

T.C.

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

EVSEL ATIK SU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARINDAN
FOSFOR KAZANIMI VE YENİDEN
KULLANIMLARININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİGAR ZEYNALOVA

HAZİRAN 2019

MUĞLA

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

EVSEL ATIK SU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARINDAN
FOSFOR KAZANIMI VE YENİDEN
KULLANIMLARININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİGAR ZEYNALOVA

HAZİRAN 2019
MUĞLA

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

NİGAR ZEYNALOVA tarafından hazırlanan **EVSEL ATIK SU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARINDAN FOSFOR KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMLARININ ARAŞTIRILMASI** başlıklı tezinin, 19.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Prof. Dr. Dinçer AYAZ (**Jüri Başkanı**)

Biyoloji Bölümü, Zooloji Anabilim Dalı,
Ege Üniversitesi, İzmir

İmza:



Doç. Dr. Bülent YORULMAZ (**Danışman**)

Biyoloji Bölümü, Biyoloji Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



Doç. Dr. Ahmet DEMİRAK (**Üye**)

Kimya bölümü, Kimya Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



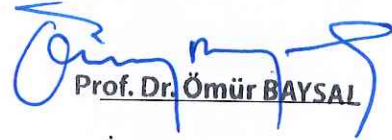
ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof. Dr. İbrahim KULA

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı Başkanı, ✓

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



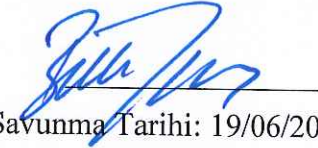
Prof. Dr. Ömür BAYSAL

Doç. Dr. Bülent YORULMAZ

Danışman, Biyoloji Anabilim Dalı,

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



Savunma Tarihi: 19/06/2019

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Nigar Zeynalova

19/06/2019



ÖZET
EVSEL ATIK SU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARINDAN FOSFOR
KAZANIMI VE YENİDEN KULLANIMLARININ ARAŞTIRILMASI

Nigar ZEYNALOVA

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bülent YORULMAZ

Haziran 2019, 67 sayfa

Türkiye’de ve Dünya’da çevre açısından en önemli problemlerden biri arıtım tesislerinden çıkan çamurun yeniden kullanılabilir hale getirilmesidir. Atık su arıtım tesislerinden çıkan çamur, içerdiği yüksek miktardaki organik madde, besin maddeleri, patojen mikroorganizmalar ve ağır metallerden dolayı çevre açısından oldukça zararlıdır. Bu yüzden atık çamurun çeşitli proseslerden geçirilerek doğaya kazandırılması ve yeniden kullanılması önemlidir. Bu çalışmada atık su arıtma tesislerinden çıkan atık çamurdan fosfor geri kazanımı ve gübre olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Böylece yılda tonlarca oluşan atık çamur ve bunun için ödenen bertaraf maliyetlerinin azaltılması hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda Muğla ilinde bulunan Köyceğiz atık su arıtım tesisinden atık çamur örnekleri alınmıştır. Laboratuvara getirilen çamurun bir kısmı 103 °C’de kurutulmuş bir kısmı da 850 °C’de yakıldıktan sonra sıvı ekstraksiyon yöntemiyle farklı derişimlerde asit ve baz çözeltileri kullanılarak katı sıvı ekstraksiyonu ile fosfor geri kazanımı çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen verilere göre 850 °C’de yakılmış çamur örneklerinden asit çözeltisi yardımı ile en yüksek fosfor geri kazanımı (37,5 gr/kg) elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık Çamur, Fosfor, Fosfor Geri Kazanımı, Sıvı Ekstraksiyon Metodu.

ABSTRACT
**INVESTIGATION OF PHOSPHORUS RECOVERY AND REUSE FROM
DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANT SLUDGES**

Nigar ZEYNALOVA

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Science

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bülent YORULMAZ

June 2019, 67 pages

Turkey and in the world one of the most important problems for the environment which is make it available reuse of sludge from treatment plant. Sludge, gained from wastewater treatment plants is highly harmful to the environment due to the high content of organic matter, nutrients, pathogenic microorganisms and heavy metals. Therefore, it is important to reuse the waste sludge through various processes and regain it to nature. In this study, phosphorus recycles from wastewater treatment plants and their usability as fertilizer were investigated. In this way, it is aimed to reduce the amount of waste sludge and the costs of disposal. For this purpose, waste sludge samples were taken from wastewater treatment plants in Muğla province. Some of the sludge, brought to the laboratory, was dried at a temperature of 103 °C and then burned at 850 °C. The liquid extraction method was used to obtain phosphorus recycle with solid liquid extraction using acid and base solutions at different concentrations. According to the obtained data, the highest phosphorus recycle (37,5 gr/kg) was obtained by using acid solution from the burned sludge samples at 850 °C.

Keywords: Waste Sludge, Phosphorus, Phosphorus Recovery, Liquid Extraction Method.

Canım aileme...



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasını gerçekleştirmemde büyük emeği bulunan, çalışmaların yürütülmesinde her türlü tecrübe, bilgi ve önerileriyle bana yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Bülent YORULMAZ'a saygı ve şükranlarımı sunar, teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Tecrübe, fikir, öneri ve destekleriyle daima yanımda olan, tez çalışması için laboratuvar imkânlarından yararlanmamı sağlayan, bilgisini ve tecrübesini aktaran sayın hocam Doç. Dr. Ahmet DEMİRRAK'a çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışması boyunca desteğini esirgemeyen, bilgisini her zaman büyük bir keyifle ve sıklıktan bana aktaran Uzman Feyyaz KESKİN'e çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmasındaki emeklerinden ve yardımlarından dolayı Uzman Dr. Dilek YILDIZ ve Kimyager Ferhat DİNÇER'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmasındaki yardımlarından dolayı değerli arkadaşlarım Mustafa DÖNDÜ ve İdris ŞENER'e teşekkürlerimi sunarım.

Akademik kariyerimin başlamasında büyük pay sahibi olan; maddi, manevi desteği ve tecrübesini benden esirgemeyen aileme; sevgi, saygı ve teşekkürlerimi büyük bir minnetle sunarım.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen tüm analizler Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi (MÜÇEMER), su analiz laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

19/081/16/1 No'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.2. Genel Bilgiler	3
1.2.1. Atık çamur.....	3
1.2.2. Atık çamur karakteri	4
1.2.3. Atık çamurun stabilizasyonu.....	5
1.2.4. Atık çamurdan kaynak geri kazanımı	6
1.2.5. Dünya’da ve Türkiye’de atık çamur	7
1.2.6. Arıtma çamurlarının kullanım alanları.....	8
1.2.7. Fosfor	11
1.2.8. Dünya’da fosfor varlığı	11
1.2.9. Kaynak olarak fosfor.....	12
1.2.10. Fosfor döngüsü.....	13
1.2.11. Fosforun çevre açısından etkisi	14
1.2.11.1. Ötrofikasyon.....	14
1.2.11.2. Biyoakümülyasyon	15
1.2.11.3. Ötrofikasyonun sağlık riski	15
1.2.12. Fosfor ve iklim değişikliği	16
1.2.13. Atık çamurda fosfor	16
1.2.14. Gübre kaynağı olarak fosfor.....	17
1.2.15. Fosfor geri kazanımı ve yeniden kullanımı için sistem çerçevesi	17
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	19
3. MATERYAL VE METOT	30
3.1. Örnek Alma ve Hazırlama	30

3.2. Çalışma Alanı.....	30
3.3. Deneysel aşamalar.....	32
3.3.1. Fosfor geri kazanımına asit-baz derişiminin etkisi	32
3.3.2. Zamana bağlı fosfor geri kazanım deneyi	35
3.3.3. Atık çamurdan TP tayini	36
3.3.4. SEM-EDS analizi	38
4. BULGULAR	39
4.1. Atık Çamur Fosfor Geri Kazanım Sonuçları	39
4.2. SEM-EDS analizi	45
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	52
6. ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Arıtma çamurunun fiziksel özellikleri	5
Çizelge 4.1. 850 °C’de yakılmış a.ç’deki TP konsantrasyonları	39
Çizelge 4.2. 103 °C’de kurutulmuş a.ç’deki TP konsantrasyonları	40
Çizelge 4.3. 850 °C’de yakılan a.ç’un zamana bağlı TP konsantrasyonu	40
Çizelge 4.4. 103 °C’de kurutulan a.ç’un zamana bağlı TP konsantrasyonu	41
Çizelge 4.5. Köyceğiz atık su arıtım tesisi giriş ve çıkış suyunun yıllık analiz sonuçları	43
Çizelge 4.6. 103 °C’de kurutulmuş a.ç’a ait element yüzdeleri	46
Çizelge 4.7. 850 °C’de yakılmış a.ç’a ait element yüzdeleri	47
Çizelge 4.8. 103 °C’de HCl ile işlem görmüş a.ç’a ait element yüzdeleri	49
Çizelge 4.9. 850 °C’de HCl ile işlem görmüş a.ç’a ait element yüzdeleri	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Isıl işlem görmüş atık çamur.....	3
Şekil 1.2. 850 °C’de yakılmış ve 103 °C’de kurutulmuş arıtma çamurları.....	4
Şekil 1.3. Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasındaki aşamalar.....	9
Şekil 1.4. Atık çamurdan kaynak geri kazanım yolları.....	10
Şekil 1.5. Fosforun kayalardan atık haline dönüşümü.....	12
Şekil 1.6. Fosforun nasıl yönetilmesi gerektiğini gösteren tablo.....	12
Şekil 1.7. Şematik olarak fosfor döngüsü.....	14
Şekil 1.8. Sürdürülebilir fosfor geri kazanımı ve yeniden kullanımı için karar vermeyi yönlendiren entegre sistemler çerçevesi.....	18
Şekil 3.1. 103 °C’de kurutulmuş atık çamur.....	30
Şekil 3.2. Deneysel çalışmalardan bir kesit.....	33
Şekil 3.3. Tartım ve pH ayarlama işlemi.....	33
Şekil 3.4. Santrifüj ile katı-sıvı faz ayrımı.....	34
Şekil 3.5. Askorbik asit metodu ile fosfor analizi.....	34
Şekil 3.6. Spektrofotometre cihazı.....	35
Şekil 3.7. Kurutulmuş ve yakılmış arıtma çamurları.....	36
Şekil 3.8. Mikrodalga fırın.....	37
Şekil 3.9. Kül fırını.....	37
Şekil 3.10. Çalkalayıcı.....	38
Şekil 3.11. SEM-EDS analizlerinin yapıldığı JEOL JSM-7600F cihazı.....	38
Şekil 4.1. 850 °C’de yakılmış a.ç’deki TP konsantrasyonları.....	39
Şekil 4.2. 103 °C’de kurutulmuş a.ç’deki TP konsantrasyonları.....	40
Şekil 4.3. 850 °C’de yakılan a.ç’un zamana bağlı TP konsantrasyonu.....	41
Şekil 4.4. 103 °C’de kurutulmuş a.ç’un zamana bağlı TP konsantrasyonu.....	41
Şekil 4.5. Mikrodalgada yakma ile TP geri kazanımı.....	42
Şekil 4.6. Çözelti derişimlerinin pH değerleri.....	42
Şekil 4.7. Atık su KOİ ve BOİ giriş-çıkış değerleri.....	43
Şekil 4.8. Atık su AKM giriş-çıkış değerleri.....	44
Şekil 4.9. Atık su T-N ve T-P giriş-çıkış değerleri.....	44
Şekil 4.10. Atık su sıcaklık giriş-çıkış değerleri.....	45
Şekil 4.11. Atık su pH giriş-çıkış değerleri.....	45
Şekil 4.12. 103 °C’de kurutulmuş a.ç’a ait EDS spektrumu.....	46
Şekil 4.13. 103 °C’de kurutulmuş a.ç’a ait SEM görüntüsü.....	47
Şekil 4.14. 850 °C’de yakılmış a.ç’a ait EDS spektrumu.....	48
Şekil 4.15. 850 °C’de yakılmış a.ç SEM görüntüsü.....	48
Şekil 4.16. 103 °C’de HCl ile işlem görmüş a.ç EDS spektrumu.....	49
Şekil 4.17. 103 °C’de HCl ile işlem görmüş a.ç SEM görüntüsü.....	50
Şekil 4.18. 850 °C’de HCl ile işlem görmüş a.ç EDS spektrumu.....	51
Şekil 4.19. 850 °C’de HCl ile işlem görmüş a.ç SEM görüntüsü.....	51

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

P	Fosfor
A.Ç.	Arıtma Çamuru
TP	Toplam Fosfor
TN	Toplam Azot
OP	Organik Fosfor
AAS	Atomik Absorpsyon Spektroskopisi
KDK	Katyon Değişim Kapasitesi
İP	İnorganik Fosfor
L	Litre
mL	Mililitre
µm	Mikrometre
g	gram
kg	Kilogram
nm	Nanometre
M	Mol
N	Normal
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Enerji Dağılım Spektrometresi
SS	Saf Su
HCl	Hidroklorik Asit
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
NaOH	Sodyum Hidroksit
HNO ₃	Nitrik Asit
HF	Florik Asit
MEB	Milli Eğitim Bakanlığı
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TSP	Triple Super Fosfat
EC	Elektriksel İletkenlik

TÜİK Türkiye İstatistik Kurumu
MUSKİ Muğla Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
KAKY Katı Atık Kontrol Yönetmeliği



1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan nüfus, kentleşme ve sanayileşmeye paralel olarak arıtma tesislerinde oluşan atık arıtma çamuru miktarı da günden güne artmaktadır. Bu artış önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Oluşan arıtma çamurlarının kısa sürede bertaraf edilememesi çevre açısından ciddi problemlere yol açmaktadır (Göçmez, 2006; Dede, 2017).

Son yıllarda yapılan yasal düzenlemeler ile arıtma çamurlarının içerdikleri organik maddenin tümü giderilmeden çevreye ve depolama alanlarına gönderilmeleri birçok ülkede yasaklanmıştır. Ülkemizde, evsel ve endüstriyel atık suların arıtılması sonucu oluşan arıtma çamurlarının bertarafı henüz istenilen seviyede yapılamamaktadır. Depolama ve arıtma maliyetlerinin yüksek olması istenilen seviyeye ulaşılamamasının başlıca nedenleridir (Neyens ve ark., 2004; Arıkan ve ark., 2005). Fakat son yıllarda kanalizasyon altyapılarına ilişkin büyük yatırımlara başlanmıştır. Bu kapsamda arıtma tesisi sayıları artırılarak çamur bertarafı ve çamurun en iyi şekilde değerlendirilmesi son dönemde çevresel konularının başında gelmektedir (Göçmez, 2006).

Arıtma tesislerinden fiziksel, kimyasal ve biyolojik uygulamalar sonucu oluşan çamur çeşitlerinin doğrudan alıcı ortama boşaltımları ve tarım arazilerinde kullanımları kanun ve yönetmelikler ile sınırlandırılmıştır. Bu konuda ülkemizde Türk çevre mevzuatında belirtilen katı atıkların kontrolü yönetmeliği (14 Mart 1991 tarih ve 20814 sayılı resmi gazetede yayınlanmıştır) gereği arıtma çamurlarının kullanılması konusunda bazı özel kriterler konmuştur (Göçmez, 2006).

Arıtma çamurlarında bulunan en önemli maddelerin başında fosfor gelmektedir (Uysal ve ark., 2011). Fosfor elementi tüm yaşam için vazgeçilmezdir (Karl, 2000; Seyhan, 2009; Cordell ve ark., 2011; Blöcher, 2012; Cieslik, 2016). Yer kabuğu % 0.01 oranında fosfordan oluşmaktadır (Chapagain, 2016). Bu bakımdan fosfor kaynakları sınırlı yapıdadır (Pihl, 2017). Fosfor, ziraat sektörü başta olmak üzere birçok endüstriyel alanın ham madde kaynağıdır (Jaffer 2002; Pakdil, 2007).

Fosforun ham madde olarak gereksinimi hızlı bir şekilde artmasına rağmen, fosfor rezervlerinin azalmasıyla önümüzdeki yüz yıl içerisinde fosfor temini önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır (Steen, 1998). Fosfor ham madde kaynaklarının sınırlı olmasından dolayı, fosfor geri kazanımı üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda büyük önem kazanmıştır (Çimrin, 2000; Kim, 2016).

Atık çamurun maksimum düzeyde daha yararlı ürünlere ve enerjiye dönüştürülmesi efektif çözüm yöntemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Atık çamurdaki yüksek fosfor bileşimi, fosforun geri kazanılması için atık çamurun en büyük potansiyel olduğunu göstermektedir (Franz, 2008; Blöcher, 2012; Huang, 2015; Chapagain, 2016). Çamur lavabo görevi görerek fosfor yükünün yaklaşık % 90'ını oluşturmaktadır (Schütte, 2015). Bu nedenle arıtma çamurları önemli fosfor ham madde kaynaklarından gösterilmektedir (Saktaywin, 2005).

Birçok fosfor geri kazanım prosesinde arıtma çamurundan fosfor salınması için; sülfirik asit, hidroklorik asit, nitrik asit, oksalik asit gibi asit türleri kullanılmıştır (Pakdil, 2007). Bu çalışmada, Muğla ilinde yer alan Köyceğiz evsel atık su arıtma tesisinden alınan arıtma çamurunda fosfor geri kazanımı ve yeniden kullanılabilirliği araştırılmıştır. Sıvı ekstraksiyon metoduyla farklı derişimlerde asit ve baz çözeltileri kullanılarak, katı-sıvı ekstraksiyonu ile fosfor geri kazanımı incelenmiştir.

1.2. Genel Bilgiler

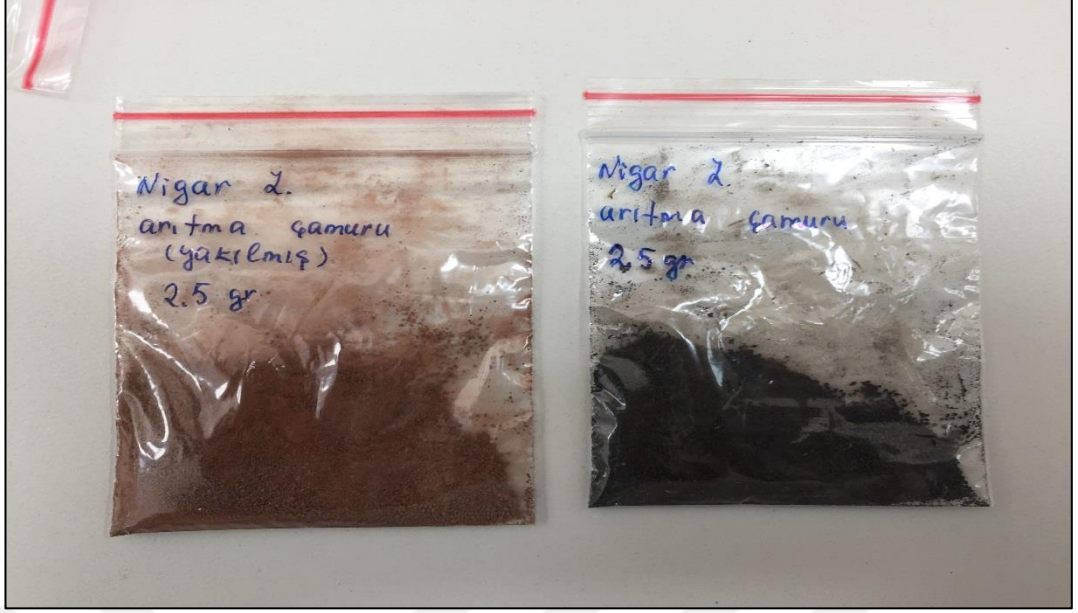
1.2.1. Atık çamur

Atık su arıtım tesislerinin fiziksel ve kimyasal arıtım süreçlerinde atık su içinden yüzdürülerek ya da çöktürülerek uzaklaştırılan maddeler ile biyolojik arıtma sonucu mikroorganizmaların ortamdan alınması ile ortaya çıkan % 0.25-12 oranında katı madde içeren akışkan özellikteki katılar ham arıtma çamuru olarak adlandırılmaktadır (Göçmez, 2006). Çamur stabilize edilip ekolojik yönden uygun hale getirildikten sonra işlenmiş arıtma çamuru ya da kısaca arıtma çamuru olarak adlandırılır. Atık çamur ısıtma işlemi gibi (Şekil 1.1 ve Şekil 1.2) çeşitli proseslerden geçirilerek farklı alanlarda kullanılmaktadır (Üstün ve ark., 2002).



Şekil 1.1. Isıl işlem görmüş atık çamur (orjinal)

Arıtma çamurlarının elde edildiği kaynaklar evsel ve endüstriyel olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Evsel atık sudaki mikroorganizmaların (virüs, bakteri, alg vd.) birçoğu insanlar ve hayvanlar için hastalık yapıcı özelliktedir. Koliform bakteri insan atıklarından kaynaklı kirliliğin göstergesi iken alglar de tat ve koku problemlerine yol açmaktadır. Atık su arıtımında organik maddeler bakteriler tarafından parçalanmaktadır. Endüstriyel atık çamur, sanayi kaynaklı (petrol, deri, tekstil, kimya sanayi vd.) atık sularındadır (Uzun ve Bilgili, 2011).



Şekil 1.2. 850 °C’de yakılmış ve 103 °C’de kurutulmuş arıtma çamurları (orjinal)

1.2.2. Atık çamur karakteri

Atık çamur, içerisinde evsel ve endüstriyel atıkların bulunduğu kompleks bir yapıya sahip inorganik malzemeler ve sindirilmemiş organik maddelerden oluşmaktadır. Sindirilmemiş organik materyaller, proteinler, lipidler, polisakkaritlerden ve bitki makromoleküllerinden gelen karmaşık bir molekül karışımı içerir. Bununla beraber mikro kirleticiler, aromatik hidrokarbonlar birincil ve ikincil aktif çamurun özelliklerini tasvir etmektedir (Tyagi ve Lo, 2013).

Birincil kanalizasyon çamuru (Çizelge 1.1) mekanik olarak üretilir. Atık su arıtma işlemi genellikle %93-%95 arasında su, askıda katı madde ve organik maddelerin bulunduğu prosesi içerir. İkincil çamur, atık suyun biyolojik arıtımı sırasında üretilir ve esas olarak karmaşık polimerik organik malzemeler olan mikrobiyal hücreleri içermektedir. İkincil çamurdaki toplam katı madde konsantrasyonu %0.1-%1.2 arasında biyolojik arıtma işlemine bağlı olarak değişmektedir (Tezel ve ark., 2011).

Atık aktif çamur %59 - %88 arası ayrışabilen ve rahatsız edici kokular üreten organik maddeden oluşmaktadır. Çamurun sadece küçük bir kısmı %95’in üzerinde suyun bulunduğu katı maddelerdir. Organik kısım %50 - %55 oranında karbon, %25 - %30 oranında oksijen, %10-%15 oranında nitrojen, %6-%10 oranında hidrojen, %1 - %3 oranında fosfor ve %0.5 - %1.5 oranında sülfür içerir. Atık çamurdan elde edilen kül

kuvars, kalsit ve mikrolin gibi mineraller içermektedir. Bu mineraller Fe, Ca, K ve Mg gibi elementlerden oluşmaktadır. Ayrıca çamurda Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd ve Hg gibi bazı ağır metaller de yer almaktadır (Fonts ve ark., 2009; Tyagi ve Lo, 2013).

Çamurdan enerji geri kazanım potansiyeli organik madde, inorganik madde ve ilişkili olduğu sulu kısmın bileşiminin bir fonksiyonudur. Çamurun enerji içeriğini kolayca parçalanabilir ve kolayca parçalanamayan uçucu katılar oluşturmaktadır (Tyagi ve Lo, 2013).

Çizelge 1.1. Arıtma çamurunun fiziksel özellikleri (Yapıcıoğlu ve Demir, 2017)

Çamur	Tanım
Birincil Çamur	Birincil çöktürme tankından çıkar. Gri ve kötü kokuludur.
Kimyasal Çöktürme Çamuru	Metal tuzları ile çökeltme sonucu ortaya çıkar. Yüksek demir içeriği ve koyu kırmızı rengi vardır. Tankın terk edilmesi durumunda, birincil çamur olarak sindirimi yavaştır. Önemli ölçüde gaz kaçağı vardır. Tankta uzun süre kalırsa yoğunluğu artar.
Aktifleştirilmiş Biyolojik Çamur	Kahverengi ve yoğun haldedir. Koyu renk gözlemlenirse septik koşullar oluşur. Açık renkli ise yerleşebilirlik düşüktür.
Organik Gübre	Renkleri koyu kahverengi ve siyahtır. Kokusuzdur. Bahçede kullanılabilir.
Anaerobik Sindirilmiş Çamur	Koyu kahverengi-siyah ve fazla miktarda gaz içermektedir. İyi sindirim yapılırsa koku oluşmaz.
Aerobik Sindirilmiş Çamur	Koyu kahverengidir. Topraklanma özelliği vardır. Küflü bir kokusu vardır.

1.2.3. Atık çamurun stabilizasyonu

Atık çamurların alıcı ortama verilebilmeleri için halk sağlığı ve yeniden kullanım açısından çeşitli stabilizasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Buradaki amaç patojenleri uzaklaştırmak, kötü kokuyu gidermek, alg ve böcek üremesini engellemektir. Stabilize çamur sağlık ve çevre riski oluşturmamalıdır (Pakdil ve Filibeli, 2007; Göçmez, 2006).

Başlıca stabilizasyon yöntemleri;

- a. Kimyasal stabilizasyon
- b. Termal kurutma
- c. Şartlandırma
- d. Yoğunlaştırma
- e. Anaerobik çürütme
- f. Aerobik çürütme
- g. Kompostlama'dır (Uzun ve Bilgili, 2011; Yapıcıoğlu ve Demir, 2017).

1.2.4. Atık çamurdan kaynak geri kazanımı

Merkezi sistemlerden oluşan atık çamurların geri kazanımı günümüzde karşılaşılan en önemli problemlerdendir. Çamur içerisindeki kirleticiler yok edildiği takdirde özellikle tarımsal alanlarda kullanılmasında sorun olmamaktadır. Ancak bu seçenek hala halktan ve gıda endüstrisinden net olarak kabul görmemektedir (Hultman ve Levlin, 1997; Bengtsson ve Tillman, 2004).

Depolama, yakma ve arazi uygulaması arıtma çamurlarının kullanımında en yoğun yöntemlerdir. Günümüzde birçok tesis bu işlemleri uygulamaktadır. Bunların içinde de en çok uygulanan tarım arazi noktalarına bırakılan arıtma çamurlarıdır. Fakat bu çamurların sahaya bırakılmadan önce tüm patojenlerin uzaklaştırılmış olması gerekmektedir. Çamurun tekrardan kullanım aşamasında çevre açısından herhangi bir sorun olmadan doğaya bırakılması önemlidir (Stark, 2005).

Çamurdan kaynak geri kazanımı için geleneksel ve yeni ortaya çıkan yöntemler bulunmaktadır. Bunlar, anaerobik sindirim, yakma, gaz haline getirme, piroliz, ıslak hava oksidasyonu, süperkritik ıslak oksidasyon ve hidrotermal tedavidir. Biyogaz, yakıt gazı, elektrik üretimi ve inşaat malzemesi üretimi gibi birçok çamurdan elde edilen kaynak kurtarma ve yeniden kullanım seçeneği vardır (Nilsson ve Dahlström, 2005; Chapagain, 2016).

1.2.5. Dünya’da ve Türkiye’de atık çamur

Atık çamurun bertaraf edilmesi çevresel ve ekonomik maliyetler oluşturmaktadır. Atıkların çevre üzerindeki etkisi miktarına, niteliğine ve giderimi için seçilen atık yönetim stratejisine bağlıdır (Steffen, 1995). Atık su arıtımındaki süreç Dünya’da ilk kez 1870 yılında ABD’de başlamıştır. Daha sonra ilk çalışmalar 1914 yılında İngiltere’de geliştirilmiştir. Ülkelerin sanayi, ekonomik ve kentleşmesi atık su oluşumunu doğrudan etkilemiş buna bağlı olarak atık su arıtımı ekonomiye bağlı olarak yaygınlaşmıştır (Göçmez, 2006).

Atık su arıtım işlemleri sonucunda uygulanan prosese ve kirlilik konsantrasyonuna bağlı olarak belirli miktarlarda arıtma çamuru oluşmaktadır. Uygulanan yöntemler elde edilen çamur miktarında etkili olmaktadır. Avrupa’da üretilen çamurun büyük bir kısmı tarımsal alanlarda kullanılmaktadır (Steffen, 1995). Böylece evsel ve endüstriyel kaynaklı atık su arıtma çamurları önemli çevresel sorunlara neden olmasının önüne geçilmektedir.

Literatüre göre arıtma çamurları, yakma, depolama, tarım alanlarında kullanım gibi yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Arıtma çamurlarının özellikleri, arıtma şekilleri, ülkere göre değiştiği gibi, mevsimlere ve şehirlere göre de değişebilmektedir. Arıtma çamurlarının bertarafını arıtma tipi, atık kaynağı ve arıtma verimi gibi prosesler etkilemektedir (Nriagu ve Pacyna, 1988).

Dünya’da ve ülkemizde kentleşme ve diğer faaliyetler ile beraber atık çamurun bertaraf etme sorunu daha ciddi ve kaçınılmaz olmaktadır. Stabilize olmuş atık çamur tarımda, ormancılıkta, peyzajda pozitif katkı sağlamaktadır. Ayrıca çamur, enerji üretiminde, ısı ve kimyasal endüstrisinde, yapı malzemelerinde kullanılmaktadır (Matar, 2008; Dede, 2017).

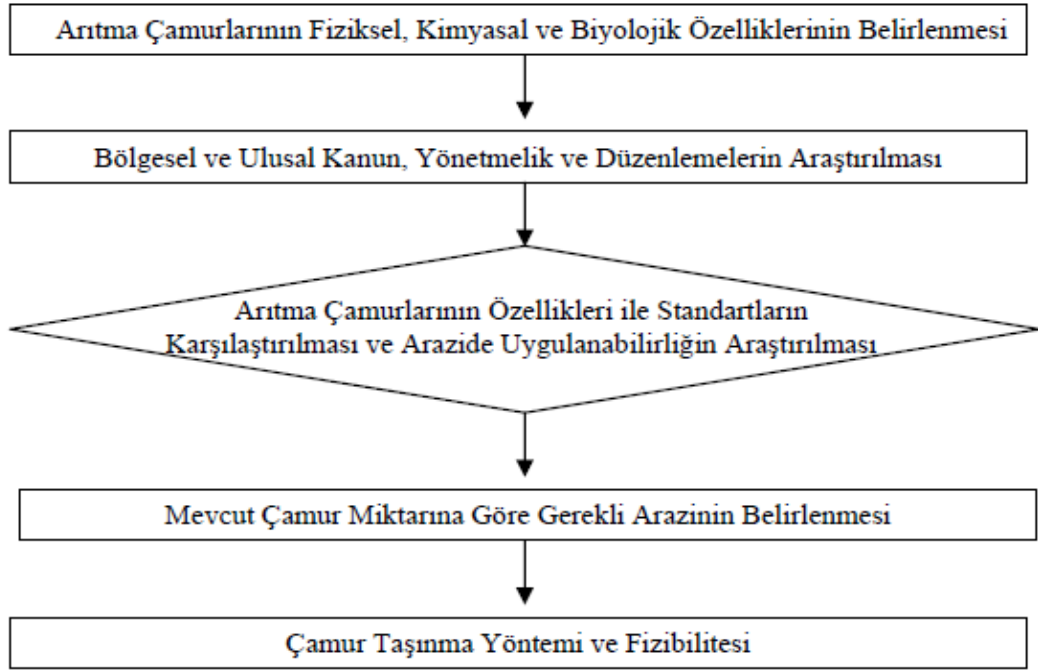
Günümüzde arıtma çamurlarının nasıl değerlendirileceği konusu önemli bir yer tutmaktadır. Atıkların çevreye uyumlu bir şekilde yok edilmesi yeni kirliliklere yol açılmaması bakımından büyük önem taşımaktadır. Arıtma çamurlarının bertarafı yerine, yeniden kullanımı, geri kazanımı, geri dönüşümü gibi çalışmalar son dönemde önem kazanmıştır. Fiziksel kimyasal ve biyolojik arıtım sonucu oluşan atık çamurların doğrudan alıcı ortama bırakılmaları kanun ve yönetmeliklerle

yasaklanmıştır. Atık çamurlar teknik ve ekonomik olarak işlendikten sonra bertaraf edilmektedir (Steffen, 1995; Göçmez, 2006; Dede, 2017).

1.2.6. Arıtma çamurlarının kullanım alanları

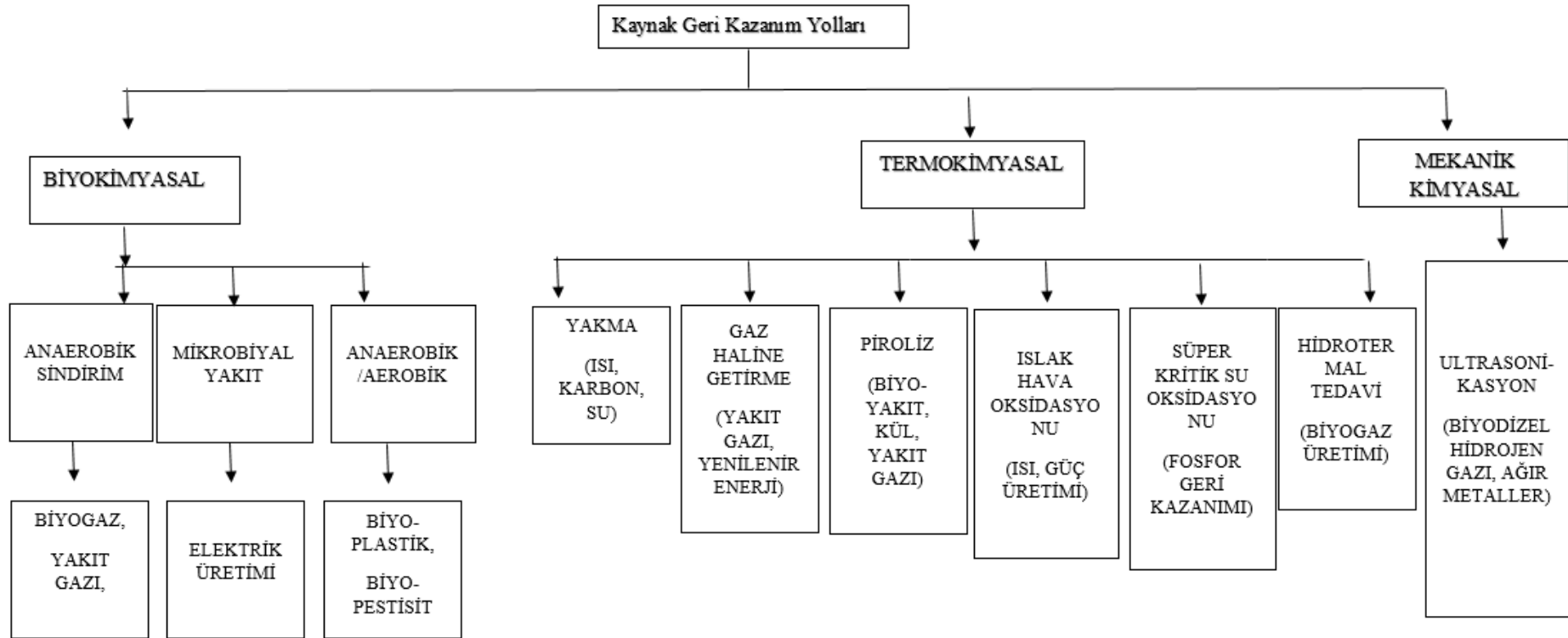
Atık suların arıtılması ile elde edilen çamur çeşitleri önemli miktarlarda azot, fosfor ve organik madde içermektedir. Bu nedenle en çok kullanılan bertaraf yöntemlerinden biri tarımsal alanlarda kullanımdır. Tarımsal alanlarda kullanım Dünya’da ve ülkemizde giderek yaygın kullanılan bir metot haline gelmektedir. Bunun yanında atık çamur sahaya; tarımsal alanlara, ormalık alanlara ve arazi iyileştirme amaçlı olmak üzere kullanılmaktadır (Nilsson ve Dahlström, 2005; Göçmez, 2006; Uzun ve Bilgili, 2011).

Toprağın çamuru kullanabilme kapasitesi toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Toprak verimli olduğu kadar çamuru filtre etme, tamponlama, absorblama gibi özellikleri olmalıdır. Çamur uygulaması yapılacak toprak iyi geçirimsilikte olmalı, drenajı iyi olmalı, ince yapıya sahip olmalıdır (Rhyner, 1995). Bununla beraber yararlı özelliklerinin yanında atık çamurların çevreye zarar verebilecek toksik elementleri, patojen ve parazitik organizmalar yapısında yer alabilmektedir. Bu çamurlarda patojen ve parazitik organizmaların bulunması tarımsal sahalarda kullanımlarını kısıtlanmaktadır. Bu bakımdan arıtma çamurlarının araziye uygulanmasındaki adımlar Şekil 1.3’de verilmiştir (Aral, 1990; Dede, 2017).



Şekil 1.3. Arıtma çamurlarının araziye uygulanmasındaki aşamalar (Aral, 1990)

Arıtma çamurları maden, taş kömürü, tuğla ocağı gibi alanlarda ıslah amaçlı kullanılabilir. Arıtma çamurlarının uygulanacağı alanlarda uygulama başlatılmadan önce bu alanların ıslah edildikten sonra ne şekilde kullanılacağı kararlaştırılmalıdır. Çamur, yeşil alanlarda (parklar, bahçeler, golf sahaları vb.) tesis aşamasında kullanılabilir gibi vejetasyonu geliştirmek amacıyla da kullanılabilir. Yine atık çamur birçok sektörde enerji, güç ve inşaat malzemesi (Şekil 1.4.) olarak kullanılabilir (Nilsson ve Dahlström, 2005; Uzun ve Bilgili, 2011).



Şekil 1.4. Atık çamurdan kaynak geri kazanım yolları (Tyagi ve Lo, 2013)

1.2.7. Fosfor

Fosfor tüm canlıların yapısında bulunan ve tüketilen fakat laboratuvarında üretilmeyen önemli bir kimyasal elementtir (Chapagain, 2016). Beyaz, kırmızı ve siyah adı verilen çeşitli fosfor türleri vardır. Fosfor, yanıcı ve toksik özelliğine rağmen organizmanın hayatta kalması için vazgeçilmez bir unsurdur. Fosfor son derece reaktiftir. Bu nedenle ekstraksiyon için bileşik formunda kullanılır. Fosfat kayaçları fosforun ana kaynağıdır. Fosfor mineralinin en önemli kaynağı apatittir (Jonathan 1990; Chapagain, 2016).

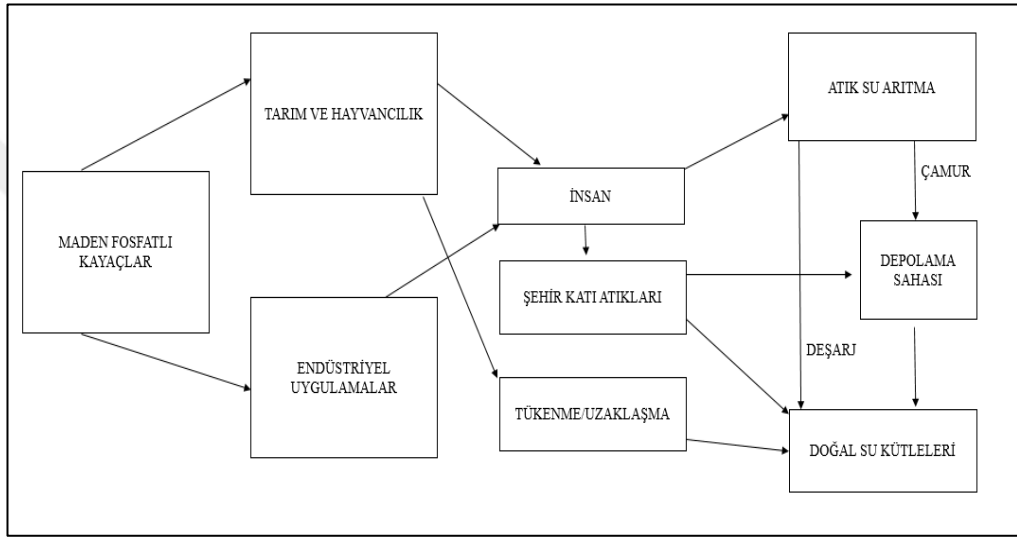
1.2.8. Dünya’da fosfor varlığı

Fosfor yer kabuğundaki en bol on birinci elementtir ve bu miktar yaklaşık dört katrilyon ton kadardır. Yenilenemeyen bir fosfat kayacı oluşumu için 10-15 milyon yıl geçmektedir (Cordell ve ark., 2009). Fosfor üretimi için madencilik çalışmaları yapılmakta fakat bu işlemler çevre açısından olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Tarım, fosforun en çok kullanıldığı alanlar olup gerekli olan fosfor temini madenlerden yapılmaktadır (Cordell ve White, 2011). Rezervler ve kalitenin azalmasıyla mineral fosfatın değeri gübre olarak kullanılması fosforun maliyet değerini arttırmaktadır. Mevcut fosfat kayaçlarının yoğun kullanımıyla yaklaşık 50-100 yıl içerisinde tükeneceği tahmin edilmektedir. Dünya’ki toplam fosforun %85’ini Fas, Çin % 6 ‘sını ve ABD % 3’ünü karşılamaktadır (Nieminen, 2010; Chapagain, 2016, Pihl, 2017).

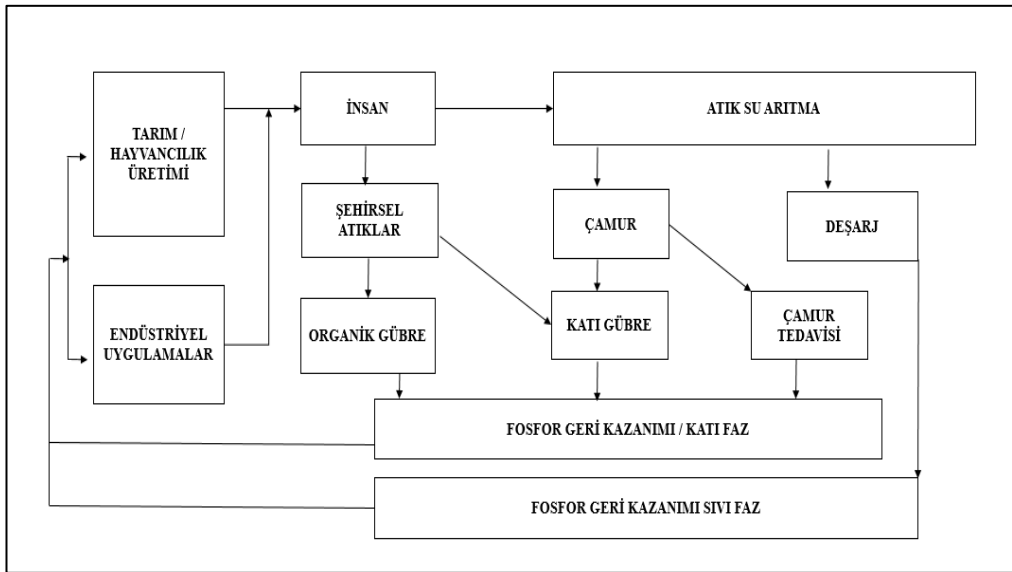
Fosfor tüm canlıların düzenli beslenmesinde olması gereken temel bir elementtir. Fosfor bitkiler tarafından alınır ve daha sonra yüksek yapıli organizmalara geçer. Biyoakümülyasyon sürecinde et, süt, fasulye, fındık gibi ürünler ikincil fosfor kaynaklarıdır. Yaşayan hücreler DNA’nın temel bileşeni olan fosfor ile birbirine bağlantılıdır. Fosforun endüstriyel kullanımları arasında; kağıt, ambalaj, tekstil, deterjan, gazete gibi birçok ürün yer almaktadır. Fosfor fiziksel koşullarla doğaya, oradan da yağmurlar ile su kaynakları ve toprağa karışır (Jonathan 1990; Chapagain, 2016).

1.2.9. Kaynak olarak fosfor

İnorganik gübre maliyetleri, fosfor kayaçlarının azalması ve fosfat rezervlerinin büyüklüğüne ilişkin belirsizliklerden dolayı artmaktadır. Mevcut fosfor rezervlerinin önümüzdeki yıllarda tükeneceği tahmin edilmektedir. Fosfor rezervlerinin tükeneceği göz önüne alınmadan, inorganik gübrelerin sürdürülebilirliğinin kesin olmadığı açıktır (Şekil 1.5). Yapılan araştırmalar atığın kayde değer miktarda organik madde ve besin içerdiğini göstermiştir (Cordell ve White, 2011; Reijnders, 2014; Mayer ve ark., 2016).



Şekil 1.5. Fosforun kayaçlardan atık haline dönüşümü (Desmidt, 2015)



Şekil 1.6. Fosforun nasıl yönetilmesi gerektiğini gösteren tablo (Desmidt, 2015)

Bu uygulama ile atıkların sulara karışması durumunda ötrofikasyon ve değerli kaynakların boşa kullanımı gerçekleşir. Bu şekilde fosfor kullanımı, fosforun geri kazanımı zor olduğu için sürdürülemez ve israfçıldır. Fosfor yönetimi, çevreye boşaltılmak yerine sistem içinde yeniden kullanılabilir (Şekil 1.6) olmalıdır (Dawson ve Hilton, 2011; Desmidt, 2015).

Kaynak olarak yenilenemediği için fosforun yeniden kullanımı ve geri kazanımı önem kazanmıştır. Fosfor kullanımı toprak verimliliği, toprak su tutma ve toprak karbon birikimini geliştirebilmektedir. Çevre riski olmama şartıyla Dünya'nın birçok yerinde atıkların geri dönüşümü konusunda ilerlemeler kaydedilmiştir (Dawson ve Hilton, 2011; Mdolo, 2016).

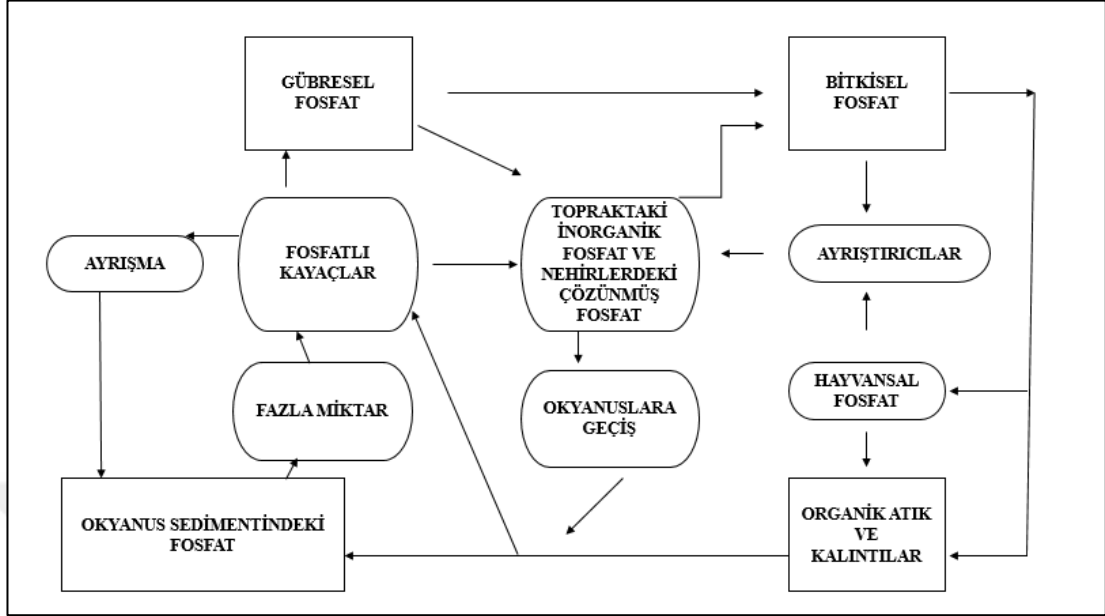
1.2.10. Fosfor döngüsü

Fosfor hücre zarının enerjisini depolayan DNA moleküllerinin parçasıdır. İnsan ve hayvan vücudunun büyüüp gelişmesi fosfora bağlıdır. Fosfor tarımda, toprakta, sedimentte ve nehir yataklarında mevcuttur. Fosfor döngüsü aşamaları jeolojik zaman döngüsü çerçevesini kapsamakta olup bu yüzden gezegendeki en yavaş madde döngüsüdür (Chapagain, 2016; Pihl, 2017).

Fosfor inorganik bir jeolojik döngüye ve iki organik (kara ve su) döngüye sahiptir. Jeolojik döngü birkaç milyon yıldır sürmektedir. Toprak altından fosforun deniz tabanına aktarılmasıyla başlar. Fosfor içeren malzeme çökeler, son olarak tektonik yükselme ile yavaşça üst toprağa yükselir. Karadaki organik döngü bitkilerle başlar. Bitkiler daha sonra organik atık üreten insanlar ve hayvanlar tarafından kullanılır. Organik atıktaki fosfor tarımda kullanılabilir ve daha sonra jeolojik döngüye katılır (Cornel ve Schaum,2009; Nieminen, 2010).

İnorganik fosfor iyonik bileşikleri kayalardan ve okyanuslardaki fosfatlı tuzlardan elde edilir. Fosfat kayaları suda çözünür ve toprak, su, bitkiler tarafından emilir. Fosfor bitki büyümesi için sınırlayıcı olduğundan fosfor eksikliği olan tarım alanlarında kullanılabilir. Biyoakümülyasyon, fosfor döngüsünün bitkileri ve hayvanları doğrudan etkilediği ortamdır. Tüketilen fosfor toprağa ya da okyanus tabanına geçer. Mevsimlik yağışların ardından fosfor bakımından zengin sediment

tortul kayaçlar oluşturur. Fosforun doğal süreci yaşam, tüketim, toplama, tedavi ve yaşam sonu şekildeki (Şekil 1.7) gibidir.



Şekil 1.7. Şematik olarak fosfor döngüsü (Chapagain, 2016).

1.2.11. Fosforun çevre açısından etkisi

Ötrofikasyon tatlı su ve deniz sistemlerinde yüksek besin seviyelerinin bir sonucudur. Algler su kalitesini olumsuz etkileyen, oksijen azalması ve su ekosisteminin bozulmasına neden olan, besin açısından zengin ortamlarda bulunan canlılardır. Sudaki besin elementleri ötrofikasyon için kilit elamanlardır (Nieminen, 2010).

Besinler tarımsal araziden sucul alanlara taşınır. Fosforun ayrışması doğal ortamda olumsuz etkiye neden olur. Fosfor yüzey suyunun ötrofikasyonuna ana katkı olarak kabul edilir. Alglerin büyümesi ilkbahardan sonbahara kadar, su sıcaklığı, su akışı, güneş ışığıyla devam eder. Uygun ortam olduğu zaman ötrofikasyonun artması ile çevre açısından olumsuz sonuçlar ortaya çıkar (Chapagain, 2016; Pihl, 2017).

1.2.11.1. Ötrofikasyon

Su kütlesi yoğun miktarda fosfatlar ve nitratlar içermektedir. Bunlar alglerin büyümelerini teşvik etmektedir. Algler çoğaldıkça ve öldükçe organik maddeyi ve

sudaki oksijeni tüketerek balık ölümlerine neden olur. İnsan aktiviteleri bu süreçleri hızlandırmaktadır. İnsan aktivitelerinden dolayı atık miktarları artmaktadır. Yüksek azot ve fosfor konsantrasyonları su kütlelerinde alg patlamalarına neden olmaktadır. Alglerin hızlı çoğalması oksijen kullanımını arttırmaktadır. Alg patlamaları toksik maddeler ve hidrojen sülfür gibi zararlı gazların salınımına yol açmaktadır. Bu su kalitesi ve bulanıklığı etkilemektedir. Alglerin büyümesi güneş ışığını keserek suya ve canlılara ulaşmasını engeller. Bitki örtüsünün ölümü organik maddeyi artırır (Akpor ve ark., 2015).

1.2.11.2. Biyoakümülyasyon

İnsanlar için balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği önemli bir protein kaynağıdır. Ötrofikasyon balık ve su ürünleri üzerine olumsuz bir etkiye sahiptir. Ötrofikasyona maruz kalan sulardan elde edilen canlılarla beslenilmesi durumunda olumsuz sonuçlar görülebilmektedir. Su ürünleri kalitesinin azalması, biyoakümülyasyon ve toksik alglerin varlığının sonucudur (Chapagain, 2016).

Göller ve yüzey suları birçok ülkede içme suyu kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ötrofik sudaki balık ürünlerini doğrudan tüketmek sağlık açısından zararlı olabilmektedir. Ötrofik ortam sucul canlılar için zararlıdır. Bu tür sular sürekli kontrol edilerek, düzenli olarak incelenmelidir (Piotr ve Barbara, 2015).

1.2.11.3. Ötrofikasyonun sağlık riski

Nütrientler ve organik maddeler fiziksel ve kimyasal olarak canlı ortamını olumsuz yönde etkilemektedir. Fiziksel ve kimyasal kirleticilerin yapısında, patojenler, virüsler ve bakteriler gibi canlılar yüksek miktarda bulunmaktadır. Bu ortamlarda yaşayan canlıların birçoğu bünyesinde bu kirleticileri barındırmaktadır. Canlılarla beslenen insanlar sağlık yönünden olumsuz etkilenmektedir. Gereğinden fazla alınan fosfor ve diğer zararlı bileşikler kalp ve kemik gelişimi hastalıklarına neden olmaktadır. Son dönemlerde bu tür inceleme çalışmalarının sayısında artışlar tespit edilmektedir (Chapagain, 2016).

1.2.12. Fosfor ve iklim değişikliği

Fiziksel, kimyasal geçişler ve insan kaynaklı etkilerden dolayı iklim değişikliğinin fosfor üzerindeki etkisini değerlendirmek zordur. Beklenen iklim değişikliği yalnızca fosfor değil aynı zamanda arazi kullanımı arazi yönetimi gibi konular üzerinde de dolaylı olarak etkisini gösterecektir (Schoumans ve Bouraoui, 2015). Fosfor döngüsü sıcaklık ve toprak nemi rejimindeki değişikliklerden etkilenecektir. Yağışların zamanlaması ve yoğunluğu da fosfor üzerinde etkili olacaktır. Avrupa’da sıcaklık artışları olacağı, kuzey Avrupa’da yağışların artıp güney Avrupa’da ise azalacağı tahmin edilmektedir. Bununla beraber Avrupa havzasının kuzey suyu etkilenecek, yüzey sularında fosfor seyrelmesi ve konsantrasyonu bundan olumsuz etkilenecektir. Bazı nehirlerden göllere taşınan fosfor miktarının artmasıyla ötrofikasyon riski artacaktır. Yaz aylarında akış daha da azalarak fosfor birikimi bazı noktalarda daha fazla olacaktır. Yağışların fazla olduğu alanlarda ise fosforun yüksek çökeltme oranları ile karşılaşılacaktır. Lağım vb. taşmalarda ekstra fosfor yükleri oluşacaktır (Withers ve Jarvie, 2008; Sharpley ve ark., 2015).

1.2.13. Atık çamurda fosfor

Birçok organik atık malzeme önemli miktarda fosfor içermektedir. Arıtma çamurunda fosfor en fazla bulunan ikinci elementtir. Bu nedenle çamur umut verici bir fosfor kaynağıdır. Fosfor atık su akışından ayrılmalıdır. Fazla miktarda fosfor ötrofikasyona ve ekosistem bozulmasına sebep olmaktadır. Günümüz biyolojik arıtma sisteminde fosfor giderimi için oksijenli ve oksijensiz giderim işlemleri yapılmaktadır. Bu işlemle büyük miktarlarda fosfor tutulabilir (Ashley ve ark., 2011; Cordell ve ark., 2011).

Fosfor kazanımında birçok faktör çamurun fosfor tutma yeteneğini etkilemektedir. Bunlar; sıcaklık, pH, KOİ, oksijenlenme derecesi, magnezyum miktarı veya organik fraksiyon içeriği hatta çamurun yaşı ve durumu gibi faktörlerdir. Bu parametrelerin etkin kullanımı fosfor geri kazanımını % 50 - % 143 oranında etkin kılmaktadır. Fosfor geri kazanım teknolojisinin aktif kullanımı da geri kazanımı etkilemektedir. Gelişen teknolojiler atığın dışkı ve idrar olarak ayrı bir şekilde toplanmasını gerektirmektedir. Bu uygulama tesis ile beraber tüm şehirde yapılmalıdır. Yine de

yakın gelecekte ekonomik ve ekolojik olarak ayrı bir fosfor kurtarma sistemi gerekecektir. (Coedell ve ark., 2009; Ehbrecht ve Schuhmann, 2009; Cordell ve ark., 2011; Cieslik ve Konieczka, 2016).

1.2.14. Gübre kaynağı olarak fosfor

Fiziksel ve kimyasal olarak fosforun geri kazanılabilirliği ve kullanılabilirliği için doğru formlarda kazanılmış olması önemlidir. Bitkiler sadece belirli şekillerde fosfor kullanabilmektedirler. Gübre endüstrisi mümkün olduğunca kolay erişilebilen bitki fosforu içeren bileşiklerle ilgilenmektedir. Aynı bileşikteki diğer bitki besin maddelerinin varlığı da ürünün değerini arttırır. Fosfor ürününün durumu da gübrenin kullanılabilirliğini etkiler (Egle ve ark., 2016; Pihl, 2017).

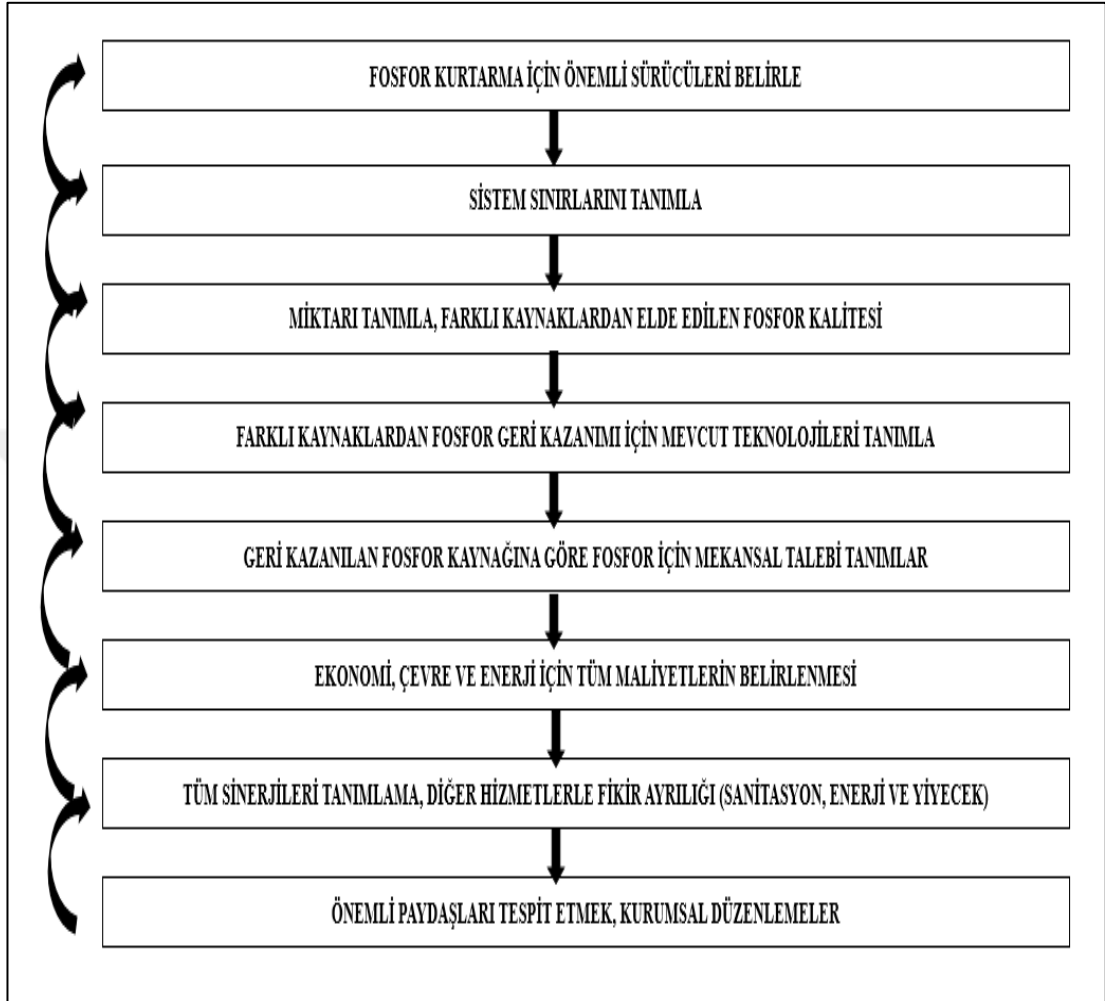
Gübrenin mümkün olduğunca az kayıp ile sahaya dağıtılması gerekir. Fosfor içeriği yüksek olan gübreler diğerlerine oranla daha yüksek fiyatlarla satılmaktadır. Yapılan uygulamalar geri kazanılmış fosforun fiyatını önemli ölçüde etkilemektedir. En ucuz yollarla geri kazanılmış fosfor bile günümüzde fosfor madenlerinden kazanılan fosfordan iki kat daha pahalıdır. Bu sebeplerden fosfor geri kazanımı aşamasında maliyet azaltıcı olabilecek tüm proseslerin dikkate alınması önemlidir (Cordell ve ark., 2011; Pihl, 2017).

1.2.15. Fosfor geri kazanımı ve yeniden kullanımı için sistem çerçevesi

Çok sayıda yenilikçi fosfor kurtarma teknolojisi ve süreci vardır. Ancak fosforun geri kazanımı ve yeniden kullanımı temel uygulamalardan uzaktır. Ayrıca gıda güvenliği ve sürdürülebilir gıda sistemleriyle ilgili ülke ve uluslar arası ortamda teknolojiler ve çerçeveler arasında bir bilim ve politika uçurumu yer almaktadır. Sürdürülür sistem anlayışının kabul görmemesi maliyetli ve yoğun fosfor geri kazanım teknolojilerine yatırım yapılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle belirli bir süreç ve teknoloji yerine geniş bir sistem yaklaşımı benimsenmektedir (Cordell ve ark., 2011; Schröder ve ark., 2011).

Bu sistem esnek ve yenilemeli bir klavuz olarak tasarlanmıştır. Katı adım ve süreçleri bulunmamaktadır. Bu sistem gıda güvenliği, çevre koruma, sürdürülebilir temizlik ve olası enerji üretiminin birden çok hedefine ulaşmak için en çok fosforun geri

kazanılması ve yeniden kullanılması için en uygun maliyet ve enerji tasarruflu araçlara yönelik araştırma ile karar vermeyi kolaylaştırmak üzere tasarlanmıştır (Cordell ve ark., 2011).



Şekil 1.8. Sürdürülebilir fosfor geri kazanımı ve yeniden kullanımı için karar vermeyi yönlendiren entegre sistemler çerçevesi (Cordell ve ark., 2011)

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Dünya ve Türkiye'deki literatür taraması sonucunda daha önce konu ile ilgili atık çamur ve fosfor geri kazanımı ile ilgili bazı kaynaklara ulaşılmış ve bilimsel çalışmalar kronolojik sıra takip edilerek aşağıda ifade edilmiştir.

Çimrin ve ark. (2000), kentsel arıtma çamurunun tarımda fosfor kaynağı olarak kullanılmasını incelemişlerdir. Çalışmada arıtma çamuru kombinasyonlarının mısır bitkisi gelişimi ve bazı bitki besin maddeleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çamur ve TSP kullanımıyla bitkinin kuru ağırlığının ve besin değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak arıtma çamurunun tek başına bitkinin fosfor ihtiyacının tümüyle karşılanması açısından tam bir başarı sağlanamadığını bildirmişlerdir.

Nilsson ve Dahlström (2005), çalışmasında Çin'de (Pekin) atıksu çamuru arıtma ve bertaraf yöntemlerini değerlendirmiştir. Gelişmekte olan Pekin bölgesinde arıtım ve bertaraf yöntemlerinin önceden planlanarak gelecek için hazır hale getirilmesinden, çamurun kompostlama ve termal ısı kullanılarak geri dönüşümünün ürünlerde hızlı verimle karşılanmasından, ayrıca kirleticilerin önemi ve kontrol stratejileri konuları, sanayi bölgelerinde deşarj sistemleri, gençler için eğitim planlamaları, çevre bilinci konularından bahsetmiştir.

Stark (2005), deneysel çalışmalarda asit ve baz kullanarak çamur fraksiyonu gerçekleştirmiştir. Farklı pH değerlerindeki fosfor salınımlarını analiz edip, istenen pH değerine ulaşabilmek için kimyasal madde ihtiyacını ölçmüştür. Azalan askıda katı madde miktarı analiz edilmiştir. Deney aşamaları sonucunda ısı ve basınç olmadan düşük pH değerlerinde asit kullanarak yüksek fosfor salınımı tespit etmiştir. Çalışmasında asit ilavesinin sindirilmiş çamurda toplam fosfor salınımı için baz ilavesinden daha yararlı olduğunu belirtmiştir. Her aşama pH düşüşünde toplam fosfor salınımının iki katına çıktığını, istenen pH değerine ulaşmak için gereken kimyasal madde miktarı arasında ilişki olduğunu, düşük ve yüksek pH değerlerinin

daha fazla kimyasal maddeye ihtiyaç duyduğunu ve askıda katı madde seviyesindeki azalmanın kısa süreli deneylerde anlamlı bir sonuç vermediğini bildirmiştir.

Stark (2005), tez çalışmasında arıtılmış kanalizasyon çamurundan fosfat salınımı ve geri kazanım potansiyelini incelemiştir. Süperkritik su oksidasyonundan elde edilen çamur tortuları, farklı sıcaklıklarda yakma ve kuru çamurdan elde edilen kül üzerinde çökeltme ve geri kazanım deneyleri gerçekleştirmiştir. Sonuçlarda asit ve baz kullanımı ile fosfat salınımının gerçekleşebileceğini bildirmiştir. Süzdürmenin, çamur tortusunun üretimine, kaynağına, eklenen kimyasalların miktarına ve sızıntıdaki iyonların varlığı gibi birçok faktörden etkilendiğini açıklamıştır. Çalışma sonuçlarının kimyasal kullanımı ve maliyetlerinin azaltılması için yararlı veriler oluşturabileceğinden bahsetmiştir.

Göçmez (2006), Menemen ovası topraklarında izsu kentsel arıtma çamuru uygulamalarının mikrobiyal aktivite ve biyomas ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Arıtma çamuru uygulamalarının; toprakta biyomas C'u, CO₂ oluşumu, N mineralizasyonu, dehidrogenaz, alkalın fosfotaz ve glukozidaz aktivitelerini istatistiki anlamda arttırdığını tespit etmişlerdir. Uygulamaların üreaz üzerinde etkisi olmamıştır. Bunun dışında toprak pH'sı, EC, kireç, organik madde, KDK, toplam N, Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, ile alınabilir P, K, Fe, Cu, Mn ve Zn miktarlarının da arıtma çamuru uygulamalarıyla istatistiki önemde arttığı tespit edilmiştir.

Stark (2006), çalışmasında arıtma tesislerinden çıkan atık çamurun doğrudan kullanımına ek olarak diğer alternatif yöntemlerden bahsederek, çamur fraksiyonu ile çamur hacmi azaltılması, ürün geri kazanımı ve toksik maddelerin uzaklaştırılması ile ilgili konulara değinmiştir. Forfor salınımı ve arıtılmış kanalizasyon çamurundan fosfor geri kazanımını araştırmıştır. Asit ve alkalın kullanımının süper kritik su oksidasyonu, yakma veya 300 °C de kurutma ile muamele edilen atık çamurdan fosfat salmak için kullanılabilir bir yöntem olduğunu belirtmiştir. Sonuçların kimyasalların kullanımının ve maliyetinin en aza indirilmesi için yararlı olabileceği ve fosfat geri kazanımı için teknolojinin daha da geliştirilmesi aşamasında bilgi artışı sağlayacağından bahsetmiştir.

Pakdil ve Filibeli (2007), arıtma çamurlarında fosfor salınımını etkileyen faktörleri inceleyerek deneysel tasarım metodu kullanarak değerlendirmişlerdir. Arıtma

çamuru bünyesinde olan fosforun salınımı için nitrik asit ve oksalik asit kullanmıştır. Sıcaklık, karıştırma zamanı ve asidik konsatrasyon parametreleri ele alınmıştır. Sonuçların değerlendirilmesin Box-Wilson deneysel tasarım metodu kullanılmıştır. R² değeri nitrik asit için 0,995, oksalik asit için 0,853 olarak tespit edilmiştir. Fosfor kazanımında nitrik asitin oksalik asite göre daha etkili bir kimyasal olduğu belirtilmiştir.

Akwo (2008), yapmış olduğu çalışmada, arıtma çamuru arıtım seçeneklerinin yaşam döngüsünü incelemiştir. Arıtım tesislerinden çıkan çamurun tarımsal alanlarda kullanılmadan önce ağır metal ve diğer tehlike sınırlarının araştırılmasını belirtmiştir. Belirlenen risklerin katagorize edilerek tehlike boyutlarının incelenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Çalışmasında ısıl işlem senaryolarının küresel ısınmanın etki katagorisinin en iyi göstergesi olduğunu söylemiştir. Fakat bunu asitlenme ve ötrofikasyonda değerlendirmemiştir. Gübrelemenin etkili bir yöntem olduğunu, bununla beraber tüm etkilerinin analiz edilerek incelenmesi gerektiğini söylemiştir.

Matar (2008), çalışmasında atık su çamurunun beton karışımlarında kullanımını incelemiştir. Çalışma sonuçlarında düşük konsatrasyonda organik çamur kullanıldığında önemli bir güç kaybı gözlenmemiştir. Yüksek organik çamur peletlerinin %10'u çimento ağırlığına göre beton karışımına eklendiğinde güç kaybı %17'ye çıkmıştır. Sonuçlarda kuru çamurun mukavement gelişimini geciktirdiği, daha yüksek organik içeriğe sahip olduğunda ve partikülleri daha iyi hale geldiğinde basınç dayanımı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çetinkale (2009), *Cyndon dactylon (L.) Pers.* çim alanlarında kentsel su arıtım sistem çamurlarından yararlanabilme olanaklarını incelemiştir. Atomik absorpsiyon spektrometresi (AAS) kullanılarak yapılan analizlerde bitki ve toprakta biriken Nikel (Ni) sınır değerlerin üzerinde (75 mg/kg), bakır (Cu) sınır değerlerin altında (140 mg/kg) çıktığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak incelenen kriterler çerçevesinde *C. dactylon (L.) Pers.* türünde herhangi bir olumsuz etki tespit edememiştir.

Nieminen (2010), çalışmasında şehir atıksularında fosfor geri kazanımı ve dönüşümünü incelemiştir. Elde ettiği çamur örneklerinde fosforun sıvı formdan arındırılması için mevcut yöntemleri araştırmıştır. Geri kazanım yöntemleri kristalizasyon ve çökeltme, ıslak kimyasal metot ve termokimyasal metot yer almaktadır. Kristallendirme ve çökeltme yöntemleri kimyasal bir dozaj ve pH

ayarlaması ile fosforu katı forma dönüştürür. Islak kimyasal yöntemler çamur veya kül içinde bağlı olan fosforu asit veya baz ile süzerek geri kazanır. Yakma işleminden sonra kül fraksiyonunun, klorür kimyasalının eklenmesi, ağır metal klorürlerinin kaynama noktasından daha yüksek sıcaklığa getirilmesi ve buharlaşma ile termokimyasal yöntemlerle işlenebileceğini söylemiştir. Ayrıca yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarından bahsetmiştir.

Cordell ve ark. (2011), çalışmalarında küresel fosfor güvenliğine olan yönelim ve fosfor geri kazanımı, yeniden kullanımı için bir sistem çerçevesini değerlendirmişlerdir. Fosforun, gıda üretim ve tüketim sistemi sonunda atıklardan geri kazanılması ve yeniden kullanılmasına ilişkin çalışmalarından bahsetmişlerdir. Bunun yanısıra verimlilik artışı ve fosforun adil ve eşit bir şekilde kullanılmasını belirtmişlerdir. Fosforun geri kazanılması ve gübre olarak yeniden kullanılması için sürdürülebilir aşamaların belirlenmesi, yaşam döngüsü maliyetleri, kaynak kullanımı ve kirlilik dikkate alınarak daha fazla araştırma yapılması gerektiğinden bahsetmişlerdir.

Uysal ve ark. (2011), çalışmasında anaerobik olarak çürütülmüş arıtma çamurlarından strüvit çöktürmesiyle nütrient geri kazanımını incelemişlerdir. Çürütülmüş çamurun katı fazından nütrient geri kazanımı için, asidik çözündürme prosesinin uygulanması ile katı fazdaki toplam fosforun yaklaşık %84'ünü çözüdüremişlerdir. pH'ın 8.5 ve Mg:N:P molar oranının 2:1:1 olduğu durumda, NH₃-N giderim verimi % 26.7, Mg giderim verimi % 75.13 ve kalan PO₄-P konsantrasyonu 1.163±0.053 mg/L olarak elde etmişlerdir. pH'ın 8.5 ve Mg:N:P molar oranının 2:1:1.3 olduğu durumda, NH₃-N giderim verimi % 40.2 ve kalan PO₄-P konsantrasyonu 1.32±0.042 mg/L olarak elde etmişlerdir.

Uzun ve Bilgili (2011), arıtma çamurlarının tarımda kullanılma olanaklarını araştırmışlardır. Çalışmada arıtma çamurunun elde edildiği kaynaklar, arıtma çamurlarının içerikleri, kullanım alanları, avantaj ve dezavantajları ile bu konuda yapılan çalışmalar derlenmiştir.

MEB (2011), hazırlamış olduğu modülde mesleki ve teknik eğitim kurumlarında uygulanan çerçeve, öğretim programlarında yer alan yeterlilikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla materyal yapmıştır. Aile ve tüketici hizmetleri başlığı altında atık çamurları incelemiştir.

Blöcher ve ark. (2012), çalışmalarında düşük basınçlı ıslak oksidasyon ve nanofiltrasyon hibrid prosesi ile kanalizasyon çamurundan fosfor geri kazanımını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yapmış oldukları fosfor giderim metodunun arıtma çamuru için uygun olduğunu belirlemişlerdir. Düşük basınçlı ıslak oksidasyon işleminde fosfor çözülmesi için kritik parametre demir konsantrasyonu, nanofiltrasyonda ise çok değerlikli katyonlar olarak belirlenmiştir. Örnek bir atık su arıtım tesisi için % 54'lük fosfor geri kazanımı elde edilmiştir.

Kelessidis ve ark. (2012), Avrupa ülkelerinde kanalizasyon çamurunun arıtılması ve nihai bertarafı için kullanılan yöntemleri karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre spesifik çamur üretimi Avrupa ülkeleri arasında nüfus başına 0.1 kg'dan (Malta) 30.8 kg'a (Avusturya) kadar değişiklik göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında zaman ağır metal seviyelerinde, patojenlerde ve mikro kirleticilerde azalmalar tespit edilmiştir. Son dönemlerde Avrupa ülkelerinde arıtılmış çamurun yeniden kullanılma seviyelerinde artış tespit edilmiştir. 2020 yılına kadar çamurun yakılması ve yeniden kullanılması başlıca uygulamalar arasında olacağı belirtilmiştir.

Sano ve ark. (2012), fosfor geri kazanımı için demir fosfat içeren ham atık çamurun ekstraksiyonunu incelemişlerdir. Çalışmanın amacında demir elektroliziyle fosfor giderimi içeren bir atık su arıtma sisteminden elde edilen $FePO_4$ içeren kanalizasyon çamuru için alkali ekstraksiyon teknolojisi kurmak olmuştur. Sonuç olarak ısıtılmamış fosfor ekstraksiyonu, $FePO_4$ içeren kanalizasyon çamuru için daha üstün bulunmuştur. Ayrıca metal ve asit ekstraksiyonlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

Xu ve ark. (2012), atık çamur küllerinden strüvit yöntemi kullanılarak fosfor geri kazanımını incelemiştir. Sonuçlarda toplam P içeriğinin %95'inden fazlasının ekstrakte edildiğini belirtmiştir. Bu işlemde 0.5 mol/L HCL 50 ml/g oranında katı/sıvı şeklinde uygulanmıştır. İşlem sırasında ağır metal sızıntısı olsa da bu daha sonra ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Deney aşamalarına bakıldığında P çökmesi için optimal parametreler pH 10'da Mg:N:P , 1.6:1.6:1 molar oranı olacağını göstermiştir. Daha ileri çalışmalarda yüksek gübre kazanımı, Yüksek P ve düşük ağır metal elde edilmesinden bahsetmiştir.

Akat ve ark. (2013), atık su arıtma çamurlarının süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanımını incelemişlerdir. Atık su arıtma tesislerinden yoğun miktarlarda ortaya çıkan arıtma çamurlarının ekonomik getirisi yüksek olan süs bitkileri

yetiştiriciliğinde kullanımları ve bundan kaynaklı sorunların değerlendirildiği bazı çalışmalar toplanarak incelenmiştir. Sonuç olarak arıtma çamurlarının süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılmasının çağdaş geri dönüşüm anlayışının en uygun yöntemlerinden biri olarak belirtilmiştir.

Nanzer ve ark. (2013), termo-kimyasal olarak işlenmiş atık çamur küllerinde fosfor araştırması ³³P etiketleme teknikleri ile çalışıldığı gibi incelenmiştir. Sonuçlarda atık çamur kül-Mg, atık çamur kül-Ca dan daha fazla fosfor elde edildiği tespit edilmiştir. Atık çamur külü-mg suda çözünür P gübresi ile karşılaştırıldığında nisbi etkinlik asidik %88, nötral toprakta %71 bulunurken alkali torakta % 4 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada asidik ve nötr koşullar altında atık çamur külü-Mg, P gübrelere alternatif olarak bulunmuştur. Atık çamur külü-Mg'den P'nin çözünmesi, toprak çözeltisindeki protonlar ve katyonlar tarafından yönetildiği bildirilmiştir.

Tyagi ve Lo (2013), çalışmalarında atık çamurdan kazanılabilen kaynakların türü ve çamurun değerli kaynaklara dönüştürülmesinde kullanılan geleneksel ve yeni yöntemleri incelemişlerdir. Çamur enerji ve kaynakların geri kazanımı için atık veya yenilenebilir kaynak mıdır sorusunu araştırmışlardır. Bununla beraber kullanılan yöntemlerin aşamalarından, avantajlarından ve dezavantajlarından bahsetmişlerdir.

Li ve ark. (2014), kanalizasyon çamurunun kurutulması ve yakılması sırasında fosforun dönüşümünü incelemişlerdir. Çalışmada farklı kurutma ve yakma sıcaklıklarında fosfor bakılmıştır. İki farklı örnekte farklı sıcaklıklarda ³¹P NMR spektroskopisi kullanılmıştır. Deney sonucunda inorganik içerik yükselirken organik içerik azalmıştır. Ayrıca atık çamurla temasta olan inorganik içerikli fosforda artış gözlemlenmiştir. Sonuçlar, sıcaklığın fosfor dönüşümünde etkili olduğunu göstermiştir.

Ebbers ve ark. (2015), ağır metallerin uzaklaştırılması ve fosforun geri kazanımı için belediye atık su ve çamurunun elektrodialitik arıtımını incelemişlerdir. Çalışmada üç aşamalı elektrodializ, ağır metalleri (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) ve fosfor geri kazanmak için kullanılmıştır. Ağır metallerin uzaklaştırılması veya elektrodializ kullanarak fosfor geri kazanımı için atık su arıtım tesisleri ve kanalizasyondan gelen çamurların geri kazanım için en iyi şekilde tedavi edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Lynn ve ark. (2015), çalışmalarında atık çamur külü özellikleri ve betonda kullanım potansiyelini incelemişlerdir. Atık çamur günümüz ve gelecek durumundan

bahsetmişlerdir. Atık arıtma çamurunun kontrolü düşük mukavemetli malzemelerde, havalandırılmış ve köpüklü betonlarda dökme olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir. Şimdiye kadar yapılan çalışmaların çamur kullanımı ile ilgili cesaret verici sonuçlar verdiği bildirilmiştir.

Norup ve Aberg (2015), çalışmasında Glen Valley atıksu arıtım tesisinden çıkan çamuru değerlendirerek gübre olarak kullanım potansiyelini incelemiştir. Bu amaçla atık çamur besin maddeleri, ağır metal içerikleri ve fiziko-kimyasal parametreler açısından incelenmiştir. Gübre olarak kullanım potansiyelinin belirlenmesi için çamur kalitesi, diğer çamur tipleri ve tarımda çamur kullanımı ile ilgili düzenlemelerle karşılaştırılmıştır. Bunun yanında çamurun iyileştirilmesi ve kullanılması da incelenmiştir. Arıtım sürecinde kalite farklılıklarını görmek için arıtma süreçleri boyunca farklı arıtım aşamalarında çamur örnekleri toplanmıştır. Arıtım çamuru incelendiğinde ilk aşamadaki ağır metal seviyesinin ikinci aşamaya oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Herzel ve ark. (2015), gübre üretiminde fosfor kaynağı olarak atık su arıtım çamurunu incelemiştir. Arıtma çamuru külü indirgeyici koşullar altında sodyum ve potasyum katkı maddeleriyle termokimyasal olarak işlenmiştir. Yüksek P biyoyararlanımı başlangıç materyallerinde Na/P oranı > 1.75 olarak tespit edilmiştir. Sodyum sülfat, karbonat ve hidroksit bu kalsinasyon işlemi için katkı maddesi olarak gerçekleştirilmiştir. Potasyum karbonat ve hidroksit, benzer P çözünürlüğünü elde etmek için bir molar K/P oranı > 2.5 olarak eklenmiştir. Metal arsenik, kadmiyum, civa, kurşun ve çinko büyük oranda uzaklaştırılmıştır.

Huang (2015), çalışmasında arıtma çamuru ve aerobik granül çamurda fosfor türleri, dağılımı ve biyolojik durumunu incelemiştir. Birincil çamurdaki organik fosfor (OP) fosfor (P) bileşimindeyken, ikincil çamur ve sindirilmiş çamurdaki inorganik fosfor (İP) birincil fosfor fraksiyonu olarak bulunmuştur. Sırasıyla birincil çamurda %87.7, ikincil çamurda 94.8, üçüncül çamurda 76.2 olarak toplam fosforun yüksek potansiyel mobilite ve biyo-kullanılabilirliğini tespit etmiştir.

Krüger ve Adam (2015), Almanya atık çamur külünün geri dönüşüm potansiyelini incelemişlerdir. Almanya'daki atık çamurun gübre formunda Almanya'da uygulanan tarım alanlarındaki fosforun % 13'üne yani bir gündeki (19 000 ton) atık çamur miktarına denk gelmektedir. Bu sebeple atık çamur fosfor kazanımı için önemli bir

kaynak olduğunu belirtmiştir. Fakat atık çamurun çevre ve insan sağlığı açısından zararsız olması için ağır metal ve mikro kirletici içeriklerinin uzaklaştırılması gerektiği bildirilmiştir.

Schoumans ve ark. (2015), değişen Dünya’da ve Avrupa’da fosfor değişimini incelemişlerdir. P yönetimindeki değişikliklerle olası çözümleri araştırmışlardır. Beslenmede P gübre ve katkı maddelerinin kullanımının azaltılabileceği ayrıca Avrupa ve Dünya’da P’nin tamamen geri kazanılması ve geri dönüştürülmesi konularını incelemişlerdir. İklim değişikliğinde P yönetiminin önemi, P kaybından oluşan yüzey suyu kalitesinin beklenen bozulmasını azaltmak için yapılan uygulamalara değinmişlerdir.

Schütte ve ark. (2015), diyafiltrasyon modunda nanofiltrasyon ile kanalizasyon çamurundan fosfor geri kazanımını araştırmışlardır. Ön arıtma çamurundan fosfor geri kazanımı ile beraber ürün akışından ağır metallerin uzaklaştırılması için nanofiltrasyon kullanımı incelenmiştir. Ağır metaller ve metaller 0.94’den daha yüksek tutulma değerine sahipken, fosfor için 0.3’den düşük bir tutma elde etmişlerdir. Bu sonuçlar azalan pH değeri ile tespit edilmiştir. Filtrasyon ile fosfor verimi % 90 seviyelerinde elde edilmiştir.

Cieslik ve Konieczka (2016), atık su arıtım tesisi ve atık çamur fosfor geri kazanım aşamalarında fosforun yeniden kullanılma yöntemlerini, katı atık oluşumu yok kavramı ve analitik yöntemlerle incelemişlerdir. Çalışmada kanalizasyon çamurundan ve sızıntı sudan; atık çamur küllerinden olmak üzere iki grupta fosfor geri kazanımına bakılmıştır. Farklı arıtma çamuru tesislerinde yapılan kül analizlerinde önerilen teknolojilerin bu gibi fosfor yöntemlerinin çoğunda başarılı bir şekilde uygulanabileceğini göstermişlerdir. Çünkü özellikle K, Mg, Na, P gibi elementlerin konsantrasyonları sırasıyla; 1.5-12.1 g/kg, 9.9-14.9 g/kg, 3.6-13.3 g/kg ve 27.4-99.0 g/kg olarak tespit edilmiştir.

Chapagain (2016), yapmış olduğu tez çalışmasında dört farklı yöntemle çamurdan fosfor kazanmaya odaklanmıştır. Bunlar; mikroalg ve siyanobakteriler, ıslak ekstraksiyon süreci, termokimyasal metot ve diafiltrasyon modunda nanofiltrasyondur. Bu metotların avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırmıştır. Mikroalg ve siyanobakteriler kullanımında tuz stresi, ozmotik stres, uv radyasyonu ve pH gibi olumsuz şartlarda dayanıklı ve ucuz bir yöntem olduğu ancak geri kazanım

süresinin uzun ve mikroorganizmaya bağlı olduğunu belirtmiştir. Islak ekstrasyon sürecinde fosfor geri kazanımının kısa, fosfor geri kazanımının yüksek seviyede olduğunu ancak tarımsal ve ticari amaçlı daha fazla artırılmalı ve pahalı bir yöntemdir. Termokimyasal metot, yüksek oranda ve kısa sürede sıfır atıkla fosfor kazanımı ancak ağır metaller için baca gazı temini gerekip pahalı bir yöntemdir. Nanofiltrasyon, Yüksek kalitede düşük zamanlı fosfor kazanımı ancak bu yönteminde pahalı bir metot olduğunu bildirmiştir.

Mdolo (2016), atık çamur fraksiyonlarında kağıt, karton, mutfak atıkları, bahçe atıkları, organik atıklar ve atıksuların üretim oranları ve fosfor içeriği sonuçlarını incelemiştir. Ortalama su debisini 2,601 L/sn, ortalama fosfor konsantrasyonunu 2,4 mg/L olarak tespit etmiştir. Yine elde edilen atıklar ve çamurun gerekli sahalara taşınma, giderler kullanım gibi maliyet hesapları yapmıştır.

Sellberg (2016), fosfor döngüsü ve analiz yöntemlerinden bahsetmiştir. En düşük maliyet operasyonunu tahmin etmek için doğrusal programlama kullanarak dört sürecin etkisini karşılaştırmıştır. Süreçler iki atıksu arıtımı, EBPR (Geliştirilmiş Biyolojik Fosfor Giderimi) ve AS (Aktif Çamur) konvensiyonel tedavi ve kimyasal P çökmesini içerir. Artı ilave iki proses yukarı yönlü yönetim ve küllerden geri kazanım. Yukarı yönlü geri kazanım EBPR ile optimum prosesli olarak bulundu. Fakat maliyetlerin güvenilir şekilde tahmin etmek zordu ve sonuçların dikkatle izlenmesinden bahsetmiştir.

Pihl (2016), fosfor ve Dünya'daki önemi, fosfor geri kazanım yolları ve Finladiya'daki fosfor geri dönüşüm ve kazanımından bahsetmiştir. Yine çalışmasında Dünyada'ki fosfor geri kazanım yöntemlerinin durumu, Finlandiya koşulları ve uygulanan yöntemler ve uzmanların fosfor kazanım uygulamaları nasıl gibi sorulara cevap aramıştır. Araştırma sonucunda Finlandiya'da uygun fosfor kurtarma tekniklerinin henüz mevcut olmadığını belirtmiştir. Finlandiya'da daha verimli fosfor geri kazanımı sağlamak için mevcut uygulamalarda büyük değişiklikler yapılması ve yeni tekniklerin geliştirilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Thompson (2016), ısı işlem görmüş kanalizasyon çamurunun bitki fosfor mevcudiyetini incelemiştir. Kanalizasyon çamuru çeşitli termal dönüşüm yöntemleri kullanılarak dönüşümü sağlanmıştır. Bu işlemi yakma, piroliz ve iki gazlaştırma işlemi ile gerçekleştirmiştir. Fosforu arttırmak için piroliz ve gazlaştırmaya ikincil

oksidasyon uygulamıştır. Örnek olarak kullandığı toprağa fosfor takviyesi yaparak daha sonra burada yetiştirilen buğdayların filiz, kök ve içeriğindeki P miktarı analiz edilmiştir. İşleme tabi tutulmuş örnekler tutulmamışlarla karşılaştırıldığında filizlenmelerde artışlar tespit etmiştir. Sırasıyla ham çamurda %74, pirolizde %68 verim elde etmiştir. Gazlaştırmada düşük verim tespit etmiştir. İkincil oksidasyon adımı düşük sıcaklıkta P miktarını önemli ölçüde geliştirmesine rağmen, gazlaştırma külü, bitki biyoması ve P alımının %50 oranına geldiğini belirtmiştir.

Dede (2017), süs bitkisi toprağında arıtma çamuru stabilizasyonunu incelemiştir. Süs bitkisi olarak değerlendirilen *Yucca massengena*, *Areca lutescens*, *Chlorophytum comosum*, *Ficus elastica*, *Dieffenbachia maculata*, *Croton petra* ve *Sansevieria trifasciata* türleri topraklarına 2 farklı dozda ilave edilen arıtma çamurunda mikroorganizma giderimi incelenmiştir. E. Coli en hassas mikroorganizma seçilerek 5 haftalık süreçte büyük oranda giderilmiştir. Araştırma sonunda B sınıfı kategoride yer alan arıtma çamurunun deneme sonucu incelenen mikroorganizmalar bazında A sınıf özelliği taşıdığı tespit edilmiştir.

Görgeç (2017), çalışmasında mevcut arıtma tesislerinde uygun modifikasyonlarla azot ve fosfor arıtımını incelemiş ve modellemiştir. Çalışmada seçilen atıksu arıtma tesisinin atık çamur ve biyogaz üretim potansiyelleri farklı işletme senaryoları oluşturularak karşılaştırılmış ve proses performansları değerlendirilmiştir. Kuru madde bazında çürütülmemiş ham çamurun enerji içeriği 16,33 MJ ve biyolojik çamurun enerji içeriğini 13,21 MJ olarak tespit etmiştir.

Kim ve Lee (2017), kimyasal fraksiyon ve spektroskopi ile fosfor geri kazanımı için asit ön işlemi ile atık çamur küllerinde fosfor formlarının belirlenmesini incelemiştir. Atık çamurda HCL kullanılması sırasında Ca seçici olarak ayrıştırılırken P çoğunlukla atık arıtma çamurunda kalmıştır. Atık arıtma çamurunun kimyasal fosfor fraksiyonundan önce ve sonra 2,5 pH'da HCL kullanımında Al-P % 46.6 dan %79.2'ye yükselirken Ca-P % 28.9'dan % 4.4'e düştüğünü belirtmişlerdir. HCL muamelesi Al-P'nin kimyasal yapısını değiştirmiştir. Çünkü uygulama sonrasında atık arıtma çamurunda kristalli Al-P bulunamamıştır. XRD ve ATR-FTIR analizlerinden sadece amorf Al-P bulunmuştur.

Yapıcıoğlu ve Demir (2017), çamur arıtım metotlarının yaşam döngüsü değerlendirmeleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar, çamur arıtımının yaşam

döngüsü değerlendirmesinde, Orware, SimaPro, Martes, Team by, Ecobilan, Umberto, Lcait, Sisostaqua, Biowin, Stan, Wwest, Beam, Gabi 6 ve Gemis modellerinin sıklıkla tercih edildiğini belirtmişlerdir. İncelenen 40 alışma sonucunda çamur arıtım tekniklerinin küresel ısınma potansiyeli, insan toksisitesi gibi majör çevresel etki kategorilerine yol açtığı tespit edilmiştir.

Zeki (2017), çalışmasında evsel atıksu arıtma tesislerinde anaerobik çürütücülerden çıkan atık anaerobik çamurun ileri arıtımı ve değerlendirme süreçlerini incelemiştir. amrun yeniden kullanımı için 4 farklı işlem araştırılmıştır. Termal alkali hidrolizi işlemi ile parçalamada çamur pH'sının 12 ve 80 °C'de 24 saat boyunca karıştırlarak en yüksek çamur parçalanması elde edilmiştir. İşlem görmemiş çamurun ortalama toplam ve özünmüş KOİ konsantrasyonu sırayla 10720 mg/L ve 4200 mg/L iken işlem sonunda 45230 mg/L ve 29254 mg/L'ye yükselmiştir. Termal alkali hidrolizi sonucu biyolojik parçalanabilirliği arttırılan atık anaerobik çamurun parçalanması sonucu 109,17 mL metan gazı üretilmiştir. Sonuç olarak atık anaerobik çamurun yeniden kullanılabilereği ve katı madde miktarının daha düşük maliyetli sistemler ile azaltılabileceği belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Örnek Alma ve Hazırlama

Arıtma çamuru Köyceğiz Atık Su Arıtma Tesisi'nde preslenmiş ve açık havada kurutulmuş bir şekilde plastik kaplara alınarak Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi (MÜÇEMER) Su Analiz Laboratuvarı'na getirilmiştir. Atık çamur örnekleri 103 °C kurutulup, 630 µm elek vasıtasıyla elenerek deneysel çalışmalar için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.1. 103 °C'de kurutulmuş atık çamur (orijinal)

3.2. Çalışma Alanı

Türkiye'nin güneybatı ucunda yer alan Muğla, kuzeyinde Aydın, kuzeydoğusunda Denizli ve Burdur, doğusunda Antalya ile komşu, güneyinde Akdeniz batısında ise Ege denizi ile çevrilidir. Akdeniz ikliminde yer alıp Türkiye'nin en çok yağış alan illerinden birisi olan Muğla orman oranı bakımından da Türkiye'nin en zengin

bölgelerinden bir tanesidir. Toplam kıyı uzunluğu 1100 km'yi biraz aşan Muğla Türkiye'nin uzun kıyı şeridinde sahip ilidir (MUSKİ, 2015).

Muğla ilinin nüfusu 2017 verilerine göre 938.751 kişi olduğu bildirilmiştir (TÜİK, 2018). Muğla ili kış aylarında sakin kalan nüfus yapısına rağmen yaz aylarında turizm sezonu ile beraber nüfus miktarında gözle görülür artışlar olmaktadır. Köyceğiz Dalyan bölgesinde turizm ile beraber tarım ve hayvancılık da aktif olarak yapılmaktadır. Bunlardan başka ormancılık, balıkçılık diğer geçim kaynaklarıdır (MUSKİ, 2015).

Muğla ilinde birçok arıtma tesisi yer almaktadır. İçme suyu arıtma tesisleri;

- a. Mumcular içme suyu arıtma tesisi
- b. Güvercinlik içme suyu arıtma tesisi
- c. Marmaris içme suyu arıtma tesisidir (MUSKİ, 2015).

Atık su arıtma tesisleri;

- a. Bodrum Gümbet atık su arıtma tesisi
- b. Bodrum İçmeler atık su arıtma tesisi
- c. Bodrum Konacık atık su arıtma tesisi
- d. Bodrum Bitez atık su arıtma tesisi
- e. Borum Ortakent atık su arıtma tesisi
- f. Bodrum Gündoğan atık su arıtma tesisi
- g. Bodrum Gümüşlük atık su arıtma tesisi
- h. Bodrum Göltürkbükü atık su arıtma tesisi
- i. Bodrum Yalıkavak atık su arıtma tesisi
- j. Bodrum Mumcular atık su arıtma tesisi
- k. Bodrum Güvercinlik atık su arıtma tesisi
- l. Dalaman atık su arıtma tesisi
- m. Datça atık su arıtma tesisi
- n. Fethiye atık su arıtma tesisi
- o. Ölüdeniz atık su arıtma tesisi
- p. Göcek atık su arıtma tesisi
- q. Kavaklıdere atık su arıtma tesisi
- r. Menteşe atık su arıtma tesisi
- s. Köyceğiz atık su arıtma tesisi

- t. Marmaris atık su arıtma tesisi
- u. Milas atık su arıtma tesisi
- v. Ortaca atık su arıtma tesisi
- w. Dalyan atık su arıtma tesisi
- x. Akyaka-Gökova atık su arıtma tesisidir (MUSKİ, 2015).

Köyceğiz atık su arıtma tesisinde fiziksel ve biyolojik olarak atık su arıtımı yapılmaktadır. Muğla'da gerçekleşen tarımsal faaliyetler, turizm ve evsel atık sular il çevresinde bulunan su kaynakları ve çevre üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır. Arıtma tesislerinin kapasitesinin, teknolojisinin ve sayısının yetersiz olması arıtma verimliliğini etkilemektedir. Atık su arıtma tesislerinde azot ve fosfor konsantrasyonlarının düşük seviyede deşarj edilmemesi çevresel problemlere neden olmaktadır.

3.3. Deneysel aşamalar

3.3.1. Fosfor geri kazanımına asit-baz derişiminin etkisi

Atık çamur örnekleri 103 °C'de kurutulmuş ve 850 °C'de yakılmış olarak iki gruba ayrılıp, deneysel çalışmalar yapıldı.

850 °C'de yakılmış ve 103 °C'de kurutulmuş atık çamur örneklerinden 1 gr alınıp plastik erlenlere konuldu. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan (0.01, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 3.5 mol/L) NaOH, H₂SO₄ ve HCl çözeltilerinden erlenlere 50 ml eklendi. Erlen içerisindeki örnekler karıştırıcıda 2 saat boyunca 200 rpm hızla çalkalandı. Çalkalama işleminden sonra santrifüj ile 5 dk süre ve 3500 rpm devirde katı sıvı faz ayrıldı. Sıvı kısım alınarak askorbik asit metodu ile spektrofotometrede fosfor analizleri yapıldı (APHA, 2012).



Şekil 3.2. Deneysel çalışmalardan bir kesit (orijinal)



Şekil 3.3. Tartım ve pH ayarlama işlemi (orijinal)



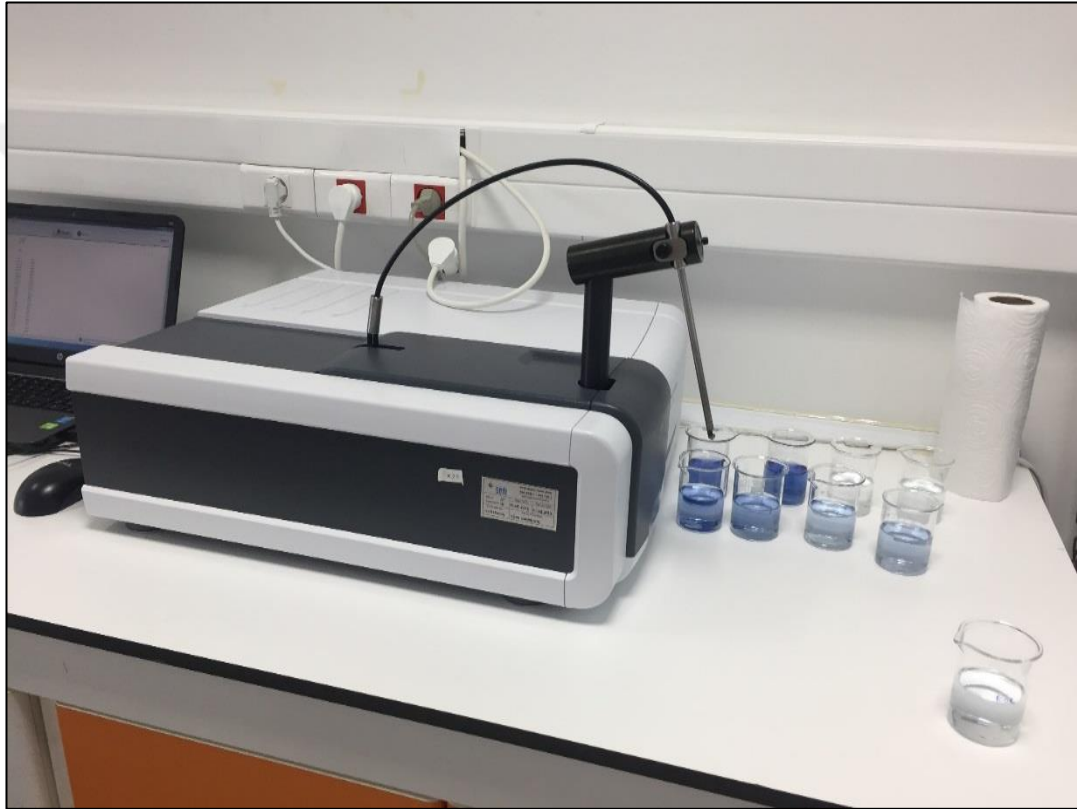
Şekil 3.4. Santrifüj ile katı-sıvı faz ayrımı (orijinal)



Şekil 3.5. Askorbik asit metodu ile fosfor analizi (orijinal)

3.3.2. Zamana bağlı fosfor geri kazanım deneyi

Deneylein bu aşamasında fosforun, saf su ve 0.1 M'lık HCl ozeltisi içerisindeki desorpsiyonunun zamana bağlı olarak değişimi incelendi. 1 gr atık çamur örnekleri plastik erlenlere alınarak üzerine 50 ml saf su 50 ml 0.1 M'lık HCl ozeltisi ayrı ayrı ilave edilerek; 15-300 dk arasında farklı srelerde çalkalandı. Belirlenen sreler tamamlandıktan sonra katı-sıvı kısmın ayrılması için 3500 rpm devirde 5 dk santrifüj yapıldı. Ayrılan sıvı kısım alınarak askorbik asit metodu ile spektrofotometrede fosfor analizleri yapıldı (APHA, 2012).



şekil 3.6. Spektrofotometre cihazı (orijinal)



Şekil 3.7. Kurutulmuş (103 °C) ve yakılmış (850 °C) arıtma çamurları (orijinal)

3.3.3. Atık çamurdan TP tayini

103 °C'de kurutulmuş ve 850 °C'de yakılmış atık çamur örneklerinden 0.2 gr alınarak teflon tüplerine konuldu. Üzerine 6 ml HNO₃, 2 ml HCl, 2 ml HF asit alınarak mikrodalga fırında çözündürme işlemi yapıldı. Daha sonra gerekli ise filtrasyon işlemi yapıldı. Gerekmiyorsa doğrudan sıvı kısım alınarak askorbik asit metodu ile spektrofotometrede fosfor analizleri yapıldı (APHA, 2012).



Şekil 3.8. Mikrodalga fırın (orijinal)



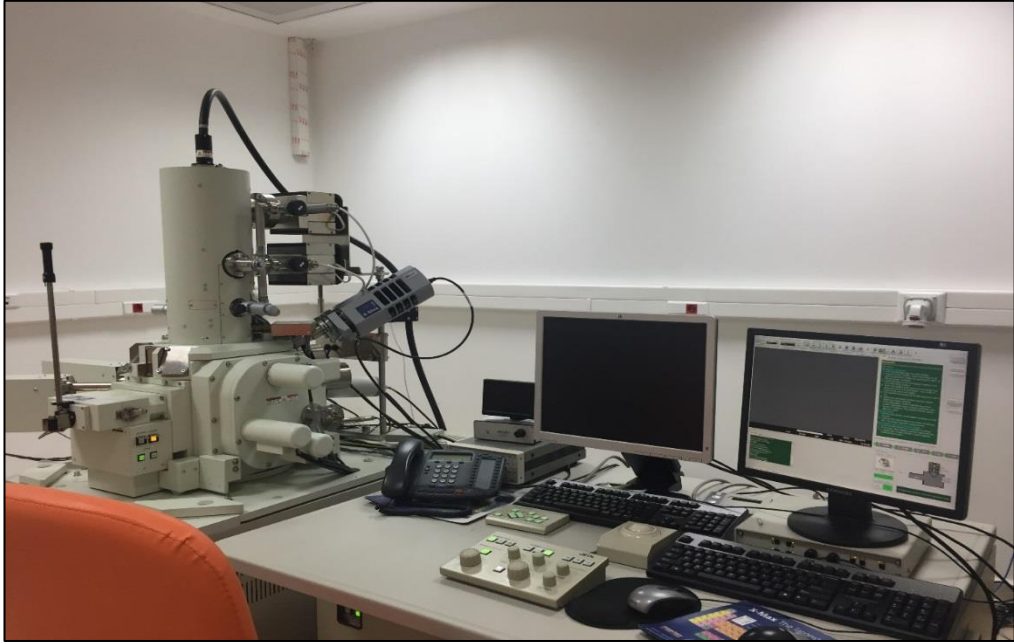
Şekil 3.9. Kül fırını (orijinal)



Şekil 3.10. Çalkalayıcı (orijinal)

3.3.4. SEM-EDS analizi

Çalışmada kullanılan atık çamurların SEM-EDS analizi JEOL JSM-7600F marka cihaz ile yapıldı.



Şekil 3.11. SEM-EDS analizlerinin yapıldığı JEOL JSM-7600F cihazı (orijinal)

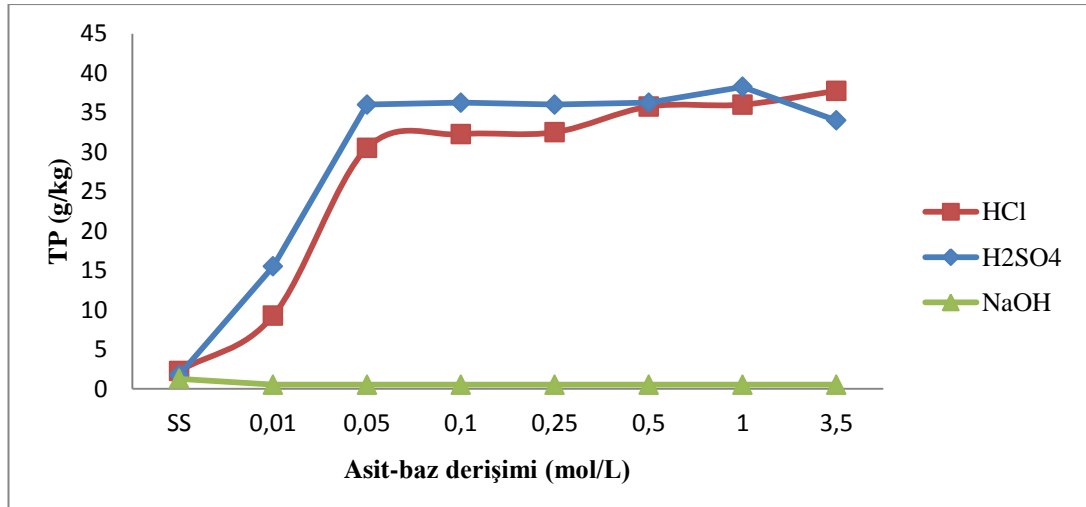
4. BULGULAR

4.1. Atık Çamur Fosfor Geri Kazanım Sonuçları

Bu çalışmada Muğla bölgesinde yer alan Köyceğiz atık su arıtma tesisinden alınan arıtma çamurlarında farklı konsantrasyonlarda HCl, H₂SO₄, NaOH ve mikrodalgada yakma işlemi sonucunda açığa çıkan TP miktarları tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibidir (Çizelge 4.1.-4; Şekil 4.1-6).

Çizelge 4.1. 850 °C'de yakılmış a.ç'daki TP konsantrasyonları

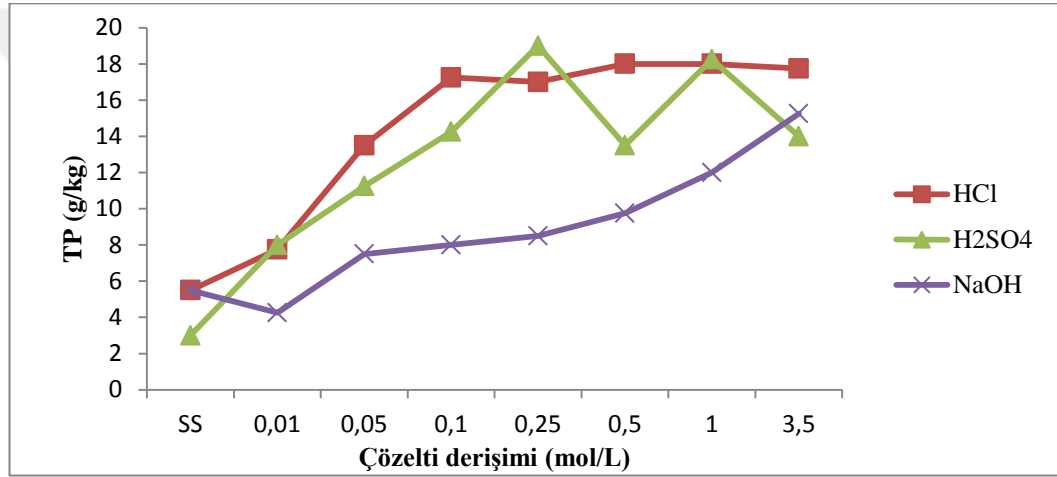
Derişim (mol/L)	HCl		H ₂ SO ₄		NaOH	
	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)
SS	2,25	6	1,8	5	1,25	3
0,01	9,25	25	15,5	41	0,5	1
0,05	30,5	81	36,0	96	0,5	1
0,1	32,25	86	36,3	97	0,5	1
0,25	32,5	87	36,0	96	0,5	1
0,5	35,75	95	36,3	97	0,5	1
1	36	96	38,3	102	0,5	1
3,5	37,75	101	34,0	91	0,5	1



Şekil 4.1. 850 °C'de yakılmış a.ç'daki TP konsantrasyonları

Çizelge 4.2. 103 °C'de kurutulmuş a.ç'daki TP konsantrasyonları

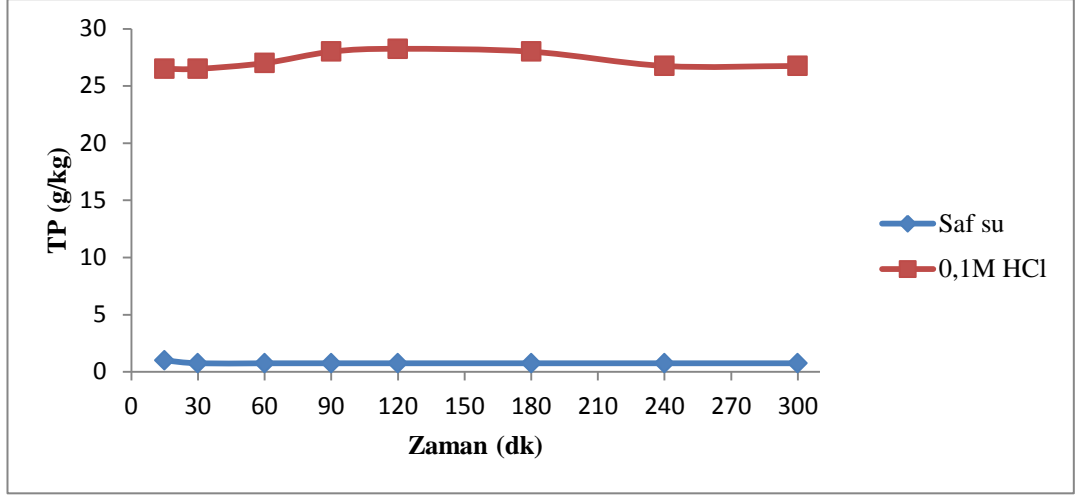
Derişim (mol/L)	HCl		H ₂ SO ₄		NaOH	
	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)
SS	5,5	22	3	12	5,5	22
0,01	7,75	31	8	32	4,25	17
0,05	13,5	54	11,25	45	7,5	30
0,1	17,25	69	14,25	57	8	32
0,25	17	68	19	76	8,5	34
0,5	18	72	13,5	54	9,75	39
1	18	72	18,25	73	12	48
3,5	17,75	71	14	56	15,25	61



Şekil 4.2. 103 °C'de kurutulmuş a.ç'daki TP konsantrasyonları

Çizelge 4.3. 850 °C'de yakılan a.ç'un zamana bağlı TP konsantrasyonu

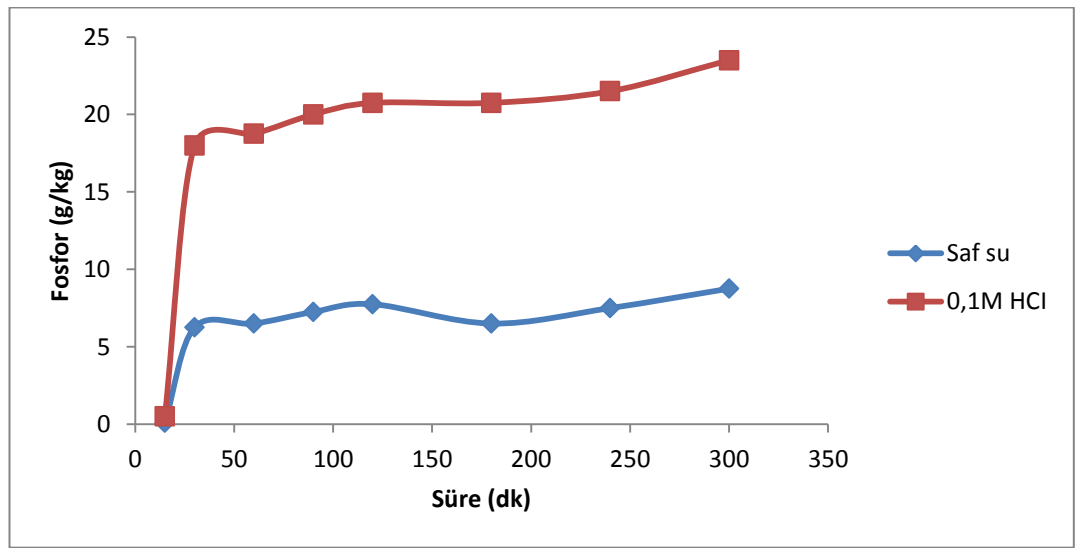
Zaman (dk)	SS		0,1M HCl	
	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)
15	1	4	26,5	106
30	0,75	3	26,5	106
60	0,75	3	27,0	108
90	0,75	3	28,0	112
120	0,75	3	28,3	113
180	0,75	3	28,0	112
240	0,75	3	26,8	107
300	0,75	3	26,8	107



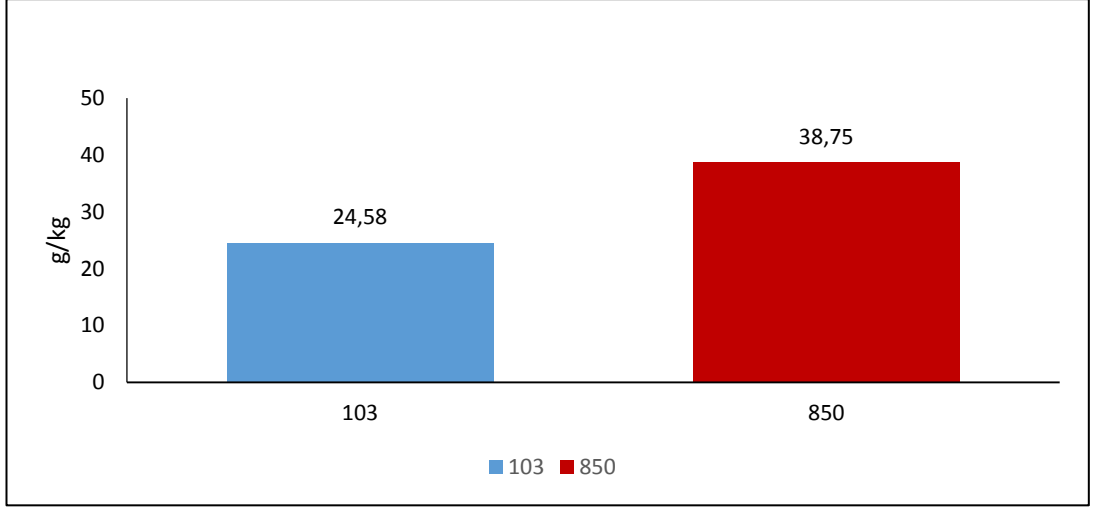
Şekil 4.3. 850 °C'de yakılan a.ç'un zamana bağlı TP konsantrasyonu

Çizelge 4.4. 103 °C'de kurutulan a.ç'un zamana bağlı TP konsantrasyonu

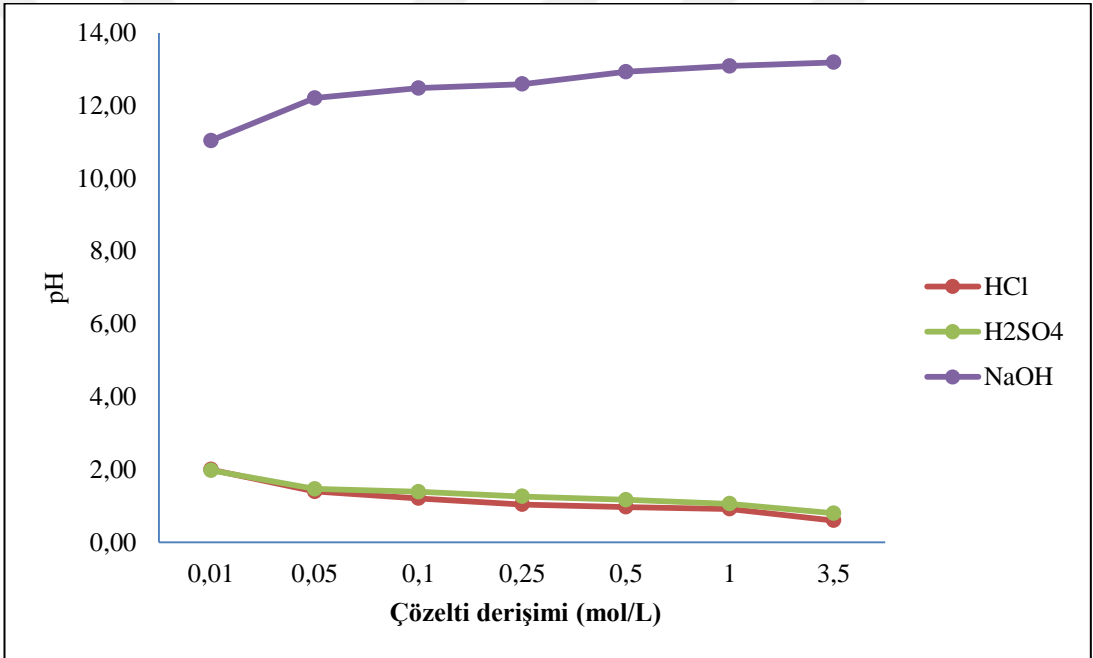
Zaman (dk)	SS		0,1M HCl	
	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)	TP (g/kg)	Geri Kazanım (%)
15	0,1	0,4	0,5	2
30	6,25	25	18,0	72
60	6,5	26	18,8	75
90	7,25	29	20,0	80
120	7,75	31	20,8	83
180	6,5	26	20,8	83
240	7,5	30	21,5	86
300	8,75	35	23,5	94



Şekil 4.4. 103 °C'de kurutulan a.ç'un zamana bağlı TP konsantrasyonu



Şekil 4.5. Mikrodalgada yakma ile TP geri kazanımı



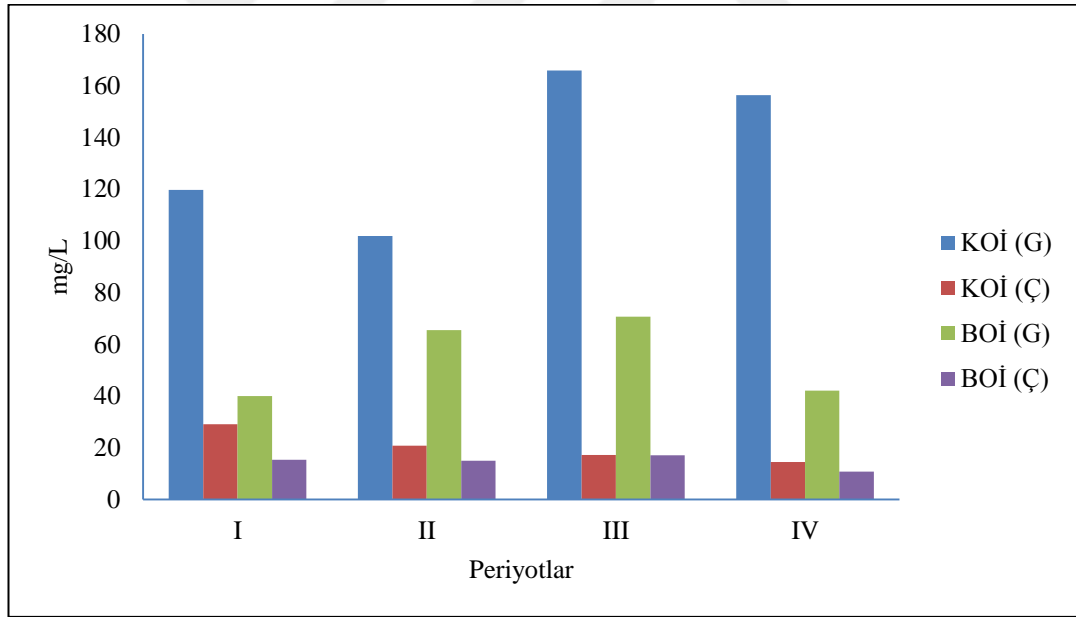
Şekil 4.6. Çözelti derişimlerinin pH değerleri

Köyceğiz atık su arıtım tesisi giriş ve çıkış suyunun bazı parametrelerinin yıllık analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları çizelge 4.5’de verilmiştir.

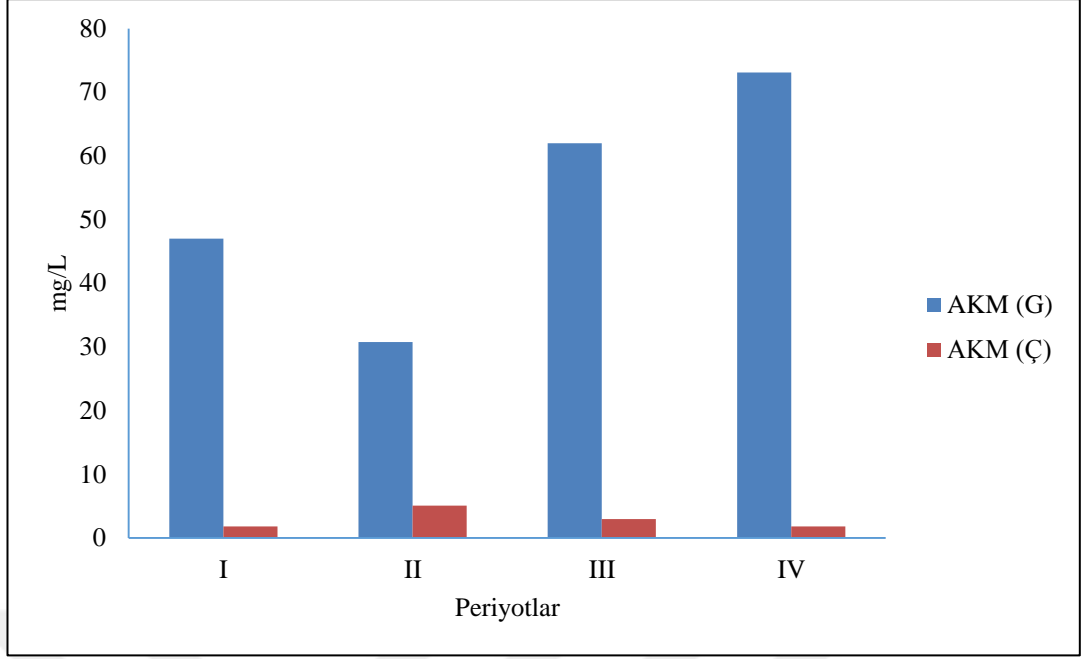
Çizelge 4.5. Köyceğiz atık su arıtım tesisi giriş ve çıkış suyunun yıllık analiz sonuçları (2018)

Atık su	Periyot-I (Ara-Oca-Şub)		Periyot-II (Mar-Nis-May)		Periyot-III (Haz-Tem-Ağu)		Periyot-IV (Eyl-Eki-Kas)	
	G	Ç	G	Ç	G	Ç	G	Ç
KOİ (mg/L)	119,7	29,1	101,9	20,7	165,9	17,2	156,3	14,5
BOİ (mg/L)	40,0	15,3	65,5	14,9	70,7	17,0	42,0	10,7
AKM (mg/L)	47,0	1,8	30,8	5,1	62,0	3,0	73,1	1,8
T-N (mg/L)	24,8	16,8	42,8	28,5	28,4	9,5	29,3	19,5
T-P (mg/L)	1,7	1,3	2,4	2,5	3,0	1,8	3,3	3,8
Sıcaklık (°C)	14,8	11,7	21,5	15,3	28,3	14,3	20,7	19,4
pH	7,6	8,1	7,6	8,0	7,2	7,6	7,2	7,4

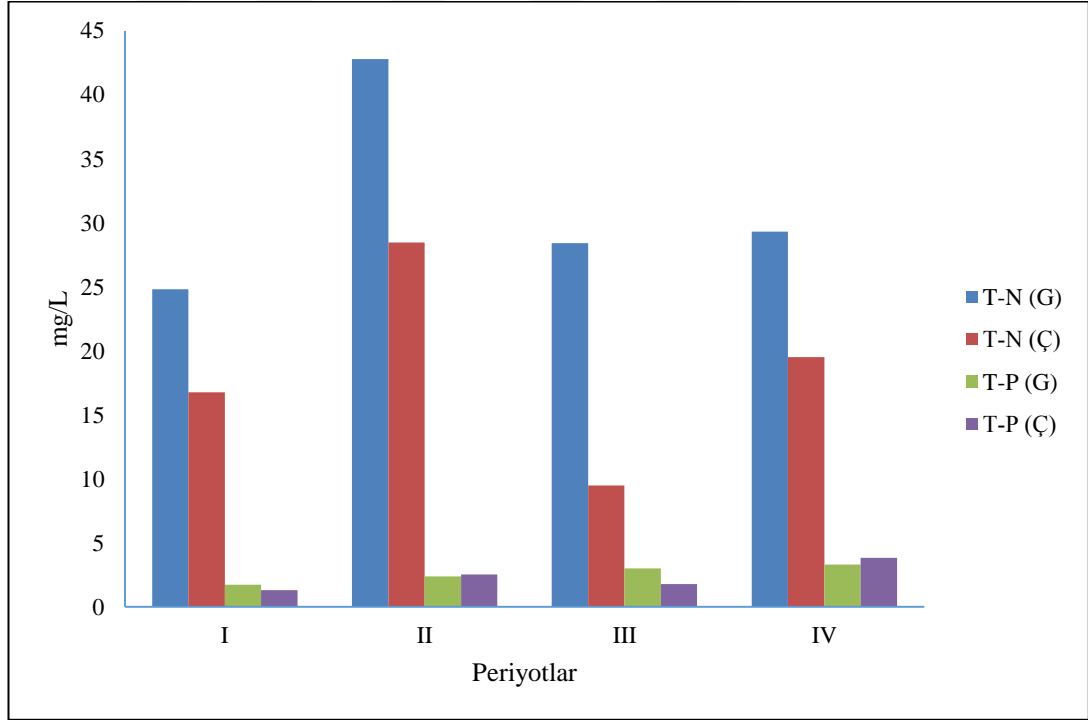
Giriş ve çıkış sularının KOİ ve BOİ değerlerinin ölçüm sonuçları Şekil 4.7'de verilmiştir.



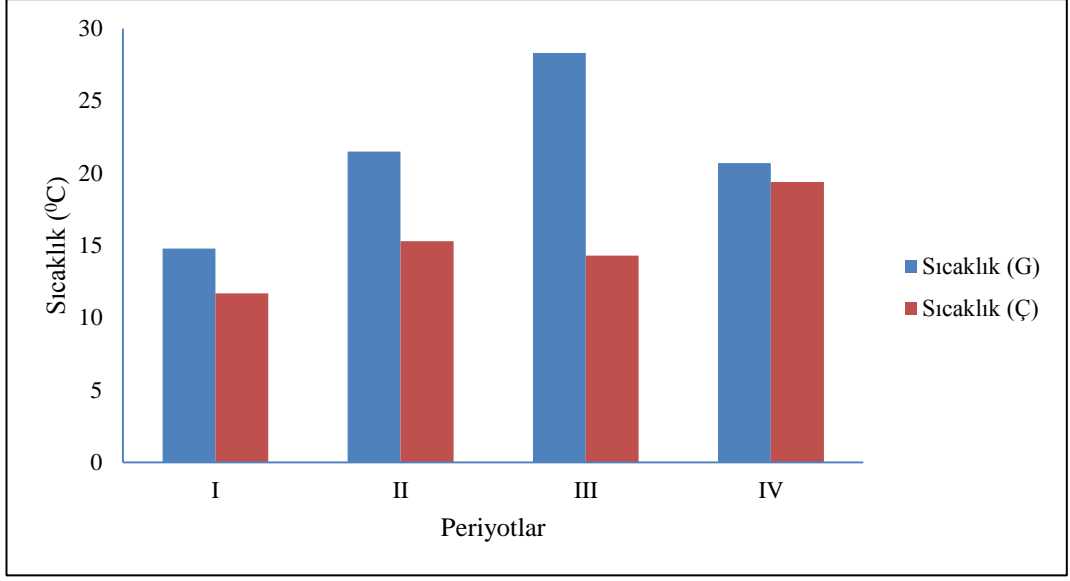
Şekil 4.7. Atık su KOİ ve BOİ giriş-çıkış değerleri



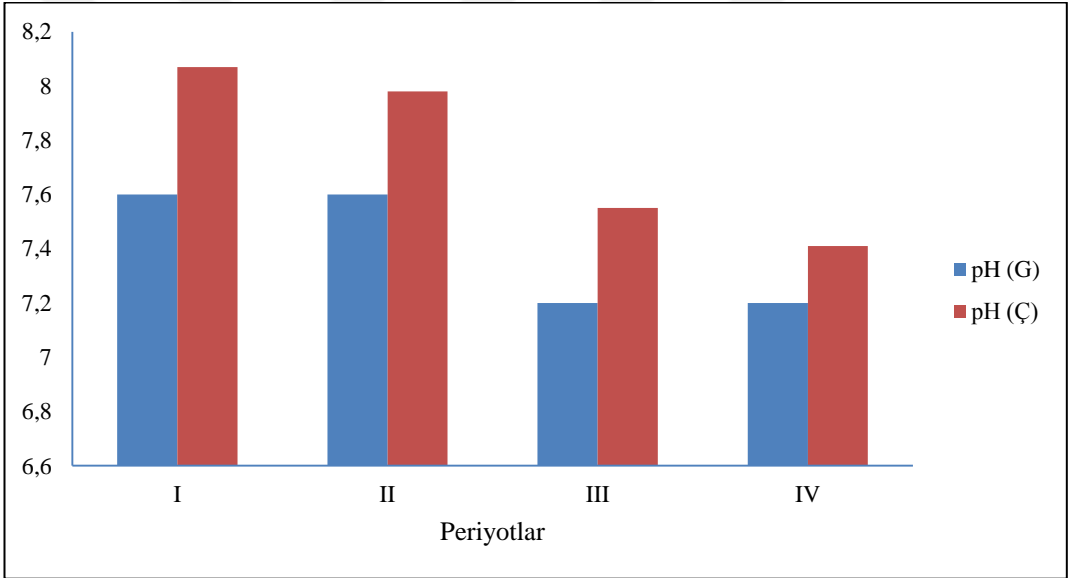
Şekil 4.8. Atık su AKM giriş-çıkış değerleri



Şekil 4.9. Atık su T-N ve T-P giriş-çıkış değerleri



Şekil 4.10. Atık su sıcaklık giriş-çıkış değerleri



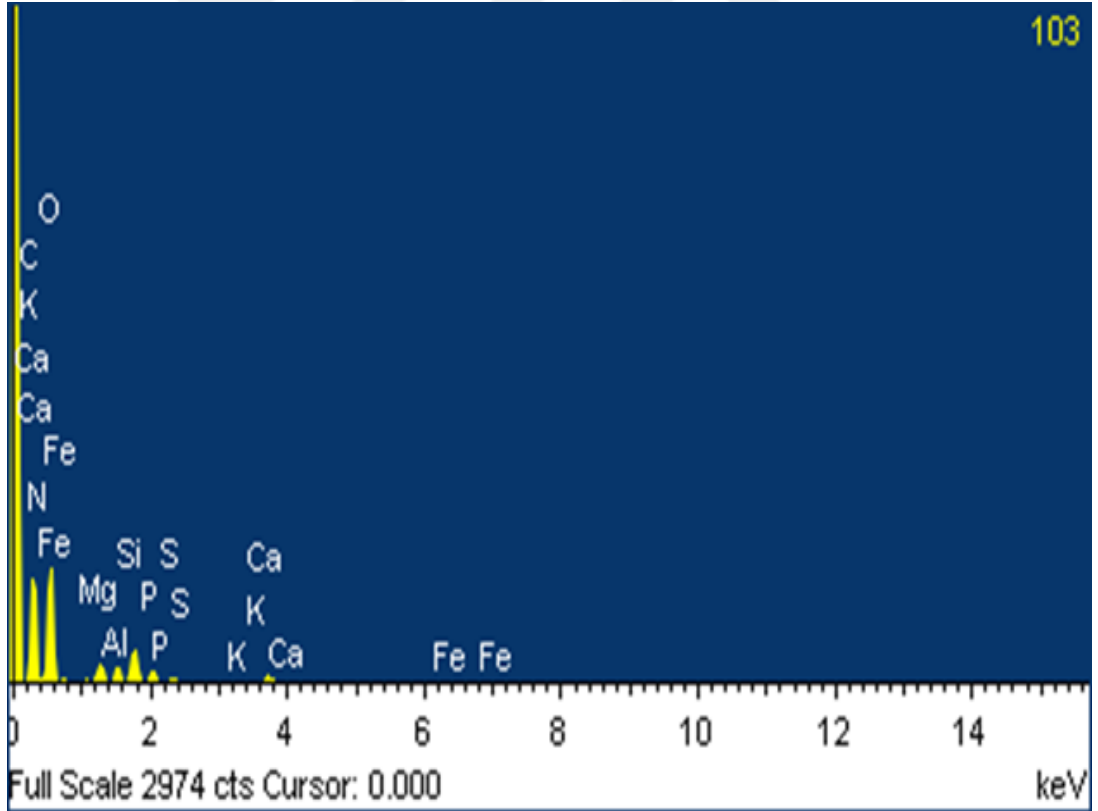
Şekil 4.11. Atık su pH giriş-çıkış değerleri

4.2. SEM-EDS analizi

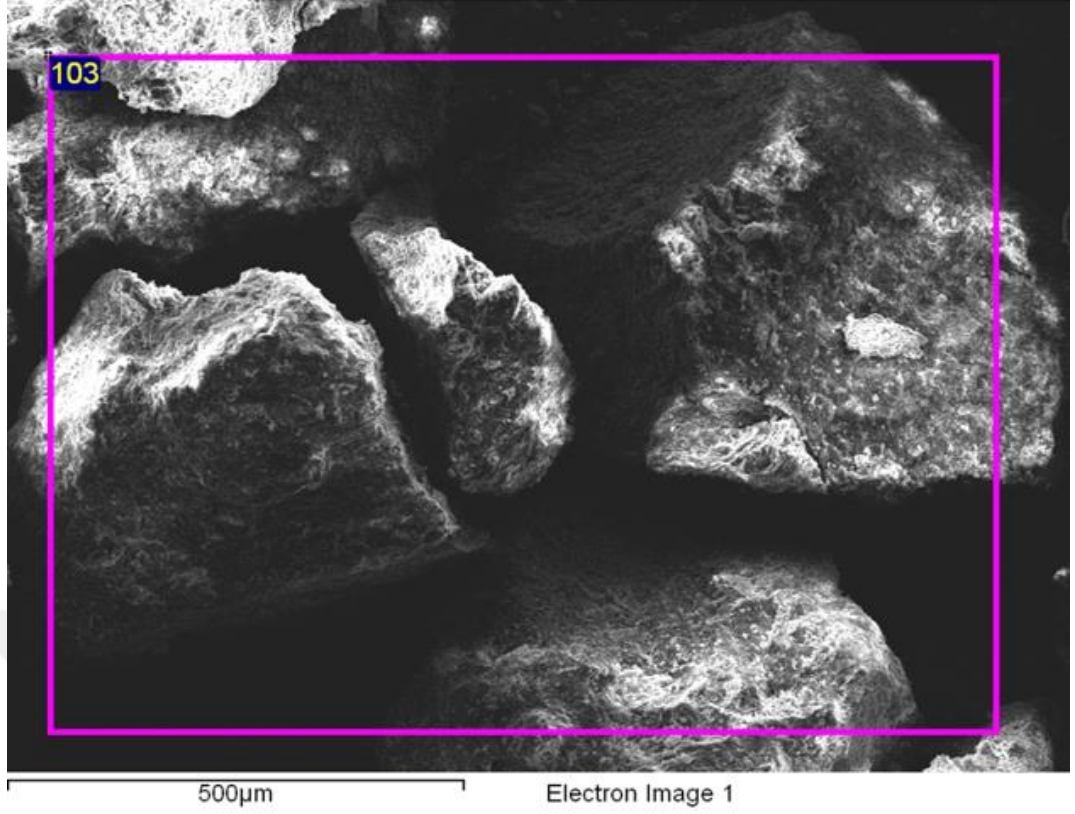
Elde edilen SEM-EDS görüntüleri Şekil 4.12-Şekil 4.19'de ve element yüzdeleri Çizelge 4.6-Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. 103 °C'de kurutulmuş a.ç'a ait element yüzdeleri

Element	Ağırlıkça Oran (%)	Atom sayısı olarak oran (%)
C K	41.92	51.22
N K	4.10	4.30
O K	42.95	39.40
Mg K	1.54	0.93
Al K	1.14	0.62
Si K	2.98	1.56
P K	1.31	0.62
S K	0.61	0.28
K K	0.28	0.10
Ca K	1.36	0.50
Fe K	1.81	0.48
Toplam	100	100



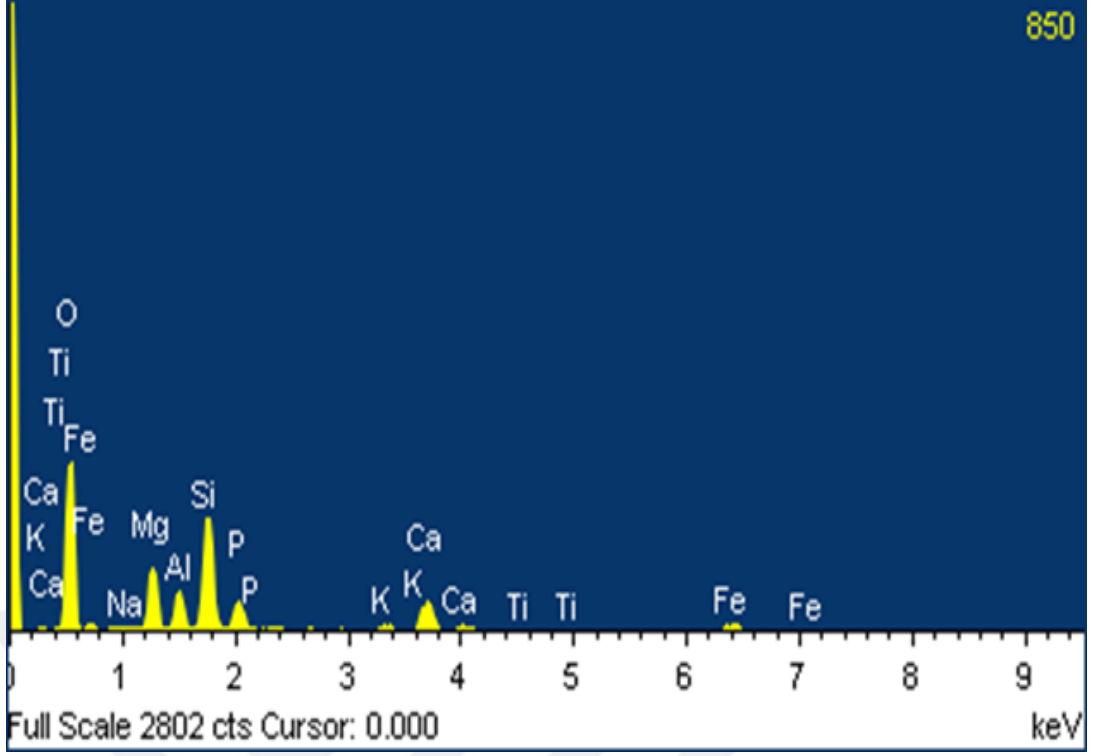
Şekil 4.12. 103 °C'de kurutulmuş a.ç'a ait EDS spektrumu



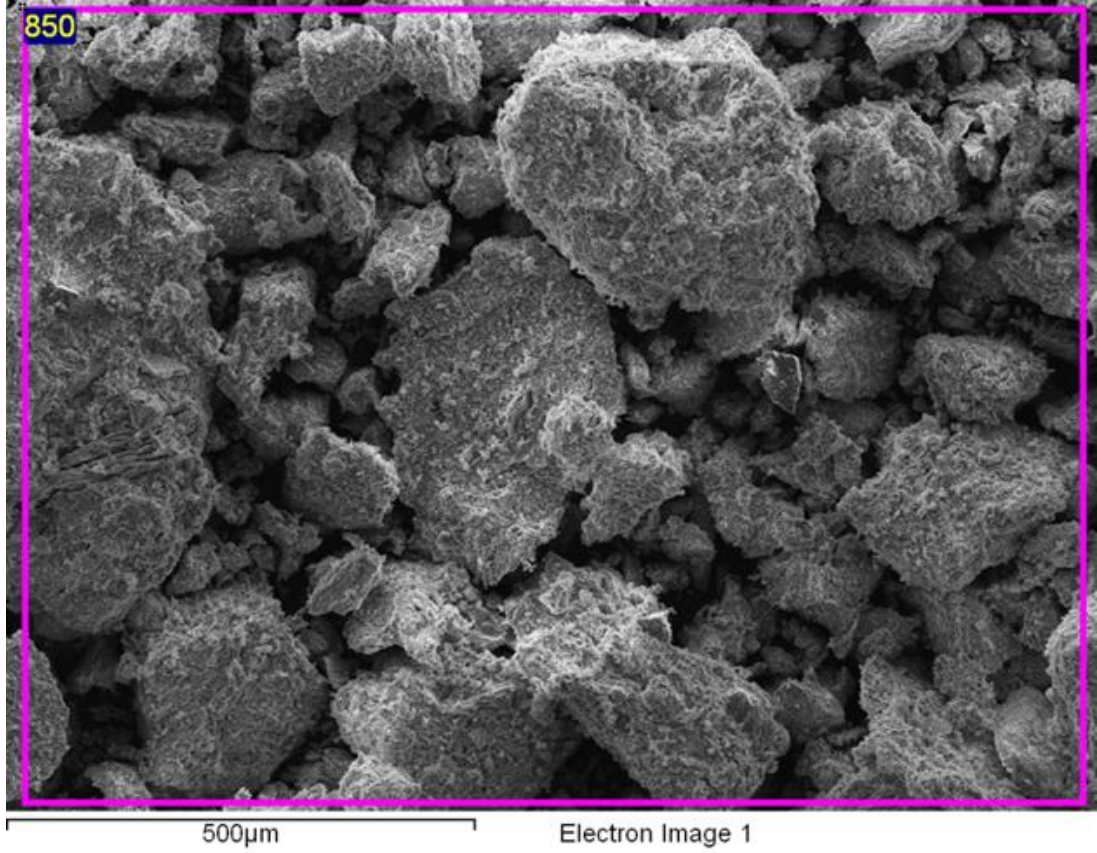
Şekil 4.13. 103 °C'de kurutulmuş a.ç'a ait SEM görüntüsü

Çizelge 4.7. 850 °C'de yakılmış a.ç'a ait element yüzdeleri

Element	Kütlece (%)	Atomik (%)
O K	52.79	68.77
Na K	0.47	0.43
Mg K	7.28	6.24
Al K	4.18	3.23
Si K	14.60	10.83
P K	4.87	3.28
K K	1.27	0.68
Ca K	7.51	3.91
Ti K	0.20	0.09
Fe K	6.84	2.55
Toplam	100	100



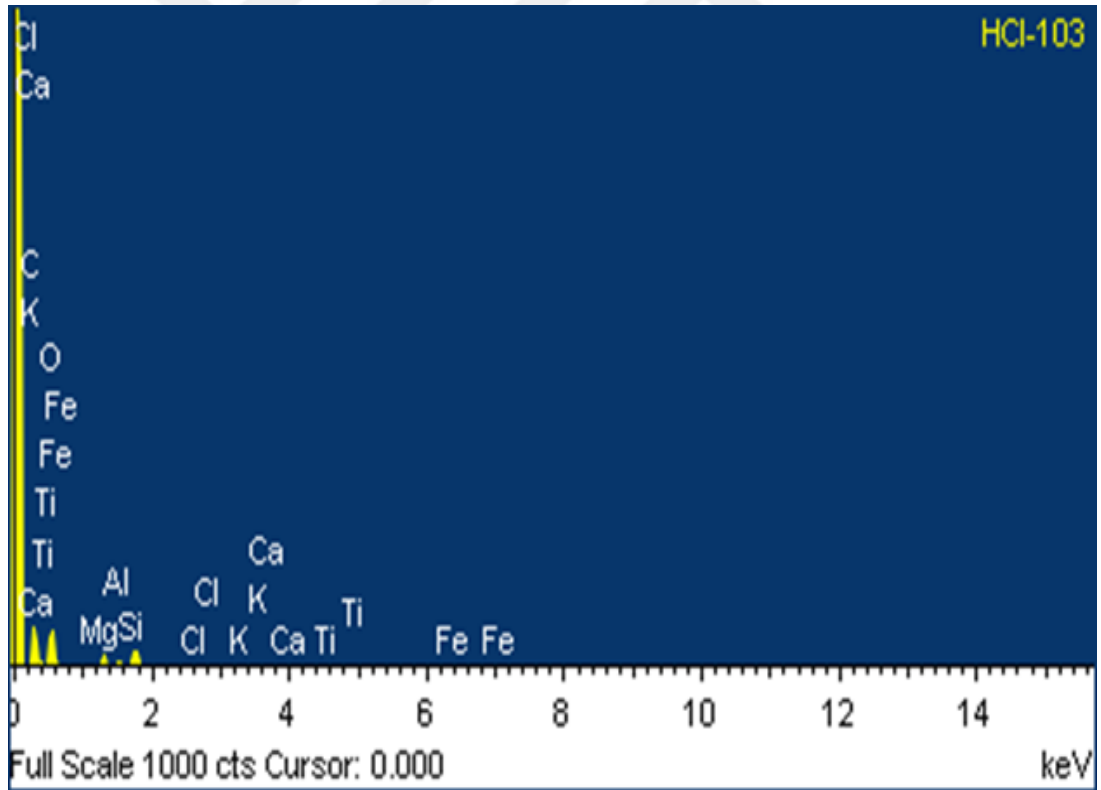
Şekil 4.14. 850⁰C'de yakılmış a.ç'a ait EDS spektrumu



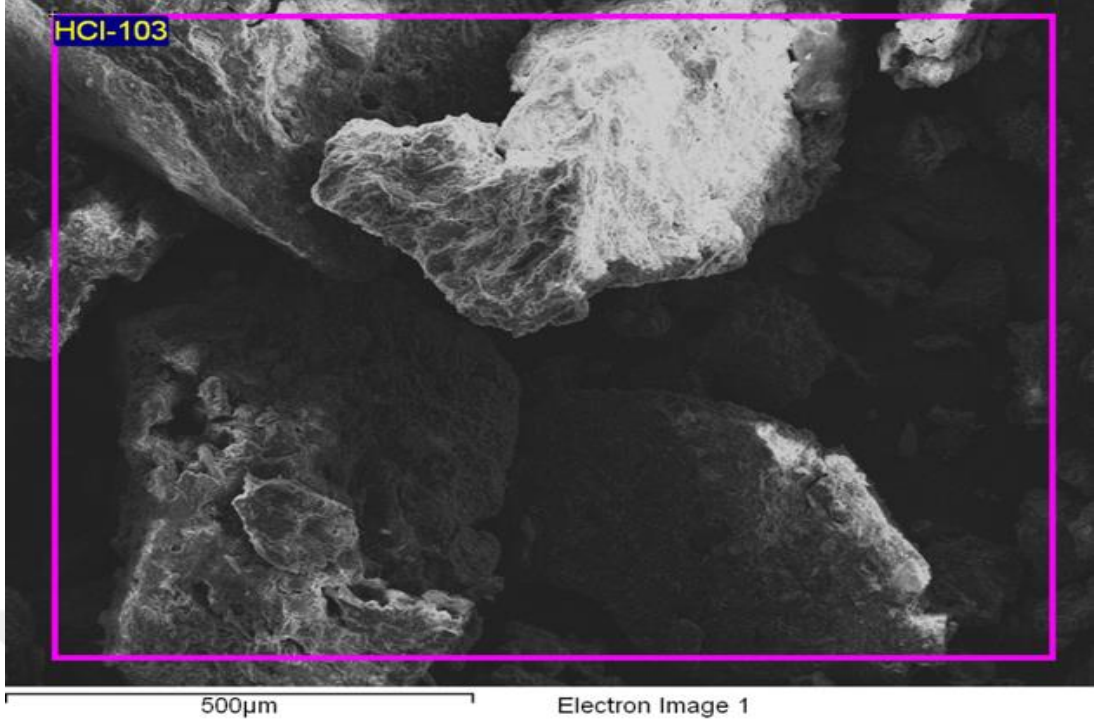
Şekil 4.15. 850⁰C'de yakılmış a.ç SEM görüntüsü

Çizelge 4.8. 103⁰C'de HCl ile işlem görmüş a.ç'a ait element yüzdeleri

Element	Kütlece (%)	Atomik (%)
C K	44.36	53.62
O K	45.52	41.31
Mg K	2.42	1.45
Al K	0.73	0.39
Si K	5.15	2.66
Cl K	0.12	0.05
K K	0.29	0.11
Ca K	0.27	0.10
Ti K	0.38	0.11
Fe K	0.76	0.20
Toplam	100	100



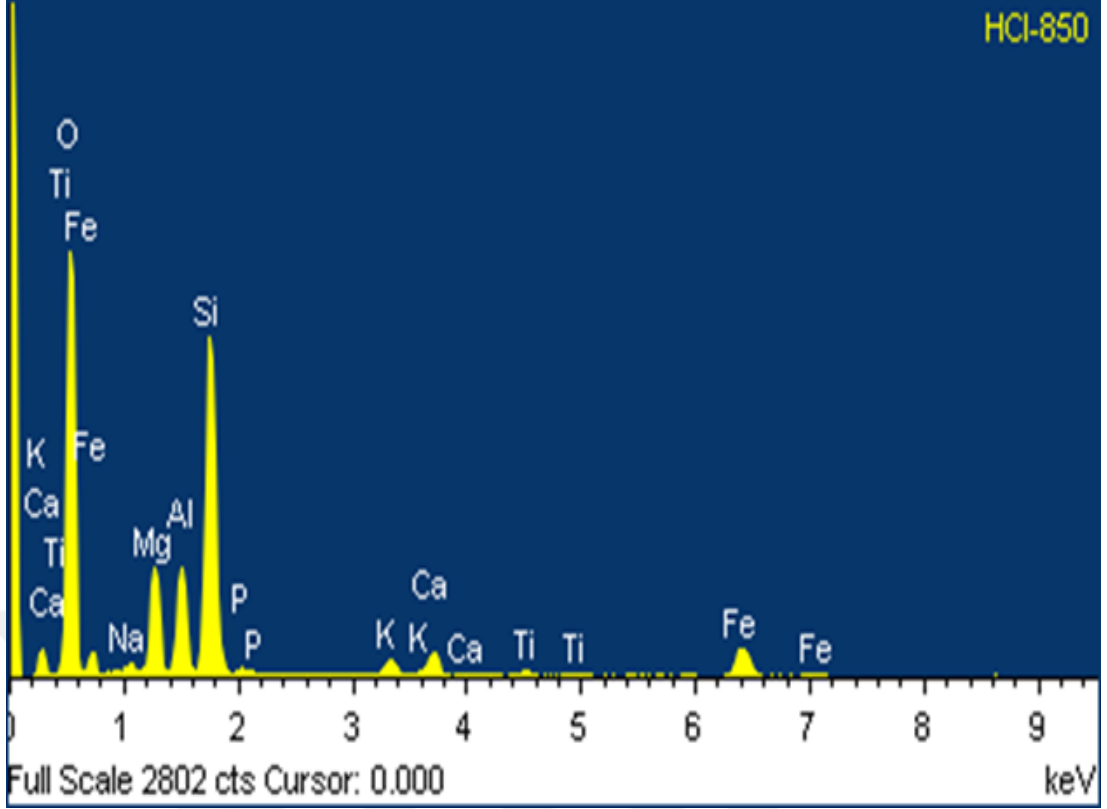
Şekil 4.16. 103⁰C'de HCl ile işlem görmüş a.ç EDS spektrumu



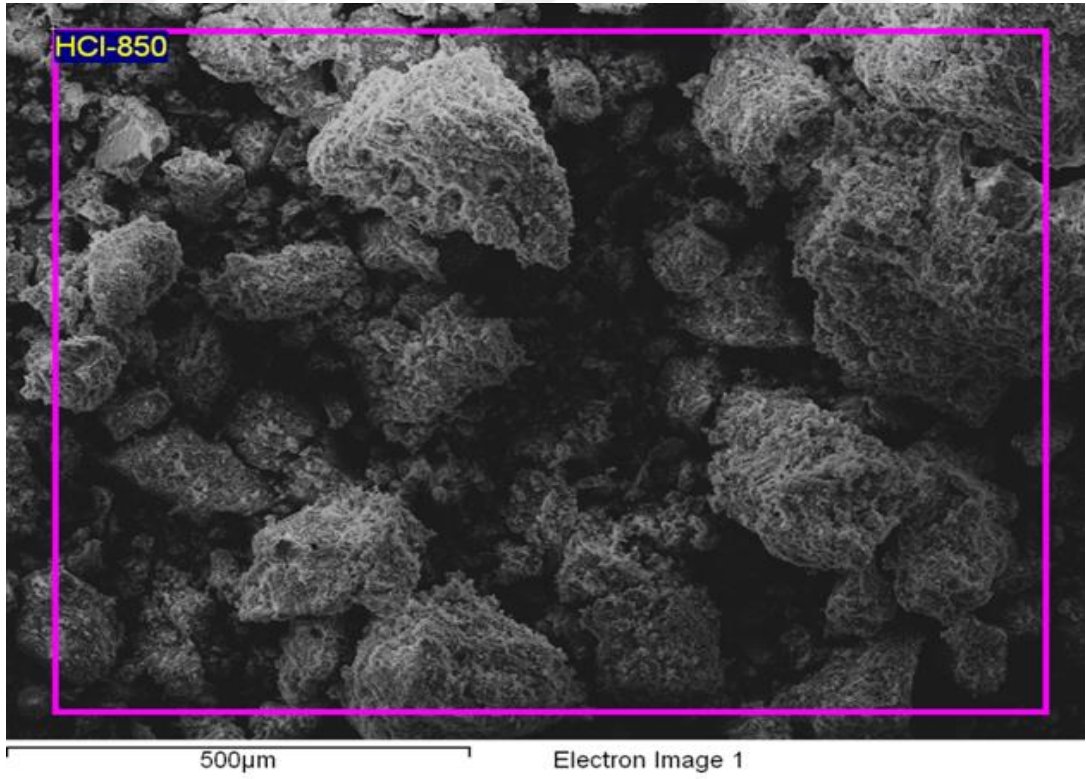
Şekil 4.17. 103⁰C'de HCl ile işlem görmüş a.ç SEM görüntüsü

Çizelge 4.9. 850⁰C'de HCl ile işlem görmüş a.ç'a ait element yüzdeleri

Element	Kütlece (%)	Atomik (%)
O K	51.26	67.92
Na K	0.78	0.72
Mg K	6.02	5.25
Al K	5.46	4.29
Si K	19.04	14.37
P K	0.35	0.24
K K	1.61	0.87
Ca K	2.72	1.44
Ti K	0.80	0.36
Fe K	11.95	4.54
Toplam	100	100



Şekil 4.18. 850⁰C'de HCl ile işlem görmüş a.ç EDS spektrumu



Şekil 4.19. 850⁰C'de HCl ile işlem görmüş a.ç SEM görüntüsü

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada atık su arıtma tesislerinden çıkan atık çamurun, fosfor geri kazanımı ve gübre olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Böylece yılda tonlarca oluşan atık çamur ve bunun için ödenen bertaraf maliyetlerinin azaltılması öngörülmüştür. Bu amaç doğrultusunda, Köyceğiz atık su arıtım tesisinden alınan atık çamur örneklerine farklı ısıl işlemler uygulanıp, farklı derişimlerde asit ve baz çözeltileri kullanılarak sıvı-katı ekstraksiyonu ile fosfor geri kazanım çalışmaları yapıldı.

Çalışma sırasında, çamur örneklerine farklı sıcaklıklarda kurutma (103 °C) ve yakma (850 °C) işlemleri uygulandıktan sonra farklı konsantrasyonlarda hazırlanan (0.01, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 3.5 mol/L) HCl, H₂SO₄ ve NaOH çözeltilerinden ekliyerek sıvı-katı ekstraksiyon işlemleri yapılmıştır. Asit ve bazların kullanılması çamurun parçalaması ve fosfor içeren çamurdan farklı bileşenlerin salınması için önemli bir adımdır. Yapılan bu çalışmada 850 °C ile ısıl işlem görmüş arıtma çamurundan, yakma işlemi ile organik maddenin uzaklaştığı ve organik madde uzaklaşması ile daha fazla miktarda fosfor kazanımı elde edildiği tespit edilmiştir (Şekil 4.5.). Bu işlemler ile organik madde salınımı gerçekleşmektedir. Ayrıca deney aşamasında NaOH farklı konsantrasyonlarda eklenmesi de organik materyalin azalmasına yardımcı olmaktadır. Fosfor geri kazanımı, azalan organik madde miktarı ile kolaylaşmaktadır (Stark, 2005).

Sonuçlara bakıldığı zaman en fazla fosfor kazanımı HCl ve H₂SO₄ ile yapılan deneysel aşamalarda elde edilmiştir. Fakat H₂SO₄, derişim ve sıcaklık (850 °C) artışları ile beraber dengeli bir dağılım gösterememiştir. HCl ise genel olarak derişim ve 850 °C deney sonuçlarında, yüksek verim ile daha dengeli bir dağılım vermiştir. Koutsoukos and Valsami-Jones, (2004); Stak, (2006); Chapagain, (2016), çalışmalarında HCl ile diğer kimyasal asit ve bazlara (H₂SO₄ ve NaOH) oranla daha fazla geri kazanım elde etmişlerdir.

Farklı pH değerlerinde fosfor kazanımı için, istenilen pH değerlerine ulaşmakta ne kadar kimyasal maddenin gerekli olduğunu bilmek önemlidir. Yüksek fosfor kazanımı düşük pH değerlerinde asit kullanarak elde edilmektedir. Yapılan

çalışmalarda asit kullanımının baz kullanımına göre daha faydalı olduğunu göstermektedir (Stark, 2005).

Arıtma amurları 850 °C’de yakıldığında elde edilen fosfor geri kazanım oranının 103 °C’de kurutulmuş arıtma çamurundan oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yakma işlemi ile atık çamurun fiziksel olarak siyah renkten açık kırmızıya dönüştüğü, ayrıca çamurun büyük bir kısmının (% 55) da bertaraf edildiği tespit edilmiştir. 103 °C’de kurutulmuş atık çamur toplam fosfor değereri 25 g/kg tespit edilirken, 850 °C’ yakılmış atık çamurunda toplam fosfor değereri 37.5 g/kg tespit edilmiştir.

BOİ₅ sularda mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılabilen organik maddelerin miktarını belirlemede kullanılan bir parametre olup, bu maddelerin ayrıştırılması için gerekli olan oksijen miktarını belirtir. Atık su rnekleri BOİ₅ değerlerine bakıldığı zaman giriş aşamasında yüksek iken arıtım işlemlerinden sonra değerlerde düşüş gözlemlenmiştir. BOİ₅ değerleri giriş sularında yıllık ortalama 54 mg/L iken çıkış sularında yıllık ortalama 14 mg/L bulunmuştur. Evsel nitelikli atık su deşarj sınırlarına bakıldığı zaman çıkış suları sınır değereri olan 50 mg/L’nin altında tespit edilmiştir.

KOİ su ve atıksularda organik maddelerin konsantrasyonlarındaki değerışimleri incelemek için kullanılır. KOİ toksik durumların ortaya çıkarılmasında ve biyolojik olarak indirgenmeyen organik maddelerin belirlenmesinde önemlidir. Endüstriyel arıtım tesisleri sularında sıklıkla kullanılmaktadır. KOİ değerleri giriş sularında yıllık ortalama 136 mg/L iken çıkış sularında bu değer yıllık ortalama 20 mg/L olarak bulunmuştur. Evsel nitelikli atık su deşarj sınırlarına bakıldığı zaman çıkış suları sınır değereri olan 140 mg/L’nin altında tespit edilmiştir.

Askıda katı madde miktarı atık sularda filtre üzerinde kalan maddelerin kurutulup soğutulmasıyla bulunmektedir. Kirlilik derecesi ve arıtma tesisi veriminde önemli bir parametredir. AKM değerleri giriş sularında yıllık ortalama 53 mg/L iken çıkış sularında yıllık ortalama yaklaşık 3 mg/L olarak bulunmuştur. Evsel nitelikli atık su deşarj sınırlarına bakıldığı zaman çıkış suları sınır değereri olan 45 mg/L’nin altında tespit edilmiştir.

Azot ve fosfor canlı organizmalar için çok önemlidir. Fazla miktarda azotlu suların deşarjları sebebiyle alg patlaması ve ötrofikasyon durumlarının önlenmesi amacıyla

özellikle endüstriyel atık su arıtım tesislerinden çıkan sularda azotun uzaklaştırılması ve miktarının azaltılmasına ihtiyaç vardır. Atık sularda azot pH'ya göre amonyum iyonu ya da amonyak şeklinde bulunabilmektedir. Sularda fosfor, fosfat şeklinde bulunmaktadır. Evsel atık sular fosfor bileşenlerince zengindir. Atık sularda fosfat ve polifosfat bileşikleri yüksek miktarda bulunmaktadır. T-P değerleri giriş sularında yıllık ortalama 2,61 mg/L iken çıkış sularında yıllık ortalama 2,36 mg/L olarak bulunmuştur. T-N ise giriş sularında yıllık ortalama 31,3 mg/L, çıkış sularında 18,5 mg/L olarak tespit edilmiştir. Katı atık değerlendirme ve bertaraf tesis sularına bakıldığı zaman T-P çıkış sularında sınır değer olan 2 mg/L'nin üzerinde bulunmuştur. Artışlar ikinci ve dördüncü periyotlardadır. T-N giriş sularında yıllık ortalama 31,3 iken çıkış sularında 18,5 mg/L olarak tespit edilmiştir. Katı atık değerlendirme ve bertaraf tesis sularına bakıldığı zaman sınır değer olan 20 mg/L'nin üzerinde sadece ikinci periyotta görülmüştür.

Nitrifikasyon bakterilerinin maksimum büyüme hızı kritik sıcaklıklarda olmaktadır. Sıcaklığın düşmesiyle nitrifikasyon hızı da düşmektedir. Nitrifikasyon bakterileri için oksijen ve pH'da kritik parametrelerdir. Sıcaklık ve pH arıtma tesisi verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Tesislerde performans açısından sıcaklık 21 °C ve pH 4,5-5,5 arası belirlenmektedir. Sıcaklık değerleri giriş sularında yıllık ortalama 21 °C ve çıkış sularında 15 °C tespit edilmiştir. pH ise giriş sularında 7,4 iken yıllık ortalama çıkış sularında 7,7'dir.

Kurutulmuş ve yakılmış çamur örneklerinin SEM-EDS analiz sonuçları incelenerek yorumlanmıştır. Kimyasal asitler ve ısıl işlemler sonrasında organik maddenin uzaklaşarak forfor kazanımının kolaylaştığı tespit edilmiştir.

SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizi

Atık çamur örneklerinin daha detaylı incelenebilmesi için taramalı elektron mikroskobu kullanılarak tüm atık çamur örnekleri incelenmiştir. Örnekler incelendiği zaman 103 °C'de kurutulmuş ve 103 °C'de kurutulup HCl ile işlem görmüş atık çamur örneklerinin birbiri ile benzer (Şekil 4.13 ve Şekil 4.17). 850 °C'de yakılmış ve 850 °C'de yakılıp HCl ile işlem görmüş atık çamur örneklerinin birbiri ile benzer özellikte olduğu görülmektedir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.19). Kurutulan çamur örneklerinin SEM görüntüleri yüzeysel olarak daha düzgün bir yapıya sahipken, yakılma işleminden sonra atık çamur örneklerinin SEM görüntülerinde

parçalanmalar tespit edilmiştir. Çalışma esnasında da fiziksel olarak bakıldığı zaman atık çamurların ısıtılma işleminden sonra daha küçük boyutlarda elde edilirken, renk açısından da değişiklikler olduğu tespit edilmiştir.

EDS (Enerji dağılım spektroskopisi) analizi

Atık çamur örneklerinde EDS analizi ile madde tayini yapılarak temel kirleticiler tespit edilmiştir. 103 °C’de kurutulmuş atık çamur örneklerinde EDS sonuçlarına bakıldığı zaman birincil kirleticilerin (Şekil 4.12); karbon, azot, silisyum, demir ve fosfor olduğu tespit edilmiştir. 103 °C’de kurutulmuş ve aynı zamanda HCl ile işlem görmüş atık çamurda EDS analizi sonucu (Şekil 4.16); Karbon, silisyum, magnezyum kirleticilerinin fazla olduğu tespit edilmiştir. 103 °C’de kurutulmuş atık çamur EDS analizinde fosfor tespit edilirken, 103 °C’de HCl ile işlem görmüş olan atık çamurda fosfor tespit edilmemiştir. Organik maddeler sıcaklık artışı ile beraber ortamdan uzaklaşmıştır. Karbon da yine bunlardan bir tanesidir.

850 °C’de yakılmış atık çamur örneklerinin EDS sonuçlarına bakıldığında birincil kirleticilerin (Şekil 4.14); Silisyum, magnezyum, kalsiyum, demir, alüminyum ve fosfor olduğu tespit edilmiştir. 850 °C’de yakılmış ve HCl ile işlem görmüş atık çamur örneklerinin EDS analizlerine bakıldığı zaman (Şekil 4.18); Silisyum, demir, magnezyum, alüminyum ve kalsiyum kirleticilerinin fazla olduğu bulunmuştur. Soybay ve Koyuncu (2017) atık su arıtma tesislerinde yaptığı çalışmada EDS ve SEM analizlerini benzer şekilde değerlendirmişlerdir. EDS analizleri sonucunda birincil kirleticisi olarak; karbon, alüminyum, silisyum ve fosfor, ikincil kirleticisi olarak ise potasyum, azot, titanyum varlığını tespit edilmiştir. Kim ve ark. (2012) atık çamur çalışmalarında EDS-SEM sonuçlarını yorumlayarak, karbon, silisyum, klor, bakır varlığını tespit etmişlerdir.

6. ÖNERİLER

1. Yapılan çalışma ve literatürdeki çalışmalara bakıldığı zaman en fazla fosfor kazanımı asitlerle yapılan işlemlerde elde edilmiştir. HCl ile yapılan deneysel işlemlerde daha fazla verim elde edilmiştir.
2. Arıtma çamurları 850 °C’de yakıldığında elde edilen fosfor geri kazanım oranının oldukça yüksek olduğu ve bu yakma işlemi ile çamurun büyük bir kısmının (% 55) da bertaraf edildiği tespit edilmiştir.
3. Fosforun geri kazanım oranının süreye bağlı olarak değişkenlik göstermediği, nerdeyse ilk 1 saat içerisinde yüksek bir geri kazanım miktarı sağlandığı tespit edilmiştir.
4. Kullanılan asit çözeltilerindeki derişim miktarı arttıkça fosfor geri kazanım miktarı da artmaktadır.
5. Yapılan çalışmalarda baz çözeltilerinde asitlere oranla düşük miktarda fosfor kazanımı elde edilmiştir.
6. Laboratuvar çalışmasında 850 °C’de yakma işlemi ile beraber arıtma çamurlarının miktarında azalma tespit edilmiştir.
7. Yapılacak olan daha kapsamlı ve teknolojik çalışmalar ile beraber fosfor kazanım tekniklerinin geliştirilerek çevre açısından tehlike oluşturan atık çamur bertaraf işlemleri hız kazanmalıdır.
8. Gelecek için atık su arıtım planlama çalışmalarının şimdiden planlanarak çevre için oluşacak riskin en az seviyeye indirilmesi gerekmektedir.
9. Şehir planlamalarında öncelikli olarak kanalizasyon bağlantılarının atık su arıtım tesislerine bağlanarak altyapı çalışmalarının eksiksiz olması önemlidir.
10. İhtiyaçları karşılayacak büyüklükte altyapı sistemlerinin oluşturulması, büyük ölçekli sistemlerin tam anlamıyla çalışır olması, geçici çözümlere sahip olmaktan daha ekonomik ve çevreci bir anlayış olacaktır.
11. Atık su arıtım tesislerinden çıkan arıtma çamurları tüm toksik elementler ve patojen riskleri yok edildikten sonra gübre olarak kullanılabilir.

12. İşlenmiş arıtma çamurları, bitkisel üretim için gerekli olan bütün besin maddelerini bir arada bulundurduğu için tarımsal alanlarda kullanılabilir.
13. Atık çamurlar kapatılmış maden, taş, kömür ocakları gibi ıslah edilmesi gereken noktalarda kullanılabilir.
14. Atık çamur yeşil alanlar, park, bahçe, yeşillendirme, orman çalışmaları gibi noktalarda kullanılabilir.
15. Farklı teknolojik çalışmalar ile atık çamur örneklerinden enerji, yakıt, gaz gibi ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilir.
16. Atık su arıtma tesislerinden çıkan atık çamurlar katı atıkların kontrolü yönetmeliği (KAKY) kapsamında doğaya bırakılmalıdır.
17. Ülkemizde de sayıları her geçen gün artan atıksu arıtma tesislerinden açığa çıkan atıkların miktarı önemli boyutlara ulaşmış ve uzaklaştırma yöntemleri henüz son zamanlarda araştırılmaya başlanmıştır. Dünya'daki mevcut teknolojilerin ülkemizdeki katı atık ve arıtma çamurlarına uygulanması konusunda çalışmalar başlatılması, gerek ekonomik gerekse çevre açısından son derece önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, günümüz arıtma teknolojisinde son atık olan arıtma çamurlarından düşük maliyetli bir yöntem ile fosfor geri kazanımı ve yeniden kullanılabilirliği laboratuvar çalışmalarıyla anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akat, H., Demirkan, Ç, D. (2013) *Atıksu Arıtım Çamurlarının Süs Bitkisi Yetiştiriciliğinde Kullanılması*, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt 27-1; Bursa;129-141s.
- Akpor, O, B., Kayode, O, I., Banbalola, O, O. (2015) *Effect of Carbonated Dead Bio-mass of a non- Edible Mushroom on Nutrient Adsorption from Wastewater and Aque-ous Solution*, International Journal of Basis And applied Chemical Scieces Vol 5(3): 79-91s.
- Akwo S.N. (2008) *A Life Cycle Assessment of Sewage Sludge Treatment Options*, Environmental Management, Aalborg University, Denmark;1-82s.
- APHA, AWWA, WEF, (2012) *Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 22st. Edition, American Public Health Association, Washington, 4-103:4-169.
- Aral, N. (1990) *Arıtma Çamurları Tasfiyesinde Arazide Kullanılma İmkanları*, 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu 24 – 26 Eylül İstanbul, Sayfa 13-21s.
- Arıkan, O.A., Öztürk, İ. (2005) *Arıtma Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Eysel Katı Atık İlavesinin Etkisi*, İTÜ Dergisi/d, 4(1): 15-24s.
- Ashley, K., Cordell, D., Mavinic, D., (2011) *A brief history of phosphorus: from the philosopher's stone to nutrient recovery and reuse*. Chemosphere 84, 737-746s.
- Bengtsson, M., Tillman, A, M. (2004) *Actors and interpretations in an environmental controversy: The Swedish debate on sewage sludge use in agriculture*. J. Resour. Conserv. Recycl., 42(1): 65-82s.
- Blöcher, C., Niewersch, C., Melin, T. (2012) *Phosphorus Recovery From Sewage Sludge With a Hybrid Process of Low Pressure Wet Oxidation and Nanofiltration*, Bayer Technology Services, Water Research, Almanya; 1-11s.

- Cieslik, B., Konieczka, P. (2016) *A Review of Phosphorus Recovery Methods at Various Steps of Wastewater Treatment and Sewage Sludge Management. The Concept of "No solid waste generation" and Analytical Methods*, Gdansk University of Technology, Journal of Cleaner Production, Poland; 1-13s.
- Cordell, D., Jan-Olof, D., Stuart, W. (2009) *The Story of Phosphorus: Global Food Security and Food for thought*, Journal of Global Environmental Change 19:292-305s.
- Cordell, D., Rosemarin, A., Schröder, J.J., Smit, L.A. (2011) *Towards Global Phosphorus Security: A Systems Framework for Phosphorus Recovery and Reuse Options*, University of Sydney, Chemosphere, 84:747-758s.
- Cordell, D., White, S. (2011) *Peak Phosphorus; Clarifying the key issues of a vigorous debate about long term phosphorus security*, University of Technology Sydney, Sustainability, 3(10), 2027-2049s.
- Cornel, P. ve Schaum, C. (2009) *Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs*, Water Science and Technology, 59 (6), s. 1069-1076s.
- Chapagain, Y. (2016) *Metots and Possibility of Recycling of Phosphorus from Sludge*, Environmental Engineering, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki, Finland;1-51s.
- Çetinkale, G. (2009) *Cyndon dactylon (L.) Pers. Çim Alanlarında Kentsel Su Arıtım Sistem Çamurlarından Yararlanabilme Olanakları*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana;1-84s.
- Çimrin, M, K., Bozkurt, A, M., Erdal, İ. (2000) *Kentsel Arıtım Çamurunun Tarımda Fosfor Kaynağı Olarak Kullanılması*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, Van, 10(1);85-90s.
- Dawson, C.J., Hilton, J. (2011) *Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus*. Food Policy 36:S14–S22s.

- Dede, G. (2017) *Süs Bitkisi Toprağında Arıtma Çamuru Stabilizasyonu*, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Adana; 32(3). 217-225s.
- Desmidt, E., Ghyselbrecht, K., Zhang, Y., Pinoy, L., Van der Bruggen, B., Verstraete, W., Rabaey, K., Meesschaert, B. (2015) *Global phosphorus scarcity and full-scale P-recovery techniques: A review*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 45:336–384s.
- Ebbers, B., Ottosen, M,L., Jenssen, E, P.(2015) *Electrodialytic Treatment of Municipal Wastewater and Sludge for the Removal of Heavy Metal and Recovery of Phosphorus*, Dtu- Byg, Denmark, Electrochimica Acta;1-33s.
- Egle, L., Rechberger, H., Krampe, J., Zessner, M. (2016) *Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies*. Science of the Total Environment 571, 522–542s.
- Ehbrecht, A., Schuhmann, R. (2009) *Nutrient Management in Wastewater Treatment Processes. Phosphate Fertilizer From Sewage Sludge Ash*. Waste Management, 28(10): 1809-1818s.
- Fonts, I., Azuara, M., Gea, G., Murillo, M,B. (2009) *Study of the pyrolysis liquids obtained from different sewage sludge*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 2009;85:184–91s.
- Göçmez, S. (2006) *Menemen Ovası Topraklarında İzsu Kentsel Arıtma Çamuru Uygulamalarının Mikrobiyal Aktivite Ve Biyomas İle Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir; 1-224s.
- Görgeç, G, A. (2017) *Mevcut Arıtma Tesislerinde Uygun Modifikasyonlarla Azot ve Fosfor Arıtımının İncelenmesi ve Modellenmesi*, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul; 1-95s.

- Herzel, H., Krüger, O., Hermann, L., Adam, C. (2015) *Sewage Sludge Ash- A promising Secondary Phosphorus Source for Fertilizer Production*, Science of The Total Environment, Germany, 18249:1-8s.
- Huang, W. (2015) *Phosphorus Species, Distribution and Bio-Availability in Sewage Sludge and Aerobic Granular Sludge*, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, China; 1-86s.
- Hultman, B., Levlin, E. (1997) *Sustainable sludge handling*. Polish-Swedish seminar, Stockholm, 30 May 1997. Advanced Wastewater Treatment. Report No 2, Trita-Ami Report 3045, 1-15s.
- Jaffer, Y., Clark, T.A., Pearce, P., Parsons, S.A. (2002) *Potential Phosphorus Recovery By Struvite Formation*, *Water Research*, 36, 1834-1842s.
- Jonathan, J, Cole., Nina, F, Caraco., ve Gene, E, Likens. (1990) *Shortrange Atmospheric transport: A significant Source of Phosphorus to an oligotrophic lake*. *Limnol Oceanogr*, 35(6): 1230 – 1237s.
- Karl, D.M., (2000) *Aquatic ecology: phosphorus, the staff of life*. *Nature* 406, 31-33s.
- Kelessidis, A., Stasinakis, S, A. (2012) *Comparative Study Of The Methods Used For Treatment And Final Disposal Of Sewage Sludge In European Countries*, *Waste Management, Greece*, 32:1186-1195s.
- Kim, D., Lee, M. (2017) *Identification Of Phosphorus Forms in Sewage Sludge Ash During Acid Pre-Treatment For Phosphorus Recovery By Chemical Fractionation And Spectroscopy*, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Korea*, 3294-7s.
- Kim, B., Murayama, M., Colman, P.B., Hochella, F.M. (2012) *Characterization and environmental implications of nano- and larger TiO₂ particles in sewage sludge, and soils amended with sewage sludge*. *Journal of Environmental Monitoring*. 2012/14;1129-1137s.

- Koutsoukos, P.G. ve Valsami-Jones, E. (2004) Principles of phosphate dissolution and precipitation. In: Valsami-Jones, E. (Editor). Phosphorus in Environmental Technologies, Principles and Applications. IWA publishing, London, ISBN: 1 84339 001 9,195–248s.
- Krüger, O., Adam, C. (2015) *Recovery Potential Of German Sewage Sludge Ash*, Waste Management, Germany, 1-7s.
- Li, R., Yin, J., Wang, W., Li, Y., Zhang, Z. (2014) *Transformation Of Phosphorus During Drying and Roasting of Sewage Sludge*, Waste Management, China, 2014- 6s.
- Lynn, C., Dhir, K, R., Ghataora, S, G., West, R. (2015) *Sewage Sludge Ash Characteristics and Potential For Use In Concrete*, Construction and Building Materials, UK, 98:767-779s.
- Matar, M. (2008) *Use of Wastewater Sludge in Concrete Mixes*, Civil Engineering Department, The Islamic University of Gaza, Palestinian; 1-143s.
- Mayer, B,K., Baker, L,A., Boyer, T,H., Drechsel, P., Gifford, M., Hanjra, M,A., Parameswaran, P., Stoltzfus, J., Westerhoff, P., Rittmann, B,E. (2016) *Total value of phosphorus recovery*. Environmental Science and Technology 50:6606-6620s.
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2011) *Aile ve Tüketici Hizmetleri, Arıtma Çamurları*, Ankara, 850CK0101, 1-44s.
- Muski. (2014) *2015-2019 Stratejik Plan*. Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı 2014; 1-88s.
- Mdolo, P. (2016) *Sewage Sludge and Municipal Waste: Potential Sources of Phosphorus for Land Restoration*, United Nations University, Land Restoration Training Programme, Final Project, Reykjavik, Iceland:1-18s.
- Nanzer, S., Oberson, A., Berger, L., Berset, E., Hermann, L., Frossard, E. (2013) *The Plant Availability of Phosphorus From Thermo-chemicall Treated Sewage Sludge Ashes as Studied by ³³P Labeling Techniques*, Plant Soil, Switzerland, 1-18s.

- Neyens, E., Baeyens, J., Dewil, R. (2004) *Advanced Sludge Treatment Affects Extracellular Polymeric Substances To Improve Activated Sludge Dewatering*. 106, 83–92s.
- Nieminen, J. (2010) *Phosphorus Recovery and Recycling From Municipal Wastewater Sludge*, Civil and Environmental Engineering, Aalto University School of Science and Technology, Finland;1-99s.
- Nilsson, C., Dahlström, H. (2005) *Treatment and Disposal Methods for Wastewater Sludge in the area of Beijing*, Department of Water and Environmental Engineering, Lund University, China;1-96s.
- Norup, J., Aberg, E. (2015) *Quality Assessment of Sludge from Glen Valley Wastewater Treatment Plant and Its Potential as Ferstilizier*, Water and Environmental Engineering, Department of Chemical Engineering, Lund University, Sweden; 101s.
- Nriagu, J. O., Pacyna, J. M., (1988) *Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals*. Nature (London), 333: 134-139s.
- Pakdil, B. N., Filibeli, A. (2007) *Aritma Çamurlarında Fosfor Salınmasını Etkileyen Parametrelerin Box-Wilson deneysel tasarım Metodu kullanılarak İncelenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İtü dergisi, 17:3:25-32s.
- Pardo, P., Rauret, G., Lopez-Sanchez, J. F. (2003) *Shortened Screening Method For Phosphorus Fractionation In Sediments A Complementary Approach To The Standards*, Measurements And Testing Harmonised Protocol. Analytica Chimica Acta. 508 (2004) 201–206s.
- Pihl, T. (2017) *Recory and Reuse of Phosphorus from Municipal Wastewater- Applications and Attitudes in Finland*, Civil and Environmental Engineering, Aalto University School of Science and Technology, Finland;1-33s.

- Piotr, R., Barbara P. (2015) *Blue-green algae blooms: environmental and Health consequences, Causes, Economic Implications and Future Challenges*, 155-182s.
- Reijnders, L. (2014) *Phosphorus Resources, Their Depletion And Conservation, A Review*. *Resources, Conservation and Recycling* 93:32–49s.
- Rhyner, C, Z., Schwartz, L, J., Wenger, R, B. Ve Kohrell, M, G. (1995) *Waste Management and Resource Recovery*, CRC Pres, Inc., Florida, USA, 199-361s.
- Saktaywin, W., Tsuno, H., Nagare, H., Soyama, T., Weerapakkaron, J. (2005) *Advanced Sewage Treatment Process With Excess Sludge Reduction And Phosphorus Recovery*, *Water Research*, 39: 902–910s.
- Sano, A., Kanomata, M., Inoue, H., Sugiura, N., Xu, K., Inamori, Y. (2012) *Extraction of Raw Sewage Sludge Containing Iron Phosphate for Phosphorus Recovery*, *Chemosphere*, Japan, 1243-1247s.
- Sellberg, L. (2016) *Recirculation of Phosphorus-An Optimization of processes to Phosphorus from Sewage Sludge*, *Natural Resources and Agricultural Sciences*, Swedis University, Uppsala;1-57s.
- Seyhan, D. (2009) *Country-scale phosphorus balancing as a base for resources conservation*. *Resource, Conservation and Recycling*, 53(12): 698-709s.
- Sharpley, A,N., Bergström, L., Aronsson, H., Bechmann, M., Bolster, C,H., Börling, K., ve ark. (2015) *Future agriculture with minimized phosphorus losses to waters: Research needs and direction*. *Ambio*. 10.1007/s13280-014-0612s.
- Soybay, S., Koyuncu, İ. (2017) *Karışık Endüstriyel Atıksu Arıtımında Pilot Ölçekli Membran Biyoreaktörlerde İşletme Optimizasyonu Ve Membran Yüzey Temizleme İşlemlerine Değişik Yaklaşımlar*. *ÖHÜ Müh. Bilim. Derg.* 339-350s.

- Schoumans, F, O., Bouraoui, F., Kabbe, C., Oenema, O., Dijk, C, K. (2015) *Phosphorus Management in Europe in a Changing World*, Ambio, Swedish, 180-192s.
- Schröder, J, J., Smit, A, L., Cordell, D., Rosemarin, A., (2011) *Improved phosphorus use efficiency in agriculture: a key requirement for its sustainable use*. Chemosphere 84, 822–831s.
- Schütte, T., Niewersch, C., Wintgens, T., Yüce, S. (2015) *Phosphorus Recovery from Sewage Sludge by Nanofiltration in Diafiltration Mode*, Journal of Membrane Science, Switzerland, 74-82s.
- Stark, K. (2005) *Phosphorus Release from Swage Sludge by use of Acids and Bases*. Division of water resources engineering , Royal institute of technology (KTH), S-100 44 Stockholm, Sweden; 1-12s.
- Stark, K. (2005) *Phosphorus Release and Recovery from Treated Sewage Sludge*, Royal institute of technology (KTH), Stockholm, Sweden; 1-31s.
- Stark, K. (2006) *Phosphorus Recovery by use of Sludge Fractionation*, Royal institute of technology (KTH), Vatten 62:49-56., S-100 44 Stockholm, Sweden; 1-8s.
- Steen, I., (1998) *Phosphorus Availability in The 21st Century: Management Of A Non-Renewable Resource*, Phosphorus Potassium, 217, 25–31s.
- Steffen, H., (1995) *Evsel Atıksu Nitelikli Arıtma Tesisleri Atıklarının İşlenmesine ait Tasarılar*. Su ve Atıksular Ekonomisi Sempozyumu, Ankara.
- Tezel, U., Tandukar, M., Pavlostathis, S,G. (2011) *Anaerobic biotreatment of municipal sewage sludge*. Comprehensive biotechnology, 2nd ed. In: Agathos S, editor. Environmental biotechnology and safety, vol. 6. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier; 2011.
- Thompson, O, R. (2016) *Plant Phosphorus availability of Thermally Treated Sewage Sluge*, Department of Plant and Environmental Science, University of Copenhagen, Denmark; 1-68s.

- Tyagi, K.V., Lo, L.S. (2013) *Sludge; A waste or Renewable Source for Energy and Resources Recovery?*, National Taiwan University, China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25; 708-728s.
- Uysal, A., Yılmazel, D, Y., Demirer, N, G. (2011) *Anaerobik Olarak Çürütülmüş Arıtma Çamurlarından Strüvit Çöktürmesiyle Nütrient Geri Kazanımını*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Cilt-21/1:25-32s.
- Uzun, P., Bilgili, U. (2011) *Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanım Olanakları*, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, cilt 25-2, Bursa; 135-146.
- Üstün, H., Eyüboğlu, H., Bilgin, N. (2002) *Biyokatların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı*. Aski Arıtma Tesisi Daire Başkanlığı – Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara 2002.
- Yapıcıoğlu, P., Demir, Ö. (2017) *Çamur Arıtımının Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi-Genel Bakış*, Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, Şanlıurfa; 02.78-92s.
- Zeki, Ö. (2017) *Eysel Atıksu Arıtım Tesislerinde Anaerobik Çürütücülerden Çıkan Atık Anaerobik Çamurun İleri Arıtımı ve Değerlendirme Seçenekleri*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana; 1-189s.
- Withers, P,J,A., ve Jarvie, H,P. (2008) *Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review*. *Science of the Total Environment* 400: 379–395s.
- Xu, H., He, P., Gu, W., Wang, G., Shao, L. (2012) *Recovery of Phosphorus as Strutive from Sewage Sludge Ash*, College of Environmental Science and Engineering, *Journal of Environmental Science, China*, 24(8) 1533-1538s.

www.tuik.gov.tr

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Nigar ZEYNALOVA

Uyruk : Azerbaycan

Doğum Yeri ve Tarihi: Bakü

Medeni Hali : Bekar

Telefon :

E-posta : ze.nigar07@gmail.com

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise		
Lisans	Azerbaycan Devlet Petrol ve Sanayi Üniversitesi	

Yabancı Dil(ler)

Dil (İngilizce)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma		X	
Anlama		X	
Okuma		X	
Dil (Rusça)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma			X
Konuşma			X
Anlama			X
Okuma			X