

## Şeker Pancarı Atığı Katkılı Kil Zeminin Serbest Basınç ve Konsolidasyon Verilerinin İrdelenmesi

İlkim ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ<sup>1,a</sup>, Baki BAĞRIAÇIK<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Adana

<sup>a</sup>ORCID: 0009-0001-1729-2471; <sup>b</sup>ORCID: 0000-0002-1860-2881

### Makale Bilgileri

Geliş : 27.03.2024

Kabul : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1606445

### Sorumlu Yazar

İlkim ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ

iozbahceci@cu.edu.tr

### Anahtar Kelimeler

Zemin iyileştirme

Atık

Serbest basınç Mukavemeti

Konsolidasyon

Sürdürülebilirlik

**Atf şekli:** ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ, İ., BAĞRIAÇIK, B., (2024). Şeker Pancarı Atığı Katkılı Kil Zeminin Serbest Basınç ve Konsolidasyon Verilerinin İrdelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 1081-1092.

### ÖZ

Yapılan bu çalışmada toz şeker üretiminde kullanılan şeker pancarının işleme sonrası arta kalan posaları ile zeminin geoteknik özelliklerine katkısı incelenmiştir. Şeker pancarı posası bol miktarda su içeriğine sahiptir. Suyu uzaklaştırmak amacı ile şeker pancarı 1 gün süre ile etüv yardımı ile kurutulmuştur. Şeker pancarı atığı (ŞPA) öğütülerek elek analizi yapılmıştır. ŞPA katkısının optimum miktarını belirlemek amacı ile doğal kil zemine %0,25, %0,5, %0,75, %0,85 ve %1 oranlarında şeker pancarı atığı içeren serbest basınç numuneleri hazırlanmıştır. Ek olarak zemin iyileştirmeye katkısı bilinen biyopolimerlerin ŞPA ile çalışıp çalışmayacağı belirlenmek için Arabic Gum (AG) kullanılmıştır. Arabic Gum (AG) katkılı numuneler 7 farklı yüzde içeriği ile hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler ile optimum atık ve biyopolimer oranı bulunmuştur. Optimum oranları belirlenen ŞPA + AG karışımı olumlu sonuç vermemiştir. İdeal kür süresini belirlemek için belirlenen oranda ŞPA içeren zemine 1, 3, 5, 7 ve 10 gün kür süresi ile serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur. Doğal kil zemin ve ŞPA katkılı optimum oranlarda hazırlanan zemin numunesi dayanım değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçta optimum oranlarda atık içeriği ile hazırlanan zemin, doğal kil zeminden 3,62 oranında daha fazla dayanıma sahiptir. Biyopolimer katkısı eklenen ŞPA numuneleri olumlu sonuç vermemiştir. Fakat konsolidasyon deneyi aşamasında optimum oranda biyopolimer eklenmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Tüm seri deneyler sonucunda şeker pancarı atığının killi zeminin dayanım ve konsolidasyon parametrelerinde iyileşme sağladığı sonucuna varılmıştır.

## Analysis of Unconfined Compression Test and Consolidation Data of Clay Soil Added with Sugar Beet Waste

### Article Info

Received : 27.03.2024

Accepted : 23.12.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1606445

### Corresponding Author

İlkim ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ

iozbahceci@cu.edu.tr

### Keywords

Soil improvement,

Waste

Unconfined compressive strength

Consolidation

Sustainability

**How to cite:** ÖZBAHÇECİ GÖKDENİZ, İ., BAĞRIAÇIK, B., (2024). Şeker Pancarı Atığı Katkılı Kil Zeminin Serbest Basınç ve Konsolidasyon Verilerinin İrdelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 1081-1092.

### ABSTRACT

In this study, the contribution of the remaining pulp of sugar beet used in granulated sugar production to the geotechnical properties of the soil was investigated. Sugar beet pulp has a large amount of water content. In order to remove water, sugar beet was dried with the help of an oven for 1 day. Sugar beet waste (SPA) was ground and sieve analysis was performed. In order to determine the optimum amount of SPA additive, free pressure samples containing sugar beet waste at the rates of 0,25%, 0,5%, 0,75%, 0,85% and 1% were prepared for natural clay soil. In addition, Arabic Gum (AG) was used to determine whether biopolymers known to contribute to soil improvement would work with SPA. Samples with Arabic Gum (AG) additive were prepared with 7 different percentage contents. The optimum waste and biopolymer ratio was found with the prepared samples. The SPA + AG mixture with the optimum ratios determined did not give positive results. In order to determine the ideal cure period, the soil containing the determined amount of SPA was subjected to unconfined compression test with a cure period of 1, 3, 5, 7 and 10 days. The strength values of the soil samples prepared with optimum ratios of natural clay soil and SPA additives were compared. As a result, the soil prepared with optimum ratios of waste content has 3.62 more strength than the natural clay soil. SPA samples with biopolymer additive did not give positive results. However, optimum ratio of biopolymer was added during the consolidation test stage and positive results were obtained. As a result of all series of experiments, it was concluded that sugar beet waste provided improvement in the strength and consolidation parameters of the clay soil.

## 1. GİRİŞ

Yaşam boyunca hayatımızı devam ettirebilmemiz için farklı ihtiyaçlarımız vardır. İnşaat mühendisliği alanında karşılamamız gereken ihtiyacımız ise barınma ihtiyacıdır. İnsanlar geçmişten günümüze kadar barınma ihtiyacını karşılamak için ağaç dallarından, çamurdan vb. malzemelerden barınak inşa etmişlerdir. Günümüze kadar gelişen ve iyileşen teknolojiyle birlikte betonarme olarak adlandırılan çok katlı binalar yapılmaktadır. Artan nüfusla birlikte yapılan binalar yetersiz gelmekte ve yeni inşaat alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat inşaat için uygun olan alanların azalmasıyla birlikte tarım arazileri imara açılmaya başlanmıştır. İnşaat mühendisliğinin bir dalı olan geoteknik mühendisliği ise yapı yapmaya uygun olmayan bu alanların çeşitli yöntemler aracılığı ile iyileştirerek inşaata uygun hale getirmeye çalışmaktadır. Bu çalışmada da inşaat yapmaya uygun olmayan doğal kil zemini şeker pancarı atığı yardımı ile dayanım ve konsolidasyon özellikleri açısından incelenmiştir.

Şeker pancarı atığı (ŞPA) şeker fabrikalarında toz şeker üretimi esnasında ortaya çıkan bir atık türüdür. Bu atık biyogaz üretiminde ve hayvanların besin ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Fakat ortaya çıkan bu atık yüksek miktarlarda olduğu için kullanım alanı yetersiz gelmektedir. Kalan atıklar bozulma yaşadığı için görüntü ve koku olarak kirlilik yaratmaktadır. Bu sebep dolayısı ile bu çalışmada ŞPA'nın geoteknik alanında kullanımının yer edip edemeyeceği araştırılmıştır. Hedeflenen amaç kullanılan atığın dayanımı düşük kil zeminin dayanımı artırıp artırmayacağıdır.

Aksoy ve Yıldırım [1] yürüttükleri çalışmada kaolin kilinin mukavemetini Polipropilen Elyaf (PPF) lifleri ve Polietilen Tereftalat (PET) talaşları yardımı ile artırmaya çalışmışlardır. Kaolin kiline ağırlıkça %0, %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında PPF lifleri ve PET talaşları eklenerek numuneler hazırlanmıştır. Numunelere serbest basınç deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda katkılı kaolin kilinin mukavemetinde dikkate değer artışlar olduğu tespit edilmiştir. %2,0 PPF eklenen kaolin kilinin serbest basınç mukavemeti, katkısız kaolin kili numunelere göre %116 oranında artış göstermiştir. %2 oranında PET katkısı ile iyileştirilen kaolin kilinde ise serbest basınç mukavemeti %36 artış göstermiştir.

Büyüköflaz [2] tez çalışmasında kireç ve uçucu kül ile stabilize edilmiş yüksek plastisiteli kil zemine atık lastik eklendiğinde meydana gelecek değişimleri incelemiştir. Bu amaç doğrultusunda kireç oranı sabit tutularak farklı oranlarda uçucu kül ve atık lastikler ekleyerek deneyler yapılmıştır. Karışım haline gelen zemine kıvam limit, kompaksiyon, şişme potansiyeli, serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda şişme potansiyelinin azaldığı ve serbest basınç dayanımının arttığı görülmüştür.

Topçuoğlu ve Gürocak [3] çalışmalarında bentonit kilini stabilize etmek amacıyla optimum bazalt fiber oranını bulmaya çalışmışlardır. 6 mm uzunluğunda farklı oranlarda bazalt fiber ekleyerek numuneler hazırlamışlardır. Sonucunda ise 6mm uzunluğunda %4 oranında bazalt fiber içeren numunenin en yüksek dayanıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Kabeta [4] çalışmasında zayıf killi bir zemine ağırlıkça %0,2, %0,3 ve %0,4 oranlarında plastik atık içeren numuneler hazırlanmıştır. Numunelere CBR deneyi serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, plastik atıklarla stabilize edilen zeminin mukavemetinde artış meydana gelmiştir. CBR deneyinden elde edilen sonuca göre, CBR değerinde artış yaşanmıştır. Serbest basınç deneyinde ise %0,4 plastik atık içeren numunenin dayanımı %138 oranında artmıştır. Sonuç olarak, çalışmada kullanılan plastik atık maddenin mühendislik özellikleri düşük bir kil zeminde iyileştirme aracı olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Ibrahim ve arkadaşları [5] çalışmalarında yüksek plastisiteli kil zemine toz cam atığı eklemiştirler. %6, %12, %18, %27 VE %36 oranlarında cam tozu eklenen numunelere zemin deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda zeminin mukavemeti %27 oranında cam tozu ile beraber 560 kPa'ya yükselmiştir. %36 oranında eklenen cam tozu ise 517 kPa değerine sahiptir. Diğer mühendislik özellikleri ise genel olarak %18 katkı oranına kadar iyileşme sağlamıştır. Bu nedenle %18 cam tozu içeren numunenin en iyi sonucu verdiği söylenebilir.

Kassa ve arkadaşları [6] yaptıkları çalışmada atık plastik şişeleri şeritler halinde parçalar halinde kullanarak kil bir zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmeye çalışmışlardır. Bu amaç ile farklı oranlarda farklı

boyutlarda plastik şişe şeritleri eklenmiştir. En iyi dayanım sonucu ise 10\*15 boyutlarında %0,5 oranında plastik şişe atığı içeren numunede elde edilmiştir. Yapılan diğer deneylerde de plastik şişe atığı eklenen numuneler doğal haline göre iyileşme göstermiştir. Bu nedenle sonuç olarak, plastik şişe atığının kil zeminin iyileştirilmesinde olumlu yönde sonuç verdiği söylenebilir.

Syahril ve arkadaşları [7] yürüttükleri çalışmada yumuşak bir kile volkanik kül atığı ve maden atıkları ekleyerek zemin stabilizasyonu çalışması yapmışlardır. Kil zemine %8 oranında volkanik külü sabit tutarak maden atığı miktarını %4, %5 ve %6 oranlarında ekleyerek kür süresine bağlı serbest basınç deneyleri gerçekleştirmişlerdir. En iyi dayanım değeri ise %6 maden atık değeri ile 14 günlük kür süresinde elde edilmiştir. Genel olarak çalışma sonucunda iki atık maddenin kil zeminin taşıma kapasitesinde iyileşme sağladığı sonucuna varılmıştır.

Menezes ve arkadaşları [8] çalışmalarında killi kum zemine Hindistan cevizi lifi ekleyerek zeminin dayanımında meydana gelen değişimleri gözlemlemişlerdir. Farklı miktarlarda Hindistan cevizi lifi içeren numunelere serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Serbest basınç dayanımı, hindistan cevizi lifi eklenmesiyle artış göstermiştir. %0,5 lif içeren karışımı için en yüksek dayanım değerine ulaşmıştır. Doğal hale kıyasla %50,8 oranında artış meydana gelmiştir

Totiç ve arkadaşları [9] çalışmalarında Bartın ilinden alınan kil zemine ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25 oranlarda atık F sınıfı uçucu kül katılarak deney numuneleri hazırlamışlardır. Kül oranlarına bağlı olarak kıvam limitleri bulunmuştur. Plastisite indisi oran arttıkça artış göstermiştir. Tüm katkılı numuneler için serbest basınç deneyi yapılmıştır. %10 katkı oranına kadar değerler artmış sonrasında ise azalmıştır. Sonraki değerler ise mühendislik özelliklerinin düşmesine sebep olmuştur. Sonuç olarak %10 oranında F tipi uçucu kül katkısının kil zeminin mühendislik özelliklerinde iyileşme sağladığı görülmüştür.

Bilge [10] tez çalışmasında yüksek fırın cürufu, uçucu kül, kireç ve zeolit kullanmıştır. Yüksek fırın cürufunun bentonit kilinde iyileştirme malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada bentonit kiline %10 kireç, %5-10-15 oranlarında yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve zeolit ilave edilmiştir. Numunelere özgül yoğunluk, kıvam limitleri, hidrometre, kompaksiyon ve serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, yüksek plastisiteli kilin özgül ağırlığı katkılar ile artmış, kompaksiyon deneyi ile kuru birim hacim ağırlıkları artmıştır. Serbest basınç deneyinde ise en yüksek dayanım %15 YFC + %15 Zeolit içeren kil karışımında elde edilmiştir.

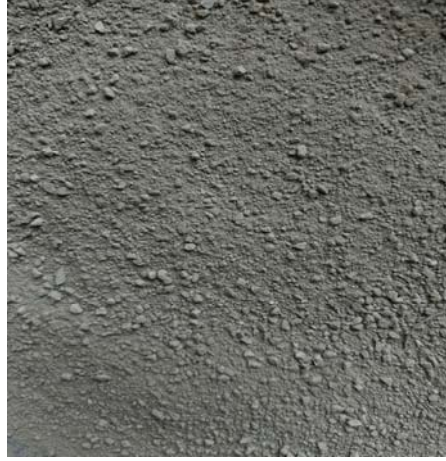
Aysu [11] yüksek plastisiteli killi zeminlere cam lifi katkısının, zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon parametrelerine katkısını araştırmıştır. Uzunluğu 12 mm olan cam lifi, killi zeminler içerisinde belirli oranlarda (0,25, 0,50, 0,75, 1,0, 1,25 ve 1,50) ilave edilmiştir. Zemin mukavemetinde artış %0,75 oranındaki cam lifi katkısında en yüksek olduğu ve daha sonraki karışım oranlarında azalamaya başladığı tespit edilmiştir. Suyu doymuş numunelere yapılan serbest basınç deneylerinin sonucunda; doymuşluğun farklı oranlardaki cam lifi katkılı zeminin mukavemetinde yaklaşık %25-%35 oranlarında azalma olduğu görülmüştür. Optimum su muhtevasında ve doymuş durumda, katkısız zemine kıyasla cam lifi katkısı, zeminin kayma mukavemetini %25 oranında artırdığı belirlenmiştir.

Literatür araştırması sonucunda zemin iyileştirme adına birçok organik ya da inorganik maddenin kullanıldığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada kullanılacak olan şeker pancarı atığının daha önce herhangi bir çalışmada zeminin mühendislik özelliklerine katkısının incelenmediği saptanmıştır. Bu nedenle çalışma kendi alanında özgün bir nitelik taşımaktadır. Çalışmada daha önce kullanılmamış olan şeker pancarı atığı ile zeminin serbest basınç dayanım ve konsolidasyon parametreleri araştırılmıştır.

## 2. YÖNTEM

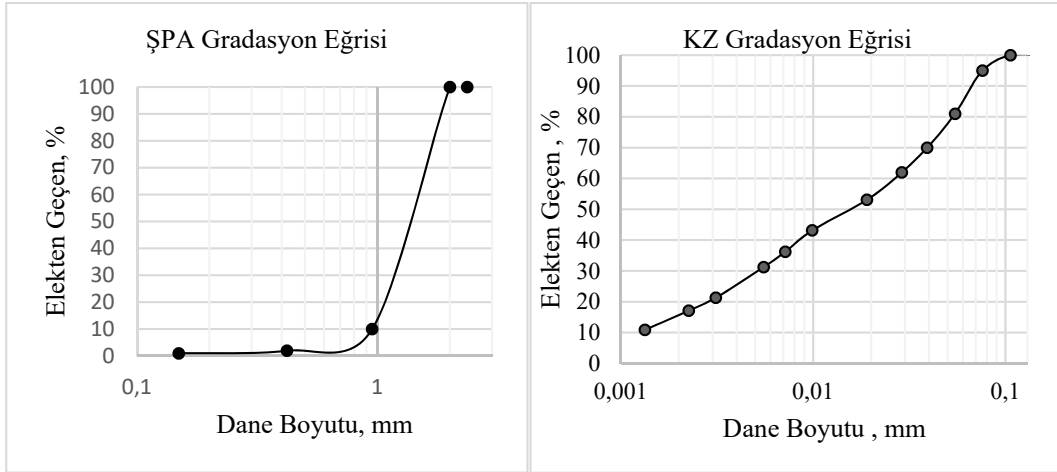
### 2.1. Materyal

Yürütülen çalışmada kullanılan kil zemin Adana/Sarıçam bölgesinden alınmıştır. Şekil 1'de doğal kil zemine ait öğütme öncesi hali verilmiştir.



Şekil.1 Doğal kil numunesi öğütülmemiş hali

Kil zeminler içerdikleri bağlara, maddelere göre farklı başlıklar altında yer almaktadırlar. Dünyada plastiklik özelliğine sahip tek mineral kil mineralleridir. Plastik özelliğini kazandıran madde ise sudur. Fakat killere içerisinde plastik özelliği barındırmayan minerallerde içerebilirler. Genel olarak plastiklik özelliği gösteren iki kil türü kaolin ve montmorillonit cinsi killerdir. Çalışmada kullanılan kil zeminin cinsi sahip olduğu yüksek kohezyon, su tutma eğilimi ve kıvam limit değerlerine bağlı olarak elek analizi deneyi yardımı ile montmorillonit olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Kil zemin ve ŞPA için dane çapı dağılım eğrisi

Çizelge 1. Plastik limit ve plastisite indisi

Likit Limit ( $w_L$ , %)	51
Plastik Limit ( $w_P$ , %)	28
Plastisite İndisi (IP, %)	23

Adana ilinden alınan kil zemin numunesinin TS 1900-1 standardına uygun olarak yapılan deneyler ile birim hacim ağırlığı  $2,63 \text{ g/cm}^3$ , maksimum kuru birim hacim ağırlığı  $1,9 \text{ g/cm}^3$ , optimum su içeriği %21 olarak bulunmuştur. Numunenin likit limiti %51, plastik limiti %28 olarak bulunmuştur. Zemin sınıfı ise birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USCS) ile CH yani yüksek plastisiteli kil olarak belirlenmiştir. Bu değerlere ilişkin değerler şekiller Çizelge 1'de verilmiştir. Şekil 2'de KZ ve ŞPA'ya ait gradasyon eğrisi verilmiştir.

Şeker pancarı atığı (ŞPA) ise şeker fabrikalarında şeker üretimi esnasında pancarların kabuk ve baş kısımlarını içermektedir. ŞPA su içerisinde su çözünürlüğü çok kısıtlı miktarda olan selüloz, hemiselüloz ve pektin gibi karbonhidratlardan oluşmaktadır. Bunun yanında küspenin kendi ağırlığına göre %3-5'inin ekstraksiyon işleminden sonra küspede kalan sakkaroz, %2-4'ünü lignin ve % 8'ini ham protein

oluşturmaktadır. ŞPA'nın içerik tablosu Çizelge 2'de verilmiştir. ŞPA atığı etüvde 100°C 'de 1 gün süre ile kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrasında ŞPA içeriği değişimi Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** ŞPA içerik çizelgesi

Çözünmeyen Fraksiyon		Çözünen Fraksiyon		
Bileşen	Selüloz(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> )	Hemiselüloz	Pektin(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub> )	Sakkaroz(C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )
Ağırlıkça, %	19-23	28-31	15-18	45049
Yapı Birimleri	D-Glikoz	L-Arabinoz	D-Galakturonik	Glukoz, Fruktoz
Ağırlıkça, %		19-20	11-13333	
			L-Ramnoz	
			D-Mamnoz	
			D-Galaktoz	
			D-Ksiloz	
			D-Glikoz	

**Çizelge 3.** ŞPA'nın kurutma sonrası içeriği

Bileşim maddeleri	% olarak miktar
Ham protein	8-8,63
Ham yağ	0,30-0,60
Ham selüloz	13,56-16,24
Nitrojensiz maddeler	56,44-59,39
Kül	3,42-4
Niştasta değeri	52,10-55,20

Kurutma sonrası ŞPA plastik uçlu tokmak yardımı ile öğütülmüştür. ŞPA'nın uğradığı değişim Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekil 3'te ŞPA'nın üretim sonrası direkt olarak yaş hali verilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5'te ise etüv sonrası kurutulmuş hali ve öğütme sonrası elekten geçirilmiş halleri verilmiştir.



**Şekil 3.** ŞPA kurutma öncesi yaş hali (bor şeker)



**Şekil 4.** ŞPA'nın kurutma sonrası hali





Şekil 5. ŞPA'nın öğütme sonrası hali

Çalışmada ek olarak Arabic Gum kullanılmıştır. Arabic Gum polimerlerin alt birimi olan biyopolimerlere aittir. AG ayrıca piyasada farklı isimlerle de anılmaktadır. Ve diğer tüm biyopolimerler gibi bir endüstriyel koda sahiptir. Ağaç üzerinden elde edilen AG kurutulma işlemi ve sonrasında toz hale getirilerek pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise ŞPA'nın zemin iyileştirmeye etkisini daha net görmek adına yan bir madde olarak kullanılmıştır. Birkaç farklı kullanım yöntemi olan bu malzeme bu çalışmada su ile aktifleştirilerek kullanılmıştır. Su ile jelimsi bir kıvam alan biyopolimer zeminde bulunan boşlukları kapatmaktadır.

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Mukavemet Deneyleri

Çalışma için kullanılmış olan şeker pancarı atığının, kil zeminin mukavemet parametrelerinde meydana getirdiği değişimleri saptamak için serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Standart serbest basınç deneyi uygulanmış ve TS 1900-2 standartları göz önüne alınmıştır. Yükleme oranı Eşitlik 1'de verilmiştir. Serbest basınç deneylerinde, %0,25, %0,5, %0,75, %0,85, %1 oranlarında şeker pancarı atığı içeren serbest basınç numuneleri hazırlanmıştır. %1 ŞPA içeren numunenin dayanımda düşüş yaşamasından dolayı %2 ve %3 oranında elde edilen deney verilerinin de düşük dayanımından dolayı değerlendirmeye alınmamıştır. Şekil 6'da hazırlanan numunelerden bir tanesi deney öncesi ve sonrası olarak sunulmuştur.

$$q_u = P_{\max} / A_f \quad (1)$$

Eşitlik 1'de:

$q_u$ : Serbest basınç dayanımı

$P_{\max}$ : Yükleme miktarı

$A_f$ : Numunenin düzeltilmiş kesit alanını ifade etmektedir.



Şekil 6. ŞPA numune örneği deney öncesi ve sonrası

Hazırlanmış olan numuneler ile yapılan deney sonucu seri deneylerde kullanılacak optimum atık yüzdesi belirlenmiştir. Optimum atık madde miktarı belirlendikten sonra atık maddenin en uygun kür süresinin

belirlemek için SBD numuneleri hazırlanıp kür süresi verilmiştir. Doğal kil zemin numunesinin optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler, 50 mm çapında, boyu çapının iki katı ve yüzeyleri pürüzsüz olacak şekilde TS 1900 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Zemin numunesi SBD için özel olarak oluşturulmuş mold, başlık ve tokmaktan oluşan düzenek ile deneye uygun hale getirilmiştir. Bu SBD düzeneği Şekil 6'da sunulmuştur. Bu düzenek ile hazırlanan deney numuneleri 5 günlük kür süresi ile desikatörde bekletilmesi sonrasında serbest basınç deneyine tabi tutularak dayanımlar belirlenmiştir. Bu kür süresi sadece başlangıçta optimum oranları belirlemek amacı ile kullanılmıştır. Deneylerde, zemin numunesi, SBD aletinin alt plakasının orta noktasına yerleştirildikten sonra üst başlık numunesinin üst yüzeyine degecek şekilde fakat yük verilmeden yerleştirilmiştir. Bu işlemler ilgili standartta belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, optimum madde miktarı elde edilmiş ve bu orana bağlı numuneler üstünde test yapılarak optimum kür süresi belirlenmiştir.

### 2.2.2. Konsolidasyon Deneyleri

Yapılan deney çalışmasında, optimum oranda şeker pancarı atığı içeren deney numunesi ve doğal halde bulunan kil numunesi üzerinde konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 7'de gösterilmiştir. Konsolidasyon deneyi, TS 1900-2' de belirtildiği biçimde gerçekleştirilmiştir. Konsolidasyon deneyi yapılacak iç çapı 50 mm, yüksekliği 20 mm olan ringler kullanılmıştır. 800 kPa gerilme kademesine kadar yüklenmiştir. Deneyler tamamlandıktan sonra, yük-boşluk oranı grafikleri çizilerek parametreler bulunarak gerekli yorumlar ve çıkarımlar yapılmıştır.

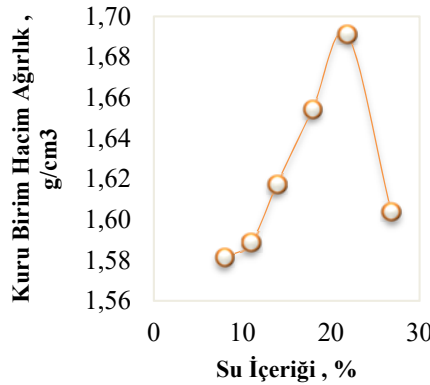


Şekil 7. Konsolidasyon deney düzeneği

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 3.1. Optimum Su İçeriğinin Belirlenmesi

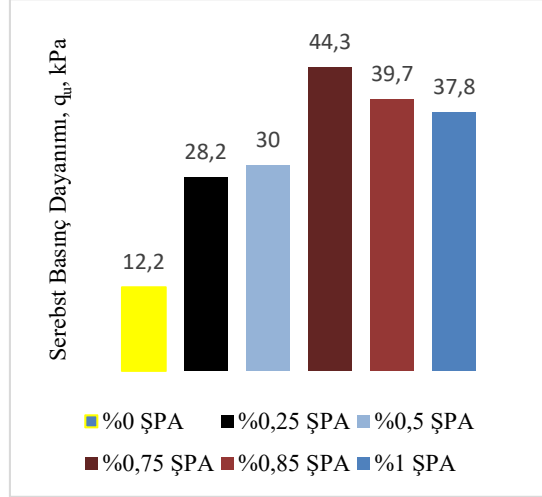
Standart kompaksiyon deneyi (TS1900-2) yardımı ile doğal kil zemin numunesinin optimum su miktarı belirlenmiş ve bu değere bağlı kalınarak gerçek koşul modellemesi esası ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deney ile kil zeminin optimum su muhtevası %21 olarak saptanmıştır. Bulunan optimum su muhtevası emsal teşkil eden kil zemin su muhtevaları ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Optimum su muhtevası grafiği Şekil 8'de verilmiştir.



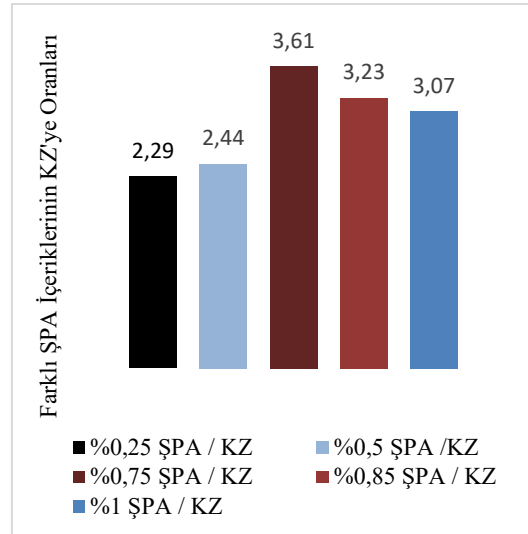
Şekil 8. Kompaksiyon eğrisi

### 3.2. Karışımların Optimum Atık Oranının Belirlenmesi

Doğal kil zemin içerisine eklenen ŞPA atığı %0,25, %0,5, %0,75, %0,85 ve %1 oranlarında karışımlar haline getirilmiştir. Hazırlanan ŞPA + KZ karışımları için numuneler 5 gün başlangıç bir kür süresi seçilerek desikatörde bekletilmiştir. Kür süresinin sonunda hazırlanan ŞPA katkılı serbest basınç numuneleri deneye tabi tutularak optimum ŞPA miktarı belirlenmiştir. Deney sonucu grafikleri ve oransal grafikler Şekil 9 ve 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Farklı ŞPA oranları için serbest basınç mukavemetleri



Şekil 10. Kür süresi doğal kil zemine oransal grafiği

Şekil 9 ve Şekil 10'da görüldüğü üzere doğal kil zemin numunesinin serbest basınç dayanımı, ŞPA katkılı serbest basınç numunelerinin dayanım değerlerinin oldukça altındadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde ŞPA içeren numuneler doğal kil zemine oranla yaklaşık %265 serbest basınç dayanımını artırmıştır. Deney verileri neticesinde ŞPA katkılı zeminlerden en iyi verim elde edilebilecek olan numune %0,75 oranında ŞPA içeren numunedir. Eser miktarda eklenen ŞPA dayanımda kayda değer sonuçlar vermiştir. Farklı yüzdelerde numuneler hazırlanmış fakat %3' ve daha fazla ŞPA içeren numuneler kılcal çatlaklar ile silindir numunenin yapısını bozmuştur. Şekil 11'de %3 oranında ŞPA içeren deney numunesi gösterilmiştir. %3 ve daha fazla ŞPA katkısı içeren numunenin kılcal çatlaklar oluşma sebebi şeker pancarının su alma kapasitesi yüksek bir malzeme olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Çünkü zemin numunesi içerisinde bulunan optimum suyu ŞPA daneleri içerisine hapsederek numune içerisinde sağlanmış olan optimum koşul dengesini bozmaktadır. Bozulan dengeye bağlı olarak hacimde değişimler yaşanmaktadır. Bu sebepten dolayı ŞPA'nın %3'ten fazla kullanımda deneyler gerçekleştirilemeden numuneler çatlamıştır.

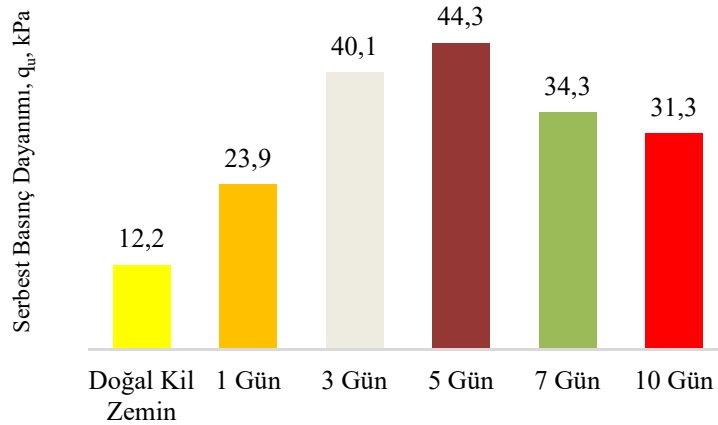




Şekil 11. %3 ŞPA içeren serbest basınç deney numunesi

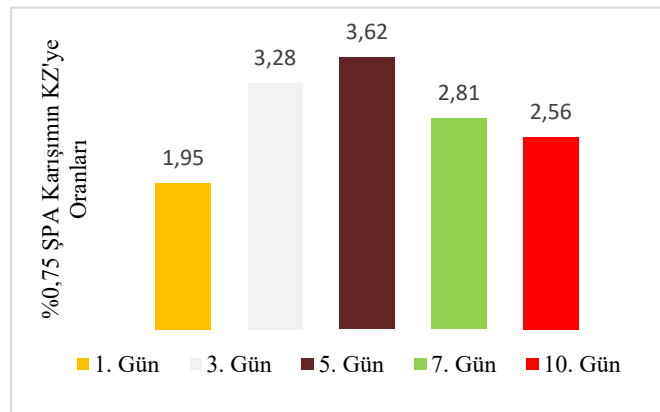
### 3.3. ŞPA Katkılı Numunenin Optimum Kür Süresinin Belirlenmesi

Doğal kil katkıli karışımın zemin iyileştirmeye yapacağı en iyi katkı oranı olan optimum ŞPA miktarı bulunduğundan sonra bu oran için en uygun kür süresinin belirlenmesi için %0,75 oranında ŞPA içeren doğal kil zemin numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler 1, 3, 5, 7 ve 10 gün boyunca desikatörde bekletilerek serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur. Şekil 12 ve 13'te sonuçlar kPa cinsinden sunulmuştur.



Şekil 12. %0,75 ŞPA katkıli numune için optimum kür süresi grafiği

Grafikte görüldüğü üzere ŞPA katkıli zemin için optimum kür süresi 5 gün olarak belirlenmiştir. 1 günlük kür süresinde dahi doğal kil zeminin sahip olduğu serbest basınç mukavemetinden %60 daha fazladır.

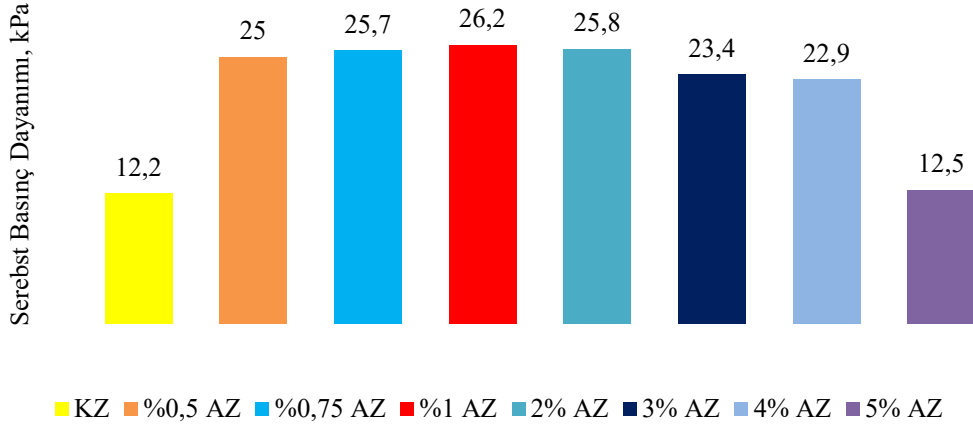


Şekil 13. Optimum kür süresinin KZ'ye oransal grafiği

5. günden sonra ise dayanım büyük oranlarda düşmektedir. Bunun sebebi olarak ŞPA'nın kür süresinin artımı ile ŞPA'nın numune içindeki suyu çekerek çoğunluğunun ŞPA danelerinde hapsolmesinden dolayı optimum şartlar ortadan kalkması olduğu düşünülmektedir.

### 3.4. Karışımların Optimum Biyopolimer Oranının Belirlenmesi

Tüm bunlara ek olarak biyopolimer olarak Arabic Gum ve ŞPA karıştırılarak numuneler hazırlanmış fakat dayanımda herhangi bir olumlu sonuç alınmamıştır. Biyopolimer içeren numunelere yapılan serbest basınç deneylerinden elde optimum oran %1 olarak belirlenmiş ve konsolidasyon deneyinde kullanılmıştır. Şekil 14'te biyopolimere ait dayanım değerleri verilmiştir.

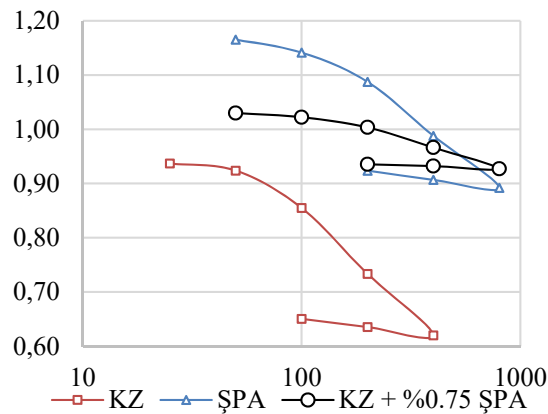


Şekil 14. Arabic Gum'a ait serbest basınç değerleri

Şekil 14'te verilen Arabic Gum'a (AG) ait serbest basınç değerleri 5 gün kür süresi sonrası elde edilen değerlerdir. %1 AG içeren numunenin en yüksek dayanıma sahip olduğu görülmektedir. %5 AG içeren numune ise jelimsi kıvamından dolayı numunenin kompakt yapısını bozmuştur. Bu nedenle dayanımda %50'ye varan düşüşler yaşanmıştır. Sonrasında ise AG biyopolimeri ŞPA ile karıştırılmış, numune hazırlandıktan sonra çeşitli saklama koşulları denenmiş fakat hiçbirinde herhangi bir kür süresinde olumlu sonuç elde edilememiştir. Sebebi araştırılmaya açık bir konudur. Bu nedenle biyopolimerin elde edilen optimum oranı konsolidasyon deneyinde kontrol parametresi olarak kullanılmıştır.

### 3.5. ŞPA Katkılı Kil Zeminin Konsolidasyon Parametrelerinin Belirlenmesi

Şeker Pancarı Atığının, kilin konsolidasyona olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla, laboratuvarında bir seri konsolidasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Konsolidasyon deneyi yardımı ile doğal kil zemine ait ve ŞPA katkılı numuneye ait konsolidasyon katsayısı ve hacimsel sıkışma katsayıları bulunmuştur. Elde edilen parametreler yardımı ile doğal kil zemin ve ŞPA arasında kıyaslama yapılmıştır. Şekil 15'te KZ, ŞPA ve %1 AG +%0,75 ŞPA'ya ait konsolidasyon eğrileri verilmiştir.



Şekil 15. KZ ve ŞPA konsolidasyon eğrisi (e- log<sub>p</sub>)

Çizelge 4'te hacimsel sıkışma katsayıları Çizelge 5'te ise konsolidasyon katsayıları verilmiştir.

**Çizelge 4.** Doğal kil zemin ve ŞPA katkılı zeminin hacimsel sıkışma katsayıları

Parametre Yük Kademesi (kPa)	Hacimsel Sıkışma Katsayısı ( $m_v$ , $cm^2/kg$ )		
	KZ	ŞPA	%1 AG+ %0,75 ŞPA
50-100	0,0580	0,0270	0.0097
100-200	0,0450	0,0260	0.0096
200-400	0,0320	0,0220	0.0077
400-800	0,0300	0,0090	0.0050

**Çizelge 5.** Doğal kil zemin ve ŞPA katkılı zeminin konsolidasyon katsayıları

Parametre Yük Kademesi (kPa)	Konsolidasyon Katsayısı ( $C_v$ , $cm^2/dak$ )		
	KZ	ŞPA	%1 AG + %0,75 ŞPA
50	0,34	0,12	0,56
100	0,10	0,48	0,50
200	0,21	0,46	0,53
400	0,20	0,37	0,40
800	0,26	0,50	0,37

Doğal kil zemin ve ŞPA'nın değerleri birim olarak  $cm^2/kg$  cinsinden verilmiştir. Hacimsel sıkışma katsayısı zeminin oturma değerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Bu nedenle hacimsel sıkışma katsayısının yük kademesine bağlı olarak arttığı görülmektedir. Fakat başlangıç değerler ve ortalama değerler kıyaslandığında ŞPA ve karışım içeren numunenin hacimsel sıkışma katsayısında iyileşme meydana geldiği görülmektedir. Çizelge 5 incelendiğinde ise doğal kil zemin, ŞPA ve %1 AG + %0,75 ŞPA katkılı numunelerin konsolidasyon katsayıları görülmektedir. Konsolidasyon katsayısı zeminin oturma süresi ile doğrusal olmayan bir ilişkiye sahiptir. Bu nedenle konsolidasyon katsayısının artışıyla beraber oturma süresinin azalacağı söylenebilir. Her yük kademesi ise ayrı olarak hesaplanan katsayılar bakıldığında ŞPA ve karışıma ait konsolidasyon katsayılarının iyileştiği görülmektedir. Karışım içeren numuneye ait katsayılar ise hem KZ'ye hem de ŞPA'ya oranla daha fazla iyileşme sağlamıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, şeker pancarı atığı (ŞPA) 'nın killi zeminlerin mukavemet, konsolidasyon ve oturma parametrelerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilen bilgiler aşağıda verilmiştir.

Doğal kil zeminin zemin sınıfı CH olarak belirlenmiştir.

Yüksek plastisiteli killerin sahip olduğu düşük dayanım ve potansiyel oturma problemleri çözümlenmeye çalışılmıştır.

KZ içerisine, %0,25, %0,5, %0,75, %0,85 ve %1 oranlarında ŞPA eklenmiş numunelere yapılan SBD 'de, serbest basınç mukavemetlerinde, her oran için sırası 2.29 , 2.44 ,3.61 , 3.23 ve 3.07 oranlarında serbest basınç dayanımlarında artış meydana gelmiştir. KZ'ye oranla dayanımda gözle görülür iyileşme meydana gelmiştir.

Kür süresi seçiminde 5 gün kür süresi sonrası maksimum dayanım elde edilmiştir. 10. günden sonra desikatörde bulunan numunelerde çürüme başladığı gözlemlenmiştir.

ŞPA doğal kil zemine göre dayanımda %260 oranında iyileşme sağlamıştır.

KZ ve %1 AG + %0,75 ŞPA'ya yapılan konsolidasyon deneyleri sonucunda her yükleme kademesi için hesaplanan hacimsel sıkışma katsayılarına bakıldığında ŞPA katkılı zeminin  $m_v$  değerinde 50-100 kPa kademesi için %83, 100-200 kPa için %78, 200-400 kPa için %75, 400-800 kPa için %83 oranında iyileşme meydana gelmiştir.

Konsolidasyon katsayısında ise ortalama değerlere bakıldığında KZ için 0,22 cm<sup>2</sup>/dak, ŞPA için 0,39 cm<sup>2</sup>/dak, karışım içeren numune için ise 0,47 cm<sup>2</sup>/dak olarak hesaplanmıştır. Karışımın konsolidasyon katsayısında ortalama %55 oranında iyileşme meydana gelmiştir.

Hacimsel sıkışma katsayısı ve konsolidasyon katsayısında meydana gelen iyileşme sonucunda zeminin oturma ve zaman parametrelerinde iyileşme olacağı öngörülmüştür.

Aysu [11] yaptığı çalışmada %0,75 oranında eklediği cam lifi ile zemin iyileştirme çalışmaları yapmış ve sonuç olarak katkısız zemine göre serbest basınç dayanımında yaklaşık %25 oranında artış olmuştur. Çetinkaya [12] ise %1 oranında fibril kullanarak zemin dayanımında katkısız zemine göre serbest basınç değerinde %108 artış sağlamıştır. Devlet [13] %5 gaz beton ve %2 atık lastik katkılı kil zeminin katkısız kil zemine göre serbest basınç dayanımında %19,3 oranında artış göstermiştir. Yapılan bu çalışmada ise zemine eklenen %0,75 oranındaki ŞPA ile zeminin SBD dayanımında %263 oranında artış gözlemlenmiştir. Sonuç olarak her çalışma da kullanılan malzemenin cinsine, kullanım tekniğine, hazırlanma koşullarına göre oran ve dayanımları değişmektedir.

Literatürde var olan çalışmalar ve bu iyileştirme çalışması incelendiğinde zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılan malzemelerin oranlarının ve kür sürelerinin kendine özgü değerler alabileceği bu sebeple her katkı malzemesi için ayrı çalışma yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Aksoy, H.S., Yıldırım, A., 2023. Ppf lifi ve pet talaşı ile güçlendirilmiş kaolin kilinin kayma mukavemetinin incelenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(2), 266-275.
2. Büyükoğuz, M., 2023. Atık lastik parçalarının, kireç ve uçucu kül ile stabilize edilen yüksek plastisiteli kil zemin üzerindeki etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 181.
3. Topçuoğlu, Y., Gürocak, Z., 2023. Zemin güçlendirmede maksimum dayanım için optimum bazalt fiber oranının belirlenmesi. *Dümf Mühendislik Dergisi*, 3, 479-487.
4. Kabeta, W.F., 2022. Study on some of the strength properties of soft clay stabilized with plastic waste strips. *Archives of Civil Engineering*, 68(3), 385-395.
5. Ibrahim, H.H., Mawlood, Y.I., Alshkane, Y.M., 2021. Using waste glass powder for stabilizing high-plasticity clay in Erbil city-Iraq. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 15(4), 496-503.
6. Kassa, R.B., Workie, T., Abdela, A., Fekade, M., Saleh, M., Dejene, Y., 2020. Soil stabilization using waste plastic materials. *Open Journal of Civil Engineering*, 10(01), 55-68.
7. Syahril, S., Somantri, A.K., Haziri, A.A., 2020. Study of stabilized soil clay soil characteristics using vulcanic ash and tailing as subgrade layers. *Iop Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(2), 6-12.
8. Menezes, L.C.P. de, Sousa, D.B. de, Sukar, S.F., Ferreira, S.R. de M., 2019. Analysis of the physical-mechanical behavior of clayey sand soil improved with coir fiber. *Soils and Rocks*, 42(1), 31-42.
9. Totiç, E., Göktepe, F., Yaşar, M., 2019. Uçucu kül katkısının killi zeminlerin mekanik özelliklerine etkisi. *Dümf Mühendislik Dergisi*, 10(2), 769-778.
10. Bilge, T., 2011. Yüksek fırın cürufu katkısının kil zeminlerin stabilizasyonuna etkisinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 122.
11. Aysu, Ş., 2020. Yüksek plastisiteli kil zeminlerde cam lifi katkısının zeminin mukavemet, permeabilite ve konsolidasyon özelliklerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 120.
12. Çetinkaya, M., 2012. Polipropilen liflerin uçucu kül zemin karışımlarında geoteknik özelliklere etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 229.
13. Devlet, H., 2020. Killi zeminler üzerinde atık lastik ve gazbetonun etkilerinin değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri, 56.