

## Kestelek Bor Atık Kili Katkılı Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Mukavemet Özelliklerinin Araştırılması

Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK<sup>1\*</sup>

Emrah TURAN<sup>1</sup>

**ÖZET:** Bor mineralleri, endüstriyel anlamda yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Dünya bor rezervinin %73'ü ülkemizde bulunmaktadır. Bor minerallerinin üretimi sırasında, bor oksit ile birlikte kil pestili olarak adlandırılan kil içerikli atıklar ortaya çıkmaktadır. Bor üretiminde meydana gelen artışla birlikte açığa çıkan atık kil pestillerinin de artması, depolama problemlerine ve olumsuz çevre etkilerine neden olmaktadır. Bu çalışmada, Kestelek Eti Maden İşletmesi'nden temin edilen atık kil pestilleri belirli yüzdelerde (%10, %30, %50, %70) yüksek plastisiteli bir kile katılarak atık kil pestillerinin yüksek plastisiteli kil zeminlerin stabilizasyonunda katkı maddesi olarak değerlendirilebilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, yüksek plastisiteli bir doğal kil, farklı yüzdelerde atık kil pestili içeren kiler ve atık kil pestili üzerinde kıvam limitleri deneyleri, standart proktor deneyi ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları, atık kil pestillerinin, yüksek plastisiteli kilerin serbest basınç mukavemetini artırdığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bor atığı, kil, kil pestili, stabilizasyon, serbest basınç mukavemeti

### Investigation of Strength Properties of a High Plasticity Clay with Kestelek Boron Waste Clay Additive

**ABSTRACT:** Boron minerals have a wide usage in industrial area. 73% of the World's boron reserves are located in Turkey. During the production of boron minerals, boron oxide and clay-containing wastes are occurred. Due to the increase in boron production, the increase in waste clays, leads to the storage problems and negative environmental effects. In this study, waste clays from Kestelek Eti Mine Plant were added at certain percentages (10%, 30%, 50%, 70%) to a clay with high plasticity for investigation the stabilisation of clayey soils. For this purpose, consistency limit tests, standard proctor tests and unconfined compressive strength tests were conducted on the high plasticity clay, high plasticity clay with clay waste additives and waste clay samples. Test results showed that with increasing waste clay percentage, the unconfined compressive strength values of high plasticity clay were increased.

**Keywords:** Boron waste, clay, stabilization, unconfined compressive strength

<sup>1</sup> Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK (**Orcid ID:** 0000-0002-6323-8652), Emrah TURAN (**Orcid ID:** 0000-0003-2425-6118), Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Zeynep Neşe KURT ALBAYRAK, e-mail: znkurt@atauni.edu.tr

## GİRİŞ

Killer, geoteknik mühendisliği alanında sıklıkla karşılaşılan ince taneli zeminlerdir. Katı atık depolama alanlarında geçirimsiz şilte olarak veya toprak dolgu barajlarda geçirimsizliği sağlayıcı çekirdek olarak killerden faydalanılmaktadır. Bu amaçlarda kullanılacak killerin geçirimsizlik özelliklerinin yanı sıra mukavemetlerinin de yüksek olması tercih edilen bir durumdur. Killer, suyla etkileşime girdiklerinde suyu bünyelerine alarak şişme, suyu kaybettiklerinde büzülme gibi hacim değişiklikleri meydana gelmektedir. Killerde meydana gelen hacim değişiklikleri, geoteknik özelliklerinde de değişiklikler meydana gelmesine neden olmaktadır. Kil zeminlerin özelliklerinin iyileştirilebilmesi için kil zeminlerin çeşitli kimyasallar, atık malzemeler veya diğer tür zeminlerle karıştırıldığı çalışmalar mevcuttur (Akbulut ve Sağlamer, 2004; Kalkan ve Akbulut, 2004; Yarbaşı ve ark., 2007).

Bor mineralleri, endüstriyel anlamda yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Dünya bor rezervlerinin yaklaşık %73'ü Türkiye'de bulunmaktadır (Anonim, 2018). Ülkemizde açık ocak madenciliği şeklinde gerçekleştirilen borat madenciliğinde kazanılan bor cevherleri, yıkama, dağıtma ve boyuta göre sınıflandırma şeklinde gerçekleştirilen zenginleştirme işlemleri ile elde edilmektedir (Oruç ve ark., 2004). Zenginleştirme işlemi, kilin suda şişmesi ile bor minerallerinden ayrılması özelliğinden yararlanarak su ile ayırma şeklinde uygulanmaktadır (Aytekin ve ark., 1992). Bor minerallerinin üretimi esnasında gerçekleştirilen cevher zenginleştirme sürecinde ortaya çıkan, içerisinde bor oksit yanında kil mineralleri de barındıran katı atıklar kil pestili olarak adlandırılmaktadır (Uğurlu ve ark., 2004; Akçaözöğlü ve Akçaözöğlü, 2016). Bor üretimi sırasında ortaya çıkan atıkların artışı çevresel sorunlara, ekonomiklik oranının düşmesine, ayrıca depolama alanı problemlerine neden

olmaktadır. Bu atıklardan borun geri kazanımı ya da diğer alanlarda değerlendirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Bozkurt, 1989; Köse ve ark., 1989; Aytekin ve Badruk, 1992). İnşaat mühendisliği alanında yapılan çalışmalarda, boraks atıklarının sahip olduğu hafif puzolanik karakterden dolayı daha ziyade tuğla ve çimento üretimi üzerine yoğunlaşmıştır (Uğurlu ve ark., 2004).

Tuğla üretimi ile ilgili olarak, Sönmez ve Yorulmaz (1995), bor türevleri atık killerin tuğla toprağı ile karıştırılarak tuğla yapımında kullanılabileceğini deneysel olarak ortaya koymuşlardır. Diğer bir çalışmada, Seydişehir kırmızı çamuruna Kırka işletmesinden temin edilen bor atık killeri katılarak yüksek mukavemetli ve düşük su emme özelliğine sahip kaliteli tuğla imal edilebilmiştir (Kavas ve Emrulloğlu, 1999). Çimento ile ilgili olarak, kil pestillerinin çimento içerisinde kullanılabilirliğinin ve bor mineralleri ile atıklarının çimentoda kullanım yöntemlerinin araştırıldığı çalışmalar yapılmıştır (Uğurlu ve ark., 2004; Demirel ve Nasiroğlu 2017). Ayrı bir çalışmada ise, Bigadiç borat işletmelerinde ortaya çıkan atık çamur çimentoya ilave edilmiş ve hazırlanan numunelerin basınç dayanımlarının zamanla arttığı bulunmuştur (Okucu, 2010).

Bor atığı killerin geoteknik mühendisliği alanında değerlendirilmesi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ulutaş ve ark. (2014) çalışmalarında Kırka Bor işletmesinden temin ettikleri bor atığı kilin geoteknik, kimyasal ve yapısal özelliklerini incelemiş ve Kırka bor atığı kilinin katı atık depolama alanlarında kullanılabilir olduğunu vurgulamışlardır. Banar ve ark. (2016) Kırka Bor İşletmesi'nden temin edilen bor atığı killeri kullanarak bentonit, atık lastik ve bitüm ile geosentetik bariyer üretmişlerdir. Banar ve ark. (2017) bor atığı killeri bentonit ve atık lastik ile karıştırmış ve

bunların geçirimsiz şilte olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır.

Bu çalışmada, Erzurum-Horasan'dan temin edilen ve yüksek plastisiteli olduğu belirlenen bir doğal kile, Eti Maden Kestelek Bor İşletmesi Müdürlüğü'nden temin edilen atık kil pestilleri belirli yüzdelerde (%10, %30, %50 ve %70) katılarak, atık kil pestillerinin doğal kilin mukavemet özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle doğal kilin ve atık kilin geoteknik özellikleri belirlenmiştir. Atık kil pestili katkılı kil numunelere ait deney sonuçları, doğal kile ait deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Doğal Kil

Deneylerde kullanılan yüksek plastisiteli doğal kil (K) Erzurum-Horasan Kırkgözeler Köyü Mevkiinden temin edilmiştir. Doğal kil etüvde (105°C) kurutulup Los Angeles Aşındırma Cihazı'nda öğütülmüş ve 40 nolu elekten elenerek deneylerde kullanılmıştır.

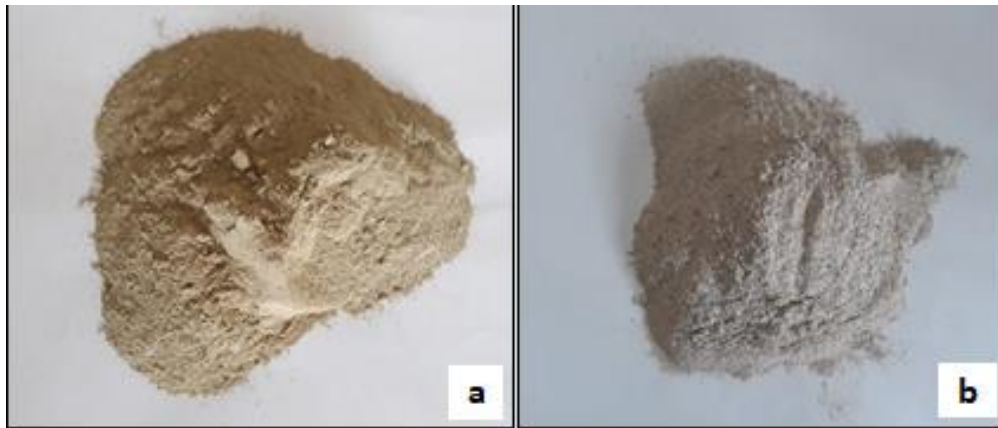
### Atık Kil Pestili

Doğal kile katılacak olan atık kil pestili, Eti Maden Kestelek Bor İşletmesi Müdürlüğü bünyesindeki bor maden ocaklarından getirilmiştir. Atık kil pestilleri etüvde (105°C)

kurutulup Los Angeles Aşındırma Cihazı'nda öğütülmüş ve 40 nolu elekten elenerek deneylerde kullanılmıştır. Şekil 1'de doğal kil ve atık kil pestili görülmektedir. Çizelge 1'de doğal kile ve atık kil pestiline ait bazı geoteknik özellikler verilmiştir.

### Numunelerin Hazırlanması

Atık kil pestillerinin doğal kilin mukavemet özelliklerine olan etkisini belirlemek için, gerçekleştirilmiş olan ön deneyler sonucunda elde edilen oranlarda atık kil, katkı olarak doğal kile ilave edilmiştir. Deney programı Çizelge 2'de verilmektedir. Katkılı kil numuneler, atık kil pestilinin doğal kile ağırlıkça belirli yüzdelerde katılarak kuru halde karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Çizelge 2'de K numunesi %100 doğal kilden, A numunesi %100 atık kil pestilinden oluşmaktadır. KA1 numunesi, doğal kil ile doğal kilin ağırlıkça %10'u oranında atık kil pestilinin kuru halde karıştırılmasıyla elde edilmiştir. KA3, KA5 ve KA7 numuneleri elde edilirken, doğal kil ile sırasıyla doğal kilin ağırlıkça %30, %50 ve %70'i oranında atık kil pestili kuru halde karıştırılmıştır.



Şekil 1. a) Doğal Kil b) Kestelek bor atık kil pestili

**Çizelge 1.** Doğal kile ve atık kil pestiline ait bazı geoteknik özellikler

Numune	Doğal Kil	Bor Atık Kil Pestili
Özgül ağırlık, G <sub>s</sub>	2,84	2,38
Likit limit, w <sub>L</sub> , %	131	68
Plastik limit, w <sub>P</sub> , %	48	30
Plastisite indisi*, IP, %	83	38
Zemin sınıfı**	CH	CH
Optimum su içeriği, w <sub>opt</sub> , %	30	21,5
Maksimum kuru birim hacim ağırlık, $\gamma_{kmax}$ , kN/m <sup>3</sup>	14,7	15,2
Serbest basınç mukavemeti, q <sub>u</sub> , kPa	467	230

\*(Plastisite İndisi)=w<sub>L</sub>-w<sub>P</sub>

\*\*Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne göre belirlenmiştir

**Çizelge 2.** Deney programı

Numune	Doğal Kil (%)	Bor Atık Kil Pestili (%)
K	100	-
KA1	90	10
KA3	70	30
KA5	50	50
KA7	30	70
A	-	100

**Deneyleer**

Doğal kil, atık kil pestili ve atık kil pestili katkılı kil numuneler üzerinde kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır. Numunelerin likit limitleri, düşen koni penetrometre metodu ile (BS 1377), plastik limitleri ASTM D 4318-17'ye göre belirlenmiştir. Likit limit deneyi yapılırken, numuneler su ilave edilerek yoğrulmuş ve penetrasyon kalıbına yerleştirildikten sonra, numune üzerine konik uç düşürülmüş ve 5 saniye sonundaki batma miktarı tespit edilmiştir. Bu işlem farklı su içeriklerinde tekrarlanmıştır. Deney sonunda her bir batma için elde edilen su içeriği değerleri bulunmuş, 20 mm lik batmaya karşılık gelen su içeriği değeri likit limit değeri olarak alınmıştır.

Numunelerin optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı değerleri ASTM D 698-12'ye göre gerçekleştirilen standart proktor deneyi ile belirlenmiştir. Standart proktor deneyinde doğal kil ve atık kil pestili katkılı numuneler, 10,2 cm yüksekliğinde

ve 11,7 cm çapında metal silindir kompaksiyon kalıbı içerisine her tabakaya 25'er vuruş yapılmak suretiyle üç tabaka halinde sıkıştırılmıştır. Proktor deneyi sonucunda çizilen su içeriği (%w), kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_k$ ) eğrisi kompaksiyon eğrisi olup, kompaksiyon eğrisinde, kuru yoğunluğun, diğer bir değişle sıkıştırmanın en yüksek olduğu durumdaki su içeriği zeminin en iyi sıkıştırılabildiği su içeriğidir. Maksimum kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{kmax}$ ) ve optimum su içeriği (w<sub>opt</sub>) değerleri kompaksiyon eğrisinin pik noktasından bulunmaktadır.

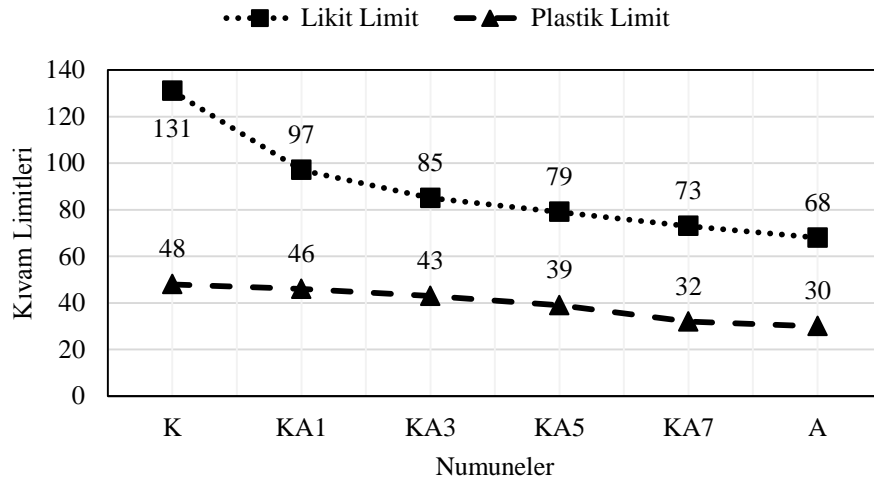
Numunelerin serbest basınç mukavemetleri ASTM D 2166-16 ile bulunmuştur. Serbest basınç mukavemetleri optimum su içeriğinde hazırlanmış olan kompaksiyon numunelerinden, 35 mm çapında, 70 mm yüksekliğindeki silindir metal tüpler içerisine alınan örnekler üzerinde yapılan serbest basınç deneyleriyle belirlenmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

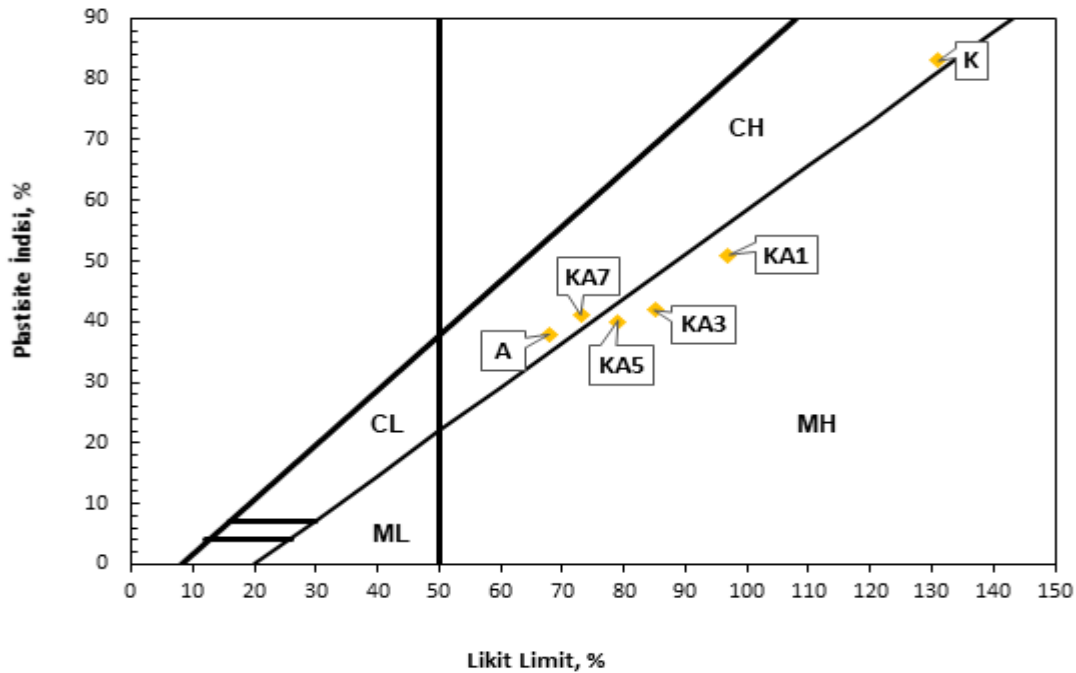
### Kıvam Limitleri Deneyleri

Doğal kile katılan atık kil pestili yüzdesinde meydana gelen artışla numunelerin likit limit ve plastik limit değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür (Şekil 2). %70 atık kil pestili katkılı kilin likit limiti, doğal kilin likit limitine göre %44 oranında, plastik limiti doğal kilin plastik limitine göre %33 oranında azalmıştır. Doğal kilin zemin sınıfı Birleştirilmiş

Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre yüksek plastisiteli kil (CH) olarak belirlenmiştir. Atık kil pestilinin %30 ve %50 oranlarında olması durumunda zemin sınıfı yüksek plastisiteli silt (MH) sınıfına dönüşmüş, atık kil pestili %70 olduğunda numune yeniden CH özelliği kazanmıştır. Atık kil pestilinin zemin sınıfı da CH olarak belirlenmiştir. Şekil 3'de numunelerin Casagrande Plastisite Grafiği ile belirlenmiş olan zemin sınıfları görülmektedir.



Şekil 2. Atık kil pestili katkılı numunelerin kıvam limitlerinde meydana gelen değişim

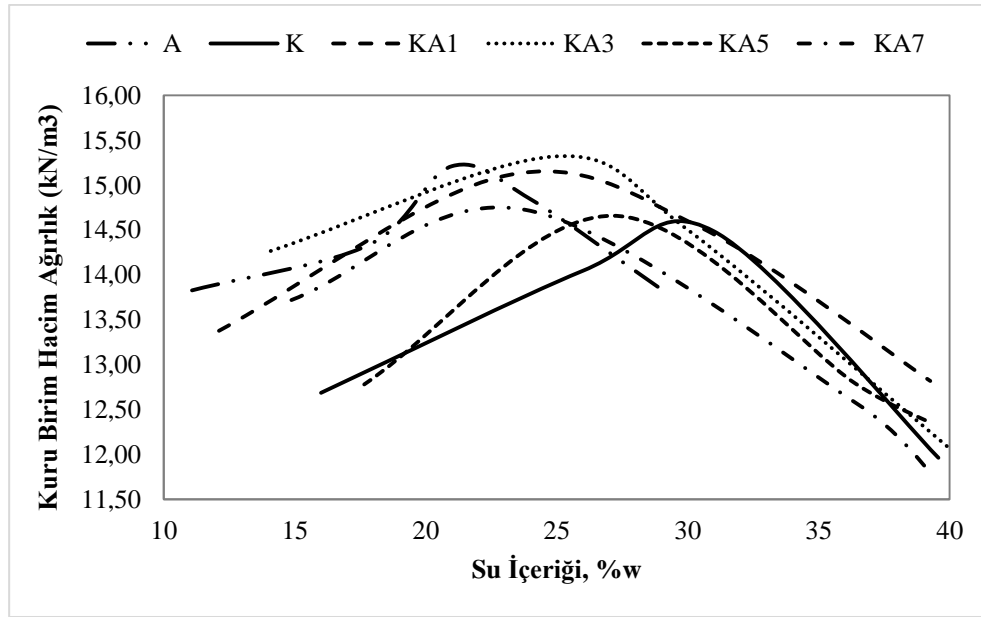


Şekil 3. Casagrande Plastisite Grafiği'nde katkılı killerin zemin sınıfları

### Standart Proktor Deneyleri

Doğal kilin, atık kil pestilinin ve atık kil pestili katkılı kil numunelerinin Standart proktor deneyi sonucunda çizilmiş olan kompaksiyon eğrileri Şekil 4'te görülmektedir. Numunelerin kompaksiyon parametreleri Çizelge 3'de, atık kil pestili yüzdesindeki artışla numunelerin optimum su içeriğinde ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında meydana gelen değişim ise Şekil 5'te verilmiştir. Yüksek plastisiteli doğal kile katılan atık kil pestili yüzdesinde meydana

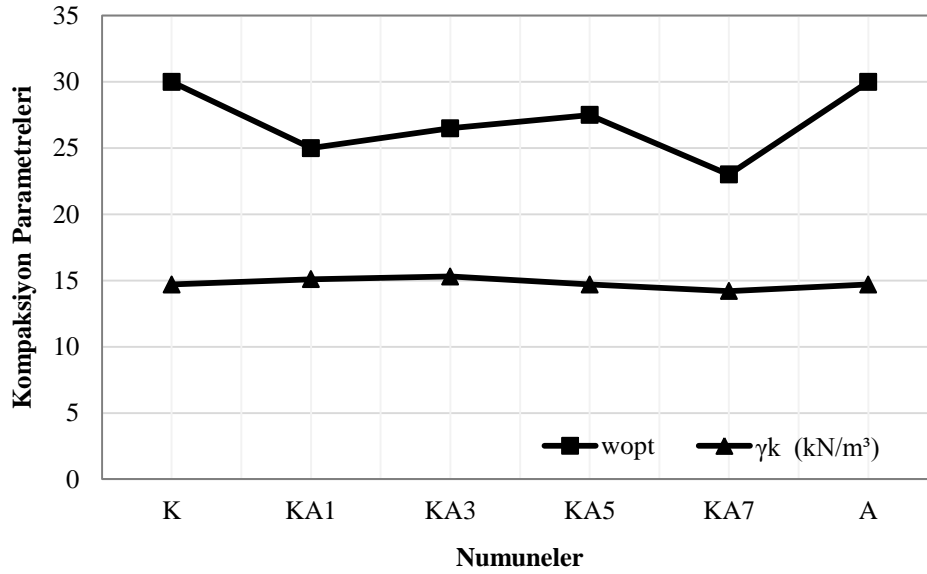
gelen artışla numunelerin optimum su içeriklerinde doğal kile göre azalma meydana geldiği görülmüştür (Şekil 5). %70 atık kil pestili katkılı kilin optimum su içeriği, doğal kilin optimum su içeriğine göre %23 oranında azalmıştır. Atık kil pestili yüzdesindeki artışla maksimum kuru birim hacim ağırlıklarda artış meydana gelmiştir. %70 atık kil pestili katkılı numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığı, doğal kilin maksimum kuru birim hacim ağırlığına göre %3,4 oranında artmıştır.



Şekil 4. Numunelerin kompaksiyon eğrileri

Çizelge 3. Atık kil pestili katkılı killerin kompaksiyon parametreleri

Numune	Optimum Su İçeriği %	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )
K	30	14,7
KA1	25	15,1
KA3	26,5	15,3
KA5	27,5	14,7
KA7	23	14,2
A	21,5	15,2



Şekil 5. Atık kil pestili katkılı numunelerin kompaksiyon parametrelerinde meydana gelen değişim

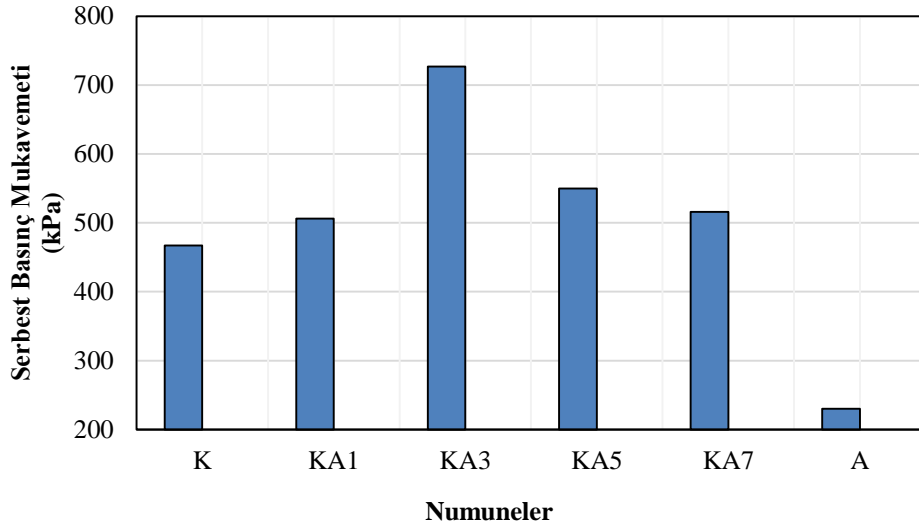
#### Serbest Basınç Deneyleri

Doğal kilin, atık kil pestilinin ve atık kil pestili katkılı kil numunelerin serbest basınç deneyleri, standart proktor enerjisinde sıkıştırılan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin serbest basınç mukavemeti değerleri Çizelge 4’te verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde doğal kilin serbest basınç mukavemetinin 467 kPa, atık kil pestilinin serbest basınç mukavemetinin 230 kPa olduğu görülmektedir. Atık kil pestili yüzdesi %10, %30, %50 ve %70 için serbest basınç

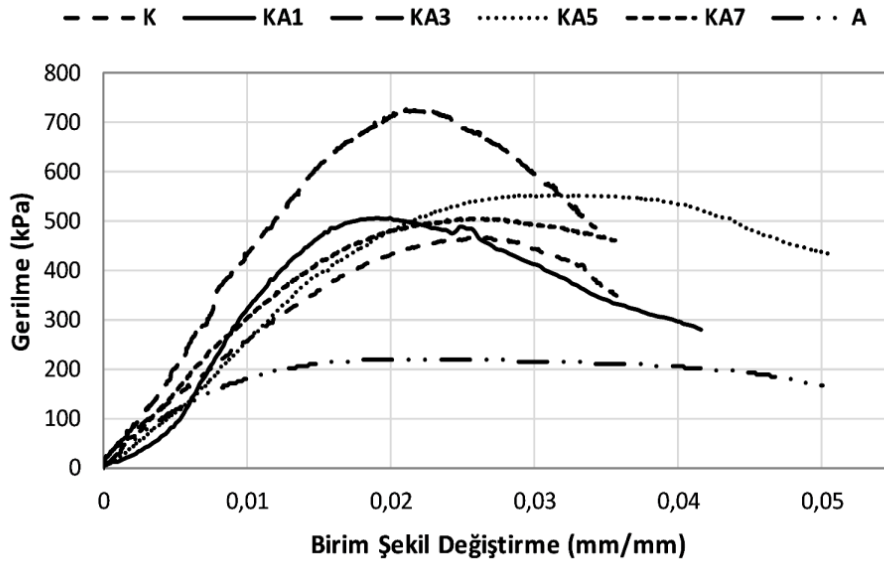
mukavemetleri doğal kile göre sırasıyla, %8.4, %56, %18, %10 oranlarında artmıştır. Bu sonuçlara göre, serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen en yüksek artışın %30 atık kil pestili yüzdesinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Atık yüzdelerinde meydana gelen artışla numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen değişim Şekil 6’da görülmektedir. Numunelerin serbest basınç deneyi sırasında elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrileri Şekil 7’de verilmiştir.

Çizelge 4. Numunelerin serbest basınç mukavemetleri

Numune	Serbest Basınç Mukavemeti (kPa)
K	467
KA1	506
KA3	727
KA5	550
KA7	516
A	230



Şekil 6. Atık kil pestili katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen değişim



Şekil 7. Atık kil pestili katkılı numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrileri

## SONUÇ

Bu çalışmada, Erzurum-Horasan'dan temin edilen doğal bir kile, Eti Maden Kestelek Bor İşletmesi Müdürlüğü'nden temin edilen atık kil pestilleri belirli yüzdelerde (%10, %30, %50 ve %70) katılarak, atık kil pestillerinin doğal kilin mukavemet özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

Doğal kile katılan atık kil pestili yüzdesinde meydana gelen artışla numunelerin likit limitleri ve plastik limitleri azalmıştır. Atık kil pestili katkısı yüksek plastisiteli kil zeminin kıvam özelliklerini değiştirmiştir.

Atık kil pestili yüzdesi arttıkça numunelerin optimum su içerikleri doğal kile göre azalmış, maksimum kuru birim hacim ağırlıklar artmıştır.



Numunelerin serbest basınç mukavemetleri, atık kil pestili yüzdesinde meydana gelen artışla artış göstermiştir. Serbest basınç mukavemetinde meydana gelen en yüksek artış %30 atık kil pestili katkılı numunelerde gerçekleşmiştir.

Bor üretimindeki artışla birlikte ortaya çıkan atık kil pestili miktarının da artacağı bilinmektedir. Atık kil pestillerinde meydana gelen artış, depolama problemlerini ve olumsuz çevre etkilerini de beraberinde getirecektir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, Eti Maden Kestelek Bor İşletmesi'nde bor üretimi sırasında ortaya çıkan ve atık kil pestili olarak adlandırılan bor atığı killerin, CH kilinin serbest basınç mukavemeti üzerinde olumlu etkileri olduğu görülmüştür. Atık kil pestili katkısıyla likit limitin ve optimum su içeriğinin azalması ve serbest basınç mukavemetinde meydana gelen artış nedeni ile kil pestillerinin, CH killerinin stabilizasyonunda katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince 6785 Numaralı proje olarak desteklenmiştir. Anılan destek nedeni ile Atatürk Üniversitesi'ne ayrıca atık kil pestili temini sağlayan Eti Maden Genel Müdürlüğü ve Kestelek İşletmesi Müdürlüğü'ne teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

Akbulut S, Sağlamer A, 2004. Modification of Hydraulic Conductivity In Granular Soils Using Waste Materials. Waste Management, 24 (5): 491-499.

Akçaözoğlu S, Akçaözoğlu K, 2016. Atık Kil Pestili ve Atık Pet Şişe Kırıklarının Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5 (2): 218-226.

Anonim, 2018. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bor Sektör Raporu, [http://www.etimaden.gov.tr/storage/uploads/2018/05/2017-Bor-Sektö%CC%88r-Raporu-23\\_05\\_2018.pdf](http://www.etimaden.gov.tr/storage/uploads/2018/05/2017-Bor-Sektö%CC%88r-Raporu-23_05_2018.pdf). (Erişim Tarihi:15.11.2018).

ASTM D 2166-16, 2016. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. ASTM West Conshohocken, PA.

ASTM D 4318-17, 2017. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM West Conshohocken, PA.

ASTM D 698-12, 2012. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. ASTM West Conshohocken, PA.

Aytekin Y, Akdağ M, Türkmen Y, Batar T, Badruk M, 1992. Tinkal (Boraks) Cevherinin Patlatma Yoluyla Zenginleştirilebilirliğinin ve Bu Yöntemin Bilinen Mevcut Yöntemler Yerine İkamesinin Araştırılması. TÜBİTAK MAG 838 Sonuç Raporu 1992, İzmir.

Aytekin Y, Badruk M, 1992. Emet kolemanit cevherinin dekrepitasyon yoluyla zenginleştirilebilirliğinin araştırılması. 1. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, 2: 549-562, Antalya.

Banar M, Güney Y, Özkan A, Günkaya Z, Bayrakçı E, Ulutaş D, 2016. Utilization of Waste Clay from Boron Production in Bituminous Geosynthetic Barrier (GBR-B) Production as Landfill Liner. International Journal of Polymer Science, 2016: 1-8.

Banar M, Güney Y, Özkan A, Günkaya Z, Bayrakçı E, Ulutaş D, 2017. Utilisation of Waste Clay From Boron Production as a Landfill Liner Material. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 1-17.

Bozkurt R, 1989. Minerolojik İncelemelerin Cevher Zenginleştirmedeki Rolüne İki Örnek. Anadolu Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakülte Dergisi, 5: 15-21.

- BS 1377, 1990. Methods of Test for Soils For Civil Engineering Purposes. Classification Tests. Türk Standartları Enstitüsü.
- Demirel B, Nasıroğlu S, 2017. Bor Mineralleri ve Atıklarının Çimento Kullanılma Stratejileri. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29 (1): 95-100.
- Kalkan, E, Akbulut, S, 2004. The Positive Effects of Silica Fume on The Permeability, Swelling Pressure and Compressive Strength of Natural Clay Liners. Engineering Geology. 73 (1-2): 145-156.
- Kavas T, Emrullahoğlu Ö, 1999. Seydişehir Kırmızı Çamuru ve Kırka Bor Atıklarının Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı, 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, 216-225.
- Köse M, Ertekin S, Gündüz M, Oztoprak M. 1989. Emet konsantratör atık barajındaki arsenik ve kolemanitleri seçimli olarak kazanma imkânları. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik II. Kongresi. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 407-415, Ankara.
- Okucu A, 2010. Farklı Endüstriyel Katı Atıkların Çimento Harçlarının Dayanımına Etkisinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22 (2): 181-186.
- Oruç F, Sabah E, Erken Z E, 2004. Türkiye'de bor atıklarını sektörel bazda değerlendirme stratejileri. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir.
- Sönmez E, Yorulmaz S. 1995. Kırka boraks işletmesi artık killerin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 21-22 Nisan 1995, 163-168, İzmir.
- Uğurlu A, Özdemir M, Topçu İ, 2004. Bor içeren kil atıkların çimento içerisinde değerlendirilmesi. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004, Eskişehir.
- Ulutas D, Bayrakci E, Cokaygil Z, Ozkan A, Guney Y, Banar M, 2014. Geotechnical, Chemical and Structural Characterization of Waste Clay From Boron Production. Athens Journal of Technology Engineering, 1: 171-179.
- Yarbaşı N, Kalkan E, Akbulut S, 2007. Modification of The Geotechnical Properties, as Influenced by Freeze-Thaw, of Granular Soils With Waste Additives. Cold Regions Science and Technology, 48 (1): 44-54.