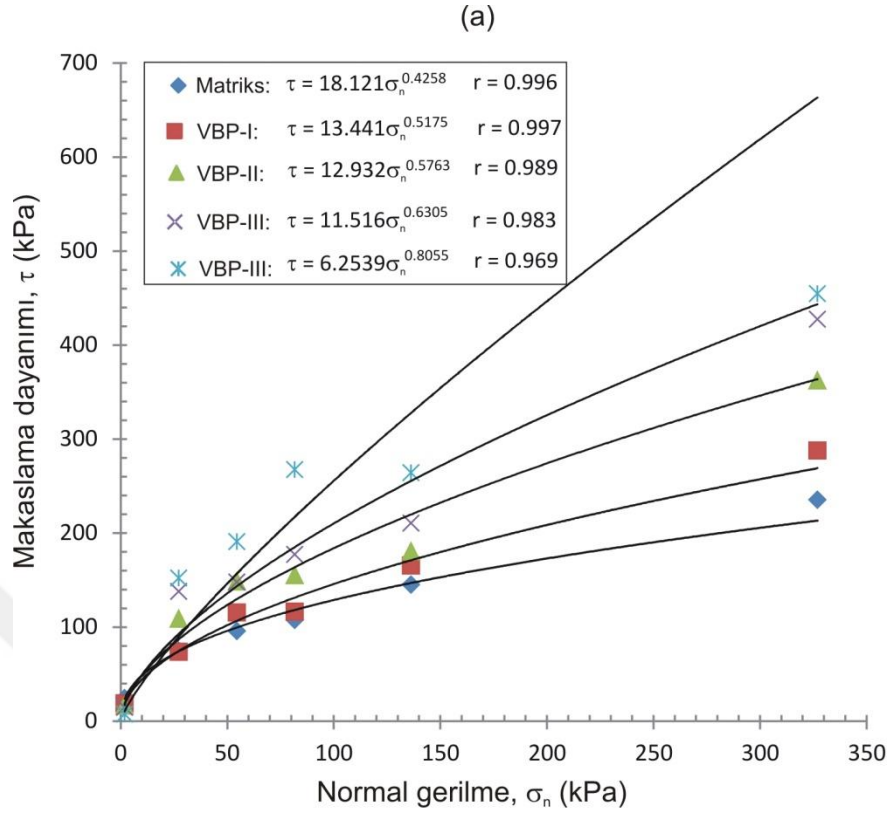
Deney koduna göre değerlendirme sonuçları özet olarak Çizelge 5.2'de verilirken, yenilme zarfları ise Şekil 5.3'de sunulmuştur.

Eğrisel üssel ilişkinin genel ifadesinde “A” sabiti dolaylı olarak çok düşük normal gerilme düzeyindeki makaslama dayanım verisiyle (bir ölçüde kohezyonla) ilişkili olup, “B” sabiti ise yenilme zarfının eğriselliğini ve yenilme zarfının genel eğimini (yatıklığını veya dikliğini) kontrol etmektedir. Artan hacimsel blok oranına bağlı olarak “A” sabitinin genel bir azalış göstermesi kohezif bileşeninde azaldığına işaret etmektedir (Şekil 5.4a). Diğer taraftan, “B” sabitinin de hacimsel blok oranındaki artışla artması ise doğrusal yenilme zarflarındaki içsel sürtünme açısının artan değişimiyle uyumludur. Ancak, daha yüksek hacimsel blok oranlarına sahip VBP-III ve VBP-IV gruplarına ait verilerin değerlendirilmesinde yüksek normal gerilme düzeylerinde veriyi yeterli düzeyde temsil etmekte nispeten yetersiz kaldığı da görülmektedir (bkz. Şekil 5.3).

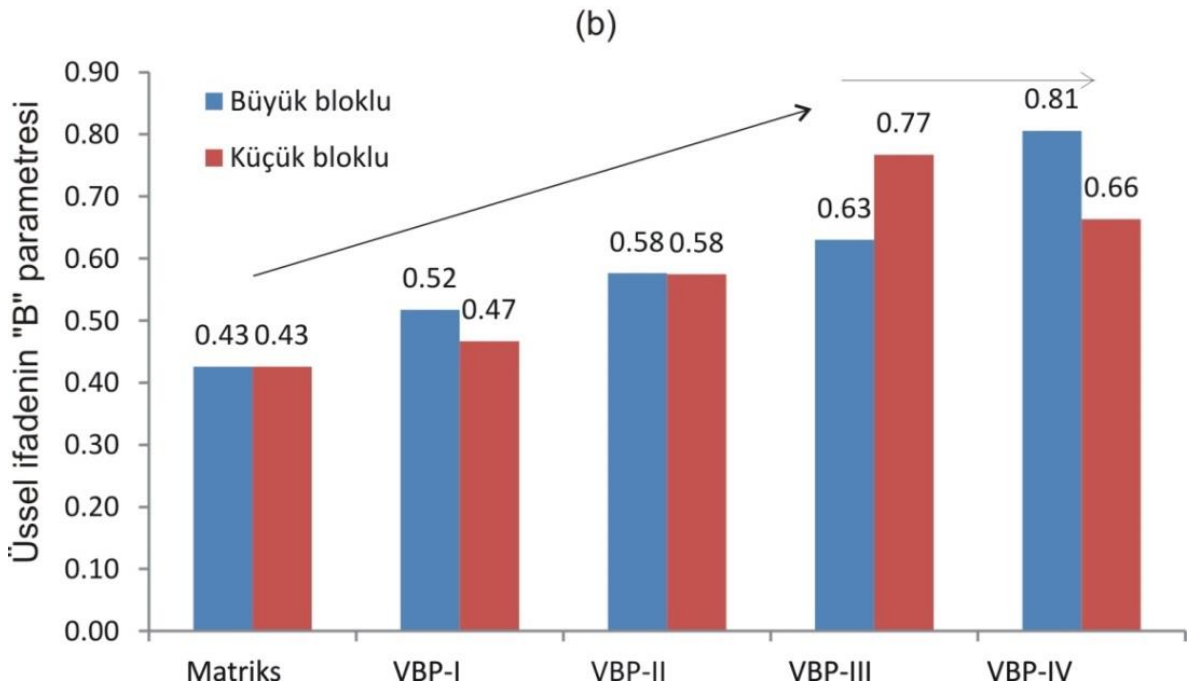
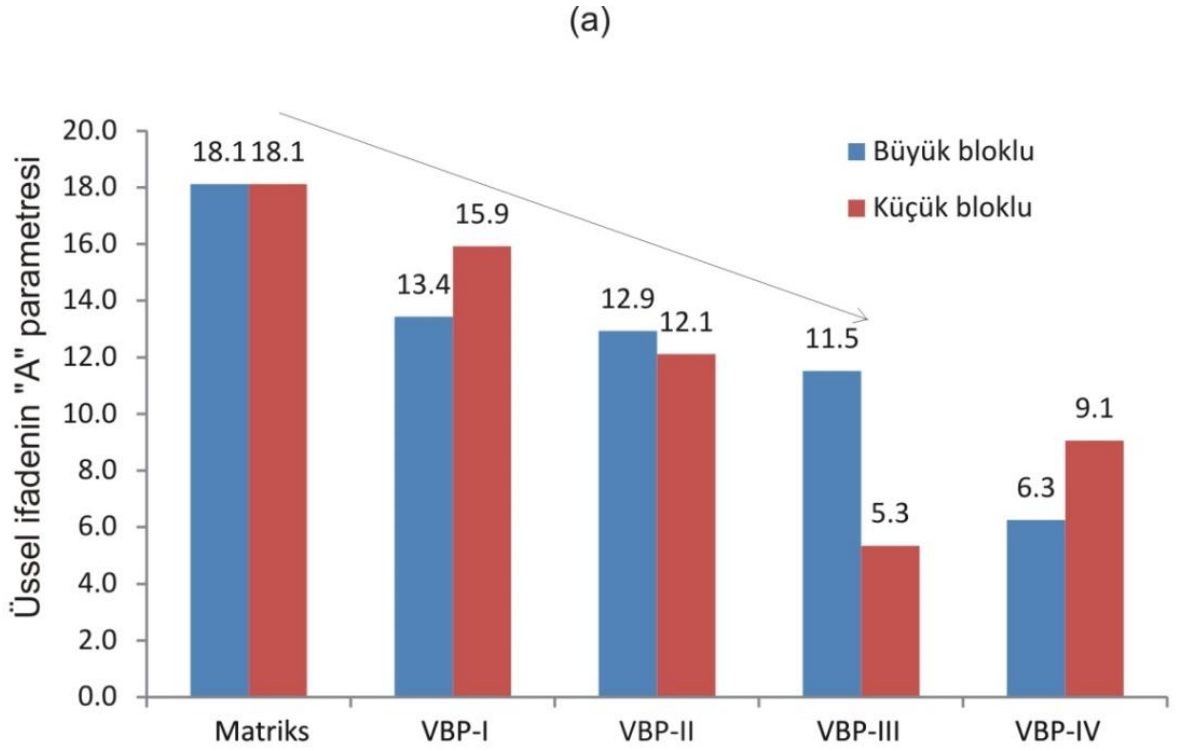
Çizelge 5.2. Kohezyonlu toprak matriks örneğinin dayanımının yanı sıra, küçük ve büyük blokluya ait VBP-I, VBP-II, VBP-III ve VBP-IV kodlu deneylerden belirlenen üssel eşitliğin A ve B sabitleri

Deney kodu	Büyük blokluya			Küçük blokluya		
	A	B	r	A	B	r
Matriks	18.121	0.4258	0.996	18.121	0.4258	0.996
VBP-I	13.441	0.5175	0.997	15.922	0.4671	0.996
VBP-II	12.932	0.5763	0.989	12.117	0.575	0.995
VBP-III	11.516	0.6305	0.983	5.3426	0.7669	0.98
VBP-IV	6.2539	0.8055	0.969	9.0608	0.6635	0.988

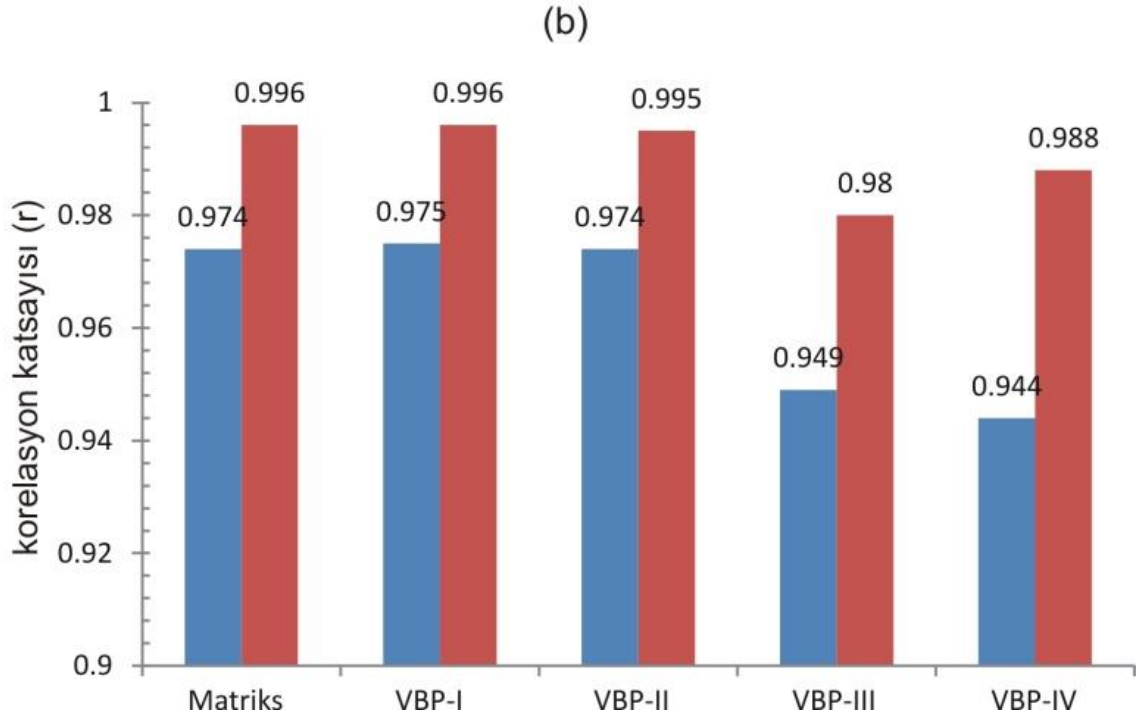
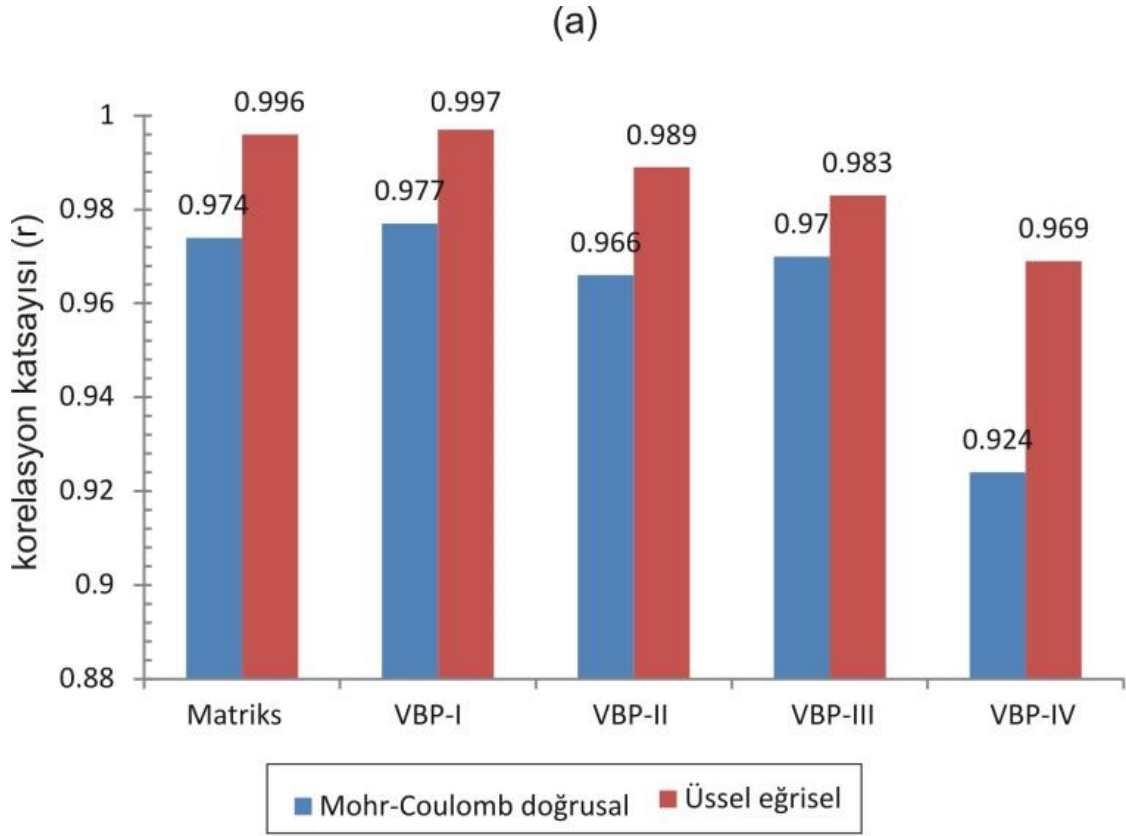
Doğrusal ve eğrisel yenilme eşitliklerinin korelasyon katsayılarının karşılaştırmalarına bakıldığında tüm durumlarda üssel ilişkiyle tanımlanan eğrisel yenilme zarflarının daha yüksek korelasyon katsayılarına sahip oldukları görülmektedir (Şekil 5.5). Ancak, üssel ilişkinin orijinden geçmesi düşük normal gerilme düzeyindeki değerlendirme açısından bir sınırlama olarak yorumlanabilir.



Şekil 5.3. a) Büyük ve (b) küçük alüvyon çakıllı yapay örneklerin üssel eğrisel yenilme zarfına göre değerlendirilmesi



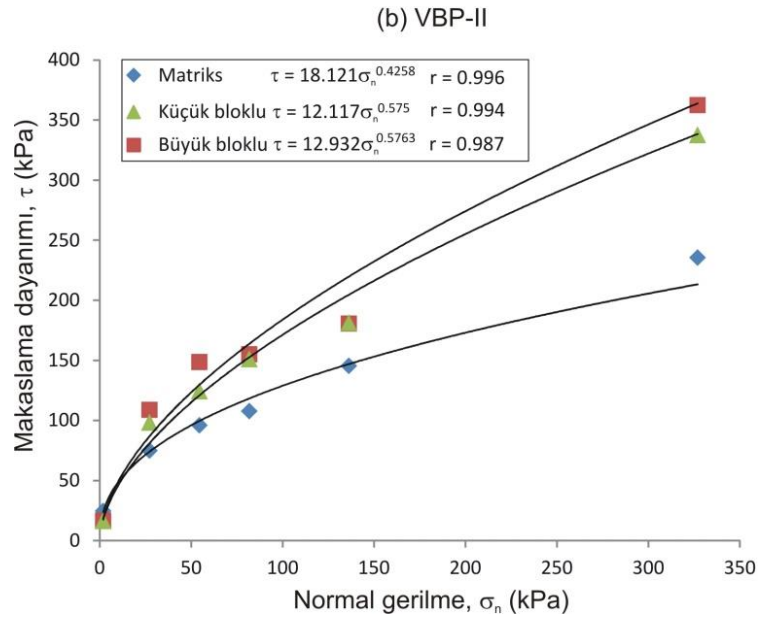
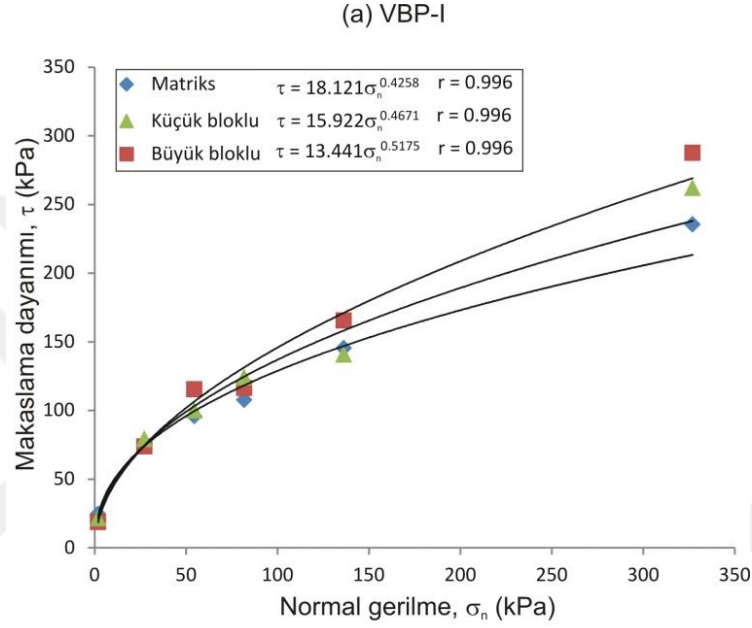
Şekil 5.4. Artan hacimsel blok oranına sahip deney kodlarına bağlı olarak üssel eşitliğe sahip yenilme ilişkilerindeki (a) "A" ve (b) "B" sabitlerinin değişimi



Şekil 5.5. Doğrusal ve eğrisel yenilme eşitliklerinin korelasyon katsayılarının karşılaştırmalı histogram grafikleri

Tezin önceki bölümlerinde tartışıldığı üzere bloklar arasındaki kohezyonlu toprak matriks miktarları açısından daha iyi dolgulanmış olan VBP-I ve VBP-II deney kodlu verilerle birlikte matriksin yenilme zarfının da dahil edildiği eğrisel yenilme

zarflarının üssel ilişkileri büyük ve küçük bloklü yapay örnekler bazında karşılaştırılmıştır (Şekil 5.6a ve 5.6b). Büyük bloklü modele ait makaslama dayanımının, küçük bloklü modelle kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, blok sayısının (dolaylı olarak hacimsel blok oranının) daha yüksek olduğu VBP-II modelinde ise yine büyük bloklü modelin makaslama dayanımı yüksek olmakla birlikte, küçük bloklü modelle birlikte VBP-I modeline kıyasla makaslama dayanımında bir artışın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6. (a) VBP-I ve (b) VBP-II deney kodlu verilerin ve matriksin yenilme zarfının da dahil edildiği eğrisel yenilme zarflarının üssel ilişkilerinin büyük ve küçük bloklü örnekler bazında karşılaştırılması

Makaslama dayanımına yönelik blok sayısının dolaylı bir ifadesi olarak büyük ve küçük bloklu yapay örnekler için yapılan değerlendirme ve yorumlamalarda uygulanan en büyük normal gerilme düzeyinin yaklaşık 350 kPa düzeyinde olduğu dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, daha yüksek normal gerilme düzeyleri için burada yapılan değerlendirme ve yorumların deneysel çalışmalarla ayrıca irdelenmesinde yarar vardır.

Büyük ve küçük bloklu yapay örnekler üzerinde gerçekleştirilen büyük makaslama kutusu deneylerinin sonuçlarının yukarıda yapılan genel değerlendirmesinde aşağıdaki iki belirlemeyi yapmak mümkündür.

- i. Büyük makaslama kutusu deneyleriyle üretilen mevcut veriler eğrisel yenilme zarflarıyla daha iyi temsil edilebilmektedir.
- ii. Benzer hacimsel blok oranlarında, farklı ortalama blok boyutlarına da bağlı olarak kullanılan blok sayısı arttıkça (diğer bir ifadeyle blok boyutu azaldıkça) makaslama dayanımı da azalma eğilimindedir.

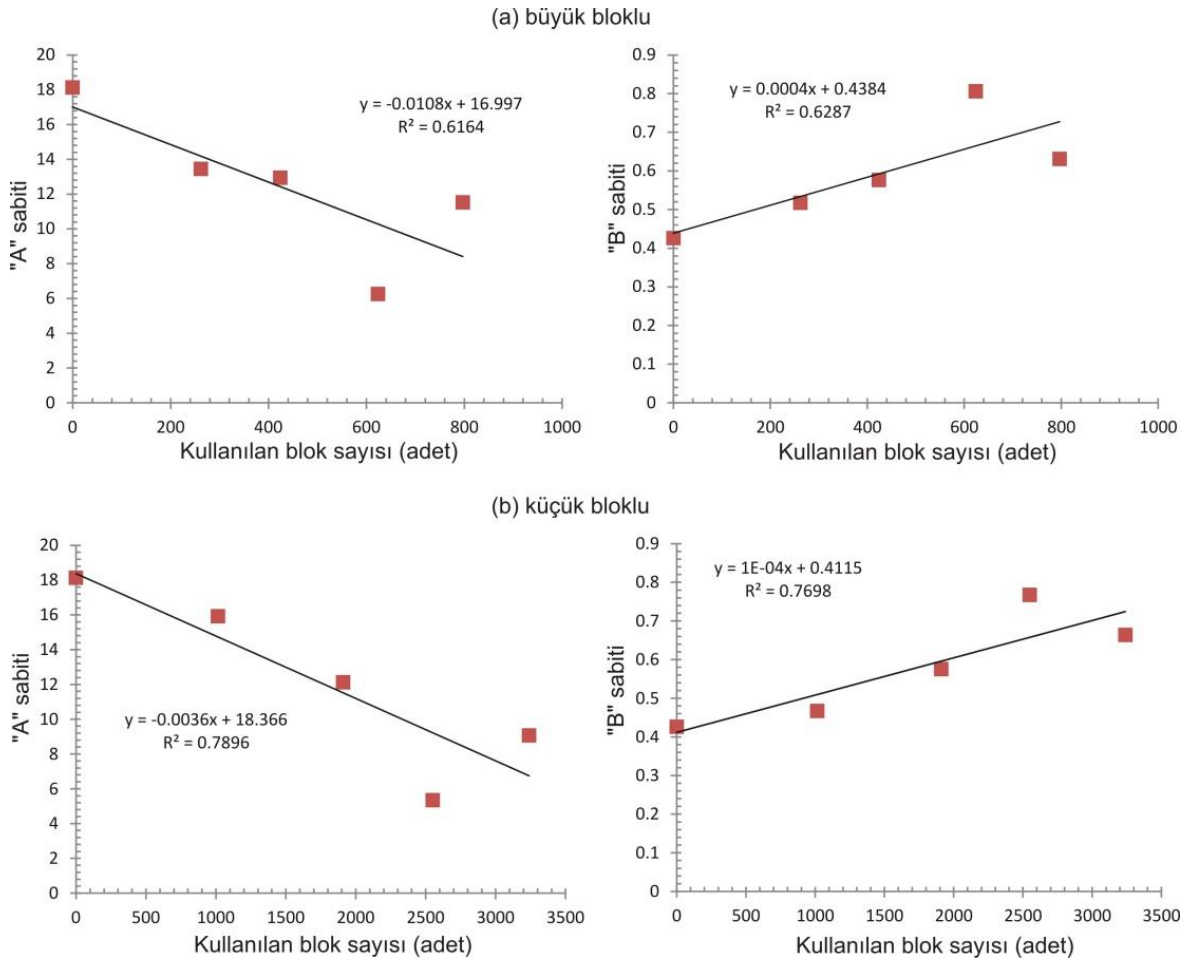
Daha öncede de belirtildiği üzere, tez çalışmasının amacına uygun olarak, büyük makaslama kutusu deneyleri için mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısına yönelik olarak aşağıdaki parametreler tanımlanabilir.

- i. Kullanılan blok sayısı (adet),
- ii. Makaslama kutusundaki örnek hacmine bağlı olarak birim hacimdeki blok sayısı (adet/cm³)
- iii. Makaslama birim alanındaki blok sayısı (adet/cm²)

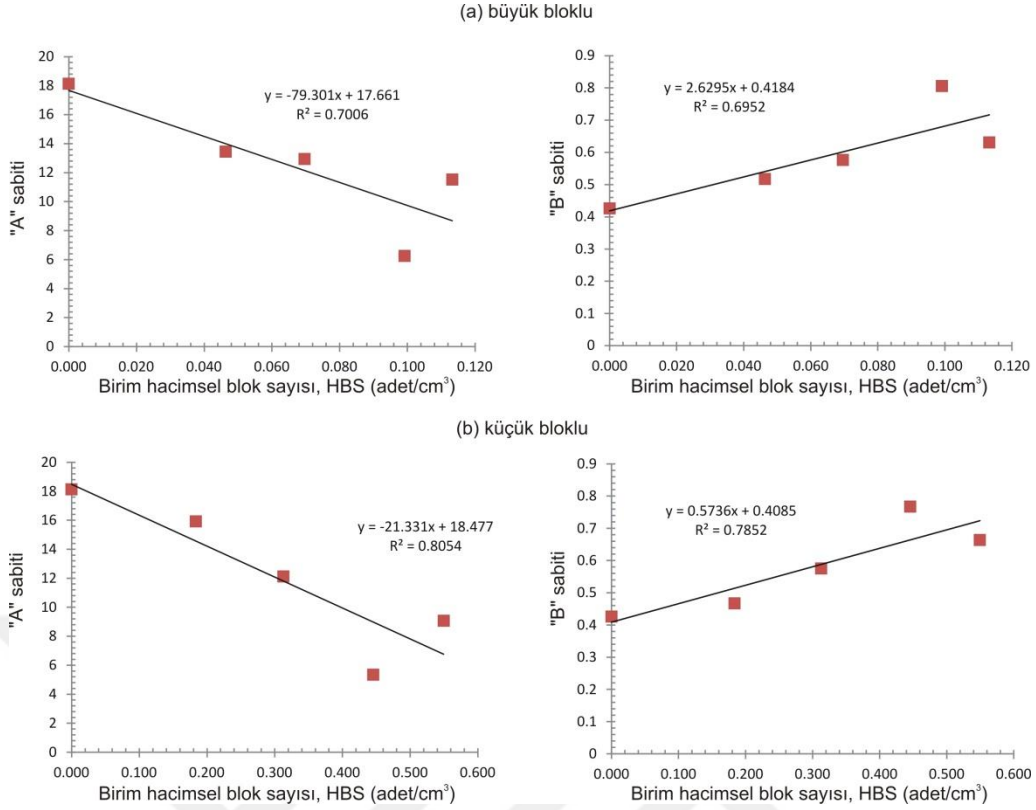
Ayrıca, bunlarla karşılaştırılmasının yapılması amacıyla bu üç parametreye ilave olarak klasik olarak tercih edilen hacimsel blok oranı da dördüncü bir parametre olarak dikkate alınmıştır.

Bu dört girdi parametresinin makaslama dayanımıyla olan ilişki düzeylerinin karşılaştırılmasına yönelik olarak, girdi parametrelerinin her birinin üssel ilişkinin "A" ve "B" sabitleriyle olan ilişkileri basit doğrusal regresyon analizleriyle değerlendirilmiştir (Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10). Genel olarak ampirik yaklaşımlarda hacimsel blok oranı girdi parametresi olarak kullanılmasına karşın, mühendislik uygulamasındaki blok sayısını temel alan alternatif girdi

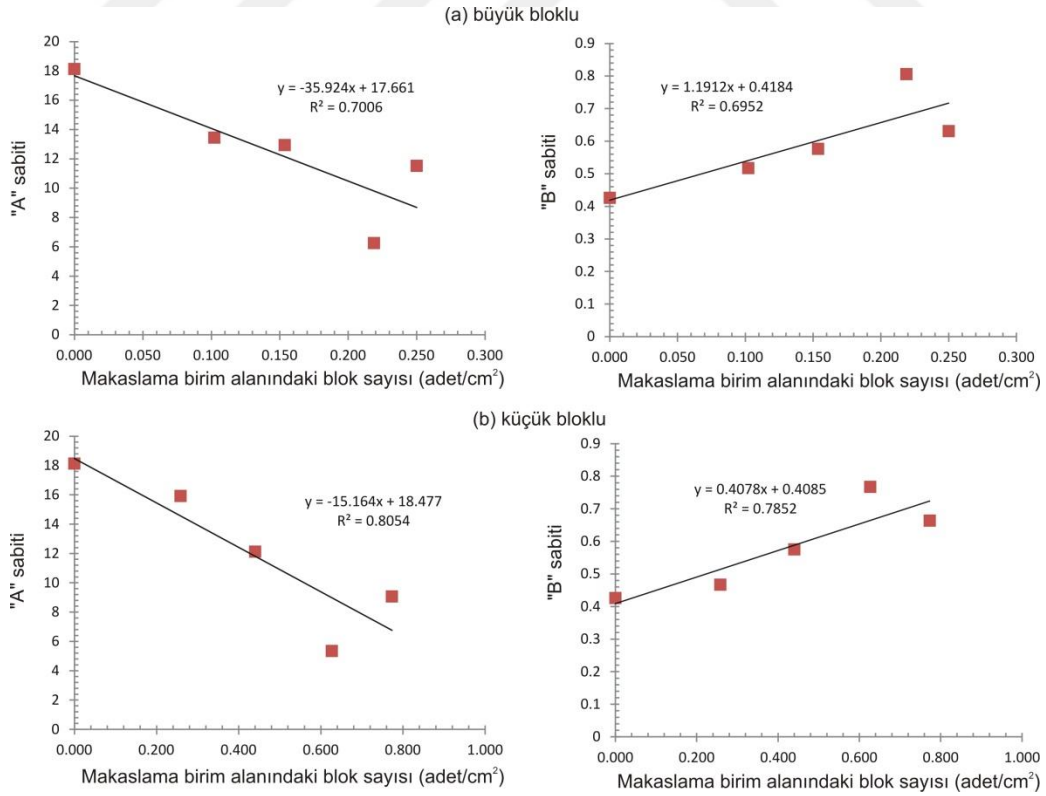
parametrelerinde de üssel ilişkiyle tanımlanan makaslama dayanım zarflarının “A” ve “B” sabitleri arasındaki doğrusal regresyonlarda korelasyon katsayısı 0.8’den büyük belirlenmiştir. Bununla birlikte, mevcutta tercih edilen hacimsel blok oranıyla karşılaştırıldığında, büyük bloklarda hacimsel blok oranı “A” ve “B” sabitleriyle daha yüksek korelasyona sahipken, küçük bloklarda mühendislik uygulama boyutundaki blok sayısı alternatif girdi parametreleri daha yüksek korelasyonlara sahiptir (Şekil 5.11).



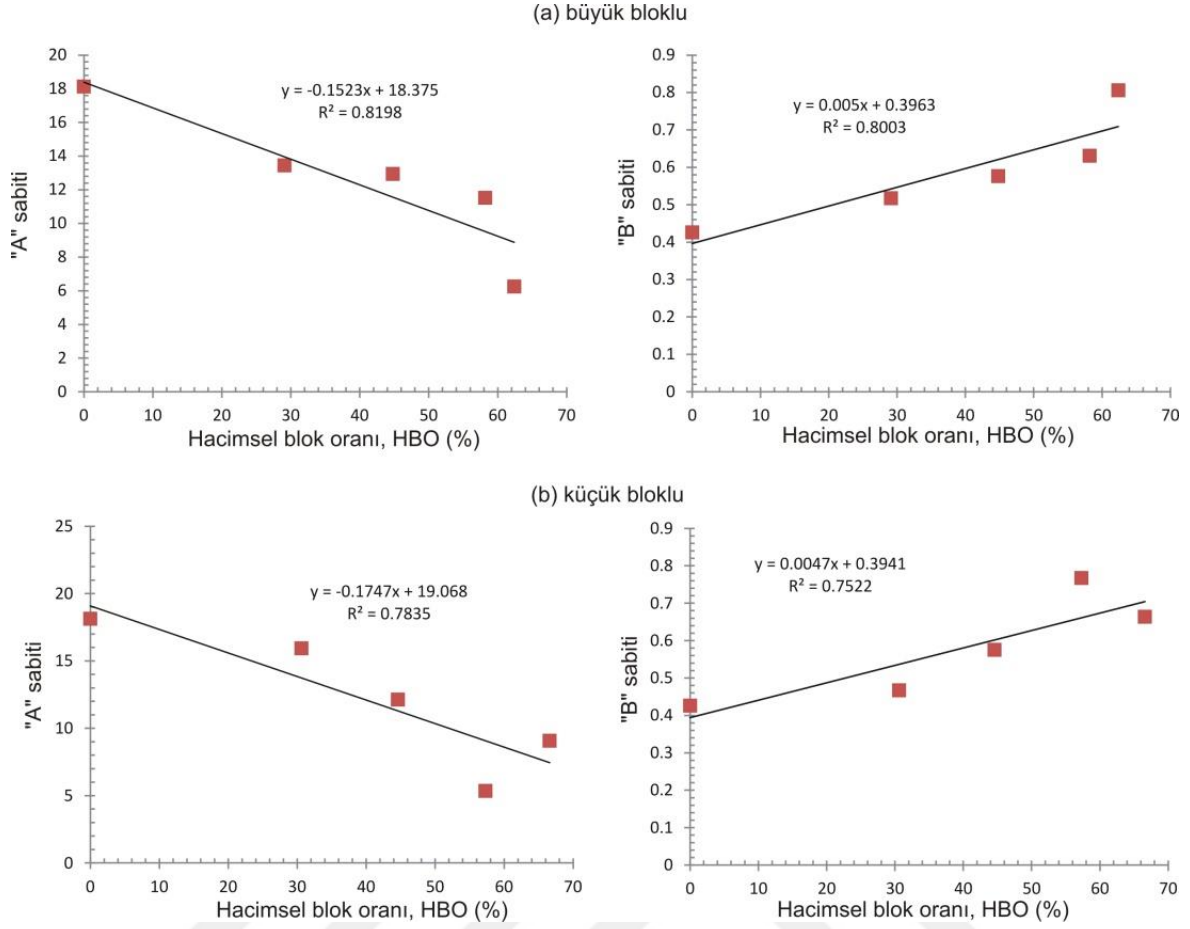
Şekil 5.7. Büyük makaslama kutusu deneyinde (a) büyük ve (b) küçük blokları yapay modellerde kullanılan blok sayısı ile (adet) eğrisel yenilme zarfının “A” ve “B” sabitleri arasındaki doğrusal regresyon ilişkileri



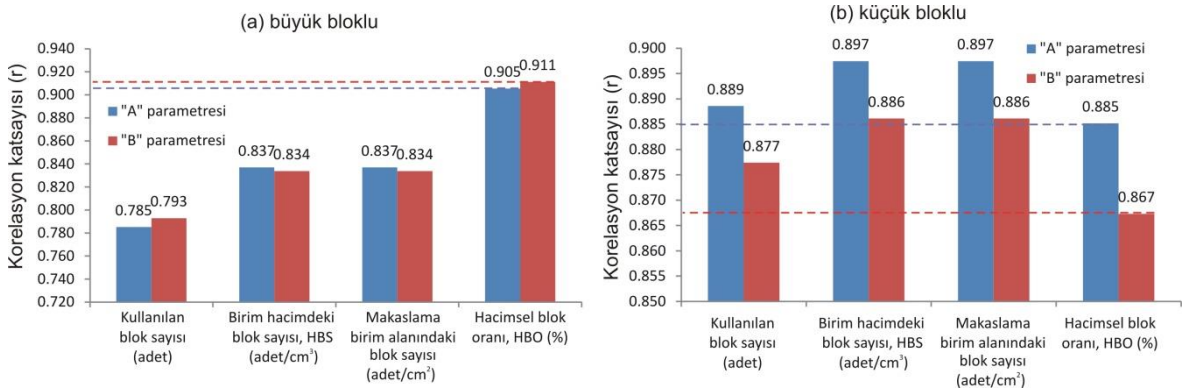
Şekil 5.8. Büyük makaslama kutusu deneyinde (a) büyük ve (b) küçük bloku yapay modellerde kullanılan hacimsel blok sayısı ile (adet/cm³) eğrisel yenilme zarfının "A" ve "B" sabitleri arasındaki doğrusal regresyon ilişkileri



Şekil 5.9. Büyük makaslama kutusu deneyinde (a) büyük ve (b) küçük bloku yapay modellerde kullanılan birim alandaki blok sayısı ile (adet/cm²) eğrisel yenilme zarfının "A" ve "B" sabitleri arasındaki doğrusal regresyon ilişkileri



Şekil 5.10. Büyük makaslama kutusu deneyinde (a) büyük ve (b) küçük bloklü yapay modellerde kullanılan hacimsel blok oranı (HBO, %) eğrisel yenilme zarfının “A” ve “B” sabitleri arasındaki doğrusal regresyon ilişkileri.

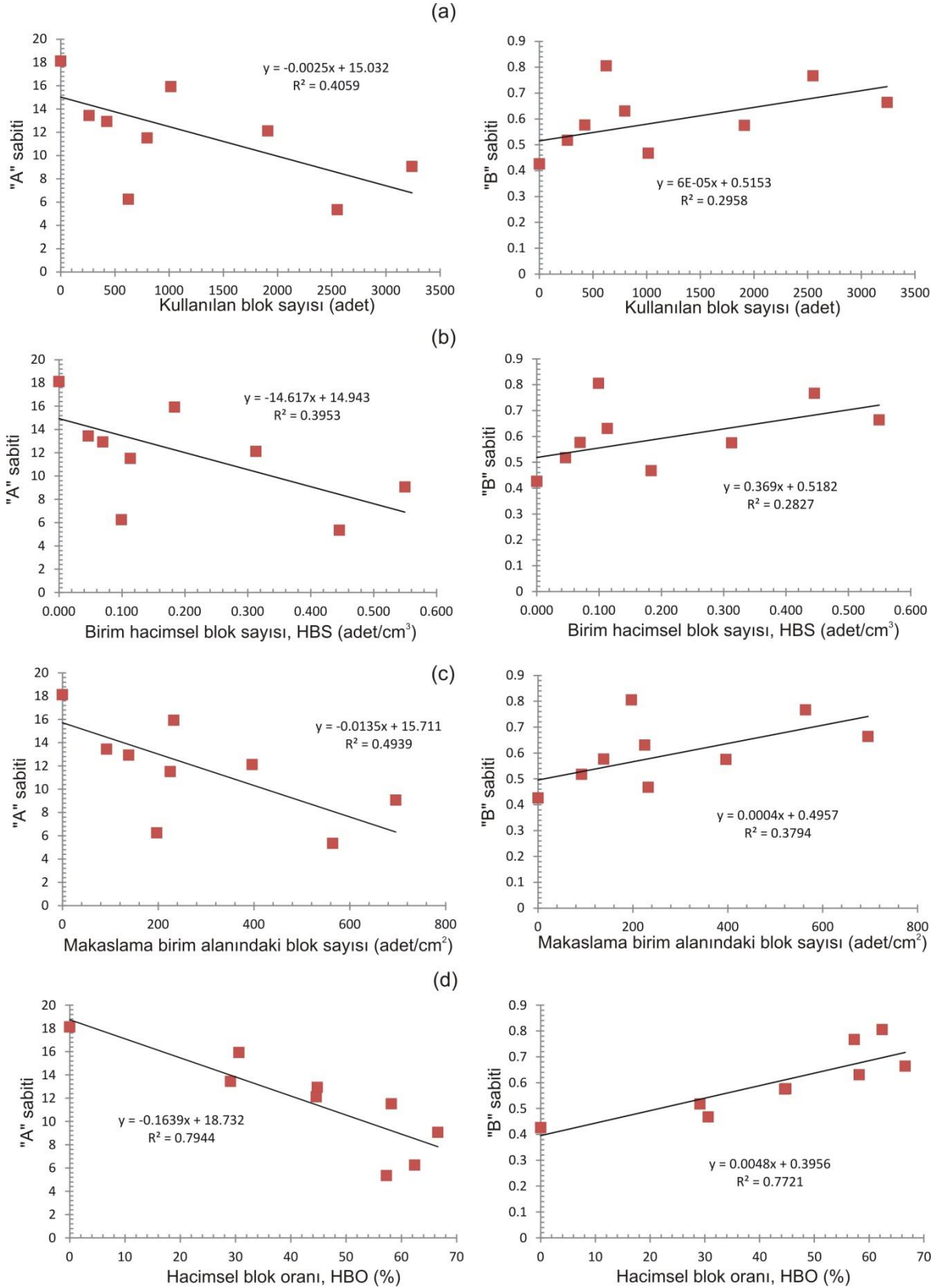


Şekil 5.11. (a) büyük bloklü (b) küçük bloklü modellerde hacimsel blok oranı ve mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısı alternatif girdi parametrelerinin üssel makaslama dayanım zarfının “A” ve “B” sabitleriyle doğrusal regresyonlarının korelasyon katsayısı histogramları

Mühendislik uygulaması boyutuna bağlı olarak türetilen blok sayısı parametreleri ve literatürde sıklıkla kullanılan hacimsel blok oranı girdi parametrelerinin kohezyonlu toprak içinde bloklar içeren zeminlerin makaslama dayanımlarının belirlenmesine yönelik kullanım potansiyeli açısından değerlendirildiğinde, aralarında çok büyük farklılıklar olmamakla birlikte, benzer blok büyüklüğüne sahip örneklerde anlamlı ilişkiler sunabilmektedir. Benzer çakıl boyutu grupları için belirlenen ilişkilerin genellemeye yönelik yorumlanması amacıyla küçük ve büyük boyutlu çakıllara ait veri grupları birleştirilerek tekrar değerlendirilmiştir (Şekil 5.12).

Farklı blok boyutlarındaki çakılların kullanıldığı yapay örneklere ilişkin verilerin birleştirilmesi durumunda türetilen blok sayısı parametrelerine ait ilişkilerin anlamlılık düzeyleri bozulmaktadır. Buna karşın hacimsel blok oranı anlamlı ilişki düzeyini korumaktadır. Blok sayısı parametrelerinden makaslama birim alanındaki blok sayısı parametresi genelleme açısından diğerlerine kıyasla nispeten daha iyi olmakla birlikte, “A” ve “B” katsayılarıyla olan ilişkilerinin anlamlılık düzeyini arttırabilmek için ortalama blok boyutunun da kullanımı dikkate alınabilir. Ancak, bu durumda, uygulama açısından pratiklikten uzaklaşılacağı da görülmektedir.

Sonuç olarak; genellemeye yönelik olarak veri grupları birleştirildiğinde blok sayısı ile türetilen parametrelerin dayanımı belirlemede tek başına yetersiz kaldığı görülmektedir. Ayrıca mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısına bağlı türetilen parametreler hacimsel blok oranının belirlenmesiyle kıyaslandığında elde edilmesi bakımından da daha pratik parametreler de değildir. Diğer taraftan, bir birleriyle ilişkili birden fazla parametrenin girdi olarak kullanılması ampirik yaklaşımların doğasına aykırı olarak kullanım güçlüğünün yanı sıra aşırı hassasiyeti de beraberinde getirebilecektir.

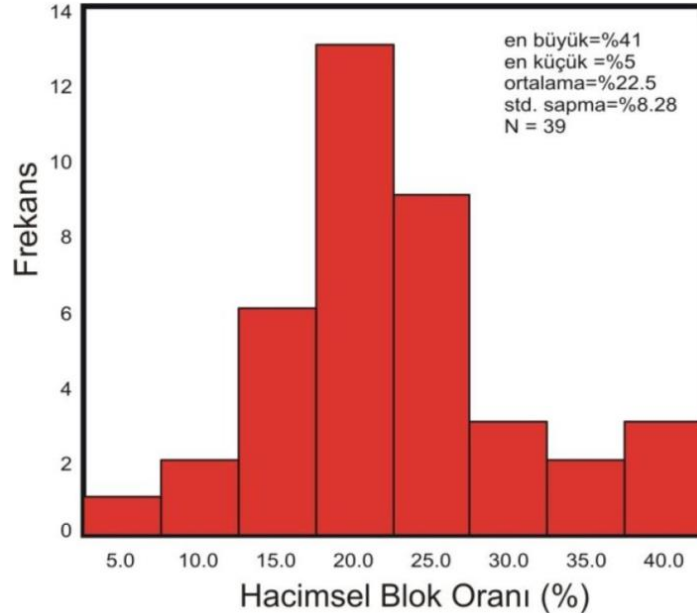


Şekil 5.12. Büyük makaslama kutusu deneyleriyle büyük ve küçük blokluyapay modeller için elde edilen ait veriler birleştirilerek; (a) kullanılan blok sayısı, (b) birim hacimdeki blok sayısı, (c) makaslama birim alanındaki blok sayısı ve (d) hacimsel blok oranı ile "A" ve "B" sabitleri arasında belirlenen doğrusal ilişkiler.

6. AGLOMERATİK ZEMİNDE GELİŞEN BİR DURAYSIZLIĞIN MEVCUT AMPİRİK YAKLAŞIMLARLA DEĞERLENDİRİLMESİ

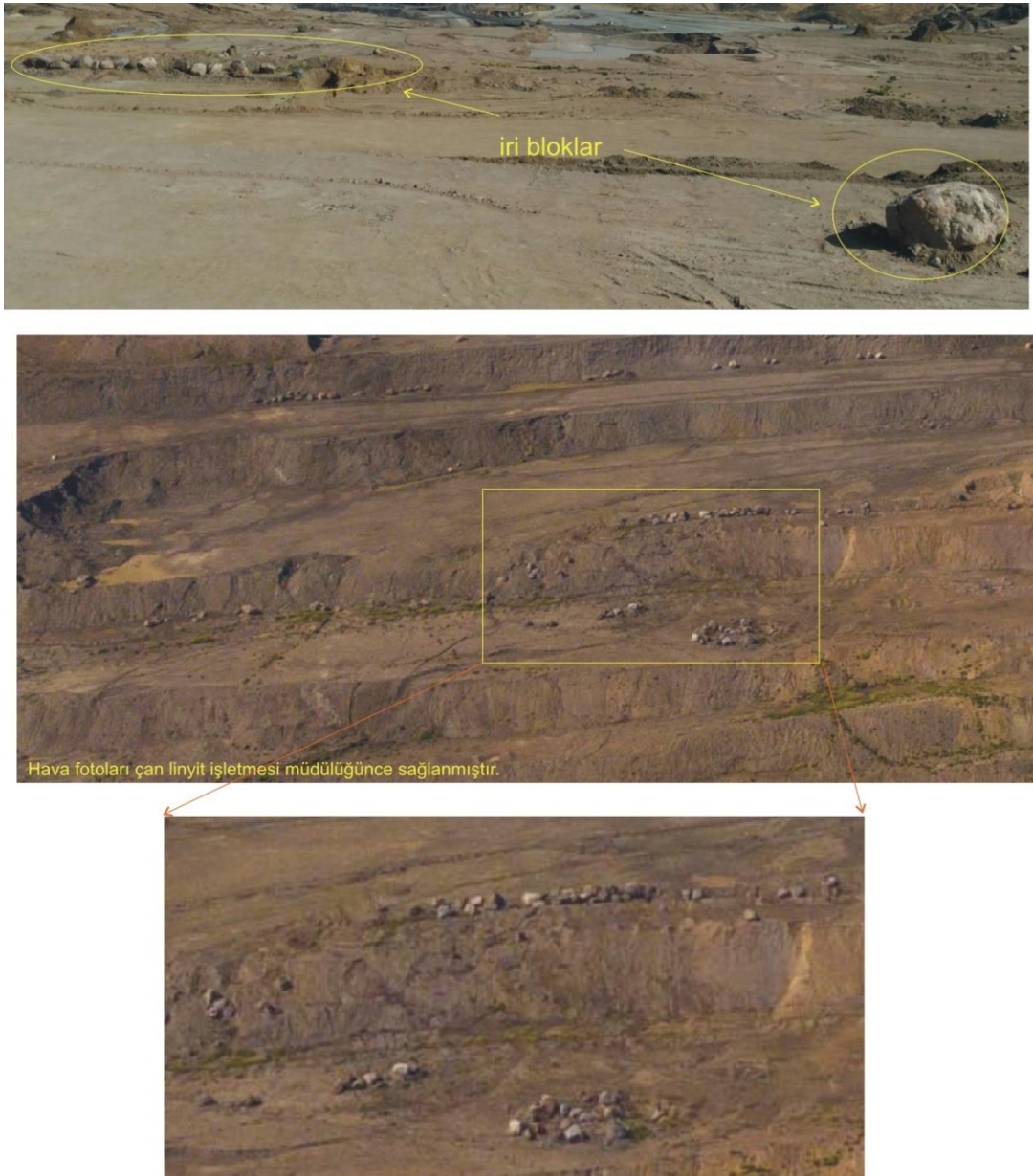
Tez çalışması kapsamında Çanakkale Çan linyit İşletmesindeki açık ocağın güneyinden akan Kocabaş çay yatağında depolanan alüvyon çakıl örneklerinin alınmasına yönelik saha çalışmaları sırasında açık ocağının B panosu olarak adlandırılan bölümündeki zayıf çimentolanmamış zemin niteliğindeki matriks içinde volkanik kaya blokları içeren aglomeratik birimde de gözlemler yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında belirlenen basamak duraysızlığının planı geriye dönük analizlerde kullanılmak üzere planı çıkarılmıştır. Duraysızlığa ilişkin saha çalışmaları tezin 3. Bölümünde verilmiştir.

Tez çalışmasının bu bölümünde basamak bazındaki duraysızlığın geriye dönük analizi farklı gözenek suyu basınçları için duyarlılık yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Geriye dönük analiz sonuçları daha önce aynı sahada Sönmez ve Tunusluoğlu [18] tarafından yapılan çalışmadaki bilgiler doğrultusunda yeniden değerlendirilmiştir. Sönmez ve Tunusluoğlu [18] aynı sahadaki aglomeratik birimin farklı yüzeylerine ait 39 fotoğraftan hacimsel blok oranının değişiminin %5 ile %41 arasında değiştiğini belirlemişlerdir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Çanakkale Çan Linyit işletmesi ocaklarındaki aglomeratik birime ait hacimsel blok oranı histogram grafikleri [18].

Tez çalışması kapsamında yapılan saha gözlemlerinde hacimsel blok oranındaki bu değişim aralığının saha geneliyle uyumlu olduğu görülmüştür (bkz. Şekil 3.6). Gerek saha gözlemlerinde ve gerekse Çan Linyit işletmesi tarafından sağlanan hava fotoğraflarında kazı işlemleri sırasında ortaya çıkan yer yer birkaç 10 m³'lük blokların da varlığı görülmektedir (Şekil 6.2). Bu büyüklükteki bloklar mühendislik boyutunun oldukça büyüdüğü üst kotlardan ocak tabanına doğru genel şev duraylılığına yönelik olarak aglomeratik kütle dayanımı açısından önemli olmakla birlikte, genel olarak bu büyüklükteki blokların hacimsel oranlarının %10'un altında olduğu görülmektedir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Çanakale Linyit işletmesi açık ocağı B panosundaki birkaç 10 m³'lük büyük bloklar.

Sönmez ve Tunusluoğlu [18] tarafından yapılan çalışma kapsamında matriks malzemesine ait örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan makaslama dayanımı deneyleriyle, matriks malzemesinin artık ve doruk makaslama dayanım parametreleri $c_r=5.06$ kPa, $\phi_r=16.2^\circ$ ve $c_p=22.5$ kPa, $\phi_p=25.2^\circ$ olarak belirlenmiş olup, tez çalışması kapsamındaki saha çalışmaları sırasında planı çıkarılan duraysızlığa ilişkin geriye dönük analizlerin değerlendirilmesinde de matriksin dayanımı için bu değerler kullanılmıştır.

Matriksin dayanım parametreleri ve hacimsel blok oranı değişim aralığı dikkate alınarak aglomeratik kütlelerin dayanım davranışının değerlendirilmesinde Lindquist [3] ve Kalender vd. [4] tarafından önerilen eşitlikler (Eş. 2.2 - 2.6) kullanılmış ve C_{bimrok} ve $\phi_{bimrock}$ değişim zonları geriye dönük analiz grafiğine aktarılmıştır (Çizelge 6.1).

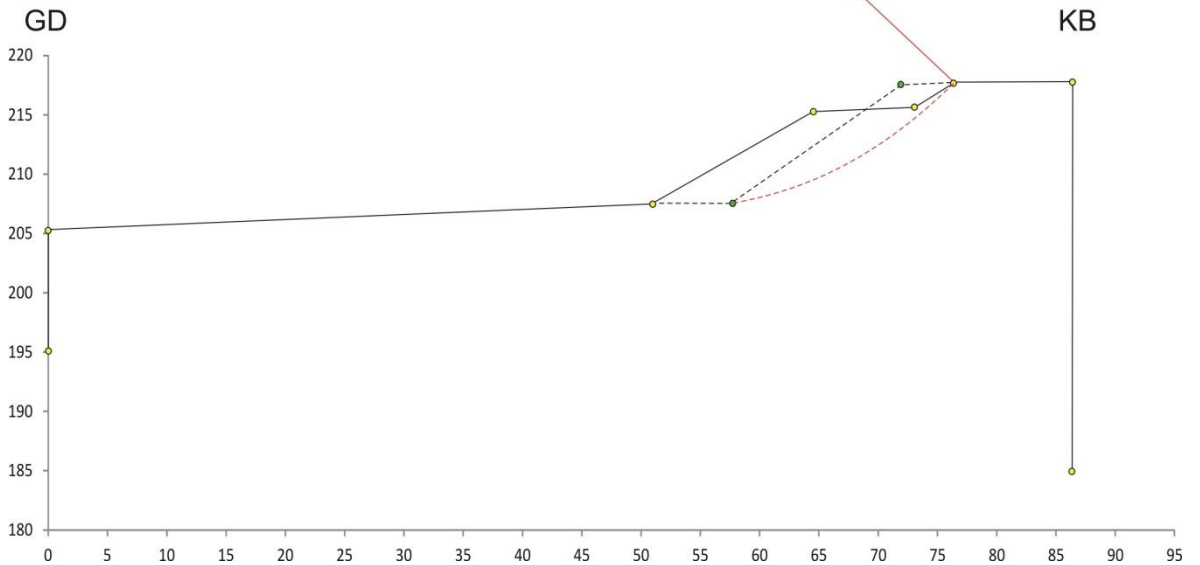
Çizelge 6.1. Matriksin dayanımından itibaren HBO değişim aralığına bağlı olarak aglomeratik kütle dayanım parametrelerinin Lindquist [3] ve Kalender vd. [4] tarafından önerilen yaklaşımlara göre belirlenmesi.

Matriks		Kalender vd. [4]			Lindquist [3]	
$C_{matriks}$ (kPa)	$\phi_{matriks}$ ($^\circ$)	HBO (%)	$C_{bimrock}$ (kPa)	$\phi_{bimrock}$ ($^\circ$)	$C_{bimrock}$ (kPa)	$\phi_{bimrock}$ ($^\circ$)
22.5	25.2	5	21.6	25.5	21.4	25.2
		41	13.4	31.3	13.3	30
5.06	16.2	5	4.8	16.8	4.8	16.2
		41	2.7	28	3	21

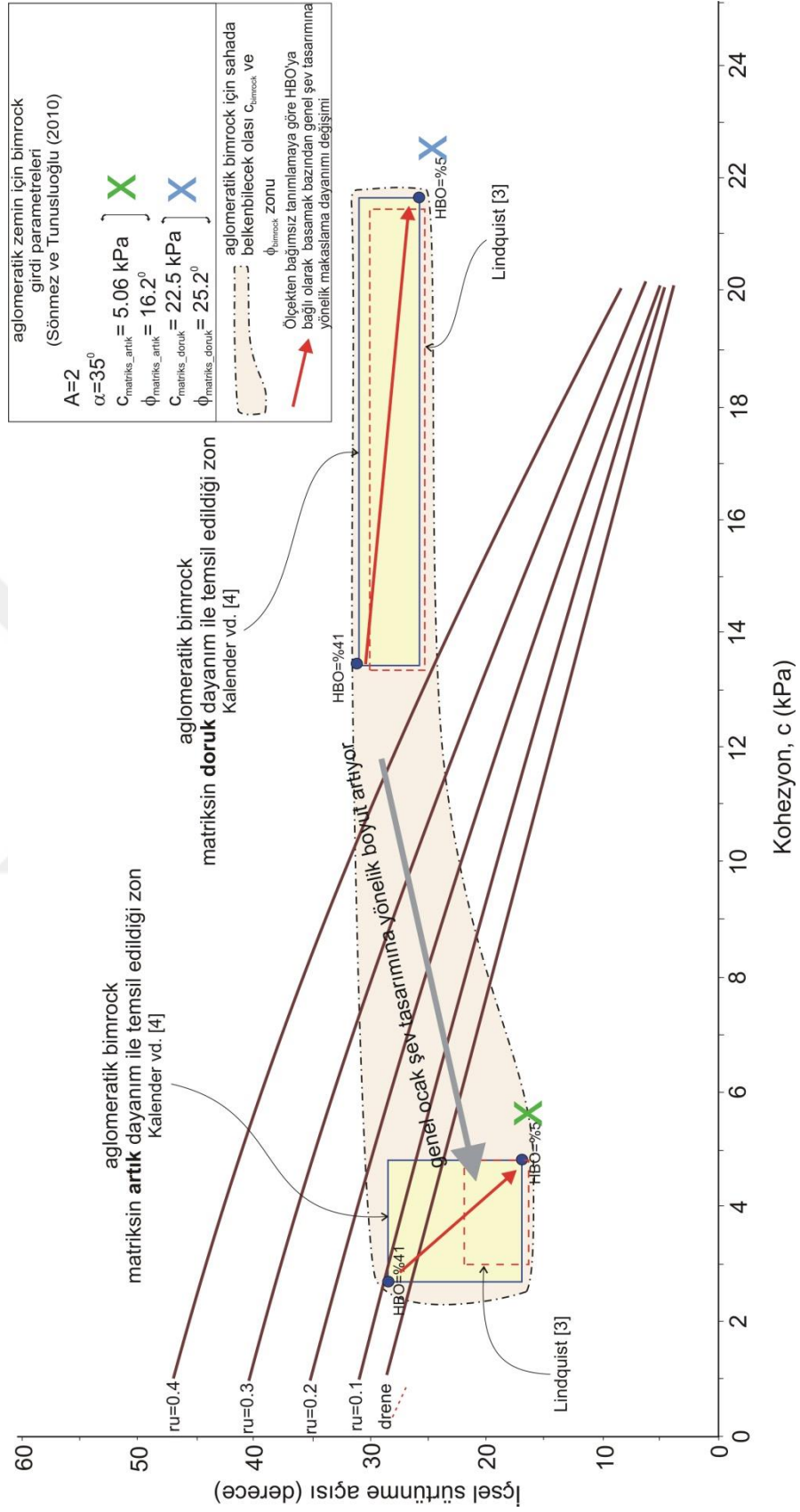
B panosundaki basamak bazındaki duraysızlığın planı Şekil 6.3'de verilirken, geriye dönük analiz kesiti ise Şekil 6.4'de sunulmuştur. Basamağın yenilme öncesi geometrisi duraysızlığın batısındaki ve doğusundaki duraylı kısımlara ait 33° ve 35.5° 'lik basamak açıları dikkate alınarak Şekil 6.3'deki plana uyarlanmıştır. Yenilme dairesinin konumlandırılmasında da yenilme yüzeyinin gözlenen bölümü dikkate alınmış ve yenilme dairesinin topuktan geçtiği ön görülmüştür.

Geriye dönük analizlerde limit denge koşulunu sağlayan c ve ϕ veri çiftleri drene, $r_u=0.1$, $r_u=0.2$, $r_u=0.3$ ve $r_u=0.4$ koşulları için dairesel kayma analizleriyle Bishop [31] tarafından geliştirilen yöntemle belirlenmiştir. Geriye dönük analiz sonuçları ve

hacimsel blok oranının nispeten düşük olduğu görülmektedir (Şekil 6.6a). Diğer taraftan, hacimsel blok oranı daha fazla olan basamaklarda duraylılığın genel olarak korunduğu da saha çalışmaları sırasında gözlenmiştir (Şekil 6.6b). Üst kotlardan ocak tabanına kadar uzanan genel şev kesiti dikkate alındığında mühendislik tasarım boyutuna göre Medley [7] tarafından önerildiği şekliyle ölçekten bağımsız bir değerlendirme yapıldığında, birkaç 10m³'lük kayaların zayıf matriks içinde blok olarak değerlendirilmesi daha gerçekçi olup, bu durumda hacimsel blok oranının da %10'un altında olabileceği görülmektedir (bkz. Şekil 6.2). Bu nedenle, ocağın B panosunda kütleli duraysızlık modeline göre yapılacak genel şev tasarımında zayıf matriks malzemesinin artık dayanım parametrelerinin dikkate alınmasının uzun dönem duraylılık açısından daha gerçek olabileceği düşünülebilir. Bu değerlendirmeden de görüleceği üzere, zayıf toprak matriks içinde blok içeren zemin olarak tanımlanabilecek jeolojik kütlelerin dayanımlarının belirlenmesine yönelik yaklaşımlarda hacimsel blok oranının yanı sıra, mühendislik tasarım boyutu ile ilişkili olarak ortalama blok boyutunun da dikkate alınarak hacimsel blok oranı değerlendirmesinin yapılmasında yarar vardır.

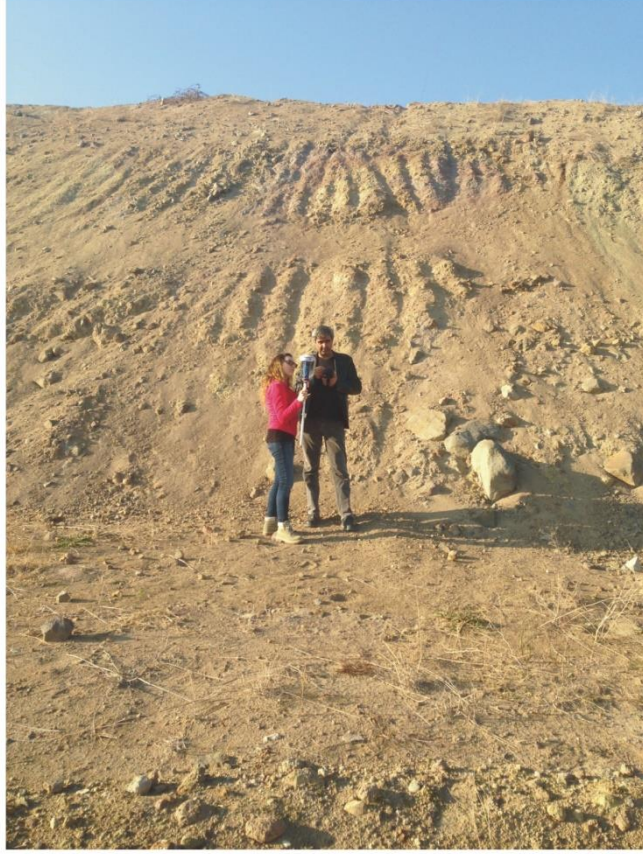


Şekil 6.4. Çanakkale Çan linyit işletmesi açık ocağı B panosunda aglomeratik birimde basamak bazında gelişen duraysızlığa ait geriye dönük analiz kesiti



Şekil 6.5. Çan linyit işletmesi açık ocağı B panosundaki aglomeratik birimde basamak bazında gelişmiş duraysızlığın matris içinde blok içeren zemin yaklaşımıyla geriye dönük analiz değerlendirmesi

(a)



(a)



Şekil 6.6. Çan linyit ocağı B panosunda (a) duraysız basamak önü ve (b) bir duraylı basamak

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Zayıf matriks içinde dayanım ve deformasyon yönüyle kontrast yarabilecek blokların yer aldığı jeolojik kütlelerin dayanımlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar 1990'lı yıllara kadar uzanmaktadır. Bu çalışmaların ilklerinden olan Lindquist [3] tarafından önerilen ilişkiler temel başlangıç noktası olarak kabul edilebilir. Lindquist [3]'ün çalışmasının bulgularıyla da önemli ölçüde uyumluluğa sahip olmakla birlikte Kalender vd. [4] tarafından kuramsal kapsamı genişletilen güncel bir yaklaşım da yakın geçmişte literatürde yerini almıştır. Bu çalışmaların her ikisinde de hacimsel blok oranı temel girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında öncelikli olarak hacimsel blok oranının yanı sıra, mühendislik uygulaması boyutundaki blok sayısına yönelik türetilebilecek alternatif parametreler de dikkate alınarak kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zeminlerin makaslama dayanımı davranışı irdelenmiştir.

Yukarıda içeriği özetlenen tez çalışması kapsamında belirlenen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- i. Mühendislik uygulaması boyutuna bağlı olarak türetilebilecek blok sayısı parametreleri kullanılarak kohezyonlu toprak matriks içinde blok içeren zeminlerin makaslama dayanımına yönelik yapılan deneysel çalışmaların birlikte değerlendirilmeleri sonucunda, her bir veri grubu özelinde anlamlı ilişki düzeyleri sergilendiği söylenebilir. Ancak, bu ilişki düzeylerinin olası varlığının göstergesi olarak belirlenen korelasyon katsayıları, hacimsel blok oranı yerine tercih edilebilecek kadar bir üstünlüğe (yüksekliğe) sahip değildir. Ayrıca, hacimsel blok oranının belirlenmesiyle kıyaslandığında elde edilmesi bakımından daha pratik parametreler de değildir. Daha önemlisi, genellemeye yönelik olarak veri grupları birleştirildiğinde blok sayısı ile türetilen parametrelerin dayanımı belirlemede tek başına kullanımıyla elde edilen ilişkilerin korelasyon katsayılarının da olumsuz etkilendiği görülmektedir. Buna karşın, bu tür zeminlerin dayanım ve deformasyon parametrelerinin belirlenmesinde literatürdeki önerildiği şekilde HBO'nun kullanımının gelinen aşamada ampirik bir ölçüt için önemli bir girdi parametresi olduğu söylenebilir.

- ii. Mühendislik uygulaması ölçeğinde Medley [7] tarafından önerildiği şekilde blok boyutunun normalize edilmiş alt ve üst sınırlarının dikkate alınarak hacimsel blok oranının belirlenmesi durumunda, gerek Lindquist [3]'in orijinal yaklaşımı ve gerekse Lindquist [3]'in bulgularıyla önemli ölçüde uyumluluğa sahip olmakla birlikte Kalender vd. [4] tarafından kuramsal kapsamı genişletilen ampirik yaklaşımlarla zayıf matriks içinde blok içeren zeminlerin makaslama dayanımlarının belirlenmesinin uygulama pratiğinin yüksek olduğu söylenebilir.
- iii. Blok-blok temaslarının başlamasıyla birlikte, kaya kütleleri veya kaya döküm (dolgu) yığınları gibi zayıf matriks içinde blok içeren zeminlerin de eğrisel yenilme zarfına sahip olabileceğine ilişkin ön bulgular bu çalışmada gözlenmiştir.
- iv. Bu tür zeminlerin jeolojik süreçlerle oluşumlarındaki karmaşık yapıları ve çeşitlilikleriyle birlikte değerlendirildiğinde, genel bir yaklaşımla blokların Medley [7]'in ölçekten bağımsız tanımladığı alt ve üst sınır boyutları (küçük boyut ($= 0.05\sqrt{A}$) ile en büyük boyut ($= 0.75\sqrt{A}$)) aralığında her saha için kendine özgü bir dağıma sahip olması nedeniyle, mühendislik uygulaması ölçeğine bağlı olarak belirlenen HBO değeriyle birlikte dayanım davranışlarının yorumlanmasında yarar vardır. Çanakale Çan linyit işletmesi açık ocağı B panosundaki zayıf aglomeratik birimde olduğu gibi basamak bazından genel şev profiline kadar değişebilen mühendislik uygulaması ölçeğindeki değerlendirme yaklaşımı bu amaçla örnek olarak dikkate alınabilir. Basamak bazında HBO %40'lara kadar çıkarken, ocağın üst kotlarından ocak tabanına uzanan genel şev profili dikkate alındığında %10'u bulmadığı görülmektedir.
- v. Tez çalışması kapsamındaki makaslama dayanımı deneyi uygulamalarında blok eklenerek ve buna karşılık matriksin eksiltilmesiyle blok içeriğinin artırılması yönteminde özellikle blokça zengin modellerde bloklar arasındaki boşlukların yeterince dolgulanamadığı da gözlenmiştir. Ayrıca, yüksek hacimsel blok oranlarında kaya blokları arasında boşlukların kalması nedeniyle HBO'nun %100'e yaklaşan değerlere ulaşması da söz konusu olamamaktadır. Bu çalışmadaki büyük makaslama kutusu deney örneklerinde bu farklılığı yansıtmak amacıyla etkin hacimsel blok oranı ifadesine yer verilmiştir. Bu tür zemin örnekleri

genel olarak bloklu çakıllı alüvyon çökelimleri, yamaç molozu veya diğer bazı mühendislik amaçlı toprak-kaya karışımı dolgu uygulamalarında gözlenebilir.

- vi. Doğadaki karmaşık yapılarına karşın kontrollü karışımlar şeklinde hazırlanan yapay örneklerle karşılaştırıldığında, uygulanması zor da olsa bu tür doğal karmaşık jeolojik kütlelere ait verilerin üretilmesine yönelik olarak yerinde deneylerin oldukça önemli olduğu düşünölmektedir. Yapay örneklerle yapılan deneysel çalışmalar ve yerinde deneylerin sonuçlarından elde edilen bulguların yanı sıra özellikle kaya ve zemin mekaniğinde kabul gören kuramsal sınır koşullarını sağlayabilen ampirik yaklaşımların geliştirilmesine yönelik çalışmaların tasarıma yönelik dayanım ve deformasyon parametrelerinin seçilmesi açısından önemli yaklaşımlar olduğu söylenebilir. Ancak bu tür ampirik yaklaşımların doğası gereği gerçek vakalara bağlı olarak modifikasyonlara açık olduğu da unutulmamalıdır.
- vii. Mevcut ampirik yaklaşımlarda matriksin dayanımının ölçek parametresi olarak kullanılması nedeniyle makaslama dayanımının kestiriminde matrikse yönelik olarak artık veya doruk makaslama dayanım parametrelerinin kullanılması olanaklıysa da özellikle blok-blok temaslarının geliştiği HBO'nun %40'lardan büyük olduğu durumlarda blokların dayanıma olan katkısının doruk dayanıma yöneldiği dikkate alınmalıdır.
- viii. Matriks içinde blok içeren zeminler için konuya yönelik literatürdeki bulgulara belirli ölçüde güvenli taraftan yaklaşarak önerilen ampirik kestirim yöntemleri uygulayıcıya doruk dayanıma yönelik parametre seçiminde yardımcı araçlardır. Bu nedenle, diğer tüm ampirik yöntemlerde olduğu gibi bu tür zeminlerin makaslama dayanımlarının belirlenmesine yönelik ampirik yaklaşımlarda özellikle sınırlı tecrübeye sahip uygulayıcılar tarafından tek başına nihai tasarım aracı olarak kullanılmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Palmstrm, A., The volumetric joint count as a measure of rock mass jointing. *In the Conference on Fracture, Fragmentation and Flow*, Jerusalem, 19 p, **1986**.
- [2] Palmstrm, A., *RMI-a rock mass characterization system for rock engineering purposes*. PhD Thesis, University of Oslo, **1995**.
- [3] Lindquist, E.S., *The strength and deformation properties of mélange*. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley **1994**.
- [4] Kalender, A., Sonmez, H., Medley, E., Tunusluoglu, C., Kasapoglu, K.E., An approach to predicting the overall strengths of unwelded bimrocks and bimsoils. *Engineering Geology*, 183:65-79, **2014**.
- [5] Medley, E. W., Zekkos, D., Geopractitioner approaches to working with antisocial mélanges. *In Melanges: Processes of Formation and Societal Significance*, 480,261-277, Special Paper of the Geological Society of America, **2010**.
- [6] Raymond, L.A., Classification of melanges: in *Melanges: Their nature, origin and significance*; ed. L.A. Raymond L.A. Boulder: Geol. Soc. of America, 7-20. **1984**.
- [7] Medley, E. W., *The engineering Characterization of melanges and similar block-in-matrix rocks ("BIMRock"s)*. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 338, **1994**.
- [8] Medley, E. W., Orderly Characterization of Chaotic Franciscan Melanges. *Felsbau, Journal of Engineering Geology, Geomechanics and Tunnelling*, 19 (4), 20-33, **2001**.
- [9] Medley, E. W., Estimating Block Size Distributions of Melanges and Similar Blockin- 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**.
- [10] Sönmez, H., Tuncay, E., Gkeođlu, C., Nefesliođlu, H., Matriks içinde blok içeren kayaların deformasyon modlnn saptanabilmesine yönelik fotoanaliz destekli yaklaşımların geliştirilmesi. *TBİTAK Proje No: 102Y033*, **2005**.
- [11] Medley, E.W., Simple Concepts Useful for Characterizing Complex Bimrocks Underlying Slopes. *Landslide and Slope Stability Short Course, AEG-IE/ASCE-IE, UC Riverside Extension Center, Riverside, CA, Saturday May 12 2012*. (<http://bimrocks.com> adresli web sitesinde presentation başlığından erişilebilir), **2012**.

- [12] Sonmez, 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**.
- [13] Riedmüller, G., Brosch, F.J., Klima, K., Medley, E.W., Engineering Geological Characterization of Brittle Faults and Classification of Fault Rocks. *Felsbau, Journal for Engineering Geology, Geomechanics and Tunneling*, 19, (4/2001): 13-19, **2001**.
- [14] Kahraman, S., Alber M., Estimating unconfined compressive strength and elastic modulus of a fault breccia mixture of weak blocks and strong matrix. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 43, 554-61, **2006**.
- [15] 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*.
- [16] Bedrosian, T.L., Geology and slope stability in the Geysers Geothermal Resources area: California Division of Mines and Geology. *California Geology*, 31, 151-159, **1978**.
- [17] Bedrosian, T.L., Geology and slope stability in selected parts of the Geysers Geothermal resources area, No.142 of special reports: *California Division of Mines and Geology*, Sacramento, California, pp: 66, **1980**.
- [18] Sönmez, H., Tunusluoğlu, C., Development of a unified geomechanical classification system and a generalized empirical approach for jointed rock masses and bimrocks. *TÜBİTAK Project No: 108Y002, 2010*.
- [19] Iannacchione, A., Vallejo, L., Shear Strength Evaluation of Clay-Rock Mixtures. *Proceedings of Sessions of Geo-Denver 2000 - Slope Stability 2000, GSP 101, 289, 209-223, 2000*.
- [20] Miller, E.A., Sowers, G.F., The shear characteristics of oil-aggregate mixtures. *Highway Research Board Bull.*, 183, 16-23, **1957**.
- [21] Holtz, W.G., Ellis W., Triaxial shear characteristics of clayey gravel soils. *Proc. of the 5th Intern. Conf. on Soil Mech. and Found Eng.*, 1, 143, **1961**.
- [22] Donaghe, R.T., Torrey, V.H., Scalping and replacement effects on strength parameters of earth-rock mixtures. *Proc. of the European Conf. On Soil Mech. and Found. Eng.*, Brighton, England, September, 2, 27-34., 1979.
- [23] Altınsoy, H., *Matriks içinde blok içeren kayaların makaslama dayanımın belirlenmesi için fiziksel model esaslı bir araştırma*. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, **2006**.

- [24] Coşkun, A., *Bimrocklarla (Hamurda kaya) ile eklemli kaya kütlerinin sınır koşullundaki sorunlara yönelik amprik bir yaklaşımın geliştirilmesi*. Hacettepe Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, **2010**.
- [25] Sönmez, H., Gökçeoğlu C., Medley E.W., Tuncay E., Nefeslioglu H.A, Estimating the Uniaxial Compressive Strength of a Volcanic “BİMRock”, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 43, 554–561, **2006**.
- [26] Coli, N., Berry P., Boldini, D., In situ non-conventional shear tests for the mechanical characterisation of a bimrock. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 48, 95–102, **2011**.
- [27] Wen-Jie, Xu., W., Xu, Q., Hu, R., Study on the shear strength of soil–rock mixture by large scale direct shear test. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 48, 1235–1247, **2011**.
- [28] Chang, K.T., Cheng, M.C., Estimation of the shear strength of gravel deposits based on field investigated geological factors. *Engineering Geology*, 171, 70–80, **2014**.
- [29] Gong, J., Liu, J., Analysis on the mechanical behaviors of soil-rock mixtures using Discrete Element Method. *In the 7th World Congress on Particle Technology (WCPT7), Procedia Engineering*, 102, 1783 – 1792, **2014**.
- [30] Sönmez, H., Ercanoğlu, M., Kalender, A., Dagdelenler, G., Tunusluoğlu, C., Predicting uniaxial compressive strength and deformation modulus of volcanic bimrock considering engineering dimension *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 86, 91–103, **2016**.
- [31] Bishop, A.W., The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5(1), 7-17, **1955**.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı: Birke Besbelli

Doğum Yeri: Ankara

Medeni Hali: Bekar

E-posta: birke1990@gmail.com

Adresi: Bağlıca Bulvarı Melikşah Cad. No:2 B Blok Daire: 15 Bağlıca, Etimesgut /
ANKARA

Eğitim

Lise: Kılıçarslan Lisesi (Süper Lise)

Lisans: Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil Düzeyi

İngilizce (İyi)

İş Deneyimi

(Mayıs 2017 -) Proje Mühendisi – ZTM Mühendislik ve Müşavirlik LTD.ŞTİ.

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu İle 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: KOHEZYONLU TOPRAK MATRİKS İÇİNDE BLOK İÇEREN ZEMİNLERDE BLOK SAYISININ MAKASLAMA DAYANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 74 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 % 1 'dir.

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 Orijinallik 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.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Birke Besbelli
Öğrenci No: N14223129
Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği
Programı: Jeoloji Mühendisliği
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

02.07.2018
Birke

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Harun Sönmez

(Unvan, Ad Soyad, İmza)