



## Silis Kumu Hazırlama ve Termik Santrallerden Kaynaklanan Sanayi Atıklarının Yeniden Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması

### Investigation of Recyclability of Industrial Wastes from Silica Sand Preparation and Thermal Power Plants

Serkan Ören<sup>1\*</sup> , Sefa Kocabaş<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Devrek Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Devrek Zonguldak

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

**Başvuru/Received:** 14/03/2023 **Kabul/Accepted:** 14/11/2023 **Çevrimiçi Basım/Published Online:** 31/01/2024

**Son Versiyon/Final Version:** 31/01/2024

#### Öz

Katı atık düzenli depolama sahalarındaki sızıntı sularının kontrolü yasal mevzuatlar çerçevesinde geçirimsiz kil tabakası veya eşdeğeri malzemeyle sağlanır. Çalışma, kil malzemesine alternatif düşük permeabiliteli bir malzeme geliştirilmesi için yapılmıştır. Çalışmada Zonguldak Ereğli ilçesinde faaliyet gösteren Borcam Silis Kumu üretimi tesisinden oluşan yan ürünü silisli kumu ile Zonguldak Eren Enerji Termik Santrali uçucu külü seçilmiştir. Yapılan çalışmalarda uçucu kül numunesinin karışım yapılmadan permeabilite değerinin çok yüksek çıktığı saptanmış ve uçucu kül herhangi bir karışım yapılmadan istenilen permeabilite değerinin sağlanmadığı belirlenmiştir. Farklı karışımlar oranlarında permeabilite değerlerinin belirlenmesi için, silisli kum atığı malzemesi, silisli kum atığı malzemesi + kütlece %10 uçucu kül karışımı, silisli kum atığı malzemesi + kütlece %20 uçucu kül karışımı, silisli kum atığı malzemesi + kütlece %30 uçucu kül şeklinde farklı karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımları optimum su içerikleri belirlenmiştir. Karışımlar maksimum kuru yoğunlukta sıkıştırılıp düşen seviyeli permeabilite deney cihazında permeabilite değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, bu çalışmada çalışılan silisli kum atığı malzemesinde permeabilite değeri en düşük ( $1,38 \times 10^{-10}$  m/sn) bulunmuştur. Çalışmada kullanılan diğer karışım malzemelerinin de hedeflenen permeabilite değerlerine ulaşıldığı görülmüş ve uçucu kül karışım oranı arttırıldıkça permeabilite değerinin de yükseldiği belirlenmiştir. Yapılan araştırma ile uçucu kül ile silis kumu hazırlama tesisi atıklarının tekrar bir yan ürün şeklinde kullanılabilceğini ortaya koymaktadır.

#### Anahtar Kelimeler

*Permeabilite, serbest basınç, geçirimsiz zemin, uçucu kül, silisli kum atığı*

#### Abstract

A clay layer or a sufficient material is designed in order to control the water in the solid waste landfills and to realize the legal regulations. The study was carried out to develop a low permeability material as an alternative to clay material. For the study, siliceous sand, which is a by-product of Borcam Silica Sand production facility operating in Zonguldak Ereğli district, and fly ash waste from Zonguldak Eren Energy Thermal Power Plant were selected. In the studies, it was determined that the permeability value of the fly ash sample was found to be very high in a single use without mixing, and it was determined that the desired permeability value was not achieved without any mixture of fly ash. Optimum water contents of these prepared mixtures were determined. Mixtures were compressed at maximum dry density and permeability values were determined in a falling head permeability test device. When the results were examined, the permeability value was found to be the lowest ( $1.38 \times 10^{-10}$  m/sec) in the siliceous sand waste material studied in this study. It was observed that the targeted permeability values of the other mixture materials used in the study were also reached, and it was determined that the permeability value increased as the fly ash mixture ratio was increased. The research shows that fly ash and silica sand preparation plant wastes can be reused as a by-product.

**Key Words** *Fly ash, impervious soil, permeability, siliceous sand waste, compressive strength*

## 1. Giriş

Bütün ülkeler elektriğe olan ihtiyaçlarını karşılamak için bazı farklı kaynaklar kullanarak elektrik üretimini gerçekleştirmekte ve elektrik ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar. Bu kaynaklar, yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil yakıtlardır. Dünya’da fosil yakıtlar kömür, petrol ve doğal gaz olarak kabul edilir. Türkiye 2020 yılı enerji istatistikleri raporu incelendiğinde, zamanla enerji yatırımlarının arttırmakta olduğu görülmektedir ve bu artışta en önde gelen termik santrallerin yapımıdır. (TÜİK 2020).

Elektrik elde etmek için kurulan tesislerin başında doğalgaz ile enerji üretim tesisleri, kömür ile enerji üretim tesisleri ve yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretim tesisleri gelmektedir. Türkiye elektrik ihtiyacının 2020 yılı TÜİK verilerine göre %23,1’u doğalgaz ile elektrik üretim tesislerinden, %34,5’i kömür ile elektrik üretim tesislerinden, %25,5’i hidrolik ve %16,8’ini ise yenilenebilir enerji ile elektrik üretim tesislerinden ve bir miktar ise atık depolama tesislerinden üretilen elektrikten karşılamaktadır (TÜİK 2020).

Fosil kökenli yakıtlar 19. yüzyıldan bu yana, ucuz olmalarına ve üretim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte farklı alanlarda kullanım imkânı bulmuştur. Buna bağlı olarak da fosil kökenli yakıtlar yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları karşısında, üstünlük sağlamıştır. TÜİK verilerinde de görüldüğü üzere elektrik ihtiyacının önemli bir bölümü termik santrallerden karşılanmaktadır ve bu üretim neticesinde termik santraller, birçok çevre sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlardan en önemlileri hava kirliliği ve katı atıklar olarak sıralanabilir. Kömürün yanması sonucu ortaya çıkan ve çevresel açıdan soruna neden olan katı atıkların miktarları kömürün kullanımı ile doğru randa artar. Santrallerin çevresel açıdan probleme neden olan atık kütlelerini üç grupta inceleyebiliriz

Bunlar:

- Uçucu küller
- Taban külleri
- Alçıtaşı

Bu atıklardan özellikle uçucu küller ve taban külleri, yüksek miktarlarda oluşmaktadır ve yasal mevzuatlar gereğince çevreye zarar vermeden yok edilmeleri gerekmektedir (Görhan vd. 2008).

Bu çalışmada 2019 yılında kabul edilen 572527 numaralı yüksek lisans tezindeki bilgilerin güncellenerek enerji sanayisinde meydana gelen atıkların ve cam sanayisinde silis kumu hazırlama tesisinden oluşan atıkların, katı atık düzenli depolama tesisleri zeminlerin iyileştirmesi çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu deneysel çalışmada Zonguldak Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş.’nin birinci santrali olan ZETES1’ in uçucu külü kullanılmıştır. Aynı zamanda çalışma için Zonguldak Ereğli ilçesindeki Borcam Madencilik San. ve Tic. A.Ş.’ de üretim sonucunda meydana gelen silisli kum artığı da kullanılmıştır. Borcam üretim sanayisinde oluşan atık miktarı üretimin yaklaşık kütlece %20 -25 ini oluşturmaktadır.

Atık düzenli depolama tesislerinde zeminin geçirgenliğini düşürmek üzere kullanılacak materyaller, Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADDDY)’te “kil ve eşdeğeri bir malzeme” şeklinde belirtilmiştir. Zeminin geçirimsizliğini sağlamak için istenen eşik değerler ise;

- 1.Sınıf katı atık düzenli depolama tesisleri için k katsayısı  $\leq 1 \times 10^{-9}$  m/sn; zemin kalınlığı ise  $\geq 5$  metre,
- 2.Sınıf katı atık düzenli depolama tesisleri için k katsayısı  $\leq 1 \times 10^{-9}$  m/sn; zemin kalınlığı  $\geq 1$  metre,
- 3.Sınıf katı atık düzenli depolama tesisleri için k katsayısı  $\leq 1 \times 10^{-7}$  m/sn; zemin kalınlığı  $\geq 1$  metre’ dir.

Çalışmaya konu edilen atıkların önce ayrı ayrı analizleri yapılmış ve sonrasında silisli kum atığı malzemesinin sırasıyla kütlece %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül karışımları ile analizleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre karışımların düzenli depolama sahalarında kullanılabilmesi için gerekli geçirimsizlik katsayısını sağladığı görülmüştür (Resmi Gazete 2010).

### 1.1. Uçucu Kül Kullanım Alanları

Uçucu kül için yapılan araştırmalar incelendiğinde uçucu küllerin ham madde veya yardımcı madde olarak kullanıldığı bazı sanayi alanları aşağıda sıralanmıştır

- Bayburt taşı ve uçucu kül ile zemin stabilizasyonunda kullanımı
- Yapısal alanlarda yatağan uçucu külünün kullanılabilirliğinin araştırılması çalışması
- Külün zeminlerin stabilizasyonunda kullanımının araştırılması
- Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi atıklarının inşaat ile ilgili sektörlerde kullanımının araştırılması
- Ayrıca uçucu küllerin;
- Yapı malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması
- Çimento malzemesi üretiminde kullanılmasının araştırılması
- Agregalı malzemesi olarak kullanılmasının araştırılması
- Betonlarda kullanılmasının araştırılması
- Tuğla üretiminde kullanılmasının araştırılması
- Seramik ve cam üretiminde kullanılmasının araştırılması
- Jeoteknik çalışmalarda kullanılmasının araştırılması

- Zemin iyileştirmede kullanılmasının araştırılması
- Dolgularda kullanılmasının araştırılması (Alataş 1996, Atanur 1971, Ergüt 1994, Erdoğan 1993, Erşan 1996, Erdinç 1995, EİE 1979, Fincan 1996, Intro 1992, Helmuth 1987, Hamamcı 1991, İlhan 1995, Martin vd. 1990, , Özturan 1990, Taş vd. 2018, Toros 1987, Ünal vd. 2015, Verma 1998, Yılmaz 1992, Yılmaz 2016).

## 1.2. Kuvars Kumu Hazırlama Tesisleri Hakkında Bilgiler

Kuvars kumu malzemesi (pomza, diyatomit ve perlit mineralleri ile birlikte) hafif bir yapı malzemeleri şeklinde gruplandırılmaktadır. 2 milimetreden daha küçük Granit tipi kayaların ayrışmasıyla oluşan  $\text{SiO}_2$  taneciklerine Kuvars Kumu denmektedir. Kuvars kumu kuvarsit malzemesinin öğütülmesi ile elde edilir ve silika tuğla üretmede, döküm ve cam sanayilerinde ve refrakter sanayilerinde kullanılabilir.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  miktarları kuvars kumunun kullanım alanını belirleyen esas parametrelerdir. Yerkabuğunda oldukça fazla kuvars kumu olmasına rağmen, firmaların üründe birtakım fiziksel ve kimyasal özellikler aramalarından dolayı kuvars kumunun az bir miktarı ticari bir öneme sahiptir. Teknolojik değişimler sayesinde hammaddede de beklenen özellikler değişiklik gösterebilmektedir (Kurşun ve İpekoğlu 1995).

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ZETES1 Uçucu küllu ile Ereğli Borcam sanayisi silis kumu hazırlama tesisinden oluşan atıkların Tablo 1' deki oranlarda karışımı sağlanarak Zemin Sıkıştırma Deneyleri (Standart Proctor Deneyi), Düşen Seviyeli Permeabilite (Geçirimlilik) Deneyleri ve malzemelerin kimyasal özellikleri incelenmiştir. Kullanılan malzemelere ilişkin kimyasal analiz sonuçları Tablo 2' de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Numuneler ve Farklı Oranlarda Karışım

Numune -No	ZETES I Santralinden oluşan Uçucu Kül (%)	Silis Kumu Hazırlama Tesisinden oluşan Silisli Kum Atık Malzemesi (%)
1	100	-
2	-	100
3	10	90
4	20	80
5	30	70

**Tablo 2.** Numunelere Ait Kimyasal Özellikler

Bileşen	Örneklerin Kimyasal Bileşimleri (%)	
	Uçucu Kül	Silisli Kum atığı
$\text{SiO}_2$	56.5736	88.645
$\text{Al}_2\text{O}_3$	23.3906	5.08
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	9.1125	2.956
$\text{CaO}$	1.7740	0.26
$\text{MgO}$	2.0153	0.33
$\text{Na}_2\text{O}$	1.1739	0.10
$\text{SO}_3$	0.9652	0.00
$\text{TiO}_2$	1.2177	0.449
$\text{K}_2\text{O}$	3.3789	0.84
<b>K. K</b>	-	1.34
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.3084	-
$\text{MnO}$	0.0898	-
<b>Toplam</b>	100.00	100.00

Tablo 1’ de 1. Numune kütlece % 100 oranda ZETES 1 santralinden oluşan uçucu kül, 2. Numune kütlece % 100 oranda Ereğli Borcam Sanayisinden oluşan silisli kum atığı malzemesi, 3. 4. ve 5. Numune ZETES 1’den oluşan Uçucu kül numunesine kütlece %10, kütlece %20 ve kütlece %30’u oranda Borcam Sanayisi silisli kum atığı malzemesinin eklenerek karışım haline getirildiği gösterilmektedir. Tablo 2 incelendiğinde numunelerin yüksek oranda SiO<sub>2</sub> içerdiği görülmektedir. Uçucu kül numunesinde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerinin yüksek olduğu görülmektedir.

## 2.1. Zemin Sıkıştırma Deneyi (Standart Proctor Deneyi)

Bu deney ile, zeminlerdeki en büyük kuru birim hacim ağırlığını gösteren su içeriğinin belirlenebilmektedir (TS1900-1). Zemin numuneleri tanzim edilirken zeminin içerisine belirli oranlarda su ilavesi yapılarak zemindeki nemlilik sağlanabilir. Sert bir zeminin üstüne kompaksiyon silindiri konulur. Belirlenen zemin numuneleri eşit 3 parça olacak şekilde kompaksiyon silindirine serilir. Her bir tabakaya 305 mm yüksekten 2500 gr ağırlığında kütleli serbest düşürülmesiyle yatayda homojen olarak yayılan 25 adet vuruş ile zeminin sıkıştırılması sağlanır. Kompaksiyon kabının üstündeki fazlalık, spatula ya da bıçak yardımıyla temizlenerek düzgün hale getirilmesi sağlanır. Kabın üstünde bulunan fazla numune iyice temizlenir ve yan yüzeylerinin temizlenmesi de sağlanır. Zemin numunesi ile iyice sıkıştırılan kompaksiyon kalıbı üst plakası takılmadan tartılır ve belirlenen kap ile zemin numunesinin kütlesi kayıt altına alınır. Numuneyi çıkarmak için kompaksiyon kabı numune çıkartma aygıtına takılarak numunenin kalıptan çıkarılması sağlanır, numunenin su muhtevasının belirlenebilmek üzere örnekler alınır (Aytekin 2004).

Zemin numunesindeki su muhtevasının belirlenebilmesi amacıyla kompaksiyon kalıbından çıkarılan numune 3 ya da 4 eş parçaya bölünerek alttan, ortadan ve üst kısmından hemen hemen 100’er gram alınan numuneler 105 ±5 °C deki etüv fırınına yerleştirilir. Etüvde kurutulan bu numunelerin su muhtevalarının ortalama değeri zemin numunesindeki su muhtevası olarak kayıt altına alınır. Zemin numuneleri tekrar ufalanıp toz haline getirilerek ilgili elekten geçirilip su içerikleri artırılarak deneysel çalışmalar tekrar edilir. “En az dört adet olmak üzere değişik su içeriklerinde zemin numuneleri damıtık su karıştırılarak hazırlanır” (Aytekin 2004).

Tekrarlanan her bir deneysel çalışmanın ardından su içeriklerinin belirlenebilmesi için zemine ait numunelerden örnekler alınır ve etüvde kurutulur. Deneysel çalışmaları tekrarlanması kompaksiyon işlemi sonucunda tartılan kap ile malzeme kütlesi toplamının ilk deneyde elde edilen kütle toplamından daha az çıkmasıyla sonlandırılır.

Zemin sıkıştırma deneyine ait yapılan çalışmalar Şekil 1’den Şekil 6’ya kadar gösterilmiştir.



Şekil 1. Sıkıştırma Deneyi Numunesinin Hazırlanması.



Şekil 2. Otomatik Zemin Kompaktörü.



Şekil 3. Sıkıştırma Deneyinde Kullanılan Mold.



Şekil 4. Kompaksiyon İşlemi Tamamlanmış Numune.



Şekil 5. Numuneden Örnek Alma İşlemi.



Şekil 6. Numuneleri Etüvde Kurutma İşlemi.

Standart Proctor Deneysel çalışmada kuru birim hacim ağırlık ile su içeriği arasında üçüncü derece bir fonksiyona uygun bir grafik eğrisi vardır. Bu fonksiyonun türevi alınıp sıfıra eşitlendiği zaman hesaplanmış olan x değeri optimum su içeriklerini verir. Bu x değeri türevi alınmamış fonksiyonda yerine konulduğu zaman belirlenecek olan y değeri ise maksimum kuru birim hacim ağırlığını vermektedir.

2. Numuneye uygulanan Standart Proctor deneyi neticesinde numunenin maksimum kuru birim hacim ağırlığını veren su muhtevasının Excel de hesaplanması neticesinde %18, 18 olduğu belirlenmiştir.
3. Numune için %16, 64 olduğu,
4. Numune için %20, 62 olduğu,
5. Numune için ise %20, 23 olduğu belirlenmiştir.

Silisli atık kum malzeme numunesi ve silisli kum atığı malzemesi + kütlece %10, kütlece %20 ve kütlece %30 uçucu kül ile karışımlarından elde edilen numuneler standart proctor tayinine göre belirlenen maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve su muhtevaları Tablo 3. de gösterilmektedir.

**Tablo 3.** Malzemelerin Kuru Birim Hacim Ağırlıkları ve Optimum Su Muhtevaları

	2	3	4	5
$W_{opt}$ (%)	18.18	16.64	20.62	20.23
$\rho_{kmax}$	1.68	1.69	1.64	1.49

## 2.2. Düşen Seviyeli Permeabilite (Geçirimsizlik) Deneyi

Optimum su içerikleri bulunan numunelerin permeabilite katsayılarını belirlemek amacıyla Geçirimsizlik deneyleri uygulanmıştır. “H.Darcy (1856), Dijon (Fransa) kasabesindeki içme suyu akım hızının, suyun alındığı seviye ile dağıtıldığı seviye arasındaki kot farkı ve uzaklığın bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir” (Darcy 1856).

Darcy'nin öne attığı ilintinin formüle edilmesi adına geçirgenlik katsayısı (k) ile tanımlanmış ve tanıma göre zeminin içindeki su akımının durumu geçirgenlik katsayısını ifade etmektedir

$$k = -\frac{2.303aL}{A(t_1 - t_0)} - \log_{10} \left( \frac{H_0}{H_1} \right) \text{ Formülü ile hesaplanır.}$$

Su içeriklerini belirlediğimiz numuneleri yeniden kompaksiyon kabında, bulunan su muhtevalarında sıkıştırılıp ve kalıbın üst kısmı takılıp numunelerin suya doymuş hale gelmesi için numuneler su havuzunda bekletilir. Şekil 7'de silisli kum atığı numunesi içerikli kompaksiyon kalıbı gösterilmiştir.





Şekil 7. Havuz içerisinde Bekletilen Kompaksiyon Kalıbı (Mold).

Su ya doygunluğu sağlanmış numuneler permeabilite deney düzeneğine bağlanıp sonuçları belirlenmeye başlanır. Şekil 8 ve Şekil 9’da moldların deney düzeneğine bağlanması ve deney düzenekleri gösterilmektedir.



Şekil 8. Permeabilite Deney Düzeneği Görşeli.



Şekil 9. Permeabilite Deney Düzeneği Görşeli.

ZETES1 Termik santrali uçucu külü kütlece %100 oranında alınıp ön çalışma yapılmış ve uçucu kül numunesinin karıştırılmadan gerekli olan geçirgenlik değerini (k) sağlamayacağı belirlenmiştir. Şekil 10’da ZETES1 Termik santrali uçucu kül numunesinin karıştırılmadan düşen seviyeli permeabilite test düzeneğinde geçirgenlik değerine bakılmış ve geçirgenlik değerinin yüksek çıktığı, düşen seviyeli permeabilite deneyin işleminin kısa bir sürede tamamlandığı belirlenmiştir.



Şekil 10. ZETES1 Termik Santrali Uçucu Külü Tek Başına Kullanımı Düşen Seviyeli Permeabilite Deneyi Sonucu.

2. 3. 4.ve 5. Numunelerin permeabilite deneyleri neticesinde çıkan sonuçlar Tablo 4’ te gösterilmektedir.

Tablo 4. Permeabilite Deney Sonuçları (m/sn)

	2	3	4	5
Permeabilite değerleri k:	$1.38 \times 10^{-10}$ (m/sn)	$3.64 \times 10^{-9}$ (m/sn)	$2.15 \times 10^{-9}$ (m/sn)	$6.73 \times 10^{-9}$ m/sn

### 3. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada kül ve silisli kum atığı numunelerin ve karışımlarının permeabilite katsayılarının belirlenmesi için numunelere düşen seviyeli permeabilite deneyleri uygulanmış ve permeabilite deneyi neticesinde dört numune için belirlenen permeabilite değerlerinin

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADDDY)'te ve US EPA'da belirttiği katı atık düzenli depolama tesisleri zemini için gereken permeabilite katsayısının elde edildiği görülmüştür. Geçirgenlik katsayısı en iyi sağlayan numunenin %100 oranında silisli kum atığı numunesi ile belirlendiği ( $1.38 \times 10^{-10}$  m/sn) ve silisli kum atığının malzemesinin ZETES 1 termik santralinden alınan uçucu kül katkıları %10, %20 ve %30 oranında karıştırılma oranları artırıldıkça geçirgenlik sayısında azalma olduğu görülmüştür.

Termik santraller yüksek miktarlara endüstriyel katı atık oluştururlar ve çevresel etkileri açısından bakıldığı zaman atık bertaraf yöntemleri içerisinde atık bertaraf piramidinde son safhasını oluşturan katı atık düzenli depolama yöntemi seçeneğinin yerine seçeneğe olabilecek yöntemlerin araştırılmasının gerektiği görülmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada silis kumu hazırlama tesislerinden ve termik santrallerden kaynaklanan katı atıkların özellikleri irdelenmiş ve bazı sektörlerde yeniden kullanımının uygun olacağı düşünülmüştür. Özellikle yeterli sıkıştırmanın sağlanması ile düşük permeabilite değerleri sağlandığında, ilk olarak katı atık düzenli depolama tesisleri zeminlerinde kullanılmak üzere ve çeşitli alanlarda dolgu çalışmalarında da değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

ADDDY'de katı atıkların düzenli depolama alanlarında zemin stabilizasyonunda kullanılacak kil veya benzeri bir malzeme için belirlenmiş geçirgenlik katsayısı değerini bütün numunelerin karşıladığı belirlenmiştir. Araştırmaya konu numuneler ve karışımları yeni kurulacak olan katı atık düzenli depolama alanlarında kullanılacak ve önemli bir kütleye sahip atığın yeniden kullanımı sağlanmış olacak ve çevre kirliliğinde büyük bir etkisi olan termik santrallerden kaynaklı uçucu külün yeniden kullanımı sağlanmış olacaktır.

## Teşekkürler/ Bilgilendirme

Bu çalışma Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir (2015-7330 8182-01). Projeye desteklerinden dolayı yazarlar Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür eder.

## Referanslar

Alataş, T. (1996). Afşin Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonunda Çeşitli Maddelerle Birlikte Kullanımı Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Fırat Ün. Fen Bilimleri Enst. Elâzığ, 146.

Atanur, A. (1971). Uçucu Küllerin Kimyasal ve Fiziksel Vasıfları ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması, Bayındırlık Bak., KGM. Yayınları, Ankara, 219.

Aytekin, M. (Ed) (2004). Deneysel Zemin Mekaniği, Genişletilmiş 2. Baskı, ISBN: 975-523-028-9, Teknik Yayın Evi, Ankara, 83-85, 193-197.

Darcy, H. (1856). Les Fontaines Publiques de la ville de Dijon, Dalmont, Paris, France.

Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü. (1979). Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanım Özellikleri, E.İ.E Genel Yayın Direktörlüğü, Ankara.

Erdoğan, T. Y. (1993). Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde kullanımı Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Sempozyumu, Ankara 1-8.

Erdinç, M. (1995). Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimsizliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 100.

Ergüt, Ş. (1994). Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Sinterleşme Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 67.

Erşan, H. (1996). Uçucu Küllerin Siltli Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 75.

Fincan, P. (1996). Flowable Fiil Applications in Civil Engineering, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst, İstanbul, 152.

Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, S., ve Demir, İ. (2008). Uçucu Kül Bölüm 1: Oluşumu, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 85-94.

Helmuth, K. (1987). Fly Ash in Cement Concrete, Portland Cement Association, İllinois, 135.

Hamamcı, R.B. (1991). Efect of Rubber, Carbon Black and Fly Ash on Physical Properties of Pavements, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., İstanbul, 123.

Intro. (1992). Fly Ash as Addition to Concrete Inst. for Mat. And Env. Research, A.A Balkema, Rotterdam 99.

- İlhan, T. (1995). Sülfo Kalsik ve Siliko Kalsik Uçucu Küller İyileştirme ve Rolkritlerde Kullanımı, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kurşun, İ. ve İpekoğlu, B. (1995). Türkiye’de Kuvars Kumu Potansiyeline Genel Bir Bakış. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 21-22 Nisan 1995, İzmir.
- Martin, J., Collins, R., Browning, J., and Biehl, F.J., (1990). Properties and Use of Fly Ashes For Embakments, Journal of Energy Engineering, 16(2), 71-86.
- Özturan, T. (1990). Uçucu Kül- Çimento Bulamaçlarının Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması, ZMTM 3. Ulusal Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul. 373-386.
- Resmî Gazete. (2010). Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik. Sayı: 27533, Adres: <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr>, Ziyaret tarihi: 12.06.2017.
- Taş, M. vd. (2018). Uçucu Kül ve Bayburt Taşı ile Zemin Stabilizasyonu, Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), Bayburt.
- Toros, H. (1987). Afşin Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi olarak Kullanılması, Yük. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 117.
- TS 1900-1 (2006). İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, ICS 93.020, 60.
- Türkiye İstatistik Kurumu (2020). Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Enerjisi Üretimi ve Payları. Adres: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Cevre-ve-Enerji-103>, Ziyaret tarihi: 15.05.2022.
- Ünal, O. vd. (2015). Yatağan Uçucu Külünün Yapısal Alanda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, AKÜ FEMÜBİD 15, 1-7.
- Verma, C.L., Handa, S.K., Jain, S.K., et. al. (1998). “Techno-commercial Perspective Study for Sintered Fly Ash Lightweight Aggregates in India”, Construction and Building Materials, 12(6-7), 341-346.
- Yılmaz, F. (2016). Zemin Stabilizasyonunda Uçucu Kül Kullanımı, ISEM 2016 3rd International Symposium on Environment and Morality, 4-6 November 2016, Alanya. 1175-1180.
- Yılmaz, Ş. (1992). Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.