



**KİLLİ ZEMİNLER ÜZERİNDE ATIK LASTİK  
VE GAZBETONUN ETKİLERİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Harun DEVLET**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ORDU**

**2020**

**T.C.**  
**TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KİLLİ ZEMİNLER ÜZERİNDE ATIK LASTİK VE GAZBETONUN  
ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Harun DEVLET**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ORDU**

**TEKİRDAĞ-2020**

**Her hakkı saklıdır.**



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Harun DEVLET

İMZA

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KİLLİ ZEMİNLER ÜZERİNDE ATIK LASTİK VE GAZBETONUN ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Harun DEVLET**

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ORDU

Nüfusumuzun ve tüketim artması nedeni ile doğal kaynaklarımız her geçen gün azalmaktadır. Bu durum son yıllarda geri dönüşümü ehemmiyet verilen konulardan birisi haline getirmiştir. Dünyada atık olarak değerlendirilen maddelerin büyük bir kısmı geri kazanılabilen malzemelerdir. İnşaat endüstrisinde kullanılan geri dönüşüm malzemesi miktarı çok azdır. Bu malzemelerin yeniden kullanılarak geri dönüşüme kazandırılması hem ekonomiye faydalıdır hem de çevreye olan zararlı etkileri en aza indirmektedir. Zeminlerin katkı maddeleri ile iyileştirilmesi bazı durumlarda diğer zemin iyileştirme yöntemlerine göre daha ekonomiktir. Son zamanlarda endüstriyel atık maddelerin bu amaç için kullanımı ön plana çıkmıştır. Bu tez çalışmasında, kil zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesinde atık lastikler ve gaz beton atıklarının katkı malzemesi olarak kullanıldığında nasıl sonuçlar verdiği araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında yöntem olarak, killi zemine değişik oranlarda toz lastik atık ve öğütülmüş gaz beton katılarak, serbest basınç deneyleri ve CBR deneyleri uygulanmıştır. Bu tez çalışmasının sonucunda, toz atık lastik katkısının ve öğütülmüş gazbeton katkısının killi zeminlerde kullanılması ile killi zeminlerin mukavemet özelliklerinde artış sağladığı belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Atık lastikler, Gaz beton, Serbest basınç deneyi, CBR deneyi

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

### **EVALUATION OF THE EFFECTS OF WASTE TIRES AND AERATED CONCRETE ON CLAY SOILS**

**Harun DEVLET**

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ertuğrul ORDU

Our natural resources are decreasing day by day due to the increase in our population and consumption. This situation has made recycling one of the important issues in recent years. Most of the substances considered as waste in the world are recyclable materials. The amount of recycling in the construction industry is very low. Recycling these materials using them is both beneficial for the economy and minimizes the harmful effects on the environment. The modification of soils with additives is in some cases more economical than other soil modification methods. Recently, the use of industrial waste materials for this purpose has come to the fore. In this thesis, it was investigated how waste tires and aerated concrete wastes are used as additives in improving the engineering properties of clay soils. As a method, in this thesis study, Unconfined compression tests and CBR tests were applied by adding powder tire waste and ground aerated concrete in different proportions to clay soils. As a result of this thesis study, it has been determined that the use of powder waste tire additive and ground aerated concrete additive on clay soils provides an increase in the strength properties of clay soils.

**Key words:** Waste tires, Aerated concrete, Unconfined compression test, CBR test

**2020, 53 pages**

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÇİZELGE DİZİNİ.....</b>	<b>v</b>
<b>ŞEKİL DİZİNİ.....</b>	<b>vi</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ.....</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEMLER.....</b>	<b>7</b>
3.1. Kullanılan Malzemeler .....	7
3.1.1. Killi Zemin Numunesi .....	7
3.1.2. Toz Atık Lastik .....	9
3.1.3. Öğütülmüş Gazbeton .....	11
3.2. Yöntemler .....	12
3.2.1. Su Muhtevasının Tayini.....	12
3.2.2. Kompaksiyon Deneyi (Standart Proktor) .....	13
3.2.3. Serbest Basınç Deneyi .....	14
3.2.4. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi.....	19
3.2.5. Numune Karışımlarının Özgül Yoğunluklarının Teorik Olarak Hesaplanması ....	24
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>26</b>
4.1. Killi Zeminin Kıvam Limitleri ve Sınıflandırılması.....	26
4.1.1. Killi Zeminin Özgül Yoğunluk Testinin Sonuçları .....	26
4.1.2. Killi Zeminin Elek Analizi ve Hidrometre Deneyi Sonuçları .....	27
4.1.3. Likit Limit Testinin Sonuçları .....	30
4.1.4. Plastik Limit Testinin Sonuçları .....	31
4.1.5. Sınıflandırma Sonucu .....	32
4.2. Numune Karışımlarının Özgül Yoğunluk Hesap Sonuçları .....	32
4.3. Katkısız Numunelerde Kompaksiyon Deneyi Sonuçları .....	33
4.4. Kompaksiyon Deneylerinin Sonuçları.....	34
4.5. Serbest Basınç Deneylerinin Sonuçları .....	35
4.6. CBR Deneyi Sonuçları .....	37

4.7. Katkısız Numunelerin Serbest Basınç ve CBR Sonuçları .....	37
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....</b>	<b>39</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>41</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>42</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>44</b>



## ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3.1. Killi zemin numunesinin içeriği.....	8
Çizelge 3.2. Toz atık lastiğın içeriği.....	10
Çizelge 3.3. Serbest basınç deneyi hesap çizelgesi .....	18
Çizelge 3.4. CBR deneyi okuma değerleri .....	22
Çizelge 3.5. CBR deneyi hesaplama değerleri .....	23
Çizelge 4.1. Malzemelerin ağırlıkça karışım oranları ve gösterimi .....	26
Çizelge 4.2. Özgöl ağırlık hesap çizelgesi.....	27
Çizelge 4.3. Killi zemin numunesinin elek analizi hesap değerleri.....	28
Çizelge 4.4. Zemin numunesine ait hidrometre analizi sonuçları .....	29
Çizelge 4.5. Killi zemin numunesinin çakıl, kum, silt ve kil oranları.....	30
Çizelge 4.6. Likit limit deneyi hesap çizelgesi.....	30
Çizelge 4.7. Plastik limit deneyi hesap çizelgesi.....	31
Çizelge 4.8. Hesaplanan bağıl yoğunluk değerleri.....	33



## ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 3.1. Killi zemin numunesinin alındığı konum.....	8
Şekil 3.2. Killi zemin numunesi .....	9
Şekil 3.3. Toz atık lastik .....	10
Şekil 3.4. Öğütülmüş gazbeton.....	11
Şekil 3.5. Numune alıcılar .....	14
Şekil 3.6. Numune alıcı kriko .....	15
Şekil 3.7. Numune çıkarıcı kriko.....	15
Şekil 3.8. Tek eksenli serbest basınç makinesi.....	16
Şekil 3.9. Toplam deformasyon - Serbest basınç gerilmesi grafiği.....	19
Şekil 3.10. Serbest basınç deneyi sonrası göçmüş numunenin görünümü .....	19
Şekil 3.11. CBR pres makinesi.....	20
Şekil 3.12. CBR deneyi sonrası numune örnekleri.....	21
Şekil 3.13. CBR düzeltme grafiği.....	23
Şekil 3.14. Standart penetrasyon-yük eğrisi ve numunenin CBR eğrisi .....	24
Şekil 4.1. Killi zemin numunesinin granülometri eğrisi.....	30
Şekil 4.2. Düşüş sayısı - Su muhtevası grafiği .....	31
Şekil 4.3. Killi zemin numunesinin USCS plastisite kartı.....	32
Şekil 4.4. Katkısız numunenin standart kompaksiyon eğrisi .....	34
Şekil 4.5. Kuru birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.6. Serbest basınç dayanımı karşılaştırılması.....	35
Şekil 4.7. Gazbeton katkı için Gerilim-Birim boy değişimi grafiği .....	36
Şekil 4.8. Lastik katkı için Gerilim-Birim boy değişimi grafiği .....	36
Şekil 4.9. CBR deneyi sonuçlarının karşılaştırılması .....	37
Şekil 4.10. Su muhtevası - Serbest basınç dayanımı .....	37
Şekil 4.11. $\sigma_1$ - $\gamma_k$ karşılaştırması.....	38
Şekil 4.12. Katkısız numuneler için su muhtevası - CBR sonuçları grafiği.....	38

## SİMGELER VE KISALTMALAR

CBR	: California Bearing Ratio - Kaliforniya Taşıma Oranı
CH	: Yüksek plastisiteli kil
CL	: Düşük plastisiteli kil
cm	: Santimetre
dak	: Dakika
kPa	: Kilopaskal
mm	: Milimetre
m	: Metre
g	: Gram
$I_p$	: Plastisite İndisi
KBHA	: Kuru Birim Hacim Ağırlık
kg	: Kilogram
kJ	: Kilojoule
kN	: Kilonewton
ÖGA	: Öğütülmüş gazbeton atığı
sn	: Saniye
SP	: Kötü derecelenmiş kum
TAL	: Toz atık lastik
TS	: Türk Standardı
USCS	: Unified Soil Classification System-Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
w	: Su muhtevası
$W_L$	: Likit Limit
$W_P$	: Plastik Limit
XRD	: X-Ray diffraction method - X-Işını Kırınımı yöntemi
°C	: Derece Santigrat
$\gamma_k$	: Numunenin kuru birim hacim ağırlık
$\gamma_n$	: Numunenin yaş birim hacim ağırlık
$\gamma_s$	: Numunenin dane birim hacim ağırlığı

$\gamma_w$  : Suyun özgül yoğunluğu  
 $\varepsilon$  : Birim şekil değiştirme  
 $\sigma_1$  : Serbest Basınç Gerilmesi



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı öğretim üyesi Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ORDU danışmanlığında hazırlanarak, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulmuştur.

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında emeğini ve gayretinin hiç esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ORDU'ya teşekkürü borç bilirim. Yine desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Perihan BİÇER'e ve diğer hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca elim bir olay sonucu aramızdan ayrılan, mühendislik lisans ve yüksek lisans eğitimine beraber başladığım, tez çalışmalarının her aşamasında beraber olduğumuz İnşaat Mühendisi İsmail AYAR'a Allaha rahmet diliyorum.

Hayatımın her aşamasında hep yanımda olan sevgili eşim Elif DEVLET ve aileme destekleri için teşekkür ederim.

Nisan, 2020

Harun DEVLET  
İnşaat Mühendisi

## 1. GİRİŞ

Atık araç lastikleri ve inşaat atıkları çevre kirliliği açısından problem teşkil etmektedir. Özellikle atık araç lastiklerinin çevreye zararı çok önemli boyuttadır. Atık lastiklerin depolama alanlarında biriktirilmesi, yapısı itibari ile doğada uzun yıllar bozulmadan dayanabilmesi ciddi sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunların başında yangın tehlikesi gelmektedir. Atık lastikler tutuştuğunda çıkardıkları yoğun duman sebebi ile yangına müdahale çok güç olmaktadır. Ayrıca depolama alanlarında bütün haldeki atık araç lastikleri, sivri sinek gibi zararlı haşeratin larvalarının üremesi için uygun ortam oluşturmakta ve bu yolla salgın hastalıkların yayılmasına sebep olabilmektedirler. Bu problemlerin çözüm yollarından biride bu malzemeleri geri dönüştürmek veya farklı yöntemler ile değişik formatlar haline getirip farklı amaçlar için kullanarak bu atıkları sarf etmektir. Bazı durumlarda bu atıkları zemin iyileştirmede kullanmak hem çevre kirliliği açısından hem de inşaat mühendisliği açısından faydalı olabilmektedir.

Zemin iyileştirmesi, zeminin mühendislik özelliklerinin, arzulanan bir mühendislik uygulamasına uygun hale getirilmesi için fiziksel, kimyasal ya da biyolojik yöntemlerin kullanılarak iyileştirilmesidir.

Günümüzde barajların, köprülerin, çok katlı yapıların ve kıyı yapıları gibi büyük projelerin sayısının artması ile beraber problemler zeminlerin üzerine de inşaat yapılması zorunluluğunun ortaya çıkması zemin iyileştirmesini kaçınılmaz hale gelmiştir.

Yumuşak veya gevşek zeminlerin üzerindeki inşaatlarda stabilite (taşıma gücü) ve deformasyon sorunları ortaya çıkabilmektedir. Bu tür zeminlerde zemin iyileştirmesi uygulanmaz ise yüksek deformasyonlar bazen de kayma göçmeleri neticesinde yapılar zarar görebilmektedir.

Zemin cinsine göre değişik sorunlar gözükülebilmektedir. İri daneli zeminlerde sıvılaşma, düşük taşıma gücü problemleri, ince daneli zeminlerde (killi, siltli) zamana bağlı oturma, düşük taşıma gücü, heyelan gibi problemler görülebilir. Gevşek kum zeminlerde geçirgenliği ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak için, taşıma gücünü artırmak için, yumuşak kil zeminlerde ise genelde taşıma gücünü artırmak, konsolidasyon oturmalarını azaltmak ve sınırlandırmak için zemin iyileştirmesi yapılmaktadır.

Killi zeminlerin iyileştirmesinde kullanılan, Yerdeğiştirme, Kum kompaksiyon kazıkları ve Taş kolonlar mekanik yöntemlerdir. Ön Yükleme, Düşey Drenler (Kum Dren, Plastik Dren) ise yüklemeler ile kilin konsolidasyonuna dayanan yöntemlerdir. Vakum konsolidasyonu, Ozmotik basınç, Elektro ozmos ve Kireç kazıkları dış yük olmadan konsolidasyona dayanan yöntemlerdir. Derin karıştırma, Jetgrout kolonları, ısıl ve elektro kimyasal işlemler kil ile harç arasındaki kimyasal reaksiyona dayanan yöntemlerdir. Bu yöntemlerden yerdeğiştirme, düşey drenler, zemin enjeksiyonları ve zeminden imal edilen kazıklarında katkı olarak atık malzemelerin de kullanılması mümkündür.

Atık araç lastiklerinin geri dönüştürülerek tekrar lastik ham maddesi olarak kullanılması oldukça maliyetli ve meşakkatli bir işlemdir. Bu açıdan rekabetçi lastik sektöründe tercih edilen bir yöntem değildir. Ayrıca atık araç lastiklerinin yok edilmesi için yakılarak enerji kaynağı olarak kullanılması da ayrı bir sorundur. Çünkü lastik yakıldığında emisyonu çevre için son derece zararlıdır. Atık araç lastiklerinin parçalanarak veya toz haline getirilerek zeminde katkı olarak kullanılması, atık lastik probleminin çözümüne katkı sağlayabilir.

Killi zeminler düşük taşıma kapasitesi, şişme potansiyeli nedeni ile önemli mühendislik problemlerine yol açmaktadırlar. Böyle zeminlerin üzerine inşa edilecek yapılarında oluşabilecek hasarları önlemek amacı ile, killi zeminlerin, kimyasal maddeler, uçucu kül, geomembran, kum, kırmataş, kireç ve benzeri katkıları kullanılarak iyileştirilmesine yönelik çalışmalar uzun zamandır yapılmaktadır. Killi zeminlerin iyileştirilmesindeki amaç, bu tür zeminleri mühendislik özelliklerini iyileştirerek, deprem, toprak kayması gibi ağır yüklemelere dayanıklı hale getirmektir. Problemlili killi zeminlere farklı oranlarda kum veya çakıl karıştırılarak elde edilen karışımlarda artan kum veya çakıl oranı ile birlikte kuru birim hacim ağırlığının ve serbest basınç mukavemetinin arttığı bilinmektedir.

Bu çalışmada killi zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için "Lokman Geri Kazanım A.Ş." firmasından temin edilmiş toz haline getirilmiş atık araç lastikleri ve halk arasında "ytong" olarak bilinen gazbeton tuğlalarının atıklarının öğütülerek toz haline getirilmiş şekli, zemin katkısı olarak kullanılmıştır. Gazbeton tuğla parçaları, Los Angeles aşınma makinesi kullanılarak toz haline getirilmiştir. Bu malzemelerden, tez yazımında toz atık lastik ve öğütülmüş gazbeton olarak bahsedilecektir.

Bu tez araştırmasının amacı, mühendislik açısından problemlı, şişme potansiyeli olan killi bir zeminde katkı olarak toz atık lastiği değişik oranlarında kullanarak serbest basınç dayanımlarını ve CBR değerlerini tespit etmektir. Yine aynı şekilde öğütölmüş gazbetonu da katkı olarak kullanıp serbest basınç dayanımları ve CBR sonuçlarını tespit etmektir. Toz atık lastiğin katkı olarak kullanılmasında oluşabilecek muhtemel mukavemet kayıplarını, öğütölmüş gazbeton katkısını da toz atık lastik katkısı ile birlikte kullanarak gidermeye çalışmak ve sonuçlarını gözlemlemek yine bu araştırmanın amaçlarından biridir.

Laboratuar çalışmalarında katkılı ve katkısız zemin numunelerinin kompaksiyon, serbest basınç ve CBR sonuçları karşılaştırılacaktır. Bu kapsamda toplamda 23 adet serbest basınç dayanım deneyi, 20 adet CBR deneyi ve 40 adetten fazlada kompaksiyon deneyi yapılmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Son yıllarda atık lastiğin değişik zemin türlerinde katkı olarak kullanılmasını konu alan bir çok çalışmalar yapılmıştır.

Akbulut ve ark. (2007) yapmış oldukları çalışmada, kesme kutusu testlerinde, kohezyon ve iç sürtünme açısı değerlerinin atık lastik liflerinin ilavesiyle arttığını göstermiş ve ayrıca 10 mm uzunluğunda % 2 atık lastik lifi takviyeli killi zeminlerin serbest basınç değerlerinin 185 kPa olup, takviye edilmemiş killi zemin numuneler için 94 kPa olan değerinden 1,97 kat daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Akbulut ve ark. (2007) yine bu çalışmada, katkısız ve katkılı numunelerin sönümlenme oranı değerleri rezonans frekans testlerinden hesaplamış ve atık lastik lifi takviyeli numunelerin sönümlenme oranının, katkısız numunelere kıyasla arttığını gözlemlemiştir.

Yarbaşı (2018) yapmış olduğu çalışmada düşük plastisiteli kırmızı kil numuneleri, %0,5 %1 ve %2 atık lastik ve %5 mermer tozu kullanarak hazırladığı muhtelif karışımlarda serbest basınç deneyi uygulamış ve özellikle 28 günlük kür süresi ile önemli serbest basınç dayanımı artışları gözlemlemiştir. Ayrıca hazırlanmış olduğu numunelerde donma-çözünme etkisini de incelemiş ve iklim değişkenliğinin yüksek olduğu bölgelerde dikkatli bir şekilde bu karışımların zemin iyileştirmesinde kullanılabileceğini söylemiştir.

Yarbaşı (2016) yapmış olduğu çalışmada kil ve değişik boyutlarda (1,18 mm., 2 mm., 3,15 mm.) atık lastik karışımlarda serbest basınç dayanımlarının 28 günlük kür ile kontrol numunesinin mukavemetine göre kil+%0.5 atık Lastik (1.18 mm.) karışımın %35.3, Kil+%0.5 atık Lastik (2.00 mm.) karışımının %8.6 ve Kil+%2 atık Lastik (3.15 mm.) karışımında ise %14.2 mukavemet artışı olduğu belirlemiştir.

Karaman ve Ecemiş (2017), yaptıkları çalışmada, 2.5–5mm ve 5-10mm eşdeğer çaplı atık lastik kırıntıları hacimce %10-20-30 oranlarında ince kum ile karıştırarak hazırladığı numuneler ile sarsma tablası deneyleri yapmış ve atık lastik kırıntı kum karışımının sıvılaşma direnci temiz kumun sıvılaşma direncinden fazla olduğunu göstermiştir. Bu durumun lastik kırıntılarının suyu drene eden granüler yapıları ile sismik yüklemeler sırasında ve sonrasında aşırı boşluk suyu basıncını azaltan özellik göstermesinden kaynaklandığı kanısına varmıştır.



Umu, Okur, Yılmaz, Fırat (2014) çalışmalarında %100 ISO temiz kumu ve ağırlıkça %5, %10, %15 oranlarında atık lastik tozu karıştırılmış numunelere ait düşük-orta deformasyon düzeyindeki dinamik davranışları, burulmalı rezonant kolon deney aleti kullanılarak incelemiştir. Bu karışımların oranı %5-10 aralığında, maksimum kayma modülüne olumlu sonuçları olduğu gözlemlenmiş ve bu durumun atık lastik tozunun kum daneleri ile daha iyi adezyona girdiği ve kumun boşluklarını daha iyi doldurduğu kanaatinden kaynakladığını belirtmişlerdir. Karışımlarda atık lastik tozu miktarı arttıkça sonuçların elastik malzeme olan atık lastik tozu sonuçlarına daha yakınlığı, ana malzeme olan ISO temiz kumun sonuçlara etkisinin azaldığını, dayanımın oldukça düştüğünü gözlemlenmişlerdir.

Keskin ve Laman (2012) çalışmalarında hacimce %0, %5, %10, %15, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında, boyları yaklaşık 10-25 mm, genişlikleri ise yaklaşık 2-4 mm arasında değişen atık lastik parçacıklarıyla, USCS'ye göre kötü derecelenmiş ince ve temiz kumu (SP) karıştırmış ve lastik-kum karışımları üzerinde farklı normal gerilmeler altında kesme kutusu deneyleri yapmışlardır. Atık lastik oranının %10 ve %15 olması durumlarında kayma mukavemetinde %100 kuma göre artış, atık lastik oranının %20'den daha fazla olması durumunda ise %100 kuma göre düşüş gözlemlenmişlerdir.

Çabalar, Akbulut, Aydın (2013) yapmış oldukları çalışmada, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre, kötü derecelenmiş kum (SP) olarak tanımlanan kırmataş ve 1,18-2 mm arasındaki kötü derecelenmiş katı lastik kırıntıları da kullanılmıştır. Oranları %0, %5, %10 ve %15 olan atık lastik kırıntıları kırmataşa eklenmesiyle elde edilen karışım numuneler kesme kutusunda ve CBR test aletinde test edilmiştir. Kesme kutusunda yapılan deneylerde kırmataş-atık lastik kırıntısı numunelerine ait içsel sürtünme açısı değeri, atık lastik miktarı arttıkça azalmakta, kohezyon değerlerinin ise artmakta olduğunu gözlemlenmişlerdir. CBR testinde ise kırmataşa ilave edilen atık lastik kırıntıları CBR değerlerinin azalmasına neden olduğunu gözlemlenmişlerdir.

Alpyürür, Şenol (2018) araştırmalarında, kuru ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında öğütülmüş atık gazbetonu, yüksek plastisiteli kil olarak bentonit (CH), düşük plastisiteli kil (CL) ve kum (SP) zeminler ile karıştırarak elde ettikleri numuneler üzerinde serbest basınç, CBR deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Öğütülmüş gazbeton atığı katkısı ile kil zeminlerin serbest basınç mukavemetinde ve CBR değerlerinde artış gözlemlenmişlerdir. Ayrıca kesme kutusu deneyleri ile kum zemin ve öğütülmüş gazbeton karışımlarının, öğütülmüş gazbeton oranının yaklaşık %13'e kadar arttıkça karışımların kayma mukavemeti

açısının arttığı, bu orandan sonra ise azalmaya başladığı belirlenmiştir. Çalışmalarında kil ve kum zeminler için optimum öğütülmüş gazbeton katkı oranını, kuru ağırlıkça %10-15 olarak belirlenmiştir.



### **3. MATERYAL ve YÖNTEMLER**

Bu çalışmada kullanılan zemin numuneleri Ergene Yulaflı mevkiinden alınmıştır. Numunelerin temin edildiği kum ocağında zemin tabakalı yapıda olup, numunelerin alındığı kil tabakası 3 m derinlikte, 1 m kalınlığındadır ve iki kum tabakası arasında sıkışmış durumdadır. Deneylerde kullanılmak üzere en az 1 ton numune alınmış ve kurutulmuştur. Kurutulan numuneler ufalanarak toz haline getirilmiştir.

#### **3.1. Kullanılan Malzemeler**

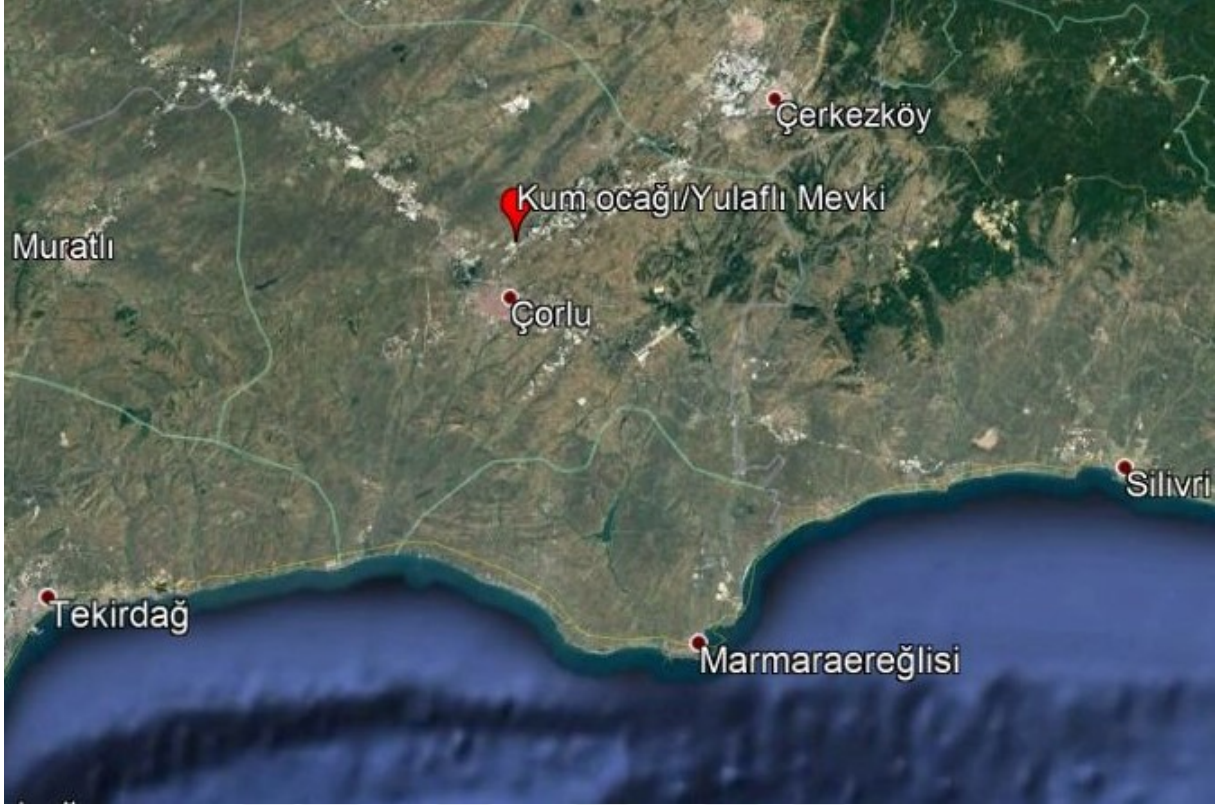
Bu çalışma kapsamında ana malzeme olarak killi zemin numunesi ve katkı olarak toz haline getirilmiş atık araç lastiği ve öğütülmüş gaz beton kullanılmıştır.

Kullanılan bu malzemelerin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

##### **3.1.1. Killi Zemin Numunesi**

Killi zemin numuneleri Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinin 4 km kuzeyinde yer alan kum ocağından temin edilmiştir. Numunelerin alındığı yerin uydu görüntüsü Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Kum ocağının bulunduğu yerin jeolojik formasyonu miyosen zamanında oluşmuş karasal kıvrıntılılar olarak özetlenebilir.

Killi zemin numunesi, numunenin alındığı kil tabakası yaklaşık 3 m derinlikte olduğu için kum ocağı işletmesinden temin edilen dozer yardımı çıkartılmıştır. Çıkartılan numuneler, her biri yaklaşık 30 kilogramlık olan çuvallara doldurularak Çorlu Mühendislik Fakültesi Geoteknik Anabilim dalı laboratuvarına taşınmıştır. Molozlar halinde gelen zemin numuneleri ilk olarak tokmak yardımı ile daha küçük parçalara ayrılmış sonra etüvde kurutularak Los Angeles deney aletinde 300 tur ile 500 tur arasında döndürülerek, toz haline gelene kadar ufalanmıştır. Bu aşamadan sonra 7-8 kilogramlık hava almayan etiketli kaplara konan killi zemin numunelerinin her birinden su muhtevalarını ölçmek için numuneler alınmış ve yalıtımlı bir şekilde kapatılmıştır. Her bir kap için hesaplanan su içerikleri yalıtımlı kapların üzerindeki etiketlere not edilmiştir. Bu yöntem ile numunelerin ortamdaki nemden etkilenmesinin önüne geçilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneylerde su muhtevası ayarlanırken, kontrol altında tutulan numunelerin etiketinde yazan su içeriği de hesaba katılarak, deneyde hedeflenen su oranına göre ilave su katılmıştır.



Şekil 3.1. Killi zemin numunesinin alındığı konum

Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi Merkez Laboratuvarında yapılan XRD Kantitatif analizinde toz numunenin mineralojik yapısının Çizelge 3.1'deki gibi olduğu görülmüştür. XRD analizine ait ham grafik ve işlenmiş grafik EK 1 ve EK 2 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Killi zemin numunesinin içeriği

Madde	Oran %
Kuvars (Quartz low)	19,5
Kalsit (Calcite)	12,2
Vermikülit (Vermiculite 2M)	15,2
Soda feldispat (Anorthite, sodian)	23,0
Lületaşı (Sepiolite)	0,7
Biyotit (Biotite 6A)	13,7
Montmorillonite (Ca-exchanged)	15,7

Şekil 3.2'de bu çalışma kapsamında yapılan bütün deneylerde kullanılan killi zemin numunesinin çelik bir tepsi içerisindeki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.2. Killi zemin numunesi

### 3.1.2. Toz Atık Lastik

Genel olarak atık araç lastiklerinin değerlendirilmesi ve yönetimi dört şekilde yapılmaktadır. Bunlar;

- Yeniden kullanmak
- Malzeme olarak geri kazanmak
- Enerji olarak geri kazanmak
- Depolamak

Atık araç lastiklerinin malzeme olarak geri kazanmanın da genel olarak dört farklı yöntemi mevcuttur. Bunlar parçalama, granüle etme, rejenera kauçuk üretimi için kullanma ve piroliz etme yöntemleridir. Piroliz, lastiklerin havasız ortamda ısıtılarak organik kimyasal bağlarının kırılması sonucu düşük moleküler ürünlere bozunması işlemidir. Atık lastiklerden, piroliz işlemi sonucunda gaz, karbon siyahı, yağ ve çelik oluşur.

Ömrünü tamamlamış araç lastiklerini granüle etmek için önce janta değen damak kısmındaki çelik halatlar çekme makinelerinde çekilerek çıkartılır. Telleri çekilmiş lastikler iri parçalara ayrılır. Bu işlem için çift milli çelik bıçaklı parçalayıcı shredder makineleri kullanılır. İri parçalara ayrılan lastikler kırma değirmenlerinde daha küçük granül parçalara ayrılır. Bu aşamadan sonra manyetik ayırıcılar ile lastiğin metal kısmı tamamen ayrılır. Çeşitli boylarda eleme işlemi yapılarak kırım işlemi tamamlanır.

Bu çalışmada, atık lastik katkı malzemesi olarak Lokflex A / 0.0 - 0.6 mm / 0 - 30 mesh tercih edilmiş ve kullanılmıştır. Toz lastiğin yoğunluğu, elyaf, çelik tel ve diğer maddeleri içermemesi durumunda yaklaşık olarak 1050 kg/m<sup>3</sup> ile 1150 kg/m<sup>3</sup> arasındadır. Kullanılan lastik atığın bileşenleri Çizelge 3.2 de verilmiştir (Akbulut vd., 2007).

Çizelge 3.2. Toz atık lastiğin içeriği

Madde	Oran %
Stiren ve Bütadienin kopolimeri	62
Karbon siyahı	31
Şekillendirme yağı	1,9
Çinko oksit	1,9
Stearik asit	1,2
Kükürt	1,1
Kimyasal hızlandırıcı	0,7

Toz atık lastiğe ait fotoğraf ve mikroskop görüntüsü Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Toz atık lastik

### 3.1.3. Öğütülmüş Gazbeton

Gazbeton, ilave ısı yalıtımına gerek bırakmaması sebebi ile birçok binada yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Gazbeton, genel olarak kum veya kuvarsit ile su, kireç ve çimentonun özellikle alüminyumlu katkıları ve özel teknikler ile karıştırılması ile elde edilir. Ticari olarak değişik ebatlarda tuğlalar veya değişik boylarda lentolar gibi yapı malzemesi olarak satışı yaygındır.

Gaz betonun üretim aşamaları kabaca şu şekildedir. Kum, su, çimento ve gözenek oluşturuucu alüminyumlu katkıları belirli oranlarda otomatik mikserlerde karıştırılır. Büyük kalıplara dökülür ve kabarması sağlanır. Otomatik kontrolleri yapılarak kesici vinçler ile belirli ebatlarda kesilir ve otoklavda yüksek basınçlı buhar altında sertleştirilerek imal edilir.

Bu çalışma için Los Angeles aşınma makinesiyle öğüttüğümüz atık gazbeton kullanılmıştır. Kullanılan gazbetonun dane çapı 0,15 mm ile 0,01 mm arasındadır. Gazbetonun boşluksuz özgül kütlesi  $2600 \text{ kg/m}^3$  tür. Gazbeton tuğla halinde iken kuru birim hacim ağırlığı ise  $400 \text{ kg/m}^3$  ile  $600 \text{ kg/m}^3$  arasında değişmektedir.

Deneilerde kullanılan öğütülmüş gazbetonun görüntüsü Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Öğütülmüş gazbeton

## 3.2. Yöntemler

Deneyleerde kullanılan killi zemine ait kıvam limitleri ve özgül yoğunluğu belirlenirken TS 1900-1' de anlatılan yöntemler kullanılmıştır.

### 3.2.1. Su Muhtevasının Tayini

Tez çalışması kapsamında yapılan su muhtevası tayini deneyleri, zemin içindeki su miktarının bulunması ve bunun zemin numunesinin kuru kütlelerinin yüzdesi olarak belirlenmesi amacı ile kompaksiyon deneyleri, serbest basınç deneyleri ve CBR deneylerinin farklı aşamalarında uygulanmıştır. Bu sayede numunelerin hedeflenen su muhtevasında olması kontrol altına alınmıştır.

Su muhtevasının tayini deneyleri etüvde kurutma metodu kullanılarak yapılmıştır. Etüv, sürekli olarak  $(105 \pm 3)$  °C sıcaklıkta havalandırma delikleri açık vaziyette kullanılmıştır.

Kurutulmuş, numaralandırılmış temiz cam kap 0,001 g hassasiyetli terazide tartıldı ve ağırlıkları not edildi. Zemin numunesi ufalanıp, gevşek olarak kabın içine doldurulup, içindeki numuneler ile birlikte tartıldı ve not edildi. Kap içindeki numune ile birlikte etüve konarak  $(105 \pm 3)$  °C sıcaklıkta bir gün süreyle kurutulup tartıldı ve not edildi.

Zemin numunesinin su muhtevası, numunenin içindeki su kütlelerinin kuru zemin kütlelerine oranı olarak (3.1) eşitliğinden yararlanarak hesapladı.

$$w = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \times 100 \quad (3.1)$$

Bu formülde;

- w Su muhtevası (%)
- $M_1$  Boş kabın kütlesi (g)
- $M_2$  Kap ile birlikte yaş numunenin kütlesi (g)
- $M_3$  Kap ile birlikte kuru numunenin kütlesi (g)'dir.



### 3.2.2. Kompaksiyon Deneyi (Standart Proktor)

Kalıp, alt plakası ile birlikte tartıldı ve ağırlığı not edildi. Kalıp, sert bir yüzey üzerine konularak, öncesinde gerekli su içeriği ve katkıları ile hazırlanmış nemli zemin, mümkün olduğu kadar eşit miktarda üç tabaka halinde, her birine 30,5 cm serbest düşüş yapan tokmakla 25 darbe uygulanarak, üst ucuna yakası takılmış kalıbın içine sıkıştırıldı. Tokmak vuruşları, her tabaka yüzeyine eşit aralıklı olacak şekilde dağıtıldı. Tokmak kılavuzunun temiz olmasına ve tıkanmamasına özen gösterildi. Yaka çıkartılıp sıkıştırılmış zemin, kenarı keskin ve düzgün çelik bir L profil yardımı ile kalıbın üst kenarı düzeyinde dikkatle düzeltilip tesviye edildi. Kalıp ve zemin tartıldı ve ağırlıkları not edildi. Sıkıştırılmış zemin, kalıptan çıkarılıp su muhtevası bir önceki bölümde anlatıldığı gibi ölçüldü ve not edildi.

Her bir numune için sıkıştırılmış zemin numunesinin yaş birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ) (3.2) eşitliğinden yararlanılarak hesaplandı ve değerler kaydedildi.

$$\gamma_n = \frac{M_2 - M_1}{V} \times 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (3.2)$$

Burada;

- $M_1$  Kalıp ile beraber tabanın kütlesi, (g)
- $M_2$  Kalıp, taban ve sıkıştırılmış zemin numunesinin kütlesi, (g)
- $V$  Kalıbın iç hacmi ( $\text{cm}^3$ )'dir.

Su muhtevası tayini tamamlanan numunelerde, aşağıdaki (3.3) eşitliği kullanılarak, zemin numunesinin kuru birim hacim ağırlığı ( $\gamma_k$ ) hesaplandı ve değerler kaydedildi.

$$\gamma_k = \frac{100 \times \gamma_n}{100 + w} \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (3.3)$$

Burada;

- $w$  Numunenin su muhtevası, (%)
- $\gamma_n$  Zemin numunesinin yaş birim hacim ağırlığı, ( $\text{kN/m}^3$ )'dir.

Deney en az beş değer verecek biçimde tekrarlandı. Numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları ve su muhtevaları hesaplandı. Elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamında saklandı ve yine bilgisayar ortamında grafik üzerinde gösterildi. Elde edilen noktalar arasından düzgün

bir eğri geçirilip ve bu eğri üzerindeki en büyük değer bulundu. Bu değer maksimum kuru birim hacim ağırlık ve buna karşılık gelen su muhtevası da optimum su muhtevası olarak kaydedildi.

Yine aynı grafik üzerinde karşılaştırma amaçlı olarak sıfır hava boşluğu eğrisi ve %5, %10, %20 hava boşluğu eğrilerinin çiziminde (3.4) eşitliğinden yararlandı.

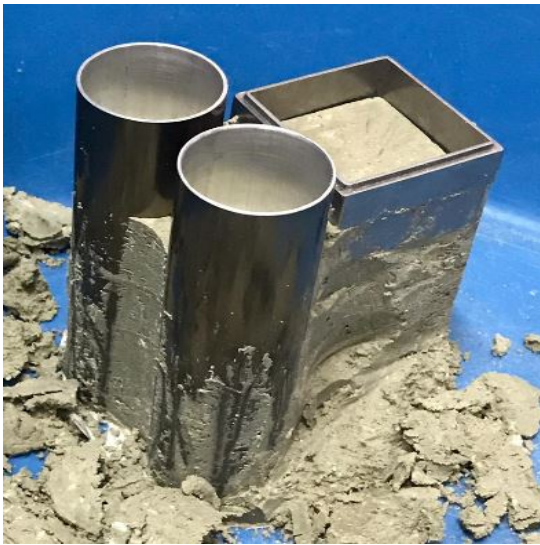
$$\gamma_k = (1 - \frac{V_a}{100}) / (\frac{1}{G_s} + \frac{w}{100}) \quad (3.4)$$

Burada;

- $V_a$  Hava boşluğu oranı, (%)
- $G_s$  Özgül yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )'tur.

### 3.2.3. Serbest Basınç Deneyi

Bu çalışmamızdaki serbest basınç dayanımı deneyleri, standart kompaksiyon sıkıştırma enerjisi ile (yaklaşık  $590 \text{ kJ/m}^3$ ) sıkıştırılmış numunelerde serbest basınç dayanımının bulunması için uygulanmıştır. Numuneler ortalama 48 mm çapında, 110 mm boyundadır. Numuneler optimum su muhtevasında ve kılcal çatlak içermeyen kohezyonlu numunelerden bu deney için tasarladığımız alüminyum, iç çapı 48 mm, dış çapı 52 mm, boyu 160 mm olan numune alıcılar ile kriko yardımıyla alınmıştır (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Numune alıcılar



Şekil 3.6. Numune alıcı kriko

Numune alıcıların iç ve dış yüzeyleri, sürtünmeyi ve örselenmeyi azaltmak için vazelin ile yağlanmıştır. Bu sayede numuneler, alıcıların içerisinde bu işlem için tasarlanmış numune çıkarıcı kriko yardımı ile kolayca çıkartılmıştır (şekil 3.7).



Şekil 3.7. Numune çıkarıcı kriko

Bu deneyler kapsamında Çorlu Mühendislik Fakültesi Geoteknik Laboratuvarındaki *Tile Test Press* makinesi kullanılmıştır (şekil 3.8).



Şekil 3.8. Tek eksenli serbest basınç makinesi

Her bir numune, presin alt platformunun merkezine konduktan sonra üst başlık numune üst yüzüne rahatça ve tam degecek şekilde indirildi ve boşluğu alındı. Boy değişimini ölçen 0,01 mm hassasiyetli komparatör saati, alt ve üst başlıkların arasına yerleştirilerek sıfırlandı. Cihazının yükleme hızı, numunede ortalama olarak dakikada % 0,5 - % 0,7 arası birim boy kısalması oluşturacak şekilde ayarlandı. Bu hız, tutulan deney raporlarında da kontrol edildi. Yük ve boy değiştirme okumaları 20 saniyede bir okuma aralıkları ile kaydedildi. Deney süresi genelde 5 dakika ile 7 dakika arasında gerçekleşti. Deney, numunede kesin göçme ve /veya kırılma elde edildikten sonra iki üç okuma daha devam ettirildi. En büyük dayanımın belirmediği durumlarda ise % 20 birim boy kısalmasına kadar sürdürüldü. Deney sona erdiğinde numunenin göçme şeklinin fotoğrafı çekilerek, ölçülebiliyorsa yatayla yaptığı açı bulundu ve örnek alınarak su muhtevası ölçüldü.

Numunedeki eksenel birim şekil değiştirme  $\epsilon$ , (3.5) eşitliği kullanılarak bulundu.

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_0} \quad (3.5)$$

Burada;

- $\Delta H$  Numunede ölçülen aksenal şekil değıştirme (cm),
- $H_0$  Numunenin ilk boyu (cm).

Buna karşılık olarak düzeltilmiş kesit alanı  $A_d$  ise aşağıdaki (3.6) eşitliği ile hesaplandı.

$$A_d = \frac{A_0}{1-\varepsilon} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (3.6)$$

Burada;

- $\varepsilon$  Düşey yöndeki aksenal birim şekil değıştirmesi,
- $A_0$  Numunenin deney başındaki kesit alanı (cm<sup>2</sup>).

Numunenin serbest basınç dayanımı aşağıdaki (3.7) eşitliği ile bulundu.

$$\sigma_1 = \frac{P}{A_d} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (3.7)$$

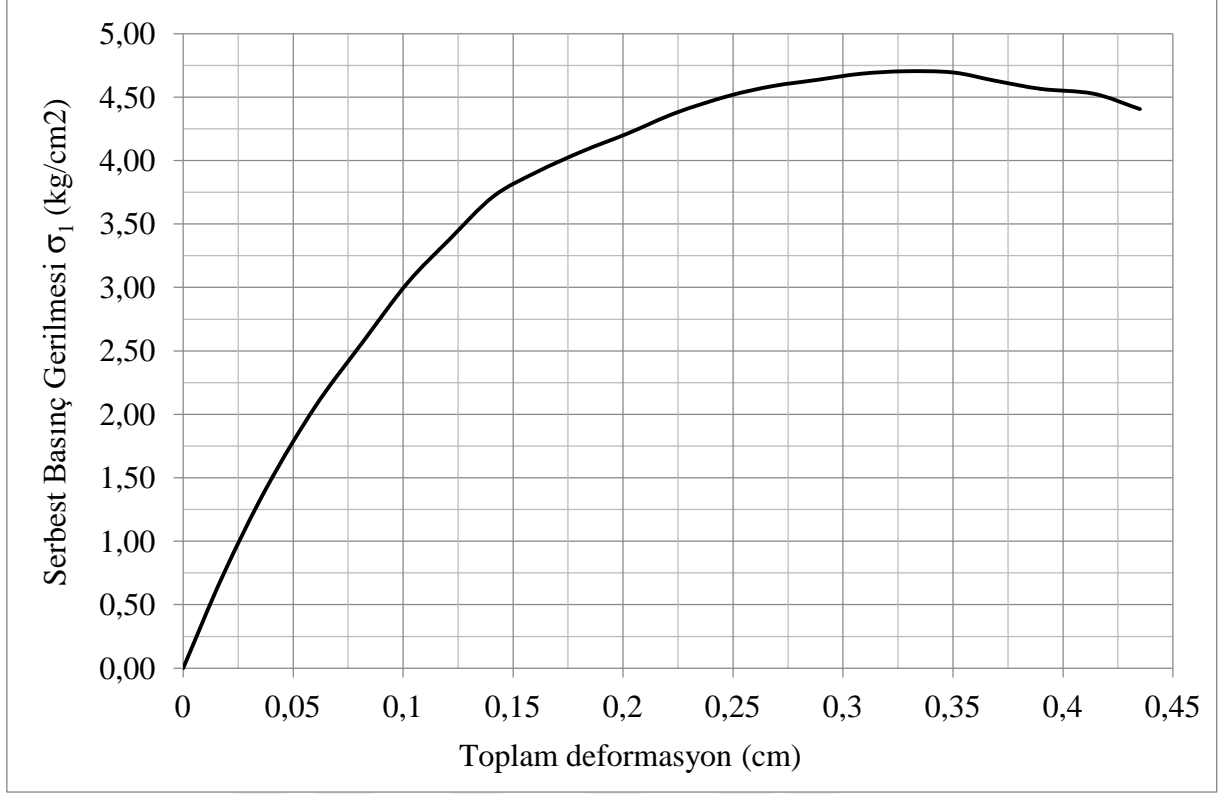
Burada;

- $P$  Göçmeyi sağlayan yük (kg).

Çizelge 3.3.'te çalışma kapsamında yapılan 23 adet serbest basınç deneylerinden, %1 toz atık lastik katkılı numunelerden 29 Mayıs 2019 tarihli deneye ait hesap çizelgesi verilmiştir. Aynı deneye ait toplam deformasyon serbest basınç gerilmesi grafiği Şekil 3.9'te ve numune görüntüsü de Şekil 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.3. Serbest basınç deneyi hesap çizelgesi

		D (cm)	L <sub>0</sub> (cm)	A <sub>0</sub> (cm <sup>2</sup> )		
1. ölçüm		4,676	11,392	17,13600641		
2. ölçüm		4,663	11,395			
3. ölçüm		4,674	11,391			
Ortalama		4,671	11,39266667			
Boy Çap Oranı (L/D)		2,44				
Su Muhtevası w (%)		18,71				
Süre (sn)	Yük (kg)	Deformasyon Okuması	Toplam deformasyon (cm)	Birim Deformasyon (ε)	Düzeltilmiş alan A <sub>d</sub> (cm <sup>2</sup> )	Serbest Basınç Gerilmesi σ <sub>1</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0	0	0,0000	17,1360	0,00
20	12,5	18	0,018	0,0016	17,1631	0,73
40	24,5	38	0,038	0,0033	17,1934	1,42
60	35,5	60	0,06	0,0053	17,2267	2,06
80	44,5	82	0,082	0,0072	17,2602	2,58
100	52,5	102	0,102	0,0090	17,2908	3,04
120	58,5	121	0,121	0,0106	17,3200	3,38
140	64,5	141	0,141	0,0124	17,3507	3,72
160	68	161	0,161	0,0141	17,3816	3,91
180	71	182	0,182	0,0160	17,4142	4,08
200	73,5	202	0,202	0,0177	17,4453	4,21
220	76,5	224	0,224	0,0197	17,4797	4,38
240	79	248	0,248	0,0218	17,5173	4,51
260	80,5	268	0,268	0,0235	17,5488	4,59
280	81,5	288	0,288	0,0253	17,5804	4,64
300	82,5	308	0,308	0,0270	17,6121	4,68
320	83	328	0,328	0,0288	17,6440	4,70
340	83	350	0,35	0,0307	17,6791	4,69
360	82	369	0,369	0,0324	17,7096	4,63
380	81	390	0,39	0,0342	17,7434	4,57
400	80,5	414	0,414	0,0363	17,7822	4,53
420	78,5	435	0,435	0,0382	17,8163	4,41



Şekil 3.9. Toplam deformasyon - Serbest basınç gerilmesi grafiği



Şekil 3.10. Serbest basınç deneyi sonrası göçmüş numunenin görünümü

### 3.2.4. Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Deneyi

Bu çalışmada, Çorlu Mühendislik Fakültesinin Geoteknik Laboratuvarındaki, TS 1900-2/2006 standartlarına uygun olan CBR pres makinesi ve kalıpları kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. CBR pres makinesi

Yapılan CBR deneyleri, standart kompaksiyondan elde edilen optimum su muhtevasında ve buna karşılık gelen kuru birim hacim ağırlığındaki katkısız ve katkılı numunelere uygulanmıştır. Numuneler, standart kompaksiyon deneylerinde olduğu gibi, belirli bir sıkıştırma enerjisi kullanılarak dinamik sıkıştırma metodu ile hazırlanmıştır. Standart CBR kalıbına, üç tabaka halinde sıkıştırdığımız numunenin hacmi  $2078 \text{ cm}^3$  tür.

Kalıp, taban plâkası takılmış olarak kalıp içi yükselticisi ve süzgeç kâğıdı ile  $\pm 1 \text{ g}$  doğrulukla tartıldı ve not edildi. Bundan sonra yaka takıldı ve istenen su muhtevasında yaklaşık olarak 4 kg zemin standart sıkıştırma enerjisi ile kütlesi 2,5 kg olan standart proktor tokmağı yardımıyla kalıbın içine sıkıştırıldı. Sonra yaka çıkarıldı ve numune, çelik bir L profil ile kalıbın üst kenarı düzeyinde dikkatle düzeltildi ve tıraşlandı. Kalıp numune ile birlikte tartıldı ve ağırlığı not edildi.

Kalıp, taban plakası takılmış ancak üst yüzeyi açık olacak şekilde, içindeki numuneye birlikte basınç cihazına yerleştirildi. Numunenin üzerine, tanesi 2270 g ağırlığında olan, ortası delik iki ağılık yerleştirildi. Penetrasyon pistonu numunenin yüzeyine oturtulup boşluğu alındı. Pres makinesi çalıştırıldı ve piston dakikada 1,20 mm'lik bir hızla zemine itildi. Yük okumaları Çizelge 3.3'te gösterilen penetrasyon değerlerinde alındı.

Deneyleri tamamlandıktan sonra, numunenin her iki tarafındaki yüzeylerin hemen altından, numuneler alınıp, bunların su muhtevaları ölçüldü.



Penetrasyon değerleri ve bunlara karşılık olan piston yükleri kaydedildi ve bilgisayar yardımıyla yk penetrasyon eğrileri çizildi. Bu eğri normalde yukarıya doğru dış bükey olmalıdır. Eğer eğrinin başlangıç kısmı, yukarıya i bkeyse, düzeltme yapıldı. Bunun için en büyük eğim noktasına bir teğet çizilip, bu teğet penetrasyon eksenini kesecek biçimde uzatıldı. Bundan sonra eğri, teğetle penetrasyon ekseninin kesişme noktası, başlangıç noktası olacak şekilde sola doğru ötelenerek, penetrasyonun 2,50 mm ve 5,00 mm olduğu yük değerleri düzeltme eğrisinden okundu ve kaydedildi.

%100 taşıma oranı değerine karşılık olan standart yük penetrasyon eğrisinde 2,5 mm'de 1362 kg, 5,0 mm'de 2043 kg yük olduğu kabul edilir. (Kumbasar,1999)

Bu penetrasyonu sağlayan yüklerin, aynı penetrasyonu standart eğri üzerinde sağlayan yüke oranı, o penetrasyondaki taşıma oranı değeri olarak kabul edildi. Taşıma oranı değeri, 2,5 mm'lik ve 5,0 mm'lik penetrasyonlarda hesaplandı ve elde edilen iki değerden, yüksek olanı zeminin CBR değeri olarak kabul edildi.

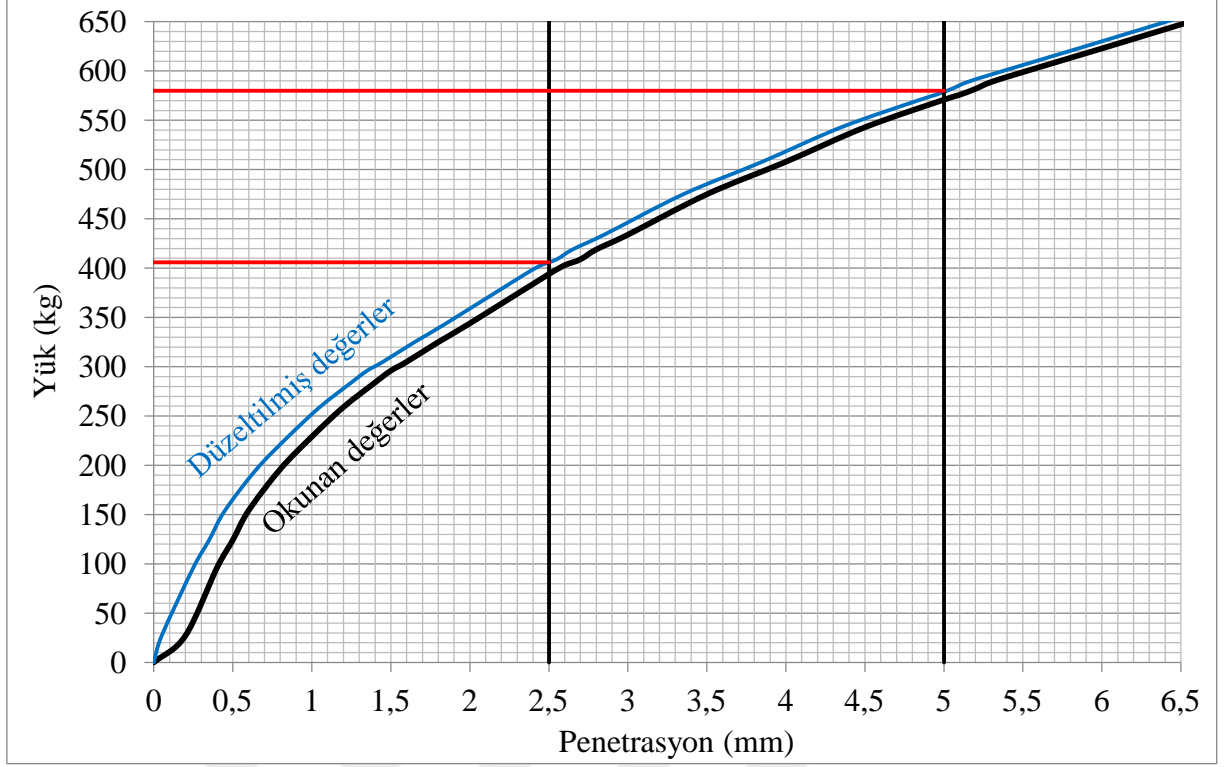
Çizelge 3.4.'te ve izelge 3.5'te çalışma kapsamında yapılan 20 adet CBR deneylerinden, %17 öğütülmüş gazbeton katkılı numunenin 8 mayıs 2019 tarihli deneyine ait okuma ve hesap çizelgeleri örnek olarak verilmiştir. Aynı deneye ait düzeltme eğrileri şekil 3.13'de ve standart penetrasyon-yük eğrisi ile mukayesesini gösteren grafik de şekil 3.14'de verilmiştir. şekil 3.12'te CBR deneyi sonrasında kalıp ve içindeki numune gösterilmiştir.



şekil 3.12. CBR deneyi sonrası numune rnekleri

Çizelge 3.4. CBR deneyi okuma değerleri

Penetrasyon		yük (kg)
Okuma	Batma (mm)	
0	0	0
20	0,2	27
40	0,4	96
50	0,5	124
60	0,6	154
80	0,8	196
100	1	229
120	1,2	259
140	1,4	284
150	1,5	296
160	1,6	305
180	1,8	325
200	2	344
250	2,5	394
260	2,6	403
270	2,7	409
280	2,8	419
300	3	434
350	3,5	475
400	4	508
450	4,5	543
500	5	571
510	5,1	576
520	5,2	582
530	5,3	589
550	5,5	599
600	6	623
700	7	671
800	8	713
900	9	752
1000	10	784
1100	11	813
1200	12	842
1250	12,5	856
1300	13	867
1400	14	878

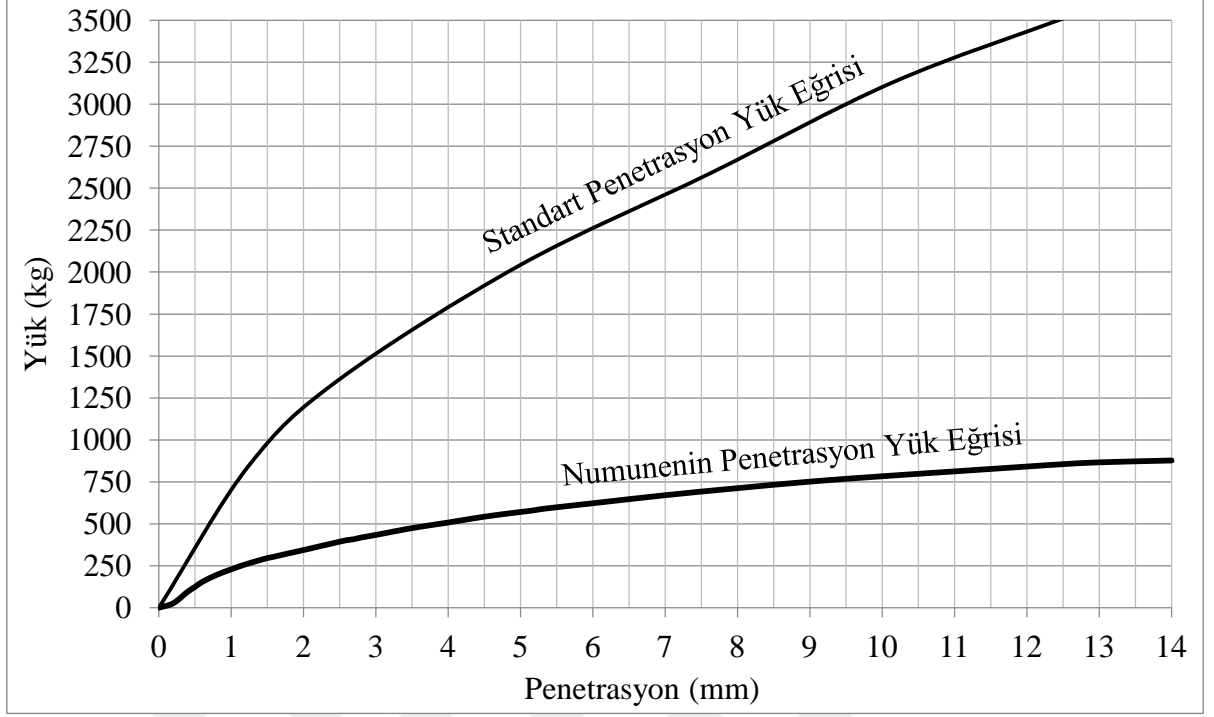


Şekil 3.13. CBR düzeltme grafiği

Şekil 3.13'te görülen düzeltilmiş egride 2,5 mm ve 5,0 mm batmaya denk gelen yük değerleri Çizelge 3.5'te verilmiş ve CBR değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.5. CBR deneyi hesaplama değerleri

	Okunan değer	Düzeltilmiş değer
Düzeltilme Miktarı (mm)	0,15	
2,5 mm okuması (kg)	394	406
5 mm okuması (kg)	571	580
2,5 mm için CBR değeri	29,81	
5 mm için CBR değeri	28,39	
<b>SONUÇ</b>	<b>29,81</b>	



Şekil 3.14. Standart penetrasyon-yük eğrisi ve numunenin CBR eğrisi

### 3.2.5. Numune Karışımlarının Özgül Yoğunluklarının Teorik Olarak Hesaplanması

Deneylerde kullanılmak üzere ÖGA ve TAL katkıli numuneler hazırlanmıştır. Özellikle TAL katkıli numunelerin özgül yoğunluklarını ölçmek, lastik parçaların suda yüzmelerinden ötürü mümkün olmamıştır. Bu numunelerin yaklaşık özgül yoğunluklarını karışımlardaki malzeme miktarlarından yararlanarak teorik olarak tahmin etmek mümkündür.

Suyun yoğunluğunu  $\gamma_w = 1$  olarak kabul edilirse, aynı koşullarda malzemenin özgül yoğunluğunun dane birim hacim ağırlığına ( $\gamma_s$ ) eşit olduğu (3.8) eşitliğinde görülür ve (3.9) eşitliği birim hacim ağırlık tanımından elde edilir.

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w \quad (3.8)$$

$$G_s = \gamma_s = \frac{W_k}{V_s} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (3.9)$$

$$W_k = M_{KZ} + M_L + M_{GB} \text{ (g)} \quad (3.10)$$

$$V_s = \frac{M_{KZ}}{G_{KZ}} + \frac{M_L}{G_L} + \frac{M_{GB}}{G_{GB}} \text{ (cm}^3\text{)} \quad (3.11)$$

(3.10) ve (3.11) eşitliklerini (3.9) eşitliğinde yerine yazacak olursak, teorik olarak özgül yoğunluğu hesaplayacağımız (3.12) eşitliğini elde etmiş oluruz.

$$G_s = \frac{M_{KZ} + M_L + M_{GB}}{M_{KZ}/G_{KZ} + M_L/G_L + M_{GB}/G_{GB}} \quad (3.12)$$

Bu denklemlerde;

- $W_k$  Karışım malzemelerinin kuru ağırlığı
- $V_s$  Karışım malzemesinin boşluksuz hacmi
- $M_{KZ}$  Killi zeminin numunesinin karışımdaki miktarı (g)
- $M_L$  Toz lastik atık katkı miktarı (g)
- $M_{GB}$  Öğütülmüş gazbeton miktarı (g)
- $G_{KZ}$  Killi zemin numunesinin özgül ağırlığı
- $G_L$  Toz lastik atığın özgül ağırlığı
- $G_{GB}$  Öğütülmüş gazbetonun özgül ağırlığı

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneyleerde kullanılan numunelerin ve katkıların ağırlıkça karışım oranları ve gösterimi Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Malzemelerin ağırlıkça karışım oranları ve gösterimi

Açıklama	Killi Zemin (%)	Lastik (%)	Gaz Beton (%)	Gösterim
Katkısız	100	-	-	Katkısız
%5 gazbeton katkı	95	-	5	%5 GB
%10 gazbeton katkı	90	-	10	%10 GB
%15 gazbeton katkı	85	-	15	%15 GB
%17 gazbeton katkı	83,33	-	16,67	%17 GB
%1 atık lastik katkı	99	1	-	%1 L
%2 atık lastik katkı	98,04	1,96	-	%2 L
%4 atık lastik katkı	96,15	3,85	-	%4 L
%5 gazbeton ve %2 lastik katkı	93	2	5	%5GB + %2L

#### 4.1. Killi Zeminin Kıvam Limitleri ve Sınıflandırılması

Killi zemin numunelerin kıvam limitlerinin belirlenebilmesi ve granülometri eğrisinin çizimi için yapılan deneyler TS 1900-1/2006 de anlatıldığı gibi uygulanmıştır. Bu deneylerden bulunan kıvam limit değerlerine göre zeminin sınıflandırmasında birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USCS) kullanılmıştır.

#### 4.1.1. Killi Zeminin Özgül Yoğunluk Testinin Sonuçları

Zemin danelerinin özgül yoğunluğu  $G_s$  aşağıda verilen (4.1) eşitliğinden hesaplanmıştır.

$$G_s = \frac{\rho_L(M_2 - M_1)}{\rho_w(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)} \quad (4.1)$$

Bu denklemde ;

- $M_1$  Piknometrenin kütlesi, (g)
- $M_2$  Piknometre ile kuru zemin kütlesi, (g)
- $M_3$  Piknometre, numune ve sıvının kütlesi, (g)
- $M_4$  Piknometrenin sadece sıvı ile dolu kütlesi, (g)
- $\rho_L$  Deneyde kullanılan sıvının deney sıcaklığında yoğunluğu, ( $\text{kN/m}^3$ )
- $\rho_w$  Damıtık suyun deney sıcaklığında yoğunluğu, ( $\text{kN/m}^3$ ) dur.

Deneyde sıvı olarak sadece saf su kullanıldığı için sıvı ve su yoğunluğu 1 ( $\text{kN/m}^3$ ) kabul edilmiştir. Killi zemin numunesine ait özgül yoğunluk hesap değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Özgül yoğunluk hesap çizelgesi

Piknometre No	1	2
Piknometre Kütlesi ( $M_1$ )	50,47	48,2
Piknometre+Numune Kütlesi ( $M_2$ )	59,73	57,56
Piknometre+Numune+Sıvı kütlesi ( $M_3$ )	156,09	154,31
Sadece su ile dolu piknometre kütlesi ( $M_4$ )	150,23	148,39
Numunenin kütlesi ( $M_2-M_1$ )	9,26	9,36
Piknometreyi dolduran su kütlesi ( $M_4-M_1$ )	99,76	100,19
Zemine eklenen sıvı kütlesi ( $M_3-M_2$ )	96,36	96,75
Numune Hacmi ( $M_4-M_1$ )-( $M_3-M_2$ )	3,4	3,44
Numunenin Özgül Yoğunluğu ( $G_s$ )	2,72353	2,72093
Ortalama Özgül Yoğunluk ( $G_s$ )	2,72223	

Aynı numuneye ait iki deney yapılmış ve ortalaması kabul edilip, tez çalışmamızın sonraki aşamalarında zemin danelerinin özgül yoğunluk olarak 2,72223 değeri kullanılmıştır.

#### 4.1.2. Killi Zeminin Elek Analizi ve Hidrometre Deneyi Sonuçları

Killi zemin numunesine ait dane çapı dağılımının tespit edilmesi için TS 1900-1'de anlatıldığı gibi yıkamalı eleme metodu kullanılarak elek analizi ve hidrometre analizi deneyleri yapılmıştır. Elek analizine ait hesap değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Killi zemin numunesinin elek analizi hesap değerleri

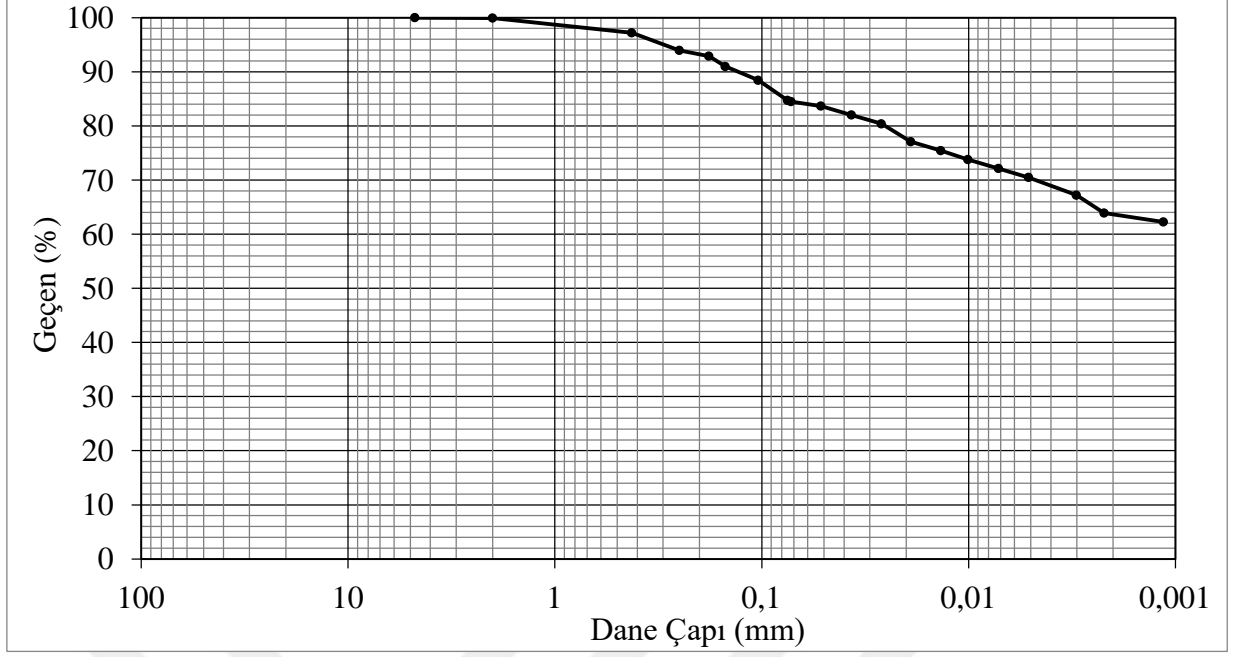
Numunenin toplam kütlesi (g)				500	
Yıkama sonrası ağırlık (g)				82,14	
Yıkama suyuna geçen kütle (g)				417,86	
Elek No	Elek açıklığı (mm)	Elek Üstünde kalan Numune (g)	Kalan (%)	Toplam Kalan (%)	Toplam Geçen (%)
4	4,75	0	0,00	0,00	100,00
10	2	0,4	0,08	0,08	99,92
40	0,425	13,65	2,73	2,81	97,19
60	0,25	16,2	3,24	6,05	93,95
80	0,18	5,35	1,07	7,12	92,88
100	0,15	9,56	1,91	9,03	90,97
150	0,104	12,71	2,54	11,57	88,43
200	0,075	18,56	3,71	15,29	84,71
toplama kabı		5,71			

Killi zemin numunesine uygulanan hidrometre analizine ait okuma ve hesap değerleri Çizelge 4.4'te, zemin numunesinin içerisinde bulunan kum, silt ve kil oranlarını gösteren değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.1'de elek analizi ve hidrometre analizinin sonuçlarından elde edilen veriler ile yarı logaritmik olarak çizilen dane dağılımı grafiği verilmiştir.



Çizelge 4.4. Zemin numunesine ait hidrometre analizi sonuçları

Hidrometre (152H)					Toplam Numune Kütlesi (g)		500		
Sıfır Düzeltmesi ( $C_d$ )				3	İnce Dane Oranı (N)		83,6		
K : $G_s$ değerine göre tablodan				0,013535	Numune Miktarı ( $m_s$ ) (g)		50		
L; R değerine göre tablodan					Özgül ağırlık düzeltme katsayısı ( $\alpha$ )		0,985		
Menisküs düzeltmesi ( $C_m$ )				1	Özgül ağırlık ( $G_s$ )		2,722		
Süre (t)	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )	Hidrometre okuması	Sıcaklık Düzelt.	Düzeltilmiş Hidrometre okuması	Geçen Malzeme Oranı (%)	Toplam içinde Geçen Oranı (%)	Menisküs Düzeltme ile okuma	Efektif Derinlik (cm)	Efektif Çap (mm)
dak.	t	$R_a$	$C_t$	$R_c = R_a - C_d + C_t$	$P' = (R_c * \alpha) / m_s$	$P = P' * N$	$R = R_a + C_m$	L	D
0,25	19	54,5	-0,2	51,3	1,0106	84,49	55,5	7,1	0,0721
0,5	19	54	-0,2	50,8	1,0008	83,66	55	7,3	0,0517
1	19	53	-0,2	49,8	0,9811	82,02	54	7,4	0,0368
2	19	52	-0,2	48,8	0,9614	80,37	53	7,6	0,0264
4	19	50	-0,2	46,8	0,9220	77,08	51	7,9	0,019
8	19	49	-0,2	45,8	0,9023	75,43	50	8,1	0,0136
15	19	48	-0,2	44,8	0,8826	73,78	49	8,3	0,0101
30	19	47	-0,2	43,8	0,8629	72,14	48	8,4	0,0072
60	19	46	-0,2	42,8	0,8432	70,49	47	8,6	0,0051
180	19	44	-0,2	40,8	0,8038	67,19	45	8,9	0,003
345	19	42	-0,2	38,8	0,7644	63,90	43	9,2	0,0022
1320	19	41	-0,2	37,8	0,7447	62,25	42	9,4	0,0011



Şekil 4.1. Killi zemin numunesinin granülometri eğrisi

Çizelge 4.5. Killi zemin numunesinin çakıl, kum, silt ve kil oranları

Çakıl (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
0,08	15,21	20,81	63,9

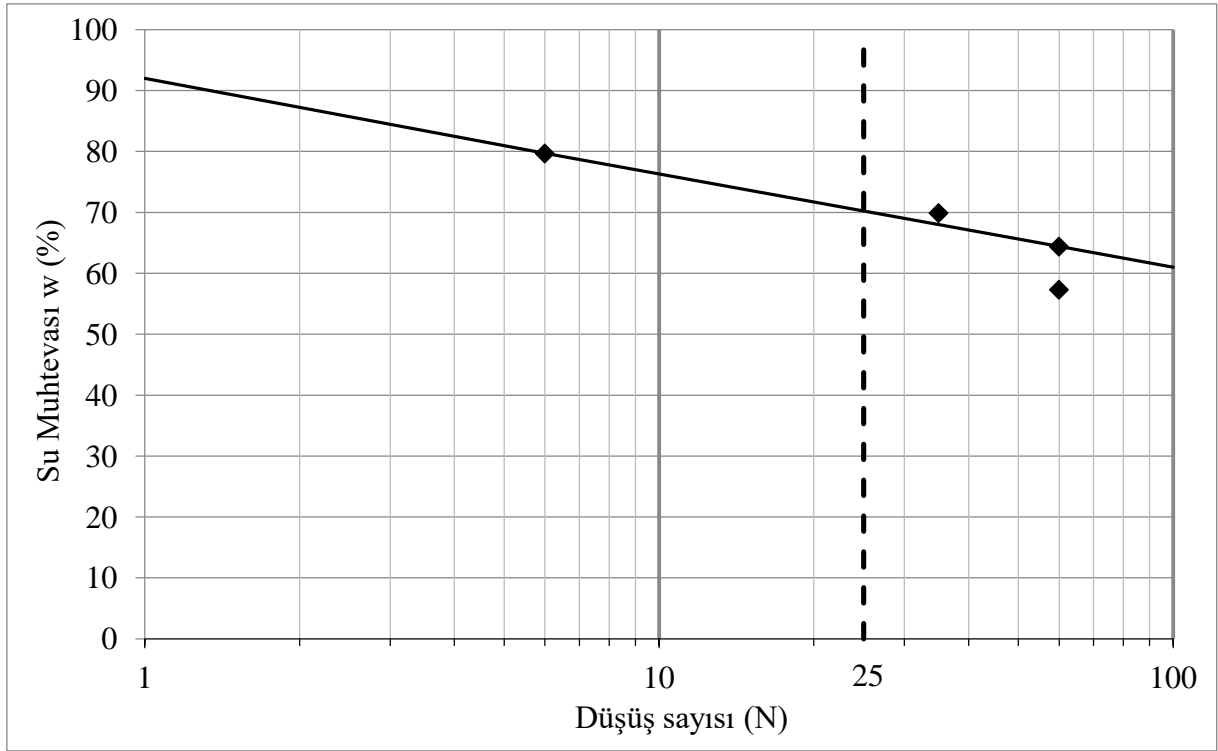
#### 4.1.3. Likit Limit Testinin Sonuçları

Killi zeminin likit limit deneyine ait veriler Çizelge 4.6'de, Likit limitin bulunması için yarı logaritmik eksen takımında çizilen Düşüş sayısı - Su muhtevası grafiği de Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Likit limit deneyi hesap çizelgesi

Kap No	1	2	3	6
Düşüş sayısı (N)	60	60	35	6
Yaş numune + kap, (g)	48,73	51,2	52,45	53,9
Kuru numune + kap, (g)	42,7	43,71	44,11	44,21
Su miktarı, (g)	6,03	7,49	8,34	9,69
Kap, (g)	32,18	32,08	32,18	32,05
Kuru numune, (g)	10,52	11,63	11,93	12,16
Su muhtevası, (%)	57,3	64,4	69,9	79,7

Yarı logaritmik grafikte çizilen en iyi doğrunun 25 düşüş sayısına denk gelen su muhtevası değeri Likit limit ( $w_L$ ) = 70 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.2. Düşüş sayısı - Su muhtevası grafiği

#### 4.1.4. Plastik Limit Testinin Sonuçları

Plastik limitin tayini için yapılan deneyin sonuçları Çizelge 4.7'te verilmiştir.

Çizelge 4.7. Plastik limit deneyi hesap çizelgesi

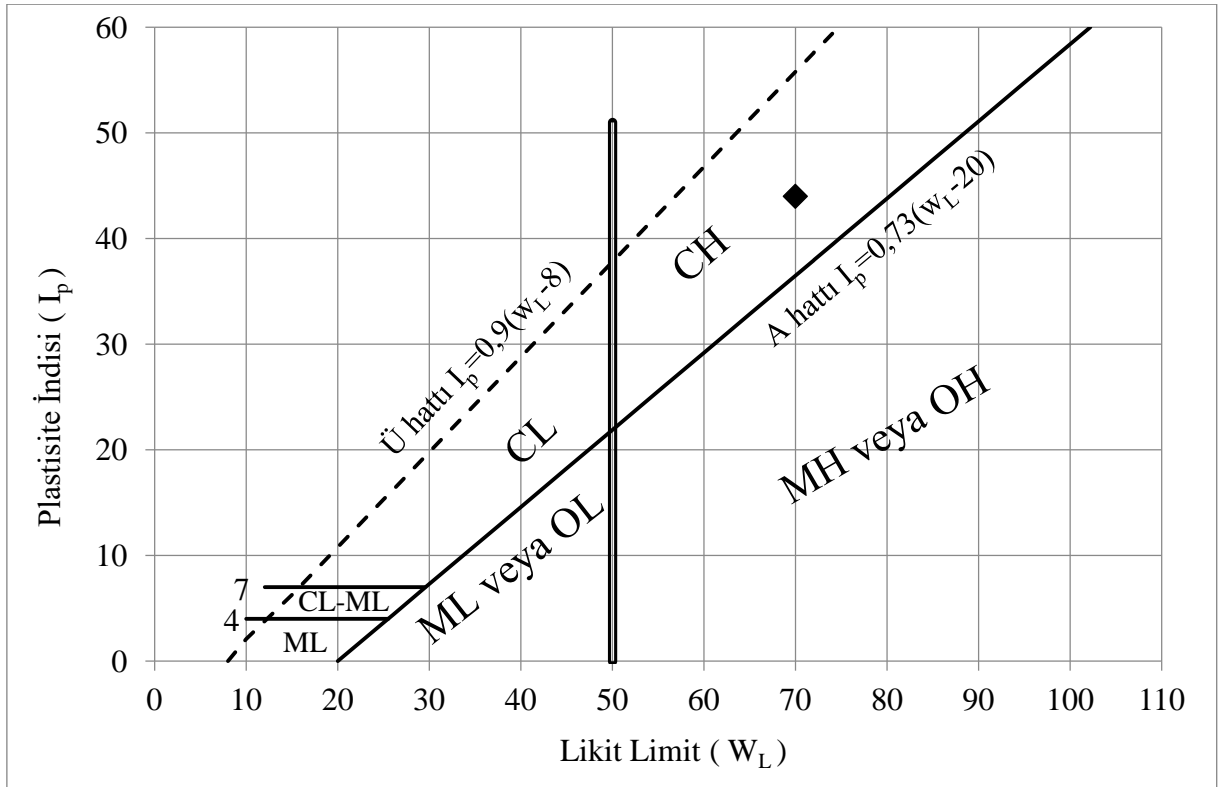
Kap No	4	5
Yaş numune + kap, (g)	32	39,32
Kuru numune + kap, (g)	30,14	37,71
Su miktarı, (g)	1,86	1,61
Kap, (g)	23	31,5
Kuru numune, (g)	7,14	6,21
Su muhtevası w (%)	26,05	25,93
Plastik limit $w_p$	26	

#### 4.1.5. Sınıflandırma Sonucu

USCS sistemine göre killi zemin numunesinin plastisite kartı Şekil 4.3'te verilmiştir. Killi zemin numunesinin plastiklik indisini (4.2) eşitliğinden bulunmuştur.

$$I_p = w_L - w_p \quad (4.2)$$

Numunenin  $W_L$  değeri 70 ve  $I_p$  değeri 44 olarak hesaplanmış ve Şekil 4.3'teki USCS plastisite kartında işaretlenmiştir. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre killi zemin numunemizin yüksek plastisiteli kil (yağlı kil) CH olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Killi zemin numunesinin USCS plastisite kartı

#### 4.2. Numune Karışımlarının Özgül Yoğunluk Hesap Sonuçları

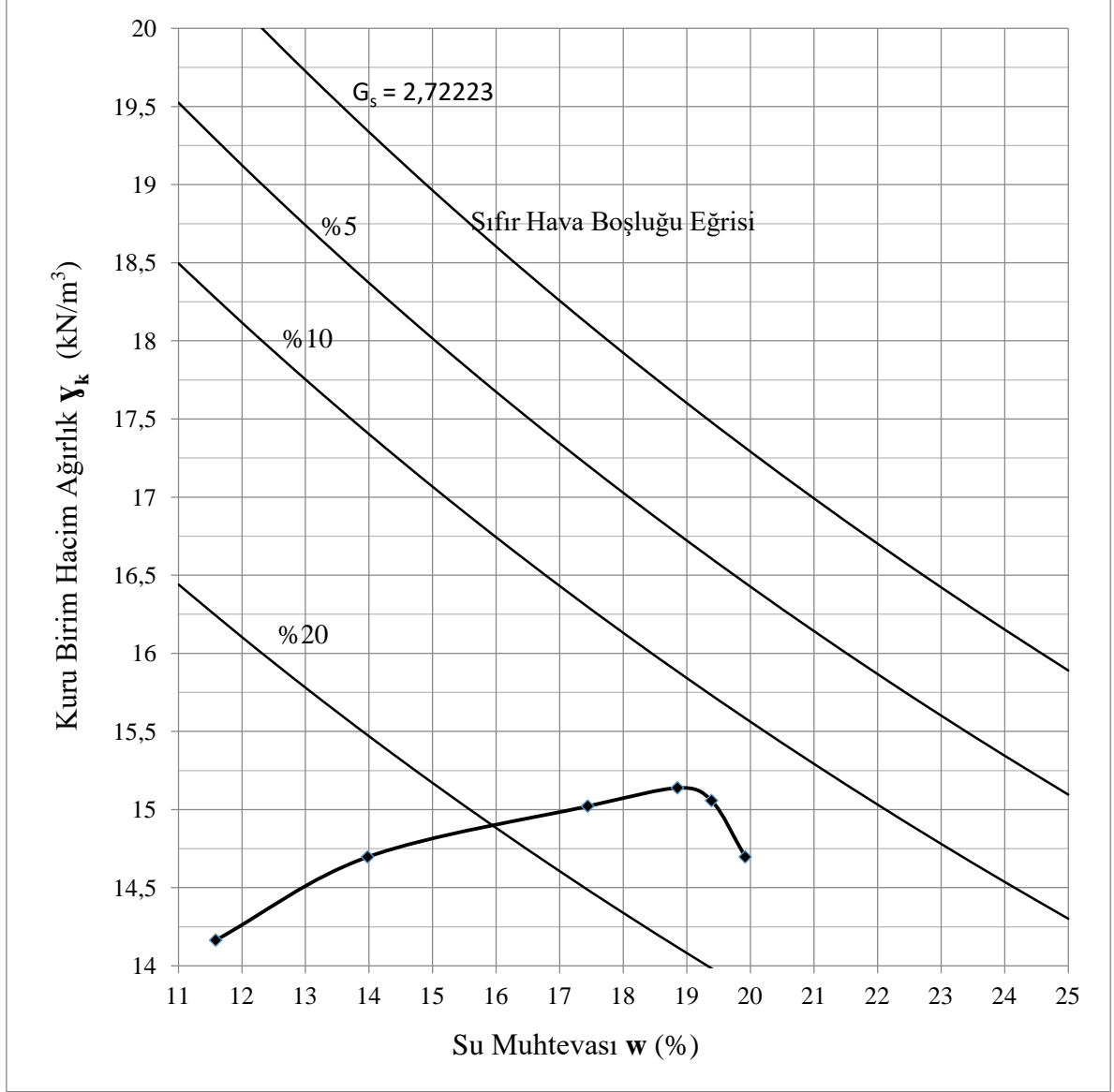
Bölüm 3.2.5'te anlatılan formülden yararlanılarak hesaplanan, numunelerin özgül yoğunluklarının hesap değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Hesaplanan özgül yoğunluk değerleri

Atık lastiğin özgül yoğunluğu		1,09		
Gazbetonun özgül yoğunluğu		2,6		
Killi zeminin özgül yoğunluğu		2,72223		
Numune Adı	Lastik miktarı (g)	Gazbeton miktarı (g)	Zemin miktarı (g)	Teorik Özgül Yoğunluk
% 5 GB	0	302	5738	2,71585
% 10 GB	0	604	5436	2,70949
% 15 GB	0	900	5100	2,70317
% 17 GB	0	1010	5050	2,70107
% 1 L	60	0	5940	2,68207
% 2 L	119	0	5950	2,64458
% 4 L	234	0	5850	2,57398
Katkısız	0	0	8400	2,72223
%5 GB + %2 L	158	395	7347	2,63705

#### 4.3. Katkısız Numunelerde Kompaksiyon Deneyi Sonuçları

Katkısız zemin numunelerine, %11 ve %20 arasında değişen oranlarda su katılarak 6 seri örnek hazırlanmış ve bu örnekler üzerinde standart kompaksiyon deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

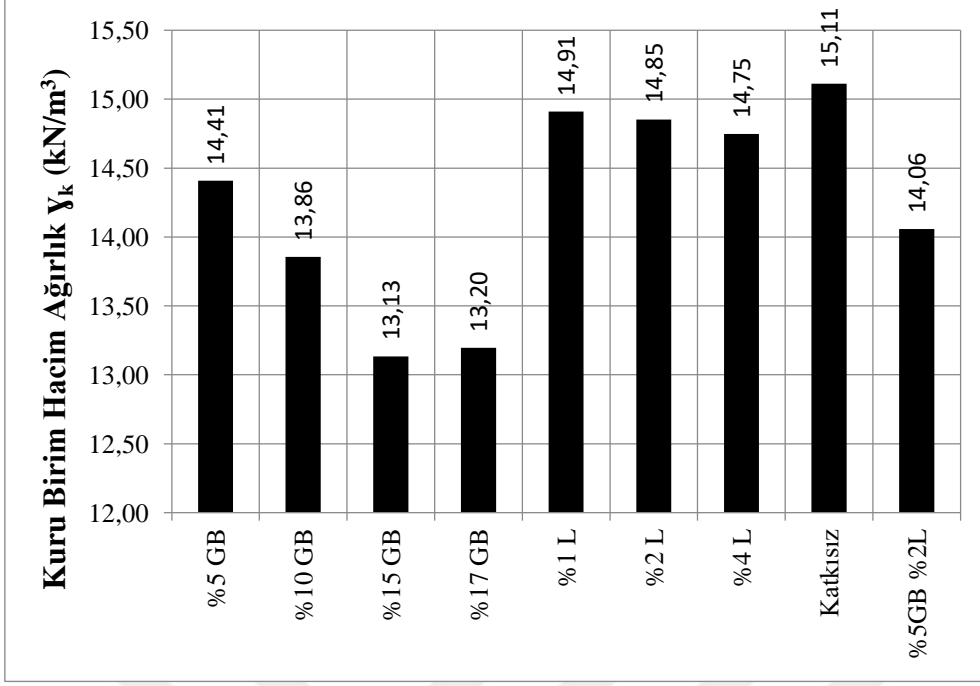


Şekil 4.4. Katkısız numunenin standart kompaksiyon eğrisi

Standart kompaksiyon eğrisi incelendiğinde, katkısız numunenin optimum su muhtevası %19 ve buna karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığı ise  $15,14 \text{ kN/m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre atık lastik ve gaz beton katkılarının etkilerinin incelenmesi için yapılan diğer deneylerde de %19 su muhtevası göz önüne alınmış ve deneyler bu sonuca göre yapılmıştır.

#### 4.4. Kompaksiyon Deneylerinin Sonuçları

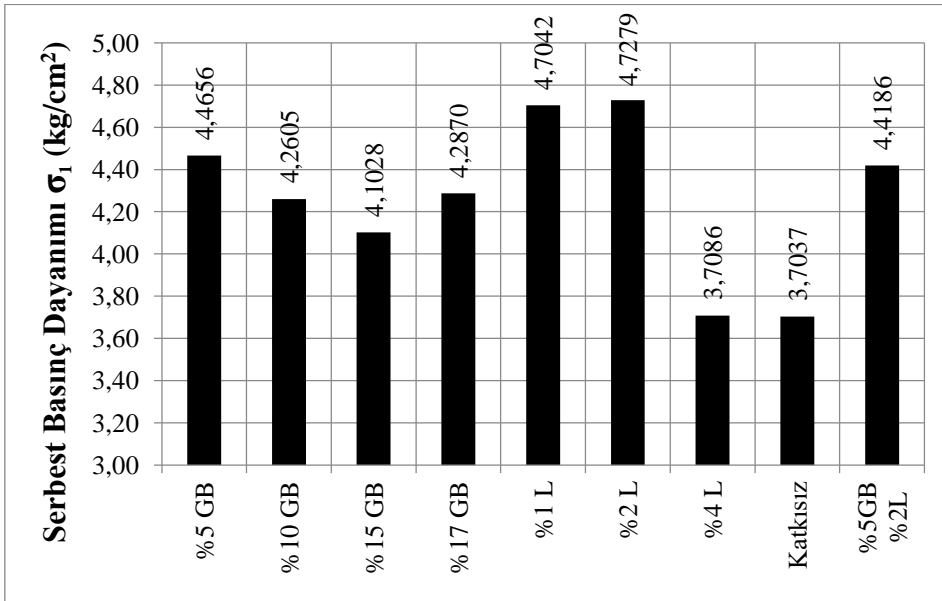
Yaklaşık olarak %19 su muhtevasında hazırlanan katkılı ve katkısız 9 adet serinin kuru birim hacim ağırlıkları Şekil 4.5'te verilmiştir.



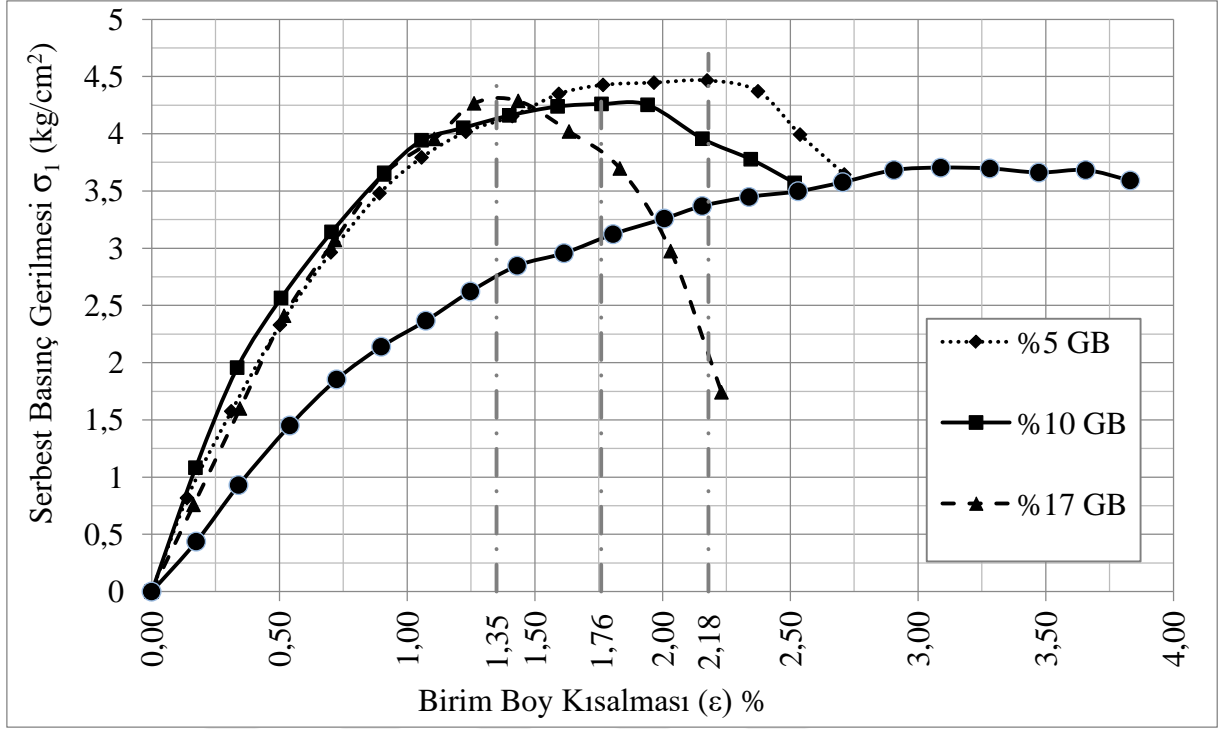
Şekil 4.5. Kuru birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması

#### 4.5. Serbest Basınç Deneilerinin Sonuçları

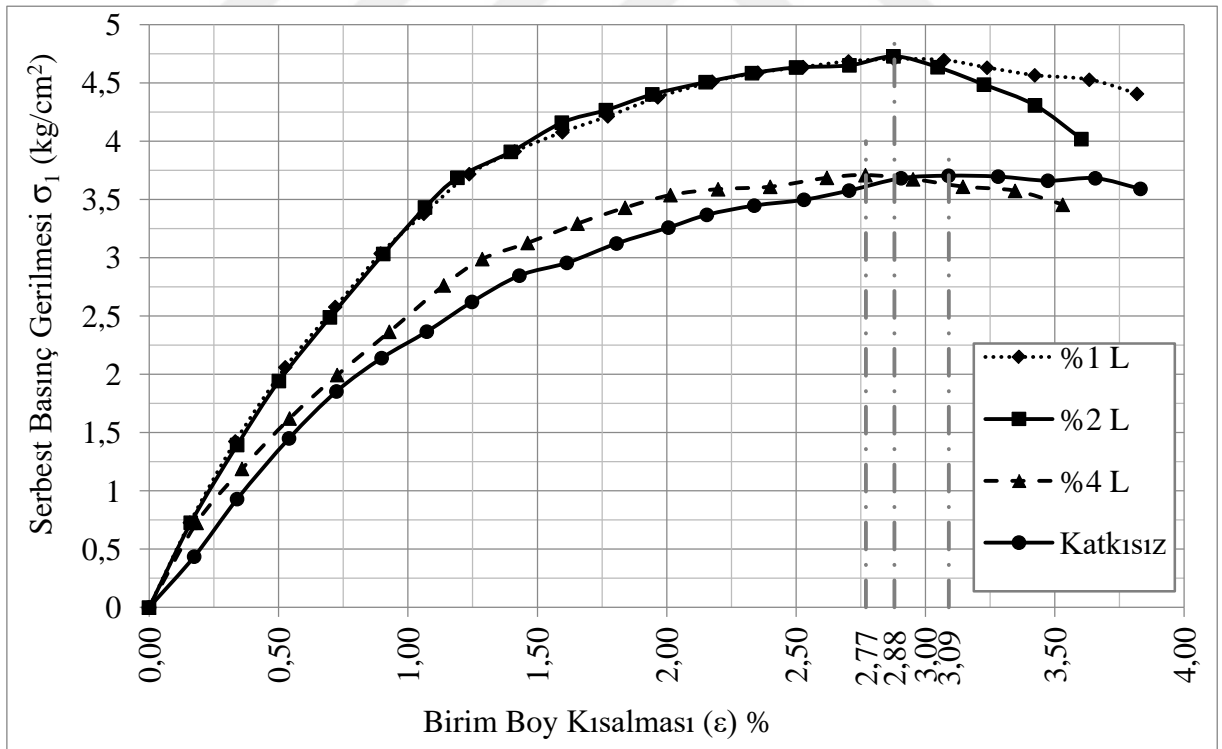
Serbest basınç deneylerinde boy/çap oranı sonucu etkileyen bir faktördür. Bu sebeple yapılan bütün serbest basınç deneylerinde yaklaşık olarak 2,45 boy/çap oranı ve %19 su muhtevası kullanılmıştır. Elde edilen serbest basınç dayanımları Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Serbest basınç dayanımı karşılaştırılması



Şekil 4.7. Gazbeton katkı için Gerilim-Birim boy değişimi grafiği



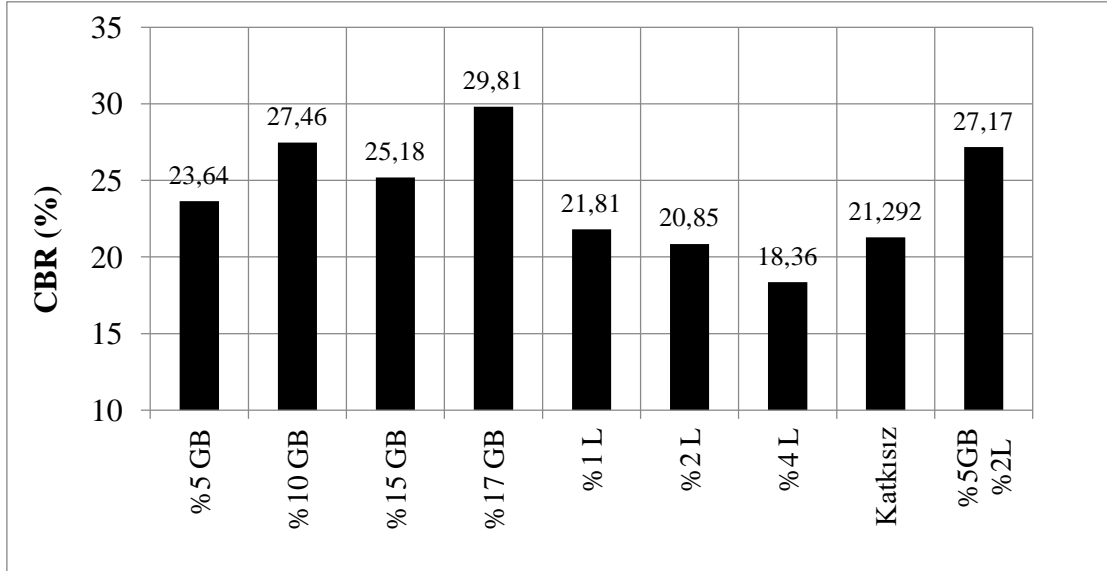
Şekil 4.8. Lastik katkı için Gerilim-Birim boy değişimi grafiği

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de ÖGA ve TAL katkıli numunelerin birim boy kısalması aksenal gerilim grafikleri verilmiştir.



#### 4.6. CBR Deneyi Sonuçları

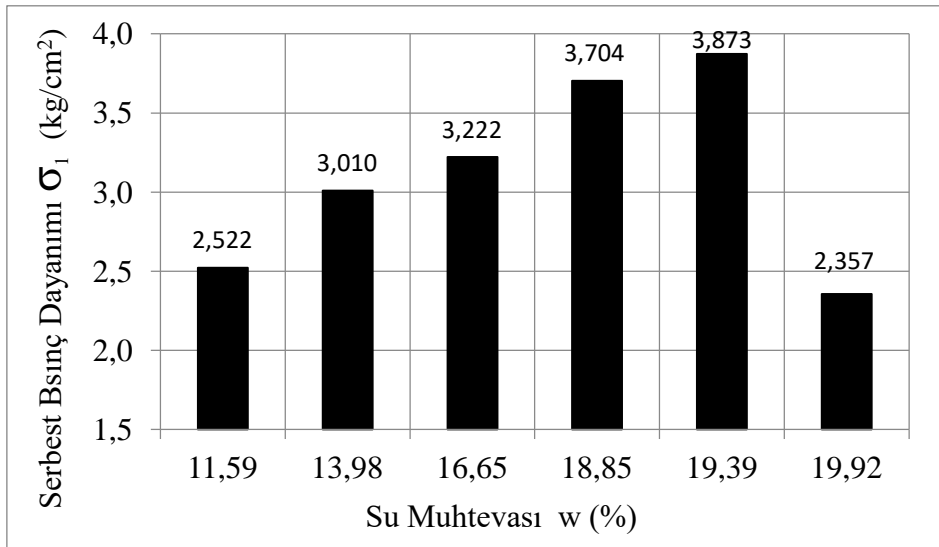
Bölüm 3.2.4'te anlatılan standartlarda yapılan CBR deneyi sonuçları Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. CBR deneyi sonuçlarının karşılaştırılması

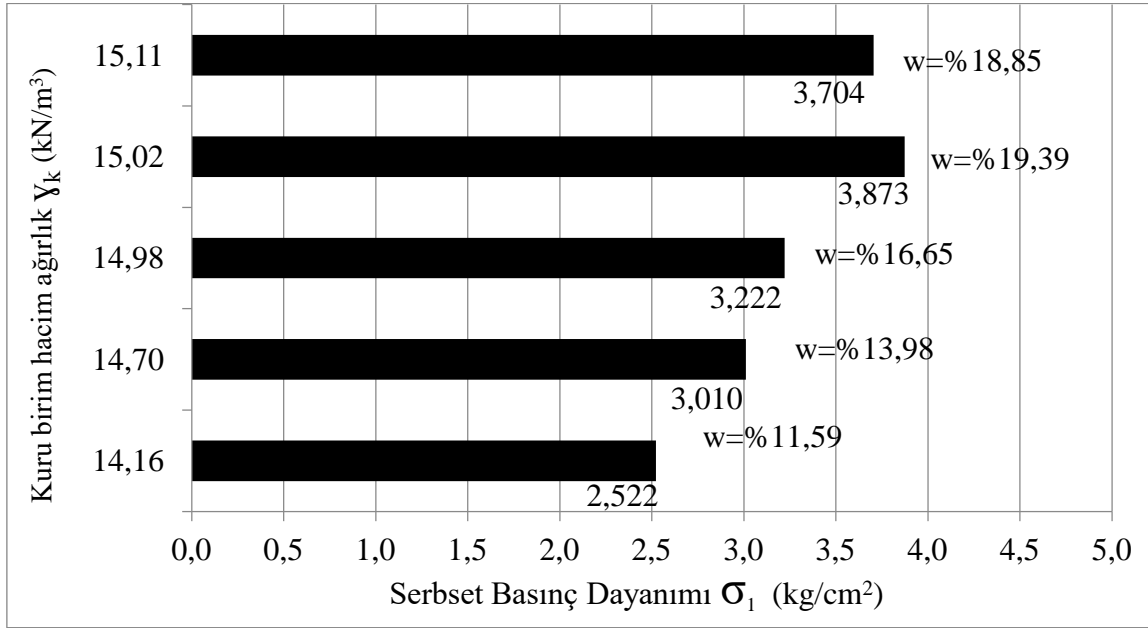
#### 4.7. Katkısız Numunelerin Serbest Basınç ve CBR Sonuçları

Değişik su oranları ile hazırlanan katkısız 6 adet serinin serbest basınç dayanımlarının karşılaştırılması Şekil 4.10'da verilmiştir.

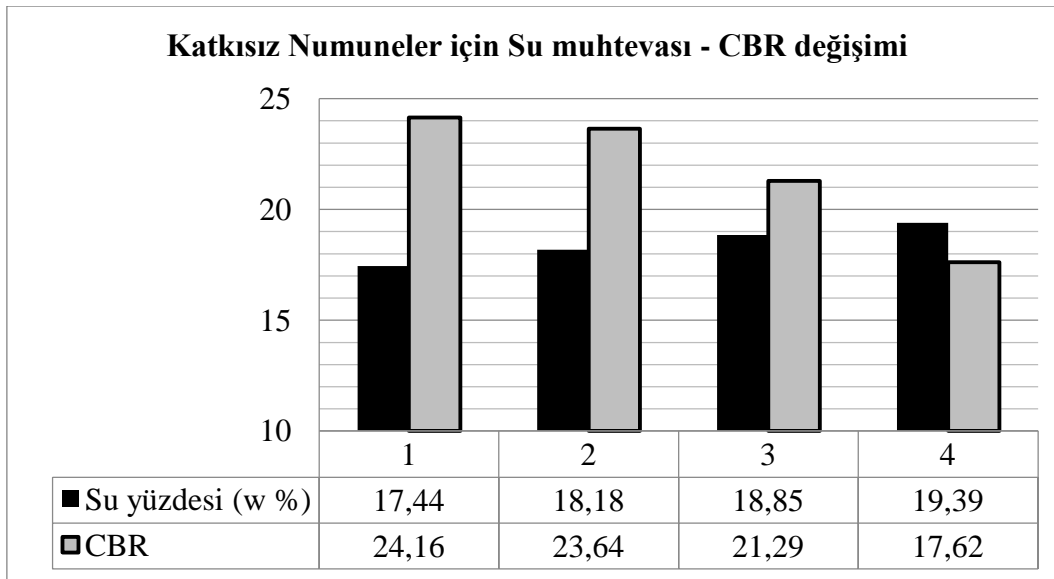


Şekil 4.10. Su muhtevası - Serbest basınç dayanımı

Sadece katkısız numuneler için kuru birim hacim ağırlık ile serbest basınç dayanımının değişimini gösteren grafik Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekil 4.12'de katkısız numuneler için su muhtevsındaki değişim ile CBR sonuçlarında meydana gelen değişimi ve deney sonuçlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu kıyaslamalarda sıkıştırma enerjisi sabit tutulmuştur. Kuru birim hacim ağırlıktaki değişimi su muhtevalarındaki değişim meydana getirmiştir.



Şekil 4.11.  $\sigma_1$  -  $\gamma_k$  karşılaştırması



Şekil 4.12. Katkısız numuneler için su muhtevası - CBR sonuçları grafiği

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Toz atık lastik (TAL) katkılı numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları katkısız numunenin kuru birim hacim ağırlığına göre daha düşüktür. Toz atık lastik katkısının karışımdaki oranının artması ile numunelerin kuru birim hacim ağırlığındaki azalma oranları arasında pozitif korelasyon olduğu görülmüştür. KBHA'daki bu azalma oranları %1L için %1,34, %2L için %1,72 ve %4L için %2,42 şeklinde önemsiz sayılabilecek azalmalardır. Bunun yanında öğütülmüş gazbeton atığı (ÖGA) katkılı numunelerin KBHA'larında referans numune olan katkısız numunenin KBHA'ına göre önemli sayılabilecek azalmalar tespit edilmiştir. ÖGA katkısının oranı ile KBHA'taki azalma oranı arasında, lastik atık katkısında olduğu gibi pozitif bir korelasyon mevcuttur. ÖGA katkısı ile KBHA'taki azalma oranları %5 GB için %5,8, %10 GB için %8,31 ve %15 GB için %13,1'lik azalma şeklinde olmuştur. %5 GB + %2 L karışımında KBHA'taki azalma oranı %6,47 olarak gerçekleşmiştir. Karışım numuneleri hazırlanırken su muhtevası (w) ve kompaksiyon enerjisi sabit tutulduğu göz önüne alınır, ÖGA'nın zemin daneleri arasında sürtünmeyi TAL'a göre daha fazla arttırdığı bundan dolayı da numunenin aynı kompaksiyon enerjisi ile daha az sıkıştığı söylenebilir.

TAL katkılı numunelerin serbest basınç dayanımlarında %1 L için %27,01 ve %2 L için %27,65'lik artış olduğu gözlenmiştir. %4 L katkılı numunede ise %0,13'lük az bir serbest basınç dayanımı artışı meydana gelmiştir. Buna karşılık TAL katkılı numunelerin CBR deneylerinde, lastik katkı oranları ile CBR değerleri arasında negatif bir korelasyon mevcuttur. Yani artan TAL katkı oranına karşılık azalan CBR değeri görülmüştür. Şekil 4.6 ve Şekil 4.9'daki değerler göz önüne alındığında %2 L katkı oranı TAL için optimum lastik katkı oranı olduğu söylenebilir.

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 incelendiğinde TAL katkılı numunelerin birim boy kısılması eksenel gerilim grafiğinin ÖGA katkılılarından daha çok katkısız numunenin grafiğine benzediği görülebiliyor. Deneyler sırasında yükleme hızı sabit tutulduğuna göre ÖGA katkılı numunelerin şekil değiştirmeye daha dirençli olduğu söylenebilir. Buna karşılık ÖGA katkılı numuneler TAL katkılı numuneler ile yaklaşık aynı dayanıma kadar yükselmiş fakat daha erken kırılmışlardır. Bu durum ÖGA katkılı numunelerin daha plastik, TAL katkılı numunelerin ise daha elastik davranış gösterdiğini işaret etmektedir. Sadece ÖGA katkılı numunelerin serbest basınç dayanımları referans numuneye göre %5 ÖGA için %20,57, %10 ÖGA için %15,3 ve %17 ÖGA için %15,75 artış göstermiştir.

TAL ve ÖGA katkılı %5GB + %2L karışım numunesinin değerleri sadece ÖGA katkılı ve sadece TAL katkılı numunelerin değerleri arasında gerçekleşmiş, serbest basınç dayanımını %19,3 artırmış ve göçmenin gerçekleştiği birim boy kısalması oranı ( $\epsilon$ ) %2,44 olarak gerçekleşmiştir.

Yapılan CBR deneyleri sonucunda Şekil 4.9 incelendiğinde, ÖGA katkılı numunelerin CBR değerlerinde referans katkısız numuneye göre %5 GB için %11,03, %10 GB için %28,97, %15 GB için %18,28 ve %17 GB için %40'lık artış oranları gözlenmiştir. Buna karşılık TAL katkılı numunelerin CBR değerlerinde referans katkısız numuneye göre %1 L için %2,41'lik gibi küçük bir artış oranı söz konusu iken %2 L için %2,07 ve %4 L için %13,79 azalma oranları gözlenmiştir.

Yapılan serbest basınç ve CBR deneylerinin sonuçları, Umu vd. (2014) tarafından standart kum için bildirildiği gibi karışımlarda toz atık lastik (TAL) miktarı arttıkça sonuçların elastik malzeme olan atık lastik tozu sonuçlarına daha yakınlaştığı, ana malzeme olan standart kumun sonuçlara etkisinin azaldığı, dayanımın düştüğü sonucunun, yüksek plastisiteli killi zeminler (CH) için de söylenebileceğini göstermiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre TAL katkısının ve ÖGA katkısının beraber kullanımı ile her iki katkının olumsuz yönlerinde iyileşmeler olduğu görülmüştür. Yapılması muhtemel bir zemin iyileştirme projesinin maliyeti de düşünüldüğünde, optimum olduğunu düşündüğümüz karışım %5 GB + %2 L katkılı numunenin serbest basınç değerinde katkısız numuneye göre %19,30 oranında artış ve CBR değerinde de %27,61 oranında artış ile Serbest Basınç Dayanımı  $4,42 \text{ kg/cm}^2$ , CBR değeri %27,17 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.6 ve Şekil 4.9).

## KAYNAKLAR

- Akbulut, S., Arasan, S., Ekrem Kalkan, E. (2007). Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers. *Applied Clay Science*, 38, 23–32.
- Alpyürür, M., Şenol A. (2018). Yüzeysel zemin iyileştirmesinde yeni bir malzeme olarak atık gazbeton kullanımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 9(2), 168-178.
- Çabalar, A. F., Akbulut, N., Aydın, A. (2013). Gaziantep'teki kil zeminlerin kırmataş ile iyileştirilmesi ve atık lastik-kırmataş karışımları üzerine bir çalışma. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(2), 1-14.
- Karaman, M., Ecemiş, N. (2017, Kasım 22-24). *Kum - lastik kırpıntı çapının ve karışım oranının sıvılaştırma potansiyeline etkisinin sarsma tablası deneyleri ile incelenmesi*. 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul. Erişim adresi: [http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18173\\_01\\_28.pdf](http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18173_01_28.pdf)
- Keskin, S., Laman, M. (2012). Atık lastik - kum karışımlarının kayma mukavemetinin laboratuvar deneyleriyle incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 27-35.
- Kumbasar, V., Kip F. (1999), Endeks özellikleri. *Zemin Mekaniği Problemleri* (6. Baskı) içinde (1-65). İstanbul: Çağlayan Kitabevi
- Türk Standardı. (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini (TS 1900.1-2006).
- Türk Standardı. (2006). İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini (TS 1900.2-2006).
- Umu, S. U., Okur, D. V., Yılmaz, G., Fırat S. (2014). Dinamik yükleme şartlarında kum/lastik karışımlarının rijitlik ve sönüm özelliklerinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 17(1) (Özel Sayı), 13-21.
- Yarbaşı, N. (2016). Atık lastik parçaları ile güçlendirilmiş killi zeminlerin donma-çözülme davranışı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 559-562.
- Yarbaşı, N. (2018). Mermer tozu ve atık lastik ile iyileştirilen düşük plastisiteli killi zeminlerin dayanım özellikleri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(2), 162-170. doi: 10.21324/dacd.412489

# EKLER

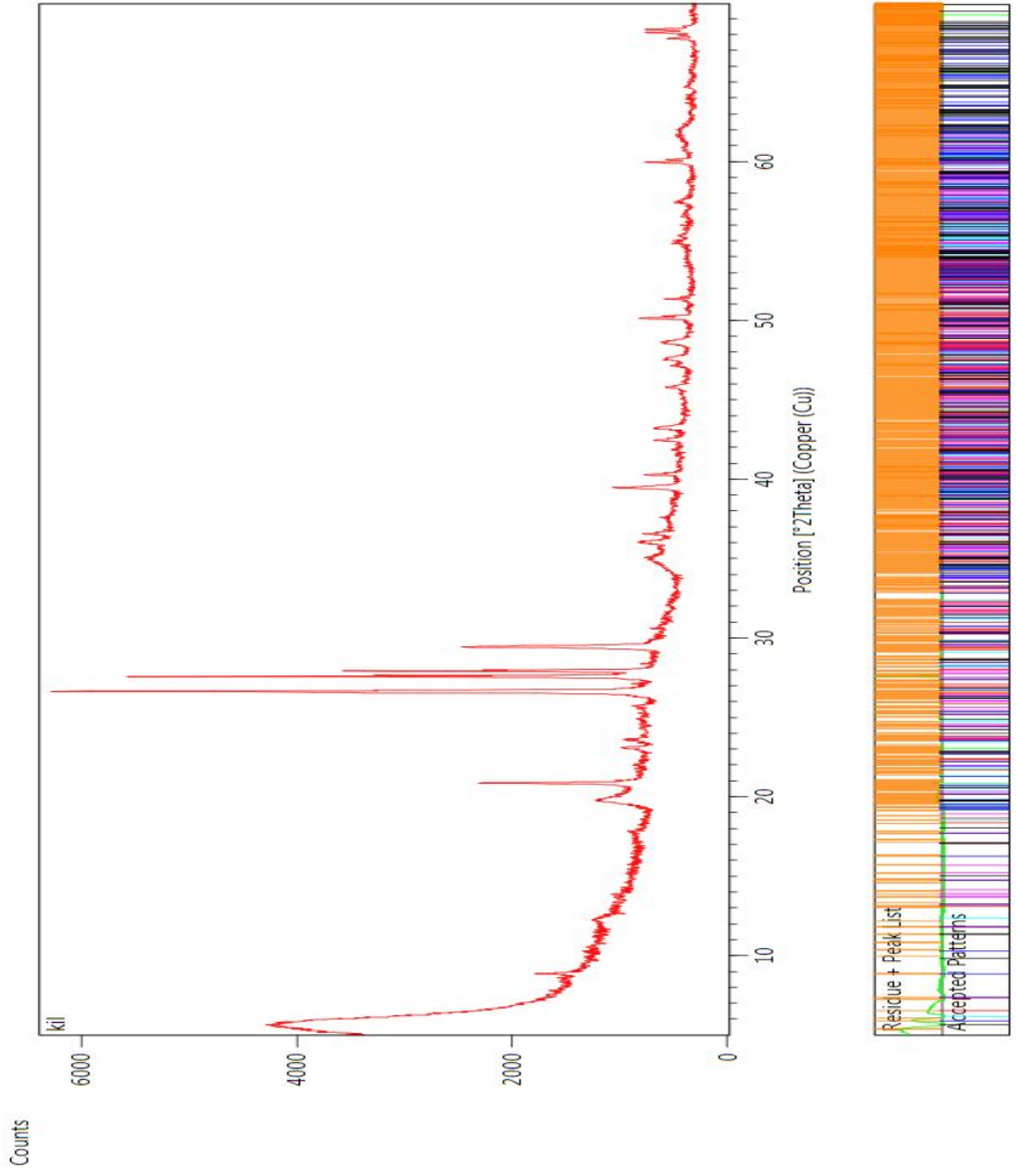
## EK 1

XRD analizi ham grafiği.

User: Canakkale Onsekiz

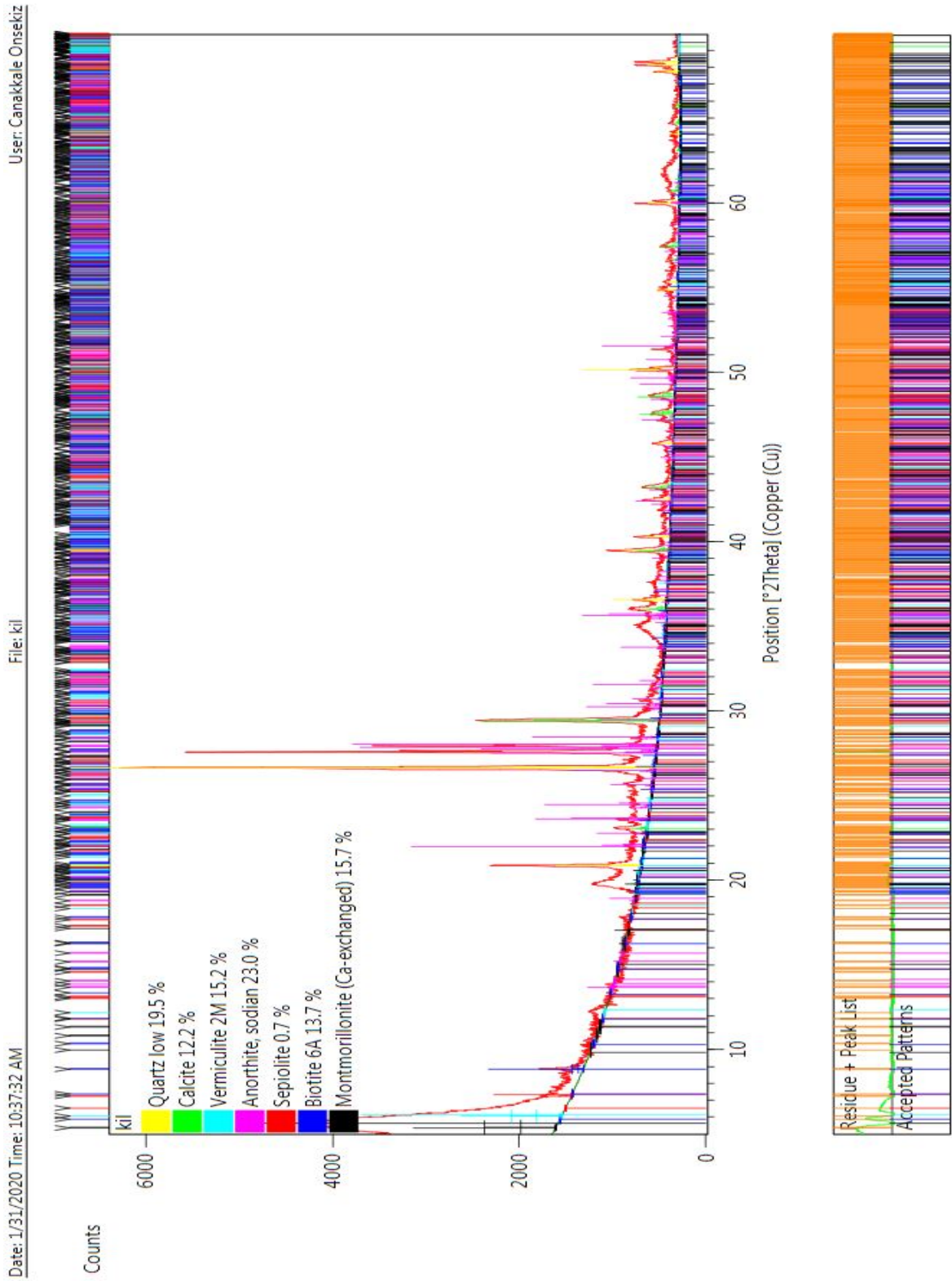
File: kil

Date: 1/31/2020 Time: 10:37:56 AM



## EK 2

XRD analizi işlenmiş veriler grafiği.



## ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Tekirdağ'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tekirdağ'da lise öğrenimini İzmir'de tamamladı. 1999 yılında Marmara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümünden mezun oldu. On yıl matematik öğretmenliği yaptı. İkinci lisansını, 2014-2018 yılları arasında Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde bölüm birincisi olarak tamamladı. İngilizce bilen, evli ve üç çocuk babası olan Harun DEVLET halen kuyumculuk, müteahhitlik ve inşaat mühendisliği yapmaktadır.

