

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA ÜNİTESİ ÇIKIŞ SULARINDAN
FOSFOR GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SADETTİN ERDÖNMEZ

BOLU, EYLÜL - 2019

T.C.
BOLU ABANT İZZET BAYSAL
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA ÜNİTESİ ÇIKIŞ SULARINDAN
FOSFOR GERİ KAZANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SADETTİN ERDÖNMEZ

BOLU, EYLÜL - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

SADETTİN ERDÖNMEZ tarafından hazırlanan “Çamur Susuzlaştırma Ünitesi Çıkış Sularından Fosfor Geri Kazanımı” adlı tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 6.09.2019 tarihinde savunularak Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Doç. Dr. Nazlı BALDAN PAKDİL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Murat Solak
Düzce Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi Berrin TOPUZ
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

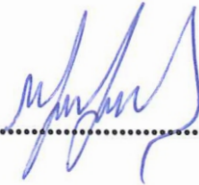
İmza


.....

.....

.....

Prof. Dr. Ömer ÖZYURT



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Eşime ve kızıma,

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sadettin ERDÖNMEZ

ÖZET

ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA ÜNİTESİ ÇIKIŞ SULARINDAN FOSFOR GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
SADETTİN ERDÖNMEZ
BOLU ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. NAZLI BALDAN PAKDİL)

BOLU, EYLÜL - 2019

Fosfor yenilemeyen ve kullanım sahası fazla olan bir elementtir, bu nedenle son yıllarda mevcut kaynak stokları dünya çapında azalmaktadır. Bu durum, fosfor geri kazanımı konusunun önemini artırmıştır. En önemli fosfor kaynaklarından biri olan atık su içerisindeki fosfor miktarı, geri kazanım açısından azımsanmayacak boyutlardadır. Atık su arıtma tesislerinde çamur susuzlaştırma ünitelerinden çıkan filtrat suyu içerisindeki kirlilik yükleri, tesisin proses havuzlarına ek yük olarak gönderilmektedir. Bu çalışmada çamur susuzlaştırma ünitelerinden alınan filtrat suyunun verdiği ek yükün kaldırması ve elde edilen fosfor geri kazanım ürününü tesis yeşil alanı için gübreleme amaçlı kullanılması amaçlanmıştır. Ayrıca geri kazanım işleminde çekirdek materyal olarak kullanılan kum materyali tesis havalandırmalı kum ve yağ tutucu ünitesinden çıkan kumlardan temin edilerek, atık su arıtma tesislerinde yan atık olan kumun da belirli bir miktarı değerlendirildi. Yapılan bu çökeltme işleminde %34 oranında fosfor geri kazanımı sağlanmıştır. Elde edilen materyal saksılara ekilen çimlerde farklı oranlarda gübre materyali olarak kullanılarak 10 gün boyunca çimlerin büyümesi gözlemlenmiştir. En uzun çim uzaması belirlenen saksıdaki verilere dayanılarak, işletme senaryosu verilen bir atık su arıtma tesisinde yeşil alan için kullanılabilecek çökelek miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada, filtrat suyundan kazanılan fosfor çökeleği, yeşillendirme amaçlı kullanılacak olan gübrenin yaklaşık 21 katını karşılayabileceği ve yan atık olan kumun % 7 sinin de bu işlemle geri kazanabileceği belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Fosfor Geri Kazanımı, Çamur Susuzlaştırma, Strüvit, Fosfat taşı

ABSTRACT

**PHOSPHORUS RECOVERY FROM EFFLUENT OF SLUDGE
DEWATERING UNIT.
MSC THESIS
SADETTİN ERDÖNMEZ
BOLU ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: DOÇ. DR. NAZLI BALDAN PAKDİL)**

BOLU, SEPTEMBER 2019

Phosphorus is an element that can't be renewed and has a high usage area, so the current resource stocks have been decreasing worldwide in recent years. Wastewater is one of the most important sources of phosphorus and it has a big potential for phosphorus recycling. Filtrate come from sludge dewatering units goes back to the biological treatment units (especially aeration tanks) at wastewater treatment plants and it causes extra load in treatment units. In this study, it is aimed to remove the additional load of filtrate taken from the sludge dewatering units and to use the obtained phosphorus recovery product for fertilizing the plant green area. In addition, the sand coming from the grid chamber and oil removal unit used as the seed material in the recovery process. 34% phosphorus recovery was achieved in this precipitation process. The growth of the grass was observed for 10 days using the obtained material as fertilizer material at different rates in the grass planted in the pots. The amount of sediment was determined based on the pot data which determined the effective grass elongation and it was calculated that can be used for the green area in a wastewater treatment plant with the operating scenario. In the calculation, it was determined that the phosphorus sediment recovered from the filtrate water can cover approximately 21 times the fertilizer to be used for greening and 7% of the sand which is side stream can be recovered by this process.

KEYWORDS: Phosphorus recycling, sludge dewatering, struvit, phosphate rock.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Arıtma Çamuru Tanımı ve Evsel Nitelikli Çamurun Özellikleri	1
1.2 Arıtma Çamuru Bertaraf Yöntemleri.....	3
1.2.1 Stabilizasyon.....	4
1.2.2 Şartlandırma.....	5
1.2.3 Yoğunlaştırma.....	6
1.2.4 Susuzlaştırma.....	7
1.2.5 Kurutma	8
1.3 Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırma Yöntemleri.....	9
1.3.1 Santifrjü Susuzlaştırma (Dekantör)	9
1.3.2 Filtre Pres	10
1.3.3 Belt Pres	11
1.4 Susuzlaştırma Metotlarının Performansı	12
1.5 Arıtma Tesisleri'nden Çıkan Yan Atıklar ve Özellikleri	13
1.5.1 Kum	13
1.5.2 Elek üstü Malzemeler (Çöp).....	15
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	16
2.1 Fosfor ve Önemi	16
2.2 Fosfor Eldesi ve Kullanım Alanları	17
2.2.1 Gübre Olarak Kullanımı	17
2.2.2 Temizlik Maddeleri Olarak Kullanımı	18
2.3 Fosfor Geri Kazanımının Dünya İçin Önemi.	19
2.4 Fosfor Geri Kazanım Faydaları.	19
2.5 Geri Kazanılmış Fosfor Türleri.	20
2.5.1 Strüvit (MAP).	20
2.5.2 Hidroksiapetit.....	21
2.6 Fosfor Geri Kazanımı Konusunda Yapılan Başlıca Çalışmalar.	21
2.7 Tez Çalışmasındaki Amaç ve Kapsam	24
2.8 Çalışmanın Mevcut Tesislere Olası Faydaları.	24
3. MATERYAL VE METOT	25
3.1 Filtrat Numunesinin Karakteristiği.....	25

3.1.1	Arıtma Tesisinden Alınan Filtrat Numunelerinin Takibi.	25
3.1.2	Filtrat Numunesinde Fosfor Artırımı Üzerine Yapılan Çalışma.	26
3.2	Kum Tutucu Ünitesinden Alınan Kum Üzerinde Yapılan Çalışmalar.	28
3.2.1	Kumun Neminden Arındırılması.	29
3.2.2	Nem Giderimi Gerçekleştirilen Kumun Organik İçeriğinden Arındırılması.....	30
3.2.3	Kum Numunesi Partikül Boyutu Homojenliğinin Sağlanması....	31
3.2.4	Kum Numunesinin Yıkama İşlemi	31
3.2.4.1	Kumun İçerisindeki Demir'in Ayrıştırılması	33
3.3	Filtrat Numunesi İçin N/P/M Molar Oranının Belirlenmesi	35
3.4	Deneylerde Çalışılan Analizlerin Bilgileri	37
3.4.1	KOİ Analizi.....	37
3.4.2	NH ₄ ⁺ -N Analizi	37
3.4.3	TP Analizi	37
3.4.4	PO ₄ ³⁻ Analizi	37
3.4.5	AKM Analizi	37
3.4.6	pH Tayini	38
3.4.7	Mg Analizi	38
3.5	Çökelek Oluşumu	38
3.5.1	Çökelek Oluşumu İçin Uygun pH Değerinin Belirlenmesi	39
3.5.2	Seçilen pH Değeri'nde Örnek Çökelek Oluşumu Çalışması	41
3.5.3	Ekim İçin Oluşturulacak Çökelek Miktarının Belirlenmesi	43
3.5.4	Ekim İçin Çökelek Oluşumu.....	44
3.6	Çökeleklerin Çim Ekiminde Gübre Olarak Kullanılması	46
3.6.1	Oluşturulan Çökeleklerin Saksılara Oranlanması.....	46
4.	TARTIŞMA VE BULGULAR	47
4.1	Ekilen Çimlerde Oluşturulan Gübrenin Etkilerinin İncelenmesi	47
4.1.1	Senaryosu Verilen Bir Eysel Bir Atıksu Arıtma Tesisinde Filtrat Suyundan Edinilebilecek Fosfor Yüğü	54
4.2	80000 m ³ Debiye Sahip bir Atıksu Arıtma Tesisi'nin Yeşil Alan Hesabı	58
4.3	80000 m ³ /gün Debiye Sahip Bir Atık Su Arıtma Tesisinin Çimlendirilmesi İçin Gerekli Gübre Miktarının Belirlenmesi	61
4.4	80000 m ³ /gün Debiye Sahip Bir Atık Su Arıtma Tesisinde Çıkan Kum Miktarı ve Çökelek Oluşumu İçin Kullanılacak Kum Miktarının Belirlenmesi	62
5.	KAYNAKLAR.....	66
6.	ÖZGEÇMİŞ.....	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Susuzlaştırılmış arıtma çamuru.....	1
Şekil 1.2. Aerobik çürümüş çamur.	3
Şekil 1.3. Anaerobik çamur çürütücüler.	4
Şekil 1.4. Şartlandırıcı eklenen ve eklenmeyen arıtma çamuru.	5
Şekil 1.5. Çamur yoğunlaştırma dekantörleri.	6
Şekil 1.6. Çamur susuzlaştırıcılar.	7
Şekil 1.7. Çamur kurutucu.	8
Şekil 1.8. Çamur susuzlaştırıcılar.	9
Şekil 1.9. Filtre presten çıkan çamur keki ve uzaklaştırılması.	10
Şekil 1.10. Susuzlaştırmada kullanılan belt pres.	11
Şekil 1.11. Kum bunkerinden çıkan kum.	13
Şekil 1.12. Havalı kum ve yağ tutucu kesit görselleri.	14
Şekil 1.13. Ön arıtma ünitesinden çıkan elek üstü malzeme.	15
Şekil 2.1. Dünyada fosfat taşı rezervleri dağılımı.....	16
Şekil 2.2. Dap gübresi.....	17
Şekil 2.3. Çöktürme işlemi sonucu oluşan katının sem görüntüleri (Kuşcuoğlu 2008).....	20
Şekil 2.4. Tuzluluğun fosfor giderimi ve geri kazanımına etkisi.....	21
Şekil 2.5. AAO-SBSPR prosesinin akım şeması.....	22
Şekil 3.1. Fosfor artırımı için gerçekleştirilen karıştırma işlemi.	27
Şekil 3.2. Karıştırma işlemi sonu üst faz.	28
Şekil 3.3. Neminden arındırılan kum materyali.....	29
Şekil 3.4. Kum yıkama işlemi.....	32
Şekil 3.5. Asitle kum yıkama işlemi.	32
Şekil 3.6. Manyetik balık tutucuda gözlenen demir parçaları.	33
Şekil 3.7. Demir parçalarının kumdan ayrılması işlemi,	33
Şekil 3.8. Demir ayrımı işlemi sonrası asit ile kum yıkama işlemi.	34
Şekil 3.9. Farklı pH değerlerinde çökelek oluşumu deneyi.	40
Şekil 3.10. pH 9 değerinde çökelek oluşumu deneyi.....	41
Şekil 3.11. Çökelme deneyi sonucunda katı materyalindeki artış.	42
Şekil 3.12. Çökelme öncesi ve sonrası fosfor konsantrasyonu değerleri.....	43
Şekil 3.13. Çökelek oluşumu aşamaları.....	44
Şekil 3.14. XRD analiz sonucu.....	45
Şekil 3.15. Çökeleklerin saksılara dağılım ağırlıkları tartım görseli.	46
Şekil 4.1. Saksıların 10 günlük takibi.....	48
Şekil 4.2. 17.5.2019 Çim boyları.....	48
Şekil 4.3. 18.5.2019 Çim boyları.....	49
Şekil 4.4. 19.5.2019 Çim boyları.....	49
Şekil 4.5. 20.5.2019 Çim boyları.....	50
Şekil 4.6. 21.5.2019 Çim boyları.....	50
Şekil 4.7. 22.5.2019 Çim boyları.....	51
Şekil 4.8. 23.5.2019 Çim boyları.....	51
Şekil 4.9. 24.5.2019 Çim boyları.....	52
Şekil 4.10. 25.5.2019 Çim boyları.....	52

Şekil 4.11. 26.5.2019 Çim boyları.....	53
Şekil 4.12. Üreyen çamurun kirlilik yüklerine göre değişimi grafiği.....	56
Şekil 4.13. İleri biyolojik atık su arıtımı yapan tesisin temsili görseli.....	58

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Ham ve Çürütülmüş Evsel Nitelikli Çamurun Kimyasal Özellikleri (Metcalf&Eddy 2003).....	2
Çizelge 1.2. Su alma yöntemleri avantajları ve dezavantajları (Filibeli 2017)..	12
Çizelge 1.3. Havalı kum ve yağ tutucu dizayn parametreleri (Metcalf&Eddy 2003).....	14
Çizelge 3.1. 10 Günlük filtrat numunesi analiz sonuçları.....	25
Çizelge 3.2. Karışım öncesi ve sonrası PO_4^{3-} , Mg ve NH_4^+ analiz sonuçları. ..	27
Çizelge 3.3. Kumun nem oranının belirlenmesi.	29
Çizelge 3.4. Kumun organik madde oranının belirlenmesi.	30
Çizelge 3.5. Elek altı kum oranının belirlenmesi.....	31
Çizelge 3.6. Elek altı kumun demir oranının belirlenmesi.	34
Çizelge 3.7. Fosfor artırımı yapılan filtratın NH_4^+ , PO_4^{3-} ve Mg analiz sonuçları.	35
Çizelge 3.8. Fosfor artırımı yapılan filtratın N:P:M molar oranının belirlenmesi.	36
Çizelge 3.9. 300 ml numunede çökelek artış oranının belirlenmesi.	39
Çizelge 3.10. Günlük pH değeri takibi.	39
Çizelge 3.11. Farklı pH değerlerinde çökelek oluşum miktarları.	40
Çizelge 3.12. 800 ml numune pH 9 değerinde çökelek oluşum miktarı.....	42
Çizelge 3.13. Fosfor geri kazanım yüzdesi.	42
Çizelge 3.14. Deneysel çalışmalarda kullanılan saksı sayıları ve içerikleri. ...	43
Çizelge 3.15. Elde edilen çökeleklerin saksılara dağılımı.	46
Çizelge 4.1. Saksıların 10 günlük takibi.	47
Çizelge 4.2. Üretilen çamur hesabı.	55
Çizelge 4.3. Filtrattan edinilebilecek fosfor yükü.....	57
Çizelge 4.4. Örnek tesisi bina alanları hesaplanması.....	59
Çizelge 4.5. Örnek tesis proses havuzları alan hesabı (Geri devir oranı: 1 olarak kabul edilmiştir).	60
Çizelge 4.6. Örnek tesis için gerekli gübre içerisindeki fosfor.....	61
Çizelge 4.7. Örnek tesis gübre oluşumu için kullanılacak kum miktarının hesaplanması.	62
Çizelge 4.8. Örnek tesis için kullanılacak ham kumun hesaplanması.	63
Çizelge 4.9. Tesisin çökelek oluşumu için kullanabileceği ham kum ve işlenmiş kum oranı.....	64
Çizelge 4.10. Örnek tesisin kendi gübre ihtiyacını karşılama oranının hesaplanması.	65

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

WWTP	: Wastewater Treatment Plant
Kn	: Kilonewton
TKM	: Toplam Katı Madde
MAP	: Magnesium Amonium Phosphours
PAO	: Phosphorus Accumulating Organisms
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
NH₄⁺	: Amonyum Azotu
TP	:Toplam Fosfor
PO₄³⁻	: Ortofosfat
HCl	:Hidroklorik Asit
NaOH	: Sodyum Hidroksit
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool
BOİ₅	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı (5 gün)

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitim dönemim boyunca bana her türlü yardımı gösteren, öngörüsüyle ve bilgi birikimiyle beni her zaman doğru yola sevk eden, saygıdeğer hocam Doç. Dr. Nazlı BALDAN PAKDİL'e,

Çalışmam boyunca maddi manevi yardımını benden esirgemeyen arkadaşım Önder ÖZDEMİR'e

Proje çalışmam boyunca yardımını benden esirgemeyen çalışma arkadaşım Erol ARSLAN'a

Çalıştığım tesiste laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan saygıdeğer şeflerim Tuncay YILMAZÇELİK ve Kemal AÇIKGÖZ'e,

Çalışmalarımı yaptığım laboratuvarında, teknik alanda bana her türlü yardım ve desteği gösteren Gökhan KABAKCI ve Gürhan BAHÇA'ya,

Hayatım boyunca eğitim hayatım için elinden gelenin fazlasıyla çabalayan annem Filiz ERDÖNMEZ'e

Tez hazırlama süreci boyunca bana maddi manevi desteğini gösteren sevgili eşim Gonca ERDÖNMEZ'e ve bu sürecin tam ortasında, doğum günümde dünyaya gelerek bana sonsuz mutluluk ve güç veren kızım Asya ERDÖNMEZ'e

1. GİRİŞ

1.1 Arıtma Çamuru Tanımı ve Evsel Nitelikli Çamurun Özellikleri

Arıtma çamuru, arıtım sonucu oluşan sıvı ya da katı halde, fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak uygulanan işleme bağlı olarak kuru madde oranı %0.25 ile %12 arasında değişen atıklar olarak tanımlanır (Filibeli 2017).

Evsel nitelikli arıtma çamurları, ana olarak birincil çamur, ikincil çamur ve üçüncül çamur olmak üzere 3 başlık altında toplanır. Birincil çamur, tesise gelen atık suda fiziksel yollarla doğrudan çöktürebilen çamurdur (ön çöktürme tankı çamuru). İkincil çamur, biyolojik faaliyetler neticesinde oluşan katıların ve aynı zamanda yine atık suda fiziksel yöntemlerle direkt çökelebilen çamurdur. Üçüncül çamur ise, biyolojik arıtım prosesinde giderilemeyen, ileri arıtım prosesleri sonucu ortaya çıkan virüsler, ağır metaller, fosfor ve/veya azot içeren çamurdur (Öztürk vd. 2015).



Şekil 1.1.Susuzlaştırılmış arıtma çamuru.

Çizelge1.1. Ham ve çürütülmüş evsel nitelikli çamurun kimyasal özellikleri (Metcalf&Eddy 2003).

		Ham Ön Çökeltim Çamuru		Çürütülmüş Ön Çökeltim Çamuru		Ham Aktif Çamur
Parametre	Birim	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık
Toplam Katı Madde (TKM)	%	5-9	6	2-5	4	0,8-1,2
Toplam Uçucu Katı Madde (TUKM)	%TKM	60-80	65	30-60	40	58-88
Yağ-Gress Çözülmüş Ekstrakte	%TKM	6-30 7-35	- -	5-20 -	18 -	- 5-12
Protein	%TKM	20-30	25	15-20	18	32-41
Azot (N)	%TKM	1,5-4	2,5	1,6-3	3	2,4-5
Fosfor (P ₂ O ₅)	%TKM	0,8-2,8	1,6	1,5-4	2,5	2,8-11
Potasyum (K ₂ O)	%TKM	0-1	0,4	0-3	1	0,5-0,7
Selüloz	%TKM	8-15	10	8-15	10	-
pH	-	5-8	6	6,5-7,5	7	6,5-8
Alkalinite	mgCaCO ₃ /L	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
Organik Asitler	mgHac/L	200-2000	500	100-600	200	1100-1700
Enerji İçeriği	kJ/kg AKM	23000-29000	25000	9000-14000	12000	19000-23000

1.2 Arıtma Çamuru Bertaraf Yöntemleri

Atık su arıtımı sonucu ortaya çıkan çamur, hacimce fazlasıyla büyük olduğundan, bertarafı da ciddi ve önemli bir mesele haline gelmektedir. İkincil çamurların içeriğindeki organik madde yüksek konsantrasyonlarda olduğu için, bozulması ve devamında da kötü kokuya sebebiyet vermesi kaçınılmaz olmaktadır. Ayrıca katı madde içeriği düşük, su içeriği yüksek olması da, kötü koku oluşumuna sebebiyet veren önemli bir etmendir. Arıtma çamurunun susuzlaştırılması, hem koku oluşumu, hem de yüksek hacim sorunlarını gidererek bertaraf maliyetini azaltan bir etmendir (Yıldız ve Ark 2009). Başlıca bertaraf yöntemleri alt başlıklarda incelenmiştir.



Şekil 1.2. Aerobik çürümüş çamur.

1.2.1 Stabilizasyon

Çamur stabilizasyonu, organik madde içeriğinin azaltılması, patojen organizmaların giderilmesi ve koku potansiyelinin azaltılması amacıyla arıtma çamuruna uygulanan işlemlerden biridir. En yaygın kullanılan biyolojik stabilizasyon işlemlerinden biri de anaerobik çürütmedir.



Şekil 1.3. Anaerobik çamur çürütücüler.

Anaerobik çürütme işleminin çamur bertarafı için birçok avantaja sahip olmasının yanında, çürütme sonrası çamurun su verme potansiyeli düşmektedir. Bu da gereğinden çok şartlandırıcı kullanılmasını gerektirdiği için yüksek bertaraf maliyetlerine sebebiyet vermektedir (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Aile ve Tüketici Hizmetleri Ankara 2011).

1.2.2 Şartlandırma

Şartlandırma, atık su arıtımı sonucu oluşmuş çamurun, susuzlaştırma ekipmanına ulaşmadan önce susuzlaştırmaya hazır hale getirilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Şartlandırma sonucunda çamurun suyunu tutabilme özelliğini ifade eden özgül direncin azaltılması hedeflenmektedir. Bunun uygulanması için fiziksel ve kimyasal birtakım yöntemler kullanılmaktadır. Çamurun özgül direncinin düşürülmesi, mekanik susuzlaştırmada harcanması gereken enerjinin de düşürülmesini sağlamaktadır (Biçeroğlu 2001).



Şekil 1.4. Şartlandırıcı eklenen ve eklenmeyen arıtma çamuru.

1.2.3 Yoğunlaştırma

Evsel atık su çamurunun yoğunlaştırılması işlemi, daha düşük çürütücü hacmi elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu sayede alan ve enerji açısından daha verimli bir proses eldesi gerçekleştirilebilir. Çöktürme ve yüzdürme yöntemleriyle de çamur yoğunlaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Aile ve Tüketici Hizmetleri Ankara 2011).



Şekil 1.5. Çamur yoğunlaştırma dekantörleri.

1.2.4 Susuzlaştırma

En temel anlamda bakıldığı zaman bu işlem, çamurun nem oranını düşürmeyi amaçlamaktadır. Buharlaştırma ve süzme, doğal susuzlaştırma işlemi olarak tanımlanmakla birlikte, mekanik susuzlaştırma prosesleri, susuzlaştırma için daha hızlı ve etkili yöntemlerdir (Öztürk vd. 2015).



Şekil 1.6. Çamur susuzlaştırıcılar.

1.2.5 Kurutma

Kuru madde oranı %25 olan arıtma çamurunun kuruluk oranı %90 seviyelerine ısı transferi yöntemiyle çıkarılır. Kurutucunun içine iletilen ıslak çamurun içeriğindeki su, kızgın yağın ısıyla buharlaşır. Bu sayede kurutma işlemi gerçekleşmiş olur (Ataköy İBAAT el kitabı 2011).



Şekil 1.7. Çamur kurutucu.

1.3 Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırma Yöntemleri

Susuzlaştırma işlemi, arıtma çamurunda bulunan su içeriğinin düşürülmesi için kullanılan fiziksel (mekanik) bir işlemdir. Susuzlaştırma vasıtasıyla çamurun hacmi küçüleceğinden dolayı, çamurun nihai bertaraf sahasına taşınması işlemi daha kolay hale gelmektedir. İşleme tabi tutulacak çamurlar için de susuzlaştırmanın önemi büyüktür. Susuzlaştırılan çamurun işlenmesi daha kolay gerçekleşir.

Ayrıca susuzlaştırma, koku oluşumunun önlenmesi için de önemli bir parametredir. Susuzlaştırılmış çamurun nemi düşürülmüş olduğundan dolayı koku oluşumunun önüne geçilmiş olur. Nihai bertaraf sahalarındaki en önemli sorunlardan biri de sızıntı suyudur. Çamurun susuzlaştırılması, nihai bertaraf sahasında oluşacak sızıntı suyunun azalması için önemli bir etmendir (Filibeli 2017).

1.3.1 Santifrüz Susuzlaştırma (Dekantör)

Santifrüz susuzlaştırma ekipmanı olan dekantör, yüksek hızda dönen tambur ile aynı eksende düşük hızda dönen helezondan oluşur. Tahrik grubu, tambur ile helezon arasındaki hız farkını ayarlamaktadır. Tambur yüksek hızda dönerken çamuru iç çeperlerine biriktirip suyu sıvı çıkış burçlarına yönlendirirken, tambur ile aynı yönde, daha yavaş hızda dönen helezon, tamburun iç çeperinde biriken çamuru katı çıkış burçlarına iletir. Bu sayede susuzlaştırma gerçekleştirilmiş olur (Haus Santifrüz Teknolojileri el kitabı 2015).



Şekil 1.8. Çamur susuzlaştırıcılar.

1.3.2 Filtre Pres

Filtre Presler, dūşey plakalara gerdirilmiş olan bezlerin arasına çamurun yūksek başınlarda beslenmesi vasıtasıyla susuzlaştırılması ilkesine gōre çalışır. Filtre Pres'e çamur basma pompaları $350-1575 \text{ Kn/m}^2$ 'lik basıncı sağlayabilecek kapasitede olmaktadır. Filtre plakalarına beslenen çamur yaklaşık 20-30 dakika aralığından plakalar arasını doldurduktan sonra, 1-4 saat aralığında tasarlanan başıncı altında bekletilir, plakalar manuel olarak açılır ve susuzlaştırılmış çamur uzaklaştırılır. Oluřan kekteki amurun %TKM oranı %40 seviyelerine kadar çıkabilmektedir (Timur vd. 2011).



şekil 1.9. Filtre presten çıkan çamur keki ve uzaklaştırılması.

1.3.3 Belt Pres

Bant filtreler ile susuzlaştırma teknolojisi, çamurların susuzlaştırılmasında kullanılan belt pres uygulamaları ile ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde, özellikle katı madde konsantrasyonu %2'den daha düşük oluşan çamurlar için; bant filtrenin yerçekimi ile drene edildiği kısmında etkili bir yoğunlaştırma gerçekleşir. Bant filtreler ile susuzlaştırma ekipmanında bulunan bir merdane üzerinde, şartlandırılmış çamurlar farklı hızlarda hareket ederek ekipmanın çıkışına doğru iletilir. Şartlandırma için genellikle polimer kullanılır. Polimer ile şartlandırılmış çamur, bir flokülasyon tankına beslenerek; buradan geniş kısımlarına çapraz olacak şekilde hareket eden bantların üzerine eşit olarak dağıtılır. Bant filtrelerin gözenekleri arasından suyu drene edildikten sonra, konsantre çamur susuzlaştırıcının en sonunda bulunan deşarj kısmına doğru taşınır. Bant boyunca yerleştirilmiş bir seri saban bıçağı ile taşınan çamur üzerinde çizgi oluşturulur. Böylece, filtrasyon sonucunda çamurdan salınan su kısmının bantların arasından geçmesi kolaylaşır. Susuzlaştırılmış çamurun sistemden uzaklaştırılmasını takiben bantlar yıkanır. Yer çekimli bant filtreler ile yoğunlaştırma, atık aktif çamur, anaerobik ve aerobik çürütülmüş çamur ve bazı endüstriyel çamurların yoğunlaştırılmasında kullanılır (Öztürk 2017).



Şekil 1.10. Susuzlaştırmada kullanılan belt pres.

1.4 Susuzlaştırma Metotlarının Performansı

Susuzlaştırma metotlarının performans karşılaştırması Çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Çizelge1.2. Su alma yöntemleri avantajları ve dezavantajları (Filibeli 2017).

Su Alma Yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
Santifrjüj Susuzlaştırma	Temiz görüntü, minimum koku problemi, hızlı devreye girip çıkma kapasitesi, kurulması kolay, çok kuru çamur keki üretir, düşük ilk yatırım maliyeti	Yüksek bakım problemi, giriş akımında kum giderimi ve çamur öğütme işlemi gerekebilir, yetişmiş personel gerektirir, filtratta yüksek AKM
Filtre Pres	Çok yüksek kek % TKM, filtratta düşük AKM konsantrasyonu.	Kesikli işletme, yüksek ekipman maliyeti, özel destek yapısı gerekli, ekipman için geniş alan gerekli, ilave edilen kimyasal maddeden dolayı ilave katı madde yükü
Belt Pres	Düşük enerji gereksinimi, düşük yatırım ve işletme maliyeti, kurulması kolay ve mekanik olarak daha az kompleks, yüksek basınçlı sistemler oluşturmak için müsait, sistemi devreden çıkarmak kolay	İşletilmesi hidrolik olarak kısıtlı, giriş akımında çamuru öğütmek gerekli, giriş çamurunun özelliklerine çok duyarlı, bez kullanılan diğer düzeneklere göre medya daha dayanıksız, otomatik işletme genellikle tavsiye edilmez

1.5 Arıtma Tesisleri'nden Çıkan Yan Atıklar ve Özellikleri

1.5.1 Kum

Atık suda bulunan kum, yoğunluğu organik maddelere göre daha fazla olan ve biyolojik olarak parçalanamayan maddeler olarak tanımlanır. Atık su arıtma tesislerinde kum tutucu ünitesi vasıtasıyla uzaklaştırılan kumun yoğunluğu yaklaşık 1600 kg/m^3 kabul edilebilir. Kum tutucuların dizaynında organik maddenin çökmemesi ve kum ile birlikte tutulmaması gözetilse de, az da olsa bir miktar organik madde kum ile beraber uzaklaştırılmaktadır. Bu sebepten ötürü belirli bir süre içerisinde belirlenen metotlar ile bertaraf edilmezse, çürüme ve akabinde koku sorunu baş gösterir (Meral ve Cevadzade 2013).

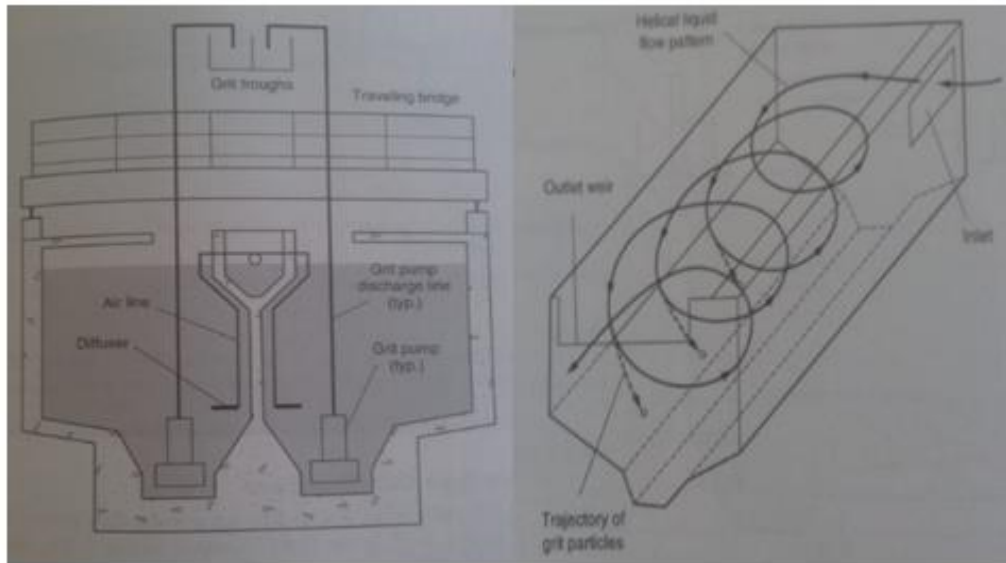


Şekil 1.11. Kum bunkerinden çıkan kum.

Kum ayırma işlemi için en sık kullanılan sistem, havalandırmalı kum tutuculardır. Havalandırmalı kum tutucularda hava, dikdörtgen kesitli havuz boyunca yol alan atık suyun spiral bir akım yaratması amacıyla kullanılmaktadır. Buradaki amaç, kum materyali ile birlikte organik maddelerin de kum tutucu havuzun dibine çökmesini engellemektir. (Metcalf&Eddy 2003).

Çizelge1.3. Havalı kum ve yağ tutucu dizayn parametreleri
(Metcalf&Eddy 2003).

	ARALIK	TİPİK DEĞER
DERİNLİK (m)	2-5	3
UZUNLUK (m)	7.5-20	
GENİŞLİK (m)	2.5-7	
GENİŞLİK/DERİNLİK	1:1-5:1	1.5:1
UZUNLUK/GENİŞLİK	3:1-5:1	4:1
HER METRE İÇİN HAVA İHTİYACI (m ³ /m.dk)	0.2-0.5	
KUM MİKTARI (m ³ /10 ³ m ³)	0.004-0.20	0.015



Şekil 1.12. Havalı kum ve yağ tutucu kesit görselleri.

1.5.2 Elek üstü Malzemeler (Çöp)

Atık su arıtma tesislerinde uzaklaştırılan elek üstü malzeme miktarı ve içeriği atık suyun cinsi, tesisin hizmet ettiği nüfusun sosyoekonomik durumu, tesisin bulunduğu coğrafi bölge, elek üstü malzemeyi tutmak için kullanılan sistem ve bu sistemde kullanılan geçiş aralığı gibi birçok değişkene bağlıdır. Elek üstü malzemelerin TKM oranı %20 civarlarındadır. Elek üstü malzemenin kuru halinin ~ % 87 si organik ve uçucu içeriklidir. Tutulan elek üstü malzemeler miktarı başta belirtilen değişkenlere bağlı olarak, her milyon metreküp başına 3,5-80 m³ arasında değişiklik göstermektedir.



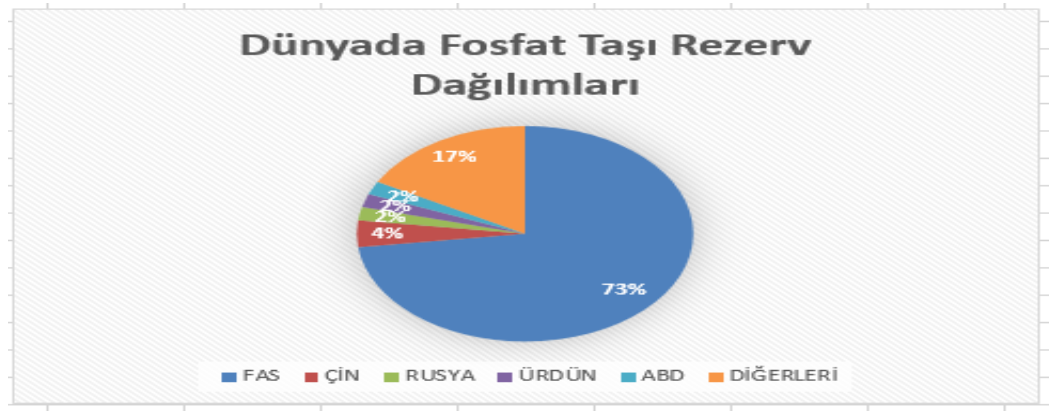
Şekil 1.13. Ön arıtma ünitesinden çıkan elüktü malzeme.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Fosfor ve Önemi

Fosfor, bütün yaşayan organizmalar için önemlidir. Çünkü DNA, RNA ve ATP'nin temel bileşenlerinden biridir. Bunun yanı sıra fosfor bitki büyümesinde, dolayısıyla da besin üretiminde de önemli rol oynamaktadır (D. Cordell, S. White, 2011) Fosforun varlığının canlılar için son derece önemli olmasının yanı sıra, fosforun canlılar için zararlı olduğu durumlar da vardır. Sucul ortama aşırı fosfor deşarjı, ötrofikasyona neden olarak, çözünmüş oksijen konsantrasyonunu düşürebilir. Bu da sucul ortamda yaşayan canlıların yaşamını tehlikeye atar (Keeley et al 2016). Yeryüzündeki insan nüfusunun 2050 yılında 9,3 milyara ulaşacağı öngörülmektedir. Bu durum doğal olarak üretilmesi gereken besin miktarını da arttıracaktır. Fosfor ihtiyacının karşılandığı fosfat taşlarının, ihtiyaç olacak fosfor teminin de göz önünde bulundurulmasıyla, içerisinde bulunduğumuz yüzyılda tükeneceği öngörülmektedir (Cordell et al. , 2009 ; Shu et al. , 2006).

Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırma Kurumu, 2017 yılında dünya üzerinde fosfat taşı rezerv dağılımları hakkında çalışma yapmıştır. Bu çalışma ile ilgili grafik Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Dünyada fosfat taşı rezervleri dağılımı

2.2 Fosfor Eldesi ve Kullanım Alanları.

Fosfor ihtiyacının yaklaşık olarak % 90'ı fosfat kayalarından elde edilir. Fosfat kayalarının yenilenemeyen fosfor kaynağı olması, fosfor eldesinin önemini arttırmaktadır (Reinhard et al 2017 Li et al 2018). Fosforun dünya için önemi, artan dünya nüfusu ve fosfat kayalarının yenilenemeyen kaynaklar olması gibi sebeplerden ötürü, Avrupa Komisyonu 2014 yılında Fosfat kayalarını kritik ham madde olarak deklere etmiştir.

2.2.1 Gübre Olarak Kullanımı

Ham fosfatın gübre olarak kullanımının etkisi, gübrenin uygulandığı toprak pH'ı, organik madde içeriği, fosfor içeriği, toprakta yetiştirilen bitki türü ve kullanılan ham fosforun inceliği gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yeni Zelanda'da yapılan araştırmalar sonucunda yüksek yağış ve asidik toprak pH'ı olan alanlarda ham fosfatın fosforlu gübreler kadar etkili olabildiği gözlemlenmiştir (Soyergin 2003).



Şekil 2.2. Dap gübresi.

2.2.2 Temizlik Maddeleri Olarak Kullanımı

Dünyada fosfat kaynağı rezervleri kullanılarak elde edilen fosforun yaklaşık olarak %80'i gübre olarak kullanılırken, ikinci olarak en büyük kullanım sahası ise %12'lik paya sahip olan deterjan sanayidir (Weidener 2005). Evsel atık suların içerisinde bulunun fosforun yarısı, kullanılan deterjanın yapısındaki fosfattan gelmektedir. Hammadde olarak fosfor gereksinimi ivmeli bir şekilde artarken, fosfor kaynaklarının da aynı zamanda azalmasıyla gelecek yüzyıl içerisinde fosfor eldesi global bir sorun haline gelmiştir. (Berg vd., 2005; Steen, 1998). Fosforun deterjan sanayideki yüzdesi dikkate alınacak derecede olduğu için, alternatif ham maddelere de yönelim gerçekleşmektedir. Son zamanlarda deterjan sanayisi alanında en çok önümüze çıkan hammadde bor mineralidir. Bor mineralinin güçlü bir beyazlatıcı olması, lekeleri çözebilmesi, pH'ı ve aktif oksijeni dengelemesi ve anti bakteriyel olması sebebiyle, uygulanan kumaşı çok az yıpratır, renkleri soldurmaz, düşük sıcaklıkta bile etkin sonuç verir, çamaşırın yıkanma süresinin azalmasını sağlar ve dolayısıyla su tüketimini de düşürür. Çamaşır yıkama makinesinin çeliğinin aşınmasını da azaltır.

2.3 Fosfor Geri Kazanımının Dünya İçin Önemi.

Fosfor, besin üretimi için kullanılan gübrenin temel bileşenidir. Fosfor eldesinin en temel kaynağı olan fosfat kayası maalesef yenilenemeyen bir kaynaktır (Cordell et al 2011). Dünya nüfusunun hızla artmasının yanı sıra fosfat kayalarının yenilenemeyen kaynaklar olması, bilim insanlarını fosfor geri kazanımı ile ilgili araştırmalar yapmaya yönlendirmiştir. (Heckenmüller et al 2014). Atık su içerisinde bulunan fosfor, azımsanamayacak ölçülerdedir. Dünyadaki fosfor ihtiyacının yaklaşık olarak %10 - %20'si evsel atık sudan geri kazanılabilir Bu miktar, fosfor ihtiyacının karşılanması için dikkat çekecek büyüklüktedir (Yunan et al 2012).

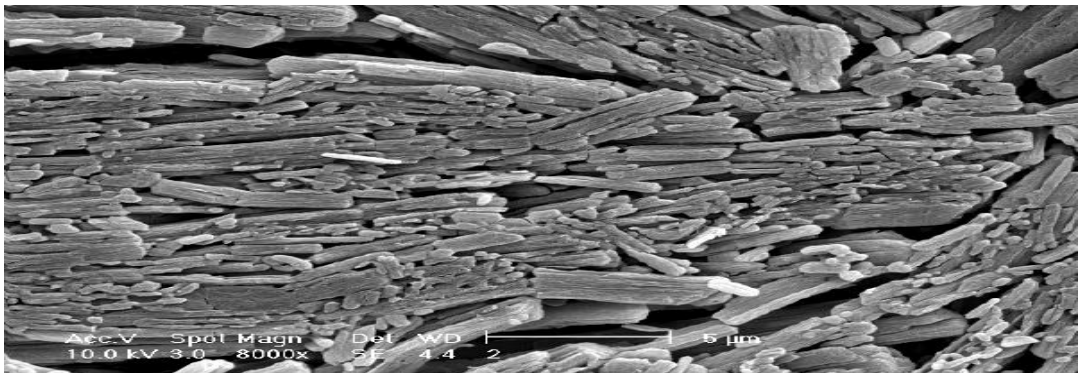
2.4 Fosfor Geri Kazanım Faydaları.

Yaklaşık 20 yıldan sonra fosfor ihtiyacının ekonomik olarak uygun olan fosfat minerali rezervleri miktarını aşacağı ve bu durumun küresel fosfor kıtlığına sebebiyet vereceği öngörülmektedir (Cordell et al 2011). Diğer yandan, fosforun sucul ortamdaki varlığı da sucul ekosisteme büyük etki etmektedir. Aşırı fosfor sucul ortamda ötrofikasyona, biyolojik çeşitliliğin düşüşüne ve içme suyunun kirlenmesine neden olur. (Zhengyu 2018). Bu iki durumu göz önüne aldığımız zaman, özellikle atık sularda bulunan fosforun geri kazanımı, hem sucul ortam kirliliğinin önüne geçilmesini sağlayacak, hem de dünya üzerindeki fosfor tüketimine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

2.5 Geri Kazanılmış Fosfor Türleri.

2.5.1 Strüvit (MAP).

Strüvit kristalizasyonu yoluyla fosfor geri kazanımı, en yaygın olarak kullanılan fosfor geri kazanımı teknolojilerinden biridir. Strüvit ilk olarak 1937 yılında çamur çürütme prosesinde atık su boru hatlarında gözlemlenmiştir (Le Corre et al 2009). Bu zamandan sonra, strüvit tortusu kontrolü atık su hatları borularının tıkanmasının önüne geçilmesi amacıyla çok yönlü incelenmeye başlanmıştır. Geçtiğimiz 20 yıl içerisinde strüvit kristalizasyonu, biyolojik olarak indirgenebilen gübre, yangın önleyici materyal ve inşai materyaller üretimi açısından büyük önem kazanmıştır (Tao et al 2016). Kimyasal formülü $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ şeklindedir. Strüvit kristalizasyonu, kendiliğinden veya kontrollü bir şekilde, $Mg:NH_4:PO_4$ molar oranı 1:1:1 şeklinde olduğu zaman gerçekleşmektedir (K.S. Le Corre, E Valsami-Jones, P. Hobbs and S.A. Parsons, Environ, Technol, 28, 12445 2007). Strüvitte, özellikle fosfor artırımı yöntemiyle fosfor giderimi yapan ileri biyolojik arıtma tesislerinde sık karşılaşılar. (von Münch et al 2001, Battistoni et al 2002, Parsons and Doyle 2004) İleri Biyolojik arıtmada fosfat ve diğer bazı iyonlar (Magnezyum, Potasyum) polifosfat olarak hücre içerisine alınırlar. Hücre içerisine alınan bu polifosfatlar, anaerobik çürütme prosesi esnasında sıvı faza geri salınırlar ve sıvı fazın fosfat, magnezyum ve amonyum konsantrasyonlarını artırır. Bu durum, strüvit oluşumu için uygun ortamın oluşmasını sağlar (Wild et al 1997).



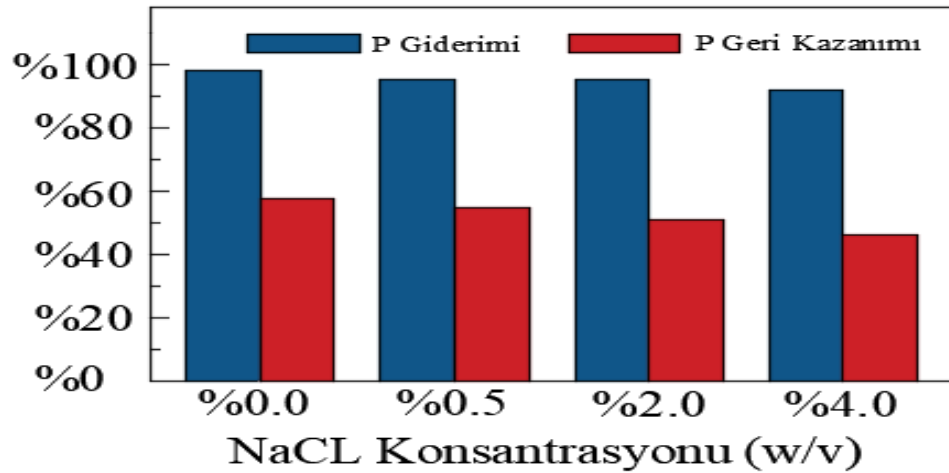
Şekil 2.3. Çöktürme işlemi sonucu oluşan katının sem görüntüleri (Kuşcuoğlu2008).

2.5.2 Hidroksiapatit

Hidroksiapatitin kimsiyal formülü $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ şeklindedir. Pratikte suda çözülemeyen bir yapıya sahiptir. Hidroksiapatit çökeltisinin kalitesi (saflığı, partikül boyut dağılımı, morfoloji) prosesteki karıştırıcının karıştırma yoğunluğu, reaktanların giriş oranı, Ca/P molar oranı, sıcaklık, pH ve iyonik kirleticilerin varlığı gibi işletim parametrelerine bağlı olarak değişir. (Al-Harabsheh et al., 2014) Hidroksiapatit öncüleri, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 'dir (Dorozhkin, 2011)

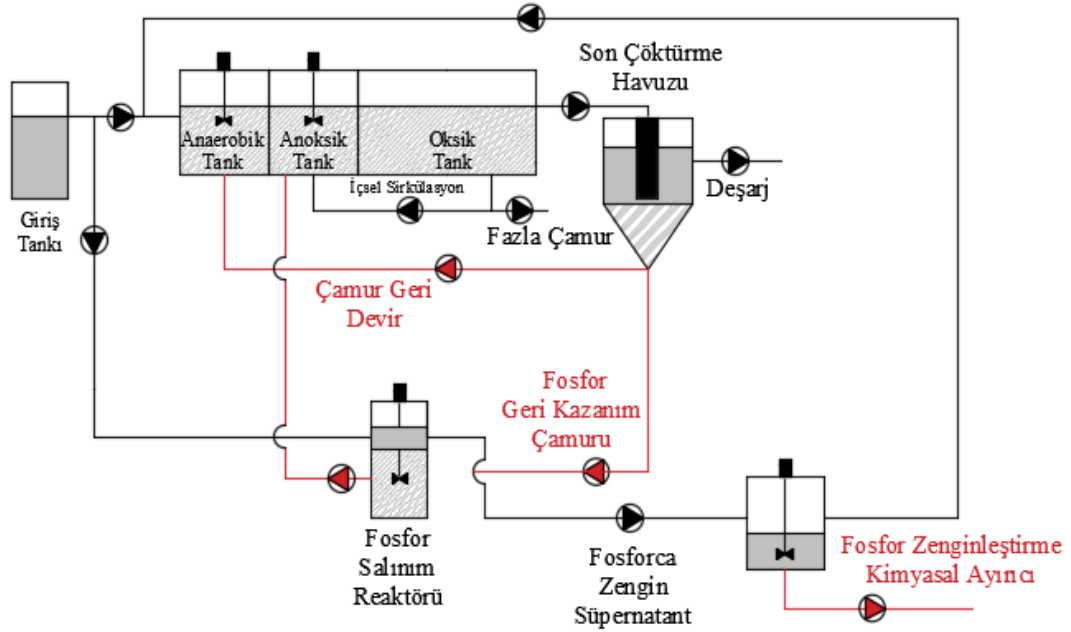
2.6 Fosfor Geri Kazanımı Konusunda Yapılan Başlıca Çalışmalar.

Strüvit oluşumu için fosfor, amonyum ve magnezyumun atık suda belirli oranlarda bulunması gerekmektedir. Atık su, fosfor ve amonyum açısından zengin olsa bile magnezyum konsantrasyonu genellikle düşük seviyelerde kalmaktadır. Bu sebepten ötürü strüvit çökmesi gerçekleştirilebilmesi için magnezyum ilavesi yapılması gerekebilmektedir. Gen-Tao Zhou 2018 yılında ucuz ve kolaylıkla edinilebilen magnezyum kaynağı olan deniz suyunun, fosfor giderimi ve geri kazanımına farklı tuzluluk oranlarına göre nasıl etki ettiğini incelemiştir.



Şekil 2.4. Tuzluluğun fosfor giderimi ve geri kazanımına etkisi.

2018 yılında Yongmei Li, Zhengyu Zhu, Wenling Chen ve Tao Tao, Hem nütrient giderimini hem de fosfor geri kazanımını hedefleyen Anaerobik-Anoksik-Oksik/Fosfor Geri Kazanımı İçin Ardışık Kesitli Yan Akım Reaktörü geliştirmiştir. Bu arada, stabil işletme şartlarını sağlamak ve fosfor geri kazanımının aktif çamurdaki fosfor içeriğine etkisini azaltmak amacıyla, çamur yaşı ile fosfor geri kazanımı arasında bir denge kurulması gerektiği düşünülmüştür. Bu koşullar altında yapılan çalışmanın stabil işletme şartlarının oluşturulabilmesi için faydalı olduğu görülmüştür ve %99.1 fosfor giderimi ile birlikte %65'in üzerinde fosfor geri kazanımı başarılmıştır. Fosfor geri kazanımı ve uzun çamur yaşı, PAO bakterilerinin fosfor salınımı ve geri alımı oranlarına göre limitlenmiştir. Yapılan gözlemlerde ayrıca, Accumulibacter, yüksek çamur yaşı ve yüksek geri kazanım oranında artış gerçekleştirmiştir. Reaktörün akış şeması Şekil 2.5.'te verilmiştir.



Şekil 2.5. AAO-SBSPR prosesinin akış şeması.

2016 yılında Haimin Zou da fosfor giderimi ve geri kazanımını aynı anda yapan bir proses geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Bu yapılan çalışmada en iyi nütrient giderimi yüzdeleri sırasıyla KOİ: %.82.6, PO₄⁻³-P: %87.5, NO⁻³-N:%91.6 ve fosfor geri kazanımı, hidroksiapetit formunda %59.3 olarak tespit edilmiştir. Dahası, fosforun kristalizasyon yöntemi ile geri kazanılmasının, fosfor giderimi yüzdesini arttırdığını gözlemlemiştir.

2017 yılında A.Amann, evsel atık sulardan fosfor geri kazanımının çevresel etkilerini incelemek için önemli bir çalışmaya imza atmıştır.18 farklı fosfor geri kazanımı prosesinin kümülatif enerji ihtiyacı, küresel ısınma etkisi ve asidifikasyon potansiyeli, yaşam döngüsü analizi metodolojisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu indikatörler, geri kazanım potansiyeli, ağır metal ve organik mikro kirletici giderimi potansiyeli ve gübre etkisi gibi diğer çevresel kriterlerle de karşılaştırılmıştır. Sıvı fazdan fosfor geri kazanımın enerji ihtiyacı emisyon üzerinde küçük etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Çamur külünden fosfor geri kazanımı konusunda da, yüksek emisyon ve enerji ihtiyacının ters orantılı bir çizgi izlediğini gözlemlemiştir.

Morten Lykegaard Christensen, 2018 yılında çürütülmüş çamurdan ve çürütülmemiş çamurdan asidifikasyon yolu ile fosfor geri kazanımının karşılaştırmasını yapan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmayı 5 farklı tesisin çürütülmüş ve çürütülmemiş çamurları üzerinde yapmıştır. Çalışmasının sonucunda çürütülmüş çamurdan fosfor geri kazanımının çürütülmemiş çamurdan fosfor geri kazanımına göre daha başarılı olduğunu keşfetmiştir (Sırasıyla kazanım yüzdesi, %80 ve %25). Ayrıca en yüksek fosfor salınımının pH 2 seviyelerinde görüldüğünü gözlemlemiştir.

2.7 Tez Çalışmasındaki Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, çamur susuzlaştırma ünitesinden tesisin atık su terfi merkezine veya proses havuzlarının başına gönderilen filtrat suyundaki fosforun geri kazanılması, kazanılan fosforun tesis içerisindeki yeşil alanlar için gübre amacıyla kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda tesisin kum tutucu ünitesinde tutulan kumun fosfor geri kazanımı prosesin değerlendirilebilirliği de incelenmiştir. Filtrat suyunda fosfor haricinde bulunan amonyum ve magnezyumun fosfor çöktürme işlemindeki rolü, proses sonucunda konsantrasyonlarındaki değişim oranları da belirlenmiştir.

2.8 Çalışmanın Mevcut Tesislere Olası Faydaları.

Çamur susuzlaştırma ünitesinden çıkan filtrat suyu ve kum kutucu ünitesinden çıkan kumun kullanılması, tesisteki fosfor yükünün ve atık kum miktarının azalmasını sağlamayacaktır. Bu durum fosfor giderimi için işletme maliyetini düşürmekle birlikte, atık kum bertarafı maliyetini de düşürür. Ayrıca elde edilen gübre materyali tesis içindeki yeşil alan için kullanılabilir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Filtrat Numunesinin Karakteristiği

3.1.1 Arıtma Tesisinden Alınan Filtrat Numunelerinin Takibi.

Bu tez kapsamında biyolojik azot-fosfor giderimi yapılan bir arıtma tesisinin çamur susuzlaştırma ünitesinden alınan filtrat numunesinde bulunan ve daha sonra ünitenin başına döndürülen fosforun geri kazanımı potansiyelinin belirlenmesi amacıyla, çamur susuzlaştırma ünitesi dekantöründen alınan filtrat numunesinin karakteristiğinin tanınması amacıyla içerisindeki KOİ, NH₄⁺, TP, AKM ve pH parametreleri analizlenmiştir. Yük dalgalanmasının en az olduğu, bu yılın şubat ayı içerisinde 10 gün boyunca her gün düzenli şekilde aynı saatte alınan numunelerin yukarıda belirtilen parametrelerin konsantrasyon (mg/l) değerleri analizlenerek belirlenmiş ve Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. 10 Günlük filtrat numunesi analiz sonuçları.

TARİH	KOİ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	TP (mg/l)	AKM (mg/l)	pH
20.02.2019	745	6,4	8,7	1040	7,05
21.2.2019	476	4,7	2	87	7,21
22.2.2019	240	2,3	2,9	324	7,29
23.2.2019	350	4,2	2,5	251	7,33
24.2.2019	451	2,1	1,3	355	7,54
25.2.2019	150	1,5	1,4	65	7,41
26.2.2019	254	1,4	2,5	154	7,55
27.2.2019	352	4,3	1,2	250	7,61
28.2.2019	255	1,5	2	125	7,54
1.3.2019	657	2,5	5,3	320	7,50

10 gün boyunca filtrat suyunun üst fazından yapılan standart analizler sonucunda edinilen sonuçlara bakıldığında zaman, filtrat üst faz suyunda AKM başta olmak üzere filtrat özelliklerinin sürekli değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmamız açısından NH_4^+ , TP, ve pH parametreleri dikkate alındığında ortalama NH_4^+ (3,09 gr/L), TP (2,98 mg/L), pH (7,4) değerlerinde olduğu belirlenmiştir. Fosfor geri kazanımı amacıyla strüvit çökmesi için amonyum konsantrasyonunun yeterli, pH'ın ise nötral olduğu dikkate alınarak çökelmenin başarılı şekilde sağlanması için bazik değerlere yükseltilmesi gerektiği ve fosfor konsantrasyonunun ise düşük olduğu gözlenmiştir. Fosfor konsantrasyonu, amonyum konsantrasyonuna göre düşük olsa bile arıtma tesisinin başına döndürülmesi sistemde fosfor yükünü artıracak seviyededir. Bu nedenle filtrat bünyesindeki fosforun alınması için çökeltme işleminin gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

3.1.2 Filtrat Numunesinde Fosfor Artırımı Üzerine Yapılan Çalışma.

Bilindiği üzere fosforun çökelebilen kısmı ortofosfat formundadır. Aktif çamur sistemindeki bakterilerin anaerobik ortamda bünyelerinden saldıkları fosforun da ortofosfat formunda olduğu bilinmektedir. Bu durumdan yola çıkarak, filtrattan alınan bir numunede fosfor artırımı gerçekleştirmek için farklı bir çalışma yoluna gidilmiştir.

Yapılan gözlemler sonucunda çamur susuzlaştırma ünitesi filtrat suyu çıkış kirlilik oranının gün içerisinde salınım gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle çamur susuzlaştırma işleminin başladığı ilk zamanlarda filtrat suyu kirliliği daha yüksek konsantrasyona sahip olduğu gözlenmiştir. Söz konusu kirliliğe büyük oranda susuzlaştırmadan filtrat suyuna kaçan aktif çamurun sebep olduğu gözlenmiştir. Bu bilgilerden yola çıkarak, aktif çamur içeren filtrattan alınan numunenin üst fazı kaba filtreden geçirilmiş ve fosfor, magnezyum ve amonyum değerleri ölçülüp not edilmiştir. Ardından aynı numuneden 800 ml cam bir kavanoza kapağı kapalı bir şekilde konulup manyetik karıştırıcı vasıtasıyla 4 saat boyunca karıştırılmıştır.



Şekil 3.1. Fosfor artırımı için gerçekleştirilen karıştırma işlemi.

Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra yaklaşık yarım saat bekletilen numunenin üst fazından numune alınmış, kaba filtreden geçirilmiş ve ortofosfat, magnezyum ve amonyum değerleri ölçülmüştür. Karıştırma işleminden sonra fosfor konsantrasyonu %56 oranında artarak 7,8 mg/l değerine yükseldiği görülmüştür. Bu ölçümlere ait bilgiler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Strüvit çökelekleri hazırlanması için deneysel çalışmalarda kullanılacak olan filtrat numuneleri, bu karıştırma işlemi sonrası dinlendirilmiş suyun üst fazından temin edilmiştir.

Çizelge 3.2. Karışım öncesi ve sonrası PO_4^{3-} , Mg ve NH_4^+ analiz sonuçları.

	PO_4^{3-} (mg/l)	Mg (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)
KARIŞIM ÖNCESİ	3,4	99,5	7,3
KARIŞIM SONRASI	7,8	99,3	7,5



Şekil 3.2. Karıştırma işlemi sonu üst faz.

Çizelge 3.2'deki sonuçlara bakıldığı zaman, ortofosfat değerlerinde kayda değer bir artış gözlemlenmiş iken, amonyum azotu ve magnezyum değerlerinde önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Çalışma esnasında kullanılacak olan filtrat numuneleri, bu karıştırma işlemi sonrası dinlendirilmiş suyun üst fazından temin edilmiştir.

3.2 Kum Tutucu Ünitesinden Alınan Kum Üzerinde Yapılan Çalışmalar.

Strüvit çökmesi için kristalleşmesinin tetikleyicisi olarak çekirdek materyaline ihtiyaç bulunur. Bu amaçla literatürde pek çok çekirdek materyali kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında çekirdek materyali olarak kum materyali seçilmiş ve tesiste bir atık ürün olarak oluşan kum-yağ tutucu ünitesinden gelen kumun kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla mevcut arıtma tesisinin Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu Ünitesi çıkışından edinilen kum, çökelti oluşumu aşamasında kullanılmak üzere hazır hale gelebilmesi için birtakım çalışmalara tabi tutulmuştur.

3.2.1 Kumun Neminden Arındırılması.

Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu Ünitesi çıkışından alınan kumun suyunun büyük bir kısmı kum bunkerinde ayrılmasına rağmen, kumun üzerinde belirli bir miktar nem kalmaktadır. Ayrıştırılan kumun ne kadarının nem olduğunun tespit edilebilmesi için, kum harici materyalleri ayrıştırılmış numunenin belirli bir miktarı 1.tartıma alınıp, etüvde (105⁰C) 90 dakika bekletilmiştir. Ardından etüvden çıkarılan numune, desikatörde 30 dakika bekletilmiş ve 2. tartıma alınmış ve Havalandırılmalı Kum ve Yağ Tutucu Ünitesi çıkışından alınan kumun nem miktarı belirlenmiştir. Yapılan bu işlemlerin detay bilgileri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kumun nem oranının belirlenmesi.

	AĞIRLIK (gr)	KUMUN NEM YÜZDESİ (%)
KURUTMA ÖNCESİ	50	15
KURUTMA SONRASI	42,5	



Şekil 3.3. Neminden arındırılan kum materyali.

3.2.2 Nem Giderimi Gerçekleştirilen Kumun Organik İçeriğinden Arındırılması

Numunenin alındığı tesiste kum ayırma işlemi, Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu Ünitesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucu tercih edilmesi, kum tutucu havuz boyunca spiral bir akış oluşturularak organik maddelerin çökmemesini amaçlamaktadır. Her ne kadar buna göre tasarım yapılmış olsa da, bir miktar organik madde kum materyalinin üzerinde kalabilmektedir. Havalandırmalı kum tutucu ünitelerinde kum ayrımının yanı sıra %30'a kadar BOI giderimi olduğu, başka bir deyişle sistemden alınan kum içerisinde belli bir miktar organik madde içeriği de olduğu dikkate alınarak çekirdek materyali olarak kullanılacak kumun organik içeriğinin ayrıştırılması için neminden arındırılan kumun içerdiği organik maddenin belirlenebilmesi için, 1.Tartımı alınan numune kül fırınında (550°C) 45 dakika yakılmıştır. Kül fırınında yakma işlemi bittikten sonra numune 30 dakika desikatörde bekletilmiştir. Desikatörde işlemi biten numune 2. tartıma alınmış ve içerdiği organik madde miktarı belirlenmiştir. Yapılan bu işlemlerin detay bilgileri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kumun organik madde oranının belirlenmesi.

	AĞIRLIK (gr)	KUMUN ORGANİK YÜZDESİ (%)
YAKMA ÖNCESİ	42,5	3
YAKMA SONRASI	41,3	

3.2.3 Kum Numunesi Partikül Boyutu Homojenliğinin Sağlanması

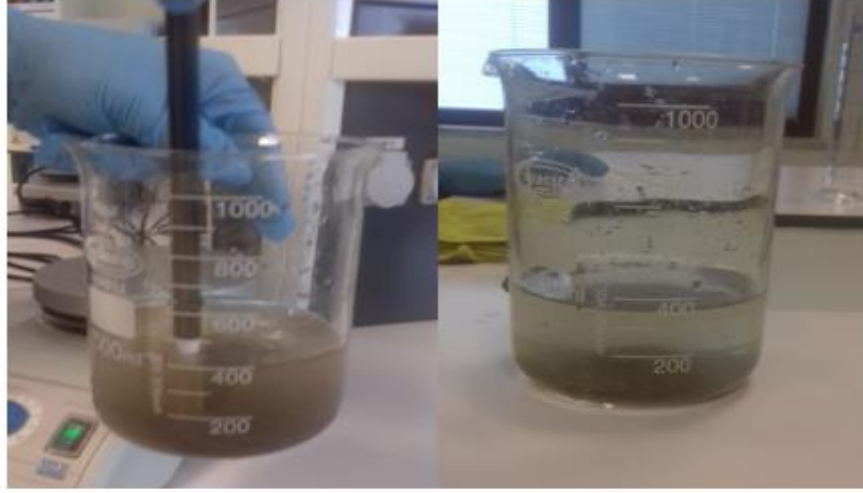
Fosfor çökeleği oluşturulmasında kaba kumun kullanılması uygun olmayacağı için, neminden ve organik materyalinden arındırılan kum, 1mm çapından delikli elekten geçirilmiş ve elek altı kum, çökelekte kullanılmak üzere saklanmıştır. Bu işlem yapılırken, tartımı alınmış kum materyalinin, eleme işleminden sonraki elek altı materyal tartımı da yapılmıştır. Yapılan bu işleme ait bilgiler Çizelge 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Elek altı kum oranının belirlenmesi.

	AĞIRLIK (gr)	ELEK ALTI KUM YÜZDESİ (%)
ELEME İŞLEMİ ÖNCESİ	255	41
ELEME İŞLEMİ SONRASI	105	

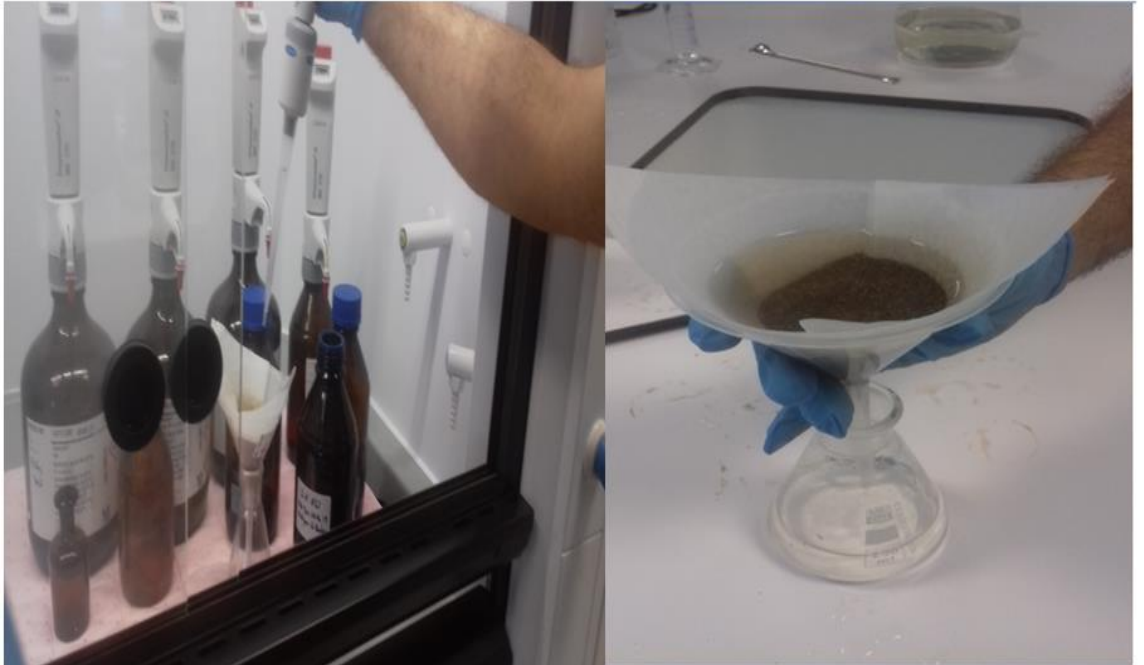
3.2.4 Kum Numunesinin Yıkama İşlemi

Neminden arındırılmış, organik içeriği temizlenmiş ve 1 mm ve çapa sahip kum numunesi yıkanmıştır.. Fosfor ve amonyum analizi gibi temel parametrelerin belirlenmesi amacıyla spektrofotometrik metotlar kullanıldığından fosfor geri kazanımı amacıyla gerçekleştirilecek strüvit çökmesi için kullanılacak kum, analizlerde kolorimetrik hataya sebep olmaması için yıkama işlemine tabi tutulmuştur. 1000 ml'lik behere konulan kum, üzerine su çekilerek 2 dakika kadar manyetik balık tutucu çubukla karıştırılmış, dibe çöktükten sonra da üstündeki su, kum karışmayacak şekilde yavaşça dökülmüştür. Bu işlem 20 kez tekrarlanarak kum, sahip olduğu renginden arındırılmıştır.



Şekil 3.4. Kum yıkama işlemi.

Yıkama işleminden sonra dökülen suyun berraklaştığı gözlemlendiğinde kum, kaba filtreye koyulmuş, 300 ml'lik erlene alınarak üzerine belirli bir miktar 1 N konsantrasyonunda HCl çözeltisinden ilave edilmiştir. Daha sonra kum ve HCl çözeltisi kaba filtreden süzöldükten sonra, üst kısımdan saf su eklenerek, kum HCl çözeltisinden tamamen arındırılmıştır. Arındırma işleminin etkili olması için işlem 20 kez tekrar edilmiştir.



Şekil 3.5. Asitle kum yıkama işlemi.

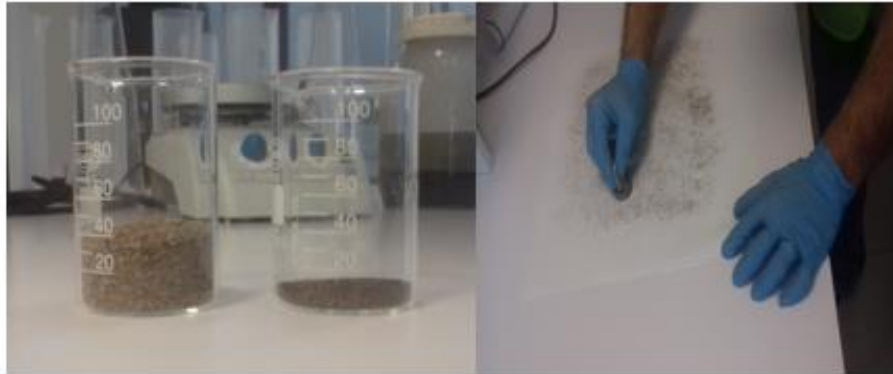
3.2.4.1 Kumun İçerisindeki Demir'in Ayrıştırılması

Kumun, su ile yıkanması esnasında manyetik balık tutucunun ucuna küçük siyah partiküllerin yapıştığı gözlenmiştir. Bu nedenle bu parçacıkların demir olabileceği ve kumun bu sebepten ötürü tam olarak temizlenmemiş olabileceği düşünülerek, kullanılmak istenen kum etüvde kurutulmuş ve kaba filtre kağıdına olabildiğince ince bir tabaka halinde serilmiştir. 11 kg ağırlık taşıma kapasitesine sahip mıknatıs kullanılarak, olası metal parçaların kumdan ayrılması amaçlanmıştır.



Şekil 3.6. Manyetik balık tutucuda gözlenen demir parçaları.

Kullanılan mıknatıs vasıtasıyla elek altı kumda bulunan demir parçaları ayrıştırılmıştır. Ayrıştırma işlemi yapılmadan önce kumun 1. Tartımı alınmıştır. Ayrıştırma işlemi sonunda yapılan 2. Tartım ile elek altı kumun demir içeriği hakkında bilgi edinilmiştir.



Şekil 3.7. Demir parçalarının kumdan ayrılması işlemi,

Çizelge 3.6. Elek altı kumun demir oranının belirlenmesi.

	AĞIRLIK (gr)	ELEK ALTI KUM DEMİR İÇERİĞİYÜZDESİ (%)
DEMİR AYIRIM İŞLEMİ ÖNCESİ	59,6	12
DEMİR AYIRIM İŞLEMİ SONRASI	51,93	

Çizelge 3.6.'da görüleceği üzere, elek altı kum içerisinde ciddi miktarda demir olduğu tespit edilmiştir. Kumdan demirin ayırma işlemi sonrasında 1 N HCl çözeltisi ile kum 3 kez tekrar yıkanmış içeriğinde HCl kalmaması amacıyla tekrar saf su ile de yıkanmıştır. Bu işlemler sonucunda kum etüvde tekrar kurutularak, çökelme işlemi için kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.8. Demir ayırımı işlemi sonrası asit ile kum yıkama işlemi.

3.3 Filtrat Numunesi İçin N/P/M Molar Oranının Belirlenmesi

Tesisin Çamur Susuzlaştırma Ünitesinden alınıp fosfor salınması gerçekleştirilmiş filtrat üst fazının fosfor çökeltimine uygun N/P/M molar oranının belirlenmesi için, deneysel çalışmalarda kullanılması planlanan çıkış suyu altı gün boyunca fosfor salınması işlemine tabi tutularak çıkış suyunun karakteristiği ortaya konmuştur. Yapılan analizler sonucunda strüvit çöktürülmesi için fosfor (6,4 mg/l), amonyum (7 mg/l) ve magnezyum (101,9 mg/l) konsantrasyonunun yeterli olduğu, sonucuna varılmıştır. Yapılan analizlere ait detaylı bilgiler Çizelge 3.7. ve Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Fosfor artırımı yapılan filtratın NH_4^+ , PO_4^{3-} ve Mg analiz sonuçları.

	NH_4^+ (mg/l)	PO_4^{3-} (mg/l)	Mg (mg/l)
1.gün	5,8	7,3	99,8
2.gün	5,4	6,4	97,5
3.gün	6,8	6,7	117,5
4.gün	7,1	6,4	103,54
5.gün	7,4	8,1	95,3
6.gün	5,8	7,3	97,9
Ortalama	6,4±0,8	7,0±0,7	101,9±8,1

Çizelge 3.8. Fosfor artırımı yapılan filtratın N:P:M molar oranının belirlenmesi.

	NH ₄ ⁺ (mol/l)	PO ₄ ³⁻ (mol/l)	Mg (mol/l)	N:P:M molar oranı
1.gün	0,000322	0,000768	0,004107	1:2:13
2.gün	0,000300	0,000676	0,004012	1:2:13
3.gün	0,000378	0,000705	0,004835	1:2:13
4.gün	0,000394	0,000673	0,004261	1:2:11
5.gün	0,000411	0,000852	0,003922	1:2:10
6.gün	0,000322	0,000768	0,004029	1:2:13

Literatürde teorik olarak strüvit eldesi için N:P:M molar oranının ortalama 1:1:1 oranında olduğu, ancak yapılan deneysel çalışmalarda ise bu oranın daha yüksek olması gerektiği belirtilmiştir. Normal şartlarda bir ham atık suda magnezyum çok düşük değerlerde olmasından dolayı, strüvit eldesi için magnezyum ilavesi gerekmektedir. Fakat söz konusu tesisin filtrat suyunda strüvit çökmesi için yeterli konsantrasyonda magnezyum bulunduğu gözlenmiştir. Bu nedenle çöktürme yapılacak çözeltiliye magnezyum ilavesi yapılmasına gerek kalmamıştır. Riyao Chen tarafından, 2018 yılında yayınladığı makalesinde, çöp sızıntı suyundaki magnezyum miktarının, sütrüvit eldesi için önemli olduğu belirtilmiştir (Riyao Chen, 2018). Söz konusu tesise de çöp süzüntü suyu, tesisin yük kapasitesini aşmayacak şekilde kabul edilmekte ve arıtılmaktadır. Aynı zamanda, Gen Tao Zhou 2018 yılında yayınladığı makalesinde deniz suyunun magnezyum kaynağı olarak kullanılabilirliğinden bahsetmektedir (Gen Tao Zhou, 2018). Söz konusu tesise gelen atık su hatları, denize yakın yerlerden geçtiği için, bir miktar deniz suyu da atık su hatlarına karışmış olabileceği düşünülmektedir. Bu durum da magnezyum konsantrasyonumuzu artıran sebeplerden biri olabileceği düşünmekteyiz.

3.4 Deneylerde Çalışılan Analizlerin Bilgileri

3.4.1 KOİ Analizi

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizi, Kapalı RefluxTitrimetrik yöntemine (SM 5220 C) dayanılarak spektrofotometrik şekilde yapılmıştır (APHA, 2005).

3.4.2 NH₄⁺-N Analizi

Amonyum Azotu analizi titrimetrik olarak (SM 4500-NH₃) Hach-Lange DR6000 spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (APHA, 2005)..

3.4.3 TP Analizi

Toplam fosfor (TP) analizi için Sülfürik Asit- Nitrik Asit Parçalama işlemi uygulandıktan sonra Vanadamoliptofosforik asit kolorimetrik (SM 4500-P C) metoduna dayanılarak spektrofotometrik (Hach-Lange DR 6000) olarak yapılmıştır (APHA, 2005).

3.4.4 PO₄³⁻ Analizi

Ortofosfat (PO₄³⁻) belirlenmesi için, Vanadamolipto fosforik asit kolorimetrik metot (SM 4500-P C) kullanılarak analizi yapılmıştır (APHA, 2005).

3.4.5 AKM Analizi

Askıda Katı Madde (AKM) analizi, 0,45 µm membran filtre kullanılarak strüvit çöktürmesi işleminden önce ve sonra standart metoda dayanılarak (SM 2540-D) yapılmıştır (APHA, 2005).

3.4.6 pH Tayini

pH tayini, kalibre edilmiş Hach-Lange (HQ 40d) marka pH metre ile gerçekleştirilmiştir.

3.4.7 Mg Analizi

Strüvit çökmesinin ana öğelerinden biri olan magnezyum, standart metoda dayanılarak (SM 3500-MG) Hach-Lange DR 6000 spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda spektrofotometrik analizin doğruluğunu denetlemek için Perkin Elmer ICP OES 8000 Optima cihazı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırması yapılmıştır.

3.5 Çökelek Oluşumu

Strüvit çökeleği oluşturmak için ön denemeler yapılmış, numunenin pH değerinin çöktürme işlemi uygun olduğundan herhangi bir pH ayarlamasına gerek görülmemiştir. 300 ml fosfor artırımı tamamlanmış filtrat numunesi kaba filtreden geçirildikten sonra içerisine çöktürme işleminin ana öğesi olan, kristalizasyonun başlayabilmesi için tohum materyali görevi yapması amacıyla 0,5 gr ön işlemde geçirilmiş havalandırılmalı kum tutucudan gelen kum ilave edilmiştir. Strüviti oluşturan magnezyum, amonyum, fosfatın ve tohum materyali kumun etkili bir şekilde karışması için önce 100 devir/dakika hızda 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Ardından strüvit oluşumunu desteklemek için 30 devir/dakika hızında 3 saat süre ile yavaş karıştırılmıştır. 30 dk boyunca çökmenin gerçekleşebilmesi için numune dinlendirilmiştir. Daha sonra numunenin üst fazı çıkış suyu analizi için ayrıldıktan sonra oluşan çökelek etüvde (105 °C) kurutulmuştur.

Numunenin kuruması yaklaşık olarak 14 saat sürmüştür. Sabit tartıma getirilen numune, hassas terazide tartılmıştır. Tartım sonrasında deneysel olarak gerçekleştirilen strüvit çökeleği miktarı belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerle ilgili bilgiler Çizelge 3.9.'da verilmiştir.

Çizelge 3.9. 300 ml numunede çökelek artış oranının belirlenmesi.

	AĞIRLIK (gr)	KATI MADDE MİKTARINDAKİ ARTIŞ (%)
ÇÖKELTME ÖNCESİ	0,5	29,6
ÇÖKELTME SONRASI	0,648	

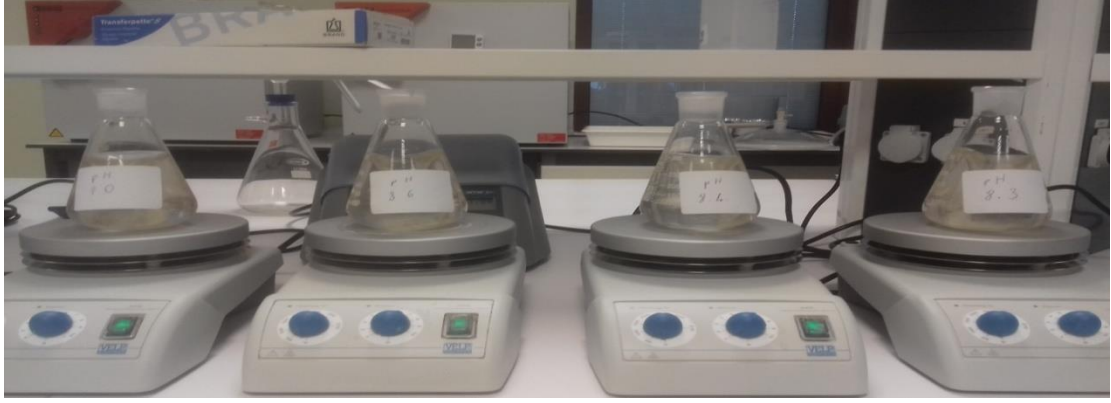
3.5.1 Çökelek Oluşumu İçin Uygun pH Değerinin Belirlenmesi

Filtrat numunesinin pH değeri belirli gün aralığında takip altına alınmıştır.

Çizelge 3.10. Günlük pH değeri takibi.

TARİH	19.3.2019	20.3.2019	21.3.2019	22.3.2019	24.3.2019	ORTALAMA
pH (log[H ⁺])	8,05	8,07	8,10	7,65	7,67	7,93

Arıtma tesisinde oluşan filtrat numunesinin pH'ı farklı zaman aralıklarında belirlenmiş, filtratın sahip olduğu pH değerinin ortalama olarak 7,9 değerinde olduğu belirlenmiştir. Literatüre göre temel olarak seçilen dört farklı pH değeri seçilerek strüvit çökeleğinin oluşturulabilmesi çöktürme işlemi farklı pH değerleri için tekrarlanmıştır.



Şekil 3.9. Farklı pH değerlerinde çökelek oluşumu deneyi.

Çökelek oluşumu deneyi için sırasıyla 8,3, 8,4, 8,6 ve 9,0 pH değerlerinde çalışma yapılmıştır. Numunelerin pH ayarlaması, 0,1 N NaOH çözeltisi ilavesi yapılarak ve elektronik seyyar pH ölçüm cihazı kontrolüyle gerçekleştirilmiştir. 10 dk 100 dev/dk, hızlı karıştırma ve 3 saat 30 dev/dk yavaş karıştırma işlemi bu numunelerde aynı anda ve aynı koşullar altında yapılmış ve numuneler 1 saat kadar dinlenmeye alınmıştır. Dinlendirme işlemi gerçekleştirildikten sonra, üst fazda kalan su otomatik pipet yardımı ile katı materyaller hareket etmeyecek şekilde hassasiyetle alınmıştır. Üst fazından suyu alınan numuneler 14 saat etüvde (105 °C) bekletildikten sonra etüvden çıkartılıp soğumaya alınmıştır. Soğuma işlemi gerçekleşen numunelerin dibindeki katı maddeler metal bir çubuk yardımı ile kazınmış ve tartıma alınmıştır. Buradaki amaç, en çok çökelek oluşumunun olduğu pH değerini belirlemektir. Sonuçlara ait bilgiler Çizelge 3.11.'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Farklı pH değerlerinde çökelek oluşum miktarları.

pH (log[H ⁺])	8,3	8,4	8,6	9,0
Ağırlık (g)	0,6281	0,6250	0,6233	0,6440

Pakdil tarafından yapılan çalışmada en yüksek fosfor geri kazanımı için strüvit çöktürmesi amacıyla pH değerinin 9-10 aralığında olması önerilmiştir (Pakdil, 2007). Tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarda da benzer olarak etkili pH aralığı 9 olarak belirlenmiştir.

3.5.2 Seçilen pH Değeri'nde Örnek Çökelek Oluşumu Çalışması

Önceki deneysel çalışmalarda belirlenen pH 9 değeri temel alınarak çimlerin yetiştirilmesinde kullanılacak olan strüvit çökeleği hazırlamak için fosfor salınımı yapılmış olan filtrat numuneleri 1 litrelik cam kavanozlara kullanılmıştır. Her bir kavanoza 800 ml numune alınmıştır. Ardından önceki bölümlerde ifade edildiği şekilde ön işlemden geçirilen kumdan 1,5 gr ilave edilmiş, 0,1 N NaOH kullanılarak pH ayarlanması yapılmıştır. Daha sonra 10 dk hızlı (100 dev/dk), 3 saat yavaş (30 dev/dk) olacak şekilde çökelme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10. pH 9 değerinde çökelek oluşumu deneyi.

Kristalizasyon işlemi 3 saatlik sürede tamamlandıktan sonra çökelme işlemi için numune 1 saat süreyle dinlendirilmiştir. Üst suyu numunesi alınarak fosfor analizi için saklanmıştır. Ardından çökelekler sudan ayrılarak etüvde (105 °C) kurutulmuştur. Kuru madde tartıma alınmıştır. Meydana gelen ağırlık değişimleri Çizelge 3.12.'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. 800 ml numune pH 9 değerinde çökelek oluşum miktarı.

	AĞIRLIK (gr)	OLUŞTURULAN ÇÖKELEK ORANI (%)
ÇÖKELME ÖNCESİ	1,50009	21,43
ÇÖKELME SONRASI	1,82162	



Şekil 3.11. Çökeltme deneyi sonucunda katı materyalindeki artış.

Numunelerin çökeltme işlemi başlamadan önce ortofosfat konsantrasyonu ölçülmüş ve not edilmiştir. İşlem bittikten sonra numuneler 1 saat dinlendirmeye alınmış ve kavanozların üst fazından otomatik pipetlerle numune çekilmiş ve tekrar ortofosfat konsantrasyonu ölçülmüştür. Bu ölçümler ile ilgili bilgiler Çizelge 3.13.'te verilmiştir.

Çizelge 3.13. Fosfor geri kazanım yüzdesi.

	PO_4^{3-} (mg/l)	GERİ KAZANIM ORANI (%)
ÇÖKELME ÖNCESİ	6,1498	34
ÇÖKELME SONRASI	4,0499	

The image shows two screenshots of a laboratory software interface. The top screenshot displays the following data:

Wavelength(n)	Sample ID	Ordinate	Factor	Concentration	Sample Info
400.0	0.0	NAFREC	0.2757	6.1498 mg/L	ÇÖKELME ÖNCESİ

The bottom screenshot displays the following data:

Wavelength(n)	Sample ID	Ordinate	Factor	Concentration	Sample Info
400.0	0.0	NAFREC	0.1814	4.0499 mg/L	ÇÖKELME SONRASI

Şekil 3.12. Çökeltme öncesi ve sonrası fosfor konsantrasyonu değerleri.

Çizelge 3.13.'te görüldüğü gibi giriş ve çıkış numunelerinin arasındaki fark değeri temel alındığında %34 fosfor geri kazanımı gerçekleştiği görülmüştür. Bu nedenle fosforun çökelek bünyesine alındığı gözlenmiştir.

3.5.3 Ekim İçin Oluşturulacak Çökelek Miktarının Belirlenmesi

Yapılacak çalışmada oluşturulacak çökeleklerin, iklime uygun çim türlerinin büyümesinde gübre amacıyla kullanılması planlanmıştır. Bu amaçla altı adet saksı hazırlanmıştır. Çizelge 3.14.'te saksı içerikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Çizelge 3.14. Deneysel çalışmalarda kullanılan saksı sayıları ve içerikleri.

Saksı No	Saksı İçeriği
Torf	Torf Toprağı (Süs bitkileri için kullanılan organik yönden zengin toprak karışımı)
Toprak	Refüj Toprağı (Aritma tesisinin bahçesinde sahip olduğu refüjlerden alınan toprak karışımı)
Saksı 1	2 gr çökelek + Refüj toprağı
Saksı 2	3 gr çökelek + Refüj toprağı
Saksı 3	4 gr çökelek + Refüj toprağı
Saksı 4	5 gr çökelek + Refüj toprağı

3.5.4 Ekim İçin ökelek Oluşumu

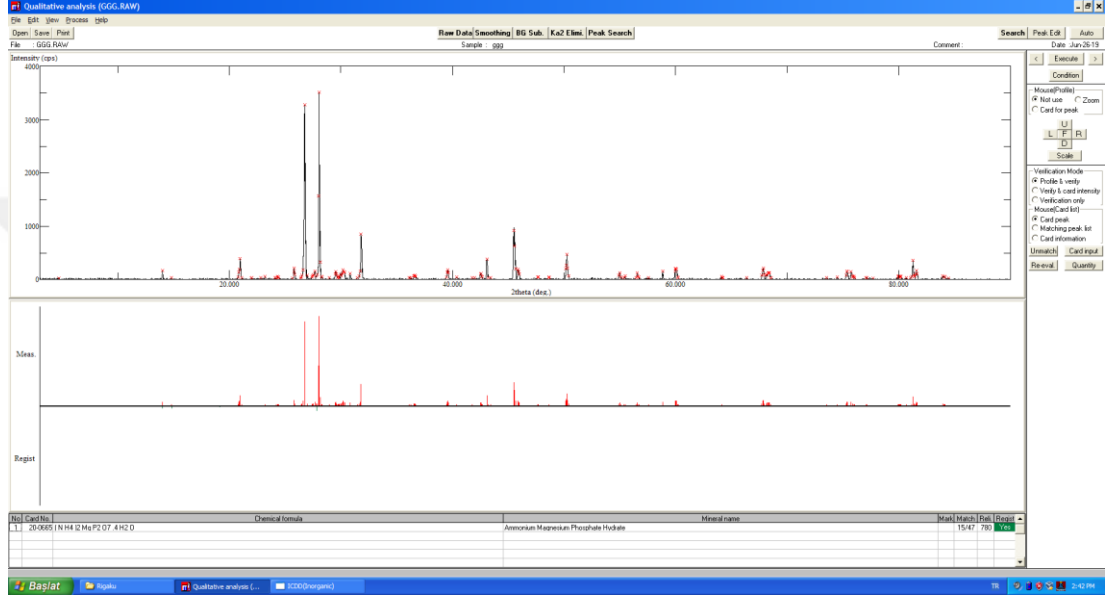
im ekiminde kullanılacak olan çökelek oluşumu için toplamda 10 günlük bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Her gün ilk önce 6 adet aktif çamur içeren filtrat numunesi 4 saatlik karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Ardından yarım saat kadar bekletilip, üst faz suyu 150 ml'lik beher vasıtasıyla kaba filtreden geçirilmiş, 6 adet 800 ml'lik numunelerin pH 9 ayarlaması yapılmış, her bir kavanoza 1,5 gram kum eklenmiş ve çökelek oluşturma işlemine geçilmiştir. Çökeltme işlemi gerçekleştirildikten sonra numuneler dinlenmeye alınmış ve üst faz suyu otomatik pipetler yardımıyla, çökelti hareket ettirilmeyecek hassasiyette, olabildiğince çok miktarda çekilmiştir. Ardından numuneler etüvde (105 °C) 14 saat boyunca bekletilmiştir. Etüvden 14 saat sonra alınan numuneler soğumaya bırakılmış ve dibindeki çökelek demir bir çubuk yardımıyla kazınmış ve ekimde kullanılmak üzere saklanmıştır. Bu işlem, toplamda 54 kavanoz olacak şekilde tamamlanmıştır.

+



Şekil 3.13. Çökelek oluşumu aşamaları.

Tez çalışmasında elde edilen çökelek 36 kV ve 26 mA gücünde Ka Cu hattına (1.54 wav dalga boyu) gelen X-Işınları yayan bir Rigaku Multiflex XRD 2kW difraktometre oda sıcaklığında hava atmosferinde analiz edilmiştir. Endeksleme, JCPD-ICDD (uluslararası kırınım verileri merkezi) numaraları 41-0317 ve 41-0374 ile JCPDS dizin kartlarına yapılmıştır. Buna göre çökelek yapısında $Mg_3NH_4H_4$, $Mg_2P_2O_7$, $MgNH_4PO_4$, $Mg_3(PO_4)_2$, MgP_4O_{11} , $Ca(PO_3)_2$ ve $(Ca_5(PO_4)_3(OH))$ bileşikleri olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.14. XRD analiz sonucu.

3.6 Çökeleklerin Çim Ekiminde Gübre Olarak Kullanılması

3.6.1 Oluşturulan Çökeleklerin Saksılara Oranlanması

Oluşturulan çökelekler, 4 adet saksıya, farklı miktarlarda ve belirli oranlarda eklenmesi planlanmıştır. Buradaki amaç, oluşturulan çökeleklerin miktar farkının çim büyümesine etkisini gözlemlemektir. Saksılara çökelek paylaşımı ile ilgili detaylı bilgiler aşağıdaki Çizelge 3.15.'te verilmiştir.

Çizelge 3.15. Elde edilen çökeleklerin saksılara dağılımı.

Kullanılan Kum Miktarı (g)	70,8
Çökeltim Sonucu Oluşan Katı Madde Miktarı (g)	85,5
Çökelek Miktarı (g)	14,7
Çökeleklerin Saksılara Paylaşım Oranı (g)	2:3:4:5
Toplamdaki Katı Maddenin Saksılara Paylaşım Oranı (g)	12,14:18,21:24,8:30,35



Şekil 3.15. Çökeleklerin saksılara dağılım ağırlıkları tartım görseli.

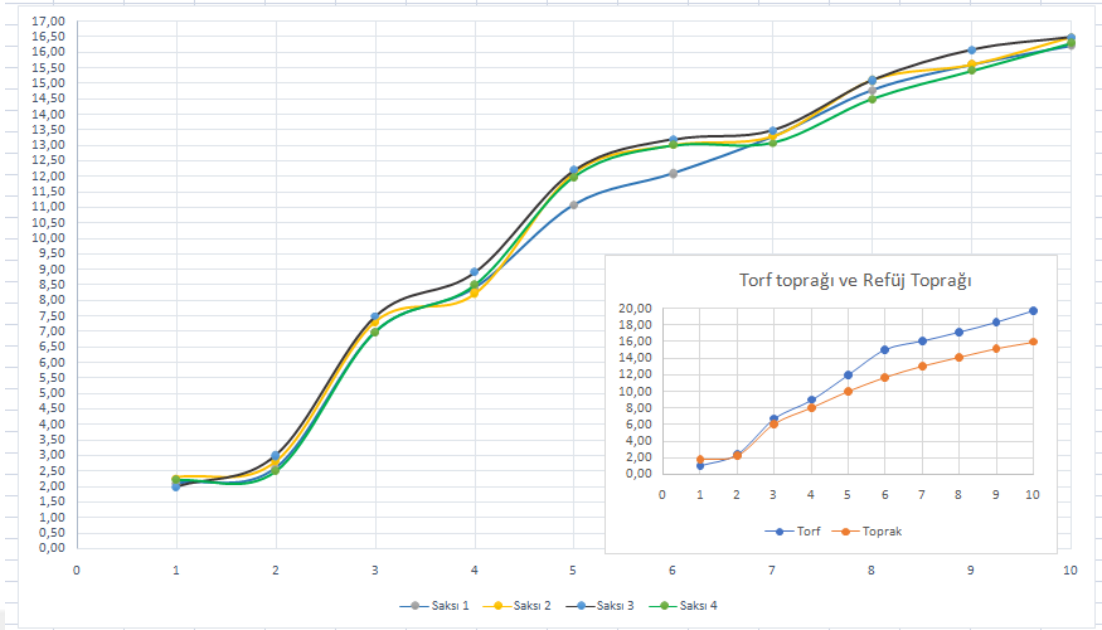
4. TARTIŞMA VE BULGULAR

4.1 Ekilen Çimlerde Oluşturulan Gübrenin Etkilerinin İncelenmesi

Çim ekimi, 12.5.2019 tarihinde yapılmıştır ve o tarihten itibaren saksılar düzenli bir şekilde sulanmıştır. Saksıların güneş alabileceği uygun bir yer seçilmiş ve güneş alabilmesi sağlanmıştır. Saksılarda çimler 17.5.2019 tarihinde, ekimden 5 gün sonra toprak üstünde çıplak gözle görülebilmeye başlamıştır. Bu tarihten itibaren her saksıdaki çim boyu ölçülmüş ve fotoğraflaması yapılmıştır. Çimlerin gelişimi 17 Mayıs - 26 Mayıs arasındaki tarihlerde günde bir defa olmak üzere ölçüm alınarak izlenmiştir. Çimlerin gün bazındaki boy ölçümleri ile ilgili grafik ve tablo aşağıda verilmiştir. Ayrıca saksılardaki çimlerin gün gün uzama miktarları fotoğraflanarak eklenmiştir.

Çizelge 4.1. Saksıların 10 günlük takibi.

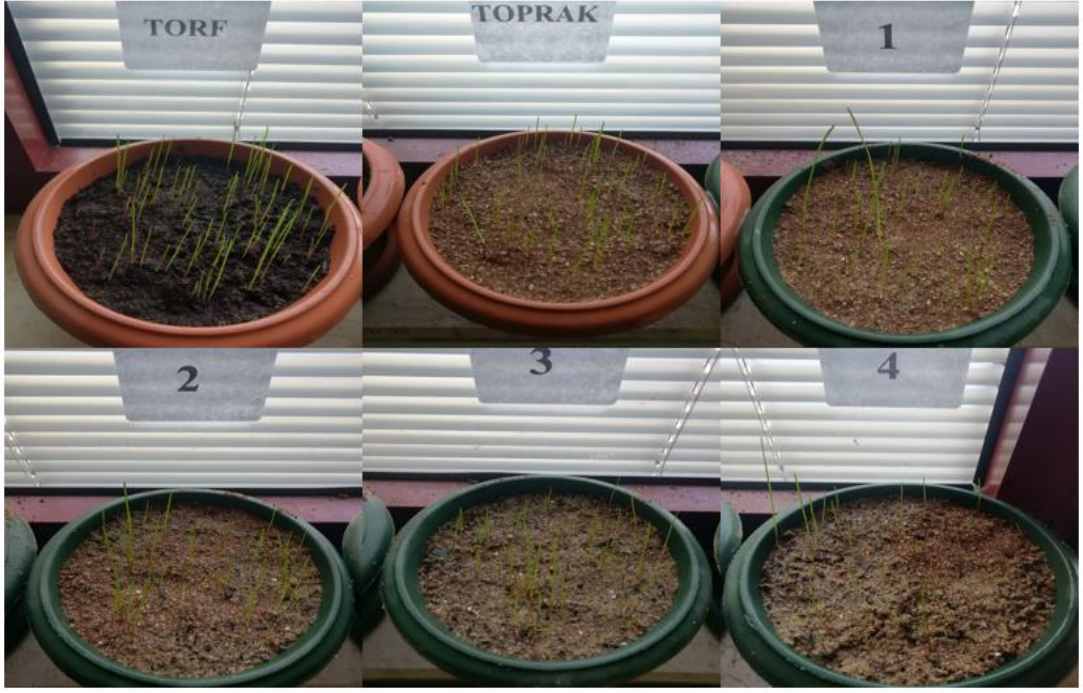
TARİH	TORF (cm)	TOPRAK (cm)	SAKSI 1 (cm)	SAKSI 2 (cm)	SAKSI 3 (cm)	SAKSI 4 (cm)
17.5.2019	1	1,8	2,10	2,30	2	2,20
18.5.2019	2,40	2,20	2,60	2,80	3	2,5
19.5.2019	6,70	6	7	7,30	7,50	7
20.5.2019	9	8	8,40	8,20	8,90	8,50
21.5.2019	12	10	11,10	12,10	12,20	12
22.5.2019	15	11,70	12,10	13	13,20	13
23.5.2019	16,10	13,10	13,30	13,30	13,50	13,10
24.5.2019	17,10	14,10	14,80	15,10	15,10	14,50
25.5.2019	18,40	15,20	15,60	15,60	16,10	15,40
26.5.2019	19,80	16	16,20	16,50	16,50	16,30



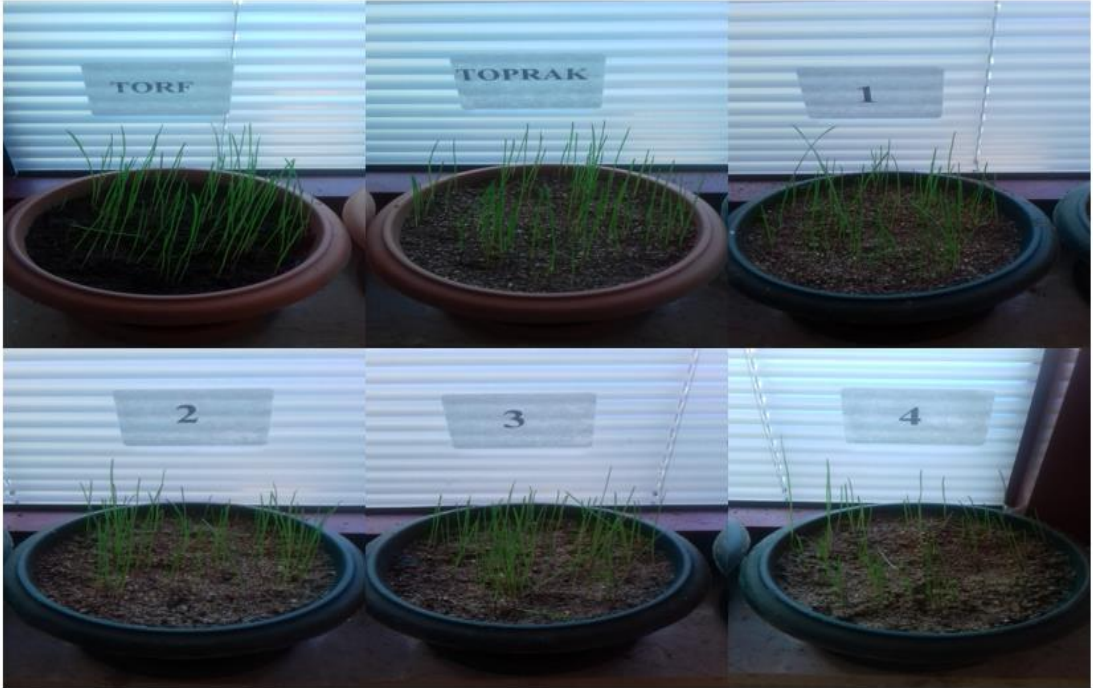
Şekil 4.1. Saksıların 10 günlük takibi



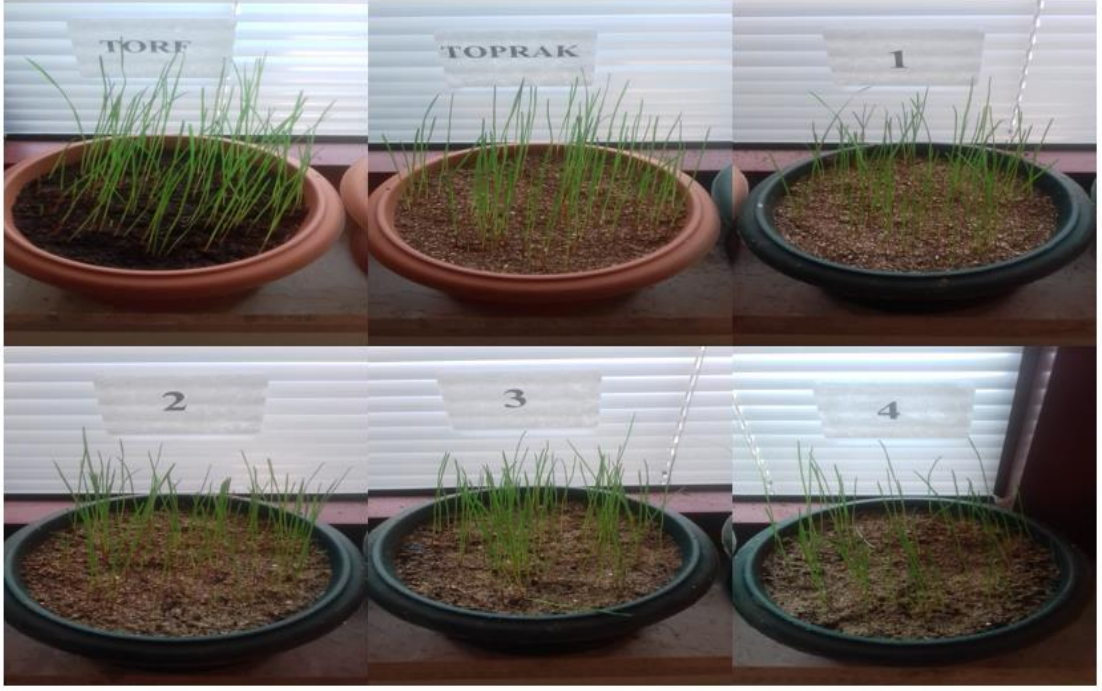
Şekil 4.2. 17.5.2019 Çim boyları.



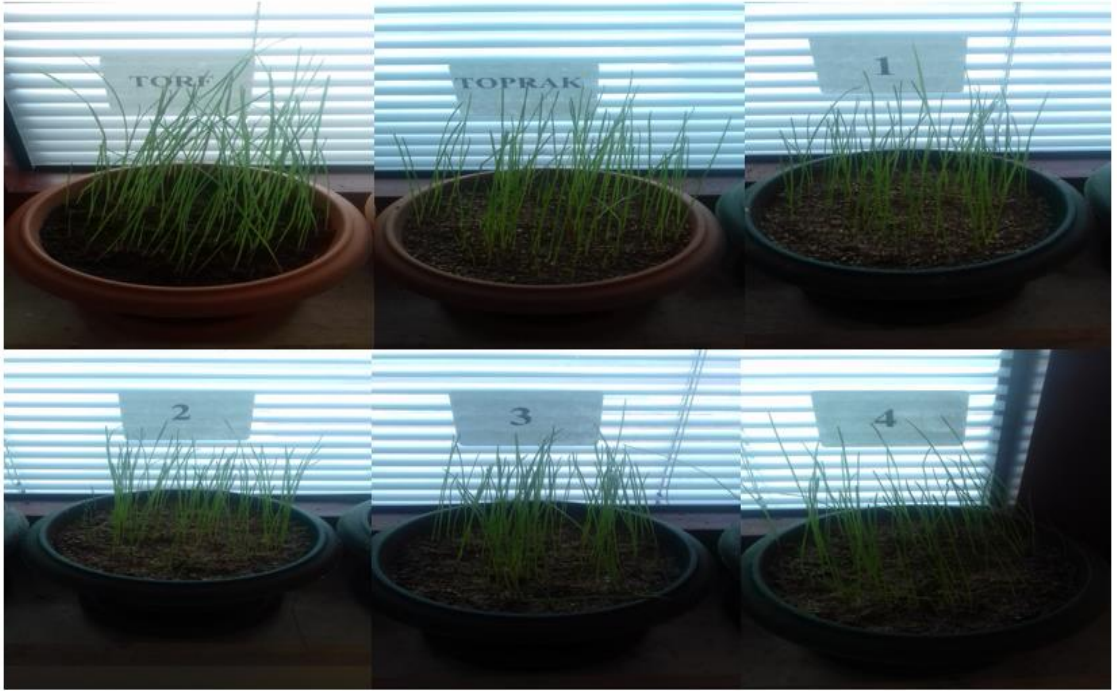
Şekil 4.3. 18.5.2019 Çim boyları.



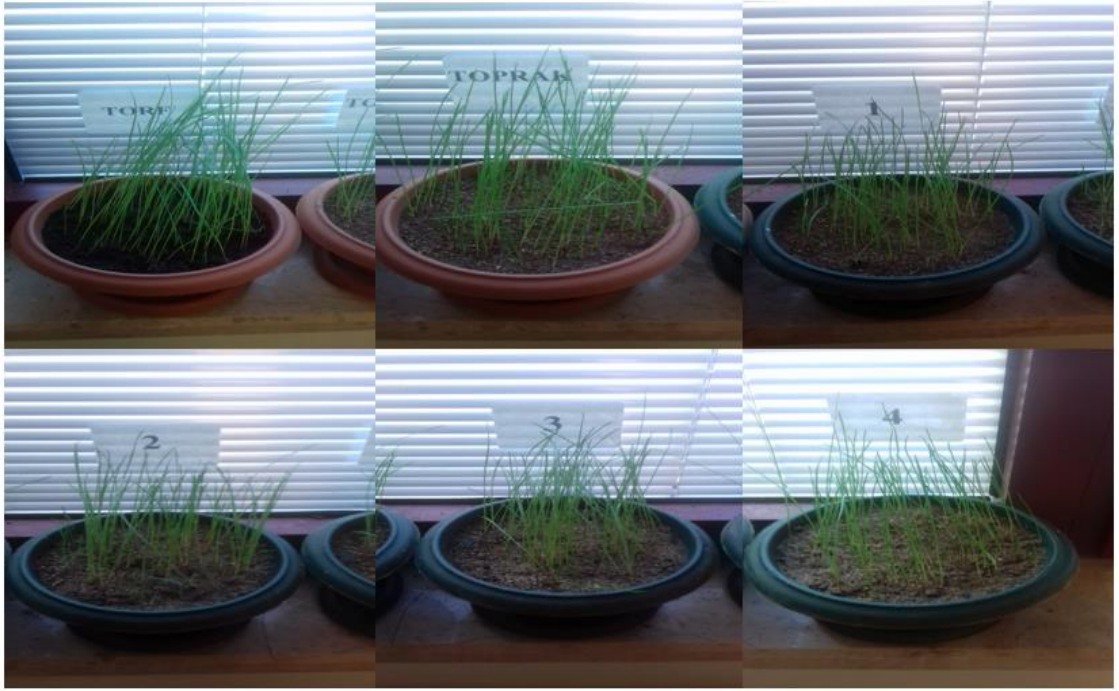
Şekil 4.4. 19.5.2019 Çim boyları.



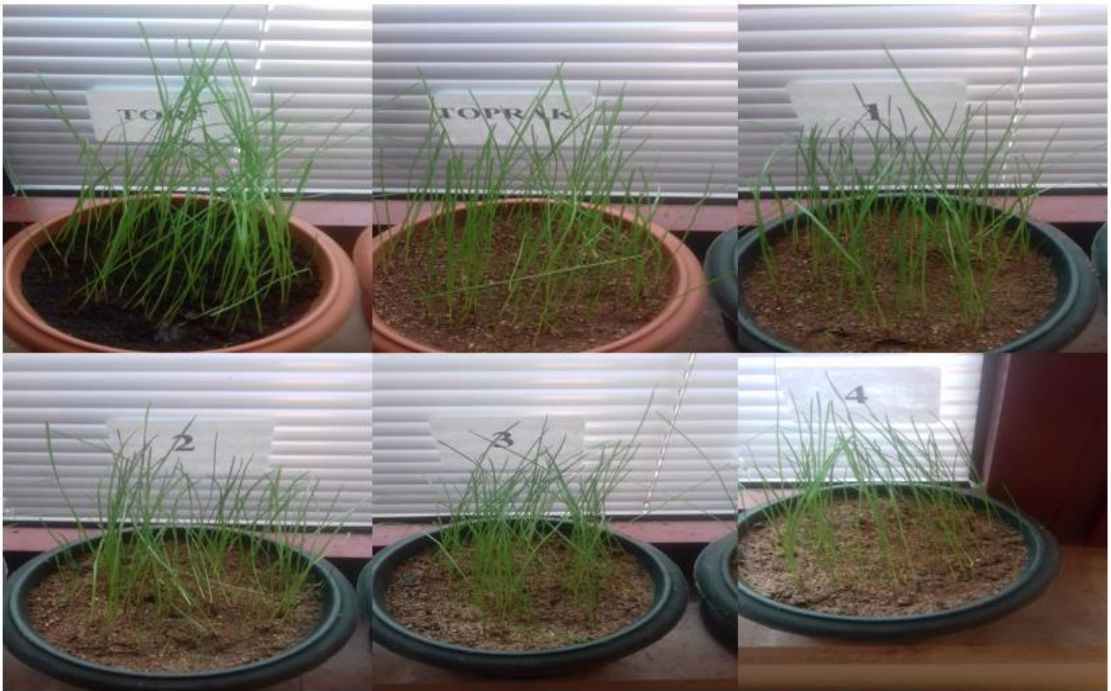
Şekil 4.5. 20.5.2019 Çim boyları.



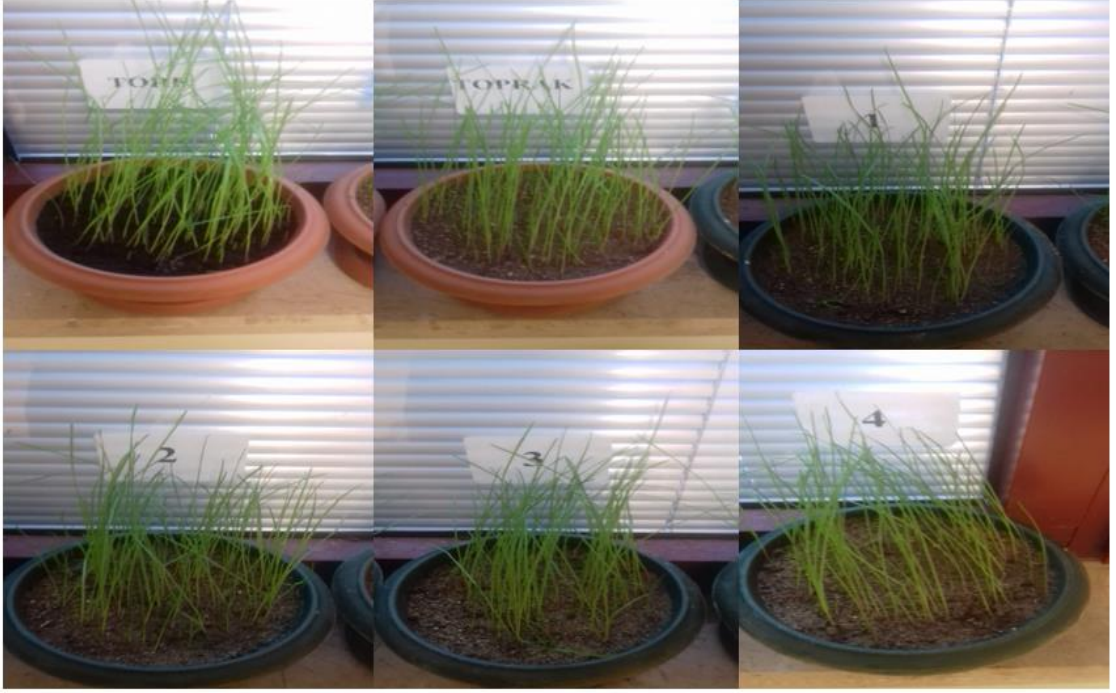
Şekil 4.6. 21.5.2019 Çim boyları.



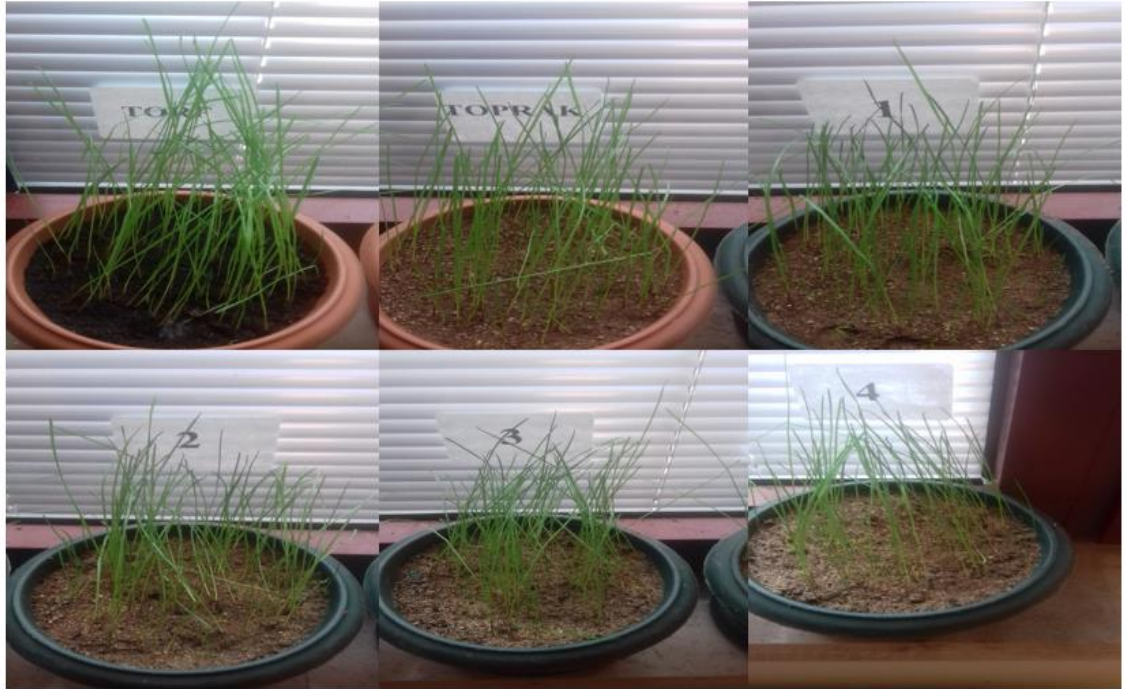
Şekil 4.7. 22.5.2019 Çim boyları.



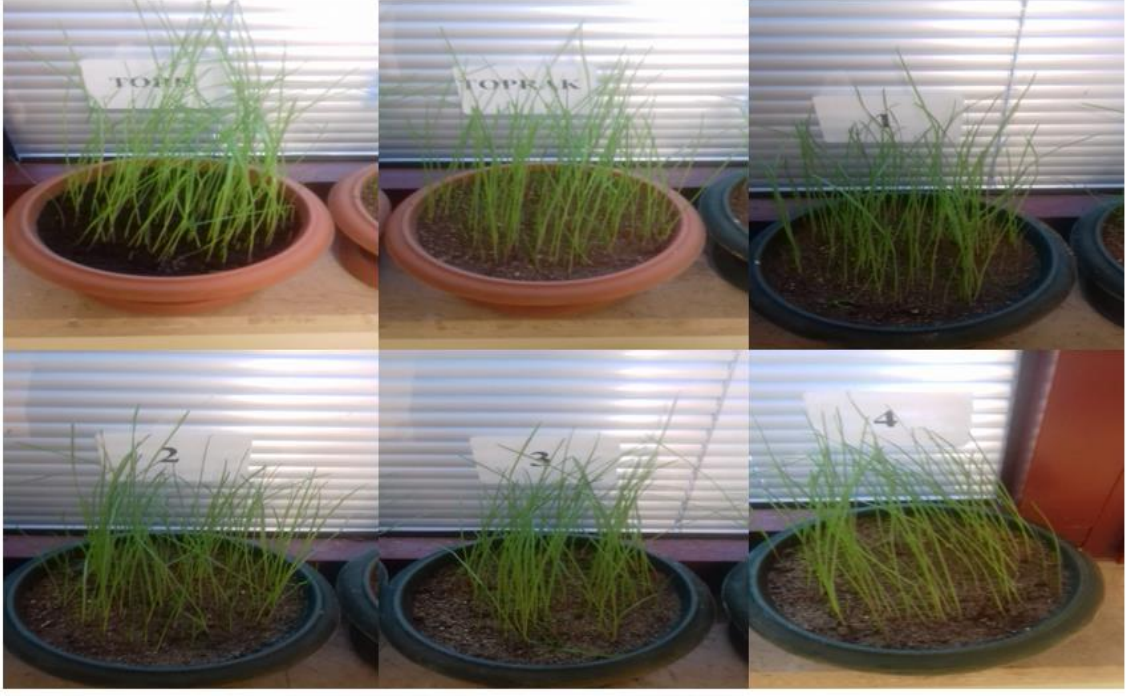
Şekil 4.8. 23.5.2019 Çim boyları.



Şekil 4.9. 24.5.2019 Çim boyları.



Şekil 4.10. 25.5.2019 Çim boyları.



Şekil 4.11. 26.5.2019 Çim boyları.

Tablo ve Grafik incelendiği zaman, en iyi çim uzamasının, torf eklenen saksıda olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi ise, bilindiği üzere torfun kullanıldığı ortamda suyun bitkiye yavaşça ve düzenli bir şekilde verilmesini sağlaması ve bitki kök gelişimini hızını arttırmasıdır. Çökelek eklenen saksılar ile sadece toprak içeren saksının karşılaştırması yapıldığı zaman, en belirgin farkın tohumlanma hızı olduğu gözlenmiştir. Bu durum göz önüne alındığı zaman, oluşturulan çökeleğin sadece yeşillendirmede değil, yeri değiştirilen ağaçların köklerinin sağlıklı ve hızlı bir şekilde toprağa tutmasında da kullanılabilceği öngörülmüştür. Farklı miktarlarda çökelek eklenen saksıların aralarındaki farkın incelemesi yapıldığı zaman, boy uzamasının en çok 3 nolu saksıdaki çimlerde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca önemli olan bir diğer fark ise, 3 nolu saksıdaki çimlerin, diğerlerine nazaran daha sık olduğunun tespit edilmiş olmasıdır. Bu yüzden ilerleyen bölümlerde yapılacak hesaplamalarda, 3 nolu saksının bilgileri baz alınacaktır.

4.1.1 Senaryosu Verilen Bir Evsel Bir Atıksu Arıtma Tesisinde Filtrat Suyundan Edinilebilecek Fosfor Yüğü

Evsel atık su arıtma tesislerinde çamur susuzlaştırma ünitesinden kaynaklı fosfor yükünün giriş yükü değerlerine göre hesaplanması ile ilgili tablo ve grafik aşağıda verilmiştir. Grafikte verilen değerler, tesisin giriş debisi 80000 m³/gün ve sıcaklık faktörü 1,072 olarak baz alınarak hesaplanmıştır (Üretilen çamur hesabı ATV 131E standartları baz alınarak yapılmıştır).

Günlük Üretilen Çamur Miktarı Hesaplama (kg/gün)

$$SP_d = SP_{d,c} + SP_{d,p}$$

$$SP_{d,c} = B_{d,BOD} * [0,75 + 0,6 * (X_{SS,IAT} / C_{BOD,IAT})] - [(0,8 * 0,17 * 0,75 * t_{ss} * F_t) / (1 + (0,17 * t_{ss} * F_t))]$$

$$SP_{d,p} = (Q_d * 3 * X_{P_{BIO-P}} / 1000)$$

$$X_{P_{BIO-P}} = 0,01 * C_{BOD,IAT} \text{ (mg/l)}$$

SP_d = Günlük üretilen çamur miktarı (kg/gün)

$SP_{d,c}$ = Karbon gideriminden dolayı oluşan çamur miktarı (kg/gün)

$SP_{d,p}$ = Fosfor gideriminde oluşan çamur miktarı (kg/gün)

$B_{d,BOD}$ = Günlük BOI_5 yükü (mg/l)

$X_{SS,IAT}$ = Giriş AKM (mg/l)

$C_{BOD,IAT}$ = Giriş BOI_5 yükü (mg/l)

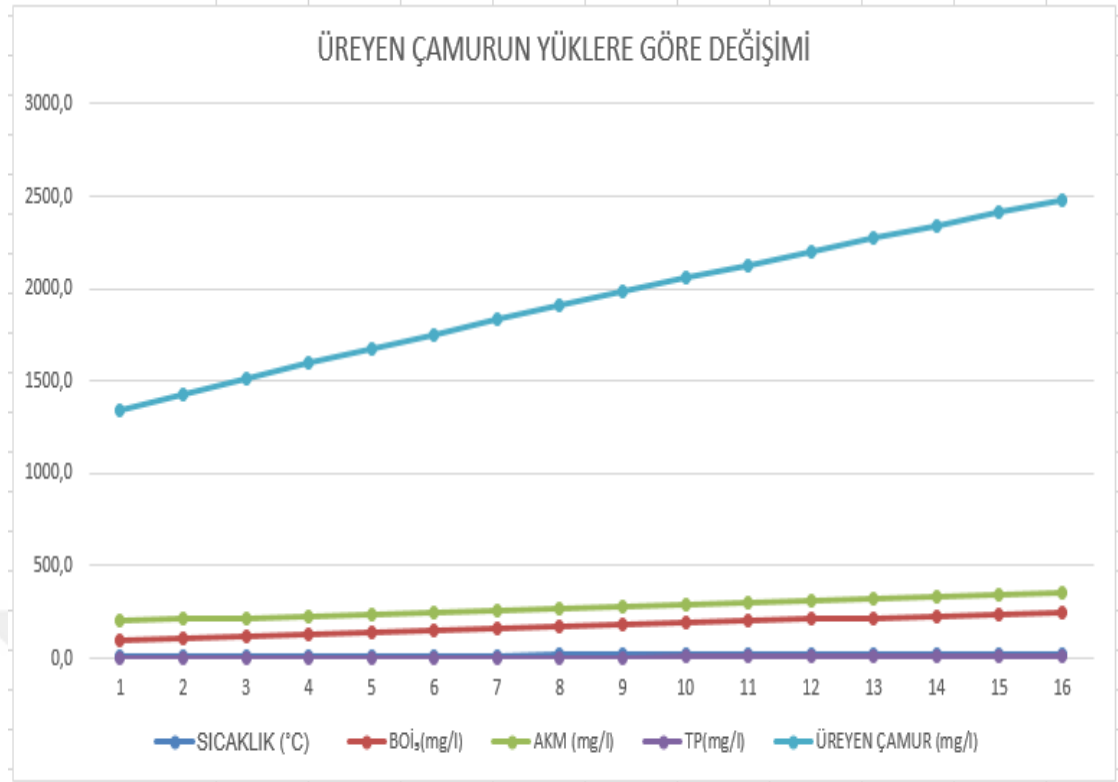
t_{ss} = Çamur yaşı (gün)

F_T = Endojen solunum için sıcaklık faktörü

Q_d = Günlük Debi (m^3 /gün)

Çizelge 4.2. Üretilen çamur hesabı.

	SICAKLIK (°C)	FT	DEBİ	BOI_5 (mg/l)	BOI_5 (kg/d)	AKM(mg/l)	Spdc(kg/d)	$X_{P_{BIO-P}}$	SPdp(kg/d)	Spd(kg/d)	Spd(m^3 /d)
1	10,0	0,70636	80.000	100	8000	200	12981,01326	2	480	13461,01326	1346,1013
2	11,0	0,757218	80.000	110	8800	210	13708,42843	2,5	600	14308,42843	1430,8428
3	12,0	0,811738	80.000	120	9600	220	14420,21499	3	720	15140,21499	1514,0215
4	13,0	0,870183	80.000	130	10400	230	15116,82873	3,5	840	15956,82873	1595,6829
5	14,0	0,932836	80.000	140	11200	240	15798,78788	4	960	16758,78788	1675,8788
6	15,0	1	80.000	150	12000	250	16466,66667	4,5	1080	17546,66667	1754,6667
7	16,0	1,072	80.000	160	12800	260	17121,08844	5	1200	18321,08844	1832,1088
8	17,0	1,149184	80.000	170	13600	270	17762,71825	5,5	1320	19082,71825	1908,2718
9	18,0	1,231925	80.000	180	14400	280	18392,25531	6	1440	19832,25531	1983,2255
10	19,0	1,320624	80.000	190	15200	290	19010,4252	6,5	1560	20570,4252	2057,0425
11	20,0	1,415709	80.000	200	16000	300	19617,97226	7	1680	21297,97226	2129,7972
12	21,0	1,51764	80.000	210	16800	310	20215,65214	7,5	1800	22015,65214	2201,5652
13	22,0	1,62691	80.000	220	17600	320	20804,22465	8	1920	22724,22465	2272,4225
14	23,0	1,744047	80.000	230	18400	330	21384,44705	8,5	2040	23424,44705	2342,4447
15	24,0	1,869619	80.000	240	19200	340	21957,06788	9	2160	24117,06788	2411,7068
16	25,0	2,004231	80.000	250	20000	325	21322,82134	9,5	2280	23602,82134	2360,2821



Şekil 4.12. Üreyen çamurun kirlilik yüklerine göre değişimi grafiği.

Grafikte değişken değerler verilerek, geniş bir bakış açısı edinilmesi amaçlanmıştır. Bu noktadan sonra yapılan hesaplamalarda, ortalama bir evsel atık su arıtma tesisi giriş yükleri kullanılmıştır. Tesis giriş debisi yine 80000 m³/gün olarak alınmış ve hesaplamalar bu debi değerine göre yapılmıştır.

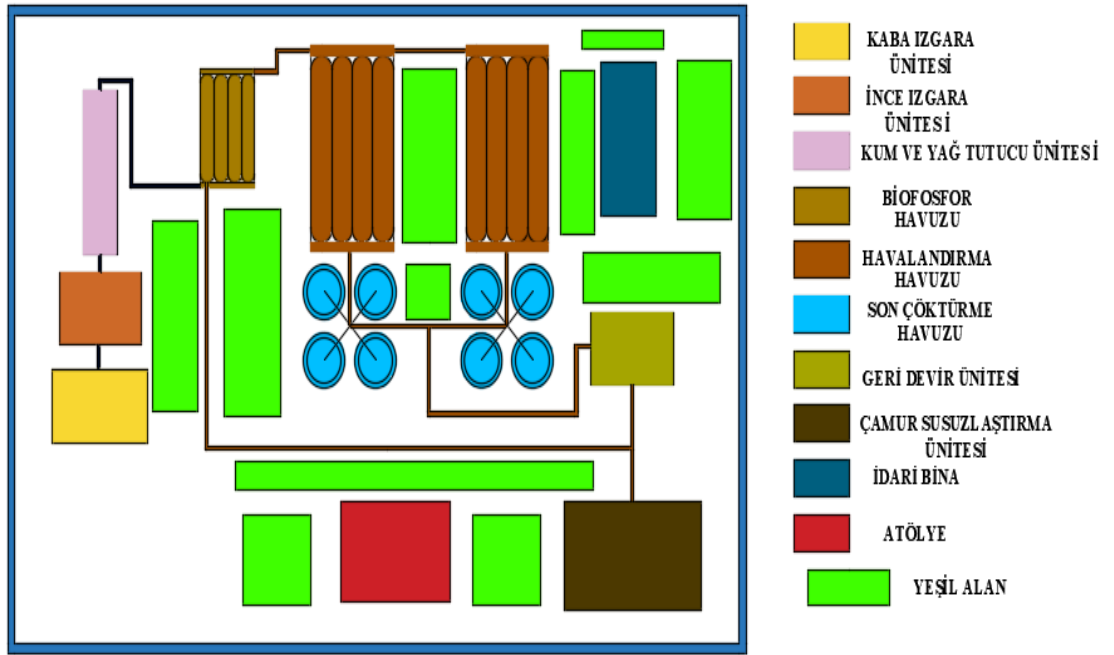
Çizelge 4.3. Filtrattan edinilebilecek fosfor yükü.

TESİS DEBİSİ (m ³ /gün)	80000
BOİ ₅ KONSANTRASYONU (mg/l)	250
AKM KONSANTRASYONU (mg/l)	325
TP KONSANTRASYONU (mg/l)	6
SICAKLIK	16
SICAKLIK FAKTÖRÜ	1,072
ÜREYEN ÇAMUR (m ³ /gün)	~ 2429
%25 ÇAMUR KEKİ (kg/gün)	~ 72875
%25 ÇAMUR KEKİ HACMİ (m ³ /gün)	~ 80
FİLTRAT DEBİSİ (m ³ /gün)	2429-80= ~2349
FİLTRAT ÜST SUYU MİKTARI (m ³ /gün)	2349*0,75=~ 1762
FİLTRAT ARTTIRILMIŞ FOSFOR KONSANTRASYONU (mg/l)	~ 7
FİLTRAT ARTTIRILMIŞ FOSFOR YÜKÜ (kg/gün)	~ 12,334
GERİ KAZANIMI ÖNGÖRÜLEN FOSFOR MİKTARI (kg/gün)	12,334*0,34= ~ 4,19

Yukarıdaki tabloda verilen değerlere bakılarak standart yüklere sahip bir atık su arıtma tesisinin 80.000 m³/gün debide filtrat suyundan geri kazanılabilecek fosfor miktarı verilmiştir. Bu değerler, tesisin giriş debisi ve yüklerine göre değişiklik gösterecektir.

4.2 80000 m3 Debiye Sahip bir Atıksu Arıtma Tesisi'nin Yeşil Alan Hesabı

Örnek alınan tesisin ileri biyolojik arıtım yaptığı varsayılmıştır. Tesis, ön arıtma üniteleri, Bio-P havuzları, havalandırma havuzları, çamur ünitesi, idari bina ve atölye kısımlarından oluşmaktadır. Tesiste ön çöktürme havuzu öngörülmemiştir. Tesisin görseli Şekil 4.13'deki gibidir.



Şekil 4.13. İleri biyolojik atık su arıtımı yapan tesisin temsili görseli.

Örnek olarak gösterilen tesiste, ünitelerin ve yeşil alanların alan hesabı, ünitelerin bekletme süreleri göz önünde bulundurulmak kaydıyla, gerçeğe yakın, tahmini değerlerle belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Örnek tesisi bina alanları hesaplanması.

KABA IZGARA ÜNİTESİ ALANI (m ²)	2500
İNCE IZGARA ÜNİTESİ ALANI (m ²)	1500
KUM VE YAĞ TUTUCU ÜNİTESİ ALANI (m ²)	2000
ÇAMUR SUSUZLAŞTIRMA ÜNİTESİ ALANI (m ²)	2500
GERİ DEVİR ÜNİTESİ ALANI (m ²)	1500
İDARİ BİNA ALANI (m ²)	1000
ATÖLYE BİNASI ALANI (m ²)	750
TOPLAM BİNA ALANI (m ²)	11750

Çizelge 4.5. Örnek tesis proses havuzları alan hesabı (Geri devir oranı: 1 olarak kabul edilmiştir).

BİOFOSFOR HAVUZ BEKLETME SÜRESİ (saat)	1.5
BİOFOSFOR HAVUZ HACMİ (m ³)	10000
BİOFOSFOR HAVUZ DERİNLİĞİ (m)	~ 4
BİOFOSFOR HAVUZ ALANI (m ²)	~ 2500
HAVALANDIRMA HAVUZU BEKLETME SÜRESİ (saat)	18
HAVALANDIRMA HAVUZU HACMİ (m ³)	~ 120000
HAVALANDIRMA HAVUZU DERİNLİĞİ (m)	~ 6
HAVALANDIRMA HAVUZU ALANI (m ²)	~ 20000
SON ÇÖKTÜRME HAVUZU BEKLETME SÜRESİ (saat)	~ 2.5
SON ÇÖKTÜRME HAVUZU HACMİ (m ³)	~ 16666
SON ÇÖKTÜRME HAVUZU DERİNLİĞİ (m)	~3,5
SON ÇÖKTÜRME HAVUZU ALANI (m ²)	~ (16666/3,5)*0,8=3809
TOPLAM PROSES HAVUZLARI ALANI (m ²)	26309

Şekil 4.13.'te verilen proses havuzları ve bina alanları toplamı ~ 38059 m² olarak hesaplanmıştır. Hazırlanılan görsel, hali hazırda işletilmekte olan tesislerin yerleşim planları d örnek alınarak hazırlanmıştır. Yeşil renk kodu ile gösterilen alanlar, çimlendirmeye uygun olduğu öngörülen alanlar olarak düşünülmüştür. Bu alanın hesaplanmasında da bir kabul değişkeni belirlenmiştir. Bir evsel atık su arıtma tesisinin binalarının toplam alanının %30 u kadarı yeşillendirilmeye müsait olarak kabul edilirse, yeşil alanımız 11417 m² olarak kabul edilir.

4.3 80000 m³/gün Debiye Sahip Bir Atık Su Arıtma Tesisinin Çimlendirilmesi İçin Gerekli Gübre Miktarının Belirlenmesi

Çimlerin büyüme hızı, tohumların ilk baş verme hızı ve çimlerin sıklığı göz önüne alınarak yapılan gözlemlerde, 3 nolu saksının en verimli sonuç alınan saksı olduğu belirlenmiştir. Buna göre tesiste çimlenme için kullanılacak gübre oranı 3 nolu saksı baz alınarak belirlenecektir. Örnek tesisin çimlendirilmesi için gerekli gübre miktarı hesapları Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Örnek tesis için gerekli gübre içerisindeki fosfor miktarının hesaplanması.

3 NOLU SAKSI İÇİN KULLANILAN ÇÖKELEK MİKTARI (g)	4
HER KAVANOZDA OLUŞAN ÇÖKELEK MİKTARI (g)	0,3
3 NOLU SAKSI İÇİN GEREKLİ KAVANOZ MİKTARI	$4/0,3=13$
3 NOLU SAKSI İÇİN KULLANILAN FİLTRAT MİKTARI (m ³)	$13*0,8*0,001=0,0104$
3 NOLU SAKSI ÇÖKELEĞİNDEKİ FOSFOR MİKTARI (mg)	$13*0,8*(7*0,34)=24,752$
3 NOLU SAKSI YÜZEL ALANI (m ²)	0,0078
TESİS İÇİ EKİM YAPILABİLECEK ALAN (m ²)	11417
TESİS İÇİ EKİM İÇİN GEREKLİ ÇÖKELEK MİKTARI (kg)	$(11417/0,0078)*4*0,001=5854,85$
TESİS İÇİ EKİM İÇİN GEREKLİ GÜBREDEKİ FOSFOR MİKTARI (kg)	$((11417*24,752)/0,0078)*0,000001=36,22$

4.4 80000 m³/gün Debiye Sahip Bir Atık Su Arıtma Tesisinde Çıkan Kum Miktarı ve Çökelek Oluşumu İçin Kullanılacak Kum Miktarının Belirlenmesi

Tesisten çıkan atıkların olabildiğince çok değerlendirilebilmesi açısından, havalandırılmalı kum tutucu ünitesinden alınan kumlar, belli başlı işlemlerden geçirilerek çökelek işleminde kullanılmıştı. Çökelek oluşumunda, tesisten çıkan atık kumun ne oranda geri kazanıldığı, aşağıdaki tabloda incelenmiştir.

Çizelge 4.7. Örnek tesis gübre oluşumu için kullanılacak kum miktarının hesaplanması.

HER KAVANOZ İÇİN KULLANILAN KUM MİKTARI (g)	1,5
3 NOLU SAKSI İÇİN KULLANILAN KAVANOZ SAYISI	13
3 NOLU KAVANOZ İÇİN KULLANILAN KUM MİKTARI (g)	13*1,5=19,5
3 NOLU KAVANOZ YÜZEY ALANI (m ²)	0,0078
TESİS YEŞİL ALAN (m ²)	11417
TESİS TAMAMI ÇİMLENDİRME İÇİN KULLANILACAK KUM MİKTARI (kg)	(11417/0,0078)*19,5*0,001=28542

Kumun işlenmesi esnasında belirli aşamalarda kayıplar oluşmuştur. Bu kayıplar göz önünde bulundurularak, tersten oranlama yapıp, çökelek oluşumu için kullanılacak olan ham kumun miktarı aşağıdaki tabloda belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Örnek tesis için kullanılacak ham kumun hesaplanması

TESİS TAMAMI ÇİMLENDİRME İÇİN KULLANILACAK KUM MİKTARI (kg)	28542
DEMİRDEN ARINDIRILMAMIŞ KUM MİKTARI (kg)	$(28542*100)/88=32434$
ELEME İŞLEMİ ÖNCESİ KUM MİKTARI (kg)	$(32434*100)/59=54972$
ORGANİĞİNDEN ARINDIRILMAMIŞ KUM MİKTARI (kg)	$(54972*100)/97=56672$
NEMİ ALINMAMIŞ HAM KUM MİKTARI (kg)	$(56672*100)/85=66672$
KULLANILACAK KUMUN HAM KUMA ORANI (%)	$(28542/66672)*100=43$

Yapılan hesaplamalar sonucunda, havalandırılmalı kum tutucu ünitesinden alınan kumun, ağırlıkça %43'ü çökelek oluşumunda kullanılabilir.

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin 2017 yılı yıllık raporunda belirttiği değerlerden yola çıkılarak örnek tesisin günlük kum miktarı ve çökelek oluşumu için kullanılacak kumun toplam kuma oranı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.9. Tesisin çökelek oluşumu için kullanabileceği ham kum ve işlenmiş kum oranı.

TESİSİN GÜNLÜK HAM KUM MİKTARI (kg)	1025
TESİSİN YILLIK HAM KUM MİKTARI (kg)	374125
ÇÖKELEK OLUŞUMU İÇİN KULLANILACAK İŞLENMİŞ KUM MİKTARI (kg)	28542
ÇÖKELEK OLUŞUMU İÇİN KULLANILACAK HAM KUM MİKTARI (kg)	66672
ÇÖKELEK OLUŞUMU İÇİN KULLANILAN HAM KUM ORANI (%)	$(66672/374125)*100=18$
ÇÖKELEK OLUŞUMU İÇİN KULLANILAN İŞLENMİŞ KUM ORANI (%)	$(28542/374125)*100=7,6$

Yukarıda yapılan hesaplamalarda, bu proses işletilerek tesisten günlük geri kazanılabilecek fosfor miktarı ve tesis alanının çimlendirilmesi için kullanılacak çökeleğin içermesi gereken fosfor miktarı hesaplanmıştır. Yeşil alanlardaki gübre kullanımı, 6 ayda bir yapılmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında, yıllık gübre ihtiyacı da hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10. Örnek tesisin kendi gübre ihtiyacını karşılama oranının hesaplanması.

GÜNLÜK GERİ KAZANILABİLECEK FOSFOR MİKTARI (kg)	4,19
YILLIK GERİ KAZANILABİLECEK FOSFOR MİKTARI (kg)	1529,35
TESİSİN YEŞİLLENDİRİLMESİNDE KULLANILMASI GEREKEN FOSFOR MİKTARI (kg)	$36,22*2=72,44$
TESİSİN GÜBRE İHTİYACINI KARŞILAMA ORANI (%)	$(1529,5/72,44)*100=21111$

Tablo 4.9. incelendiği zaman, tesisin ürettiği fosfor içerikli çökeleğin, tesisin yeşil alanı için ihtiyacı olan gübrenin 21 katını karşılayabildiği görülmüştür. Bu değerler daha önce de belirtildiği gibi, kirlilik yükleri kabul edilen değerlere göre hesaplanmıştır. Dolayısıyla, tesislerin giriş suyu kirlilik yüklerine göre değişim gösterecektir. Yapılan incelemelerde, çökelek içerikli saksılarda çimlerin hızlı baş gösterdiği tespit edilmişti. Bu yüzden oluşturulan çökelek, yeri değiştirilen ağaçların köklerinin daha sağlıklı ve sağlam bir şekilde tutması gibi işlemlerde de kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

- Amann A, Zoboli O, Krampe J, Rechberger H, Zessner M, Egle L, (2017) “Environmental impacts of phosphorus recovery from municipal wastewater.”, 20-35.
- Battistoni, P., De Angelis, A., Prisciandaro, M., Boccadoro, R., Bolzonella, D., 2002. “P removal from anaerobic supernatants by struvite crystallization: long term validation and process modelling. Water Research” 36 (8), 1927–1938.
- Biçeroğlu N (2001) “Santifrjler İçin Uygun amur Şartlandırma Yöntemlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul” . 25-32
- Cejna Anna Quist-Jensen C, Lisbeth Wybrandt, Hanne Løkkegaard, Sebastian Buch Antonsen, Henriette Casper Jensen, Asbjørn H. Nielsen, Morten Lykkegaard Christensen (2018) “Acidification and recovery of phosphorus from digested and non-digested sludge.” 75-112
- Cordell, D., Drangert, J.O., White, S., 2009. “The story of phosphorus: global food security and food for thought.” Global Environ. Change 19, 293-305.
- Cordell, D., Rosemarin, A, Schröder, J.J., Smit, A.L., 2011. “Towards global phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options. Chemosphere” 84, 747-758.
- Filibeli A (2017) “Arıtma amurlarının İşlenmesi” ,4. Baskı Birleşik Matbaacılık İzmir.
- Heckenmüller, M, Narita, D, Klepper, G, 2014. “Global Availability of Phosphorus and its Implications for Global Food Supply: an Economic Overview. Kiel Working Papers.” 45-50
- Keeley, J., Smith, A.D., Judd, S.J., Jarvis, P., 2016. “Acidified and ultra filtered recovered coagulants from water treatment Works sludge for removal of phosphorus from wastewater.” Water Res. 88, 380–388
- KUŞÇUOĞLU S. (2008) “K-Struvit öktürmesinin Uygulama Esaslarının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Le Corre, K.S., Valsami-Jones, E., Hobbs, P., Parsons, S.A., 2009. Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: a review. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 39 (6), 433–477.

- MERAL R. ve CEVADZADE F. (2013) “Atıksu Arıtma Tesislerinin İşletilmesi”, Bakü
- ÖZTÜRK İ (2015) Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı Korza Yayıncılık Basım San. ve Tic. A.Ş. Ankara. 8-12
- ÖZTÜRK İ (2017) “Atıksu Mühendisliği, Teknik Kitaplar Serisi”, Stilnet Basım Hiz. San. Tic. Ltd. Şti. 42-54
- Reinhard, C.,Planavsky, N., Gill, B.C., Ozaki, K., Robbins, L., Lyons, T.W., Fischer, W.W., Wang, C., Cole, D.B., Konhauser, K., 2017. Evolution of the global phosphorus cycle Nature 541, 386–389.
- TCHOBANOGLOUS G (2003) Wastewater Engineering Treatment and Reuse, McGraw Hill, Newyork. 354-372
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Aile ve Tüketici Hizmetleri (2011) 4-11
- Wild, D.,Kisliakova, A., Siegrist, H., 1997. “Prediction of recycle phosphorus loads from anaerobic digestion. Water Research” 31 (9), 2300–2308.
- Yıldız Ş. , Yılmaz E. ve Ölmez E. (2009) TÜRKAY 2009 “Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu”, YTÜ, 15-17 Haziran 2009, İstanbul
- Yuan, Z.G.,Pratt, S., Batstone, D.J., 2012. Phosphorus recovery from wastewater Through microbial processes. Curr. Opin. Biotechnol. 23 (6), 878e883.
- Zhengyu Zhu, WenlingChen ve Tao Tao A novel(2018) AAO-SBSPR processbased on phosphorus mass balance for nutrient removal and phosphorus recovery from municipal wastewater.

6. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Sadettin ERDÖNMEZ

Doğum Yeri ve Tarihi : İSTANBUL 1989

Lisans Üniversite : Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta :erdonmezz.sadettin@hotmail.com

İletişim Adresi :Gökevler Mahallesi 539. Sokak Oğuzkent
Site 1:D:1 Blok Daire:6 Esenyurt / İSTANBUL