

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ
ŞARTLANDIRILMASINDA ALTERNATİF
YÖNTEMLERİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Derya AKBULUT

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE

Mayıs 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK SU ARITMA ÇAMURLARININ
ŞARTLANDIRILMASINDA ALTERNATİF
YÖNTEMLERİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Derya AKBULUT

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 02.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr.
Ömer H. DEDE
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Saim ÖZDEMİR
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Eray YILDIRIM
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Derya AKBULUT

04.05.2017

TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübesiyle bizlere yol gösteren ve bu tez çalışmasında çok büyük emeği olan kıymetli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE'ye ve tez çalışmalarımda bana yardımcı olan Araştırma görevlisi Hasan ÖZER'e çok teşekkür ederim.

Okul hayatım boyunca her an yanımda olan başta annem Fatma COŞAN ve babam Ali COŞAN olmak üzere tüm aileme ve desteğini hiç eksik etmeyen her daim benimle olan sevgili eşim Faruk AKBULUT'a sonsuz sevgi ve şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ÖZET	vii
SUMMARY.....	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KONUNUN BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK UYGULAMADAKİ YERİ.....	4
2.1. Atık Suların Arıtılması	5
2.2. Atık Su Arıtma Çamurları	5
2.3. Atık Su Arıtma Çamurlarının Bertarafı.....	6
2.4. Atık Su Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırılması	7
2.4.1. Atık su arıtma çamurlarının su içeriği.....	7
2.4.2. Atık su arıtma çamurlarının yoğunlaştırılması	8
2.4.3. Atık su arıtma çamurlarının şartlandırılması	8
2.4.4. Fiziksel şartlandırma	9
2.4.5. Kimyasal şartlandırma.....	10
2.5. Konuyla İlgili Olarak Daha Önce Yapılmış Bilimsel Çalışmalar.....	10
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE METOT	17
3.1. Çalışmada Kullanılan Ham Atık Su Arıtma Çamurlarının Temini.....	18
3.2. Çalışmada Kullanılan Biyokütle ve Kömür Küllerinin Temini.....	19

3.3. Arıtma Çamuru ve Küllerin Karıştırılması.....	21
3.4. Arıtma Çamuru ve Polielektrolit Karışımının Hazırlanması.....	22
3.5. Kuru Madde Miktarı ve Nem İçeriklerinin Belirlenmesi	23
3.6. pH Değerinin Belirlenmesi	23
3.7. Organik Madde İçeriğinin Belirlenmesi	24
3.8. Arıtma Çamuru ve Kül Karışımlarının Özgül Filtre Direncinin Belirlenmesi	25
3.9. Arıtma Çamuru ve Kül Karışımlarının Mikrograf ve SEM Görüntülerinin Çekilmesi.....	26
3.10. Ağır Metal İçeriğinin Belirlenmesi.....	26
3.11. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler	27
BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	28
4.1. Çalışmada Kullanılan Arıtma Çamurunun Özellikleri.....	29
4.2. Çalışmada Kullanılan Biyokütle ve Kömür Külünün Özellikleri	30
4.3. Biyokütle ve Kömür Külü İlavesinin Arıtma Çamurunun Su Verme Özellikleri Üzerindeki Etkileri	32
4.4. Biyokütle ve Kömür Külü Uygulamalarının Arıtma Çamuru Üzerindeki Etkilerinin Mikrograf ve SEM Görüntüleri İle İncelenmesi	34
4.5. Biyokütle ve Kömür Külü Uygulamalarının Çöktürme Süresi Boyunca Süpernatant Hacmi Üzerindeki Etkileri	38
4.6. Biyokütle ve Kömür Külü Uygulamalarının Arıtma Çamuru Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması	40
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C:N	: Organik karbon/azot oranı
Çİ	: Çimlenme indeksi
EC	: Elektriksel iletkenlik
EMS	: En muhtemel sayı
GB	: Grid boyutu
GGM	: Griddeki gübre miktarı
GM	: 1m ² 'deki gübre miktarı
K	: Biyokütle külü
KM	: Kuru madde
KOB	: Koloni oluşturan birim
OM	: Organik madde
T	: Tavuk Gübresi
TK	: Tavuk Gübresi ve Biyokütle Külü Karışımı
TN	: Toplam Azot
TOC	: Toplam Organik Karbon

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Arıtma çamurlarının arazide düzensiz depolanması.....	6
Şekil 2.2. Arıtma çamurlarının mekanik susuzlaştırılması.....	7
Şekil 2.3. Arıtma çamuru şartlandırma ünitesi	9
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan çamurların temin edildiği arıtma tesisi	18
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru numuneleri	19
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan kömür ve biyokütle külü numuneleri.....	20
Şekil 3.4. Arıtma çamuru ve küllerin karıştırılması.....	22
Şekil 3.5. Arıtma çamuru ve polielektrolit karışımı	22
Şekil 3.6. Arıtma çamuru ve kül karışımlarının kuru madde ve nem miktarlarının belirlenmesi	23
Şekil 3.7. Numunelerin pH ve EC ölçümü.....	24
Şekil 3.8. Toplam organik madde (OM) miktarının belirlenmesi	24
Şekil 3.9. Arıtma çamuru ve kül karışımlarının özgül filtre direncinin belirlenmesi	25
Şekil 3.10. Karışımlarının mikrogram ve SEM görüntülerinin çekilmesi.....	26
Şekil 3.11. Numunelerin ağır metal içeriklerinin belirlenmesi	27
Şekil 4.1. Biyokütle kömür külü uygulamalarının mikrogram ve SEM görüntüleri.	35
Şekil 4.2. Biyokütle külü uygulamasında çöktürme süresi boyunca süpernatant hacminin değişimi.....	39
Şekil 4.3. Kömür külü uygulamasında çöktürme süresi boyunca süpernatant hacminin değişimi.....	39
Şekil 4.4. Biyokütle ve kömür külü uygulamalarının özgül filtre direnci sonuçlarının karşılaştırılması.....	40
Şekil 4.5. Biyokütle kömür külü uygulamalarının filtre keki nem miktarı sonuçlarının karşılaştırılması.....	41

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Karışımlarda kullanılan kül ve arıtma çamuru miktarları	21
Tablo 4.1. Çalışmada kullanılan arıtma çamurunun özellikleri ve literatürde verilen değerler	30
Tablo 4.2. Çalışmada kullanılan biyokütle ve kömür külünün pH, EC ve ağırmetal değerleri	31
Tablo 4.3. Hazırlanan karışımların pH, organik madde ve susuzlaştırma ile ilgili özellikleri	34

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamurlarının susuzlaştırılması, biyokütle külü, kömür külü

Arıtma çamurlarının içerdiği su miktarının düşürülmesi, bertaraf edilecek çamur miktarının azaltılması ve bertaraf seçeneklerinin artması bakımından en belirleyici unsurdur. Mevcut durumda çamur susuzlaştırmada en çok kullanılan yöntemler mekanik yöntemlerdir. Ancak mekanik yöntemlerin veriminin artırılması için, çamura polielektrolit ilave edilerek şartlandırma işlemi yapılması ve çamurun su verme özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada çamur şartlandırma işleminde ki polielektrolit kullanımına alternatif olarak biyokütle ve kömür külü kullanımının, arıtma çamurunun su verme özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla biyokütle ve kömür külü değişik oranlarda arıtma çamurları ile karıştırılmıştır. Kontrol uygulaması olarak da 1/1000'lik katyonik polielektrolit çözeltisi kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar göre karışımlardaki kül oranı arttıkça, su verme özelliklerinin en önemli göstergeleri olan, özgül filtre direnci (ÖFD) ve filtre keki nem miktarları (FK) önemli ölçüde azalmıştır. Kontrol olarak kullanılan polielektrolit uygulamasına (ÖFD: $2,8 \cdot 10^{11}$ m.kg⁻¹, FK: %58,96) en yakın sonuçlar, en yüksek oranda biyokütle külü kullanılan BÇ₆ uygulamasında (ÖFD: $29 \cdot 10^{11}$ m.kg⁻¹, FK: %65,92) elde edilmiştir. Bununla birlikte biyokütle ve kömür külü uygulamalarının sonuçları istatistiksel olarak önemli ölçüde benzer bulunmuştur ($R^2=0,99$). Biyokütle ve kömür külü ağır metal içeriğinde ise, Zn dışındaki tüm değerlerde, biyokütle külünün ağır metal oranlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre, biyokütle ve kömür küllerinin evsel atık su arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceği, ancak çamurun ağır metal düzeyi göz önünde bulundurularak, susuzlaştırmadan sonraki bertaraf alternatiflerinin artırılması için biyokütle külü kullanımının en iyi alternatif olduğu söylenebilir.

ANALYZING THE EFFECTS OF ADDITION OF BIOMASS AND COAL ASH FOR BEING IMPROVED THE DEWATERING PROPERTIES OF SEWAGE SLUDGES

SUMMARY

Keywords: Dewatering of the sewage sludges, biomass ash, coal ash

Diminishing the amount of water in sewage sludges is the most determinant factor in terms of increasing the options of removing and being reduced the number of sludges to remove. In the current situation, the most preferred methods are the mechanic methods for sludge dewatering. But, the quenching features of the sludge must be improved and the conditioning procedures need to be actualized by adding polyelectrolyte into the sludge to enhance the productivity of the mechanical methods. As an alternative to the use of polyelectrolyte in sludge conditioning procedure, the effects of the use of biomass and coal ash on the quenching features are analyzed in this research. For this purpose, the biomass and the coal ash were mixed with the sewage sludges in different ratios. The 1/1000 cationic polyelectrolyte solution was used as the control application. According to the results obtained from the study, as the ash content in the mixtures increases, the specific resistance to filtration (SRF) and the filter cake moisture content (FCM), which are the most important indicators of water quenching properties, have been significantly reduced. The closest results to the polyelectrolyte application (SRF 2,8.1011 m.kg-1, FCM: % 58,96) used as the control were obtained from the BC6 application (SRF: 29.1011 m.kg-1, FCM: % 65,92) where the highest ratio of biomass ash used. Moreover, the results of the implementations of biomass and coal ash are determined as statistically similar ($R^2=0,99$). In the content of biomass and coal ash heavy metals, it is seen that the ratios of heavy metal of biomass ash are lower for all values other than Zn. It is thought according to these results that the biomass and coal ash can be used to improve the dewatering features of domestic waste water treatment sludges. However, considering the heavy metal level of the sludge, it can be said that the best alternative is the use of biomass ash for increasing the disposal options after dewatering.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüz şartlarında evsel ve endüstriyel su kullanımı yüksek boyutlara ulaşmıştır. Bu durum kullanılmış suların arıtılarak doğal çevre ve insan sağlığına zarar vermeden bertarafını zorunlu kılmaktadır. Bundan dolayıdır ki dünya genelinde her yıl değişik boyutlarda ve farklı arıtma teknolojileri kullanan birçok arıtma tesisi kurulmakta ve işletilmektedir. Ancak atık suların bu tesislerde arıtılarak tekrar kullanılması veya uygun alıcı ortama deşarjı prosesi sonlandırmamaktadır. Çevresel riskleri tam olarak ortadan kaldıracı için arıtma işlemi sırasında ortaya çıkan atık su arıtma çamurlarının da uygun bertarafının yapılması gerekmektedir [1].

Bununla birlikte bu işlem en az atık suyun içindeki kirleticileri sudan uzaklaştırmak kadar zahmetli olup, toplam arıtma maliyetinin yarısını oluşturmaktadır [2]. Literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışmaların ortak görüşü olarak, çamur bertaraf maliyetinin düşürülmesi ve bertaraf işlemlerinin kolaylaştırılarak, işlem seçeneklerin artırılabilmesinin en pratik yolu, arıtma çamuru miktarının kaynağında azaltılmasıdır [3]. Bertaraf edilmesi gereken çamur miktarının azaltılması ise ancak çamurun içerisinde bulunan yüksek orandaki suyun azaltılması ile mümkün olabilir. Bunun yanında yaklaşık %95 oranında su içeren çamurun susuzlaştırılması, çamurdaki suyun dağılımı, hücre dışı polimerik maddelerin miktar ve dağılımı ve çamurun partikül boyutu gibi parametreler ile doğrudan ilişkili ve son derece karmaşık bir prosestir [4, 5, 6].

Çamur susuzlaştırma işlemi için geliştirilen birçok yöntem bulunmasına rağmen, bu işlem için en çok tercih edilen yöntemler mekanik su alma sistemleridir. Mekanik susuzlaştırma sistemlerinin arıtma tesisinde küçük bir alan gerektirmesi ve zamandan tasarruf sağlamaları tercih edilmelerinin ana sebepleridir. Ancak çamur bu sistemlerde işleme girmeden önce kimyasal olarak şartlandırılması gerekir. Kimyasal şartlandırma işlemi, çamura kalsiyum oksit, demir klorid vb. kimyasalların

eklenerek, mekanik güç uygulandığında su verme özelliklerinin artırılmasıdır [7]. Kimyasal çamur şartlandırıcılar susuzlaştırma işleminin en önemli maliyet kalemlerinden birini oluşturmakta, bundan dolayı bu kimyasalların yerine daha ucuz alternatifler üretmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır [8, 9, 10].

Bu çalışmalar arasında, kömürle çalışan termik santrallerin, uçucu küllerinin, kimyasal şartlandırıcılara alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koyan araştırmalar bulunmaktadır [11]. Ancak, kömür küllerinin arıtma çamuruna karıştırılması su verme özelliklerini olumlu etkilerken, çamurun organik madde miktarını düşürmekte ve ağır metal içeriğini artırmaktadır. Bu durum suyu alınmış çamurun bertaraf alternatiflerini azaltmaktadır. Oysaki arıtma çamurları içerdiği organik madde ve bitki besin elementleri nedeniyle özellikle düşük kalitedeki toprakların iyileştirilmesi gibi faydalı kullanım alanlarına ve sürdürülebilir bir bertaraf potansiyeline sahiptir.

Bununla birlikte dünya genelinde fosil yakıtlarla ve özellikle kömürle çalışan enerji santrallerinin sürdürülebilir ve çevreci bir enerji üretim yöntemi olmadığı düşüncesi yaygınlaşmaktadır. Özellikle bu santrallerin yüksek sıcaklıktaki yanma proseslerinden kaynaklanan emisyonların çevreye verdiği zararlar yakından izlenmeye başlamış ve alternatif yakıtların kullanımı ön plana çıkmıştır.

Bu yaklaşımdan hareketle kömür yerine alternatif olarak, ağaç dalları, talaş, enerji bitkileri gibi bitkisel kökenli biyokütlelerin kullanımı, daha düşük sıcaklıklarda çalışılması, ortaya çıkan zararlı emisyonların düşüklüğü ve küllerinin daha az miktarda ve daha zararsız kül üretmesi nedeniyle hızla artmaktadır [12, 13]. Bu artış yakıt olarak biyokütle külü kullanan enerji santrallerinin en önemli atığı olan biyokütle külünün ortaya çıkmasına neden olmuş ve bu küller için de sürdürülebilir bir bertaraf ve faydalı kullanım sistemi geliştirilmesi ihtiyacı doğurmuştur. Literatürde ki konu ile ilgili çalışmalarda, biyokütle küllerinin içerisindeki yüksek miktardaki silisyum (Si), potasyum (K) ve kalsiyum'dan dolayı inşaat sektöründe beton katkısı ve tarımsal üretimde gübre olarak kullanılabileceği rapor edilmektedir.

Bu çalışmada, evsel arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin iyileştirilmesinde, biyokütle külünün kullanılabilirliği araştırılmış ve su verme özelliklerinin iyileştirilmesindeki elde edilen sonuçlar, kömür külleri kullanımının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte elektromagnetik alan etkisinin kimyasal şartlandırmada kullanılan polielektrolitlerin verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda ulaşılmak istenen genel hedefler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Arıtma çamurlarının kolay su vermesi için yapılan çamur şartlandırma işleminde kullanılan polielektrolitlere alternatif oluşturmak ve çamur susuzlaştırma işlemlerinin maliyetini azaltmaya katkı sağlanması
2. Mevcut durumda faydalı bir kullanım amaçları çok sınırlı olan ancak uygun bertarafı gerçekleştirilmez ise doğal çevre ve insan sağlığı açısından riskler barındıran biyokütle külü için ekonomik ve uygulanabilir bir bertaraf seçeneği önerilmesi
3. Biyokütle külü içerisindeki makro ve mikro besin elementleri ile arıtma çamurlarının bitki besin elementi içeriğinin zenginleştirilmesi ve bitkisel üretimde kullanılabilirliğinin artırılması
4. Bundan sonra konu ile ilgili yapılacak çalışmalara temel oluşturulması ve mevcut literatüre katkı sağlanması

BÖLÜM 2. KONUNUN BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK UYGULAMADAKİ YERİ

Su tüm canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli temel kaynaklardan biridir. Her ne kadar dünyamızın büyük çoğunluğu sulardan oluşsa da çalıların yaşamsal faaliyetlerini destekleyecek, uygun niteliklerdeki su miktarı oldukça sınırlıdır. Dünya üzerindeki toplam su miktarı korunsada, çeşitli amaçlarla kullanılan suların büyük bölümü tekrar kullanılamayacak kadar kirlenmektedir. Özellikle son yüz yılda insanlığın yaşam standartlarında ki hızlı artış su tüketimini ve sulardaki kirlenmeyi katlayarak artırmıştır. Uzun zaman bolunca bu kirlenme görmezden gelindiği için dünya genelinde birçok büyük su kaynağı ya kullanılamayacak kadar kirlenmiş veya kurutulmuştur.

Kullanılabilir niteliklere sahip sularda ki bu azalma, insanların ihtiyaçlarını karşılayabilecek miktar ve özellikteki sulara ulaşımını zorlaştırmıştır. Küresel ölçekte ortaya çıkan problem, su kullanımı ve su kaynakların korunması konusunun öneminin anlaşılmasına neden olmuştur. Öyle ki günümüz de hemen hemen tüm insanlık su kaynaklarının hızla tükendiği ve gelecekte çok daha ciddi bir su probleminin yaşanacağı konusunda ortak bir görüşe sahiptir.

Bundan dolayıdır ki günümüzde su kullanımının azaltılması ve kullanılan suların arıtılması konularına verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalar atık suların arıtılması için birçok yöntem ve teknoloji geliştirilmesini sağlamıştır. Bunun yanında atık suyun arıtılmış olsa bile doğal çevreye zarar vermemesi için deşarj kriterleri belirlenmekte ve bu konuda alınan önlemler gün geçtikçe artmaktadır. Su kullanımı azaltılarak atık su oluşumunun en aza indirilmesi, atık suyun uygun yöntemlerle arıtıldıktan sonra farklı amaçlarla tekrar kullanılması veya alıcı ortama kontrollü biçimde deşarj edilmesi, su temininin sürdürülebilirliği için geliştirilen yeni yaklaşımların temelini oluşturmaktadır.

2.1. Atık Suların Arıtılması

Suyun çeşitli amaçlarla kullanılmasından sonra fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişmelere su kirliliği, oluşan yeni özelliklere sahip sulara da atık su denilmektedir. Bu atık su tanımından yola çıkılarak atık su arıtma işlemi ise, suyun özelliklerini değiştiren etkenlerin tamamı veya bir bölümünün ortadan kaldırılması faaliyeti olarak tarif edilebilir. Bu işlem için kullanılan birçok yöntem ve teknoloji bulunmaktadır. Atık sularda yapılan arıtma işlemleri, uygulanan işleme göre fiziksel, kimyasal, biyolojik işlemler veya bunların birleşimleri olarak ayrılabilirler. Bunun yanında uygulanan bu işlemlerin hepsinde, uygulanan işlemin türüne göre değişen özelliklere sahip ve değişik miktarlarda arıtma çamuru oluşmaktadır.

2.2. Atık Su Arıtma Çamurları

Arıtma çamurları su ve atık suların arıtılması sırasında veya sonrasında ortaya çıkar ve pratik olarak su ve arıtılan suyun içerisindeki bazı organik ve inorganik maddeler ile mikroorganizma külesinden oluşurlar. Ham arıtma çamuru miktarı kullanılan arıtma prosesi ve arıtılan suyun özelliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte büyük oranda su içerir. Bununla birlikte su, atık suların ve arıtma için kullanılan proseslerin çok farklılık göstermesinden dolayı arıtma çamurlarının içerikleri de çok değişkendir. Arıtma çamurlarının başlıca çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Primer Çamur
2. Sekonder Çamur
3. Karışık Çamur
4. Tersiyer Çamur
5. Çürütülmüş Çamur
6. Endüstriyel Çamur

2.3. Atık Su Arıtma Çamurlarının Bertarafı

Atık su arıtma çamurları kısa sürede çok yüksek miktarlara ulaşmakta ve arıtma tesislerinde büyük sorun oluşturmaktadır. Bu çamurların depolanması ve alıcı ortama işlem görmeden verilmesi ise çevre kirliliği ve insan sağlığı açısından çok büyük bir problemdir. Bundan dolayıdır ki arıtma çamurlarının uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi çok önemlidir. Ancak yüksek su oranlarından dolayı büyük hacimlere ulaşan bu çamurların bertarafı oldukça maliyetli ve zaman alan bir uygulama olduğundan, arıtma tesislerindeki toplam maliyet ve çalışmanın önemli bir bölümü çamur bertaraf işlemlerine ayrılır.



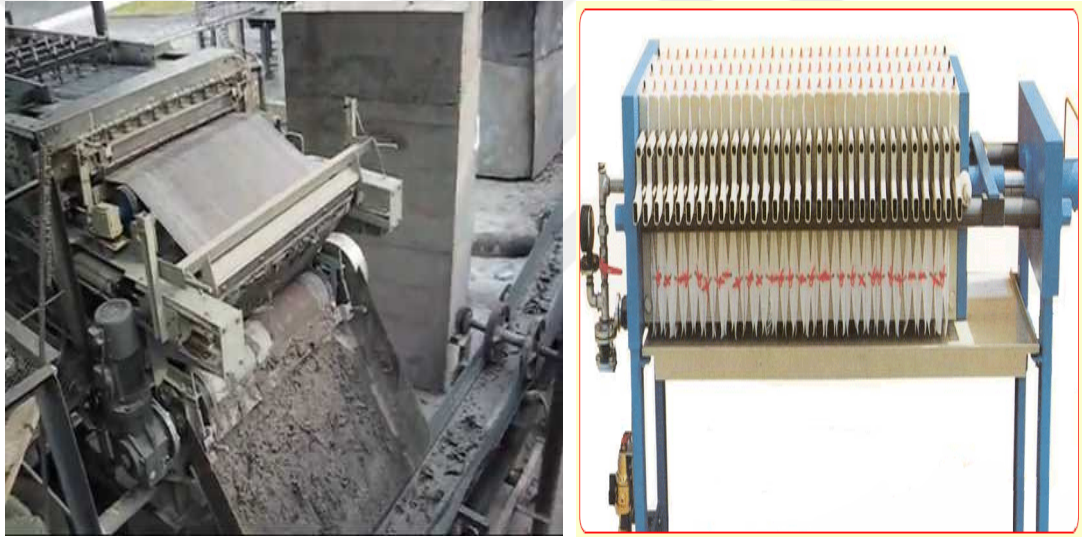
Şekil 2.1. Arıtma çamurlarının arazide düzensiz depolanması

Arıtma çamurlarının bertarafı için geliştirilen ve uygulamada değişik çamur türlerinde kullanılan başlıca yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

1. Kompostlama
2. Yakma
3. Düzenli depolama
4. Araziye Verme

2.4. Atık Su Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırılması

Ham atık su arıtma çamurlarının toplam miktarının %96-99'u sudan oluşmakta ve mevcut hacimleri sahip oldukları yüksek su içeriğinden kaynaklanmaktadır [14]. Bununla birlikte çamurun su vermesi filtrasyon oranı ve suyu alındıktan sonra çamur kekindeki bağlı su miktarı olmak üzere iki farklı şekilde tanımlanmaktadır. Arıtma çamurlarının susuzlaştırılması, çamurun taşınması, depolanması ve bertaraf işlemlerinin uygulanabilmesi için yapılması gereken ilk uygulamadır. Bu işlem için en yaygın olarak kullanılan uygulamalar, termal yöntemler ve mekanik yöntemler olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.2. Arıtma çamurlarının mekanik susuzlaştırılması

2.4.1. Atık su arıtma çamurlarının su içeriği

Çamurun su içeriği başlıca iki kısımdan oluşur; serbest su ve bağlı su. Serbest su yoğunlaştırma ve mekanik yöntemlerle kolayca ayrılabilen sudur [14]. Bağlı su ise flok matriksi tarafından sıkıca tutulur, çamura bağlıdır, mekanik yöntemlerle kolay bir şekilde ayrılamaz. Bağlı su, fiziksel ve kimyasal olarak bağlı sudur, sadece 105°C'den yüksek sıcaklıkta termal kurutma ile birlikte giderilebilir. Genellikle santrifüj yöntemiyle (3000rpm) ölçülen su miktarı serbest su aynı zamanda santrifüjle ayrılamayan su bağlı su olarak tanımlanmaktadır. Hücre içi ve ekstraselüler bölümde bulunan su, hidrofobisite, hidrojenlerle bağ oluşturma ile

tutulmakta, filamentli bakteri sayısına bağılı bir şekilde artış göstermektedir. Katyonların bulunması ile birlikte flok büyüklük miktarına bağılı bir şekilde azalış göstermektedir [15].

Bağılı suyu ayırmak için birbirinden farklı yöntemler bulunmakta ve günümüzde geliştirilmektedir. Bu yöntemler üçe ayrılır; 1. Fiziksel olarak; mekanik, termal 2. Kimyasal olarak; alkali, hidroliz, oksidasyon 3. Biyolojik olarak; parçalanma ve enzim kullanımı. En fazla kullanılan kimyasal yöntemin polimer kullanımıdır. Çamur matriksinin eksi yüklerine bağlanıp ekstraselüler yapıyı bozan polimerler suyun serbest su haline geçmesini sağlar aynı zamanda mekanik yöntemlerle su çamurdan ayrılır. Bu işlemlerden sonra yani polimer kullanımı ve mekanik su alma tekniğinden sonra çamurda kalan su miktarı %65-80 oranlarındadır [16].

2.4.2. Atık su arıtma çamurlarının yoğunlaştırılması

Çamurların katı olan kısmı; atıksuyun karakterine, uygulanan arıtma yöntemine bağılıdır. Çamurun yoğunlaştırılması; çamurda bulunan suyun azaltılarak sonraki bertaraf ünitelerine daha az hacimli çamurun verilmesidir. Yoğunlaştırma, çöktürme ve yüzdürme yöntemleriyle yapılmaktadır. Çamur yoğunlaştıkça hacmi azalır ve susuzlaştırma maliyeti buna bağılı olarak azaltılabilir.

Yoğunlaştırma; gravite yoğunlaştırıcılarda, yüzdürme tanklarında ya da santrifüj, dönen tambur veya gravite belt gibi mekanik ünitelerde meydana gelir.

2.4.3. Atık su arıtma çamurlarının şartlandırılması

Yoğunlaştırıcıdan çıkan çamur jel kıvamında organik, inorganik ve su karışımından oluşan bir maddedir. Suyu ayırmak için koagülasyon gereklidir (Kemira Kemwater, 2003). Çamur kurutma yataklarına alma işleminin dışında kalan susuzlaştırma uygulamaları için çamurun şartlandırılmasına ihtiyaç vardır. Bu iki yolla olur ya kimyasal ya da fiziksel yöntemle yapılır. Çamur şartlandırmada öncelikli amaç hidrasyon etkisini ortadan kaldırarak partikül ebatını artırmak ve partiküller

arasındaki elektriksel yükleri ortadan kaldırmaktır. Şartlandırma metotları çamurun yapısını değiştirerek katı ve sıvı fazı kolay bir şekilde birbirinden ayırır.



Şekil 2.3. Arıtma çamuru şartlandırma ünitesi

2.4.4. Fiziksel şartlandırma

Fiziksel bir yöntem olan dondurma ve çözündürme çamurun su verme özelliğini iyileştirmektedir. Düşük maliyetli bir uygulamadır. Öncelikli hedef, donma sırasında buz kristalleri oluşumunun, su moleküllerini bir arada birleştirmesidir. Buz kristal yapısının arasına herhangi bir kirlenici madde girememektedir. Donma esnasında bağlı olan suyun donması, çözüldükten sonra çamurun su vermesini daha kolay hale getirmektedir. Yavaş dondurma uygulaması hızlı dondurma uygulamasından daha etkili sonuç vermektedir.

İkinci bir fiziksel şartlandırma yöntemi olan termal ısıtma ise; çamur 130-180 °C ye kadar ısıtılarak termal hidroliz sağlanır. Bu uygulama ile birlikte katılar koagüle olur, jel kıvamlı yapılar kırılır ve katıların suya olan ilgileri azaltılmış olur. Çamur sterilize edilir, kokusuzlaştırılır, vakum filtre, belt filtrede kimyasal madde ilavesi yapılmadan susuzlaştırılır. Termal uygulama ile şartlandırılmış çamurun süzöntü suyu yüksek konsantrasyonlarda kısa zincirli ve suda çözünebilir organik maddeler ihtiva eder.

Bundan dolayı filtratın KOİ'si yükselir ve bu nedenle süzüntü suyu biyolojik arıtma ünitesine yeniden çevrilir.

2.4.5. Kimyasal şartlandırma

Arıtma çamurlarının temel yapısı olan jel görünümlü yapıyı kırmak için, kimyasal flokülasyon en çok kullanılan metottur. Flokülasyon prosesinde çamur partikülerinin toplanarak küme oluşturması yük nötürleştirilmesi ve köprü oluşturma teorisi ile açıklanmaktadır. Yük nötürleştirilmesinde; çamur partikülleri negatif yüklüdür, katyonik elektrolitler kullanılarak birbirini iten partiküllerin birbirini çekmesi sağlanmış olur. Yükler nötr hale geldikten sonra çamur flokları oluşur ve su fazından ayrılması daha kolay olur. Köprü oluşturma da ise; katyonik polimerler çamur partiküllerine tutunur ve flok oluşumu meydana gelmiş olur sonuçta katı faz sıvı fazdan ayrılmış olur. En fazla kullanılan kimyasal şartlandırıcılar Demir (+3) klorür, Alimünyum tuzları ya da kireç ilavesidir. Anyonik, katyonik ve nötral iyonik olmayan sentetik organik polimerler çamur şartlandırıcı olarak halen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

2.5. Konuyla İlgili Olarak Daha Önce Yapılmış Bilimsel Çalışmalar

Dünya genelinde şehirlere hızlı bir göç yaşanmakta ve şehirlerin nüfusu kalabalıklaşmaktadır. Bu durum kanalizasyon sistemlerini ve toplanan suyun arıtıldığı arıtma tesislerinin sayısını hızla arttırmaktadır. Arıtma tesislerinin sayısının artması ise bu tesislerin en önemli çıktısı olan atık su arıtma çamurlarının miktarının çok yüksek boyutlara çıkmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte ekolojik ve çevreci yaklaşımlar, içerisinde önemli miktarda organik madde ve makro ve mikro bitki besin elementi olan bu atıkların yakılarak veya düzenli depolama alanlarında dahi olsa depolanarak bertarafının uygun olmadığını, arıtma çamurlarının gerekli ön işlemlerden geçirildikten sonra toprak iyileştirici ve gübre sağlayıcı olarak kullanılmasının gerekliliğini savunmaktadır.

Ancak atık su arıtma çamurlarının çevreci ve sürdürülebilir bertarafı için geliştirilen uygulamalarda en büyük sorun, arıtma çamurlarının yüksek su içeriği olmaktadır.

Bundan dolayıdır ki, arıtma çamurları ile ilgili yapılan literatür çalışmalarının büyük bölümü, ya doğrudan çamur susuzlaştırma yöntemlerine yeni alternatifler geliştirmekte ya da yeni bulunan bertaraf yöntemlerinin uygulanabilirliğinde anahtar noktanın çamurun su içeriğinin azaltılması olduğunu vurgulamaktadır.

Tuan ve Sillanpaa (2010), yaptıkları çalışmada, laboratuvar ölçekli basınçlı elektro-susuzlaştırma reaktörü, polielektrolit ilavesi ve dondurma / çözülme koşullarının, son çamur kekindeki katı içeriğe etkisini farklı çamur yükleme hızlarında incelemişlerdir. Çalışmada donma sıcaklığındaki artış ve uzun süreli doğal dondurma süreleri, çamur susuzlaştırma kabiliyetinde önemli bir artış ile sonuçlanmıştır. Bununla birlikte, polielektrolit karışımından sonra son çamur keki içindeki kuru madde içeriği deney stratejilerine bakılmaksızın benzer çıkmıştır (%39,3-41,5). Çamur yükleme hızının 20'den 3 kg KM / m²'ye düşürülmesi, hem polielektrolit ilavesi yapılan, hem de dondurucu koşul uygulanan çamuru numunelerinin her ikisinde de nihai çamur keki (%35,8-48,7) kuru madde içeriğinde artışa neden olmuştur. Polielektrolit ile şartlandırılmış çamur kullanılarak yapılan elektro-su giderme işlemi sırasında, son çamur kekindeki anot ve katottaki kuru madde içeriği, katottaki yüksek çamur yüklemesinde veya yüksek miktarda polimer kullanıldığında benzer bulunmuştur [17].

Chen ve ark. (2010), sülfürik asit ile modifiye edilmiş kömür uçucu külü (MCFA) kullanarak atık su arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin iyileştirilmesine çalışmışlardır. Çalışmada, evsel ve endüstriyel atık suları arıtmak için kullanılan aktif çamur sisteminin çok miktarda çamur ürettiği, ortaya çıkan bu çamurun mekanik susuzlaştırmasını arttırmak için kimyasal şartlandırmanın yaygın olarak kullanıldığını, ancak bu uygulamanın maliyetinin yüksek olduğunu, bu nedenle ucuz ve etkili bir şartlandırma yöntemine ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır. Bununla birlikte yapılan çalışmada, hedef endeksi olarak, filtrasyona karşı direnç (SRF) ile asit konsantrasyonu ve ıslatma süresinin kömür uçucu kül modifikasyonunun etkilerinin belirlenmesi seçilmiştir. Belirlenen en uygun modifikasyon koşulları, asit konsantrasyonu, 4 mol l⁻¹; asit kömür uçucu külü oranı, 5:1 ml g⁻¹; ıslatma süresi, 3 saat olmuştur. Modifikasyondan sonra kömür uçucu külünün, spesifik yüzey alanı 2,810'dan 3,376 m² g⁻¹'e yükselmiştir. Arıtma çamurunun susuzlaştırılabilirlik ve

çökebilirliği, vakum filtrasyon susuzlaştırma testleri, santrifüjlü su giderme testleri ve çöktürme deneyleri ile araştırılmıştır. Sonuçlar, çamurun özgül filtre direncinin, kömür uçucu külü ilavesi ile önemli ölçüde azaldığını ve bu azalmanın modifiye edilmiş külde (MCFA), ham kömür uçucu külden (RCFA) çok daha fazla gerçekleştiğini ortaya koymuştur. MCFA'nın %273 dozajı ile, çamurun SRF değeri 1.86×10^{13} 'den $4,23 \times 10^{11}$ mkg⁻¹ ve filtre keki nemi %86.90'dan %56,52'ye düşmüştür. MCFA ile çamur şartlandırma mekanizması, esas olarak nötralizasyon şarjı ve adsorpsiyon köprüsü vasıtasıyla flok oluşumunun geliştirilmesi ve çamur içerisinde su geçiren pasajların oluşması şeklinde açıklanmaya çalışılmıştır [18].

Yuan ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada, çamur susuzlaştırma işlemlerinde elektroliz prosesi kullanımının, potansiyel faydalarını araştırmışlardır. Bununla birlikte yapılan çalışmada, elektroliz işleminin yeni bir uygulaması kullanılmış ve kullanılan uygulamanın etkileri ve bu uygulamayı etkileyen faktörler üzerine odaklanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneyler, kılcal emme süresi (CST) ile değerlendirilen çamur susuzlaştırılmasında, elektroliz geriliminin nispeten düşük bir değerinde, önemli bir iyileşme oranının elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada, sistemi etkileyen değişkenlerin optimumunu değerlendirmek için tepki yüzeyi metodolojisine (RSM) dayalı bir Box-Behnken deney tasarımı uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, elektroliz gerilimi, elektrot mesafesi ve elektroliz zamanı için optimum değerler, sırasıyla 21 V, 5 cm ve 12 dakika olup, CST indirgeme verimi % $18,8 \pm 3,1$ olarak belirlenmiştir [19].

Bien ve Bien (2014), çalışmalarında atık su arıtma çamurlarının şartlandırılması için kullanılan, inorganik koagülanlar ile polielektrolitlerin, arıtma çamuru susuzlaştırma prosesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada elde edilen sonuçlar, yüksek oranda ince fraksiyonlar ve kolloidal süspansiyonlar içeren çamurların, çamur susuzlaştırma işleminde suyun tahliye edileceği alanları tıkadığını, arıtma çamurunun özgül filtre direncini arttırdığını ortaya koymuştur. Bunun yanında çamurların susuzlaştırılma derecesini iyileştirmek için koagülanlar ve polielektrolitlerin uygun oranda ve koşullardaki karışımlarının kullanılmasının zorunlu olduğu görülmüştür. Koagülan ve polielektrolit kullanılan uygulamalar kıyaslandığında, sadece polielektrolit kullanılan uygulamalarda daha temiz bir süzüntü suyu olduğu

görülmüştür. Testler sırasında çamurun reolojik parametreleri, yapısı, vakum filtrasyonu ve basınç filtrasyonu gibi proses parametreleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmadan elde edilen tüm sonuçlar, sonikatlı çamurun şartlandırılması esnasında, kullanılan maddelerden, inorganik koagülan ve polielektrolitlerin her ikisinin de, çamur susuzlaştırma verimine ve çamur susuzlaştırmaya etki eden parametrelere önemli bir iyileştirme sağladığını göstermiştir [20].

Cao ve ark. (2007), polidimetildialilamonyum klorit (PDMDAAC) ile uçucu kül modifikasyonu yapmış ve bu modifikasyonun adsorpsiyon üzerindeki etkilerini laboratuvar ölçeğinde araştırmışlardır. Araştırma kapsamında modifiye edilmiş uçucu külün atık sudan boyarmadde giderimindeki performansı incelenmiştir. Uçucu külün adsorpsiyon özelliklerine PDMDAAC modifikasyonunun anahtar faktörleri olan konsantrasyon ve sıcaklığın etkilerini belirlemek için dört faktörlü ortogonal test kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, uçucu külün adsorpsiyon büyüklüğünün PDMDAAC'ın olumlu katkısı nedeniyle arttığını ve bu artışın spesifik yüzey yapısı ve yüzey yükünde meydana gelen değişimden kaynaklandığını göstermiştir. Bununla birlikte, adsorpsiyon performansının artırılması için kullanılan, modifiye edilmiş uçucu külün, organik moleküller ve iyon değişim kapasitesi üzerindeki etkiyi güçlendirmiştir. Atık suyun renk giderme verimliliği modifiye uçucu kül ile maksimum %88,2 olarak gerçekleşirken, aynı dozda modifiye edilmemiş ham uçucu külden %12,5 daha yüksek renk giderme verimi elde edilmiştir. Bununla birlikte yine çalışma kapsamında modifiye edilmiş kül ile boyarmadde giderimi yapılan uygulamaların arıtma çamurları ile çimento üretilmiş, ve üretilen çimentonun çalışmanın yapıldığı ülke olan PRC' de ki çimento standardına (GB / T17671-1999) uygun olduğu ve bu uygulamanın umut veren sonuçları olduğu rapor edilmiştir [21].

Degang ve ark. (2007), arıtma çamurlarının susuzlaştırılmasında kullanıma bakımından yüksek bir potansiyele sahip olduğu düşünülen ve halen geliştirilmesi için çaba gösterilen elektro-susuzlaştırma (EDW) yöntemini incelemişlerdir. Geleneksel bir elektro-susuzlaştırma işleminde elektro-ozmozla uzaklaştırılan su yerçekimi ile katot veya filtre bezinde ayrılmaktadır. Bu çalışmada, yer çekimi yerine adsorpsiyon kullanımının katottan suyun ayrıştırılmasına olan etkileri üzerine

araştırmalar yapılmıştır. Yapılan uygulamaların sonucunda, elektro susuzlaştırmada adsorpsiyon kombinasyonu kullanımının çamur susuzlaştırma verimini olumlu etkilediği ve bu yöntemin endüstriyel uygulamalarındaki en büyük kısıtlayıcı unsur olan fazla elektrik enerjisi tketimeinin azaltılmasına katkı sağlayacağı rapor edilmiştir [22].

Tuan ve ark. (2008), çamur susuzlaştırmada umut vadeden bir yöntem olarak gördükleri elektro-su giderme yöntemini araştırmışlardır. Bu amaçla laboratuvar ölçekli basınçsız ve basınç tahrikli susuzlaştırma reaktörleri hazırlamışlar ve farklı çamur türlerinde susuzlaştırma oranı ve elektro-susuzlaştırma işleminden sonra son çamur keki içindeki su muhtevasını incelemişlerdir. Basınçsız deneylerde su uzaklaştırma oranının çamur pH, tamponlama kapasitesi ve çamur türüne oldukça bağımlı olduğunu gözlemlemişler ve anaerobik çamur ile en yüksek su giderme hızını elde etmişlerdir. Basınç uygulandığında, anot ve katottan su çıkarma oranının alkalinite ve aynı zamanda akım yoğunluğuna bağlı olduğunu bulmuşlardır. Elektro-susuzlaştırma işlemi sırasında, basının, aynı tür çamur kullanan basınçsız deneylere kıyasla, eklenen alkalinite ile ham çamur kullanan deneylerde nihai çamur kekinde su azalmasına önemli bir katkısı olmuştur. Bununla birlikte, basınçsız ve basınç tahrikli reaktörlerde anaerobik çamur kullanılan deneyler, son çamur kekinde (% 40) aynı su içeriği ile sonuçlanmıştır. Genel olarak, çeşitli alkalinite miktarlarına sahip çamur eşitleri, çamurun elektro-su giderme kapasitesini, zeta potansiyelini ve pH'ı değiştirerek etkilemiştir. Uygulanan düşük seviyeli doğru akım (15 V) sırasında oluşan negatif yüklü organik maddelerin g ve çıkarılan suyun kimyasal oksijen ihtiyacı ve toplam organik karbon konsantrasyonlarının, anotta katoda göre daha yüksek olduğu kontrol denemelerine yapılan kıyaslama ile bulunmuştur [23].

Tuan ve Sillanpaa (2010), susuzlaştırma için kullanılan elektroliz işleminin organik ve inorganik maddelerin taşınmasına etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, Mikkeli atık su arıtma tesislerindeki (Finlandiya) bir üniteden alınmış örneklerde, başlangıçta ki organik ve inorganik maddelerin serbest czlmesini kayıt altına almışlar ve elektroliz işlemi sırasında çoklu elektrolit koşullandırma ve çeşitli çamur yüklerinin oranlarını belirlemişlerdir. Maksimum akım yoğunluğunda ($145\text{--}467\text{m}^{-2}$) amur yükleme hızında, bir azalma olduğu (20-5 kg kuru madde)

gözlenmiştir. Temel bileşenlerin analizi esnasında çamur içerisindeki katı madde, çamur yükleme oranı, elektroliz işlemi sırasında kullanılan maksimum enerji ve akım yoğunluğu arasında anlamlı bir korelasyon belirlenmiştir. Çamur yükleme oranındaki azalma, katottan çıkarılan iyonlardaki azot ve potasyumun yüksek konsantrasyonlarının azalmasına sebep olmuş ve azot ve potasyumda %51 ila %78 oranında azalma görülmüştür. Demir iyonları, kalsiyum ve gümüş karışımları anotta daha düşük katotta daha fazla gözlenmiştir. İstatiksel analize göre; anot ve çamur yükleme hızındaki demir ve kalsiyum iyonlarının konsantrasyonları, anottaki uçucu katı ya da kuru katı madde oranı ile ters orantılıdır. Anottaki yüksek fosfor konsantrasyonu çamur numuneleri ile yapılan deneylerde donma/çözünme başlangıç sıcaklıklarına oldukça bağımlı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, bu deneylerin sonunda çamurda bulunan krom, çinko ve mangan gibi problemli elementlerin konsantrasyonu (anotta); sırası ile %63'ten %100'e (krom) ve %23'ten %70'e (çinko) çıkarılmıştır [24].

Tuan ve ark. (2012), arıtma çamurların susuzlaştırılmasına yönelik yaptıkları derleme çalışmasında, evsel atık suyunun arıtılması sonucunda, büyük miktarda su, biyokütle ve hücre dışı polimerik maddeler içeren arıtma çamuru oluştuğunu, bu çamurun su verme özelliklerinin zayıf olduğunu, çamurdaki yüksek su içeriğinin, doğrudan yüksek nakliye ve taşıma maliyetlerine dönüştüğünü ve bu nedenle, çamur stabilizasyon ve imhası işlemlerinin genellikle atık su arıtma tesisleri için işletme bütçesinin %50'sinden fazlasını gerektirdiğini rapor etmişlerdir. Bununla birlikte çamur kısmı boyunca düşük elektrik alanının uygulanması olan elektro-su giderme denilen yöntemin, sıvı-katı ayrımını iyileştirdiği ve çamur kekinde su içeriğini düşürdüğü kabul edilir bir görüş olarak bulunmuştur. Ayrıca, özellikle evsel atık su arıtma tesisi çamurları için susuzlaştırma veriminin tahminin, çamur ön işleme uygulamalarında değişiklikler ve uyumlu test yöntemleri olmaması nedeniyle standartlaştırılamadığı belirtilmiştir. Yine bu derleme çalışmasında, evsel atık su arıtma çamurunun elektro-susuzlaştırılması üzerine etkisi olan unsurlar ve fizibilitesi son teknolojik gelişmeler ışığında tartışılmıştır ve bu yöntemin, patojenlerin uzaklaştırılması, enerji ve ulaşım maliyetlerinde azalma ve filtre kirliliğinin önlenmesi gibi birçok potansiyel faydası olduğu ifade edilmiştir [25].

Pham ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada, laboratuvar ölçekli bir kum kurutma yatağı ve elektroliz ünitesini birlikte kullanmışlar ve bu kullanım şeklinin değişken voltaj potansiyellerinde susuzlaştırmanın eğilimlerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada uygulanan voltaj 3 ila 10 V arasında arttığında, nihai çamur kekinde iki kat kuru madde artışı bulunmuştur. 10 V'den daha yüksek uygulanan voltajlar nihai kuru madde içeriğinin önemli bir artışıyla sonuçlanmamasına rağmen, gerilim 10-30 volt arasında arttığında, maksimum su giderme hızlarını arttırmışlar ve elektro-susuzlaşma süresini %75'e düşürmüşlerdir. İncelenen koşullar için maksimum su giderme oranları ile uygulanan voltaj arasında doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Çamur kekinden su alma oranları ve son kuru madde içeriği, çamurdaki başlangıçta olan su yüküne bağlı olarak önemli ölçüde değişmiştir [26].

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT

Arıtma tesisleri çoğaldıkça ortaya çıkan arıtma çamuru miktarı da gün geçtikçe artmaktadır. Bu durum arıtma çamurlarının doğal çevre ve insan sağlığı açısından problemler oluşturmada bertaraf edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bununla birlikte arıtma çamurlarının kısa zamanda büyük miktarlara çıkması uygulanacak bertaraf sisteminin çevre ve insan sağlığı açısından uygun olmasının yanında düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir olmasını da zorunlu kılmaktadır.

Literatürde ve konu ile ilgili uygulamalarda arıtma çamurları için önerilen ve kullanılmaya çalışılan birçok bertaraf sistemi vardır. Ancak bu bertaraf yöntemlerinin başarısı doğrudan çamurun içerdiği su miktarının azaltılabilmesine bağlıdır. Mevcut durumda arıtma tesislerinde ortaya çıkan ve bertaraf edilmesi gereken çamur miktarını azaltmanın en pratik yolu çamurun su miktarını azaltılmasıdır. Bundan dolayıdır ki arıtma tesislerinde çamur susuzlaştırma işlemlerine büyük önem verilmekte ve arıtma maliyetinin önemli bir bölümü çamur susuzlaştırmaya ayrılmaktadır.

Ham arıtma çamurları, kullanılan atık su arıtma prosesi ve atık su karakterine bağlı olmakla birlikte ortalama %96-99 arasında su içermektedir. Arıtma çamurlarının yapısal özelliklerinden dolayı bu yüksek orandaki su içeriğini çamurdan ayırmak oldukça zordur. Bu zorluk çamur içerisindeki yer çekimi ile ayrılabilir serbest su miktarının çok düşük olması ve suyun büyük bölümünün bağlı su niteliğinde olmasındandır. Bu durum arıtma çamurlarının termal yöntemler dışında ki tüm susuzlaştırma işlemlerinde çamurun şartlandırma işlemine tabi tutulması gerekliliğini doğurmaktadır.

Çamur şartlandırma işlemi en basit tanımı ile dışardan bir etki kullanılarak, çamurun suyu tutan yapısı bozularak su verme özelliklerinin iyileştirilmesi olarak

açıklanabilir. Bu işlem için genellikle polielektrolit olarak adlandırılan kimyasal maddeler kullanılır. Ancak son yıllarda arıtma çamurlarının şartlandırılmasında, fiziksel yöntemler ve polielektrolite alternatif olabilecek materyallerin kullanılabilirlikleri ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır.

Bu çalışmada, arıtma çamurlarının şartlandırılması ve su verme özelliklerinin iyileştirilmesinde polielektrolitlere alternatif olarak biyokütle ve kömür küllerinin kullanılabilirliği ve elektromagnetik alan etkisinin polielektrolit verimine etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında yürütülen faaliyetler ve bu faaliyetlerde kullanılan yöntemler aşağıda sunulmaktadır.

3.1. Çalışmada Kullanılan Ham Atık Su Arıtma Çamurlarının Temini

Çalışmada kullanılan arıtma çamurları Sakarya İl'inde bulunan karaman evsel atık su arıtma tesisinden temin edilmiştir. Bu tesiste evsel atık suların arıtılmasında, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi kullanılmaktadır. Tesiste oluşan aktif çamurun bir kısmı sisteme geri basılırken, bir kısmı da polielektrolitle şartlandırıldıktan sonra susuzlaştırma ünitesine gönderilmekte ve oluşan çamur keki sistemden uzaklaştırılmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan çamurların temin edildiği arıtma tesisi

Çalışmada kullanılan ham evsel atık su arıtma çamurları numuneleri yoğunlaştırıcı ile şartlandırma ünitesi arasından ve polielektrolit çözeltisi dozlama işlemi yapılmadan önce alınmış ve alınan numuneler hızlıca laboratuvara ulaştırılarak 4°C’de analiz zamanına kadar saklanmıştır.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru numuneleri

3.2. Çalışmada Kullanılan Biyokütle ve Kömür Küllerinin Temini

Kömür başta olmak üzere fosil kökenli yakıtların yakılması ile enerji üretimi oldukça eski ve yaygın kullanılan bir prosestir. Bununla birlikte bu yakıtların tüketiminin doğal çevre açısından oldukça ciddi problemler oluşturduğu bilinmekte ve gelecekte bu problemlerin artarak devam edeceği öngörülmektedir. Bu enerji üretim prosesi 1000°C’nin üstündeki yüksek sıcaklıklarda çalışması ve bu sıcaklıklarda tehlikeli emisyonların oluşması oluşan çevre sorunlarının başında gelmektedir. Ayrıca bu yakıtların dünya üzerindeki rezervleri sınırlı olduğundan prosesin sürdürülebilirliği de sınırlı olacaktır.

Mevcut enerji ihtiyacını karşılamakta sıkıntı oluşturmada, konuya getirilen en uygulanabilir çözüm, daha düşük sıcaklıklarda yakılabilen ve fosil yakıtlara göre yenilenebilir bir kaynak olan biyokütlelerin yakıt olarak kullanılmasıdır. Ancak yakıt olarak ister kömür isterse biyokütle kullanılsın, bu enerji üretim prosesinin en önemli

atığı olan küllerin oluşması kaçınılmazdır. Ortaya çıkan bu küller için mutlaka sürdürülebilir bir bertaraf modeli ortaya koyulmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan küller, yakıt olarak yalnızca kömür ve yalnızca tarımsal kökenli bitki ve orman atıkları kullanan iki farklı santralin yakma ünitesinden alınmıştır. Kömür külleri Kütahya’da bulunan bir enerji santralinden alınmıştır. Akışkan yataklı yanma ünitesine sahip bu tesiste linyit kömürü yakılmaktadır. Biyokütle külü ise Bursa’da bulunan Güncan Enerji Ltd. Şti. firmasına ait prototip bir enerji santralinin, yakma ünitesinden alınmıştır. Prototip santralde akışkan yataklı yakma ünitesi kullanılmaktadır. Kullanılan proseste, kurutulan ve parçalanmış biyokütle kazana beslenmekte ve 800°C sıcaklıkta yakılmaktadır. Yakma işlemi sonrasında oluşan sıcak kül (biomass bottom ash) düzenli olarak sistemden atılmaktadır. Bu sistemde az miktarda uçucu külde oluşmaktadır. Ancak bu çalışma, sistemin en önemli atığı olan dip külünün (Curuf) değerlendirilmesi amacı ile planlandığından, uçucu küller kullanılmamıştır. Her iki kül çeşidi de kömür külünün partikül boyut dağılımı 100-200 μm = %12, 50-100 μm = %42, 2-50 μm = %44, <2 μm = 2, biyokütle külünün partikül boyut dağılımı ise 100-200 μm = %5, 50-100 μm = %26, 2-50 μm = %75, <2 μm = %4 şeklindedir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan kömür ve biyokütle külü numuneleri

3.3. Arıtma Çamuru ve Küllerin Karıştırılması

Bu çalışmada kömür ve biyokütle küllerinin arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin iyileştirilmesindeki etkileri ve hâlihazırda bu işlem için kullanılan polielektrolitlere alternatif olabilme potansiyelleri araştırıldığından, kömür ve biyokütle külleri, arıtma çamurları ile karıştırılırken polielektrolitlerin arıtma çamuruna karıştırılmasında kullanılan prosedür takip edilmiştir.

Arıtma çamuru ve küllerin karıştırma işleminde çamur kuru madde miktarı dikkate alınmıştır. 500 ml çamura kuru madde miktarına göre (19,65 g l-1) ağırlıkça değişen oranlarda kül ilave edilmiş ve önce 250 rpm de 30 saniye hızlı karıştırma, ardından da 30 rpm de 2 dakika yavaş karıştırma yapılmıştır. Karışımda kullanılan küllerin ağırlıkları ve karışımlara verilen kodlar (BÇ: Biyokütle külü ve arıtma çamuru karışımı, KÇ: Kömür külü ve arıtma çamuru karışımı) Tablo 3.1.'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Karışımlarda kullanılan kül ve arıtma çamuru miktarları

Karışım Kodları	Kül Oranı	Kül Miktarı (gr)	Çamur Miktarı (ml)
BÇ ₁	% 25	4,912	500
BÇ ₂	% 50	9,825	500
BÇ ₃	% 75	14,737	500
BÇ ₄	% 100	19,650	500
BÇ ₅	% 150	29,475	500
BÇ ₆	% 200	39,300	500
KÇ ₁	% 25	4,912	500
KÇ ₂	% 50	9,825	500
KÇ ₃	% 75	14,737	500
KÇ ₄	% 100	19,650	500
KÇ ₅	% 150	29,475	500
KÇ ₆	% 200	39,300	500

*BÇ ve KÇ Arıtma Çamuru ve kül karışımlarını, alt indisler ise farklı kül oranlarını göstermektedir.



Şekil 3.4. Arıtma çamuru ve küllerin karıştırılması

3.4. Arıtma Çamuru ve Polielektrolit Karışımının Hazırlanması

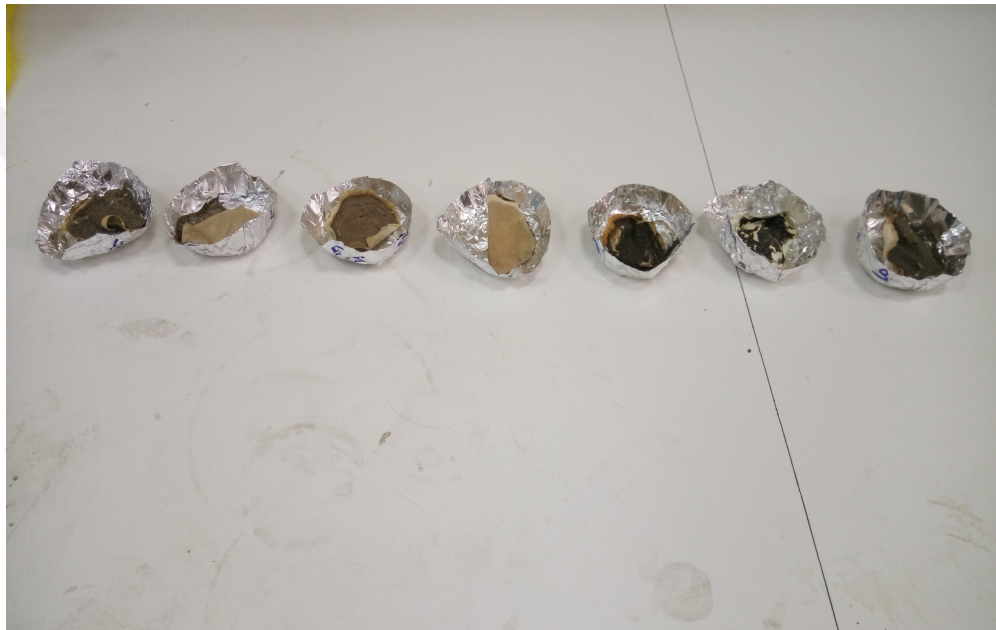
Biyokütle ve kömür külünün arıtma çamurunun su verme özelliklerini iyileştirmedeki başarısını belirlemek için kontrol amacı ile 1/1000'lik katyonik polielektrolit çözeltisi hazırlanmış ve hazırlanan çözelti 500 ml çamura 14 ml olacak şekilde ilave edilmiştir. Bu işlemde önce uygun polielektrolit dozunu belirlemek amacı ile jar testi uygulanmıştır. Polielektrolit ilavesi küllerde uygulanan yöntemle aynı olacak şekilde, önce 250 rpm de 30 saniye hızlı karıştırma, ardından da 30 rpm de 2 dakika yavaş karıştırma yapılmıştır.



Şekil 3.5. Arıtma çamuru ve polielektrolit karışımı

3.5. Kuru Madde Miktarı ve Nem İçeriklerinin Belirlenmesi

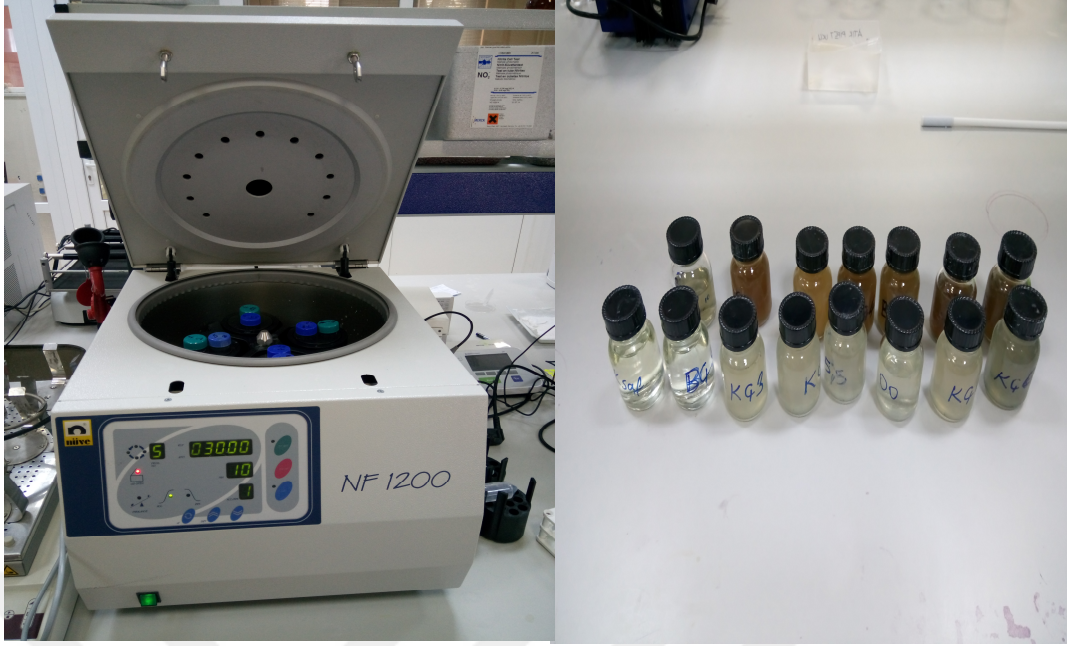
Hazırlanan kül ve çamur karışımı numunelerinin kuru madde oranları, numunelerin sabit tartıma gelene kadar kurutulduktan sonra (105°C’de) tartılması ile bulunmuştur. Nem içerikleri ise kurutulan numunelerin toplam ağırlığında meydana gelen kayıpla belirlenmiştir. Bununla birlikte filtre keki nem miktarı ise, numunelerin vakum pompasında filtre edilmesinden sonra filtre kağıdının 105°C’de kurutulması ve ağırlığında meydana gelen kaybın belirlenmesi ile bulunmuştur [10].



Şekil 3.6. Arıtma çamuru ve kül karışımlarının kuru madde ve nem miktarlarının belirlenmesi

3.6. pH Değerinin Belirlenmesi

Hazırlanan arıtma çamuru ve kül karışımı numuneleri 2000 rpm’de 5 dakika santrifüj edilmiş ve elde edilen süpernatantta pH ölçümü yapılmıştır [10, 27].



Şekil 3.7. Numunelerin pH ve EC ölçümü

3.7. Organik Madde İçeriğinin Belirlenmesi

Numunelerin (105°C 'de kurutulmuş) organik madde içeriği ise, 550°C 'de 4 saat süre ile yakılması ilkesine göre belirlenmiştir [28].



Şekil 3.8. Toplam organik madde (OM) miktarının belirlenmesi

3.8. Arıtma Çamuru ve Kül Karışımlarının Özgül Filtre Direncinin Belirlenmesi

Arıtma çamuru ve kül karışımlarının özgül filtre direnci, numunelerin Buchner hunisine koyularak, filtre kâğıdı ile vakum (0,03 MPa filtrasyon setinde süzülmesi ile formül (3.1) kullanılarak bulunmuştur [10, 29].

$$\text{ÖFD} = \frac{2PA^2b}{\mu\omega} \quad (3.1)$$

ÖFD : Özgül filtre direnci (m kg^{-1})

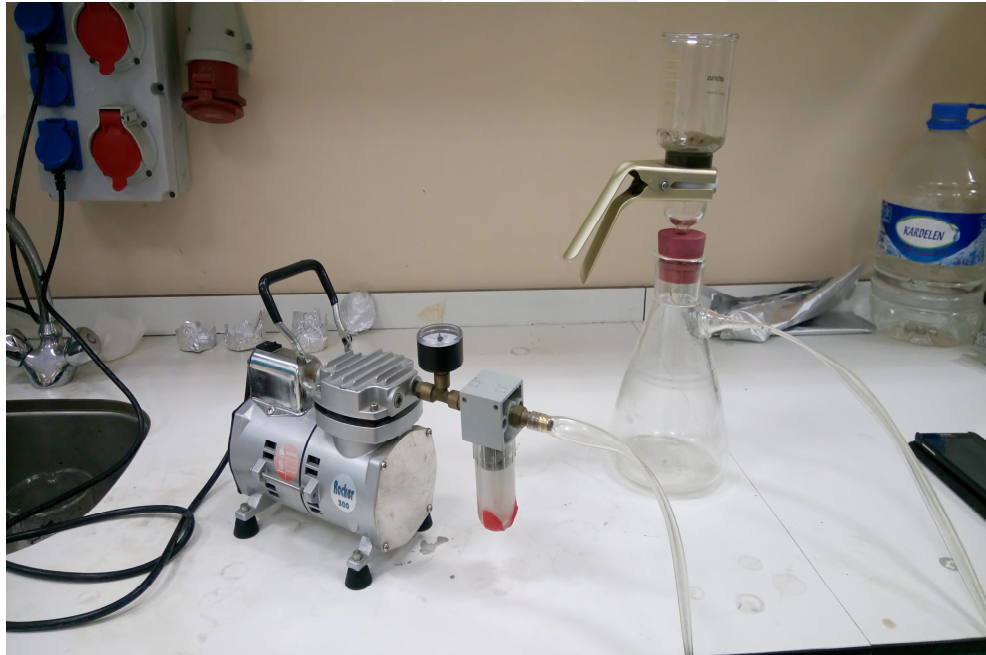
P : Uygulanan filtre basıncı (N m^{-2})

A : Filtre Alanı (m^2)

b : Filtre süresi (t) ve süzülen su hacmi (V) grafiğinin eğimi (s m^{-6})

μ : Filtratın dinamik vizkozitesi (N s m^{-2})

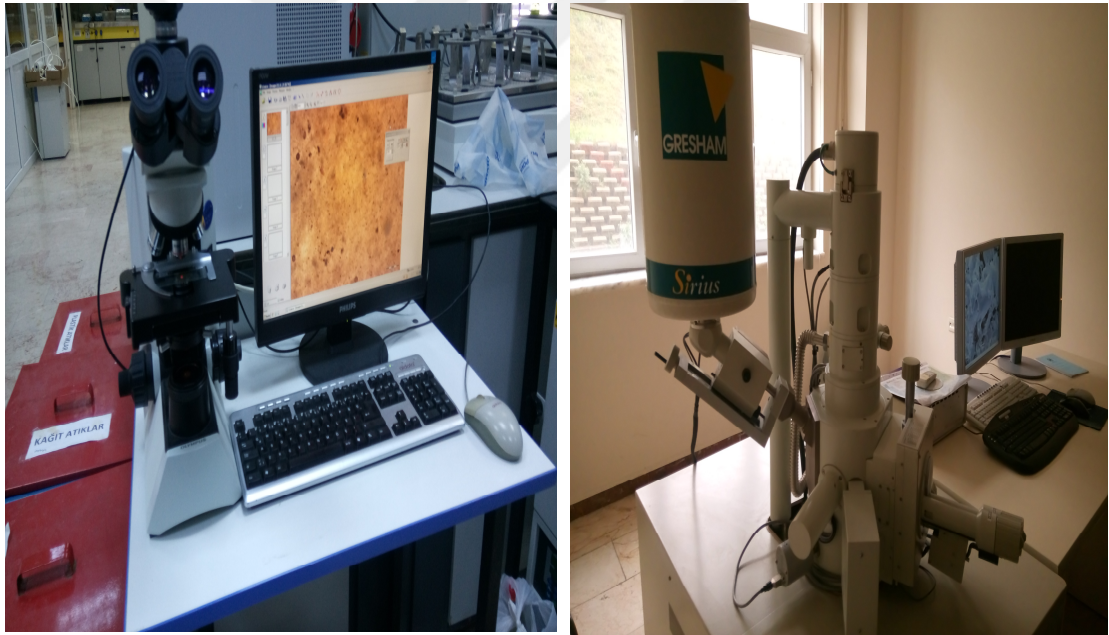
ω : Kek ağırlığının süzüntü hacmine oranı (kg m^{-3})



Şekil 3.9. Arıtma çamuru ve kül karışımlarının özgül filtre direncinin belirlenmesi

3.9. Arıtma Çamuru ve Kül Karışımlarının Mikrograf ve SEM Görüntülerinin Çekilmesi

Numunelerin mikrografları karışımlar hazırlandıktan hemen sonra alınan numuneler kullanılarak çekilmiştir. SEM görüntüleri ise, 105°C'de kurutulan numunelerin 5 nm kalınlığında altınla kaplanmasından sonra taramalı elektron mikroskobu (SEM) (JEOL – JSM - 6060 LV Model). kullanılarak elde edilmiştir. Numunelerin SEM içerisindeki yüksek vakum nedeniyle şekil değiştirmemesi için soğuk aşama uygulanmıştır. Ayrıca numune hazırlama işlemleri sırasında numunelerin yapısının zarar görmediğinden emin olmak amacı ile her materyalden üç replikasyon hazırlanmış ve bunlardan elde edilen görüntüler birbirleri ile karşılaştırılmıştır [30, 31].



Şekil 3.10. Karışımlarının mikrograf ve SEM görüntülerinin çekilmesi

3.10. Ağır Metal İçeriğinin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan arıtma çamuru ve kömür-biyokütle külü karışımı numunelerinin, Çinko (Zn), Bakır (Cu), Demir (Fe), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Kurşun (Pb), Krom (Cr), Kadmiyum (Cd) ve Kobalt (Co) içerikleri, yaş yakma

yöntemi ile hazırlanan örneklerde, ICP-OES (Spectro Arcos, Kleve Germany) cihazı kullanılarak saptanmıştır [32].



Şekil 3.11. Numunelerin ağır metal içeriklerinin belirlenmesi

3.11. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler

Tüm analizler üç tekerrürlü olarak yapılan sonuçların ortalamaları ve standart hataları sunulmuştur. Bununla birlikte biyokütle ve kömür külünün etkinliğinin karşılaştırılması amacıyla, filtre keki nem miktarı ve özgül filtre direnci değerlerinin determinasyon katsayıları verilmiştir.

BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Arıtma çamurları çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden bertaraf edilebilmelidir. Ancak arıtma çamurlarının uygun şekilde bertaraf edilebilmesinin ilk şartı içeriğindeki yüksek su miktarının azaltılmasıdır. Bununla birlikte, susuzlaştırma bertaraf edilecek arıtma çamuru hacmini önemli ölçüde azaltmakta ve çamurların taşınma ve işlenmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca su oranı azaltılmış çamurlar, yakma ve kompostlama gibi bertaraf uygulamalarında önemli oranda süre kazandırmakta ve uygulama maliyetini azaltmaktadır. Bu durum çamur susuzlaştırma işlemlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Ancak arıtma çamurları yapısal özelliklerinden dolayı suyu tutar ve basit uygulamalarla susuzlaştırılması mümkün değildir. Mevcut susuzlaştırma teknolojileri arasında en verimli olan susuzlaştırma yöntemleri, termal yöntemlerdir. Ancak termal yöntemlerde çamurun suyunun buharlaştırılması için gerekli olan sıcaklığın üretilmesi için, yüksek miktarda enerji ihtiyacı vardır. Bu durum susuzlaştırma maliyetini arttırdığından bu sistemin tercih edilmesini sınırlamaktadır.

Arıtma tesislerinde en çok kullanılan çamur susuzlaştırma yöntemi ise mekanik sistemlerdir. Belt filtre, filtre pres ve santrifüj filtre yaygın mekanik susuzlaştırıcılardandır. Bu sistemler çamura dışarıdan bir kuvvet uygulayarak içerisindeki suyun ve katı kısmının birbirinden ayrılması ilkesi ile çalışırlar. Ancak arıtma çamurlarında bu sistemlerin etkili olarak kullanılabilmesi için çamurun şartlandırma işlemi denilen ve su verme özelliklerinin iyileştirilmesi için yapılan bir ön işleme tabi tutulması gerekir.

Çamurun şartlandırılarak su vermesinin kolaylaştırılması için fiziksel işlemler veya kimyasal uygulamalar olarak sınıflandırabileceğimiz çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok tercih edileni bir kimyasal şartlandırma çeşidi olan arıtma

çamuruna polielektrolit ilavesidir. Polielektrolitler çamuru içerisindeki katıların elektriksel yükünde meydana getirdiği değişimle bir araya toplar ve çamurun zor su veren yapısını kırarak su verme özelliğini iyileştirir. Polielektrolitlerin eksi yüklü olanlarına anyonik polielektrolit, artı yüklü olanlarına katyonik polielektrolit ve yüksüz olanlarına ise nonyonik polielektrolitler denir. Bu polielektrolit çeşitlerinin hangisinin kullanılacağı arıtma çamurunun özelliğine bağlı olarak değişir. Genel olarak evsel atık su arıtma çamurlarında anyonik polielektrolitler tercih edilmektedir.

Bu çalışmada evsel atık su arıtma çamurlarının şartlandırılmasında alternatif oluşturmak ve şartlandırma maliyetlerini azaltmak amacı ile biyokütle ve kömür külünün polielektrolit yerine şartlandırıcı olarak kullanılabilirlikleri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

4.1. Çalışmada Kullanılan Arıtma Çamurunun Özellikleri

Çalışmada kullanılan atık su arıtma çamurları uzun havalandırmalı aktif çamur sistemine sahip bir evsel atık su arıtma tesisinden temin edilmiştir. Bununla birlikte evsel atık su arıtma çamurunun özelliklerinin, arıtılan atık su özelliklerine ve kullanılan arıtma prosesine göre değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Bundan dolayı çalışmada kullanılan evsel atık su arıtma çamurunun bazı özellikleri ve bu özelliklerin literatürdeki benzer çalışmalarda kullanılan çamurların özellikleri ile karşılaştırılması Tablo 4.1.'de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, kullanılan arıtma çamurlarının nem miktarının %96,07, kuru madde miktarının 39,3 g/l, organik madde içeriğinin %58,53, pH değerinin 6,7, özgül filtre direncinin $16,4 \cdot 10^{12}$ m/kg, filtre keki nem miktarının ise %91,72 olduğu görülebilir.

Kullanılan evsel atık su arıtma çamurunda belirlenen bu değerler literatürde ki konu ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanılan arıtma çamurlarının değerleri ile karşılaştırıldığında, kullanılan arıtma çamurunun organik madde ve filtre keki nem miktarı dışındaki diğer özelliklerinin, literatürde verilen değer aralığında olduğu, organik madde değerinin literatür değer aralığının alt sınırına, filtre keki nem miktarının ise literatür değer aralığının üst sınırına çok yakın bulunduğu görülmektedir.

Tablo 4.1. Çalışmada kullanılan arıtma çamurunun özellikleri ve literatürde verilen değerler

Parametreler	Arıtma Çamuru	Literatürdeki Değerler*
Su İçeriği (%)	96,07±0,04	96-99
Kuru Madde (g l ⁻¹)	39,3±0,04	20-80
Organik Madde (%)	58,35±3,15	60-80
pH	6,17±0,43	5.0 - 8.0
Özgül Filtre Direnci (10 ¹¹ m kg ⁻¹)	(16,4±0,69).10 ¹²	8.10 ¹² -18.10 ¹²
Filtre Keki Nem Miktarı (%)	91,72±0,12	86-90

* [10, 11, 16, 29, 35, 36].

4.2. Çalışmada Kullanılan Biyokütle ve Kömür Külünün Özellikleri

Bu çalışmada arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla biyokütle ve kömür külü olmak üzere iki farklı kül denenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda kömür ve biyokütle küllerinin özelliklerinin kullanılan kömür ve biyokütle cinsine göre değişiklik gösterebildiği belirtilmektedir. Bununla birlikte küllerin özellikleri arasındaki değişiklikler, içerilerinde bulunan makro ve mikro elementlerin farklılığından çok oranlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır [33, 34].

Literatürdeki çalışmalarda, kömür ve biyokütle külünün her ikisinin genel kompozisyonunda da ağırlıklı olarak bulunan elementlerin, silisyum(SiO₂), kalsiyum (CaO), potasyum (K₂O), fosfor (P₂O₅), magnezyum (MgO) ve sodyum (Na₂O) olduğu rapor edilmektedir. Bununla birlikte her iki kül çeşidin de ağırlıklı element silisyum (SiO₂) dur. Biyokütle külü ile kömür külünün içeriğindeki en büyük fark, biyokütle külünün kömür külüne göre çok daha fazla oranda potasyum (K₂O) içermesidir. Kalsiyum ve magnezyum oranları yakılan kömür ve biyokütle türüne göre önemli ölçüde farklılık göstermektedir [34, 18].

Bu çalışmada kullanılan kömür külleri enerji santralinde, 2500-3000 kalorinin altındaki linyit kömürünün akışkan yataklı yanma ünitesinde yakılması ile elde edilmektedir. Biyokütle külü ise, orman endüstrisi atıkları ile mısır samanı ve fındık zürufu gibi tarımsal kökenli atıkların, kömür külündekine benzer bir akışkan yataklı yanma ünitesine sahip prototip bir enerji santralinde yakılması ile elde edilmiştir. Kullanılan kömür ve biyokütle külünün pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve ağır metal içerikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.2.'de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Çalışmada kullanılan biyokütle ve kömür külünün pH, EC ve ağırmetal değerleri

Özellikler	Biyokütle Külü	Kömür Külü
pH	11,98±1,04	9,11±0,7
EC (dS/m)	13,24±0,94	11,67±2,05
Kadmiyum (mg.kg ⁻¹)	2,21±0,2	5,33±1,9
Bakır (mg.kg ⁻¹)	46,28±4,8	58,65±6,8
Demir (mg.kg ⁻¹)	1765,39 ±11,4	2198,29±18,6
Nikel (mg.kg ⁻¹)	24,82±5,1	36,92±4,7
Mangan (mg.kg ⁻¹)	1076,32 ±9,73	1286,75±16,8
Kurşun (mg.kg ⁻¹)	25,86±4,8	62,29±14,1
Çinko (mg.kg ⁻¹)	661,18±12,6	286,48±19,2
Krom (mg.kg ⁻¹)	49,34±7,6	79,36±11,3
Kobalt (mg.kg ⁻¹)	4,17±0,4	12,64±2,8

Tablo 4.2.'deki değerler incelendiğinde çalışmada kullanılan biyokütle ve kömür küllerinin her ikisinin de bazik karakterde olduğu ve biyokütle külünün pH değerinin kömür külünden yüksek olduğu görülebilir (biyokütle külü pH: 11,98; kömür külü pH: 9,11). Elektriksel iletkenlik değerleri incelendiğinde ise biyokütle ve kömür külünde benzer olmak üzere, küllerin içerisindeki mineral içeriğinden dolayı yüksek elektriksel iletkenlik değerlerine sahip oldukları anlaşılabılır. Biyokütle külünün EC değeri 13,24 dS/m ve kömür külünün EC değeri ise 11,67 dS/m olarak bulunmuştur.

Bununla birlikte çalışmada kullanılan biyokütle ve kömür külleri ağır metal içerikleri belirlenmiştir (Tablo 4.2.). Her iki kül çeşidi içerisinde de en yüksek miktara sahip ağır metaller demir (BK: 1765,39 mg/kg; KK: 2198,29 mg/kg), mangan (BK:

1076,32 mg/kg; KK:1286,75 mg/kg) ve çinkodur (BK: 661,18 mg/kg; KK: 286,48 mg/kg). Kadmiyum (BK: 2,21 mg/kg; KK: 5,33 mg/kg) ve kobalt (BK: 4,17 mg/kg; KK: 12,64 mg/kg) ise en az bulunan mikro elementler olmuştur. Bunun yanında biyokütle ve kömür külleri ağır metal içerikleri açısından karşılaştırıldığında, incelenen tüm parametrelerde kömür külüne ait değerlerin yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.3. Biyokütle ve Kömür Külü İlavesinin Arıtma Çamurunun Su Verme Özellikleri Üzerindeki Etkileri

Biyokütle ve kömür küllerinin arıtma çamurlarına değişik oranlarda ilave edilmesi ile hazırlanan karışımlar ile polielektrolit kullanılan kontrol uygulamasının pH, elektriksel iletkenlik, organik madde değerler ve su verme özelliklerini gösteren değerler Tablo 3.1.'de sunulmuştur. Her iki kül numunesinin pH değerleri de arıtma çamurunun pH değerinden (6,17) yüksektir. Bundan dolayı karışımlar içindeki kül oranları yükseldikçe karışımların pH değeri de artmıştır.

Ayrıca biyokütle külünün pH değeri (11,98) kömür külünden (9,11) daha yüksek olduğundan tüm biyokütle külü kullanılan karışımların pH değerleri, kömür külü kullanılan karışımlarinkinden yüksek bulunmuştur. Polielektrolit uygulaması çamurun pH değerinde önemli bir değişiklik yapmamıştır. Karışımların organik madde miktarları ise karışımda kullanılan kül oranlarını yükseldikçe azalmaktadır. Arıtma çamurunun başlangıç organik madde miktarının %58,35 olduğu düşünüldüğünde, en yüksek kül oranlarının kullanıldığı BÇ₆ ve KÇ₆ uygulamalarında karışımların organik madde miktarlarının başlangıç değerinin yarısına düştüğü söylenebilir.

Başlangıçta ham çamurun özgül filtre direnci $164.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$ olarak ölçülmüştür (Tablo 4.1.). Polielektrolit kullanılan kontrol uygulamasında ise bu değer azalmış ve özgül filtre direnci $2,8.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Kül kullanılan uygulamaların tamamı, polielektrolit uygulamasının özgül filtre direnci değerine göre yüksek olmakla birlikte, başlangıç özgül filtre direnci değeri önemli ölçüde düşürmüştür. Biyokütle külü kullanılan uygulamalarda en yüksek ve en düşük özgül filtre direnci

değeri $132.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$ (BÇ₁) – $29.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$ (BÇ₆) belirlenirken, kömür külü kullanılan uygulamaların en yüksek ve en düşük özgül filtre değerleri $138.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$ (KÇ₁) – $34.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$ (KÇ₆) olmuştur (Tablo 4.3.). Elde edilen sonuçlar, uygulamalardaki kül oranının artmasının özgül filtre direncini düşürdüğünü ortaya koymaktadır. Bu düşüş çamurun su verme özelliklerinin iyileşmesine neden olmaktadır. Bu durum Tablo 3.1.'de verilen filtre keki nem miktarı sonuçları ile de doğrulanmaktadır.

Başlangıç (ham çamur) değeri %91,72 olan filtre keki nem miktarı, kül uygulamalarında önemli ölçüde azalmıştır. Kül uygulamalarında en düşük filtre keki nem miktarı %65,92 ile BÇ₆ uygulamasında görülmüş olup, bu değer polielektrolit kullanılan kontrol uygulamasına (%58,96) en yakın değerdir. Biyokütle külünde elde edilen en düşük filtre keki nem miktarı değeri ise BÇ₁ uygulamasında %90,45 olarak bulunmuştur. Kömür külü kullanılan uygulamalarda en yüksek ve en düşük değerler %90,26 ve %69,29 olarak belirlenmiş ve sırası ile KÇ₁ VE KÇ₆ uygulamalarında görülmüştür.

Bununla birlikte elde edilen sonuçlar literatür de konu ile ilgili çalışmaların sonuçları ile benzer bulunmuştur. Literatürde kül kullanımının, polielektrolit kullanımına benzer şekilde, içindeki yüksek orandaki SiO₂ ve Al₂O₃ nedeni ile evsel arıtma çamurunun negatif elektrik yükünü azalttığı ve bu durumun kolloidal çamur partiküllerinin stabilitesini bozarak partikülleri birbirine yaklaştırdığı bildirilmektedir.

Bunun yanında yine konuyla ilgili çalışmalarda, arıtma çamurlarının çok fazla küçük partikül içerdiği, bu küçük partiküllerin çamur keki içerisindeki su verme gözeneklerini tıkadığı, kül partiküllerinin ise geniş yüzey alanları sayesinde küçük çamur partiküllerini tuttuğu ve biraya topladıkları ifade edilmekte ve bu iki durumun arıtma çamurlarının su verme özelliklerini iyileştirdiği savunulmaktadır [10, 11, 37, 38].

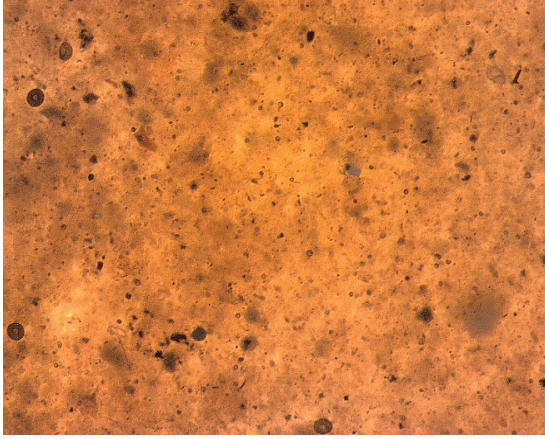
Tablo 4.3. Hazırlanan karışımların pH, organik madde ve susuzlaştırma ile ilgili özellikleri

Numuneler	pH	Organik Madde (%)	Özgül Filtre Direnci ($10^{11} \text{ m kg}^{-1}$)	Filtre Keki Nem Miktarı (%)
BK*	11,98±1,04	-	-	-
KK*	9,1±0,7	-	-	-
PÇ*	6,40±0,6	57,02±2,6	2,8±0,2	58,96±1,8
BÇ ₁	8,30±0,8	52,64±2,1	132±7,3	90,45±4,2
BÇ ₂	8,37±0,5	49,25±1,9	118±5,8	89,69±4,9
BÇ ₃	9,18±0,8	42,40±2,4	88±6,1	85,27±5,6
BÇ ₄	9,53±0,6	40,48±1,8	63±6,8	80,91±2,4
BÇ ₅	9,71±0,8	36,16±1,3	48±5,2	72,15±3,1
BÇ ₆	9,91±0,7	31,72±1,6	29±1,8	65,92±5,3
KÇ ₁	6,90±0,5	50,26±2,4	138±9,3	90,86±4,2
KÇ ₂	6,93±0,5	48,13±1,7	122±9,7	89,75±1,8
KÇ ₃	7,03±0,5	43,77±1,9	96±9,4	86,4±1,2
KÇ ₄	7,36±0,3	39,17±3,2	71±4,6	82,25±3,4
KÇ ₅	7,79±0,6	33,73±2,6	57±1,5	77,76±3,8
KÇ ₆	7,83±0,5	30,43±1,4	34±4,9	69,29±2,7

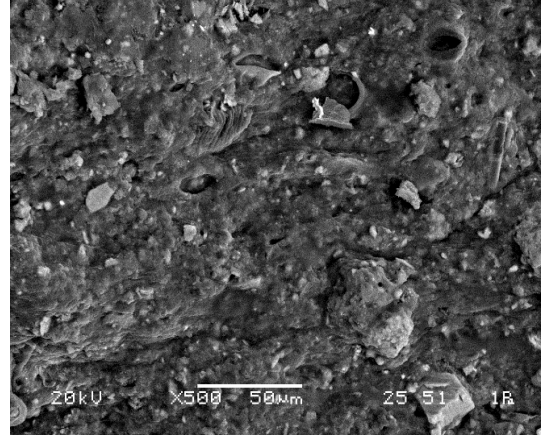
* BK:biyokütle külü, KK:kömür külü PÇ:polielektrolit ilave edilmiş arıtma çamuru (kontrol)

4.4. Biyokütle ve Kömür Külü Uygulamalarının Arıtma Çamuru Üzerindeki Etkilerinin Mikrograf ve SEM Görüntüleri İle İncelenmesi

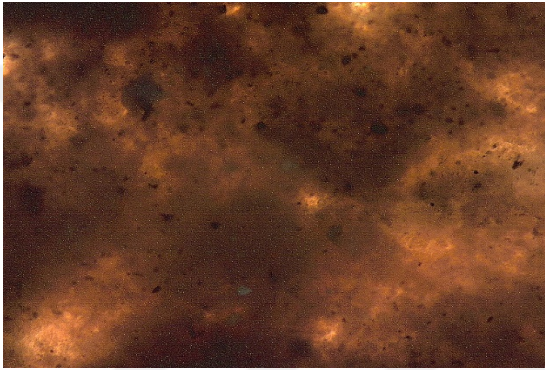
Artan oranlarda biyokütle ve kömür külü içeren uygulamaların özgül filtre direnci ve filtre keki nem miktarı değerleri (Tablo 4.3.) göz önünde bulundurularak, her iki kül kullanımında da en iyi sonuçlara sahip uygulamaların mikrograf ve SEM görüntüleri alınarak ham arıtma çamuru ve polielektrolit kullanılan kontrol uygulamasının görüntüleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.1.).



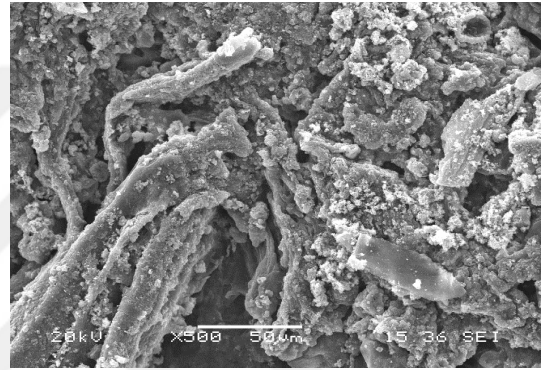
Arıtma Çamuru Mikrografi



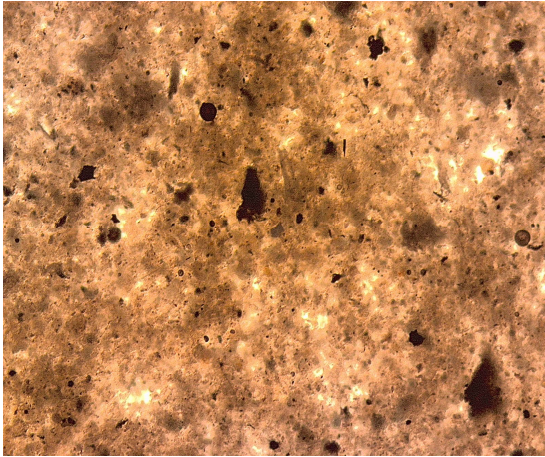
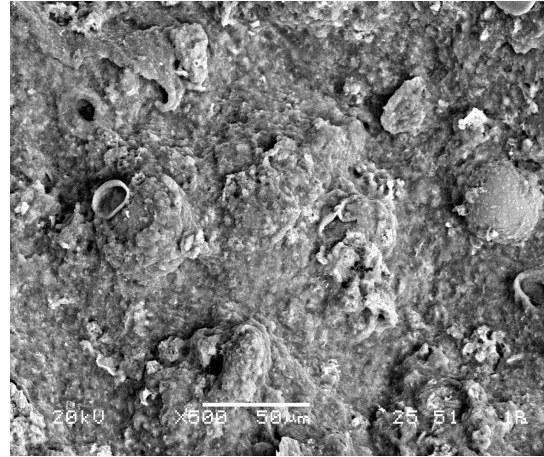
Arıtma Çamuru SEM



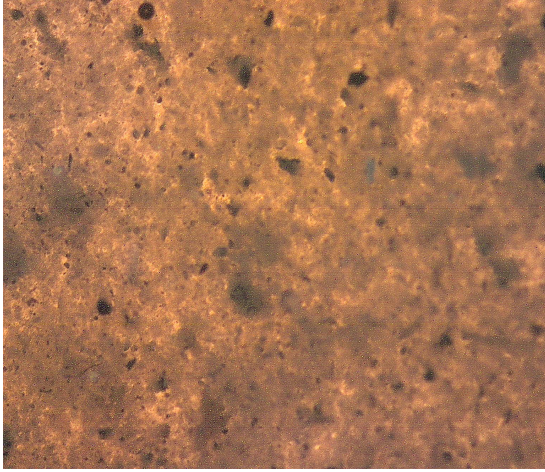
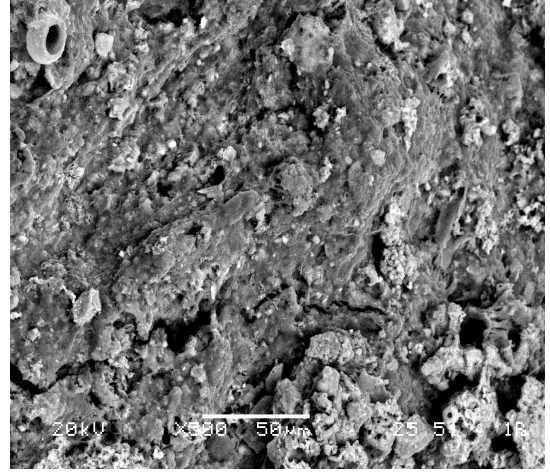
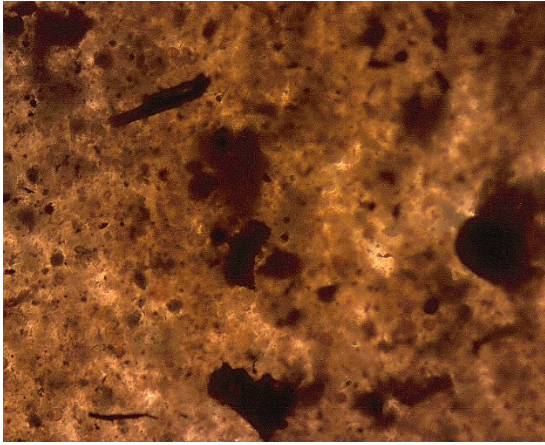
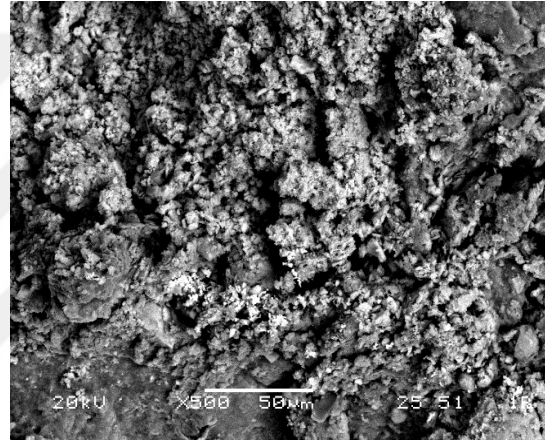
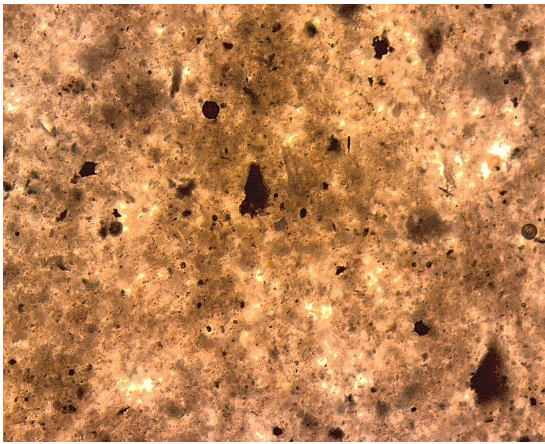
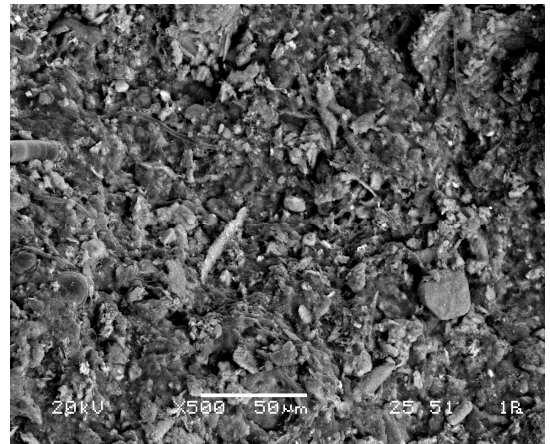
PÇ Mikrografi



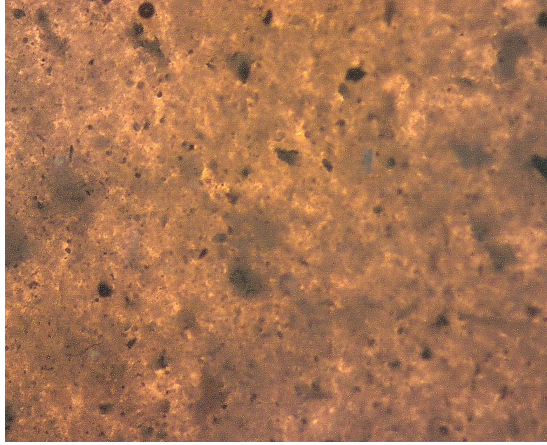
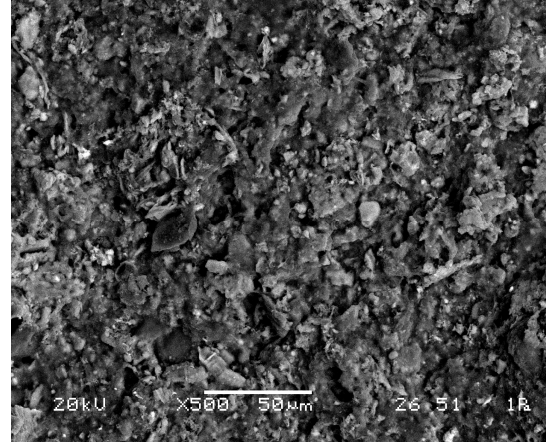
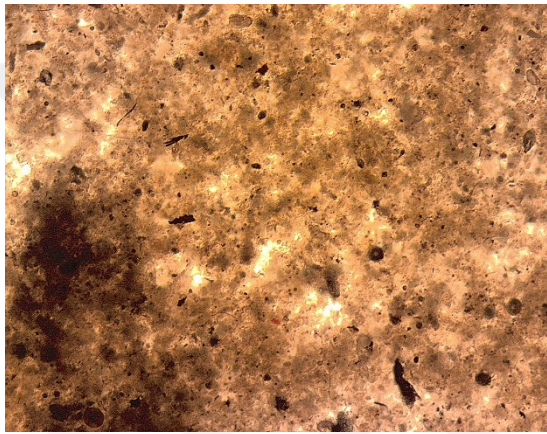
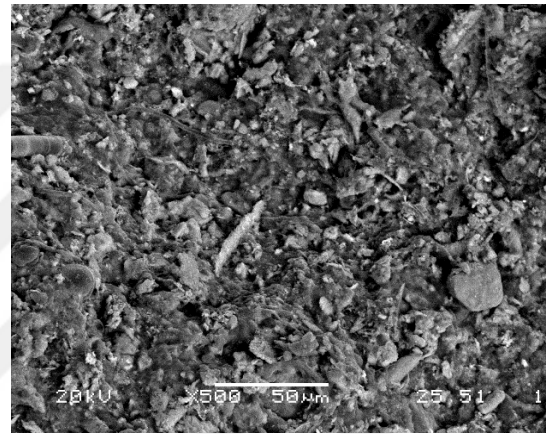
PÇ SEM

BÇ₄ MikrografiBÇ₄ SEM

Şekil 4.1. Biyokütle kömür külü uygulamalarının mikrogram ve SEM görüntüleri

BÇ₅ MikrografiBÇ₅ SEMBÇ₆ MikrografiBÇ₆ SEMKÇ₄ MikrografiKÇ₄ SEM

Şekil 4.1.'in devamı

KÇ₅ MikrografiKÇ₅ SEMKÇ₆ MikrografiKÇ₆ SEM

Şekil 4.1.'in devamı

Mikrograf görüntüleri incelendiğinde, ham çamurun katı partiküllerinin dağınık ve birbirine uzak olduğu görülmektedir. Buna karşın, polielektrolit ve kül içeren uygulamalarda, katı partiküllerin belirgin şekilde bir araya toplandığı görülmektedir. Karışımların içerisindeki kül miktarı arttıkça, katı partiküllerin bir birlerine yaklaşması da artmış ve en yüksek oranda biyokütle ve kömür külü içeren uygulamalar olan BÇ6 ve KÇ6 uygulamalarında serbest su olan alanlar azalmış ve katı partiküller arasındaki boşluklar küçülmüştür.

Bununla birlikte mikrograflar arıtma çamuru ve küller karıştırılıp çökmeye bırakıldıktan sonra, vakum filtrasyon ve kurutma işlemi yapılmadan alınan numunelerde çekilmiştir. Bundan dolayı alınan numunelerde hala yüksek oranda su bulunmaktadır. Bu durum tüm katı partiküllerin yapısının görüntülenmesini

engellediğinden, görüntüler numunedeki katı partiküllerin karakterini en iyi temsil edeceği düşünülen alandan çekilmiştir.

Mikrograflarda görülen katı partiküllerin bir birlerine yaklaşması durumu SEM görüntülerinde daha belirgindir. Şekil 4.1.'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, işlem görmemiş arıtma çamuruna göre, PÇ, BÇ6 ve KÇ6 uygulamalarında, flok oluşumunun ve mukavemetinin arttığı flok kırılmasının azaldığı ve flokların birbirine yaklaştığı söylenebilir. Bu durum benzer çalışmalarda da rapor edilmektedir. Bu çalışmalarda flok oluşumunun su verme özellikleri üzerinde ki en önemli etkisinin, çamur içerisindeki küçük partiküllerin azalması ile bu küçük partiküllerin, filtre kek gözeneklerini tıkamalarının engellenmesi olarak belirtilmektedir. Böylece çamur içindeki su uygulanan mekanik kuvvetlerin etkisiyle daha kolay çamurdan uzaklaşmaktadır [10, 11, 37].

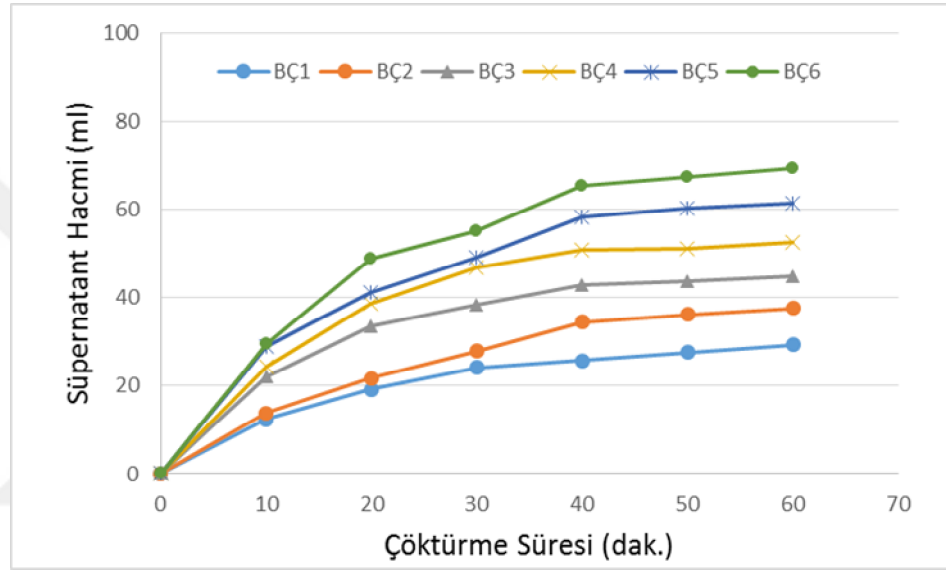
4.5. Biyokütle ve Kömür Külü Uygulamalarının Çöktürme Süresi Boyunca Süpernatant Hacmi Üzerindeki Etkileri

Biyokütle kömür külü ilavesinin arıtma çamurunun su verme özelliklerine etkileri, karışımların 60 dakika boyunca çökmeye bırakılması ve her 10 dakikada bir elde edilen süpernatant hacimlerinin kaydedilmesi ile değerlendirilmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'de verilmiştir.

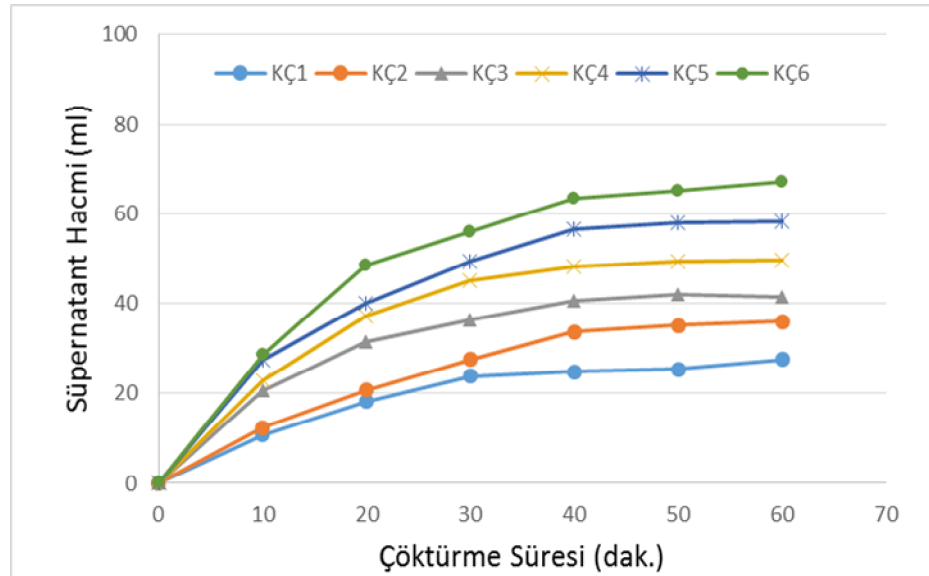
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, uygulamalarda kullanılan biyokütle ve kömür külü oranlarının artışının süpernatant hacmini artırdığı, artışın ilk 30 dakikada ikinci 30 dakikaya göre daha hızlı olduğu ve biyokütle külünde elde edilen süpernatant hacminin kömür külü uygulamalarına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Biyokütle külünde elde edilen en yüksek süpernatant hacmi 69,3 ml ile BÇ₆ uygulamasında, en düşük süpernatant hacmi ise 29,3 ml ile BÇ₁ uygulamasında bulunmuştur. Biyokütle külü uygulamasının sonuçlarına benzer şekilde, kömür külü uygulamasında da en yüksek süpernatant hacmi en yüksek kül oranına (67,1 ml) sahip uygulama olan KÇ₆, en düşük süpernatant hacmi ise en düşük oranda kömür külü içeren uygulama olan KÇ₁ uygulamasında (27,6 ml) belirlenmiştir. Polielektrolit uygulamasının seviyesinin (116,4 ml) altında kalmasına rağmen, süpernatant hacminin, kullanılan

kül miktarı ile artış göstermesi, kül ilavesinin çamurun çökmesine pozitif etki yaparak arttırdığı şeklinde yorumlanabilir.

Bununla birlikte uygulamaların süpernatant hacimleri ile ilgili elde edilen değerler literatürde konu ile ilgili çalışmalarda sunulan sonuçlarla benzerdir. Literatürde kömür külü ilavesinin süpernatant hacmini arttırdığını ve artışın çöktürme süresinin ilk yarısında daha hızlı olduğunu rapor eden çalışmalar bulunmaktadır [18].



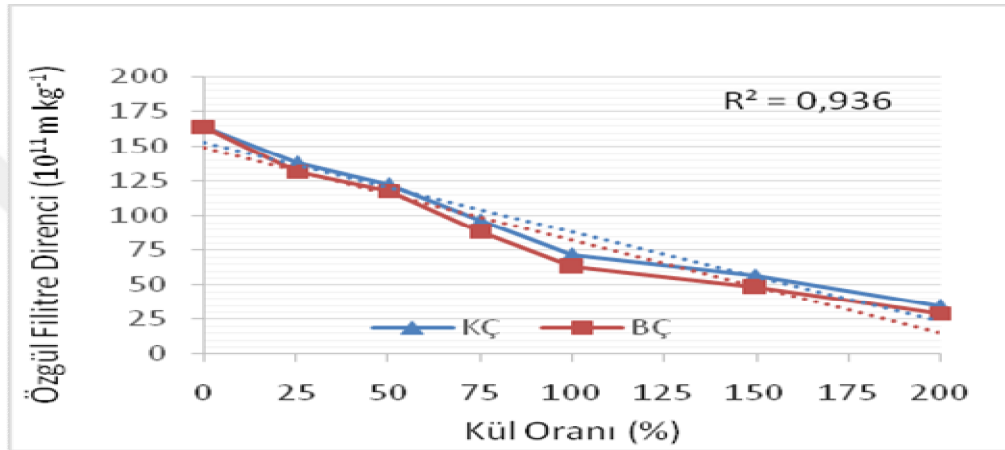
Şekil 4.2. Biyokütle külü uygulamasında çöktürme süresi boyunca süpernatant hacminin değişimi



Şekil 4.3. Kömür külü uygulamasında çöktürme süresi boyunca süpernatant hacminin değişimi

4.6. Biyokütle ve Kömür Külü Uygulamalarının Arıtma Çamuru Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması

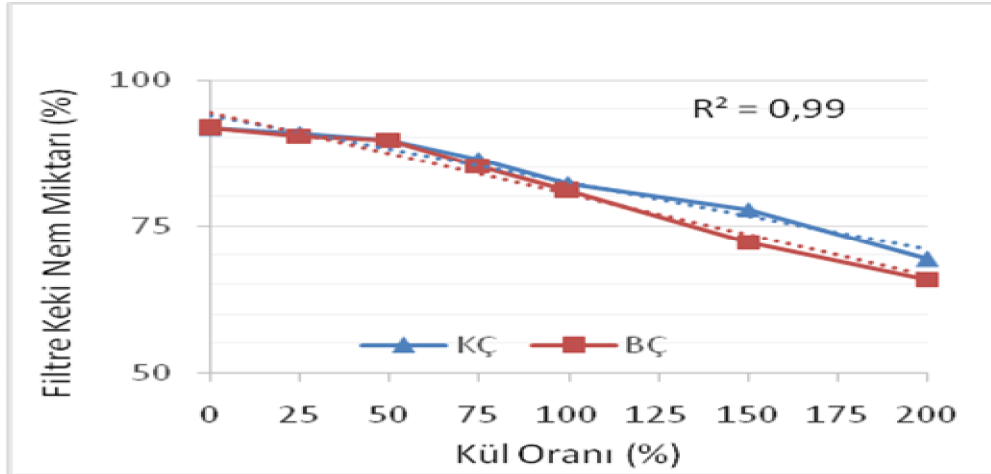
Bununla birlikte bu çalışmada biyokütle külü ve kömür külünün arıtma çamurlarının su verme özellikleri üzerindeki etkileri, her iki uygulamadan elde edilen özgül filtre dirençleri ve filtre keki nem miktarı değerlerinin istatistiki olarak karşılaştırılması yapılarak incelenmiştir.



Şekil 4.4. Biyokütle ve kömür külü uygulamalarının özgül filtre direnci sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'de verilen biyokütle ve kömür külü uygulamalarının özgül filtre direnci ve filtre keki nem miktarı değerlerinin istatistiksel karşılaştırma sonuçları incelendiğinde, her ne kadar biyokütle külünden elde edilen sonuçlar kontrol uygulamasına daha yakın olsa da, her iki kül uygulamasının özgül filtre direnci ($R^2 = 0,93$) ve filtre keki nem miktarı ($R^2 = 0,99$) değerlerin istatistiksel olarak birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar, literatürde daha önce arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabilirliği belirlenmiş olan kömür külleri gibi, kömür küllerinden daha az ağır metal içeren ve özellikle potasyum gibi bitki besin elementlerince daha zengin olan biyokütle küllerinin de bu amaçla kullanılmasının uygun olacağını ortaya koymuştur [18].



Şekil 4.5. Biyokütle kömür külü uygulamalarının filtre keki nem miktarı sonuçlarının karşılaştırılması

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su ve atık suların arıtılması işlemlerinden sonra, ortaya yüksek su içeriğine sahip, stabil olmayan yapıları nedeni ile çevre kirliliği ve sağlık problemleri oluşturma potansiyeli yüksek bir atık olan arıtma çamurları çıkmaktadır. Bununla birlikte arıtma çamurlarının bertarafı çevre mühendisliğinin üzerinde en çok çalıştığı konuların başında gelmektedir. Ayrıca arıtma çamurlarına uygun bertaraf yönteminin uygulanabilmesinin ilk şartı çamurun yüksek su içeriğinin azaltılmasıdır.

Çamurun su içeriğinin azaltılması için geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler içinde en çok kullanılanlar mekanik susuzlaştırma yöntemleridir. Ancak çamurun özel yapısından dolayı suyu bünyesinde tutması nedeniyle mekanik susuzlaştırma ünitelerinin etkili kullanılabilmesi için çamurun şartlandırma işleminden geçirilip su verme özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Çamur şartlandırma işlemi fiziksel ve kimyasal yöntemlerle yapılabilmekle beraber uygulamada polielektrolit kullanılarak yapılan kimyasal şartlandırma yaygındır.

Bu çalışmada evsel atık su arıtma çamurlarının şartlandırılmasında polielektrolitlere alternatif olarak biyokütle ve kömür külü kullanım olanağı ve iki kül çeşidinin arıtma çamurlarının su verme özelliklerini iyileştirme potansiyellerinin karşılaştırılması incelenmiş ve yapılan analiz ve gözlemler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin en önemli göstergesi özgül filtre direnci, çamur keki nem miktarı ve çökme sonunda oluşan süpernatant hacmidir. Bu çalışmada arıtma çamurları biyokütle ve kömür külü ile değişik oranlarda karıştırılarak, karışımların özgül filtre direnci, çamur keki nem miktarı ve çökme süreleri belirlenmiş ve belirlenen değerler kontrol uygulaması olan polielektrolit kullanılan çamurun sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Arıtma çamurunun başlangıç

özgül filtre direnci değeri $164.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$ iken, polielektrolit kullanılan kontrol uygulamasında bu değer $2,8.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Biyokütle ve kömür külü ilave edilmiş uygulamalarda kontrol uygulamasına en yakın sonuçlar en yüksek kül içeriğine sahip uygulamalar olan BÇ₆ ($29.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$) ve KÇ₆ ($34.10^{11} \text{m.kg}^{-1}$) uygulamalarında gerçekleşmiştir. Bununla birlikte biyokütle külü uygulamalarının özgül filtre direnci değerleri kömür külü kullanılan uygulamalara göre daha düşüktür.

Filtre keki nem miktarı değerleri incelendiğinde ise, çamurun başlangıçtaki %91,72 olan filtre keki nem miktarı biyokütle ve kömür külü ilavesi ile azalmıştır. Kontrol, biyokütle ve kömür külü uygulamalarının en düşük filtre keki nem miktarı değerleri sırası ile %58,96; %65,92 ve %69,29 olarak bulunmuştur. Özgül filtre direncine benzer şekilde, kontrol uygulamasına en yakın filtre keki nem miktarı değeri biyokütle külünde elde edilmiştir.

Karışımların 60 dakika boyunca çökelmeye bırakılmasından sonra elde edilen süpernatant hacimleri incelendiğinde ise, 60 dakika sonunda, kontrol uygulamasında 116,4 ml biyokütle külünde 69,3 ml ve kömür külünde ise 67,1 ml süpernatant hacmine ulaşıldığı belirlenmiştir.

Bununla birlikte biyokütle ve kömür külü uygulamalarının özgül filtre direnci ($R^2=0,93$) ve filtre keki nem miktarları ($R^2=0,99$) karşılaştırılmış ve her iki parametrede elde edilen sonuçların istatistiksel olarak birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durum her iki kül çeşidinin de arıtma çamurlarının su verme özelliklerinin iyileştirilmesinde benzer şekilde kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur.

Biyokütle ve kömür küllerinin ağır metal değerleri incelendiğinde ise, Zn değeri dışındaki incelenen tüm parametrelerde kömür külünün ağır metal oranları yüksek bulunmuştur. Bu sonuç dikkate alındığında, kül uygulamaları arasında arıtma çamurunun su verme özelliklerinin iyileştirilmesi açısından önemli bir fark olmamasına rağmen, biyokütle külü kullanımının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Özellikle kül uygulamalarının çamurun su verme özellikleri üzerindeki etkisinin %50 gibi yüksek karışım oranından sonra artmaya başladığı göz

önünde bulundurulduğunda, ağır metal oranı düşük olan biyokütle külü kullanımı, arıtma çamurunun ağır metal seviyesinin korunmasında faydalı olacaktır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar bir bütün olarak ele alındığında, biyokütle ve kömür küllerinin evsel atık su arıtma çamurlarının özgül filtre direncini ve filtre keki nem miktarını düşürerek su verme özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili olabileceğini ortaya koymuştur. Çalışma sonuçları ve literatürde sunulan bilgiler birlikte değerlendirildiğinde, kullanılan kül miktarındaki artışla doğru orantılı olarak, çamurun su verme özelliklerinin iyileştiği ve bu iyileşmede etkili olan unsurların çamurun negatif elektriksel yükünün düşmesi, flok oluşumu ve mukavemetinin artması ve çamur içindeki küçük partiküllerin azalması olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte biyokütle ve kömür külü uygulamalarının çamurun su verme özelliklerine etki düzeyleri arasında bir fark bulunmamıştır. Ancak ağır metal içeriği daha düşük olan biyokütle külü kullanımının, özellikle arıtma çamurlarının susuzlaştırılmasından sonraki, bitki besin elementi veya toprak iyileştirici olarak kullanımı gibi bertaraf seçenekleri için uygun olduğu düşünülmektedir.

Belirlenen hedefler doğrultusunda elde edilen tüm sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, gerçekleştirilen çalışmanın genel sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

1. Arıtma çamurlarının su içeriğinin azaltılmasında en önemli aşama olan çamur şartlandırma işlemi için ekonomik ve sürdürülebilir bir alternatif ortaya koyulmuştur.
2. Mevcut çamur şartlandırma işlemlerinde çok miktarda kullanılan yüksek maliyetli polielektrolitlerin yerine küllerin kullanılabilirliği ortaya koyulduğundan, şartlandırma giderlerinin azaltılmasına katkı sağlanmıştır.
3. Enerji santrallerinin başlıca atığı olan ve mevcut durumda faydalı bir kullanım amacı bulunmadığından bertarafı zorunlu olan, biyokütle ve kömür külleri için sürdürülebilir bir kullanım yöntemi önerilmiştir.
4. Arıtma çamurlarının susuzlaştırılması prosesine yapılan katkı ile çamurların taşınması, depolanması, yakılması gibi birçok uygulamada maliyet ve uygulama kolaylığı sağlanmıştır.

5. Biyokütle külünün şartlandırma da kullanımı sayesinde, arıtma çamurlarının bitki besin elementi içeriği artırılacağından, toprak iyileştirici olarak kullanılma potansiyelleri geliştirilecektir.

Bu çalışma ile arıtma çamurlarının alternatif metaryeller kullanılarak şartlandırılması ile ilgili yapılacak çalışmalara temel oluşturulmuştur. Bununla birlikte biyokütle ve kömür külünün çamur şartlandırma potansiyelinin geliştirilmesi için çeşitli pH aralıklarında denemelerin yapılması ve özellikle biyokütle külünün arıtma çamurunun bitki besin elementi düzeyine etkilerinin belirleneceği geniş çaplı çalışmaların yapılması ilgili literatüre çok faydalı olacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] Ş.Yıldız, E.Yılmaz ve E.Ölmez, “Evsel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri: İstanbul Örneği”, Türkiye’ de Katı Atık Yönetim Sempozyumu TÜRKAY 2009 YTÜ, 15-17 Haziran, İstanbul, 2009.
- [2] H.Yasui ve M.Shibata, “An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process”. Water Science and Technology, sayı 30, 9, pp. 11-20,1994.
- [3] A.Filibeli ve G.E.Kaynak, “Arıtma çamuru miktarının azaltılması ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan ön işlemler” İTÜ dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü, cilt:16, sayı:1-3, pp. 3-12, 2006.
- [4] J.H.Bruss, P.H.Nielsen ve K.Keiding, “On the stability of activated sludge flocs with implications to dewatering”, Water Res. sayı 26, pp. 1597–1640,1992.
- [5] Y. Chen, Y.S. Chen veG. Gu,“Influence of pretreating activated sludge with acid and surfactant prior to conventional conditioning on filtration dewatering”, Chem. Eng. J. sayı 99 pp. 137–143, 2004.
- [6] E. Friedler ve E. Pisanty, “Effects of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making”, Water Res. sayı 40, pp. 3751–3758,2006.
- [7] H.Saveyn, G.Pauwels, R. Timmerman ve P.V.Meeren, “Effect of polyelectrolyte conditioning on the enhanced dewatering of activated sludge by application of an electric field during the expression phase”, Water Res. sayı 39, pp. 3012–3020,2005.
- [8] H.F.Van der Roest, P.Roeleveld ve P.Stamperius, “Optimising sludge treatment in the Netherlands”. Water,sayı 21, 8–9, pp. 23–25,1999.
- [9] M.A.Tony, Y.Q.Zhao, J.F.Fu ve A.M.Tayeb, “Conditioning of aluminium-based water treatment sludge with Fenton’s reagent: Effectiveness and optimising study to improve dewaterability”, Chemosphere, sayı 72, pp. 673–677, 2008.

- [10] H. Yuan, N. Zhu ve L.Song, "Conditioning of sewage sludge with electrolysis: Effectiveness and optimizing study to improve dewaterability" *Bioresource Technology* sayı 101 pp. 4285–4290, 2010.
- [11] C.Chen, P.Zhangc, G.Zenga, J. Denga, Y. Zhoua ve H.Lud, "Sewage sludge conditioning with coal fly ash modified by sulfuric acid", *Chemical Engineering Journal*,sayı 158, pp. 616–622, 2010.
- [12] S.V.Vassilev, D.Baxter, L.K.Andersen ve C.G.Vassileva, "An overview of the chemical composition of biomass" *Fuel*,sayı 89, pp. 913–933, 2010.
- [13] X.C.Baxter, L.I.Darvell, J.M.Jones, T.Barraclough, N.E.Yates ve I.Shield, "Miscanthus combustion properties and variations with Miscanthus agronomy" *Fuel* sayı 117, pp. 851–869, 2014.
- [14] Agneta, Lindquist. "About water treatment." Helsingborg, Sweden: Kemira Kemwater, 2003.
- [15] Colin, F., and S. Gazbar. "Distribution of water in sludges in relation to their mechanical dewatering." *Water Research* 29.8, 1995: 2000-2005.
- [16] S. Özdemir ve N.N. Nuhoglu "Arıtma Çamurları", Sakarya Üniveritesi Yayınları No : 120, 2015.
- [17] Tuan, Pham-Anh, and M. Sillanpää. "Effect of freeze/thaw conditions, polyelectrolyte addition, and sludge loading on sludge electro-dewatering process." *Chemical Engineering Journal* 164.1, 2010: 85-91.
- [18] Chen, Changya, et al. "Sewage sludge conditioning with coal fly ash modified by sulfuric acid." *Chemical Engineering Journal* 158.3, 2010: 616-622.
- [19] Yuan, Haiping, Nanwen Zhu, and Lijie Song. "Conditioning of sewage sludge with electrolysis: effectiveness and optimizing study to improve dewaterability." *Bioresource technology* 101.12, 2010: 4285-4290.
- [20] Bieñ, Beata, and Jurand D. Bieñ. "Use of inorganic coagulants and polyelectrolytes to sonicated sewage sludge for improvement of sludge dewatering." *Desalination and Water Treatment* 52.19-21, 2014: 3767-3774.
- [21] Cao, X. Y., et al. "The performance and application of fly ash modified by PDMDAAC." *Journal of hazardous materials* 147.1, 2007: 133-138.
- [22] Degang, Ma, Zhang Shuting, and Li Zhanyong. "The electro-dewatering of sludge using adsorptive material." *The 5th Asia-Pacific Drying Conference*. 2007.

- [23] Tuan, P-A., V. Jurate, and S. Mika. "Electro-dewatering of sludge under pressure and non-pressure conditions." *Environmental technology* 29.10, 2008: 1075-1084.
- [24] Tuan, Pham-Anh, and Mika Sillanpää. "Migration of ions and organic matter during electro-dewatering of anaerobic sludge." *Journal of hazardous materials* 173.1 (2010): 54-61.
- [25] Tuan, Pham-Anh, Sillanpää Mika, and Isosaari Pirjo. "Sewage sludge electro-dewatering treatment—a review." *Drying Technology* 30.7, 2012: 691-706.
- [26] Pham, A. T., M. Sillanpää, and J. Virkutyte. "Sludge dewatering by sand-drying bed coupled with electro-dewatering at various potentials." *International Journal of Mining, Reclamation and Environment* 24.2, 2010: 151-162.
- [27] W.Lee, S.Kang ve H.Shin, “Sludge characteristics and their contribution to microfiltration in submerged membrane bioreactors” *Journal of Membrane Science*,sayı 216, pp. 217–227, 2003.
- [28] O.H. Dede, G. Dede ve S. Ozdemir,“Agricultural and municipal wastes as container media component for ornamental nurseries” *International Journal of Environmental Research*,sayı 4, pp.193-200,2010.
- [29] C.H.Lee ve J.C.Liu, “Enhanced sludge dewatering by dual polyelectrolytes conditioning” *Wat. Res. cilt 34, sayı. 18, pp. 4430-4436, 2000.*
- [30] F.Fornes, R. M.Belda, C.Carrion, V. Noguera, P.Garcia-Agustin ve M.Abad, “Pre-conditioning ornamental plants to drought by means of saline water irrigation as related to salinity tolerance” *Scientia Horticulturae*, sayı 113, pp. 52-59, 2007.
- [31] Z.Guo ve W.Liu, “Biomimic from the superhydrophobic plant leaves in nature: Binary structure and unitary structure” *Plant Science*, sayı 172, pp 1103-1112, 2007.
- [32] D.Eliche-Quesada ve J. Leite-Costa,” Use of bottom ash from olive pomace combustion in the production of eco-friendly fired clay bricks” *Waste Management*,sayı 48, pp. 323–333, 2016.
- [33] Narodoslawsky, M., and I. Obernberger. "From waste to raw material—the route from biomass to wood ash for cadmium and other heavy metals." *Journal of Hazardous Materials* 50.2-3, 157-168, 1996.
- [34] Obernberger, Ingwald, et al. "Concentrations of inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fractions." *Biomass and bioenergy* 12.3, 211-224, 1997.

- [35] N. Bohm ve W. M.Kulicke, "Optimization of the use of polyelectrolytes for dewatering industrial sludge of various origins" *Colloid Polym. Sci.* sayı 275, pp. 73-81, 1997.
- [36] S. Chitikela ve S.Dentel "Dual chemical conditioning and dewatering of anaerobically digested biosolids: laboratory evaluations" *Wat. Environ. Res.* sayı 70, pp. 1062-1069, 1998.
- [37] J. Benítez, A. Rodríguez ve A. Suárez, "Optimization technique for sewage sludge conditioning with polymer and skeleton builders", *Water Res.* sayı 28, pp. 2067-2073, 1994.
- [38] R.J. Wakeman, "Separation technologies for sludge dewatering", *J. Hazard. Mater.* sayı 144, pp. 614-619, 2007.



ÖZGEÇMİŞ

Derya Akbulut 15.08.1987 tarihinde Hatay’da doğdu. İlk ve ortaokulu İstanbul’da liseyi Sakarya’da tamamladı. 2004 yılında Adapazarı Atatürk Lisesinden mezun oldu. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu, Çevre Kirliliği ve Kontrolü Bölümü’ne girdi ve 2007 yılında mezun oldu. 2007 yılında Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü’ne girdi ve 2010 yılında mezun oldu. 2010 yılında Marmara Üniversitesi Eğitim fakültesinde formasyon eğitimi alarak 2011 yılında Biyoloji öğretmeni olarak mezun oldu. Bu tarihten sonra çeşitli eğitim kurumlarında Biyoloji öğretmeni olarak görev yaptı. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansa başladı.