



Makale / Research Paper

Uçucu Külün Geotekstil Tüp ile Susuzlaştırma Performansının Değerlendirilmesi

Ümit KARADOĞAN^{1a*}

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. İstanbul/TÜRKİYE

karadoganum@itu.edu.tr

Received/Geliş: 03.12.2021

Accepted/Kabul: 28.03.2022

Öz: Bu çalışmada, Türkiye’de bir termik santralden alınan uçucu külün geotekstil ve poliakrilamid kullanılarak susuzlaştırma performansı araştırılmıştır. Bu amaçla, susuzlaştırma işleminde kullanılan bir geotekstil ve 10 adet farklı yük ve moleküler ağırlığa sahip poliakrilamid kullanılmıştır. İlk olarak uçucu külün kimyasal analizi yapılmış ve uçucu külün F tipi olduğu anlaşılmıştır. Jar test deneyinde A4 anyonik poliakrilamidin 20ppm dozajının en etkili sonucu verdiği görülmüştür. A4 poliakrilamid kullanılarak filtre deneyleri yapılarak geotekstil ve poliakrilamidin susuzlaştırma performansı araştırılmıştır. Filtrasyon verimliliği ve susuzlaştırma verimliliği sırasıyla %84 ve %230 olarak bulunmuştur. Susuzlaştırma işlemi sonrasında oluşan katı ve sıvı fazların içerisindeki poliakrilamid varlığının araştırılması için Fourier-Dönüşümlü Infrared Spektroskopi (FTIR) analizi yapılmıştır. Son olarak katı ve katısız filtre keklerinin morfolojik yapısının incelenmesi için tarama elektron mikroskobu ile görüntüleme yapılmıştır. Sonuç olarak, bu yöntemin uçucu külün susuzlaştırılmasında çevresel ve uygulama açısından uygun bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül; susuzlaştırma; geotekstil; poliakrilamid; FTIR.

Evaluation of Fly Ash Dewatering Performance with Geotextile Tube

Abstract: In this study, the dewatering performance of fly ash taken from a thermal power plant in Turkey was investigated by using geotextile and polyacrylamide. For this purpose, a geotextile used in the dewatering process and 10 polyacrylamides with different charges and molecular weights were used. Firstly, chemical analysis of fly ash was made and it was understood that fly ash was type F. In the Jar test, 20ppm dosage of A4 anionic polyacrylamide appeared to give the most effective result. The dewatering performance of geotextile and polyacrylamide was investigated by performing filter tests using A4 polyacrylamide. Filtration efficiency and dewatering efficiency were found to be 84% and 230%, respectively. Fourier-Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis was performed to investigate the presence of polyacrylamide in the solid and liquid phases formed after the dewatering process. Finally, scanning electron microscopy was used to examine the morphological structure of the filter cakes with and without polyacrylamide. As a result, it has been understood that this method is a suitable method for the dewatering of fly ash in terms of environmental and application.

Keywords: Fly-ash; dewatering; geotextile; polyacrylamide; FTIR.

1. Giriş

Kentleşme ve sanayileşme ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Günümüzde termik santrallerde enerji üretimini için kömürün kullanılmasının payı oldukça yükselmiştir. Kömür kullanımının enerji üretimindeki payı dünya genelinde neredeyse %37 civarındadır [1-2]. Termik santrallerde kömürün enerji üretiminde kullanılmasıyla yan ürün olarak uçucu kül oluşmaktadır [3]. Dünya genelinde her yıl yaklaşık 800 milyon ton uçucu kül

Bu makaleye atıf yapmak için

Karadogan, Ü., “Uçucu Külün Geotekstil Tüp ile Susuzlaştırma Performansının Değerlendirilmesi” El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9 (2); 898-911.

How to cite this article

Karadogan, Ü., “Evaluation of Fly Ash Dewatering Performance with Geotextile Tube” El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (2); 898-911.

ORCID: ^a 0000-0001-6584-2389

üretilmektedir [4]. Sadece Hindistan, Çin ve Amerika'da yıllık yaklaşık olarak 300 milyon ton uçucu kül üretilmekte olup bu ülkeler uçucu kül üretiminde ilk 3 sırayı almaktadırlar [5]. Petrol ve doğal gaz fiyatlarının sürekli yükselmesi, zengin kömür yataklarına sahip Çin, Amerika ve Hindistan gibi ülkelerin enerji üretiminde kömürü daha fazla tercih etmelerinin önünü açmaktadır [6]. Artan uçucu kül üretimi birçok ekonomik ve çevresel sorun oluşturmaktadır. Örneğin, uçucu kül uygun şartlarda bertaraf edilmediğinde yapısında bulunan ağır metaller yüzünden yeraltı sularını ve zemini kirletici özelliklere sahiptir [7-8].

Araştırmacılar tarafından uçucu küllerin bertarafı ve faydalı kullanımı için çalışmalar yapılmıştır. Uçucu küller beton içerisinde kullanılması en yaygın faydalı kullanım şeklini oluşturmaktadır [9-10]. Uçucu küller birçok geoteknik uygulamasında da kullanılmaktadır. Karayollarında zemin stabilizasyonunda, kazı dolgularında, maden dolgularında, dayanma yapılarında ve çöp sahalarında kullanılmaktadır [11-14]. Uçucu kül atıkları kuru veya ıslak şekilde bertaraf edilmektedir. Kuru formdaki uçucu kül atıkları kamyonlar ile döküm sahalarına götürülerek bertaraf edilmektedir. Islak formdaki uçucu küller ise su eklenerek atık göllerine pompalanmaktadır [15]. Bu şekilde oluşturulan atık göletleri büyük alanları kaplamasının yanında bulunduğu yerdeki yeraltı sularını kirletmektedir [16-18]. Yüksek su içeriğine sahip uçucu küllerin faydalı kullanımı için susuzlaştırılması çevresel ve ekonomik açıdan büyük faydalar sağlayacaktır.

Geotekstil tüp kullanarak yüksek su içeriğine sahip atık malzemelerinin susuzlaştırılması yöntemi son yıllarda birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir [19-22]. Yüksek mukavemete sahip örgülü geotekstil malzeme katı ve sıvı ayrımı için bir filtre görevi sağlarken poliakrilamid ise küçük boyutlu taneleri bir araya getirerek daha büyük boyuta sahip floklara dönüştürmektedir [23]. Poliakrilamidler polimer türevi olup nonanyonik, anyonik ve katyonik yüklerde bulunmaktadır. Poliakrilamidler köprüleme ve yük değiştirme mekanizmalarının birini kullanarak küçük boyutlu taneleri bir araya getirerek birleştirmektedir [24-25]. Bu sayede susuzlaştırma verimi ve hızı artmaktadır [26]. Uçucu külün geotekstil tüp kullanılarak susuzlaştırma performansının araştırılması için çalışmalar mevcuttur [27-30]. Maurer ve ark. [35] tarafından yapılan çalışmada uçucu küllerin susuzlaştırma performansında hem anyonik hem de katyonik poliakrilamidler etkili sonuç verdiği tespit edilmiştir. Uçucu külün, susuzlaştırma işlemi fiber kullanılması susuzlaştırma sonrası oluşan filtre kekin mukavemetinde artış olmasını sağlamıştır [27, 29, 31]. Kutay ve Aydılek [32] tarafından 0.15-0.6 mm aralığında por açıklığına sahip 4 adet örgülü ve 4 adet örgüsüz geotekstil ile uçucu küllerin susuzlaştırma performansı araştırılmıştır. Çalışmada susuzlaştırma performansına geotekstil malzemenin hidrolik özelliklerinin (su akış hızı, görünen açıklık boyutu ve geçirgenlik) etkisinin az olduğu anlaşılmaktadır. Susuzlaştırılmış uçucu kül ve dip tarama çamurlarının geoteknik mühendisliği kapsamında sedde ve dolgu imalatında kullanılabileceği ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [22, 27].

Sentetik poliakrilamidler susuzlaştırma işlemlerinde temel bir görev üstlenmesine rağmen bazı çalışmalarda çevre ve sağlık açısından zararlı olabileceği düşünülmektedir [33-35]. Bu durum göz önüne alındığında uygun poliakrilamid seçimi ve optimum dozajın belirlenmesinin önemi anlaşılmaktadır. Ancak, literatürdeki çalışmalar incelendiğinde deneylerde kullanılan flokülantların sayısının sınırlı tutulduğu görülmüştür. Aynı zamanda seçilen poliakrilamid ve optimum dozajın çevresel açıdan uygunluğunun araştırılması konusunda eksiklikler olduğu belirlenmiştir. Optimum dozajın uygun belirlenmesi çevre ve ekonomi açısından ciddi faydalar sağlayacaktır. Susuzlaştırma işleminde aşırı poliakrilamid dozajı yapıldığında sızıntı suyunun içerisinde reaksiyona girmeyen artık poliakrilamid bulunacaktır. Bu da sızıntı suyunun verileceği ortamda flokülasyona sebep olup çevresel ve ekosistem açısından zararlar meydana getirecektir.

Bu çalışmada Türkiye'de kömür kullanılarak elektrik üreten bir termik santralden atık malzemesi olarak ortaya çıkan uçucu kül üzerinde geotekstil ve poliakrilamid kullanılarak susuzlaştırma performansı incelenmiştir. Bunun için jar test deneyi yapılarak en etkili poliakrilamid ve optimum

dozaj belirlenmiştir. Belirlenen en etkili poliakrilamidin farklı dozajlarında filtre deneyi yapılarak geotekstil ve poliakrilamidin uygunluğu araştırılmıştır. Son olarak, kimyasal analizler yapılarak belirlenen poliakrilamid ve optimum dozajın çevreye olan etkisi araştırılmıştır.

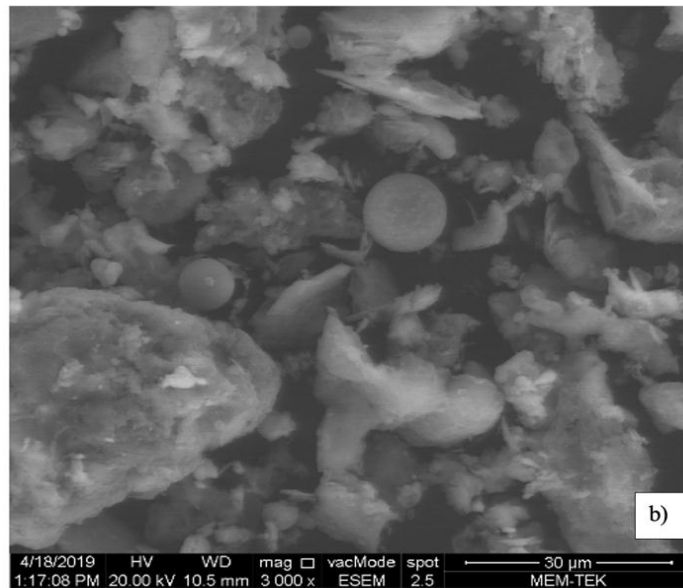
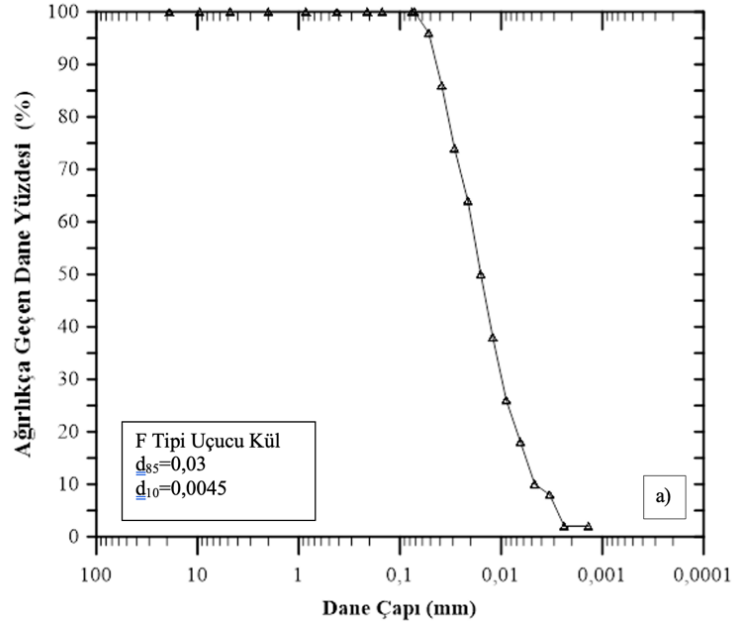
2. Meteryal

2.1. Uçucu Kül

Bu çalışmada, Türkiye'nin Yalova ilinde bulunan termik santralinde enerji üretimi sırasında yan ürün olarak ortaya çıkan uçucu kül kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan uçucu külün kimyasal analizi yapılmış olup moleküllerin ağırlıkça yüzdeleri (Wt (%)) Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Uçucu külün başlıca kimyasal bileşenleri.

| Element | MgO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | Fe ₂ O ₃ | SO ₃ | CaO |
|---------|------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------|------|
| Wt (%) | 6.09 | 57.66 | 22.35 | 2.56 | 7.28 | 1.49 | 2.66 |



Şekil 1. Uçucu küle ait (a) dane boyutu dağılımı ve (b) SEM görüntüsü

ASTM C618' e göre, bitümlü kömür kullanılarak üretilen ve toplam $Al_2O_3+SiO_2+Fe_2O_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller F sınıfına girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. Bu sınıfta bulunan küller, puzolanik özelliğe sahiptirler. F tipi uçucu külün yapısında %98 silt boyutunda taneler bulundurmakta olup geriye kalan kısım ise kil boyutunda tanelerden oluşmaktadır. F tipi uçucu küle ait granülometre eğrisi ve SEM görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.

2.2. Poliakrilamid (Flokülant)

Geotekstil kullanılarak gerçekleştirilen susuzlaştırma işlemlerinde flokülantlar önemli bir yer tutmaktadır. Küçük boyutlu taneleri bir araya getirerek flok denilen yapıyı kurarak susuzlaştırma süresini ve susuzlaştırma verimini artırır [36, 37]. Maurer ve ark. [28] tarafından yapılan bir çalışmada F tipi uçucu küllerin susuzlaştırılmasında anyonik ve katyonik poliakrilamidlerin etkin bir sonuç verdiği görülmüştür. Bu yüzden bu çalışmada, farklı yük yoğunluğu ve moleküler ağırlığa sahip 5 adet anyonik ve 5 adet katyonik poliakrilamid kullanılmıştır. Poliakrilamidlerin tanımlayan en önemli iki özellik yük yoğunluğu ve moleküler ağırlığıdır. Çalışmada kullanılan poliakrilamidlerin bu iki özelliği düşük, orta- düşük, orta-yüksek ve yüksek olarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Poliakrilamidlerin özellikleri.

| Poliakrilamid No | Kimyasal Tip | Bağlı Yük | Molekül Ağırlığı |
|------------------|--------------|--------------|------------------|
| A1 | Anyonik | Düşük | Düşük- Orta |
| A2 | Anyonik | Düşük | Orta |
| A3 | Anyonik | Düşük- Orta | Orta |
| A4 | Anyonik | Orta | Çok Yüksek |
| A5 | Anyonik | Yüksek | Yüksek |
| C1 | Katyonik | Yüksek | Orta |
| C2 | Katyonik | Yüksek | Orta- Yüksek |
| C3 | Katyonik | Orta | Yüksek |
| C4 | Katyonik | Orta | Yüksek |
| C5 | Katyonik | Orta- Yüksek | Çok- Yüksek |

* Katyonik poliakrilamid için: <6 milyon dalton =Düşük, 6- 8 milyon dalton =Orta, >8 milyon dalton = Yüksek. Anyonik poliakrilamid için: <12 milyon dalton = Düşük, 12- 14 milyon dalton =Orta, >14 milyon dalton = Yüksek.

Anyonik ve katyonik poliakrilamidler flokülasyon oluştururken farklı yöntemlerle çalışırlar. Anyonik poliakrilamidler tane yüzeylerine absorbe olarak daha uzun bir zincir yapı olan flok yapıyı oluştururlar. Katyonik poliakrilamidler ise yük değişimi yaparak küçük taneleri bağlayarak flok yapıyı oluştururlar [24-25]. Çalışmada kullanılan bütün poliakrilamidler suda çözünebilen kuru formda bulunmaktadır. Deneylerde kullanılması için su içerisinde homojen olarak çözünmesi sağlanmıştır. Manyetik karıştırıcı yardımıyla 100ml su içerisine 0.01 gr poliakrilamid olacak şekilde homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır.

2.3 Geotekstil

Çalışmada yüksek çekme dayanımına susuzlaştırma projesinde kullanılan monofilament fibrillated örgülü bir geotekstil kullanılmıştır (WG). Geotekstil malzemeden araştırmacılar tarafında da tercih edilen geotekstil polipropilenden yapılmıştır [38, 21, 22]. Geotekstil malzemelerde görünür açıklık boyutu (GAB) önemli bir parametredir. Çünkü, susuzlaştırma işleminde geotekstil malzeme bir filtre görevi üstlenmektedir. Yapılan çalışmalarda AOS'nin 0,42 ve daha küçük olduğunda uçucu küllerin susuzlaştırılmasında yeterli olduğu belirlenmiştir [28-30]. Tablo 3'de çalışmada kullanılan geotekstilin fiziksel ve hidrolik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. Geotekstilin özellikleri.

| Özellikler | Tanım | Değer | Deney Method |
|------------|---|-------|--------------|
| Mekanik | Kütle / birim alan (gr/m ²) | 585 | ASTM D5261 |
| | Kalınlık (mm) | 1.8 | ASTM D5199 |
| | Görünen açıklık boyutu (GAB) (mm) | 0.42 | ASTM D4751 |
| | Minimum çekme dayanımı (kN/m) | 78 | ASTM D4595 |
| | Minimum dikiş dayanımı (kN/m) | 70 | ASTM D4884 |
| Filtrasyon | Su akış hızı (lt/dk/m ²) | 813 | ASTM D4491 |
| | Gözenek boyutu dağılımı (O ₅₀) (Mikron) | 80 | ASTM D6767 |
| | Gözenek boyutu dağılımı (O ₉₅) (Mikron) | 195 | ASTM D6767 |

3. Metod

3.1. Jar Deneyi

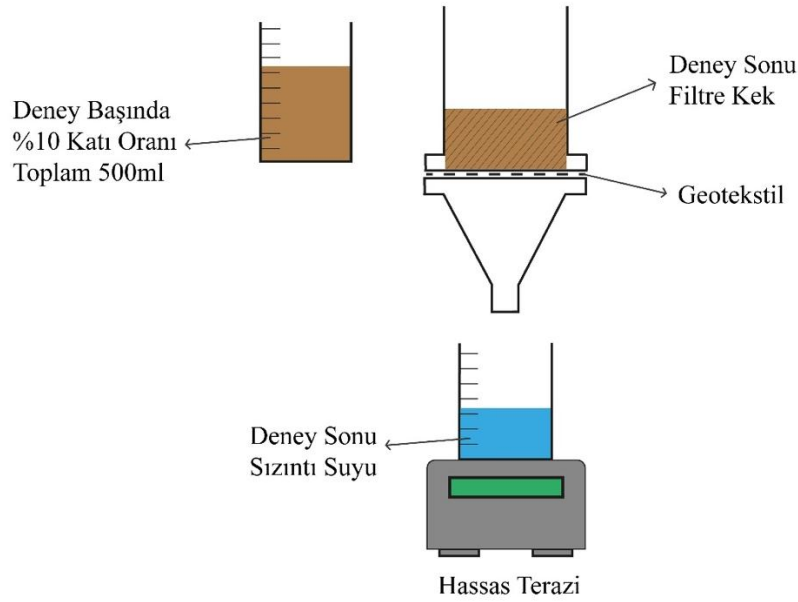
Susuzlaştırma işleminden hızlı çökme hızı ve en düşük bulanıklık değerini veren poliakrilamid ve optimum dozajın bulunması için Velp JLT6 marka Jar deneyi cihazı kullanılarak ASTM D2025-19 standardına uygun şekilde jar test deneyi yapılmıştır. Aynı anda 6 beher çalışılabilen deney aletinde, %10 katı oranında 600 ml olarak hazırlanan karışımlar ile deneyler yapılmıştır. Hazırlanan karışımlar ilk önce 3 dakika 150 rpm karıştırma hızı ile hızlı karıştırma yapılmıştır. Daha sonra 10 farklı poliakrilamid kullanılarak her karışıma 5 ppm'lik poliakrilamid konulmuş ve 1 dakika 50 rpm karıştırma hızıyla karıştırılmıştır. Deney sonunda çökme hızı hesaplanmıştır. Deney bitiminden başlanarak 2 dakika sonra karışımların supernatant kısımdan yaklaşık 3 cm derinlikten otomatik pipet yardımıyla sıvı alınarak bulanıklık ölçülmüştür. Bulanıklık ölçümleri HACH 2100P Turbidimeter cihazı ile ASTM D7725-17 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş. Bulanıklık ölçümleri NTU (Nephelometric Turbidity Unit) olarak ölçülmüştür.

En etkili poliakrilamid seçildikten sonra bu poliakrilamid için optimum dozaj belirlenmiştir. Bunun için aynı prosedür seçilen poliakrilamidin farklı dozajlarında uygulanmıştır. Aynı zamanda, deneylerde kullanılan uçucu kül karışımının, seçilen poliakrilamidin ve flokülasyon sonrasında oluşan supernatant kısmın pH ölçümleri Mettler Toledo S220-K SevenCompact™ pH meter cihazıyla yapılmıştır.

3.2. Filtrasyon Deneyi

Geotekstil tüple susuzlaştırma uygulamalarında tüp içerisinde katı kısmın olabildiğinde fazla kuru tutmak ve sıvı kısmın ise hızlı ve etkili bir şekilde tüpün dışına çıkarmak temel amaçtır. Bu yüzden uygulamaya başlanmadan önce laboratuvarında geotekstil ve belirlenen poliakrilamidin küçük ölçekli deneylerinin yapılması susuzlaştırma verimini öğrenmemiz bakımından önemlidir.

Literatürde araştırmacıların birkaç yöntem kullandığı görülmektedir [28, 30, 38, 39]. Bu çalışmada, Tancate (2015) hızlı susuzlaştırma seti geliştirilerek filtre deney düzeneği hazırlanmıştır. Dolum haznesi ile onu taşıyan kaideden oluşan Filtre deneyinin şematik gösterimi Şekil 2'de görülmektedir [30]. Filtre deneyine başlanmadan önce filtre görevi yapacak olan geotekstil malzeme, iki parçadan oluşan dolum haznesinin arasına yerleştirilmektedir. Kaidesine oturtulan dolum haznesinin üst haznesine manyetik karıştırıcıda karıştırılarak hazırlanan süspansiyon dökülmektedir. Deney boyunca geotekstil malzemeden geçerek hassas terazi üzerinde bulunan beherde toplanan supernatant fazının ağırlığı bilgisayar yardımıyla anlık ölçülmektedir.



Şekil 2. Filtre deney aletinin şematik gösterimi

Filtre deneyleri %10 katı oranına 500 ml'lik uçucu kül karışımları kullanılmıştır. Poliakrilamid katkısız ve farklı dozajlarda poliakrilamid katkılı karışımlarda filtre deneyleri yapılmıştır. Deney sonunda filtre kekinin kalınlığı, su muhtevası ile süpernatant fazındaki katı madde miktarı 105°C etüvde kurularak belirlenmiştir.

3.3. Kimyasal ve Morfolojik Analiz

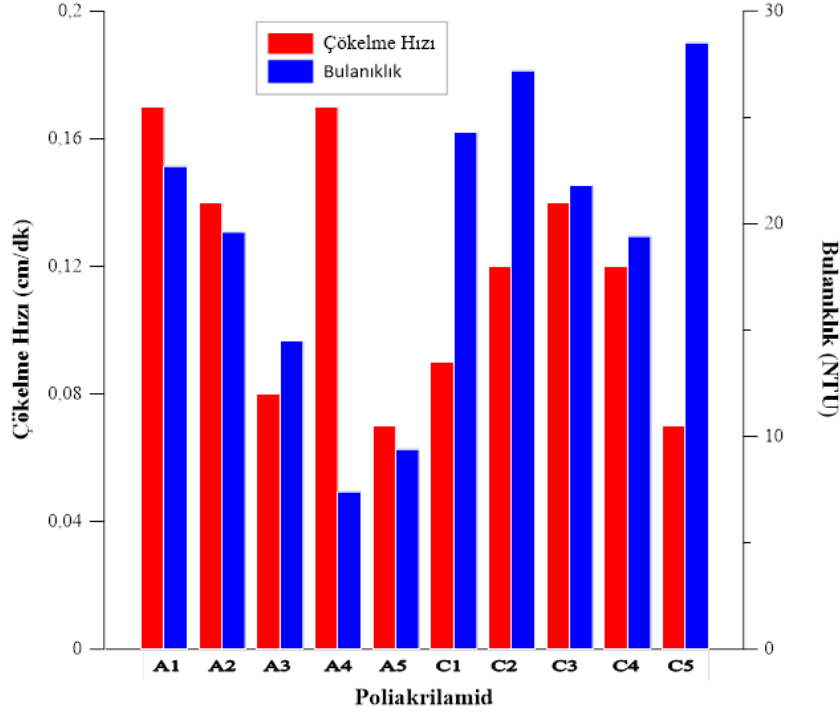
Jar test deneyi ve filtre deneyi sonucunda uçucu külün susuzlaştırılmasında en etkili sonucu veren poliakrilamid ve dozaj belirlenebilmektedir. Susuzlaştırma işlemi sonucunda oluşan süpernatant (sıvı) kısmında poliakrilamid varlığını kontrol etmek için Perkin Elmer- Spectrum 100 FTIR-ATR cihazı kullanılarak Fourier-Dönüşümlü Infrared Spektroskopi (FTIR) analizi yapılmıştır. Burada jar test deneyinde en etkili çökme sağlayan ve çökmeye hiç etkisi olmayan poliakrilamidler ile yapılan susuzlaştırma işlemi sonucunda oluşan katı ve sıvı kısımlar üzerinde analizler yapılmıştır. Daha sonra bu sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Uçucu külün poliakrilamid kullanılarak yapılan susuzlaştırma işlemi sonucunda meydana gelen filtre kekinin morfolojik analizleri için Taramalı Elektron Mikroskobu Enerji Yayımlı X-Ray Spektroskopi (SEM-EDS) cihazı kullanılarak SEM görüntüleri alınmıştır.

4. Bulgular ve Değerlendirme

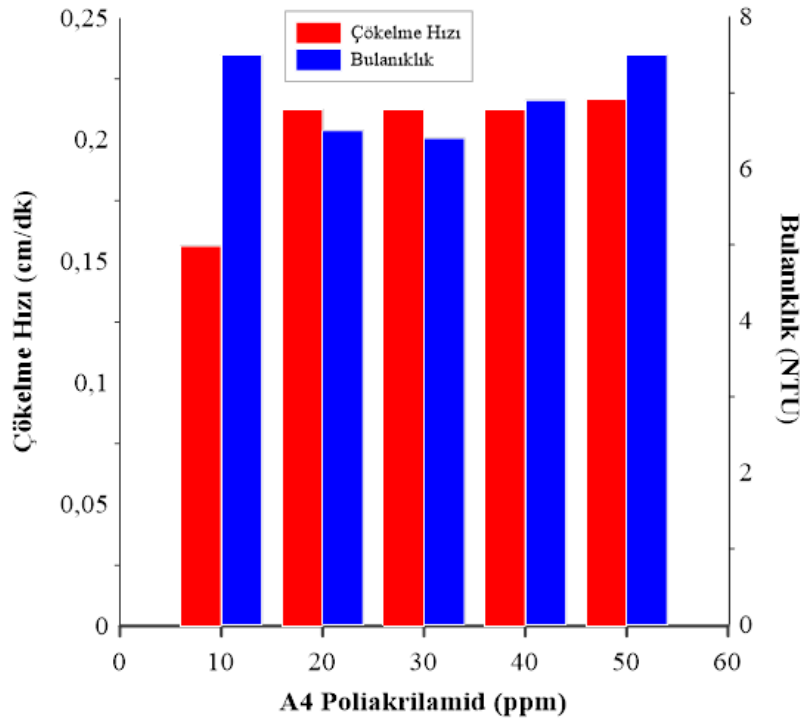
4.1. Jar Test Deneyi

5 anyonik ve 5 katyonik poliakrilamidin kullanılması ile yapılan jar test deneyinde ölçülen çökme hızları ve bulanıklık değerleri Şekil 3'de verilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında F tipi uçucu kül için anyonik ve katyonik yüklü poliakrilamidlerin etkili olduğu anlaşılmaktadır. Maurer ve ark. [28] yapmış olduğu çalışmada da F tipi uçucu kül için benzer sonuç bulunmuştur. Deneyde kullanılan %10 katı oranındaki karışımların bulanıklık değeri 31,400 NTU olarak ölçülmüştür. Anyonik poliakrilamidin kullanılmasında bu değer 7.4-23.7 NTU aralığına, katyonik poliakrilamidin kullanılmasında ise 19.4-28.5 NTU aralığına kadar düştüğü görülmüştür. Çökme hızlarına, anyonik poliakrilamidlerde 0,08-0,17 cm/dk, katyonik poliakrilamidlerde ise 0,07-0,14 cm/dk aralığında değişmektedir. Deney öncesi uçucu kül karışımının zeta potansiyel değeri -0.4 mV ve pH değeri ise 7.1 olarak ölçülmüştür. Zeta potansiyeli değerinin sıfır veya sıfıra yakın olması tanelerin kararsız yapıda olduğunu göstermektedir. Bu yüzden iki yük sınıfının da etkili olduğu

düşünülmektedir. Yapılan zeta potansiyel ölçümleri Tablo 4’de verilmiştir. Uçucu külün zeta potansiyeli -0.4mV olarak ölçülmüştür. Poliakrilamid kullanıldıktan sonra oluşan supertanant kısmın zeta potansiyeli ise artarak -16 mV olarak ölçülmüştür. Bunun sebebi, supertanant kısımda A4 poliakrilamidi çok az ve seyrek olarak sızıntı su içerisinde bulunduğu kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3. Farklı poliakrilamidlerin jar test deneyi sonucunda ölçülen çökeltme hızı ve bulanıklık değerleri



Şekil 4. A4 poliakrilamidinin farklı dozajlarda yapılan jar test deneyi sonucunda ölçülen çökeltme hızı ve bulanıklık değerleri

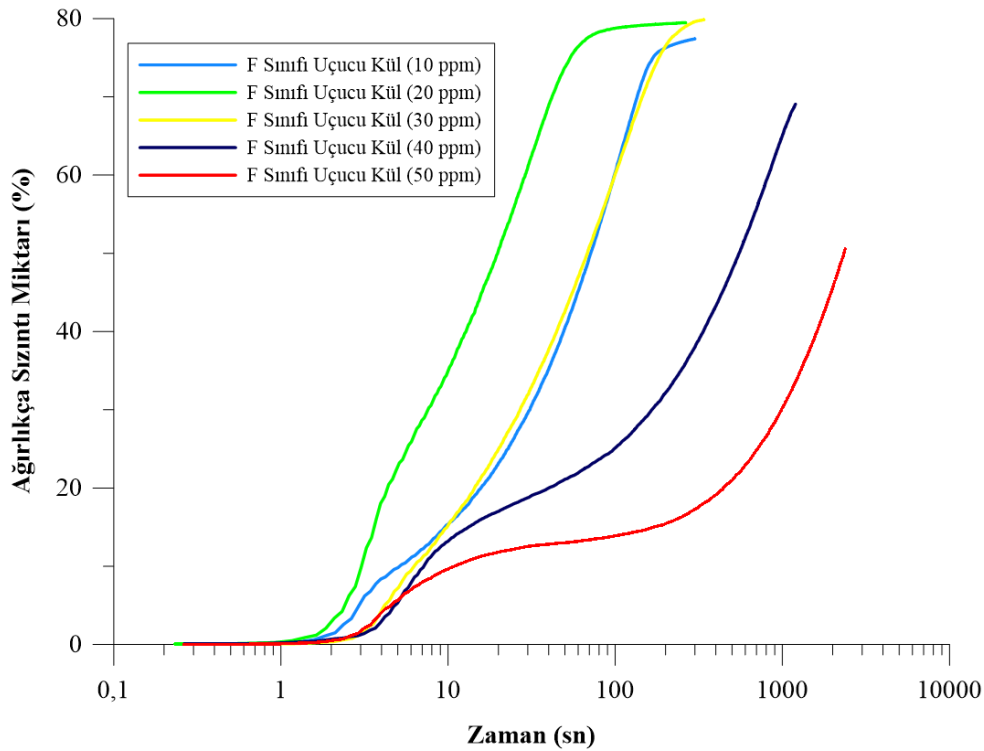
Tablo 4. Zeta potansiyel değerleri.

| Numune | Zeta Potansiyeli (mV) |
|------------------|-----------------------|
| Uçucu Kül | -0.4 |
| A4 poliakrilamid | -37.9 |
| Sızıntı suyu | -16 |

Deney sonuçlarına bakıldığında çökeltme hızında en büyük değeri ve bulanıklık değerinde ise en düşük ölçümü veren A4 poliakrilamidi olduğu anlaşılmaktadır. A4 poliakrilamidin 10, 20, 30, 40 ve 50 ppm olarak farklı dozajların için yapılan jar test deneyi sonucu Şekil 4’de verilmiştir. Bulanıklık değerinin 20ppm en düşük değerini alırken, poliakrilamid dozajının artması ile bulanıklık değerinin arttığı görülmektedir. Çökeltme hızlarının ise 20ppm ve sonrası dozajlarda aynı kaldığı tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında, 20ppm dozajın A4 poliakrilamidi için optimum dozaj olduğu anlaşılmaktadır.

4.2. Filtrasyon Deneyi

%10 katı oranıyla hazırlanan kül karışımına poliakrilamid eklenmeden yapılan filtre deneyinde, karışım içerisindeki katı kısmın geotekstilin gözeneklerinden geçtiği ve bu yüzden filtre keki oluşmadığı görülmüştür. Daha sonra poliakrilamid eklenerek yapılan filtre deneylerinde ise filtre keki oluşmuştur.

**Şekil 5.** Zamana göre sızıntı suyunun ağırlıkça değişimi

Şekil 5’ te farklı dozajlarda poliakrilamid eklenerek yapılan filtre deneylerinin zamanla süzüntü miktarının ağırlıkça yüzdesi verilmiştir. Şekil 5’te görüldüğü gibi susuzlaşma en hızlı 20ppm’de gerçekleşmiştir. 10ppm ve 30ppm hemen hemen aynı eğrilere sahiptir. 40ppm ve 50ppm dozajlarda ise susuzlaşma süresi artmış olup sızıntı miktarında da ciddi azalma olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, partikül ölçümlerinde de görüldüğü gibi optimum dozajın üstünde poliakrilamid eklendiğinde flok boyutunun küçülmesi ve oluşan filtre kekinin permeabilitesinin daha düşük olması olarak açıklanabilir. Şekil 6’da filtre deneyi sonunda oluşan filtre kekinin su muhtevası ile

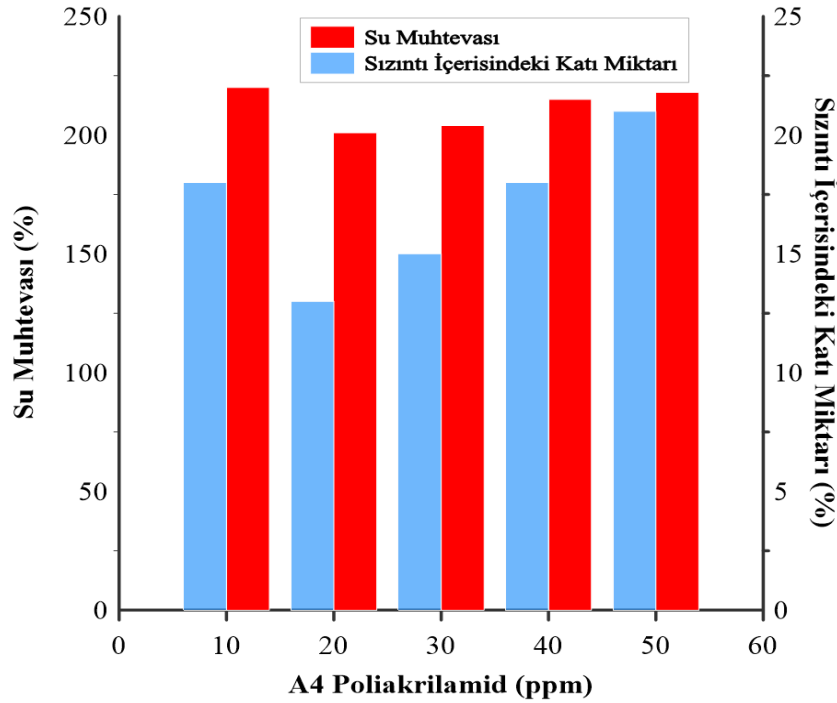
sızıntı suyunun içerisindeki katı miktarı verilmiştir. Bu iki değer için en düşük değerleri 20ppm dozajda görülmektedir.

Bir çok araştırmacı tarafından geotekstil tüp ile susuzlaştırma performansının değerlendirilmesi için 2 parametre kullanılmaktadır [26, 32, 40]. Bunlar; FE çamur içerisindeki katı tutma verimliliği yani filtrasyon verimliliği ve DE susuzlaştırma verimliliğidir.

$$FE = \frac{TS_i - TSS_f}{TS_i} \times 100(\%) \quad (1)$$

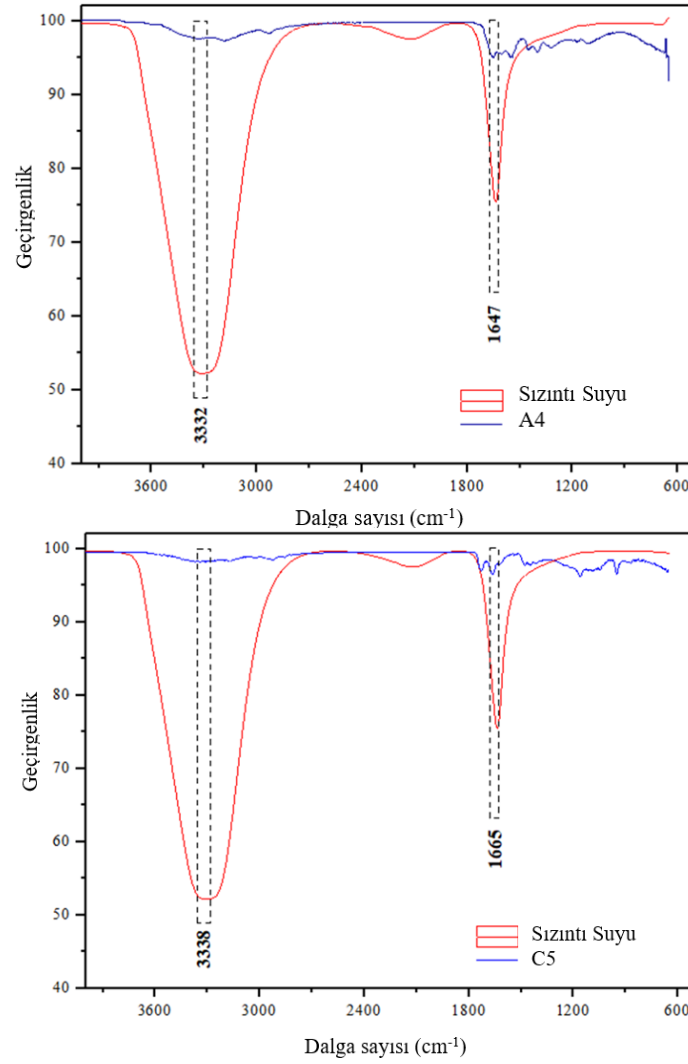
$$DE = \frac{PS_f - PS_i}{PS_i} \times 100(\%) \quad (2)$$

Burada; TS_i , başlangıçtaki toplam katı miktarı (gr/lt), TSS_f , sızıntı suyuna geçen katı miktarı (gr/lt), PS_i , başlangıçtaki ağırlıkça katı miktarı yüzdesi, PS_f , deney sonunda filtre kekinin ağırlıkça katı miktarı yüzdesidir.



Şekil 6. Filtre deneyi sonucunda oluşan filtre kekinin su muhtevası ve sızıntı suyu içerisindeki katı miktarının değişimi

Bu çalışmada, optimum dozaj için FE %84 iken DE ise %230 olarak hesaplanmıştır. Susuzlaştırma verimini diğer çalışmalar ile karşılaştırsak, Kutay ve Aydilek [32] çalışmalarında 0.4-0.6 mm görünür açıklık boyutuna (AOS) sahip 4 farklı örgülü geotekstil kullanmıştır. Bu çalışmada susuzlaştırma verimi (DE) %38 ile %58 arasında değişiklik göstermektedir. Aynı şekilde, Muthukumuran ve Ilamparuthi [40] ise 0.09-0.6 mm görünür açıklık boyutuna (AOS) sahip farklı örgülü geotekstiller kullanmış olup DE değerinin %79 ile %100 arasında değişiklik gösterdiğini bulunmuştur. Susuzlaştırma verimi olarak bu çalışmada bulunan değer literatürde yapılan çalışmalardan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Muthukumuran ve Ilamparuthi [40] tarafından yapılan çalışmada filtrasyon verimliliği (FE) %94 ile %99.91 arasında değişiklik gösterdiği ve bu çalışmada bulunan filtrasyon verimliliğinden daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7. Uçucu külün A4 ve C5 polimeri ile yapılan flokülasyonun supernatant fazında FTIR spketrumu

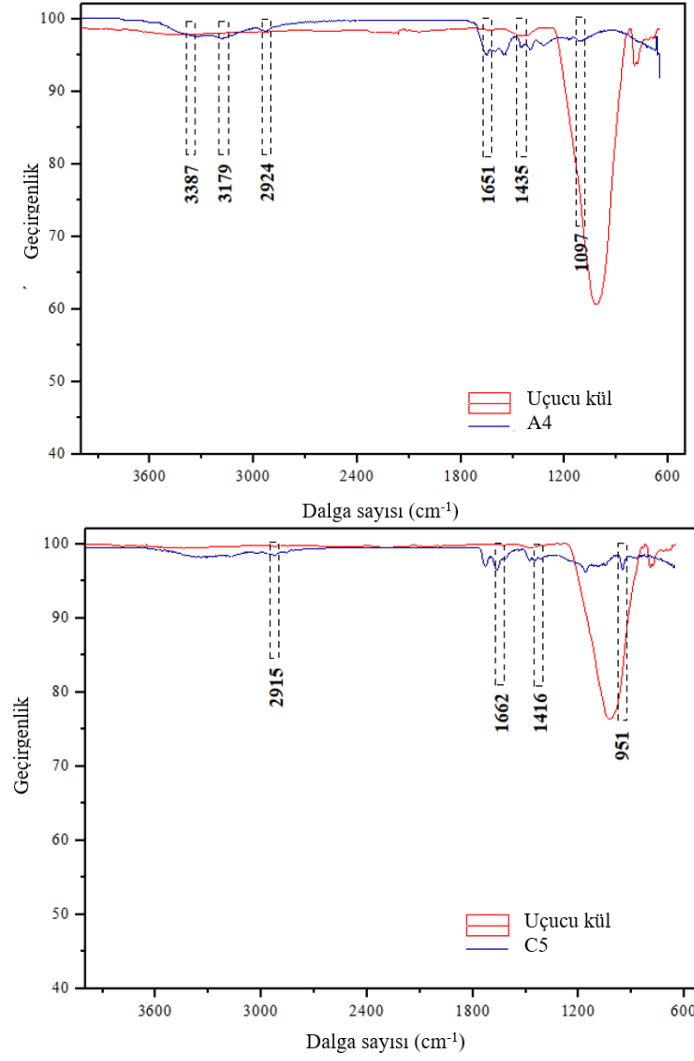
4.3. Kimyasal ve Morfolojik Analiz

Çıkış suyunda poliakrilamid kalıntısını değerlendirmek amacıyla en etkili poliakrilamid olarak bulunan A4 anyonik poliakrilamidin ve jar test deneyi sonucunda en yüksek bulanıklık değerini veren C5 kationik poliakrilamidin uçucu kül ile flokülasyonu sonucunda oluşan katı kısım ve sıvı kısım üzerinde FTIR analizi yapılmıştır. Şekil 7’de A4 ve C5 poliakrilamidi ile yapılan flokülasyon sonucu oluşan supernatant fazında sadece su piklerinin olduğu görülmüştür ($3300-3450\text{ cm}^{-1}$ bandı ve 1650 cm^{-1} bandı). Poliakrilamid konsantrasyonu düşük ve suda seyreltik dağılmıştır. Bu durum sadece su piklerinin görünür olmasını açıklamaktadır.

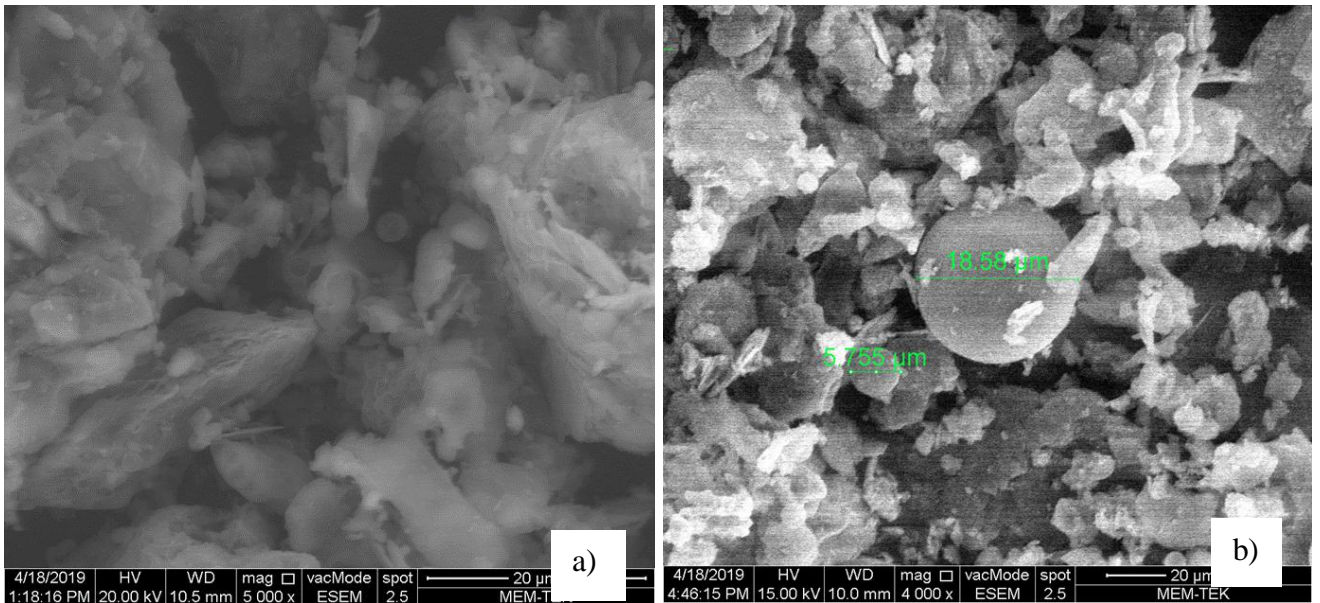
Şekil 8’de görüldüğü gibi A4 poliakrilamidi ile yapılan flokülasyonda çıkan piklerin alanları daha geniş olmakta dolayısıyla bağ yoğunluğunun arttığını göstermektedir. Özellikle göze çarpan pikler; $-\text{CH}_3$ ve $-\text{CH}_2-$ asimetrik gerilme titreşimi (2924 ve 2915 cm^{-1}), $-\text{CH}_2-\text{N}$ içindeki $-\text{CH}_2-$ bağ titreşimi (1435 ve 1468 cm^{-1}). Bu durum uçucu kül numunesi için A4 poliakrilamidi ile daha verimli olduğunu göstermektedir.

Uçucu külün poliakrilamid katkılı yapılan filtre deneyi sonucunda oluşan filtre kekinin ve ham halinin morfolojik analizleri yapılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu Enerji Yayımlı X-RAY Spektroskopi (SEM-EDS) kullanılarak görüntüleri alınmıştır. Şekil 9’da uçucu külün katkılı ve katkısız SEM görüntüleri görülmektedir. Katkısız uçucu külün dağınık, heterojen yapısının ön plana

çıktığı görülmektedir. Polimer eklenmiş çamur görüntüsünde ise flok oluşumu ve flokların etrafındaki yapışkan madde tespit edilebilmektedir.



Şekil 8. Uçucu külün A4 ve C5 polimeri ile yapılan flokülasyonun çamur fazında FTIR spktrumu



Şekil 9. Uçucu külün a) katkısız ve b) katlı filtre kekinin SEM görüntüsü

5. Sonuç ve Öneriler

Türkiye’de kömür kullanımı ile elektrik üretilen bir termik santralden alınan F tipi uçucu külün geotekstil ve poliakrilamid kullanılarak susuzlaştırma performansının değerlendirilmesi üzerine yapılan araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Hem anyonik ve katyonik yüklü poliakrilamid uçucu külün flokülasyonunda etkili olduğu anlaşılmaktadır. Literatürle benzer sonuç vermesine rağmen, bu çalışmada anyonik poliakrilamidin daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu çalışmada zeta potansiyeli sıfırdan azda olsa farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Anyonik A4 poliakrilamidin 20ppm dozajıyla yapılan deneyde filtrasyon verimliliği ve susuzlaştırma verimliliği sırasıyla %84 ve %230 olarak bulunmuştur. Filtrasyon verimliliği literatürde bulunan değerlere göre biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi çalışmada kullanılan uçucu külün dane çapı dağılımının çok homojen olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Susuzlaştırma verimliliği ise literatüre göre daha iyi sonuç vermiştir.
- Susuzlaştırma öncesi üst fazda flokülant kalıntısı izlemek için FTIR analizinin kullanılması bu çalışmaya has bir özelliktir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, çalışmadaki diğer analizleri destekler nitelikte anyonik poliakrilamidin daha iyi çökme sağladığı görülmüştür.

Uçucu külün susuzlaştırma işlemi sonunda oluşan filtre kekin ve sızıntı suyunun çevresel etkilerinin araştırılması ve filtre kekin mühendislik parametrelerinin araştırılması gelecekte yapılacak çalışmalar için önem arz etmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. IEA. Power Generation in the New Policies Scenario, 2000–2040; IEA: Paris, France; Available online: <https://www.iea.org/data-andstatistics/charts/power-generation-in-the-new-policies-scenario-2000-2040> (accessed on 6 April 2021).
- [2]. Danilov, A.S., Pashkevich, M.A., Petrova, T.A., Environmental integrated monitoring system at reclamation of large open-cast coal mine, Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects. In Proceedings of the 11th Conference of the Russian-German Raw Materials, St. Petersburg, Russia, 7 November 2019; pp. 189–194.
- [3]. Yao, Z.T., Sarker, J.H., Tang, J.T., Ge, L.Q, Xia, M.S., and Xi, Y.Q., A comprehensive review on the applications of coal fly ash, Earth-Science Reviews, 2015, 141,105-121.
- [4]. Izquierdo, M., Querol, X., Leaching behavior of elements from coal combustion fly ash: an overview, Int. J. Coal Geol., 2012, 94, 54–66.
- [5]. Anjani R.K. Gollakota, Vikranth Volli, Chi-Min Shu, Progressive utilisation prospects of coal fly ash: a review, Sci. Total Environ, 2019, 672, 951–989.
- [6]. Lior, N., Sustainable energy development: the present (2009) situation and possible paths to the future, Energy, 2010, 35, 3976–3994.
- [7]. Temimi, M., Camps, J.P., Laquerbe, M., Valorization of fly ash in the cold stabilization of clay materials, Resour. Conserv. Recycl., 1995, 15, 219–234.
- [8]. Ilic, M., Cheeseman, C., Sollars, C., Knight, J., Mineralogy and microstructure of sintered lignite coal fly ash, Fuel, 2003, 82, 331–336.
- [9]. Thomas, T., Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete, ortland Cement Association, 2007, Vol. 5420, P, Skokie, IL.
- [10]. Loya, M.I.M., Rawani, A.M., A review: promising applications for utilization of fly ash, Int. J. Adv. Technol. Eng. Sci., 2014, 2, 143–149.

- [11]. Koliyas, S., Kasselouri-Rigopoulou, V. A., Karahalios, Stabilisation of clayey soils with high calcium fly ash and cement, *Cem. Concr. Compos.*, 2005, 27 (2) 301–313.
- [12]. Wang, S., Wu, H., Environmental-benign utilisation of fly ash as low-cost adsorbents, *J. Hazard. Mater.*, 2006, 136 (3), 482–501.
- [13]. Ram, L.C., Masto, R.E., Fly ash for soil amelioration: a review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments, *Earth-Sci. Rev.*, 2014, 128, 52–74.
- [14]. Skousen, J., Paul Ziemkiewicz, Z., Yang, J.E., Use of coal combustion by-products in mine reclamation: review of case studies in the USA, *Geosyst. Eng.*, 2012, 15, 71–83.
- [15]. Lokeshappa, B., Dikshit, A.K., Fate of metals in coal fly ash ponds, *Int J Environ Sci Dev.*, 2012, 3(1), 43–48.
- [16]. Mehra, A., Farago, M.E., Banerjee, D.K., Impact of fly ash from coal-fired power stations in Delhi with particular reference to metal contamination, *Environ Monit Assess*, 1998, 50, 15–35.
- [17]. Pandian, N.S., Fly ash characterization with reference to geotechnical application, *J. Indian Inst Sci.*, 2004, 84 (6), 189–216.
- [18]. Chikkatur, A.P., A resource and technology assessment of coal utilization in India. In: *Coal initiative reports, white paper series*, Pew Center on Global Climate Change, Arlington, 2008, pp 1–52.
- [19]. Berg, G.V. D., Oliveira, F. A. P. D., Adequacy of geotextile tube dewatering in three river remediation scenarios, *River Basin Management X WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2019, 234, 155-165.
- [20]. Ardila, M. A. A., Souza, S.T., Silva, J. L., Valentin, C. A. and Dantas A. B., Geotextile Tube Dewatering performance assessment: an experimental study of sludge dewatering generated at a water treatment plant, *Sustainability*, 2020, 12, 8129.
- [21]. Karadoğan Ü., Korkut, S., Çevikbilen, G., Teymur, B., Koyuncu, İ., Evaluation of beneficial of polyacrylamide use dewatering of dredged sludge obtained from golden horn, *Marine Georesources & Geotechnology*, 2020, 39 (8), 919-928.
- [22]. Karadoğan Ü., Çevikbilen G., Korkut, S., Paşaoğlu, M.E., Teymur, B., Dewatering of Golden Horn sludge with geotextile tube and determination of optimum operating conditions: A novel approach, *Marine Georesources & Geotechnology*, 2021,
- [23]. He, J., Chu, J., Tan, S.K., Vu, T.T., Lam, K.P., Sedimentation behavior of flocculant-treated soil slurry, *Marine Georesources & Geotechnology*, 2017, 35:5, 593-602.
- [24]. Elimelech, M., Gregory, J., Jia, X., Williams, R.Z., *Particle Deposition and Aggregation*, Butterworth Heinmann Publishing, 1995.
- [25]. Gregory, J., *Particles in water: properties and processes*. CRC Press, 2005.
- [26]. Satyamurthy, R., Bhatia, S. K., Effect of polymer conditioning on dewatering characteristic of fine sediment slurry using geotextiles, *Geosynthetics International*, 2009, 16(2), 83-96.
- [27]. Khachan, M.M., Bhatia, S. K., Maurer, B. S., Gustafson, A. C., Dewatering and utilization of fly ash slurries using geotextile tubes. *Indian Geotech*, 2012, 42(3), 194-205.
- [28]. Maurer B. W., Gustafson, A. C., Bhatia, S. K., Palomino, A. M., Geotextile dewatering of flocculated, fiber reinforced fly-ash slurry, *Fuel*, 2012, 97, 411–417.
- [29]. Cetin, D., Sengul, T., Bhatia, S. K., Khachan, M. M., Effect of polymer and fiber usage on dewatering and compressibility behavior of fly ash slurries, *Marine Georesources & Geotechnology*, 2016, 35(5), 678-687.
- [30]. Fatema, N., Bhatia, S. K., Grady, W.F., Comparison of 1-D and 2-D geotextile dewatering tests with fly ash slurry, *Proceedings of the 11th International Conference on Geosynthetics*, 16-21 September 2018, Seoul, Korea.
- [31]. Jadhao, P.D., Nagarnaik, P.B., Influence of polypropylene fibers on engineering behavior of soil—fly ash mixtures for road construction, *Electron J Geotech Eng*, 2008, 13(C), 1–11
- [32]. Kutay, M.E., Aydilek, A.H., Retention performance of geotextile containers confining geomaterials, *Geosynth Int.*, 2004, 11(2), 100–113.

- [33]. Glover, S.M., Yan, Y., Jameson, G. J., Biggs, S., Dewatering properties of dual- polymer-flocculated systems, *International Journal of Mineral Processing*, 2004, 73, 145-160.
- [34]. McLaughlin, R.A. Bartholomew, N., Soil factors influencing suspended sediment flocculation by polyacrylamide, *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71(2), 537- 544.
- [35]. Semsar, M. S., Scholz, S., Kulicke, W. M., Cationic starches as substitute for synthetic cationic flocculants in solid–liquid separation of harbor sludge, *The Journal of Physical Chemistry*, 2007, 111(29), 8641–8641-8.
- [36]. Leshchinsky, D., Leshchinsky, O., Ling, H. I., Grilbert, P. A., Geosynthetic tubes for confining pressurized slurry: Some design aspects, *Journal of Geotechnical Engineering*, 1996, 122(8): 682–690.
- [37]. Yee, T. W., Lawson, C. R., Modelling the geotextile tube dewatering process, *Geosynthetics International*, 2012, 19(6), 339–53.
- [38]. Berilgen, S. A. Bulut, T. B., Laboratory investigations for dewatering of Golden Horn dredged sludge with geotextile tubes. *Marine Georesources & Geotechnology*, 2016, 34, 638-647.
- [39]. TenCate, TenCate RDT Test, TENCATE Corporation http://www.tencate.com/amer/Images/bro_rdt_tcm29-12759.pdf (accessed April 13, 2015).
- [40]. Muthukumaran, A.E., Ilamparuthi, K., Laboratory studies on geotextile filters as used in geotextile tube dewatering, *Geotext Geomembr*, 2006, 24(4), 210–219.