

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL BİYOLOJİK ATIK ÇAMURDAN AZOT VE FOSFOR
GERİ KAZANIMI**

**Vesile Ecem ÇELİK
1430107012**

**Danışman
Doç. Dr. Özlem SELÇUK KUŞÇU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**



© 2018 [Vesile Ecem ÇELİK]

TEZ ONAYI

Vesile Ecem ÇELİK tarafından hazırlanan "Evsel Biyolojik Atık Çamurdan Azot ve Fosfor Geri Kazanımı" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Özlem SELÇUK KUŞÇU
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ
Pamukkale Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ş. Şule KAPLAN
BEKAROĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Vesile Ecem ÇELİK



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Arıtma Çamurları	3
2.1.1. Arıtma çamuru kaynakları	4
2.1.2. Arıtma çamuru içeriği	5
2.2. Arıtma Çamuru Bertaraf Yöntemleri	6
2.2.1. Çamur stabilizasyonu.....	7
2.2.1.1. Çamur stabilizasyon yöntemleri.....	9
2.3. Çamur Dezentegrasyonu	12
2.4. Arıtma Çamurlarının Yeniden Kullanımı	13
2.5. Arıtma Çamurunun Değerlendirilmesi.....	16
2.6. Arıtma Çamurunun Toprakta Gübre Olarak Kullanımı	17
2.7. Arıtma Çamurlarından Azot ve Fosfor Geri Kazanımı	18
2.8. Magnezyum Amonyum Fosfat (MAP) ile Azot ve Fosforun Geri Kazanımı.....	19
2.8.1. MAP tanımı.....	19
2.8.2. Magnezyum amonyum fosfat (MAP) çöktürmesi.....	19
2.8.3. MAP çöktürmesine etki eden faktörler	21
2.8.3.1. pH.....	21
2.8.3.2. Sıcaklık.....	21
2.8.3.3. Mg:N oranı	22
2.8.3.4. N:P oranı	23
2.8.3.5. Farklı magnezyum kaynakları.....	23
2.8.3.6. Yabancı iyonlar.....	24
2.8.3.7. Reaksiyon süresi	24
2.8.4. Magnezyum amonyum fosfat ile geri kazanımın avantajı	25
2.8.5. MAP çöktürmesinin çevre mühendisliğindeki önemi	25
2.9. Darbeli Elektrik Alan	26
2.9.1. Atımlı elektrik akımı ekipmanları.....	27
2.9.2. Elektrik akım jeneratörü.....	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM	29
3.1. Çalışmada Kullanılan Analitik Yöntemler.....	29
3.1.1. Geri kazanım MAP (Magnezyum Amonyum Fosfat/Strüvit).....	29
3.1.2. TKOİ	29
3.1.3. ÇKOİ.....	30
3.1.4. Katı madde tayini	30
3.1.5. Magnezyum.....	30
3.1.6. TN ve TP.....	30
3.1.7. pH ve sıcaklık	31
3.2. Çalışmada Kullanılan Atık Aktif Çamur	31
3.3. Güç Kaynağı	33
3.4. PEF Sistemi.....	33
3.5. Strüvit Çöktürmesi (MAP).....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	35
4.1. PEF Sistemi.....	36
4.2. MAP Çöktürmesi	37

4.3. pH Zaman ve Sıcaklık Denemeleri	42
4.3.1. pH denemesi.....	43
4.3.2. Zaman denemesi	45
4.3.3. Sıcaklık denemesi	47
4.4. XRD Sonuçları.....	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ.....	59



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EVSEL BİYOLOJİK ATIK ÇAMURDAN AZOT VE FOSFOR GERİ KAZANIMI

Vesile Ecem ÇELİK

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Özlem SELÇUK KUŞÇU

Biyolojik arıtma çamurları organik madde, azot ve fosfor içeriği yönünden oldukça zengin bir hammadde. Bu nedenle tarımda kullanımı oldukça önemlidir. Çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı sağlanarak MAP çöktürmesi sonucu elde edilen strüvit (magnezyum amonyum fosfat), endüstriyel hammadde ve tarımsal gübre olarak kullanım için uygun bir kaynaktır. Bu çalışmada yeni bir çamur dezentegrasyon yöntemi olan darbeli elektrik alan (PEF) tekniği ile çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı ve akabinde PEF arıtımı sonrası sıvı fazda Magnezyum Amonyum Fosfat (MAP) çöktürmesi araştırılmıştır. PEF tekniği mikroorganizma ve enzimleri inaktive etmek için kullanılan, bilinen termal proseslere alternatif olarak geliştirilen yeni bir teknolojidir. Çamura uygulanan darbeli elektrik alan ile çamurun karakteristik özellikleri değişmekte ve hücre içi ham maddeler çözünür forma geçmektedir. PEF arıtımı sonrası ÇKOİ, TN ve TP gibi parametreler sıvı fazda artış göstermektedir.

Bu çalışmanın amacı, PEF sisteminin çamurdan azot ve fosfor geri kazanımına etkisini incelemek ve MAP çöktürmesi ile çamurdan strüvit oluşumunun araştırılmasıdır.

Deneyisel çalışmalarda laboratuvar ortamında kurulan PEF sistemi ve MAP çöktürmesi için hazırlanan deney düzeneği kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında PEF reaktörü ile çamurun arıtımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında MAP optimizasyonu ve akabinde MAP çökeltimi sonucu strüvit oluşumu incelenmiştir. Çalışma sonuçları çamurun PEF ön arıtımı ve MAP çökeltimi için değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, MAP, PEF, Strüvit.

2018, 59 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

NITROGEN AND PHOSPHORUS RECOVERY FROM BIOLOGICAL DOMESTIC SLUDGE

Vesile Ecem ÇELİK

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Özlem SELÇUK KUŞÇU

Sewage sludge has a fertilizer value due to its nitrogen, potassium and phosphorous contents. For this reason, its use in agriculture is very important. Struvite (magnesium ammonium phosphate) obtained as a result of MAP settlement is suitable for use as industrial raw material and agricultural fertilizer. In this study, a new sludge disintegration method, pulsed electric field (PEF) technique, has been used to recover nitrogen and phosphorus from the domestic biological waste sludge. After the PEF treatment, the precipitation of Magnesium Ammonium Phosphate (MAP) in liquid phase was investigated. PEF technology is a new technology developed to inactivate microorganisms and enzymes, as an alternative to known thermal processes. When an electric field is applied, the characteristics of the sludge changes and the intracellular materials pass into the soluble form. After the PEF treatment, parameters such as SKOI, TN and TP increase in liquid phase.

The purpose of this study is to investigate the effect of the PEF system on nitrogen and phosphorus recovery from the sludge and the formation of struvite from sludge by MAP precipitation.

Experimental study was conducted on lab-scale PEF system and MAP precipitation. The first phase of the work was sludge treatment with the PEF reactor. In the second phase of the study, MAP optimization and then struvite formation were investigated from MAP precipitate. Results of the experiments were evaluated to determine PEF pretreatment and MAP precipitation.

Keywords: Sewage sludge, MAP, PEF, Struvite,

2018, 59 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, desteğini, yardımını esirgemeyen, karşılaştığım zorluklarda bilgi ve tecrübesi ile yardımcı olan değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Özlem SELÇUK KUŞÇU' ya teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarımda, tez yazım aşamasında verdiği desteklerden dolayı Çevre Yüksek Mühendisi Ekin EKE' ye teşekkür ederim.

4621-YL1-16 numaralı proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Hayatım boyunca eğitim ve sosyal hayatımda olduğu gibi bu tez dönemimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, desteğini esirgemeyen ailem; annem Hatice ÜNAL, babam Fevzi ÜNAL ve kardeşim Rüştü Egemen ÜNAL'a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Vesile Ecem ÇELİK
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Klasik atıksu arıtma sistemindeki çamur kaynakları	4
Şekil.2.2. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri	7
Şekil 2.3. PEF sisteminin temel bileşenlerinin şematik gösterimi	26
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan Lange Dr6000 spektrofotometre	31
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan pH- sıcaklık ölçüm cihazı	31
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru	32
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan güç kaynağı	33
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan PEF sistemi	34
Şekil 4.1. Azot ve fosfor geri kazanım akım şeması	35
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru	35
Şekil 4.3. pH ayarlaması	38
Şekil 4.4. Örneklerin çökelmeleri için bekletilmesi	39
Şekil 4.5. Bekleme sonrası çökelen kısımların incelenmesi	39
Şekil 4.6. Strüvit kristallerinin AKM setinde süzülmesi	40
Şekil 4.7. Örneklerin çökelmeleri için bekletilmesi	41
Şekil 4.8. Kurutulmuş çökelti görünümü	42
Şekil 4.9. pH denemesi	44
Şekil 4.10. pH denemesi	45
Şekil 4.11. Zaman denemesi	46
Şekil 4.12. Sıcaklık denemesi çalkayıcıda karıştırılması	47
Şekil 4.13. Farklı sıcaklıkta oluşan çökeltiiler	48
Şekil 4.14. Örnek sonucu elde edilen çökeltinin XRD sonucu (sadece fosforik asit ilavesi olan)	49
Şekil 4.15. Örnek sonucu elde edilen çökeltinin XRD sonucu (fosforik asit ve magnezyum kaynağı ilavesi olan)	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Toprakta kullanılabilcek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları.....	14
Çizelge 2.2. Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri	14
Çizelge 2.3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri.....	15
Çizelge 2.4. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri	16
Çizelge 4.1. PEF öncesi ve sonrası çamur numunesinin karakteristik özelliği.....	36
Çizelge 4.2. Eklenen fosfor kaynaklarının miktarları	37
Çizelge 4.3. Eklenen magnezyum kaynaklarının miktarları	41
Çizelge 4.4. Analiz sonuçları	42
Çizelge 4.5. pH denemesi	43
Çizelge 4.6. Zaman denemesi tartım sonuçları	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Piston kesit alanı
AKM	Askıda Katı Madde
ÇKOİ	Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KM	Katı Madde
MAP	Magnezyum Amonyum Fosfat
PEF	Pulsed Electric Field
T	Sıcaklık
TKM	Toplam Katı Madde
TN	Toplam Azot
TPO4	Toplam Fosfor
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
V	Volt
t	Zaman

1. GİRİŞ

Arıtma çamuru, atık su arıtımı sonucu oluşan sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0,25-12 katı madde içeriği olan katı atıktır (Durak,2005). Arıtma çamuru, olduğu endüstriyel kuruluşa göre; organik bileşikler, asitler, alkaliler, metal tuzları, fenoller, oksitleyiciler, boyalar, sülfatlar, hidrokarbonlar, yağlar, Fe, Cu, Al, Cd, As, Co, Pb, Cr, organik fosfor ve azot gibi maddeler içerebilmektedir (Taşatar, 1997).

Su ile birlikte taşınan kirletici maddelerin yoğun şekilde toplandığı ve arıtma çamuru olarak tanımlanan katı maddelerin işlenmesi, çevreye ve insan sağlığına zararsız biçimde uzaklaştırılması atıksu arıtımı kadar önem taşımaktadır. Son yıllarda arıtma çamuru işlenmesi ve bertaraf edilmesi problemi gerek teknolojik gelişmeler gerekse Avrupa Birliği (AB) uyum sürecinde yapılan yasal mevzuat düzenlemeleri ile birlikte üzerinde durulması gereken bir konu haline gelmiştir. Türkiye son yıllarda AB uyum sürecinde yasal yönden yeni düzenlemelerle oldukça önemli adımlar atmış ve çevre konusunda öncelikli alanlarını belirlemiştir (AB Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Türkiye Ulusal Programı, 2003). Burada çamur yönetimi konusunda yapılacak çalışmalar öncelikli çalışma alanı listesinde önemli yer tutmaktadır. Bununla birlikte 2872 sayılı Çevre Kanunu ve buna bağlı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinde arıtma çamuru yönetimi konusunda mevcut düzenlemeler bulunmaktadır.

Arıtma çamurları oldukça fazla organik madde içerdiğinden ötürü arazide kullanımı ile çevre kirliliğinin önüne geçebilmek mümkün olacaktır (Bilgin vd., 2002). Arıtma çamurları içerisindeki besin elementleri organik kaynak olarak düşünülerek arazide kullanımı hem toprak iyileştirmede hem de azot ve fosfor içeriğine bakılarak tarımda kullanımı oldukça önemlidir (MEB, 2011). Böylece azot ve fosforunda geri kazanımı gerçekleşmiş olacaktır. Arıtma tesisinden gelen arıtma çamuruna eklenen azot ve fosfor kaynakları ile magnezyum amonyum fosfat (MAP) çökmesi de bunun için iyi bir yöntemdir. Arazide kullanım olarak toprak iyileştirmesi, yeşil alanlarda

kullanımı, ağaçlandırma ve ormanlarda kullanımı arıtma çamurunun yeniden değerlendirilmesini sağlamaktadır (MEB, 2011).

Bu çalışmada evsel atıksu arıtma tesislerinin ikincil arıtımından kaynaklanan atık biyolojik çamurdan azot ve fosforu geri kazanımı ile çamurun değerlendirilmesi ve gübre özelliği taşıyan strüvitin elde edilmesi üzerine çalışılmıştır. Çalışmada azot ve fosfor geri kazanımı için çamur dezentegrasyonunda kullanılan darbeli elektrik alan (PEF) reaktörü kullanılmıştır. Çalışmada azot ve fosfor içeren çamurun PEF sistemi ile ön arıtımı sonucu azot ve fosforun suya geçirilmesi ve hemen ardından kimyasal çöktürme işlemi ile azot ve fosforun sistemden geri kazanımı hedeflenmiştir. Kimyasal çöktürme işlemi olarak MAP çöktürmesi kullanılmıştır. MAP çöktürmesi sonucu oluşan strüvit gübre özelliğine sahip bir maddedir ve yüksek azot ve fosfor miktarına sahiptir. Bu özelliğinden dolayı gübre olarak etkili bir şekilde kullanılabilir. Bu özelliğinden dolayı gübre olarak etkili bir şekilde kullanılabilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Arıtma Çamurları

Evsel ve endüstriyel atıksuların ve içme sularının arıtımında çökebilen katı maddeler ile oluşan akışkan özelliğe sahip, kokulu, ağırlıkça %0.25-12 katı madde içeriği olan atıklar arıtma çamuru olarak tanımlanmaktadır (Durak,2005). Arıtma çamurları, ön çökeltim çamurları, kimyasal arıtım sonucu oluşan çamurlar, biyolojik arıtım sonucu oluşan çamurlar ve içme suyu arıtımı sonucu oluşan çamurlar olmak üzere çeşitlendirilebilmektedir (Filibeli vd., 2009). Arıtma tesisinin arıtımından oluşan çamur miktarı ve çamur özellikleri atıksu arıtımında kullanılan teknolojiye bağlı olarak değişmektedir (Ünlü vd., 2009).

Miktarı gün geçtikçe artan arıtma çamurlarının, çevre kirliliği oluşturmaması ve içerdiği besin maddelerinden yararlanılabilmesi amacıyla arazide değerlendirilmesi büyük önem kazanmaktadır. Ancak arazide değerlendirilmesi sırasında toprağa ve yer altı sularına verilecek etkinin araştırılıp uygunluğuna bakılması gerekir. Bunun içinde bölgenin özellikleri, iklimi, çevresel etkileri değerlendirilmelidir. Sanayileşmenin arttığı ve kentleşmenin olduğu yerlerde değerlendirmeler çok daha önemli olmaktadır (Uzun ve Bilgili, 2011). Atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamurlarının yapısı, tesiste bulunan fiziksel, kimyasal, biyolojik veya ileri arıtım proseslerine göre farklı olmakta, çıkan yüksek karbonlu organik yapıda potasyum, azot, fosfor, kükürt ve metal bileşikleri de bulunabilmektedir (MEB, 2011).

Türkiye'nin ulusal iklim değişikliği eylem planının geliştirilmesi projesi atık sektörü mevcut durum değerlendirmesi raporuna göre Türkiye'de oluşan toplam çamur miktarı (ton/gün kuru madde): 2010 yılında 2600 ton/gün kuru madde, 2012 yılında 2900 ton/gün kuru madde, 2013 yılında 3100 ton/gün kuru madde olarak rapor edilmiştir. Bu miktarlar günümüzde giderek artmaktadır. Miktar olarak artan arıtma çamurlarının bertarafı da zor olmakta ve oluşan arıtma çamurlarının büyük bir kısmı katı atık depolama sahalarında ya da arazide depolanmak sureti ile bertaraf edilebilmektedir (Aksu, 2008). Arıtma çamurlarının organik gübre ve toprak düzenleyici olarak uygun özellikler taşıması durumunda tarımda kullanılırsa hem çamur bertarafı gerçekleştirilmekte hem de tarımsal üretimde ekonomik kazanç

karişık sıvı içine hava verilir. Havalandırma tankındaki biyokütle son ökeltim tankında ökeltilmek zorundadır. Bu biyokütlenin bir bölümü yeniden kullanılmak üzere başlangıç kısmına verilir. Aktif çamurda olması gerekenden fazla mikroorganizma olursa fazlasının atılması gerekir. Bu arıtma tesisi için problem oluşturan atık çamur olarak adlandırılır (Filibeli,1996).

Fiziksel - kimyasal arıtma kısmında ön ökeltim havuzuna demir ve alüminyum tuzları eklenmesiyle ikincil arıtmadaki biyolojik çamur gibi özelliklere sahip çamurlar oluşur. İçme suyu arıtma tesislerinde pıhtılaştırma ve yumaklaştırma için fazlaca kullanılan alüminyum sülfat (alüm) atık alüm çamurunu oluşturur (Filibeli, 1996).

Evsel nitelikli arıtma çamurları, su içerikleri azaltıldıktan ve aerobik veya anaerobik stabilizasyon işlemleri yapıldıktan sonra tarımda kullanıma uygun hale getirilirler. Arıtma amurlarının içerdikleri su, çözünebilir azot bileşiklerinden dolayı yeraltı suyu kirliliğine yol açabilir. Bu sebepten çamurun içerdiği ağır metal konsantrasyonları sınır değerleri kontrol altında tutulmalıdır. Bundan dolayı arazide bertaraf yapılmadan önce arıtma çamurlarına ön işlemler uygulanmalı ve yeraltı suyu kalite değişimi denetim altına alınmalıdır (Filibeli vd., 1999).

Endüstriyel arıtma çamurları ise sektörlere göre değişim göstermektedir ve hangi sektörün atıksu arıtma tesisinden kaynaklanıyorsa o sektör ile isimlendirilmektedir. Gıda sanayi, maden sanayi, cam sanayi, tekstil sanayi, petrol sanayi, deri sanayi, kimya sanayi, metal sanayi, ağaç mamulleri ve mobilya sanayi, makine ve yedek parça sanayi gibi endüstriyel sektörlerin arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurları endüstriyel arıtma çamurları olarak nitelendirilmektedir (İleri, 2007).

2.1.2. Arıtma amuru içeriği

Arıtma amuru, içeriklerine göre; organik bileşik, asit, alkali, metal tuzu, fenol, oksitleyici, boya, sülfat, hidrokarbon, yağ, Fe, Cu, Al, Hg, Cd, As, Co, Pb, Cr, organik fosfor ve azot gibi maddeler içerebilmekte ve bunun yanında organik kirletici, mikroorganizma ve parazit bulundurmaktadır (Taşatar, 1997).

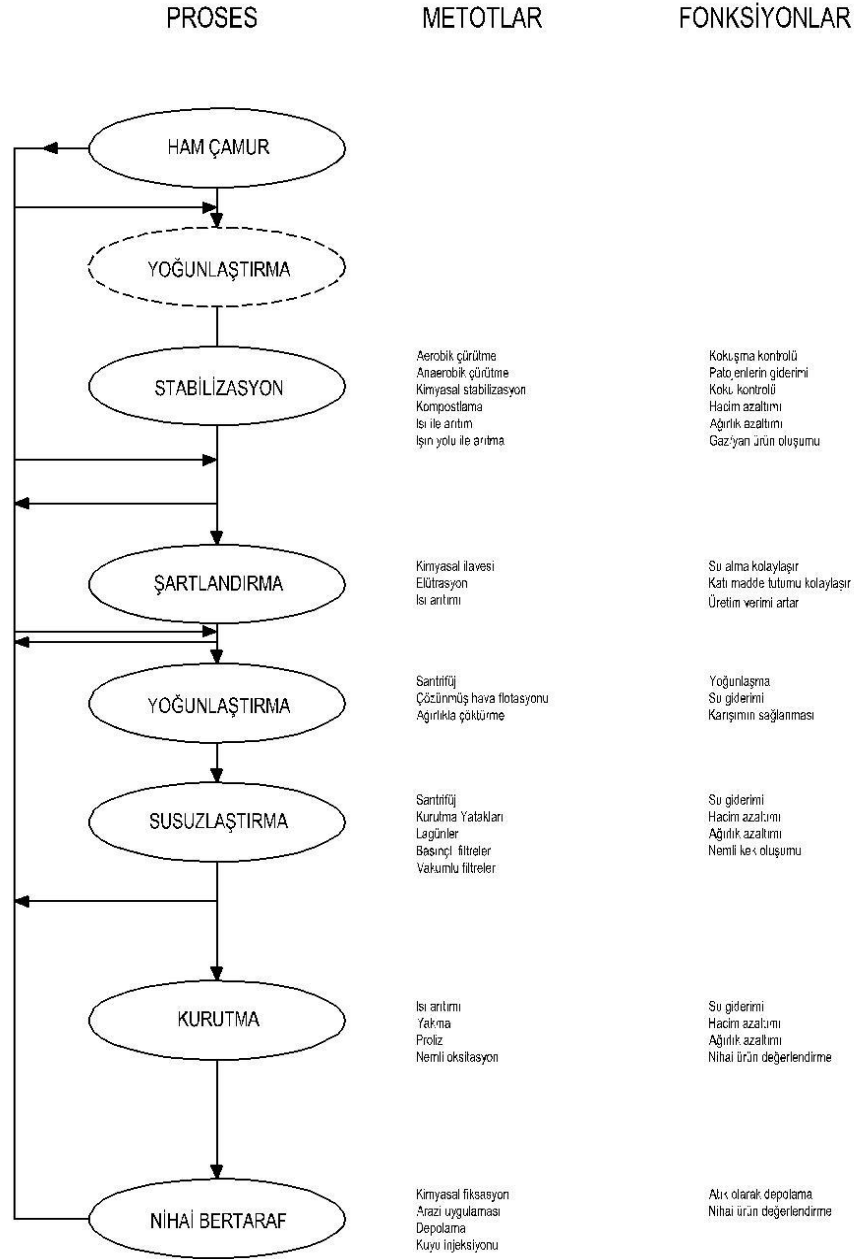
Atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının tarımda kullanım amaçlı değerlendirilmesi düşünüldüğünde, bu çamurların öncelikle bitki besin elementi içeriği, tuzluluk, pH ve ağır metal içeriği bakımından incelenmesi gerekir. Çamurların kontrolsüz olarak çevreye verilmesi kirlenmeye sebep olmakta ve bunlar alıcı ortamları kirleterek insan, hayvan ve bitki sağlığını olumsuz etkilemektedir (Uzun ve Bilgili, 2011).

Arıtma çamurların yok edilmesi esnasında yeni kirliliklere yol açmaması önemlidir. Günden güne artan arıtma çamurlarının, hem çevreye zarar vermeden atılması hem de içerdikleri besin elementlerinin değerlendirilmesi amacıyla bunları araziye vermek en uygun yöntemlerden biri olarak görülse de bunların topraklara ve yeraltı sularına yapabileceği zararları araştırarak belirlemek gerekir. Uygulanacak bölgenin iklim özellikleri, toprak yapısı da dikkat edilmelidir. Uygulamanın yapıldığı alanlarda yeraltı su seviyesinin çok yüksek olmaması önemlidir (Uzun ve Bilgili, 2011).

2.2. Arıtma Çamuru Bertaraf Yöntemleri

Arıtma tesisi arıtma çamurları, arıtma tesisinin çeşitli arıtım basamaklarından çıkmaktadır. Bu çamurlar farklı yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Arıtma çamurlarının uzaklaştırılması için kullanılan bu yöntemler; düzenli depolama, kompostlaştırma, termik yöntemlerden yakma, denize boşaltma, arazide bertaraf, çamur lagünlerinde toplama, arazi iyileştirme, kimyasal sabitleme (stabilizasyon) olarak sayılabilir. Arıtma çamurları bazı durumlarda problem yaratabilmekte ya da çevresel kirliliklere yol açmaktadır (Uzun ve Bilgili, 2011). Evsel ve endüstriyel arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının çevreye ve insana zarar vermemesi için öncelikle arıtılması gerekmektedir. Arıtma tesisleri tasarlanırken çamur sorunu dikkate alınmalı ve en uygun arıtma metodu seçilmelidir. Arıtma sistemi işlenmesi ve bertarafı için çamurun hacmi problem olmaktadır. Çamur bertarafı konusunda birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler arasında arıtma çamurlarının toprağa verilerek bertaraf edilmesi ekonomik bakımdan da önemli olması sebebiyle üzerinde durulan bertaraf yöntemlerinden birisidir. Başlıca çamur bertaraf yöntemleri yoğunlaştırma, stabilizasyon, şartlandırma, susuzlaştırma, kurutma, nihai bertaraf

olarak sıralanabilir (MEB, 2011). Bu yöntemlerin metotları ve fonksiyonlarının anlatımı Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil.2.2. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri

2.2.1. Çamur stabilizasyonu

Atıksuların arıtımından sonraki çözünmeden kalan ham çamurların alıcı ortamlara verilebilmeleri için stabilize edilmeleri gerekmektedir. Arıtma çamurlarındaki hastalık yapıcı mikroorganizmaları yok etmek veya azaltmak; oluşan kötü kokuları engellemek; potansiyel organik bozunmayı azaltmak amacıyla uygulanan işlemlere

stabilizasyon denir (Akyarlı ve Şahin, 2005). Stabilize edilen arıtma çamurları biyokatı olarak adlandırılır. Biyokatı, aynı zamanda arıtma çamuru ve işlenmiş arıtma çamuru olarak da tanımlanmaktadır (Bilgin vd., 2002).

Stabilizasyon/dezenfeksiyon işlemi arıtma çamurlarının kullanılmasında en önemli kriterlerden biridir. Stabilizasyon yöntemlerinin bazıları ham çamurun dezenfeksiyonunu sağlarken, bazıları ise dezenfeksiyonu tam olarak sağlayamamaktadır. Çamur stabilizasyonu için kullanılan yöntemler üç gruba ayrılabilir (Filibeli, 2013). Bu yöntemlerden herhangi biri ile stabilizasyona uğramış olan ham çamur “arıtma çamuru” olarak adlandırılır. Bunlar;

- Kimyasal yöntemler: Kireç stabilizasyonu,
- Biyolojik yöntemler: Aerobik çürütme, anaerobik çürütme, kompostlama
- Termal yöntemler: Isıl işlem olarak sıralanabilirler.

Stabilizasyon işlemi, uçucu kimyasalların biyolojik parçalanma ve kimyasal oksidasyonunu sağlar. Çamura eklenen kimyasallarla mikroorganizmalar yok edilir; çamurun sterilizasyonu veya dezenfeksiyonu için ısı işlem uygulanabilir (Öztürk, 2008).

En çok kullanılan biyolojik stabilizasyon yöntemleri, anaerobik çürütme ve aerobik çürütme yöntemidir. Bu yöntemler, önemli avantajlara sahiptir. Oluşan çamurun su verme özelliği zayıftır. Böylece mekanik su alma işlemlerinde daha fazla kimyasal madde tüketimi, arıtma çamurunda düşük katı madde içerir. Bu da çok daha fazla işletme ve bertaraf maliyetlerine neden olur (MEB, 2011).

Çamurun stabilizasyonu ile çamur hacminde azalma ve gaz üretimi meydana gelir. Bu sırada çamurun koku sorunu çözülmesi gerekmektedir. Böylece parçalanabilen organik maddelerin biyolojik, fiziksel ve kimyasal gibi metotlarla giderimi sağlanır. Stabilizasyon metodunun seçimi çamur susuzlaştırma, arıtma ve nihai bertaraf metotlarının üzerindeki metotların birleşimine bağlıdır. Aerobik ve anaerobik çürütme gibi stabilizasyon metotları, çamur miktarını azaltmaktadır. Susuzlaştırma proseslerini değiştirerek prosesin seçimi ve dizaynına önem verilmelidir (MEB, 2011).

2.2.1.1. Çamur stabilizasyon yöntemleri

Başlıca stabilizasyon yöntemleri; anaerobik stabilizasyon, aerobik stabilizasyon, kompostlama, ısıtma, kireç stabilizasyonudur (Öztürk, 2008). Anaerobik stabilizasyon, aerobik stabilizasyon ve kompostlama işlemi sonrası stabilize edilen arıtma çamurlarının toprakta kullanımı mümkün olmaktadır.

Anaerobik çürütme; anaerobik çamur stabilizasyonu oksijensiz ortamda organik ve inorganik maddelerin parçalanmasıdır (Alvarez vd., 2003). Anaerobik stabilizasyon iki kademeyle gerçekleşir. Birincisi organik maddeler organik asitlere, alkollere ve karbondioksit dönüşmesidir (hidroliz ve asit fermantasyonu). İkincisi ise asit bakterilerinin parçalama reaksiyonları sonucu oluşan ürünlerin metanojenler tarafından metan, karbondioksit ve suya dönüştürülmesidir (Öztürk vd., 2005). Oluşan biyogaz, tesisin işletilmesi için gerekli ısı ve elektrik enerjisini sağlamada kullanılmaktadır (Uzun ve Bilgili, 2011). Anaerobik stabilizasyon sırasında yağlar, proteinler, karbonhidratlar, amino asitler ve organik asitler gibi kompleks veya monomer yapıda olan çeşitli organik maddeler parçalanabilmektedir (Öztürk vd., 2005).

Anaerobik çürümeye hava girişinin engellendiği bir reaktörde oluşur. Arıtma esnasında oluşan biyogazın yaklaşık olarak %65-85 metan ve %15-35 karbondioksit gazlarından oluşmaktadır (Alvarez vd., 2003).

Anaerobik stabilizasyonun temel avantajları, biyokütlenin bertaraf maliyetinin düşük olması, besin maddesi ihtiyacının düşük olması, inşaat alan gereksiniminin azlığı, açığa çıkan gazların hava kirliliği açısından kontrol edilebilir olması ve köpük probleminin olmamasıdır (Öztürk vd., 2005). Anaerobik stabilizasyonun dezavantajları ise, biyokütle gelişimi için uzun başlangıç evresi gerektirmesi, seyreltilmiş atıksularda yeterli alkalitenin sağlanamaması, koku problemlerinin oluşması, nitrifikasyonun mümkün olmaması, metanojenlerin toksik maddelere ve çevre koşullarına çok fazla duyarlı olması ve düşük sıcaklıklarda mikroorganizmaların kinetik hızlarının düşük olmasıdır (Öztürk vd., 2005).

Aerobik çürütme; oluşan çamurların, oksijenin olduğu ortamda biyolojik stabilizasyonu için kullanılan bir yöntemdir (Uzun ve Bilgili, 2011). Aerobik çürütme prosesi temel olarak, üstü açık reaktörlerdeki çamur havalandırılmasına dayanır (Öztürk, 2008). Aerobik süreçlerin işletilmesinde; sıcaklık, bekleme süresi, oksijen gereksinimi, karıştırma ve ortam pH'ı gibi faktörler kontrol altında tutulmalıdır (Uzun ve Bilgili, 2011).

Aerobik çamur çürütmenin katı madde miktarının azaltılması çamurun biyolojik olarak ayrılan bileşeninin giderilmesi ile mümkündür. Aerobik çamur çürütme yönteminde uçucu katı madde giderimi %35-50 arasındadır (Öztürk, 2008).

Aerobik stabilizasyon ile çamurun organik madde içeriği düşürülür ve çamurda koku ve hastalık yapıcı mikroorganizma giderimi de sağlanmaktadır (Çokgör vd., 2010). Aerobik çürütmenin avantajları olarak uçucu katı madde (UKM) giderimi havasız çürütme ile elde edilen ile yakın olması, substrattaki BOI konsantrasyonları oldukça az olması, kolayca bertaraf edilebilecek kokusuz, humusa benzer, biyolojik olarak kararlı ürün elde edilebilmesi, elde edilen çamurun susuzlaştırma karakteristikleri iyi olması, çamurun gübre değerinin iyi olması, işletme problemleri ve yatırım maliyetlerinin azlığı sayılabilir. Aerobik çürütmenin dezavantajı ise, sisteme gerekli oksijeni sağlamak için yüksek enerji ihtiyacının olmasıdır. Ayrıca metan gazı gibi yararlı bir son ürünün elde edilememesi de dezavantaj olarak görülür (Spinosa ve Vesilind, 2001).

Kompostlama işleminde biyolojik olarak parçalanabilen katı atıkların öğütüldükten sonra ızgaralı bir zemine konarak alt taraftan havalandırılarak parçalanması sağlanır. Bu işlem yaklaşık 5-7 hafta sürmektedir (Öztürk, 2008). Olgunlaşmamış kompost yüksek seviyelerde organik asit içerebilir ya da yüksek karbon/azot (C/N) oranına sahip olabilir. Olgunlaşmamış kompost ürün ve bitkileri olumsuz yönde etkileyebilir. Kompost C/N oranı, oksijen gereksinimi, sıcaklık ve koku gibi sabit özellikleri ile belirlenir (Öztürk vd., 2005). Sıcaklık bazı durumlarda 60°C'yi geçebilir. Normal kompostlanan maddenin sıcaklığı 50-60°C'ye kadar artar ve bu sıcaklık değeri patojenleri öldürür. Bunun yanında birçok mikroorganizma ya ölür ya da dirençli hale gelir. Bu sıcaklık aralığı birkaç hafta devam eder. Kompostlaştırma yavaşladığında, sıcaklık zamanla $\pm 37^{\circ}\text{C}$ olur ve ortam sıcaklığına azalır. Yığın

soğuduğunda sporlar, termofilik mikroorganizmalar ve mesofilik popülasyon ölür. Sonuç olarak yığın yeteri kadar soğur ve oluşan kompost toprak mikroorganizmaları, protozoalar, solucanlar, mantarlar, böcekler ve diğer daha büyük mikroorganizmalar ile organik maddeler içerir. Zamanla bu sıcaklık değişimleri kompostlaştırma prosesindeki ayrışmanın hızını ve tipini yansıtır (Öztürk vd., 2005).

Kompostlaştırma mikroorganizmaların gelişmesini belirleyen ve sağlayan şartlar sağlandığında en yüksek hıza ulaşır (Öztürk, 2008). Kompostlaştırma işlemini etkileyen parametreler, mikroorganizmalar, havalandırma, nem muhtevası, sıcaklık, pH, besin maddeleri, zaman, katkı maddeleri ve parçacık boyutudur (Öztürk, 2006).

Stabilizasyon ve şartlandırma amaçlı uygulanan ısı işlem, çamurun yüksek basınç da kısa süreli ısıtılmasına dayanır (EPA, 1994). Sterilize edilen ve susuzlaştırılan çamurun katı madde içeriği %30-50 arasında değişir. Isıl işlemler sonucunda oluşan süpernatant fazla miktarda organik madde ve besi maddesi içerir (Öztürk, 2008).

Isıl arıtımın amacı, katı çamurun su içeriğini azaltmak, parçalamak ve katı maddeleri koagüle etmektir. Bu işlem daha çok sterilizasyonu ve şartlandırılması zor olan biyolojik çamurlara uygulanmaktadır. İşlemin maliyeti fazla olduğu kullanımı azdır. Isıl arıtmadan çıkan üst su, yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI), amonyum azotu (NH_4) ve fosfor (P) içeriğine sahip olduğundan ön arıtmı gerekebilir (Öztürk vd., 2005).

Isıl arıtmanın temel avantajları; elde edilen çamur için şartlandırma gerekmez, çamur kompozisyonunun değişim proses verimini etkilemez, uçucu katıların tam oksidasyonun sağlar ve katı içeriğinin %30-50 gibi yüksek değerlere çıkabilir olmasıdır. Isıl arıtımın dezavantajları ise, yüksek bir maliyete sahip, sık sık bakım ihtiyacı gerektirir, işlemler sırasında oluşan atıksuyun yüksek organik madde ve amonyak konsantrasyonuna sahip olma ve kötü kokulu gazlar açığa çıkma durumunun olmasıdır (Öztürk vd., 2005).

Kireç ile stabilizasyonda kireç, çamurun suyunu verme özelliklerini geliştirir ayrıca çamur stabilizasyonu sağlamakta da kullanılmaktadır (Akyarlı ve Şahin, 2005). Bu yöntemde çamurun pH değeri 12'ye çıkacak kadar kireç eklenir (Uzun ve Bilgili,

2011). Yüksek pH değeri, mikroorganizmalar için uygun değildir. Böylece çamur ayrışmaz, koku kaybolur ve sağlıklı durumlar ortadan kalkar (Filibeli, 1996). Kireç ile stabilizasyonun maliyeti oldukça düşüktür ve sonucunda susuzlaştırılması kolay bir çamur oluşur. Ancak oluşan çamura kireç eklendiği için kimyasal olarak kararlı değildir ve büyük hacimler kaplar (Öztürk, 2008).

Stabilizasyon işleminde sönmüş kireç kullanılabildiği gibi, sönmemiş kireç de kullanılabilir. Bu durumda, çıkan ısıdan yararlanılarak azda olsa kurutma ve iyi bir pastörizasyon işlemi de gerçekleştirilebilir. Susuzlaştırmadan önce çamura kireç ilavesi (kireç ile ön arıtma), susuzlaştırmadan sonra çamura kireç ilavesi (kireç ile son arıtma) ve ileri kireç stabilizasyon teknolojileri olmak üzere üç farklı kireç ile stabilizasyon yöntemi kullanılmaktadır (Akyarlı ve Şahin, 2005).

2.3. Çamur Dezentegrasyonu

Arıtma çamuru dezentegrasyonu, dış gerilmeler etkisiyle arıtma çamuru yapısının bozulması demektir. Dezentegrasyon fiziksel, kimyasal veya biyolojik kuvvetler uygulanarak oluşabilmektedir. Dezentegrasyon işlemi çamurun özelliklerini değiştirebilir (Müller vd., 2004). Çamur dezentegrasyon teknikleri fiziksel olarak ısı arıtım, mikrodalga, donma ve erime, kimyasal olarak ileri oksidasyon, ozonlama, asit ve alkali, mekanik olarak ultrasonikasyon, homojenizatörler, değirmenler ve vurgulu elektrik alan, biyolojik olarak ise hidroliz ve bunların ısı ve kimyasal arıtım gibi ortak uygulamaları şeklindedir (Müller, 2001).

Çamur dezentegrasyon işlemiyle çamura uygulanan gerilmeler ile çamur flok yapısı bozulabilmekte, mikroorganizma hücre duvarları parçalanabilmekte ve hücre duvarı tarafından korunan maddeler sıvı faza geçmektedir (Vranitzky ve Lahnsteiner, 2005).

Çamuru azaltmak, arıtma çamurunun stabilizasyon derecesini arttırmak, çamur çürüme işleminin daha hızlı olmasını sağlamak, anaerobik çürüme işleminde daha fazla biyogaz elde etmek çamur dezentegrasyonunun amaçlarındandır (Sezgin, 2013).

2.4. Arıtma Çamurlarının Yeniden Kullanımı

Günümüzde arıtma çamurlarının tekrar kullanılmamak üzere bertaraf edilmesinden yeniye kullanımı önem kazanmaktadır. İçerisinde organik gübre bulunan ve toprak düzenleyicisi olarak kullanıma uygun olan arıtma çamurlarının tarımda kullanımı sayesinde tarımsal üretimde ekonomik kazanç sağlanmış olacaktır (MEB, 2011). Arıtma çamurlarının tarımsal açıdan değerlendirilirken çamurun; bitki besin elementi içeriği, tuzluluk, pH ve ağır metal içeriği incelenmelidir (Uzun ve Bilgili, 2011). Arıtma çamurları tarım alanlarında kullanımı dışında, toprak ıslahında, yeşil alanlarda, ağaçlandırmada ve orman alanlarında kullanım gibi yeniden kullanım alanları vardır (MEB, 2011).

Arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamurları biyolojik işlem ünitelerine gönderilerek stabilize edilir ayrıca kullanımı olan ürünlere dönüştürülebilir. Bunun yanında oluşan çamur termik işlem ünitelerine gönderilir yakma ya da piroliz gibi termik dönüştürme gerçekleşir ve enerjisinden faydalanılır. Biyogaz ünitesinden gelen katı tarımsal alanlara verilebileceği gibi suyu alındıktan sonra da depoya gönderilir (MEB, 2011).

Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına ilişkin yönetmeliğe göre evsel ve kentsel atıksuların arıtılması sonucu ortaya çıkan arıtma çamurlarının toprağa, bitkiye, hayvana ve insana zarar vermeyecek şekilde, toprakta kontrollü kullanımına ilişkin teknik ve idari esasları kapsar. Yönetmeliğe göre ham çamurun toprakta kullanılması yasaktır ve stabilize arıtma çamurunun kullanılmasında yönetmelikte belirtilen sınırlamalara ve yasaklara uyulması zorunludur. Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmeliğe göre ağır metallerin bulunması gereken sınır değerler vardır. Bu sınır değerler Çizelge 2.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Toprakta kullanılabilircek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilecek maksimum ağır metal muhtevaları

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Değerler (mg kg ⁻¹ kuru madde)
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1000
Bakır	1000
Nikel	300
Çinko	2500
Civa	10

Yönetmelik kapsamında evsel ve kentsel atıksuların arıtılması sonucu elde edilen stabilize arıtma çamurlarının toprakta kullanılması izne tabidir. Stabilize arıtma çamurunun ve uygulanacağı toprağın ağır metal içerikleri ile stabilize arıtma çamurunun organik bileşiklerin konsantrasyonu ve dioksinlerin sınır değeri yönetmelikte belirtilen sınır değerlere uygun olmalıdır. Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için Çizelge 2.1. ve 2.2’ de verilen değerleri aşmaması zorunludur. Bu değerleri aşması durumunda, stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılması yasaktır. Bu arıtma çamurları toprakta kullanılmayacaksa katı atıkların kontrolü yönetmeliği hükümleri doğrultusunda katı atık depolama sahalarında bertaraf edilmesi gerekmektedir. Tehlikeli atık sınıfına giren arıtma çamurları ise tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği hükümleri kapsamında bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Çizelge 2.2. Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri

Organik Bileşikler	Sınır değerler (mg kg ⁻¹ kuru madde)
AOX (Adsorblanabilen organik halojenler)	500
LAS (Lineer alkilbenzin sülfonat)	2 600
DEHP (Diftalat(2-ethylhexyl))	100
NPE (Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir)	50
PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı)	6
PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı)	0.8
Dioksinler	ng Toksik Eşdeğer. kg ⁻¹ kuru madde
PCDD/F Poliklorlu dibenzodioksin/dibenzofuranlar	100

Stabilize arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta ağır metal içeriğinin Çizelge 2.3.'de verilen değerleri aşmaması zorunludur. Topraktaki ağır metal konsantrasyonlarından birinin dahi Çizelge 2.2'de verilen sınır değerleri aşması durumunda, stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılması yasaktır.

Çizelge 2.3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri

Ağır Metal (Toplam)	6≤pH<7 mg. kg ⁻¹ Fırın Kuru Toprak	pH≥7 mg. kg ⁻¹ Fırın Kuru Toprak
Kurşun	70	100
Kadmiyum	1	1,5
Krom	60	100
Bakır	50	100
Nikel	50	70
Çinko	150	200
Civa	0,5	1

Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına ilişkin yönetmeliğe göre toprağın pH değeri 6'dan küçükse stabilize arıtma çamuru toprağa uygulanamaz. Toprağa uygulanacak stabilize arıtma çamurunun pH değeri pH 6-8.5 arasında olmalıdır. Bu stabilize arıtma çamurlarının, içme suyu havzalarının mutlak, kısa, orta mesafeli koruma alanlarında uygulanması ve diğer yüzey sularına 50 metreden yakın olan alanlara ve yüzey akış tehlikesi olan alanlarda toprak muhafaza tedbirleri alınmadan uygulanması yasaktır. Ayrıca taşkın alanlarında ve taşkın tehlikesi olan alanlarda, don ve karla kaplı alanlarda toprağa uygulanması yasaktır.

Stabilize arıtma çamurunun, toprakta on yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde, toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarı Çizelge 2.4.de verilen değerleri aşamaz. Sınır değerlere erişmesi halinde toprakta kullanımın durdurulması zorunludur.

Çizelge 2.4. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak bir yılda verilmesine müsaade edilecek ağır metal yükü sınır değerleri

Ağır Metal (Toplam)	Sınır Yük Değeri (g da ⁻¹ yıl ⁻¹ , kuru madde)
Kurşun	225
Kadmiyum	3
Krom	300
Bakır	300
Nikel	90
Çinko	750
Civa	3

Yönetmeliğe göre stabilize arıtma çamurunun meyve ağaçları hariç olmak üzere toprağa temas eden ve çiğ olarak yenilen meyve ve sebze ürünlerinin yetiştirilmesi amacıyla kullanılan topraklarda kullanılması ve doğal ormanlarda kullanımı yasaktır. Yeniden ağaçlandırma faaliyetlerinde stabilize arıtma çamurunun kullanımına izin verilebilir.

Kirlenmeye genel olarak, çevreye rastgele dökülen atıklar ile nehir ve akarsulara arıtım yapılmadan dökülen sular sebep olmaktadır. Bu sular alıcı ortamı kirleterek insan, hayvan ve bitki sağlığına zarar vermektedir. Çevreyi korumak amaçlı atıkların, çevreyle uyumlu olmaları çok önemlidir. Sanayi tesisleri ve konutlardan çıkan atık sularda bulunan su ve atık çamurun yeniden kullanımı hem çevre açısından hem de ekonomik açıdan değerlidir (Taşatar, 1997).

Avrupa Birliği atık politikasına göre yönetim önceliği sırasıyla atık miktarının azaltılması, geri kazanım, enerjinin tekrar kazanılarak yakılması ve düzenli depolamadır. Atık miktarının azaltılmasından sonraki en önemli öncelik geri kazanımdır. Geri kazanımda ilk olarak kullanım alanı tarımdır. Amerika Birleşik Devletlerinde oluşan arıtma çamurlarının %55'i, Avrupa Birliğinde ise %10-80'i tarımda kullanılmaktadır (Spinosa ve Vesilind, 2001).

2.5. Arıtma Çamurunun Değerlendirilmesi

Arıtma işlemi sonrasında meydana gelen çamur tabakası, insan sağlığına ve çevreye zarar vermektedir. İçerdiği organik maddeler, mikroorganizmaların çoğalmasını sağlar. Bu mikroorganizmalar çeşitli hastalıklara sebep olmaktadır. Bu yüzden arıtma çamurlarının deponi alanlarına taşınması gerekmektedir. Çamur deponi sahalarına

taşınmadan önce bazı mekanik ve termal işlemler uygulanmakta ve çamurda hacim azalması olduğundan daha az yer kaplamaktadır. Arıtma çamurunun organik madde içermesi, çamurların tarım alanlarında kullanımının uygun oluşu ve çevreye zararının önüne geçilmesi için arıtma çamurları farklı yöntemlerle değerlendirilmektedir. Başlıca bu yöntemler; (Ayvaz, 2000)

- Açık alanda değerlendirmesi
 - Tarımsal alanda değerlendirme,
 - Orman alanlarında değerlendirme,
 - Bozulmuş alanlarda (kömür ve maden yatakları, taşocakları) değerlendirme,
 - Park, bahçe ve rekreasyon alanlarında değerlendirme.
- Kurutulmuş çamurun değerlendirilmesi
 - Tarımsal gübre ve toprak iyileştiricisi olarak,
 - Yakma (Isı ve elektrik elde etmek için, çimento üretiminde ek yakıt olarak, kömürlü santralde ek yakıt olarak)
- Çamurdan biyogaz eldesi (ileri aşamada biyogazdan metanol eldesi)
- Gazlaştırma (piroliz, diğer çöpler ile beraber)
- Alternatif Metotlar
 - Yaş oksidasyon
 - Hidroliz
 - Hidrotermal oksidasyon
 - Mikrodalga
 - Yüksek basınç işlemidir.

2.6. Arıtma Çamurunun Toprakta Gübre Olarak Kullanımı

TÜİK 2015 deki verilere göre ülkemizde 2014 yılında kullanılan kimyasal gübre miktarının 11 milyon tondur. Bu durum gübrenin ülke ekonomisi açısından ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Arıtma çamurlarının azot, fosfor ve potasyum içerikleri gübre değerini ortaya koymakta ve içerdiği organik maddeler ise toprak düzenleyicisi olarak kullanılabilirliği açısından önemlidir. Arıtma çamurları; organik bileşikler ve bitki gelişimi için gerekli makro ve mikro bitki besin elementleri içermektedirler (Epstein, 2003). Arıtma çamurlarının içerisinde bulunan besin

elementlerinin kullanımı ile toplam ticari gübre ihtiyacı azaltılabilir, aynı zamanda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde de iyileştirmeler sağlanabilir (Filibeli, 2013).

Arıtma çamurlarında her tür patojen mikroorganizma bulunabileceğinden dolayı doğrudan araziye verilmemesi gerekir. Taze çamurlar hijyenik açıdan sakıncalıdır ve işlenmemiş haldeki arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanımı istenmemektedir. Ayrıca patojen mikroorganizmalar çevredeki hayvanlara olumsuz etkisi olmasından dolayı otlaklarda kullanılmamalıdır (Filibeli, 1996).

2.7. Arıtma Çamurlarından Azot ve Fosfor Geri Kazanımı

Azot, arıtma çamurlarının uygulanma hızını belirleyen önemli parametrelerdendir. Arıtma çamurlarında azot %1,8 ile %5,9 arasında değişmektedir. Arıtma çamurunun toprağa verildikten sonra çamurda bulunan NH_4 'ün büyük bir kısmı nitrata (NO_3^-) dönüşmektedir. Özellikle nemli bölgelerde toprağa, ürünün ihtiyaç duyduğundan daha fazla miktarda verilen azot, topraktan sızabilmekte ve nitratin yeraltı sularına karışmasına sebep olabilmektedir. Bundan olayı tarım uygulamalarında, toprağa uygulanacak çamurdaki yıllık azot miktarının hesabında, yetiştirilecek tarımsal ürünün ihtiyaç duyduğu azot miktarları dikkate alınmaktadır (Uzun ve Bilgili, 2011).

Arıtma çamurları besin elementleri içeren organik kaynak olarak düşünülerek arazide kullanılmalıdır. Çiftlik gübreleriyle karşılaştırıldığında arıtma çamurlarının azot ve fosfor içeriğine bakılarak tarımsal kullanımda da değerlidir. Ancak potasyum değeri çiftlik gübreye göre her zaman daha düşüktür. Tipik bir şehir atık su arıtma tesisinden çıkan arıtma çamuru içerisindeki azot, fosfor ve potasyum yüzdeleri arasındaki oran 3:2:0'dır (MEB, 2011).

Çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı genel olarak üç kademe yapılır. Birinci olarak arıtma çamuru kimyasal ya da bunların birleştirilmesi ile çözündürülür. İkinci kademe ise fosforca zengin üst sıvının kalan çamurdan ayrılmasıdır. Son kademe MAP (Magnezyum Amonyum Fosfat) ve HAP (Hidroksiapatit/Kalsiyumapatit) gibi son ürünler ile sıvı fazdan fosforun çöktürülerek ayrılması ile gerçekleşir (Weideler vd., 2005).

2.8. Magnezyum Amonyum Fosfat (MAP) ile Azot ve Fosforun Geri Kazanımı

2.8.1. MAP tanımı

MAP ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); Magnezyum, amonyum ve fosfatın eşit molarlarından oluşan, beyaz renkli, yavaş serbestleşen, kristal yapıda inorganik bir maddedir. Oluşumunu veren denklem aşağıda gösterilmektedir (2-1) (Özcan, 2001).



Oluşan çökelmenin MAP olup olmadığı kontrol edilmeli ve gerekli şartların uygunluğuna bakılmalıdır. MAP pH'ya bağlı bir işlemdir ve oluşumundaki iyonlarda pH önemlidir (Özcan, 2001). MAP çökmesini etkileyen diğer faktörler ise Mg:N:P molar oranı, kullanılan magnezyum ve fosfat kaynağı, sıcaklık, reaksiyon süresi ve giriş amonyak konsantrasyonudur (Tünay vd.,1999).

2.8.2. Magnezyum amonyum fosfat (MAP) çöktürmesi

MAP çökmesi iki aşamada gerçekleşir. Bunlar; çekirdek oluşumu ve kristal büyümesidir. Çekirdek oluşumu, çöktürmenin içerisindeki iyonların kristal embriyolarını oluştuğu zaman meydana gelir (Mullin, 2001). Kristal büyümesi ise doymuş hale ulaşılan kadar devam eder ve oluşturan iyonlarca beslenir (James vd., 2002).

MAP çökmesinin farklı bir ortorombik yapısı vardır ve çökme X-Ray yolu ile belirlenebilir. Bundan dolayı kontrol etmek için XRD (X-Ray defraktometresi) ile analizler yapılması gerekmektedir (Öztürk, 2006).

MAP katı fazının oluşumu magnezyum, amonyum ve fosfat iyonlarının konsantrasyonlarının çarpımının MAP için belirlenen çözünürlük çarpımını aşmasından sonra oluşmaktadır. MAP çözünürlük çarpımı (K_{sp}), MAP'in oluştuğu ortamdaki magnezyum, amonyum ve fosfat iyonlarının, aktivitelerinin çarpımı olarak belirlenmektedir. Literatürdeki bilgilere bakılınca bu MAP çözünürlük çarpımı, 10-12,6 ile 10-13,26 arasında olduğu gözlenmiştir (Atalay, 2006).

MAP oluşumunda pH önemli bir değişkendir ve ortamda pH sürekli değiştiği için, magnezyum, amonyum ve fosfatın başlangıç konsantrasyonları kullanılarak azot ve fosfor hesabını yapmak zorlaşır. Bu sebepten denge haline geldikten sonra suda kalan magnezyum, amonyum ve fosfat içeriğinin ölçümü yapılabilir (Demir vd., 1993).

MAP çöktürmesinin uygulamalarında çeşitli avantaj ya da dezavantaj durumlar ortaya çıkabilmektedir. MAP çöktürmesinin en önemli avantajlarından biri aynı anda amonyak ve fosfat giderebiliyor olmasıdır. Yüksek verime sahip olması ve sistemin biyolojik yöntemlerden farklı olarak atıksudaki mevcut zehirli maddelerden etkilenmemesi de avantaj olarak sayılabilmektedir. Bir diğer avantaj ise işlem sonucunda oluşan çökeltinin fazla miktarda nütrient içermesi ve zararsız bileşen içermemesi durumunda bu atığın gübre olarak kullanılabilmesidir (Tünay vd., 1999). MAP çöktürmesi uygulama kolaylığı yanı sıra yüksek amonyum azotu giderebilir ve sonucunda fosfat sanayisi için bir ham madde olarak, yaygın kullanıma sahip panellerde ve çimentoları bağlayıcı madde olarak yavaş serbestleşen gübre olarak kullanımının mümkün olduğu alternatif olarak kullanılabilir (Öztürk, 2006). Günümüzde MAP'tan faydalanan yerler; yavaş çözünen gübre olarak, fosfat sanayisi için bir ham madde olarak, yangın direnç panelleri yapımında ve çimento sektöründe bağlayıcı materyal olarak kullanım sayılabilir (Stratful, 2001).

MAP bazı durumlarda olumsuz sonuçlarda verebilmektedir. MAP çökmesi arıtma tesislerinde tıkanmalara sebep olmakta ve bazı mekanik ekipmanların, boruların kullanımını engellemektedir. Türbülansın yüksek olduğu bölgelerde karbondioksit sertleşmesinden dolayı pH'da artış sebebiyle türbülansın fazla olduğu bölgelerde çökme daha fazladır (Borgerding, 1972). Bundan dolayı MAP çökmesi arıtma tesislerinde türbülansın fazla olduğu pompalarda, havalandırıcılarda ve boru kıvrımlarında oluşmaktadır. Arıtma tesislerinin çamur çürütücülerinin üst sıvılarında yüksek konsantrasyonlarda azot ve fosfor bulunur. Bu arıtılmış sular genellikle tesisin başına geri verildiğinden işletme problemleriyle, çamur çürütücü ile tesis girişi arasındaki bölgede daha sık karşılaşmaktadır. Çamur geçişinin olduğu boru hatlarında da bu durum söz konusu olabilmektedir (Williams, 1999).

2.8.3. MAP çöktürmesine etki eden faktörler

MAP çökmesine etki eden faktörler pH, Mg:N:P molar oranı, kullanılan magnezyum ve fosfat kaynağı, sıcaklık, reaksiyon süresi ve giriş amonyak konsantrasyonudur. Yabancı iyonların varlığı çökmeyi ya da MAP içeriğindeki iyon verimliliğini etkilemektedir. Ek olarak iyonik güç MAP çözünürlüğünü artırarak çökmeyi olumsuz olarak etkilemektedir (Tünay vd., 1999).

2.8.3.1. pH

MAP çöktürme prosesi verimi etkileyen parametrelerin başında pH gelmektedir. Katı fazın en az olduğu pH aralığında çalışmak çöktürmede yüksek verim elde edebilmeyi sağlayacaktır (Tünay ve Kabdaşlı, 1996). Amonyum ve fosfat iyonları pH parametresinden farklı etkilenmektedirler. Amonyum iyonunun konsantrasyonu pH'nın artmasıyla azalır. Fosfat iyonunun konsantrasyonu ise pH artmasıyla artmaktadır (Kuşçuoğlu, 2008).

MAP oluşumu için minimum pH'ın 7 olması gerekmektedir (Burns ve Finlayson, 1982) pH 9-9.5 aralığı MAP çöktürmesi için proses veriminin yüksek olduğu değerler olarak bilinmektedir (Kabdaşlı vd., 2004). $MgNH_4PO_4(k)$ katı fazının çözünürlüğünün en az olduğu bununla beraber amonyak ve fosfat iyonlarının çözünürlüğünün az olduğu pH aralığında çalışılmalıdır (Tünay vd., 1995). Fosfat ve amonyum iyonlarının pH'ya olan bağlı MAP oluşum pH aralığı 7-11 olarak verilmektedir. pH değeri 11'in üzerine olduğunda MAP oluşumunun olumsuz yönde etkilenmesinin önemli sebebi amonyum iyonunun amonyağa dönüşerek ortamdaki uzaklaşması olarak verilmektedir. Minimum MAP çözünürlüğü için farklı pH değerleri elde edilir (Atalay, 2006).

2.8.3.2. Sıcaklık

MAP çözünürlüğünü etkileyen diğer faktör olan sıcaklık; çözünürlük sabitini, pH'ı ve denge halindeki reaksiyon sabitlerini etkiler (Durrant vd., 1999)

Sıcaklıktaki azalmayla MAP'ın çözünürlüğü azalmaktadır (Öztürk, 2006). Sıcaklığın 0°C den 20°C'ye artmasıyla MAP çözünürlüğü artarak en yüksek değere ulaşmaktadır (Schulze-Rettmer,1991). 20°C'den fazla sıcaklıklarda çözünürlüğün değişim göstermemektedir (Atalay, 2006). Sıcaklık faktörü MAP çözünürlüğünü etkilen diğer faktörlerle karşılaştırıldığında etkisi daha azdır (Öztürk, 2006).

Soğuk iklime sahip bölgelerde azot giderme yöntemlerinden nitrifikasyon prosesinin verimi azalırken MAP çöktürmesinin veriminin artması bu yöntemin önemli avantajlarından biridir (Maewaka vd., 1995). Zengin (2001) tarafından yürütülen çalışmada sıcaklık 10°C'den 45°C'ye çıkarılmış ve sıcaklığın artmasıyla amonyum ve fosfat gideriminin çok fazla değişikliğin olmadığı gözlenmiştir. Bunun yanında sıcaklık düşüken verimin çok az arttığı belirlenmiştir MAP çöktürmesi uygulamalarında genelde optimum sıcaklık 25°C olarak belirlenmiştir (Maewaka vd., 1995).

2.8.3.3. Mg:N oranı

Magnezyum, amonyum, fosfat iyonları 1:1:1 stokiyometrik oranda birleşerek MAP'ı oluşturmaktadır. Bu orandan farklı olarak; orandan az ya da çok ekleme yapıldığında magnezyum, amonyum, fosfat iyonlarının miktarlarının MAP kristaline etkisini belirlenir (Atalay, 2006).

MAP çöktürmesi için eklenen magnezyum ve fosfat oranı çok önemlidir. Magnezyum amonyum fosfat çöktürmesi genel olarak atıksularda amonyak giderimi için magnezyum ve fosfat eklenerek uygulanmaktadır. Mg:N:P molar oranı çöktürme verimi için önemlidir (Öztürk, 2006).

Booker vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada anaerobik çürütücü üst fazında stokiyometrik dozlama yaparak pH 9.2'a getirilmiş ve MAP çöktürmesi uygulanmıştır. İşlem sırasında sırasında fosfor kaynağı olarak fosforik asit ve magnezyum kaynağı olarak magnezyum klorür eklenmiştir. Stokiyometrik olarak uygulanan MAP çöktürmesinde %97'nin üzerine fosfor giderimi ve yine %97'nin üzerinde amonyak giderimi gerçekleşmiştir (Booker vd., 1999). Aynı çalışmada anaerobik çürütücü üst fazında ise MAP çöktürmesi pH 9.2'a getirilmiş ve fosfor

eklenmeden maksimum fosfat giderimi için gereken miktarda magnezyum klorür ilave edilmiş ve fosforun % 97 oranında giderildiği görülmüştür (Booker vd., 1999). Anaerobik çürütücü üst fazında uygulanan bir MAP çalışmasında $Mg:NH_4:PO_4$ oranları 1.3:1:1 olacak şekilde pH 9'a ayarlanmıştır. Çalışmada MAP çöktürmesinde magnezyum kaynağı olarak magnezyum oksit, fosfor kaynağı olarak da fosforik asit kullanılmıştır. Siegrist (1996) tarafından uygulanan bu çalışmada %85-90 amonyak giderimi elde edilmiştir (Sertaç, 2012).

2.8.3.4. N:P oranı

MAP çöktürmesinde ilave edilen magnezyum ve fosfat oranı önemlidir. $Mg:N:P$ molar oranı MAP çöktürmesinde nütrient giderme verimini etkilediğinden önemli bir faktör olmasına rağmen, yapılan uygulamalarda genel olarak $Mg:N$ molar oranı ağırlıklıdır. $N:P$ oranı da farklı bir konu olarak ele alınmıştır çünkü fazla çalışmada incelenmemiştir (Öztürk, 2006).

2.8.3.5. Farklı magnezyum kaynakları

MAP çöktürmesi için farklı magnezyum kaynakları vardır. Hangi magnezyum kaynağının kullanılacağına karar verilirken magnezyum kaynağının veriminin yüksek ve maliyetinin düşük olmasına dikkat edilmelidir (Öztürk, 2006). Sistemin verimini ve maliyetini doğrudan etkileyen faktörler önemlidir. MAP çöktürmesinde magnezyum kaynağı olarak genel olarak magnezyum oksit ve magnezyum klorür kullanılmaktadır. Zydbiewska ve Kula (1991), tarafından yapılan çalışmada azot ve kok endüstrisi ile birlikte evsel atıksularda yürütülen bir MAP çöktürmesi sırasında magnezyum kaynağı olarak hem magnezyum oksit hem de magnezyum klorür kullanılmıştır. Bunun sonucunda magnezyum klorür atıksularda daha yüksek bir amonyak giderimi sağlarken, evsel atıksularda verimin aynı olduğu görülmüştür.

Shin ve Lee (1997), tarafından yapılan farklı bir çalışmada ise kok endüstrisi atıksularında uygulanacak MAP çöktürmesinde magnezyum klorür, kuş gübresi ve deniz suyu kullanılmıştır. Magnezyum kaynağı olarak kullanılan üç madde ile sırasıyla %83, %72, %62 amonyak giderimi ve %97, %99, %95 fosfor giderimi elde

edilmiştir. Deniz suyunun verimi düşük olmasında dolayı kuş gübresi ve magnezyum klorür üzerinde durulmuş ve maliyetinden dolayı kuş gübresi tercih edilmiştir.

2.8.3.6. Yabancı iyonlar

MAP çöktürmesi sırasında ortamda yabancı iyonlar var ise kristalizasyon kinetiğini ya da MAP içinde bulunan iyonların çöktürme verimini etkilemektedir. Bunlara örnek Ca^{2+} iyonlarıdır. Ortamdaki Ca^{2+} iyonu PO_4^{3-} iyonu ile tepkimeye girer ve $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ oluşumuna neden olmakta ve verimin azalmasına neden olmaktadır (Tünay vd., 1999).

MAP çözünürlüğünün, atıksuda bulunan karmaşık yapıcılar ve sitrik asit gibi maddelerden etkilenecek arttığı Schulze - Rettmer (1991) yaptığı bir çalışmada gözlenmiştir. Bu yabancı iyonlar fazla ekleme yaparak önlenmektedir (Sertaç, 2012).

MAP çöktürmesinde komplekslerin oluşumu ve iyonik güç önemli etkenlerdendir. Komplekslerin oluşumu MAP'ın çözünürlüğünü etkilemekte ve artmasına sebep olmaktadır böylece sistem verimini azalmaktadır. MAP'ın çözünürlüğünü artıran iyonik güç, ortamdaki çözünmüş madde konsantrasyonuna bağlı olarak çözünürlük verimini kötü yönde etkilemektedir (Tünay vd., 1999).

2.8.3.7. Reaksiyon süresi

Shin ve Lee (1997)'nin yapmış olduğu çalışmada MAP çökmesi için uygun reaksiyon zamanının 1-60 dakika seçilmiştir. Azot ve fosfor için 10 dakikalık reaksiyon süresinin yeterli olduğu görülmüştür. Diğer bir uygulamada ise 10-40 dakika arasında bir süre MAP çöktürmesi için uygun olduğuna karar verilmiştir (Schulze ve Rettmer, 1991).

Yapılan bazı çalışmalarda nütrientlerin giderimi için en az 10 dakika gerekiyken fosforun çok az miktarının çözünümü için 60 dakika gerekmektedir. Kok ve azot endüstrisi atıksularında uygulanan diğer çalışmada uygun sürenin 25 dakika olduğu belirlenmiştir (Zydbiewska vd., 1991).

2.8.4. Magnezyum amonyum fosfat ile geri kazanımın avantajı

Aynı anda hem amonyak hem de fosfat gideriminin olması MAP çöktürmesinin en büyük avantajlarından biridir. MAP çöktürmesi diğer nütrient giderme yollarıyla karşılaştırıldığında verim yüksek ve sistem biyolojik yöntemlerden farklı olarak mevcut zehirli maddelerden etkilenmeme durumundan dolayı önemlidir. Bir başka avantajı ise işlem sonucunda oluşan çökeltinin nütrient bakımında zengin olması ve zararı olmayan bileşen içermemesi durumunda gübre olarak kullanılabilmesidir (Tünay vd., 1999).

2.8.5. MAP çöktürmesinin çevre mühendisliğindeki önemi

MAP çökelmesini farklı bir reaktörde çökmesi atıksu arıtma tesislerinde alternatif bir durumdur. Bu şekilde maliyet olarak yüksek işletme problemlerini önler ve nütrient (N, P) giderimi sağlar. Ayrıca faydalı bir yan ürün oluşmuş olur. Günümüzde MAP sayesinde yavaş serbestlesen gübre olarak, fosfat sanayisi için bir ham madde olarak, yangın direnç panelleri yapımında ve çimentolarda bağlayıcı materyal olarak kullanım gibi ticari durum oluşmaktadır (Öztürk, 2006).

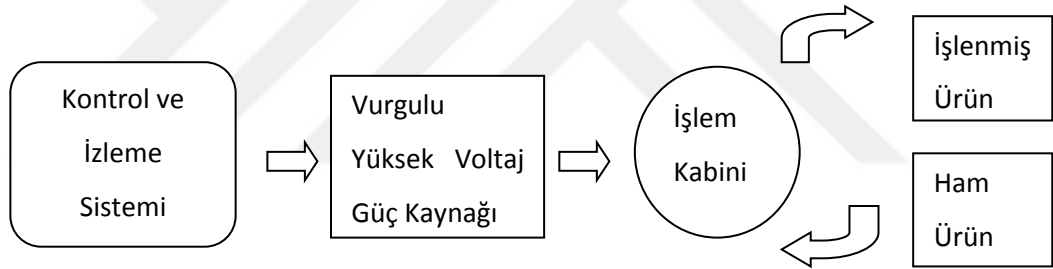
MAP reaktörün sayesinde atıksulardan azot ve fosfor giderimi sağlanabilir. MAP oluşumunun reaktörde kontrol edilmesiyle sebep olacağı işletme sorunları ve buna bağlı getireceği maliyetin önlenmesi de avantajlarından (Schuiling ve Andrade, 1999).

MAP çöktürmesi endüstriyel atıksulardan azot gideriminin yüksek verimler elde edilmesi ve azotun yanı sıra organik madde gideriminin de gerçekleşmesi nedenlerinden dolayı alternatif yöntem olarak son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. MAP katı fazı magnezyum (Mg^{2+}), amonyum (NH_4^+), fosfat (PO_4^{3-}) iyonlarının 1:1:1 molar oranında birleşmesi sonucu oluşmaktadır. Oluşan MAP kristalleri ortorombik şeklindedir. Beyaz renkli, yavaş serbestleşen, kristal yapıda inorganik bir maddedir. Aynı zamanda MAP kristalleri gübre niteliği taşımaktadır. Piyasada bulunan gübrelerden farkı azot ve fosfor bakımından daha zengin olmasıdır (Zengin, 2001).

2.9. Darbeli Elektrik Alan

Darbeli Elektrik Alan (PEF) prosesi iki elektrot arasındaki materyale yüksek yoğunluklu genellikle 20-80 kV/cm olan elektrik darbelerinin uygulanması işlemidir (FDA 2000). Bu işlem sıvılarda, mikroorganizma ve enzimleri inaktive etmek için kullanılan yeni bir termal olmayan sistemdir. Mevcut termal proseslere ek olarak geliştirilmiştir (Shamsi ve Sherkat, 2009). PEF teknolojisinde bazı önemli noktalar; materyale sıcaklık artışı olmadan uniform elektrik alan uygulanması ve elektroliz etkisini minimize edecek elektrotların dizaynıdır (FDA, 2000).

Klasik bir PEF sistemi, yüksek voltajlı bir vurgu jeneratörü, uygulama odacığı, akış kontrol sistemi, kontrol ve monitör aygıtından oluşmaktadır. Temel bileşenler Şekil 2.3.'de gösterilmektedir. Bunların özellikleri değişkenlik göstermektedir ancak temel sistemi aynıdır (Ağçam vd., 2014).



Şekil 2.3. PEF sisteminin temel bileşenlerinin şematik gösterimi

Yüksek voltajlı vurgu jeneratörü istenen zamanda ve yoğunlukta yüksek voltajlı darbelerin oluşmasını sağlar. Sistem bir güç bağlayıcısı ile istenen yoğunlukta yüksek voltaja sahip akım üretir, kapasitörlerde elektrik depolanmasını sağlar. Bu sistemin işleyişi üç madde ile yüksek voltajlı bir darbe olarak istenilen özellikte üretmek için tasarlanmış bir akım şemasından serbest bırakılmasıdır (Ağçam vd., 2014)

Uygulama odacığı PEF sistemi esas bileşenlerindendir. Uygulama odasında bulunan bir çift elektroda, üretilen yüksek voltajlı darbeler iletilir böylece uygulama odası yüksek yoğunlukta elektrik alan üretilmiş olur. Buralarda karşılıklı yerleştirilmiş elektrotlar bulunur ve materyal bu elektrotlar arasından geçerken yüksek voltajlı elektrik darbesinin etkisinde bırakılır. Bu odacıklar birbirine seri halde bağlanmıştır

ve borularla iki odacık arasında aktarımı sağlanmıştır. Fazla ısınma borular soğutularak engellenebilmektedir (Ağçam vd., 2014)

PEF sistemi mikrobiyolojik veya enzimatik inaktivasyona bakılarak ısı işlemlerle karşılaştırıldığında daha etkili olduğu kabul edilir. PEF sisteminin temeli ortam sıcaklıklarında veya orta sıcaklıklarda iki elektrot arasından geçen sıvı örneğe yüksek voltaj uygulanarak yüksek yoğunluklu elektrik alan darbelerinin uygulanmasıyla mikroorganizmaların inaktivasyonu şeklinde belirtilir (Shamsi ve Sherkat, 2009).

PEF sistemindeki darbe çeşitleri; eksponansiyel azalan darbe, kare darbe, bipolar kare darbe ve oscillator darbedir. En fazla kullanılan darbe çeşidi eksponansiyel azalan darbe ve kare darbedir. Eksponansiyel azalan darbeye voltaj hızla pik değere ulaşır ve yavaş yavaş sıfıra iner. Kare darbeye ise voltaj hızla pik değere ulaşır, bir süre bu değerde kalır ve tekrar hızlıca sıfıra iner. Kare darbe eksponansiyel darbeye kıyasla daha etkili ve daha fazla öldürücü etkiye sahiptir (FDA, 2000).

Elektrik alanın büyüklüğü, uygulama zamanı, uygulanan atım modeli, sıcaklık, akış hızı, atım genişliği, yüksek voltta uygulamanın odacık sayısı PEF prosesine bağlıdır.

9.1. Atımlı elektrik akımı ekipmanları

PEF sistemi; elektrik enerjisi oluşumunu sağlayan yüksek voltaj DC jeneratörü, jeneratör tarafından oluşturulan elektrik enerjisini depolayacak kapasitörler dizisi, pompalama sistemi, enerjinin kapasitörlerden elektrotlara gitmesini sağlayacak yüksek voltaj anahtarı, örneğin tutulması ve proses edilmesi için gerekli olan uygulama odacıkları, soğutma ekipmanı (ısı değiştiriciler), ısı kontrol ünitesi, kontrol sistemi (bilgisayar) ve paketleme üniteleri gibi ekipmanlardan meydana gelir (Altuntaş vd., 2008)

2.9.2. Elektrik akım jeneratörü

Elektrik akım jeneratörü düşük seviyedeki enerjiyi yüksek enerjiye çevirir ve PEF sistemine yüksek voltaj sağlar. Düşük seviyedeki voltaj sisteminde toplanıp depolanır ve sonrasında yüksek seviyedeki voltaja çevrilip elektrik akımı olarak üretilir (Zhang vd., 1995). Karşılıklı yerleştirilmiş elektrotlar odacıklarda bulunur ve materyal bu elektrotlar arasından geçerken yüksek voltajlı elektrik akımının etkisindedir. Odacıklar arka arkaya bağlanmış durumda ve iki odacık arasında iletimi sağlayan su banyosuna daldırılmış halde olan borular yerleştirilmiştir. Bu sayede sistemde fazla ısınma önlenabilir. PEF ile yapılan üretimlerde eşit dağılımı sağlamak amacıyla elektrik akımının sabit seviyede uygulanması gerekmektedir (Zhang vd., 1995).

Çalışma kapsamında PEF teknolojisi kullanılarak çamurun dezentegrasyonu hedeflenerek çamurun içeriğindeki azot ve fosforun sıvı faza geçirilmesi sağlanacaktır. PEF sisteminden geçirilen çamurun kimyasal olarak çöktürülmesi sağlanarak, azot ve fosfor geri kazanımı gerçekleştirilecektir. Kimyasal çöktürme prosesi olarak Magnezyum Amonyum Fosfat (MAP) çöktürmesi kullanılacaktır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan analitik yöntemler ve çalışmada kullanılan arıtma çamuru, PEF reaktör sistemi, PEF sistemi için kullanılan güç kaynağı, arıtma çamurlarından geri kazanım sistemi ile ilgili bilgi verilmiştir.

3.1. Çalışmada Kullanılan Analitik Yöntemler

Çalışma kapsamında; çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı (ÇKOİ), toplam katı madde (TKM), askıda katı madde (AKM), uçucu askıda katı madde (UAKM), toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), magnezyum, pH, sıcaklık, iletkenlik, geri kazanım MAP deneyleri yapılmıştır. Karakteristik özelliklerin belirlenmesinde ve arıtım verimliliğinin incelenmesinde yapılan deneyler standart metotlara göre yapılarak sonuçların ortalaması alınmıştır. Deneylere ait yöntemler aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1.1. Geri kazanım MAP (Magnezyum Amonyum Fosfat/Strüvit)

MHS-60 orto fosfatların giderimi için gerekli olan magnezyum miktarının stokiyometrik olarak hesaplanan değerdir. Dozlama oranı Q_{MHS60} ile gösterilen değer MHS-60 için gerekli olan debi oranıdır. M_{orthoP} değeri ise giderilen fosfor yüküdür. EF ise aşırılık faktörüdür. Çalışmada kullanılan magnezyum miktarı bu eşitlikle hesaplanmıştır. (3-1)

$$Q_{MHS60} = M_{orthoP} \frac{EF}{\frac{1.5 \text{ ton}}{kl} \cdot 0.55} \frac{MW_{Mg(OH)_2}}{MW_P} \quad (3-1)$$

3.1.2. TKOİ

Standart metotlarda 5220 D'ye göre 600 nm dalga boyunda Lange DR 6000 marka elektronik spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür (APHA, 2005).

3.1.3. ÇKOİ

Santrifüj cihazından alınan çamur örneğinin üst su dediğimiz kısmı standart metot 5220 D'ye göre Hach Lange marka DR6000 spektrofotometre ile 600 nm dalga boyunda ölçülmüştür (APHA, 2005).

3.1.4. Katı madde tayini

Toplam katı madde, askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde tayinleri yapılmıştır. Örneğin 103–105°C' de kurutmadan sonra geriye kalan maddeler katı olarak adlandırılır. Katı madde tayini için genel olarak gravimetrik yöntemler uygulanmaktadır. Toplam katı madde miktarı belirlendikten sonra kalan maddeler 550°C' de yakılır kalan maddeler tartılır. Bu sırada uçucu katı maddeler buharlaştırılmış olur. Toplam katı madde (TKM) tayini, standart metod 2540B no.lu standart yöntemle göre (APHA-AWWA) ölçülmüştür. Askıda katı madde tayini (AKM) tayini, 2540D nolu standart yöntemle göre (APHA-AWWA) ölçülmüştür. Uçucu askıda katı madde (UAKM) tayini, 2540E standart yöntemle göre yapılmıştır.

3.1.5. Magnezyum

Magnezyum (LCK 326) Lange marka kitleri kullanılarak yapılmıştır. Magnezyum için fotometrik ölçüm Hach Lange marka DR6000 spektrofotometrede yapılmıştır (APHA, 2005).

3.1.6. TN ve TP

Toplam Azot (TN) (LCK 338) ve Toplam Fosfor analizi (PO₄ - P) (LCK 350) Lange marka kitleri kullanılarak yapılmıştır. Toplam azot ve toplam fosfor için fotometrik ölçüm Hach Lange marka DR6000 spektrofotometrede yapılmıştır (APHA, 2005). Çalışmalarda kullanılan spektrofotometre Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan Lange Dr6000 spektrofotometre

3.1.7. pH ve sıcaklık

Deneysel çalışmalarda arıtma çamuru örnekleri için yapılan pH ve sıcaklık ölçümleri WTW marka pH metre (3210 cihazı) ile standart metot 4500-H⁺ 'ya göre ölçülmüştür (APHA, 2005). Kullanılan cihazla hem sıcaklık hem de pH ölçümü yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılan pH metre cihazı Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan pH- sıcaklık ölçüm cihazı

3.2. Çalışmada Kullanılan Atık Aktif Çamur

Isparta Evsel Atıksu Arıtma Tesisi mekanik, biyolojik ve çamur arıtma aşamalarından meydana gelmektedir. Tesisin hidrolik kapasitesi, 38.000 m³/gün dür. Çamur arıtma aşaması, ham çamur yoğunlaştırıcılar, ham çamur pompa istasyonu,

çürütücü, çamur depolama tankları santrifüjlü çamur susuzlaştırma istasyonu ve susuzlaştırılan çamur için depolama alanından oluşmaktadır. Isparta evsel atıksu arıtma tesisinde oluşan çamurlar santrifüjlendikten sonra çamur geçici depolama sahasında depolanmaktadır. Bu kısmın alanı 5400 m²'dir. Depolama alanındaki mevcut çamur miktarı yaklaşık olarak 10000 ton civarındadır. Tesiste üretilen çamurlar sürekli depolandıkları için yakın gelecekte mevcut depolama alanı kapasitesi yetersiz kalacaktır. Geçici depolama alanındaki arıtma çamurlarının katı madde değerleri % 20-25 arasında seyretmekte olup ortalaması %22,5'tir (Aksu, 2008).

Bu çalışmada kullanılmış olan evsel nitelikteki biyolojik atık çamur, Isparta Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinin aktif çamur havuzunun geri devir hattından temin edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan arıtma çamuru numunesi Şekil 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru

Alınan atık aktif çamur örnekleri tüm çalışmalarda katı madde (KM) içeriğini artırmak için 1-2 saat bekletilmiştir. Üst sıvı atılarak atık aktif çamurun katı madde içeriği %2 KM olacak şekilde ayarlanmıştır. Atık aktif çamur peristaltik pompa ile PEF reaktörüne verilmiş ve çamurun arıtım özellikleri ve reaktörde verimliliği incelenmiştir. İkinci aşamada PEF reaktöründen çıkan çamur çöktürülmüş ve sıvı kısmı alınarak azot ve fosforun kimyasal olarak çöktürülmesi sağlanarak, azot ve fosfor geri kazanımı gerçekleştirilmiştir. Kimyasal çöktürme prosesi olarak Magnezyum Amonyum Fosfat (MAP) çöktürmesi kullanılmıştır.

3.3. Güç Kaynağı

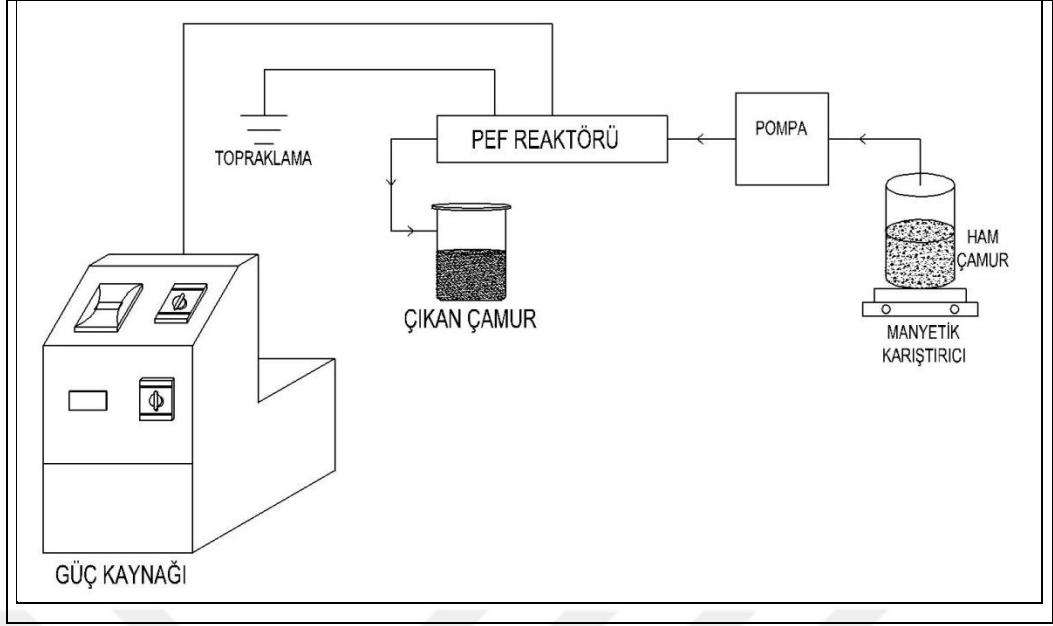
Çalışmada yüksek gerilim verebilen altı kademeli güç trafosu kullanılmıştır. Çıkış gerilim miktarları 6 – 12 – 18 – 24 – 30 ve 36 kV şeklindedir. Güç kaynağına bağlı seri diyotlar alternatif akımı kare dalgaya dönüştürüp darbeli akım oluşturmaktadır. Böylece darbeli yüksek gerilim oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan güç kaynağı Şekil 3.4’te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan güç kaynağı

3.4. PEF Sistemi

Çalışmada kullanılan PEF sistemi Şekil 3.5’te gösterilmiştir. Laboratuvar ölçekli veya pilot ölçekli PEF sistemlerinde bazı farklılıklar bulunmakla beraber sistem uygulama odacıkları, yüksek voltajlı güç kaynağı ve pompalama sisteminden oluşmaktadır. Elektrotlardan bir tanesi topraklama görevi görürken diğer elektrot ise yüksek gerilim olan güç kaynağına bağlıdır. Çamur örneği peristaltik pompa vasıtasıyla odacıklardan oluşan PEF reaktörüne verilmektedir. Örneklerin homojenliğini sağlamak için arıtım boyunca manyetik karıştırıcı ile sürekli karıştırma yapılmıştır.



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan PEF sistemi

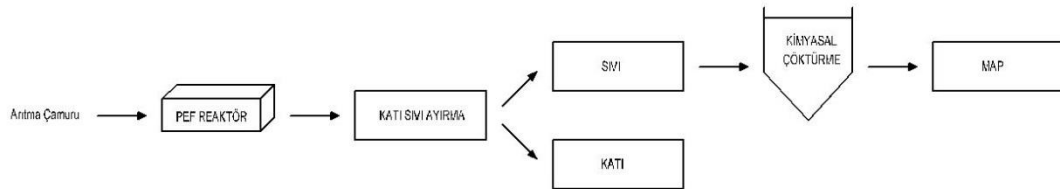
3.5. Strüvit Çöktürmesi (MAP)

Azot ve fosfor geri kazanımı yapılacak çamur örneği PEF sisteminden geçirildikten sonra 10000 rpm de 20 dk boyunca santrifüjlenmiştir. Santrifüjlenen çamurun üst sıvısı toplanmış, azot ve fosfor geri kazanımı için MAP çöktürmesi sağlanmıştır.

MAP çöktürmesi için Mg kaynağı olarak $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltisi, fosfat kaynağı olarak H_3PO_4 çözeltisi kullanılmıştır. Denemeler süresince $20^{\circ}C$ ve pH 9.5’da çalışılmıştır. Çalışmalarda MAP çöktürmesi için gerekli optimum değerler tespit edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışma 3 aşamadan oluşmuştur. 1. aşama PEF reaktörü ile arıtım, 2. aşama çamurdan azot ve fosforun çözünür formda alınması ve 3. aşama kimyasal çökeltim ile MAP kristallerinin oluşumudur.



Şekil 4.1. Azot ve fosfor geri kazanım akım şeması

Çalışmada Isparta Atıksu Arıtma Tesisinin aktif çamur havuzunun geri devir hattından temin edilen çamur örneği kullanılmış ve denemeler boyunca çamur laboratuvar ortamında $+4^{\circ}\text{C}$ 'de saklanmıştır. Tesisten alınan çamurun aynı gün içinde karakteristik özelliği belirlenmiştir. Çamurun karakteristik özellikleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan arıtma çamuru

4.1. PEF Sistemi

Arıtma çamuru örneği darbeli elektrik alan sisteminden yüksek voltajla geçirilmiştir. Çalışmadaki sistem Şekil 3.5’de olduğu gibi PEF reaktörü, yüksek gerilim güç kaynağı ve çamuru reaktöre ileten peristaltik pompadan oluşmaktadır. PEF sistemi sonrası çamur örneğinin karakteristik özellikleri önemli ölçüde değişmektedir. Çizelge 4.1’de PEF öncesi ve PEF sonrası çamurun karakteristik özellikleri verilmiştir. PEF öncesi ile sonrasındaki değerler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1. PEF öncesi ve sonrası çamur numunesinin karakteristik özelliği

	PEF Öncesi	PEF Sonrası
Karakteristik	Değer	Değer
pH	6.88	6.79
İletkenlik(μ S/cm)	1298	1660
Sıcaklık C ⁰	20,8	37,2
ÇKOI(mg/L)	1231,4	2107,9
TN(mg/L)	123,2	420
TP(mg/L)	42,4	60,6
Mg(mg/L)	31,9	63,9
AKM(mg/L)	49230	49668
UAKM(mg/L)	47100	43425
TKM(mg/L)	57725	52225
UKM(mg/L)	41007	41398

PEF öncesi ve PEF sonrası çamur örneğinin karakteristik özellikleri karşılaştırıldığında pH ve iletkenlik değerlerinde fazla bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Sıcaklık değeri başlangıçta 20,8⁰C iken sistem sonrası değer 37,2⁰C’ye yükselmiştir. ÇKOI değeri 1231,4 olan çamur örneği sonrasında yaklaşık iki kat artarak 2107,9 değerine çıkmıştır. Toplam azot değeri 123,2 mg/L’ den 420 mg/L’ye çıkmış ve verimin yaklaşık 3 kat arttığı gözlenmiştir. Toplam fosfat değeri 42,4 mg/L’den 60,6 mg/L’ye ve magnezyum değeri ise 31,9 mg/L’den 63,9 mg/L’ye yükselerek 2 kat artış olduğu gözlenmiştir. Askıda katı madde analizlerindeki değişimlere bakıldığında askıda katı madde değeri başlangıçta 49230 mg/L iken 49668 mg/L, uçucu askıda katı madde değeri 47100 mg/L’den 43425 mg/L, toplam katı madde değeri 57725 mg/L’den 52225 mg/L ve son olarak uçucu katı madde değeri 41007 mg/L’den 41398 mg/L olarak değişmiştir.

4.2. MAP Çöktürmesi

MAP çöktürmesi çalışması için 1 devir PEF reaktör çıkışı çamur örneği 10000 rpm de 20 dk boyunca santrifüjden geçirilmiş ve çamur örneğinin üst sıvısı alınmıştır. Magnezyum ve fosfat kaynakları olarak kullanılan $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ve H_3PO_4 stok çözeltileri hazırlanmıştır. Magnezyum kaynağı olarak kullanılan $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltisi 0,049 M ve fosfor kaynağı olarak kullanılan H_3PO_4 stok çözeltisi 0,12 M olarak hazırlanmıştır.

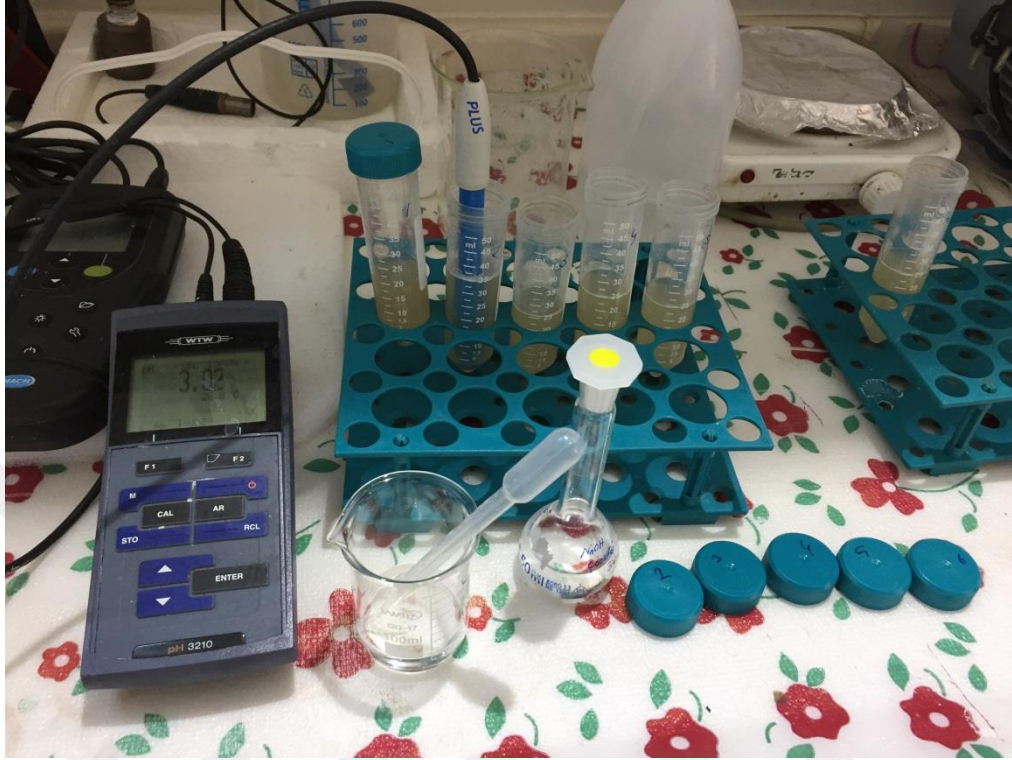
Altı adet falkon tüpünün her birine 10000 rpm de 20 dk.lık santrifüjden geçen numune üst sularından 20'şer ml alınarak eklenmiştir. İki aşamalı olarak gerçekleştirilen çalışmanın birinci aşamasında fosfor kaynağı olarak fosforik asit eklenerek çökeltme bırakılmıştır. pH 9.5 ve 20°C'de çamur üst suyundan MAP elde edilebilirliği incelenmiştir. MAP çöktürmesi üzerine yapılan bir çalışmada 20°C'de MAP çözünürlüğünün en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir (Schulze Rettmer, 1991). Bu nedenle çalışma sıcaklığımız 20°C olarak seçilmiştir. Rettmmer, (1991) evsel atıksularda MAP oluşumu için optimum pH değeri 8-10, Münchve Barr (2001) evsel atıksu çamuru için MAP oluşumu için optimum pH değerini 8.5 olarak belirlemiştir. Çalışma öncesi yapılan pH denemesi ile pH 9.5 değerinin daha iyi çökeltme verimi verdiği gözlenmiş ve çalışma pH 9.5'da gerçekleştirilmiştir. Çalışma aşamaları:

- Santrifüjden geçen numunelerin üst sularının eklendiği altı falkon tüpüne fosfor kaynağı olarak stok çözeltisi hazırlanan H_3PO_4 çözeltisi Çizelge 4.2.'de belirtilen oranlarda eklenmiştir.

Çizelge 4.2. Eklenen fosfor kaynaklarının miktarları

Örnekler	H_3PO_4
1	0 ml
2	0,5 ml
3	1 ml
4	1,5 ml
5	2,0ml
6	2,5 ml

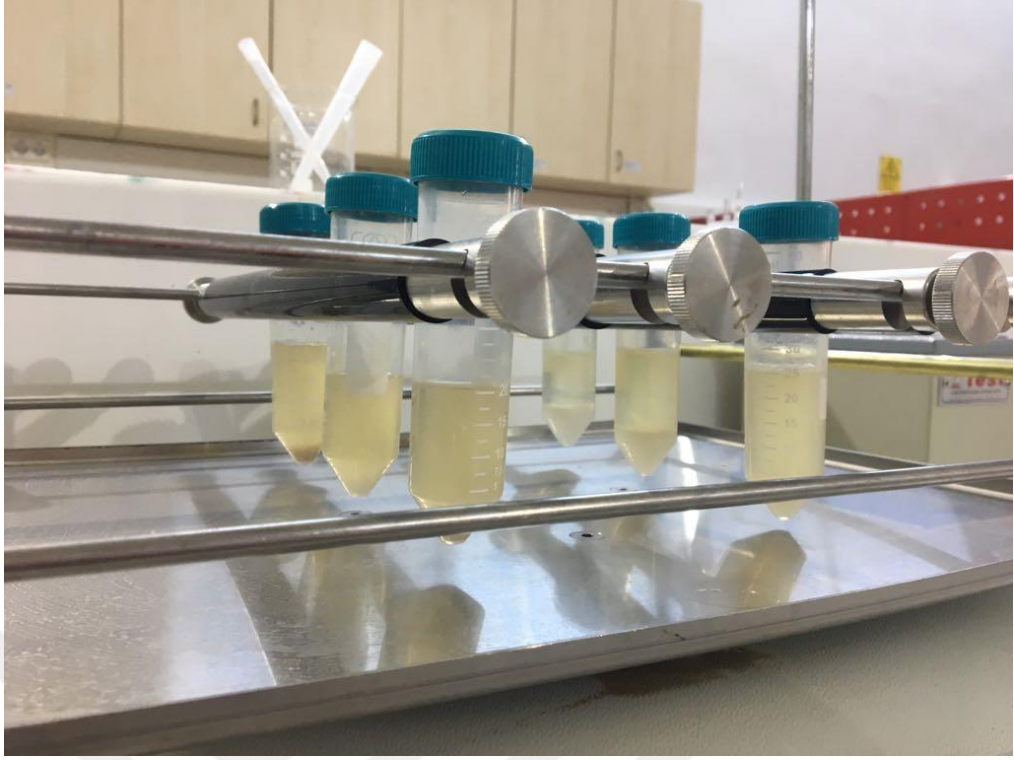
- Şekil 4.3'te görüldüğü gibi NaOH ilavesi ile her bir falkon tüpünün pH değerinin 9.5 olması sağlanmıştır.



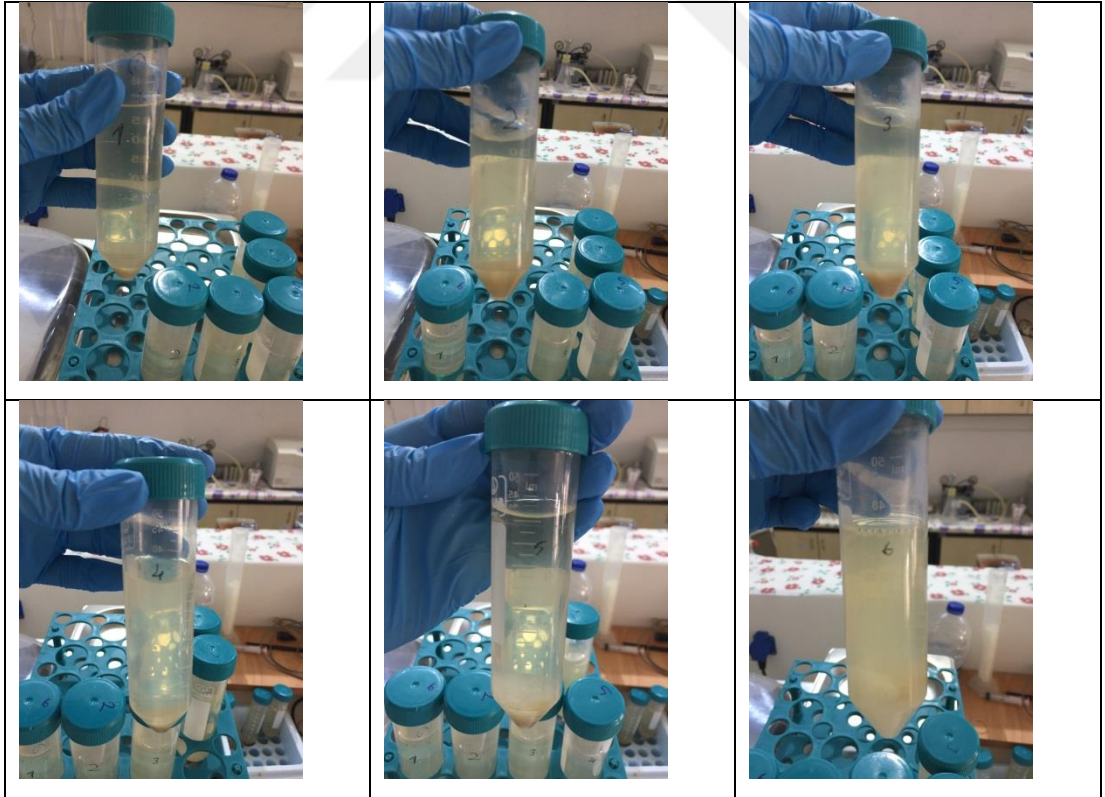
Şekil 4.3. pH ayarlaması

- pH ayarlanmasının yapılması sonrasında falkon tüpleri çalkalayıcıya yerleştirilmiştir ve 30 dk boyunca 100 rpm de homojen şekilde karışımları sağlanmıştır.

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi örnekler karışımdan sonra çökelmenin oluşması için 3 saat boyunca bekletilmiştir. Stratful (2001) yaptığı çalışmada MAP çöktürmesi için reaksiyon süresinin 1 dakikadan 1 saate çıkarılarak en büyük kristal büyüklüğünün 0,1 mm'den 3 mm' ye çıktığı sonucuna varmışlardır. Çalışmada çökeltme miktarının zamanla değişimi incelendiğinde 3 saat gibi bir sürede tam çökelmenin olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.4. Örneklerin çökelmeleri için bekletilmesi



Şekil 4.5. Bekleme sonrası çökelen kısımların incelenmesi

Bekleme sonunda en fazla çökeltim 2 ml fosforik asit eklenen falkon tüpünde ve 2,5 ml fosforik asit eklenen falkon tüpünde gözlenmiştir.

- 1. aşamanın sonunda ise en çok çökeltim olduğu gözlenen falkon tüplerindeki örnekler önce Şekil 4.6’da olduğu gibi AKM setinde süzölmüş daha sonra filtre kâğıdındaki süzölen çökeleğin içindeki nemin yok olması için oda sıcaklığında bekletilmiş desikatörde tamamen kuruması sağlanmıştır.



Şekil 4.6. Strüvit kristallerinin AKM setinde süzölmesi

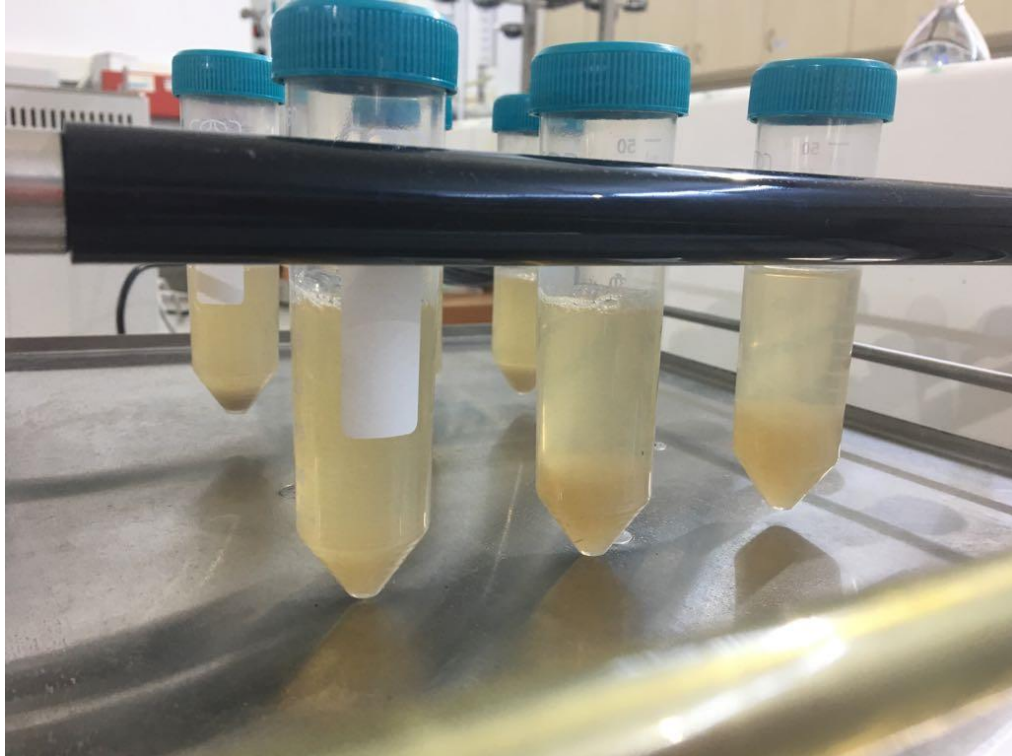
Çalışmanın 2. aşamasında ise 1. aşamada hazırlanan falkon tüplerine eklenen fosforik asit ile birlikte magnezyum kaynağında ilave edilmiştir. Bu aşamada;

- 1. aşamada da olduğu gibi 10000 rpm de 20 dk ‘lık santrifüjden geçen çamur üst suyu alınmış altı adet falkon tüpüne 20’şer ml eklenmiştir.
- Çizelge 4.2’de belirtilen miktarlarda fosforik asit eklemeleri yapılmıştır.
- Magnezyum kaynağı olarak kullanılan stok $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltisinden her bir falkon tüpüne Çizelge 4.3’te belirtildiği miktarlarda eklenmiştir.

Çizelge 4.3. Eklenen magnezyum kaynaklarının miktarları

Örnekler	Mg
1	0,5 ml
2	1 ml
3	1,5 ml
4	2,0ml
5	2,5 ml
6	3 ml

- Eklenen magnezyum kaynaklarından sonra tüm örneklerin NaOH çözeltisi ile pH değerleri 9.5 olacak şekilde ayarlanmıştır.
- Daha sonra her bir falkon tüpü çalkalayıcıya konmuş ve 30 dk boyunca 100 rpm de karıştırıcıda karıştırılmıştır.
- 30 dk'nın sonunda çökeltimin gerçekleşmesi amacıyla Şekil 4.7.'de gösterildiği gibi 3 saat ve 24 saat beklenmiştir.



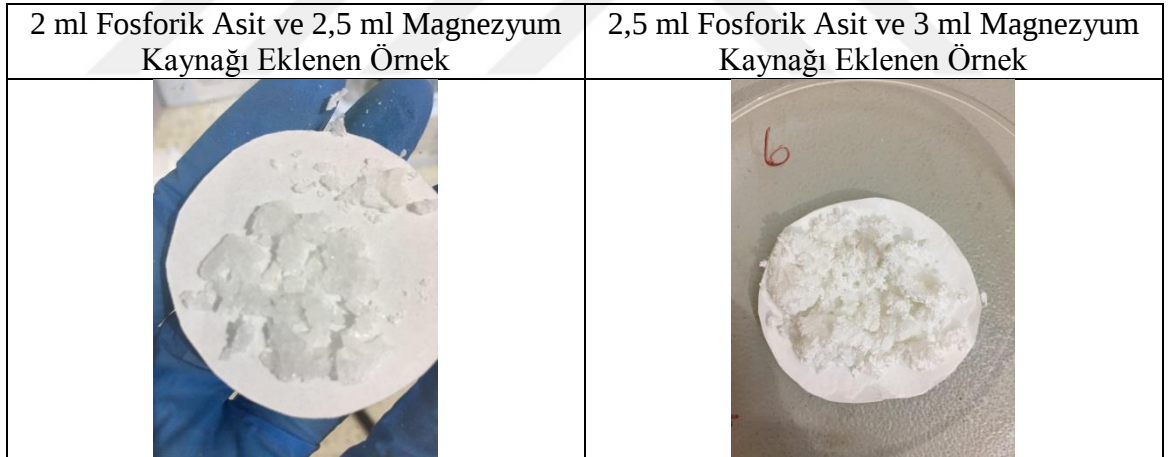
Şekil 4.7. Örneklerin çökelmeleri için bekletilmesi

Beklemenin sonunda en fazla çökeltim 2,5 ml magnezyum kaynağı eklenen falkon tüpünde ve 3 ml magnezyum ilavesi olan falkon tüpünde gözlenmiştir. Bu iki örneğin üst suyu alınmış ve analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

2,5 ml magnezyum kaynağı eklenen örnek için başlangıç mg değeri 63,7 mg/l'den yaklaşık olarak yarı yarıya azalarak 31,3 mg/l'ye düşmüştür. Aynı şekilde 3 ml magnezyum kaynağı eklenen örnekteki azalma da 63,7 mg/l'den 32,8'e düşmüştür. İki örnek içinde toplam azot değerlerinde yarı yarıya azalma gözlenirken toplam fosfor ilk örnek için 67 mg/l'den 58,7 mg/l'ye, ikinci örnek için ise 67 mg/l'den 57,9 mg/l'ye azalmıştır. Elde edilen çökeltiler AKM setinde süzildükten sonra desikatörde bekletilmiştir. Desikatör sonrasındaki kristal görünümü Şekil 4.8'de görülmektedir.

Çizelge 4.4. Analiz sonuçları

	2 ml Fosforik Asit ve 2,5 ml Magnezyum Kaynağı Eklenen Örnek		2,5 ml Fosforik Asit ve 3 ml Magnezyum Kaynağı Eklenen Örnek	
	Başlangıç	Çökelme sonrası	Başlangıç	Çökelme sonrası
Mg (mg/l)	63,7	31,3	63,7	32,8
Toplam Azot (mg/l)	646	321	646	310
Toplam Fosfor(mg/l)	67	58,7	67	57,9



Şekil 4.8. Kurutulmuş çökelti görünümü

4.3. pH Zaman ve Sıcaklık Denemeleri

Bu çalışmada MAP çöktürmesine pH, zaman ve sıcaklık parametrelerinin etkisi incelenmiştir. pH denemesi için; çökelmenin olduğu ya da en fazla çökelmenin hangi pH değerinde oldu ise optimum değer olarak değerlendirilmiştir. Zaman ve sıcaklık denemelerinde ise belirlenen optimum pH değerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma

ile MAP çökelmesinin en iyi hangi bekleme süresinde ve en iyi hangi sıcaklıkta gerçekleştiği belirlenmiştir.

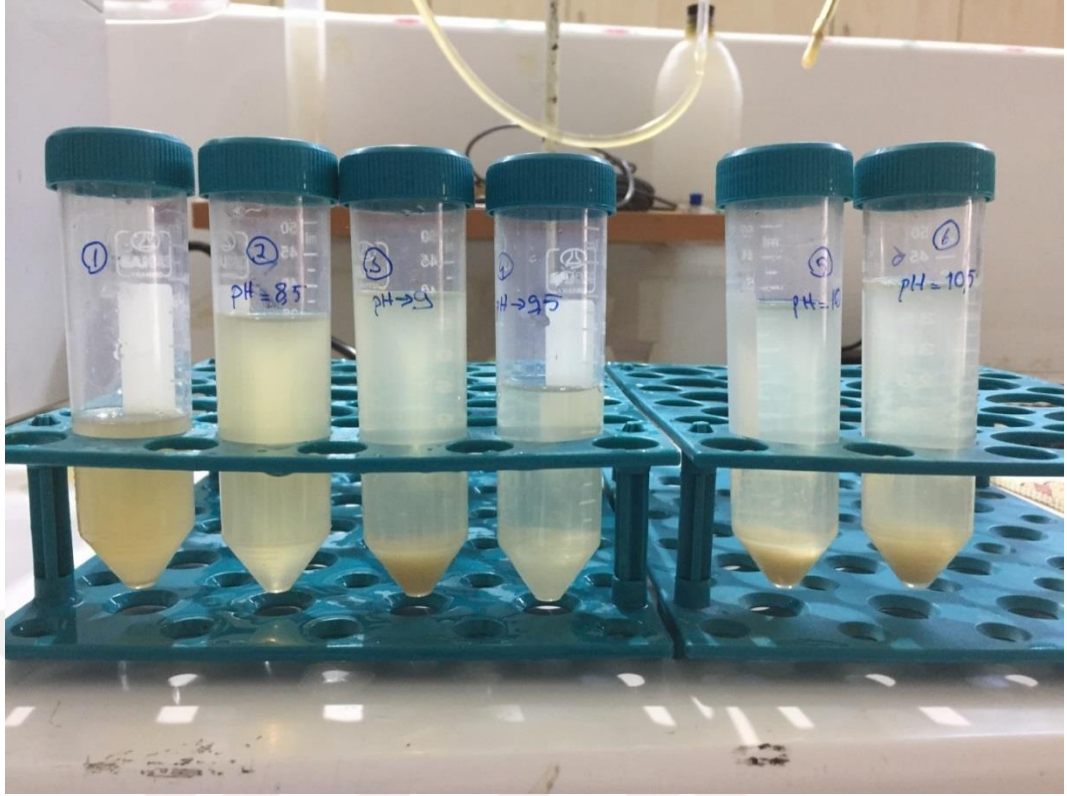
4.3.1. pH denemesi

MAP çökmesi için örnek altı adet falkon tüpüne 20'şer ml olacak şekilde alınmıştır. Her bir falkon tüpünün sıcaklığı 20°C olmak üzere fosfat kaynağı olarak H_3PO_4 çözeltisinden 2,5 ml ve magnezyum kaynağı olarak $MgCl_2.6H_2O$ çözeltisinden 3 ml eklenmiştir. 1. falkon tüpünde herhangi bir pH ayarlaması yapılmamış kendi pH değeri olan 7.17'de bırakılmıştır. Diğer örneklerde ise NaOH çözeltisi ile pH ayarlaması yapılmıştır. 2 numaralı falkon tüpü pH 8.5 olacak şekilde ayarlanmıştır. 3 numaralı falkon tüpü pH değeri 9.0, 4 numaralı falkon tüpü pH değeri 9.5, 5 numaralı falkon tüpü pH değeri 10 ve son olarak 6 numaralı falkon tüpündeki pH değeri 10.5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen pH değerleri Çizelge 4.5. pH denemesinde gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. pH denemesi

Örnekler	pH Denemesi
1	7.17
2	8.5
3	9.0
4	9.5
5	10.0
6	10.5

Her bir falkon tüpü 30 dakika boyunca çalkalayıcı yardımıyla karıştırılmıştır. Daha sonra çökelmenin gözlenmesi için 24 saat bekletilmiş ve bekleme sonrası oluşan çökeltiler Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. pH denemesi

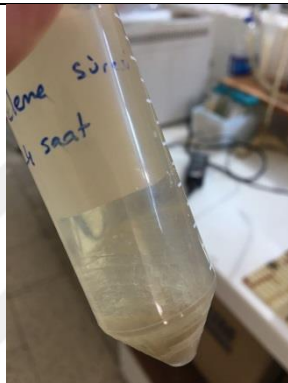
Sonuçlara bakılarak oluşan MAP çöktürmesi oluşumunda pH değeri değiştirilmemiş olan 1 numaralı falkon tüpünde herhangi bir çökelen madde gözlenmemiştir. pH değeri 8.5 olan 2 numaralı falkon tüpünde de aynı şekilde oluşan bir çökelti yoktur. pH değerleri 9.0- 10.0 ve 10.5 olan 3 falkon tüpünde ise çökelen maddeye rastlanmıştır ama dibe çöken katıda herhangi bir kristal yapı olmadığı gözlenmiştir. 4 numaralı pH 9.5 olarak ayarlanan örnekte ise kristal bir yapı olduğu gözlenmiştir. Böylece optimum pH değerinin 9.5 olduğu tespit edilmiştir. 4 numaralı örnekteki kristal Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. pH denemesi

4.3.2. Zaman denemesi

Zaman parametresinin değişken olarak kullanıldığı çalışmada PEF sisteminden geçirilen çamur örneği beş adet falkon tüpüne 20'şer ml alınmıştır. Her bir falkon tüpünün sıcaklığı 20°C'de olmak üzere fosfat kaynağı olarak H_3PO_4 çözeltisinden 2,5ml ve magnezyum kaynağı olarak $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltisinden 3 ml eklenmiştir. NaOH çözeltisi dört falkon tüpünün de pH değeri 9.5 olarak ayarlanmıştır. MAP çökmesinin oluşumunu gözlemlemek için bekleme süreleri 1 numaralı falkon tüpünde 1 saat, 2 numaralı falkon tüpünde 3 saat, 3 numaralı falkon tüpünde 6 saat, 4 numaralı falkon tüpünde 18 saat ve 5 numaralı falkon tüpünde ise 24 saat olarak belirlenmiştir. Şekil 4.11'de bekleme sonrası oluşan çökeltiler gösterilmiştir.

1 saat bekleme süresi	3 saat bekleme süresi	6 saat bekleme süresi
		
18 saat bekleme süresi	24 saat bekleme süresi	24 saat sonraki süzüntü
		

Şekil 4.11. Zaman denemesi

Zaman denemesi sonucuna göre MAP çöktürmesinin 1 saatte gerçekleştiği fakat en iyi çökelmenin 24 saatlik bekleme sonunda olduğu görülmüştür. Daha sonra örneklerde oluşan çökeltme miktarları belirlenmesi için her bir falkon tüpündeki çöken kısımlar AKM setinden geçirilerek süzölmüş, filtrelenen çöken kısımlar nem tutucuda bekletildikten sonra tartımı yapılmıştır. Tartım sonuçları Çizelge 4.6’da gösterilmektedir.

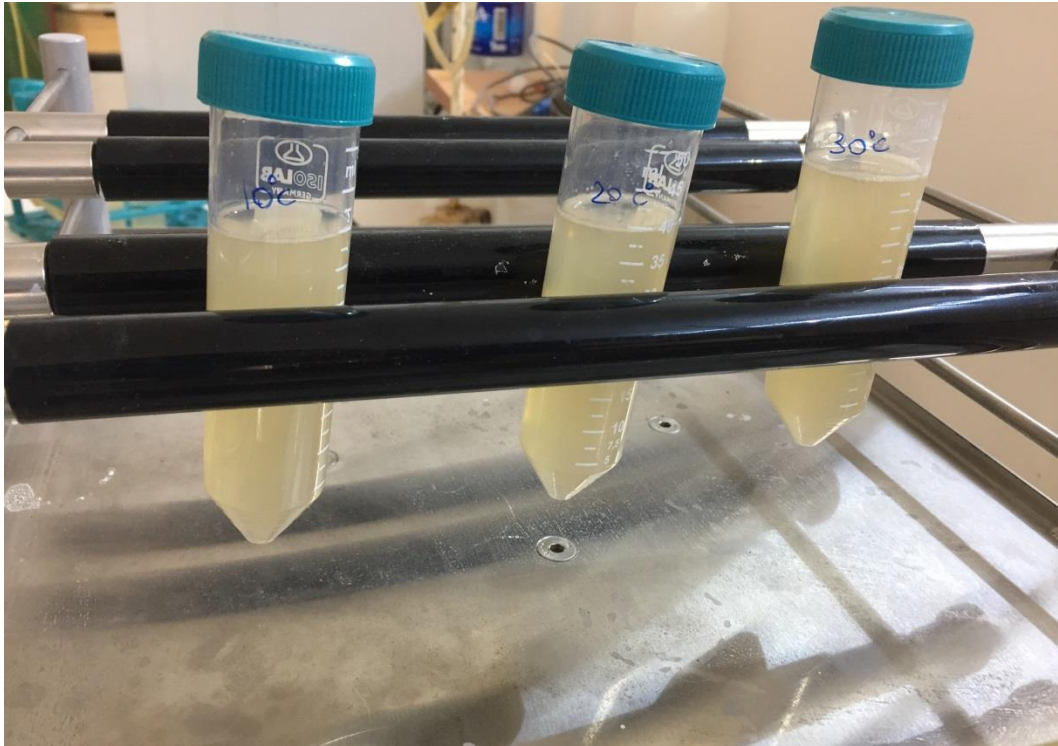
Çizelge 4.6. Zaman denemesi tartım sonuçları

Zaman	Tartım sonucu (gram)
1 saat	0,858
3 saat	0,899
6 saat	2,581
18 saat	4,5406
24 saat	6,435

Bekleme süresinin değişken olarak kullanıldığı denemede bekleme süreleri sonrasındaki gözlemler ve tartım sonuçlarına bakılarak 1 saat, 3 saat ve 6 saatlik bekleme süresi olan falkon tüplerinde çökelme olmuş ancak oluşan çökelek tam olarak istenilen miktarda olmadığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında 24 saat bekleme süresinde kristal yapılı ve miktar olarak daha fazla çökelme gözlenmiştir. Oluşan MAP çöküntü miktarının yüksek ve kristalli olması nedeniyle bekleme süresi 24 saat olduğu belirlenmiştir. Bu oluşan çökelek kısım süzölmüş ve göröldüğü gibi kristal yapılar elde edilmiştir.

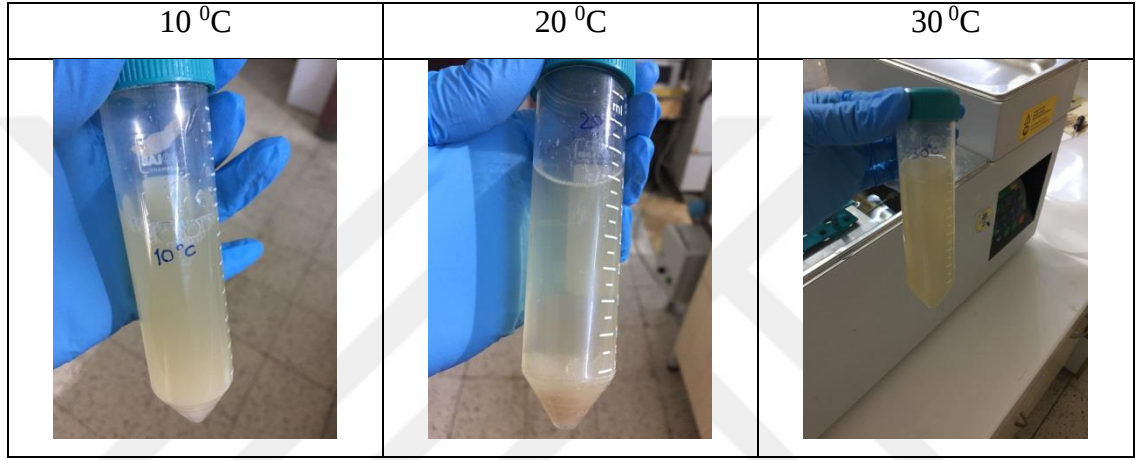
4.3.3. Sıcaklık denemesi

Sıcaklık parametresinin değişken olarak kullanıldığı çalışmada PEF sisteminden geçirilen çamur örneği üç adet falkon tüpüne 20'şer ml alınmıştır. Her bir falkon tüpüne fosfat kaynağı olarak H_3PO_4 çözeltisinden ise 2,5ml ve magnezyum kaynağı olarak $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ çözeltisinden 3 ml eklenmiştir. pH değerleri NaOH çözeltisi eklenerek 9.5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Üç falkon tüpü çalkalayıcıya Şekil 4.12'de olduğu gibi yerleştirilmiştir ve yarım saat karışımı sağlanmıştır.



Şekil 4.12. Sıcaklık denemesi çalkayıcıda karıştırılması

Karıştırıcı sonrasında birinci falkon tüpü sürekli derece ile kontrolü sağlanarak 10⁰C’de olacak şekilde buzdolabında bekletildikten sonra belirlenen sıcaklık değerinde çökelme ve MAP oluşumu izlenmiştir. İkinci falkon tüpü derece kontrolü sağlanarak laboratuvar ortamında 20⁰C’de olacak şekilde bekletilmiştir ve sonrasında oluşan çökelti miktarı ve yapısı incelenmiştir. Son olarak üçüncü falkon tüpü ise 30⁰C’de olacak şekilde su banyosu ayarlanmış ve sabit sıcaklığa ulaştığında oluşan çökelme ve MAP oluşumuna bakılmıştır. Bu üç farklı sıcaklıkta yapılan gözlemler Şekil 4.13’de gösterilmiştir.

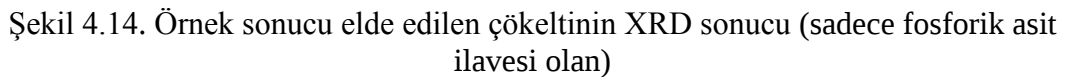


Şekil 4.13. Farklı sıcaklıkta oluşan çökeltiler

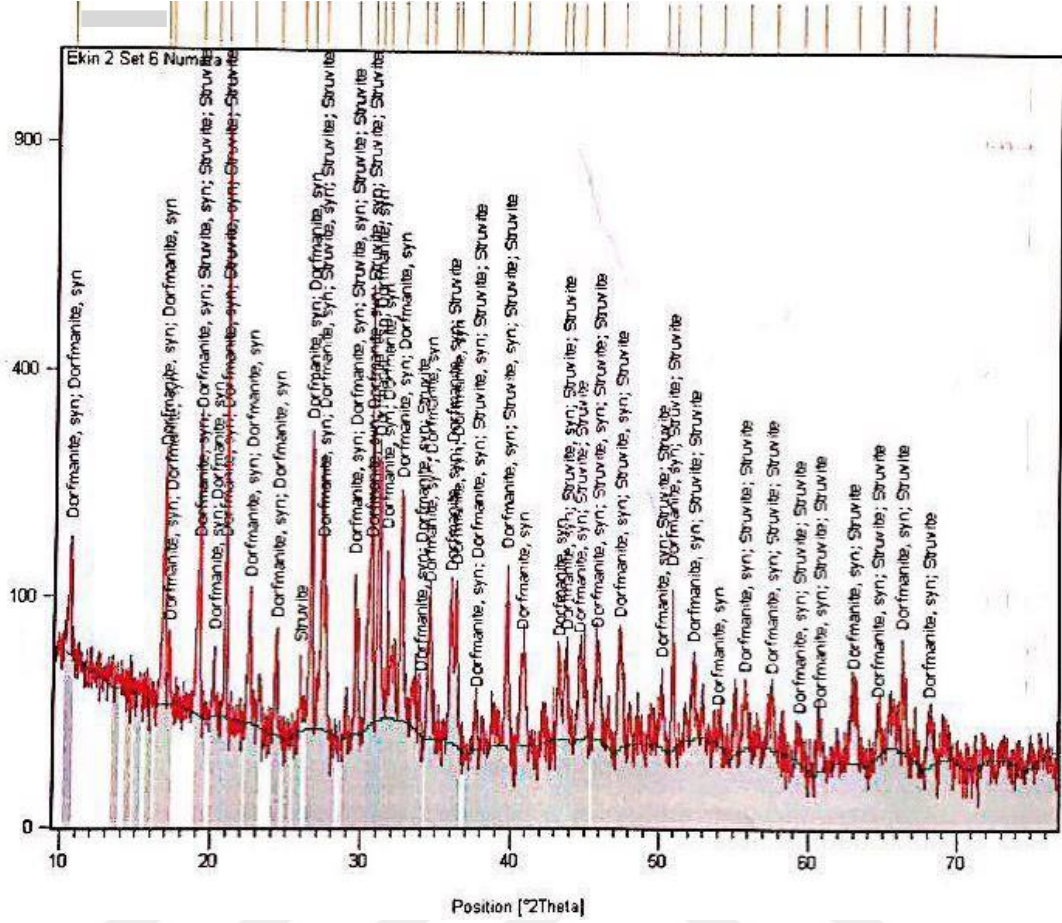
Resimlerde de görüldüğü üzere;

- 10⁰C denemesi yapılan falkon tüpündeki örnekte kum şeklinde bir beyaz tortu oluşmuş ancak oluşan tortuların kristal görünümünde olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca çökelti şeklinde oluşmayan tortunun çökmeyerek bekledikçe dağıldığı gözlenmiştir.
- 20⁰C’de bekleme süresi sonucunda çökelme olmuştur. Oluşan çökeltinin yapısı da kristal yapıda olduğu gözlenmiştir.
- 30⁰C’de su banyosundan çıkarılan numunede herhangi bir çökelme gözlenmemiştir. Örnek tamamen koyu renklenmiş bir sıvı şeklinde görünmüştür.

Çalışmanın 1. aşamasında 6 farklı oranda fosforik asit ilave edilmiş optimum pH, optimum sıcaklık ve bekleme süresi sonrasında çökelprenin gerçekleştiği 2 ml fosforik asit eklenen örnekten çökelti kurutulularak XRD analizleri yapılmıştır. Oluşan grafik Şekil 4.14'te gösterilmektedir. Grafikten MAP az miktarda elde edildiği bulunmuştur.



49



Şekil 4.15. Örnek sonucu elde edilen çökeltilinin XRD sonucu (fosforik asit ve magnezyum kaynağı ilavesi olan)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Evsel nitelikli arıtma çamurları nütrient bakımından oldukça zengindir. İçeriğindeki azot ve fosforun diğer bileşenlerle karışmadan ayrı toplanması için azot ve fosfor bileşenlerinin kullanılabilir bir biçimde uzaklaştırılması gerekmektedir. Azot ve fosfor içerikleri arıtma çamurlarının gübre değerini ortaya koymakta, organik madde değeri de bu maddenin toprak için ayrı bir önem taşıdığını göstermektedir. Azot ve fosfor bileşiklerinin kimyasal çöktürme yöntemiyle geri kazanımı mümkündür. Bu yöntemlerin biri MAP (magnezyum amonyum fosfat) çöktürmesidir. MAP çöktürmesi sonucunda elde edilen katı çökelti yüksek azot ve fosfor içeriğine sahip olmasından dolayı toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilir. Arıtma çamurlarının geri kazanımının sağlanmasıyla depolama alanına gidecek yük azalacaktır. Arıtma çamurlarının geri kazanımı sayesinde depolama alanına gidecek atık yükü azalacağından, depolama alanının ömrünün artması sağlanacaktır. Çamur içeriğindeki azot, fosfor ve potasyum gibi bitki besin elementlerinin doğal döngülerine tekrar kazandırılması sağlanacaktır. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılması ile suni gübre tüketimi azalacaktır. Çamur içeriğindeki azot, fosfor ve potasyum gibi bitki besin elementleri çevreye tekrar kazandırılacaktır. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılması aynı zamanda suni gübre alımını ve kullanımını azaltacaktır.

Arıtma çamuru miktarının kaynağında azaltılması ve metan gazı miktarında artış ile daha fazla enerji elde edilmesi, çevreye zarar vermeyen kokusuz, stabil bir çamur oluşumu gibi avantajlar göz önüne alındığında çamur dezentegrasyon işlemlerinin arıtma tesislerinde zamanla yaygın bir kullanım alanına sahip olacaktır. Arıtma çamurları için en uygun dezentegrasyon metodunun belirlenmesine yönelik olarak laboratuvar ölçeğinin yanı sıra gerçek bir tesiste işletmede karşılaşılabilecek sorunların belirlenmesi amacıyla tam ölçekli çalışmalar gerekmektedir.

Yapılan çalışmada evsel arıtma tesislerinden kaynaklanan biyolojik atık çamurun yeni bir çamur dezentegrasyon yöntemi olan Darbeli elektrik alan (PEF) tekniği kullanılmıştır. Bu yeni yöntem olan PEF sisteminin etkin bir şekilde kullanılması için sistem dizaynı ve sistemde uygulanacak elektrik akım şiddetinin artırılmasına yönelik çalışmalar bu teknolojinin yaygınlaştırılmasını sağlayabilir. Çamura

uygulanan darbeli elektrik alan ile çamurun karakteristik özellikleri değişmiş ÇKOİ, TN ve TP gibi parametreler sıvı fazda artış göstermektedir. PEF arıtımı sonrası sıvı fazda artan TN ve TP'un geri kazanımı için kimyasal çöktürme prosesi olarak Magnezyum Amonyum Fosfat (MAP) çöktürmesi kullanılmıştır.

İki aşamada gerçekleşen MAP denemelerinde şu sonuçlara varılmıştır;

- MAP oluşumunda magnezyum kaynağı olarak $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, fosfor kaynağı olarak da fosforik asit ilavesi yapılmıştır. İki kimyasal içinde maliyetleri ve sarf edilecek miktarları göz önüne alınarak bir seçim yapılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Farklı bir çalışmada bu kullanılan kaynaklardan farklı kimyasal eklemeleri yapılarak oluşan çökeltinin miktarı karşılaştırılabilir.
- Denemeler sonunda en iyi MAP elde edildiği değerler 2,5 ml fosforik asit ve 3 ml magnezyum kaynağı eklenmesiyle bulunmuştur.
- Çökelme için ilk aşamada sadece fosforik ilavesiyle strüvit eldesi XRD'de analizlenmiş analiz sonucunda az miktarda strüvit elde edildiği uzman tarafından belirlenmiştir. İkinci aşamasında ise fosforik asitin yanında magnezyum kaynağı ilavesiyle elde edilen strüvit XRD analizi sonucunda strüvit elde edildiği belirlenmiştir.
- MAP oluşumu için optimum pH değerinin belirlenmesi için 8, 8.5, 9, 10, 10.5 değerlerinde çalışılmıştır. Oluşan çökeltiye ve çökeltinin miktarına bakıldığında en uygun değerinin pH 9.5 olduğu bulunmuştur.
- Sıcaklık parametresinin etkisi incelendiğinde 3 farklı sıcaklık değerinde (10°C, 20°C ve 30°C) denemeler yapılmıştır. Deneme sonunda uygun sıcaklık değeri 20°C olarak bulunmuştur.
- En fazla çökelti elde edilmesi için bekleme süresi denemeleri 3 saat, 6 saat, 12 saat, 18 saat ve 24 saat olarak belirlenmiştir. En iyi sonuç 24 saatlik bekleme süresinde gözlenmiştir.
- Magnezyum Amonyum Fosfat (MAP) çöktürmesi pek çok yönüyle kimyasal arıtmaya alternatif bir arıtma yöntemidir. Optimum pH değeri olan 9.5, optimum sıcaklık değeri 20°C ve en iyi çökelti gözlenen 24 saatlik bekleme sonucunda analizler ve deneyler sonrası elde edilen çökelti kurutulmuş ve XRD analizi sonucunda strüvit oluşumu yanında sodyumlu bileşiklerin de olduğu görülmüştür.

Çamurdan azot ve fosfor geri kazanımı amacıyla uygulanan klasik yöntemler PEF kullanımı ile karşılaştırıldığında çamurda bulunan ağır metallerin sıvı faza geçmemesi dolayısı ile avantajlıdır. Bu durum saf strüvit elde edilmesine imkan vermektedir. Ayrıca kimyasal madde kullanılmaması ve kimyasal işlem gerektirmemesi avantajları arasındadır. Kullanılan enerjinin elde edilmesi, sürekliliği ve çevreye dost oluşu ayrıca bu teknolojinin avantajları arasındadır. PEF teknolojisine dair çalışmalar pilot ölçek dışında kullanılabilir. Bu teknolojinin sanayide kullanımı ve yaygınlaştırılması, teknolojinin yerli sanayi tarafından üretilmesine olanak sağlanmış olacaktır. Literatürlerde PEF sistemi ile işleme maliyetinin yüksek olmadığı da belirtilmektedir. Bu özelliğinden dolayı sistemin işletme maliyetlerini de düşürmektedir.



KAYNAKLAR

- Ağçam., E. , Akyıldız A., Evrendilek, G.A.,2014., Vurgulu Elektrik Alan Teknolojisi (PEF): Sistem ve Uygulama Odacıkları, 1Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bolu
- Aksu, T, 2008. Isparta Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisinde Oluşan Çamurun Bertaraf Stratejilerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- Akyarlı, A., Şahin, H. 2005. Arıtma Çamurlarının Bertarafında Kireç Kullanımı; I.Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, AÇS2005 23-25 Mart 2005, İzmir.
- Altuntaş, J., Akın, E., Akdemir Evrendilek, G.,2008. Atımlı Elektrik Akımı: Sistem Tasarımı ve Mikrobiyel İnaktivasyon
- Alvarez, I., Virto, R., Raso, J., Condon, S. 2003. Comparing predicting models for the Escherichiacoliin activation by pulsed electric fields. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 4: 195-202.
- APHA, AWWA, WEF, (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edn. American Public Health Association/ American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington D.C., USA.
- Atalay, Z., 2006. Yabancı İyonların Sütrivit Çöktürmesi Kinetiği Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Türkiye Ulusal Programı, 2003
- Ayvaz, Z., 2000. Atık Su Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 2000.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H. (2002) Biyokatıların Arazide Kullanımı, Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.
- Booker, N. A., Priestly, A. J., Fraser, I. H., 1999. Sutrivite formation in wastewater treatment plants: opportunities for nutrient recovery. Environmental Technology, 20:777-782
- Borgerding, J., 1972. Phosphate deposits in digestion systems. J. Water Pollut Control Fed., 105:93-132.
- Burns, J. R., Finlayson, B., 1982. Solubility product of magnesium ammonium phosphate hexahydrate at various temperatures. The Journal of Urology, 128:426-428.

- Çokgör, E.U., Pehlivanoğlu, E.M., Okutman, D.T., Insel, G., Aydın, E., Ölmez, T.H., Görgün, E., 2010. Biyolojik Arıtma Çamurlarının Aerobik Stabilizasyonunun Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, Mayıs, 20,1,57-65.
- Demir, A., Debik, E., Günay, A., (1993). Evsel Atıksulardan Amonyak Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 70.
- Durak, Z.,2005. Adana Sofulu Düzensiz Çöp Depolama Alanında Oluşan Çöp Sızıntı Sularının Bitki Yetiştirilmesinde Kullanılması Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Durrant, A. E., Scrimshaw, M. D., Stratful, I., Lester, J. N., (1999). Review of the Feasibility of Recovering Phosphate from Wastewater for Use as a Raw Material by the Phosphate Industry, Environmental Technology, No: 20, s. 749-758.
- Epstein E (2003) Land Application of Sewage Sludge and Biosolids. Lewis Publishers, Boca Raton Florida.
- FDA., Gıda ve İlaç İdaresi ,2000
- Filibeli, A., 1996. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, DEÜ, İzmir.
- Filibeli, A., (1998). Arıtma çamurlarının işlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları No:225, ISBN 975-441-117-4.
- Filibeli A., “Arıtma Çamuru Tanımı ve Çamur Kaynakları”, Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 1 – 25, İzmir, 1998.
- Filibeli A., N. Büyükkamacı, “Arıtma Çamurlarının Bertarafında Mevcut Yasal Mevzuat Ve Eksiklikleri”, 3. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, 1– 11, 1999.
- Filibeli, A., Büyükkamacı, N., Ayol, A., 2009. Anaerobik Arıtma, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 206s, İzmir.
- Filibeli, A., 2013. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi (7. Baskı). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 255, İzmir.
- İleri, R. 2007. Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Ders Notları.
- James, D., D. and Simon A.P. (2002). Struvite Formation, Control and Recovery, Water Research, No: 36, s. 3925-3940.
- Kabdaşlı I, Demirdilek A, Ölmez T, Tünay, O. 2004. Magnesium ammonium phosphate precipitation using sea water. Fresenius Envir. Bull., 13 (10), 951-955.

- Kocaer, F.O., Kemiksiz A., Başkaya, H.S., 2003. Arıtma Çamuru Uygulanmış Bir Topraktaki Organik Azotun Mineralizasyonu. Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bursa, 2003.
- Kuşçuoğlu, S. (2008) K-strüvit çöktürmesinin uygulama esaslarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Maewaka, T., Liao, C., Freng, X., 1995. Nitrogen and phosphorus removal from swine wastewater using intermittent aeration batch reactor followed by ammonium crystallization process. Water Research, 12:2643-2650.
- Mullin, J.W., 2001. Crystallization, Butterworth-Heinemann Press, Oxford.
- Müller, J.A., 2001. Prospects and problems of sludge pre-treatment processes. Water Sci. Technol. 44 (10), 121–128.
- Müller J. A., Winter A., Strunkmann G., (2004). Investigation and assessment of sludge pretreatment processes, Water Science and Technology, 49, 10, 97-104.
- Münch, E.V., Barr, K., 2001. Controlled struvite crystallization for removing phosphorus from anaerobic digester side streams. Water Research, 35, 151–159.
- Özcan, P., 2001, Mezbara Endüstrisi Atıksularından MAP Çöktürmesi ile Azot Giderimi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Müh. Bölümü, İstanbul, 53 s.
- Öztürk, D.C., 2008. Biyolojik Arıtma Atık Çamurlarının Aerobik ve Anaerobik Stabilizasyonunun Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, İstanbul.
- Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U. 2005. Atık Su Arıtımının Esasları. Evsel, Endüstriyel Atık su Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü, 2005.
- Öztürk, M., 2006. Magnezyum Amonyum Fosfat (MAP) Çöktürmesi ile Atıksulardan Azot ve Fosfor Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Univ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Schuiling, R. D., Andrade, A., 1999. Recovery of Struvite from Calf Manure, Environmental Technology, 20:767,768.
- Schulze-Rettmer, R., (1991). The simultaneous chemical precipitation of ammonium and phosphate in the form of magnesium-ammonium-phosphate. Water Science and Technology, 659-667.
- Sertaç, B. 2012. İnsan İdrarındaki Azot ve Fosforun Kimyasal Çöktürme ile Giderimi ve Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Sezgin, Y., 2013, Çamur Azaltım Tekniklerindeki Yeni Gelişmeler Fotokatalitik Çamur Dezentegrasyonu, Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ
- Shamsi, K.,Sherkat, F., 2009. Application of pulsed electricfield in non-thermal processing of milk. Asian Journal of Foodand Agro-Industry, 2,03,216-244.
- Shin, H. S., Lee, S. M., 1997. Removal of nutrients in wastewater by using magnesium salts. Environmental Technology, 19:283-290.
- Siegrist, H., 1996. Nitrogen Removal From Digeste Supernatant Comparasion of Chemicaland Biological Methods. Water Science Technology, 34-(1-2):399-406
- Spinosa, L.,Vesilind, P.A., 2001. Sludgesinto Biosolids Processing, Disposaland Utilization. IWA Publishing, London
- Stratful, I., 2001. Conditions Influencing the Precipitation of Magnesium Ammonium Phosphate, Second Phosphate Recovery Conference, Holland.
- T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Aile Ve Tüketici Hizmetleri Arıtma Çamurları, Ankara, 2011
- Taşatar, B. , “Endüstriyel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri”, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 1997.
- Tünay, O.,Kabdaşlı, I., 1996. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, 1.Baskı, İTÜ. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Tünay, O.,Kabdaşlı, I., Orhon, D., Ateş, E., 1995. Characterization and Pollution Profile of Leather Tanning Industry in Turkey, Water Science Technology, Vol:32, No:12, s 1-9.
- Tünay, O.,Kabdaşlı, I., Orhon, D., Kolçak, S., 1999. Ammonia Removal by Magnesium Ammonium Phosphate Precipitation in Industrial Wastewaters, Water Science and Technology, 36(2-3):225-228.
- Uzun, P., Bilgili, U., 2011. Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 25,2,135-146.
- Ünlü, İ., Aydın, T., Türköz, S., Serin, M., Cüce, S., 2009. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü Atıksularının Ters Osmoz Sistemiyle Arıtımı, IV. Uluslar arası Bor Sempozyumu, Eskişehir
- U.S. EPA, “Land Application of Biosolids, ProcessDesing Manual”, USEPA,Cincinnati Ohio, 12–21, 1994.
- Vranitzky, R.,Lahnsteiner, J., (2005). Sewage Sludge Disintegration Using Ozone – A Method Of Enhancing The Anaerobic Stabilization Of Sewage Sludge.

Vatech Wabah, R&D Process Engineering, Siemensstrasse 89, A-1211 Vienna, Austria.

Weideler, A., Brechtel, K., Maier, W., Krampe, J. ve Rott, U., (2005). Recovery of phosphorus from sewage sludge as MAP, IWA/WISA Conference on the Management of Residues Emanating from Water and Wastewater Treatment. 9-12 August, Johannesburg, South Africa.

Williams, S., (1999). Struvite precipitation in the sludge stream at slough wastewater treatment plant and opportunities for phosphorus recovery. *Environmental Technology*, 20:743-747

Zengin, G. E., 2001. Deri Endüstrisi Atıksularında Magnezyum Amonyum Fosfat Çöktürmesinin Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zhang, Q.H., Barbosa-Cánovas, G.V., Swanson, B.G., 1995. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *Journal of Food Engineering* 25(2): 261–281.

Zydbiewska, M. W., Kula, B., 1991. Removal of ammonia nitrogen by the precipitation method on the example of some selected wastewaters. *Water Science Technology*, 24(7):229-234

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Vesile Ecem ÇELİK

Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1989

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : vecemu32@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Isparta Milli Piyango Anadolu Lisesi, 2007

Lisans : Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği