



# CBR Test Sonuçlarının Üç Eksenli Deney Sonuçları İle Korelasyonunun Değerlendirilmesi

Mehmet Orhan<sup>1</sup>, Ali Ateş<sup>2</sup>, Semih Şenkan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü-Teknikokullar Yenimahalle/ANKARA, (ORCID:000-0003-3927-0123), [orhanm@gazi.edu.tr](mailto:orhanm@gazi.edu.tr)

<sup>2</sup>Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty Of Engineering, Department Of Civil Engineering, Bolu, Turkey, (ORCID:0000-0001-6297-8571), [alirates@ibu.edu.tr](mailto:alirates@ibu.edu.tr)

<sup>3</sup>Yüksek Teknik Yapı Öğretmeni, Eskişehir, (ORCID:0000-0002-1493-2576), [senkansemih@gmail.com](mailto:senkansemih@gmail.com)

(İlk Geliş Tarihi 20 Ağustos 2021 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.983288)

**ATIF/REFERENCE:** Orhan, M., Ateş, A. ve Şenkan, S. (2021). CBR Test Sonuçlarının Üç Eksenli Deney Sonuçları İle Korelasyonunun Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (31), 61-70.

## ÖZ

Bu çalışmada Ankara'nın Çukurambar semtinden alınmış yüksek plastisiteli kil ile farklı su içeriklerinde standart Proctor enerji oranında sıkıştırılarak hazırlanmış deney numunelerinin CBR değerleri ile drenajsız kayma dayanımı parametreleri arasındaki ilişki araştırılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle yapılan standart Proctor deneyi ile zeminin optimum su içeriği ( $w_{opt}$ ) bulunmuştur. Kuru ve ıslak CBR deneyi şartlarının araştırıldığı çalışmada, ıslak CBR deneyi öncesi, zemin doymun hale getirilemediğinden doymunluk şartlarını temsil etmesi için optimum su içeriği, %10 artırılarak doymunluk yüzdesi ( $S_r$ ) yaklaşık %95'e, %10 daha artırılarak zemin doymunluk yüzdesi yaklaşık %98~%100 değerlerine yaklaştırılmış ve bu su içeriklerinde sıkıştırılarak şartlar sağlanmaya çalışılmıştır. Değişik su oranı içeriklerinde hazırlanmış deney gruplarından her birinden 4 adet ve toplam 12 numune üzerinde CBR deneyi yapılmıştır. Hazırlanan bu numunelerden yaklaşık 35 adet de üç eksenli basınç deney numunesi alınmış ve bu numunelere üzerinde drenajsız konsolidasyonsuz (UU) üç eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Deney sonunda, killi zeminlerde su içeriği, CBR ve drenajsız kayma dayanımı parametreleri arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** CBR, UU üç eksenli test deneyi, Ankara Çukurambar killeri

## Assessment of Correlation of CBR Test Results and Triaxial Test Results

### Abstract

In this study the relation between the parameters undrained shear strength and CBR values of sample prepared compacting at a different energy rates and in different water content of standard Proctor and modified Proctor test on the samples obtained from Çukurambar area in Ankara. For this reason, the optimum water content was found by the Standard and Modified Proctor test performed. In the study, in dry and wet conditions, before the wet CBR, as the test is not provided in saturated conditions, first the water content is increased at a rate of 10 percent of water to attain the 95 percent saturation and second the water content is increased at a rate of 10 percent of water to attain the 98 percent saturation conditions and then the conditions are supplied to attain compacting at these water rates. A total of 12 samples presenting the 4 samples for each kinds of soils were performed on CBR tests at different energy and water content rates. Approximately a total of 35 samples obtained from these sample prepared were conducted the three axial tests on the conditions that it is undrained unconsolidated environment. In the conclusion, the relation between CBR and undrained shear strength parameters were studied to reveal bounded variation of energy rates and water content rates in clayey soils in these conditions.

**Keywords:** CBR, UU triaxial compression test, Ankara çukurambar

\* Sorumlu yazar: [alirates@ibu.edu.tr](mailto:alirates@ibu.edu.tr)

## 1. Giriş

Ülkemiz coğrafi olarak deprem tehlikesi açısından riskli bir konumdadır. Bu nedenle zeminler üzerindeki yapıları güvenli bir şekilde taşıyabilmeli ve yeterli taşıma gücüne sahip olması gerekmektedir. Şayet üzerinde yapılması planlan zeminler yeterli düzeyde taşıma gücüne sahip değilse, zeminler değişik yöntemlerle iyileştirilmelidir. İyileştirme yöntemlerinin kontrol edilmesi aşamasında CBR yöntemi, özellikle yol yapımı uygulamalarında dünyada ve ülkemizde oldukça geniş ölçek de kullanılmaktadır [1]. Bu çalışma kapsamında Ankara ili Çukurambar semtinden alınan yüksek plastisiteli killere kompaksiyon ve drenajsız konsolidasyonsuz (UU) üç eksenli basınç deneyleri uygulanmıştır [2]. Bu konuda literatürde oldukça geniş çalışmalar mevcuttur. Türedi v.d. [3] “Çelikhane Cürufu Katkısının CBR Sonuçlarına Etkisini” Araştırılmışlardır. Bu çalışmada kullanılan çurufun doğal kil zeminlere eklenmesi durumunda kil zeminlerin CBR değerlerinde artış olduğunu ortaya koymuşlardır. Vural [4] yaptığı çalışmada inşaat enkaz ve yıkıntı atıklarının CBR deneyi ile taşıma gücüne etkisini araştırmıştır. Bu çalışma ile inşaat atıklarının taşıma gücünü artırdığını ve tekrar kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Erginer v.d.[5] atık lastik tozu ile CBR değerlerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma ile CBR deneyleri sonucunda, lastik katkının %20 oranlarına kadar zemine ilave edilmesiyle CBR değerini artırdığını ortaya koymuşlardır. Kök v.d. [6] “Çimento Stabilizasyonun Zeminlerin Esnek Üstyapı Maliyetine Etkisi” adlı çalışmasında çimento oranındaki artışın yumuşak zeminlerin hem taşıma gücünü hem de CBR değerini artırdığını belirtmiştir. Yaşar [7] uçucu kül katkısının killerin geoteknik özelliklerine etkisi ile ilgili çalışmasında uçucu külün zemin geoteknik özelliklerinin gelişmesinde ve CBR değerlerinde artışın olduğunu yaptığı tezinde belirtmiştir. Geçkil [8] karbon katkısı ile yaptığı zemin iyileştirme çalışmasında, karbon katkısının CBR değerinde artış meydana getirdiğini kaydetmiştir.

Burada kullanılan killi zeminlerin doymuş şartlara yaklaştıkça CBR değerlerindeki değişimleri ve bu değişimlerden zemin kayma dayanım parametrelerinin nasıl etkilendiğini görmek amacı ile zeminler, optimum su içeriğinde ve optimum su içeriğinin üzerindeki su içeriklerinde doymunluk yüzdeleri %98 ile %100 arasındaki değerlere getirilerek standart Proctor enerji oranında sıkıştırılmıştır [9]. Hazırlanan 12 adet numuneye CBR ve bu numunelerden alınan yaklaşık 35 örnek üzerinde üç eksenli basınç deneyleri yapılmış, bu iki deneyin sonuçları arasında korelasyon kurulmaya çalışılmıştır. Bulunan sonuçlar daha önce yapılmış benzer deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

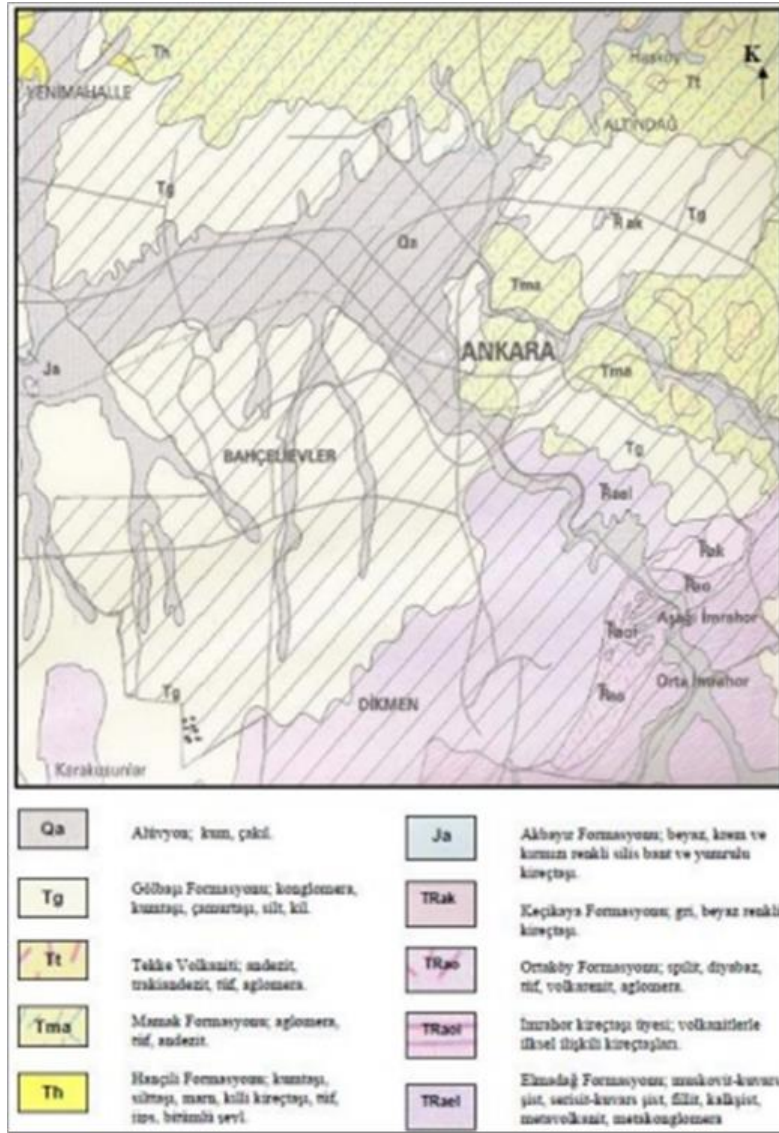
Bu çalışmada Ankara ili Çukurambar bölgesinden alınan yüksek plastisiteli kil numuneleri kullanılmıştır. Numunenin alındığı yer yer bulduru haritası Şekil 1’de verilmiştir. Ankara kilinde en çok görülen kil mineralleri, simektit, illit, klorit ve kaolinit olup azda olsa diğer kil mineralleride görülmektedir. Ankara kili montmorillonitde içermesinden dolayı şişme potansiyeli yüksek bir kildir [10, 11].



Şekil 1. Numunenin alındığı yerin yer bulduru haritası

Zemin sınıflaması olarak genelde yüksek plastisiteli (CH), inorganik kil (OH) ve yüksek plastisiteli (MH) grubundadır. Ayrıca normal aktif killer grubuna girmekte, indeks ve sınıflama değerleri alüvyal kile oranla daha yüksektir. Dane dağılımları ise değişik kil minerallerinden oluştuğu için heterojen görünümündedir. Ankara kilinde yer yer kalış katmanları ve kalker konkresyonları da görülmektedir [12, 13]. Ankara ilinin genel jeolojisi Şekil 2’de verilmiştir.

Laboratuvara getirilen örselenmiş zemin numunesine Atterberg limit deneyleri, özgül ağırlık deneyi, elek analizi ve hidrometre deneyi yapılmıştır. Zemin numunesinin optimum su içeriğini ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını bulmak için ASTM D 698 [14]’e göre Proctor deneyi yapılmıştır. Deneyler yapılırken oluşabilecek hataları minimum düzeye indirmek ve zemine uygulanacak darbeleri homojen bir şekilde yaymak için otomatik kompaksiyon aleti tercih edilmiştir. Hazırlanan numunelere CBR deneyi yapılmıştır. Zeminin kayma gerilmesi dayanım parametrelerini ölçmek için CBR deneyi yapılan numunelerden hidrolik numune alıcı ile numuneler alınmış, bu numuneler üzerinde ASTM D 2850 [15]’e uygun olarak (UU) üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır [16].



Şekil 2. Ankara ili ve çevresi 1:100 000 ölçekli genel jeoloji haritası [13]

## 2.2. Metod

Bu çalışmada, kuru ve ıslak CBR deneyi ile elde edilen sonuçlarla Üç eksenli basınç deneyi sonuçlarının arasındaki ilişkilerin ortaya konulması planlanmıştır. Bu kapsamda CBR numunelerinin bir kısmı ıslak CBR olarak planlanmış fakat, 7 gün suda bekletilen numuneler suya doymuş hale gelmediği için ıslak CBR deneyi yerine, zeminin su içeriğinin optimum seviyesinin üzerine çıkartılarak doymuş şartlara getirilmeye çalışılmış ve zeminin doymuşluk derecesindeki artışların CBR ve üç eksenli basınç deney değerlerine etkisi gözlenmeye çalışılmıştır. Bu sebeple numuneler optimum su içeriğinin yanı sıra, ayrıca yaklaşık %10 ila %20 seviyesinin üzerinde su içeriği değerlerinde sıkıştırılmıştır. Araştırmada kullanılacak killerin, indeks ve tanımlama deneyleri bilinen metodlarla yapılmıştır. Bunlar için, araziden getirilen zemin numuneleri öncelikle Atterberg kıvam limitleri, tane dağılım analizi ve özgül ağırlık deneyi için ayrılarak etüvde 110 C° de 16 saat kurutulmuştur. Kuruyan numuneden 40 numaralı elekten elenmiş 200 gr kadar malzeme likit limit ve plastik limit sınırlarını belirlemek için, No.200 (0,075 mm) elekten geçen yaklaşık 40 gr malzeme hidrometre deneyi için ve 2,00 mm den elenmiş 100 gr kadar malzemede özgül ağırlık deneyi için ayrılmıştır.

Deneylerde kullanılacak numunenin optimum su içeriği ve doymuşluk yüzdelerini bulmak için yapılan standart Proctor deneyi için 7 kg etüvde kurutulmuş zemin numunesi, tanelerinin zarar görmemesi için lastik tokmak ile 4,75 mm göz açıklığına sahip elekten geçebilecek hale gelene kadar ufaltılmıştır. Deneye belli bir su içeriği ile başlanmış ve su içeriği artırılarak devam edilmiştir. Her bir deney setinden su içeriği için numune alınmış, deney sonunda yapılan hesaplarla optimum su içeriğine karşılık gelen kuru birim hacim ağırlık grafiği çizilmiş ve doymuşluk yüzdeleri (Sr %) hesaplanmıştır.

CBR deneyleri standart Proctor sıklığında 3 farklı su içeriğinde, her bir su içeriğinde 4 adet olmak üzere toplam 12 numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonuçları verilirken numunelerin karıştırılmaması için optimum su içeriğinde Proctor sıklığındaki numunelere SP1 numaralı numune, optimum su içeriğinin % 10 artırılması ile doymuşluk yüzdelerinin Sr %94 civarına yaklaştırılan standart Proctor sıklığındaki numunelere SP2, optimum su içeriğinin % 20 artırılması ile doymuşluk yüzdelerinin Sr %97 civarına yaklaştırılan standart Proctor sıklığındaki numuneler SP3, numaralı numune olarak adlandırılmıştır. Ayrıca her bir numune kendi grubunun alt numarası ile adlandırılmıştır. Örneğin standart Proctor

sıklığındaki %97 doygunluğa sahip numune SP3, aynı doygunluk %'sinde deney yapılan 4 numuneden birinci numune için ise SP3-1 kısaltması kullanılacaktır. Deneylerde kullanılan kısaltmalar ve

su içeriği-doygunluk yüzdesi değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan kısaltmalar ve su içeriği-doygunluk değerleri

Enerji Oranı	Su içeriği (w)	Doygunluk (%) (ort)	Hazırlanan Numune Adedi	Numuneye verilecek Ad
Standart Proctor	%32 (W <sub>opt</sub> )	%90	4	SP1-1
				SP1-2
				SP1-3
				SP1-4
	%34	%94	4	SP2-1
				SP2-2
				SP2-3
				SP2-4
	%36	%97	4	SP3-1

Hazırlanan her bir CBR numunesinden deney sonunda 3 adet üç eksenli basınç deneyi numunesi alınmış, yaklaşık 36 numune üzerinde üç eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Standart Proctor sıklığında optimum su içeriğinde (w=%30,5), Sr %90 civarında,

su içeriği yaklaşık %10 arttırıldığında (w=%34), Sr ortalama %94 civarında, ve su içeriği yaklaşık %20 arttırıldığında (w=%36), Sr ortalama %97 civarında olmaktadır.

### 3. Deneysel Bulgular

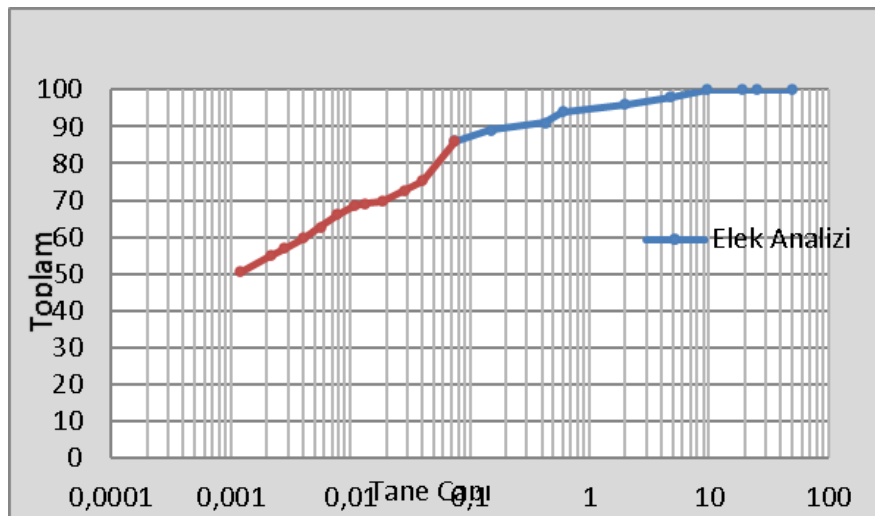
#### 3.1. İndeks ve Tanımlama Deneyleri

Numuneler üzerinde yapılan indeks ve tanımlama deneylerine göre likit limit %80, plastik limit %36, plastisite indisi 44 bulunmuştur. Özgül ağırlık deney sonucu G<sub>s</sub>= 2,65 dir.

Yapılan elek analizi ve hidrometre deney sonuçlarına göre zemin cinsi CH (USCS'ye göre) bulunmuştur. Elek analizi ve hidrometre deney sonuçları Şekil 3'de, Atterberg limitleri ve özgül ağırlık deney sonuçları ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Atterberg limitleri, özgül ağırlık deney sonuçları ve zemin sınıflandırması

Zemin Türü	Likit Limit (%)	Plastik Limit	Plastisite İndisi	G <sub>s</sub>	USCS	AASHTO
Kil	80	36	44	2,65	CH	A-7-6

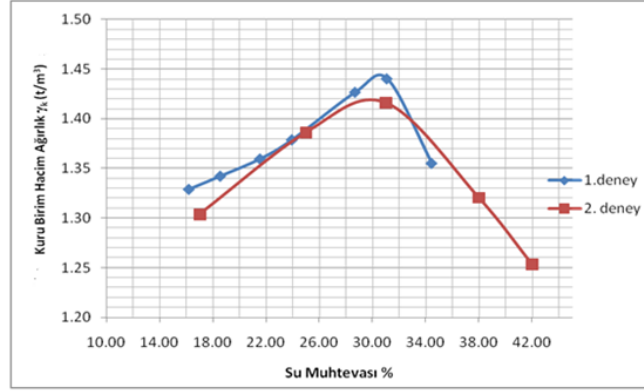


Şekil 3. Elek analizi ve hidrometre deney grafiği

### 3.2. Standart Proctor Deney Bulguları

Çukurambar semtinden alınan ve indeks deneyleri ile türünün CH olduğu belirlenen kil numunesine iki kez yapılan standart Proctor deneyi ile zeminin optimum su içeriğinin ( $w_{opt}$ ) yaklaşık %30,5 civarlarında olduğu ve bu su içeriğine karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığın ise  $1,45 \text{ t/m}^3$  ve

zeminin kuru birim hacim ağırlığının maksimum olduğu noktada doygunluk yüzdesinin ( $S_r$ ) %91 civarında olduğu belirlenmiştir. Standart Proctor deneyine ait  $\gamma_k-w$  grafiği Şekil 4’de verilmiştir. Standart ve modifiye Proctor deney sonuçlarının sayısal verileri Çizelge 3’de verilmiştir.



Şekil 4. Standart Proctor deney sonuçları

Çizelge 3. Standart Proctor deney sonuçları

Deney	Örselenmiş Numune ( $\gamma$ ) ( $\text{t/m}^3$ )	$\gamma_{kmax}$ ( $\text{t/m}^3$ )	Optimum Su İçeriği ( $W_{opt}\%$ )	Doygunluk Oranı $S_r$ (%)
Standart Proctor	1,89	1,45	30,5	%93

### 3.3. CBR Deneyinden Elde Edilen Bulgular

Proctor deneyleri ile belirlenmiş ve 6’lik kalıplarda sıkıştırılmış 12 adet zemin numunesine, standart Proctor sıkılığında, farklı su içeriği ve doygunluk yüzdelerinde CBR deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler optimum su içeriği civarında standart Proctor sıkılığında sıkıştırılmış zeminlerde

yapılan CBR değerlerinin ortalama %12, olduğunu bu su içeriklerinin üzerine çıkıldıkça CBR değerinin standart Proctor sıkılığı için %6’ ya kadar düştüğünü göstermiştir. Yapılan deneyler ve elde edilen veriler standart Proctor için Çizelge 4’de verilmiştir.

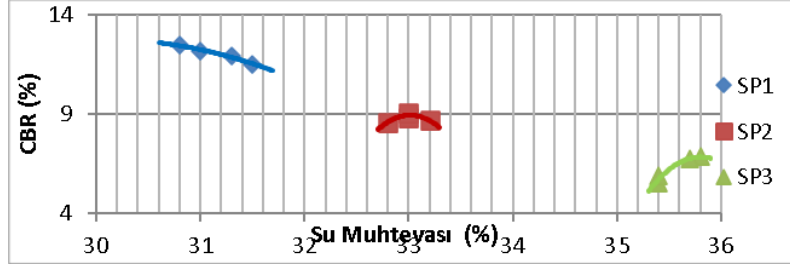
Çizelge 4. Standart Proctor sıkılığındaki numunelerin su içeriği ve CBR değerleri

Deney	İstenen Su İçeriği (%)	Elde Edilen Su İçeriği (%)	CBR (%)	CBR (Ort.) (%)
SP1-1	$W_{opt}$ %30,5	31	12,17	%12
SP1-2		31,5	11,5	
SP1-3		31,3	11,9	
SP1-4		30,8	12,45	
SP2-1	$W_{opt} + \%10$ %34	33	8,79	%9
SP2-2		33,2	8,66	
SP2-3		33	9,06	
SP2-4		32,8	8,59	
SP3-1	$W_{opt} + \%20$ %36	35,8	6,83	%6
SP3-2		35,8	6,76	
SP3-3		35,4	5,55	
SP3-4		35,4	5,88	

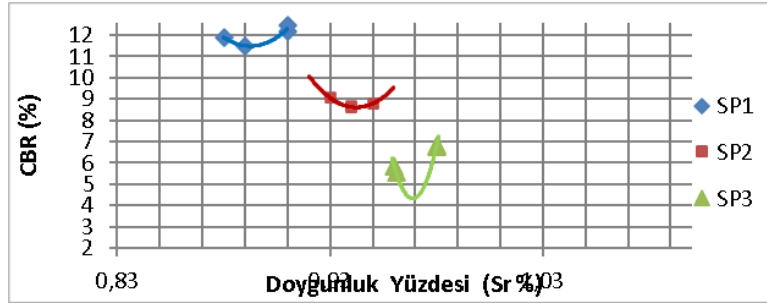


Standart Proctor sıklığındaki numunelerin su içeriğine bağlı olarak CBR değerlerinin değişiminin dağılımı Şekil 5’de gösterilmiştir. Dağılımda optimum su içeriğindeki numunelerin (SP1) CBR değerlerinin %13-%11, doyumluk yüzdesinin (Sr) %95 civarındaki numunelerin (SP2) CBR değerleri %9-%8 ve

doyumluk yüzdesinin (Sr) %98 civarında olan numunelerin (SP3) CBR değerlerinin %7-%5 arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 6’da standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doyumluk yüzdesi (Sr) değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 5. Standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve su içeriği değişiminin grafiksel dağılımı



Şekil 6. Standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zeminlerin CBR ve doyumluk yüzdesi (Sr) değişiminin grafiksel dağılımı

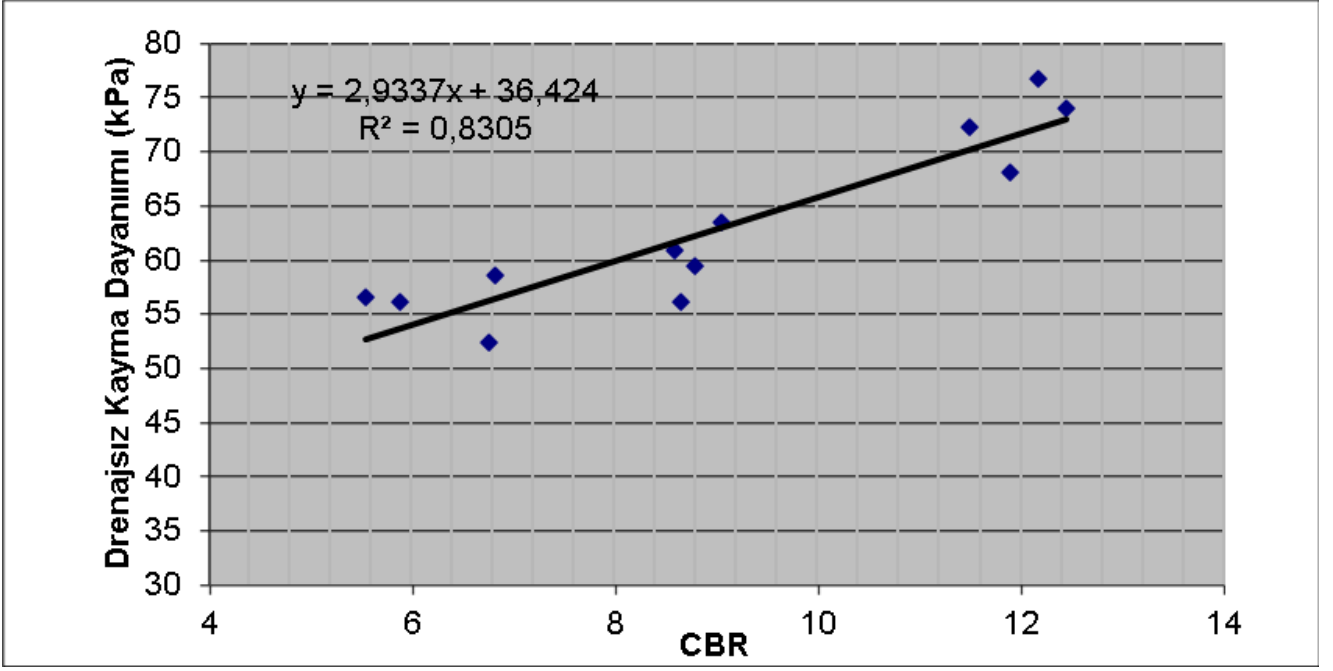
### 3.4. Üç Eksenli (UU) Basınç Deneyi ve Elde Edilen Bulgular

CBR deneyi yapılan numunelerden alınan üç eksenli basınç deneyi numuneleri ile farklı su içeriklerine ve CBR değerlerine sahip zeminlerin kayma dayanımı parametreleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Alınan deney numuneleri üç eksenli basınç deneyi cihazında konsolidasyonsuz drenajsız (UU) deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçlar Çizelge 5’de verilmiştir.

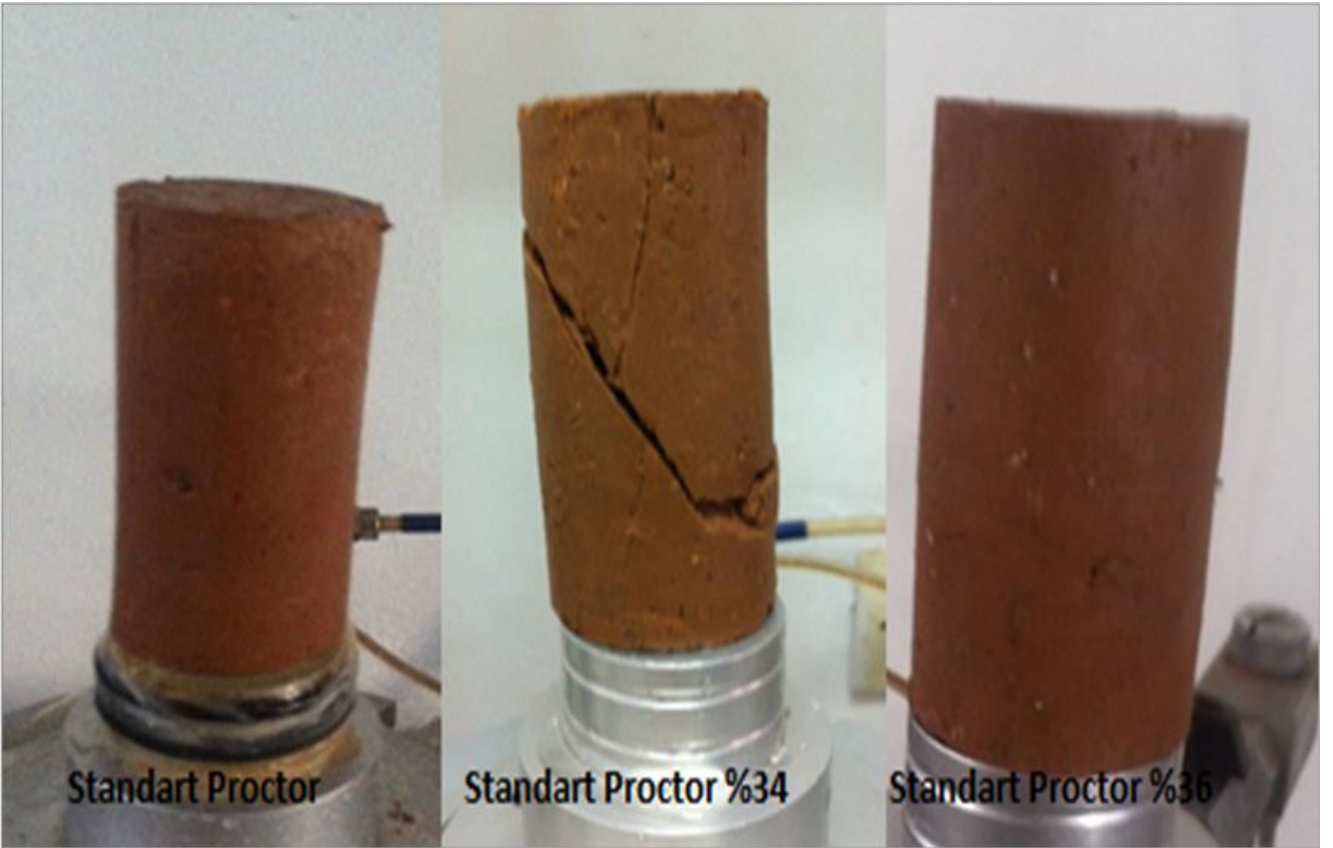
Standart Proctor sıklığındaki zemin numunelerinin CBR değeri ve Drenajsız kayma dayanımını gösteren korelasyon grafiği Şekil 7’de verilmiştir. Standart Proctor sıklığında ve özellikle yüksek su içeriklerindeki zeminlerde kayma düzlemi açık şekilde görülmemekte, buna karşın daha çok varilleşme görülmektedir (Şekil 8).

Çizelge 5. Standart Proctor numunelerine ait CBR ve üç eksenli basınç deney sonuçları

Deney	İstenen Su İçeriği (%)	Elde Edilen Su İçeriği (%)	CBR (%)	CBR (Ort.) (%)	Drenajsız Kayma Dayanımı Cu (kPa)	Drenajsız Kayma Dayanımı Cu (kPa) (Ortalama)	İçsel Sürtünme Açısı $\phi$	İçsel Sürtünme Açısı $\phi$ (Ortalama)
SP1-1	W <sub>opt</sub> %30,5	31	12,17	%12	76,73	72,86	25,80	26,86
SP1-2		31,5	11,5		72,25		28,00	
SP1-3		31,3	11,9		68		24,33	
SP1-4		30,8	12,45		74		29,30	
SP2-1	W <sub>opt</sub> +%10 %34	33	8,79	%9	59,36	59,68	19,95	17,31
SP2-2		33,2	8,66		56,04		16,02	
SP2-3		33	9,06		63,43		15,87	
SP2-4		32,8	8,59		60,92		17,38	
SP3-1	W <sub>opt</sub> +%20 %36	35,8	6,83	%6	58,62	56,08	12,09	11,95
SP3-2		35,8	6,76		52,39		12,82	
SP3-3		35,4	5,55		56,51		11,23	
SP3-4		35,4	5,88		56,8		11,65	



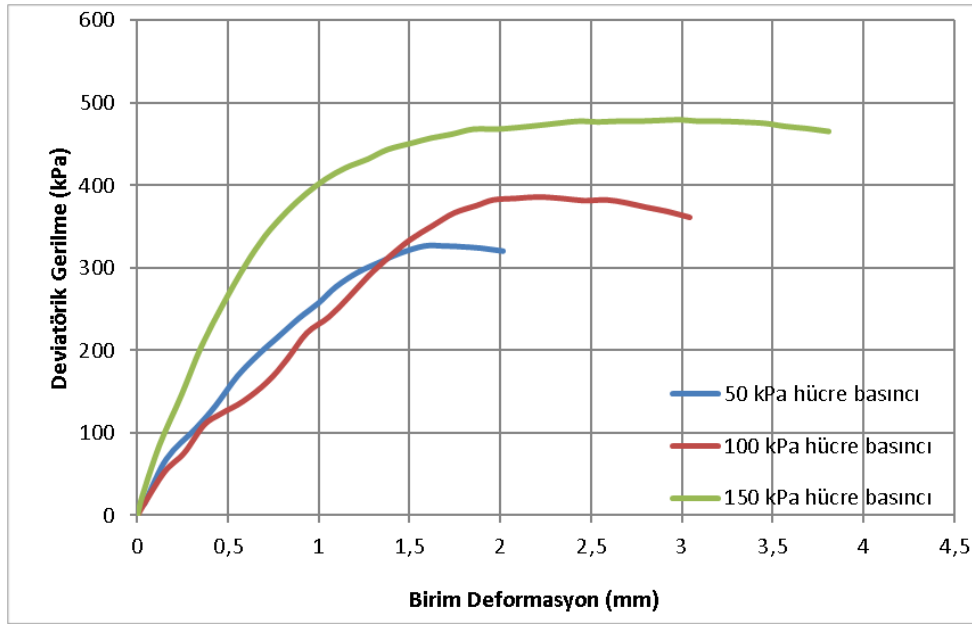
Şekil 7. Kohezyon değeri ile standart Proctor sıklığındaki numunelerin CBR değerlerinin korelasyon grafiği



Şekil 8. Standart Proctor sıklığındaki üç eksenli deney numuneleri

Üç eksenli basınç deneyi yapılan numunelerin her birinin gerilme deformasyon grafiği makale içerisinde verilmemiştir. Örnek olması açısından SP1-3 numaralı numunenin gerilme-

deformasyon grafiği Şekil 9'da verilmiştir. Yapılan deneylerde numunelerin CBR değerlerindeki artış ile, kohezyonlarında ve içsel sürtünme açılarında ( $\phi$ ) anlamlı artışlar meydana gelmiştir.



Şekil 9. SPI-3 numaralı numunenin gerilme-deformasyon grafiği

#### 4. Tartışma

Bu çalışmada, yüksek plastisiteli zemin numunesinin, CBR değerleri ile sözü edilen zemininin kayma dayanımı parametreleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Ankara ili Çukurambar Semtinde yapılmakta olan bir inşaat kazısında alınan zemin numunesi üzerinde öncelikle tanımlama deneyleri yapılmış (elek analizi, hidrometre ve Atterberg limitleri) ve zeminin (USCS)'ye göre CH olarak sınıflandırılabilceği likit limitinin  $LL=80$ ,  $PL=36$ , özgül ağırlığının ise 2,65 olduğu bulunmuştur. Ankara kenti toprak zeminlerinde Kasapoğlunun yaptığı deneylerde zeminlerin özgül ağırlığının akarsu ve göl çökelleri için 2,47-2,76 arasında, alüvyonların 2,50-2,76 arasında, likit limit değerlerinin 20,50-97,50 arasında, plastik limit değerlerinin ise 5,00-58,00 arasında değiştiğini saptamıştır. Bu sonuçlarla elde edilen veriler karşılaştırıldığında sonuçların anlamlı olduğu görülmektedir. Numunelerin optimum su içeriklerini ve bu içeriklere karşılık gelen doygunluk yüzdelerini bulmak için zemin numunelerine standart Proctor deneyi yapılmış, farklı enerji oranlarına karşılık gelen optimum su içerikleri ve bu içeriklere karşılık gelen kuru birim hacim ağırlıklar bulunmuştur. Zeminin standart Proctor sıklığında optimum su içeriğinin %30,5 civarlarında olduğu tespit edilmiştir.

CBR deneyleri öncelikle ıslak ve kuru CBR olmak üzere iki aşamada yapılması planlanmış fakat daha sonra zeminin standartlarda belirtildiği sürede suya doygun hale gelmediği

görülmüştür. Bu yüzden numuneleri doygun hale getirmek için optimum su içeriklerinin üzerindeki su içeriklerine çıkartılarak sıkıştırma deneyleri yapılmış ve doygunluk sınırına yakın değerlere göre deneyler yapılmıştır.

CBR deneyleri standart Proctor sıklığında yaklaşık %30,5, %34, %36 su içeriğinde, ve her biri 4 set olmak şartı ile toplam 12 numune üzerinde yapılmıştır. Standart Proctor sıklığında, %30,5 su içeriğinde (CBR % 12,2-11,5-12-12,4) ortalama %12, %34 su içeriğinde (CBR % 8,8-8,7-9,1-8,6) ortalama %8,8 ve %36 su içeriğinde ise (CBR % 6,8-6,8-5,6-5,9) ortalama %6 CBR değeri elde edilmiştir.

Üç eksenli basınç deneyi için CBR kalıplarında deneye tabi tutulan zemin numunelerinden her biri en az 3 tane olmak üzere hidrolik numune alıcı ile deney numuneleri alınmış ve 36 numune üzerinde deneyler yapılmıştır. Üç eksenli basınç deneyinde standart Proctor sıklığında sıkıştırılmış zemin numunelerinin CBR değer ortalaması %12 civarında olan numunelerin drenajsız kayma dayanımı, 76,78-68 kPa arasında ortalama 72 kPa, CBR değer ortalaması %8,8 civarında olan numunelerin drenajsız kayma dayanımı 62,43-56,04 kPa arasında ortalama 60 kPa ve CBR değer ortalaması %6,2 olan numuneler 58,62-52,39 kPa arasında ortalama 55 kPa drenajsız kayma dayanımı değeri vermiştir. Deney sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Deney Sonuçları

Deney Adı	Su İçeriği	Sr (%)	CBR% (Ort.)	Cu (Ort. kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (Ort.) $\phi$	Bulunan Katsayı
SP1	%30,5	90	12	72,86	26,86	0,167
SP2	%34	94	9	59,68	17,31	0,162
SP3	%36	97	6	56,08	11,95	0,111

Deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 7' de Look'un Handbook of Geotechnical Investigation and Desing Tables

kitabında verdiği, daha önce yapılan deneylerden elde edilen verilere göre değerlendirildiğinde, Look'da drenajsız kayma



dayanımlarının CBR sonuçları artışı ile arttığı görülmektedir. Look killeri sertlik değerine göre ayırmış bu değerlerden elde edilen CBR sonuçlarından da elde edilecek ortalama drenajsız kayma dayanımı hakkında yaklaşık tahminlerde bulunmuştur. Bu değerlendirmeye göre CBR değerinin 4-10 arasında olması durumunda drenajsız kayma dayanımının 50-100 kPa, 10-20 arasında olması durumunda 100-200 kPa ve CBR > 20 olması durumunda da drenajsız kayma dayanımı > 200 kPa gibi

değerlerde olabileceğini öngörülmüştür. Yaptığımız çalışmalardan elde ettiğimiz CBR değerleri ile Look (15) karşılaştırıldığında, standart Proctor sıkılığında ortalama CBR değeri %6-%12 arasında değişen zeminler katı sınıfına girmekte ve drenajsız kayma dayanımları 55-72 kPa arasında değiştiği görülmekte olup elde edilen sonuçların çok farklı olmadığı görülmüştür.

Çizelge 7. Look'a göre CBR değerleri ile drenajsız kayma dayanımı arasındaki yaklaşık korelasyon ve laboratuvar sonuçları arasındaki ilişki[15]

Zeminin Kıvamı		Yumuşak	Sıkı	Katı	Çok katı	Sert	Çok sert
Yaklaşık CBR (%)	Örselenmemiş	-	1-2	2-4	4-10	>10	
	Örselenmiş	1-2	2-4	4-10	10-20	>20	
Look'a göre Drenajsız Kayma Dayanımı (kPa)		12-25	25-50	50-100	100-200	>200	
CBR Değerleri (ort)		6,2	8,8	12	38	59	68
Drenajsız Kayma Dayanımı (kPa)		55	60	72	239	317	368

## 5. Sonuçlar

Yapılan CBR ve üç eksenli basınç deneyleri ile bulunan drenajsız kayma dayanımı değerleri ortalamasına bakıldığı zaman, deney yapılan kil numunesi ile arasında genel olarak standart proctor sıkılığındaki zeminlerde; Aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi (Eş.1) karektersitik bir davranış göstererek bu aralıklarda değiştiği görülmüştür.

$$CBR = Cu \times 0,111 \sim 0,167 \quad \text{Eş. (1)}$$

Bulunan bu katsayılar, her zeminin kendine özgü bir değerinin olduğunu ve su içeriği değişikliği ile bu değerlerin değişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Katsayı seçiminde doygunluk yüzdesinin artışına bağlı olarak katsayılarında büyüdüğü göz önüne alınmalıdır. Optimum su içeriğinde katsayı 0,111 civarında olurken, optimum su içeriğinin üzerindeki su içeriklerinde katsayının 0,167'ye kadar değişim göstermektedir.

## Kaynaklar

- [1].Tunç, A. (2004). Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları. Asil Yayın Dağıtım, Ankara
- [2]. Uzun, Bayram Ali (2005). Temel Zemin Mekanikliği. Trabzon.
- [3].Türedi, Y., Örnek, M., Bal, B.H., Işık, A. O. (2017). Çelikhane Cürufu Katkısının CBR Sonuçlarına Etkisinin Araştırılması. 7. Geoteknik Sempozyumu 22-23-24 Kasım 2017, İstanbul.
- [4].Vural, İ. (2016). İnşaat Yıkıntı Atıkları ile Zeminlerin Taşıma Gücü Özelliklerinin İyileştirilmesi. 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5 November 2016 (ISITES2016 Alanya/Antalya - Turkey).
- [5].Erginer, M., Kahraman, O., Ersin, A.B., Türedi, Y., Örnek, M. (2019). Lastik Atık Katkılı Zeminlerde CBR Değerinin Araştırılması. OKÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, 41.44.
- [6].Kök, B.V., Yılmaz, M., Geçkil, A. (2012). Çimento Stabilizasyonlu zeminin Esnek Üst Yapı Maliyetine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 18, Sayı 3, S.165-172.
- [7]. Yaşar, M. (2019). Uçucu Kül Katkısının Kilin Geoteknik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Bartın Üniversitesi, Bartın.
- [8].Geçkil, T., Sarıcı, T., Karbaş, B.(2021). Siyah Karbon ile Stabilize Edilen Taban Zeminin Yol Esnek Üst Yapı Maliyetine Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 23, S. 222-235.
- [9]. ASTM D 1883.(2016). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. Washington, D.C.
- [10].Çelik M.H., Orhan, M., Ogun, Y. (2005). Balgat ve Etimesgut Bölgesi Kilinin Zemin İndekslerinin ve Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Politeknik Dergisi, Cilt:8, Sayı:1, S.87-94.
- [11]. Öztürk, Y., S., Ünsal, N., Akbaş, S.O. (2015). Gölbaşı (Ankara) Yerleşim Alanını Killerin Şişme Ve Kireç İle İyileştirilme Potansiyellerinin Belirlenmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 30, No 2, 309-318.
- [12]. Akyürek, B., (1997). 1/1000000 ölçekli ve açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Ankara: MTA Yayını Ankara-F15 paftası.

- [13]. Yılmaz, U., (2006). *Ankara Kilinin (Çankaya-Ankara) Sıkışma-Kabarma Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi F.B.E, Isparta, 27.
- [14].ASTM D 698 (2012). Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. Washington, D.C.
- [15]. ASTM D2850 (2015). Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. Washington, D.C.
- [16].Look, B. (2007). Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Netherlands: Taylor&Francis, 157.