



**ENDÜSTRİYEL ARITMA ÇAMURLARINDAN
ENERJİ KAZANILMASI**

Veysel Karani AHİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2019

Veysel Karani AHİ tarafından hazırlanan “ENDÜSTRİYEL ARITMA ÇAMURLARINDAN ENERJİ KAZANILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / ~~OY ÇOKLUĞU~~ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ali KOÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Zeki AYDIN

Kimya Anabilim Dalı, Mustafa Kemal Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YAĞLI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum.~~



Tez Savunma Tarihi: 26/03/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.



Prof. Dr. Tolga DEPCI
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- 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.



İmza

Veysel Karani AHI

26/03/2019

ENDÜSTRİYEL ARITMA ÇAMURLARINDAN ENERJİ KAZANILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Veysel Karani AHİ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2019

ÖZET

Bu çalışmada; öncelikle Adana Organize Sanayi Bölgesinden (AOSB) çıkan endüstriyel atıkların arıtma tesislerinde arıtılması sonucunda açığa çıkan atık çamuru miktarının tespiti yapılmıştır. Sonrasında yıllık miktarı belirlenen atık su çamurunun kimyasal içeriği analiz edilmiş ve kalorifik ısı değeri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ve analiz sonuçları baz alınarak, mevcut durumda ağaç kabuğunun ek yakıt olarak kullanıldığı tesiste atık su çamurunun ek yakıt olarak kullanılması durumunda elde edilecek enerji ve sistem maliyetleri hesaplanmıştır.

Kurutma sistemi olarak döner tamburlu termal kurutucu sistem seçilmiştir. Dekantör girişinde %2,2, dekantör çıkışında %20 kuruluk oranına sahip endüstriyel atık çamurun %80 kuruluk oranına çıkarmak ve özel dizayn kazanda yanma prosesine hazırlamak için tasarlanmış olan döner tamburlu termal kurutucu sistemin enerji hesapları da yapılarak maliyet analizi yapılmıştır.

Tasarımı yapılmış olan 80 ton/gün kapasiteye sahip döner tamburlu termal kurutucu sistem hareketli ızgaralara sahiptir. Kurutucu sistemin iç çapı 2500 mm, uzunluğu 26000 mm ve eğimi %3 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Dekantör, Arıtma çamuru, Döner tamburlu kurutucu, Termal Kurutucu

Sayfa Adedi : 71

Danışman : Prof. Dr. Ali KOÇ

ENERGY SAVING FROM INDUSTRIAL WASTES

(M. Sc. Thesis)

Veysel Karani AHİ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

Jan 2019

ABSTRACT

In this study; firstly the amount of waste sludge which has been released as a result of the treatment of industrial wastes from Adana Organized Industrial Zone (AOSB) in treatment plants has been determined. Afterwards, the chemical content of the waste water sludge was analysed and calorific value was calculated. Based on the obtained data and analysis results, the energy and system costs are obtained in case the waste water sludge used as additional fuel for the plan which uses the tree husk as additional fuel, in present case.

A rotary drum thermal drier system was chosen as the drying system. The cost analysis was performed by calculating the energy flow of the rotating drum thermal dryer system that is designed to increase the sludge humidity to 80%, the humidity of which is 2.2% at decanter inlet and 20% at decanter outlet.

The rotary drum thermal dry system with a designed capacity of 80 tons/day has moving grilles. The inside diameter of the dryer system is 2500 mm, the length is 26000 mm and the inclination is 3%.

Key Words : Decanter, Treatment sludge, Rotary dryer, Thermal dryer.
Page Number : 71
Supervisor : Prof. Dr. Ali KOÇ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında değerli tecrübeleri ve fikirleri ile beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali KOÇ ile Dr. Öğr. Üyeleri Yıldız KOÇ ve Hüseyin YAĞLI' ya

İş hayatıma başladıktan sonra mesai saatlerimin bir kısmını da eğitimim için kullanmama izin veren, firmanın her türlü imkânlarından yararlanmama olanak tanıyan “Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.” Adana tesisleri direktörü Sn. Ergin TURAN'a

Eğitim süresince teknik desteklerini esirgemeyen, çalışmaların yönlendirilmesinde önemli katkıları olan Mekanik bakım ve yardımcı işletmeler Müdürü Sn. Naci KORKMAZER'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince kendileri ile fazla zaman geçiremediğim sevgili oğlum Deniz ve eşim Gözde'ye her zaman yanımda oldukları için çok teşekkür ediyorum.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarıma,

Teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	10
2.1. Arıtma Çamurunun Tanımı.....	10
2.2. Arıtma Çamuru Kaynakları	10
2.3. Arıtma Çamurunun Özellikleri	11
2.3.1. Fiziksel özellikler.....	11
2.3.2. Kimyasal özellikler.....	17
2.3.3. Biyolojik özellikler	20
2.4. Atıksu Arıtma Yöntemleri	20
2.4.1. Fiziksel arıtma yöntemleri.....	24
2.4.2. Kimyasal arıtma yöntemleri.....	25
2.4.3. Biyolojik arıtma yöntemleri	26
2.4.4. İleri arıtma yöntemleri	31
2.5. Arıtma Çamuru Bertaraf Yöntemleri	33
2.5.1. Düzenli depolama.....	37
2.5.2. Yakma.....	38
2.5.3. Kompostlaştırma.....	38

Sayfa

2.5.4. Denize boşaltma	39
2.5.5. Termik yöntemler	39
2.5.6. Arazide bertaraf yöntemleri	39
2.5.7. Dağıtım ve Pazarlama	40
2.5.8. Arazi İyileştirme (Reklamasyon)	41
2.5.9. Çamur Lagünleri	41
3. METARYAL ve YÖNTEM	42
3.1. Materyal	42
3.1.1. Atık Çamur Analizi	46
3.1.2. Kurutma Metodu	49
3.2. Yöntem	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	72
DİZİN	74

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Çamurlarının tipik katı madde konsantrasyonları.....	13
Çizelge 2.2. Arıtma çamurunun fiziksel özellikleri.....	14
Çizelge 2.3. Tipik aktif çamurdaki suyun dağılımı	15
Çizelge 2.4. İçerdikleri su miktarına göre çamurun yapısı ve tanımı.....	16
Çizelge 2.5. Çeşitli çamurlara ait ısı değerleri	18
Çizelge 2.6. Arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metal derisizleri	19
Çizelge 2.7. Arıtma kademelerindeki çamurlarının tipik kompozisyonu	33
Çizelge 3.1. Arıtma çamuru ve ağaç kabuğunun kimyasal analizleri	42
Çizelge 3.2. Numunenin fiziksel – kimyasal analiz sonuçları	43
Çizelge 3.3. Numunenin ICP – MS sonuçları.....	44
Çizelge 3.4. Sistem analizi boyunca yapılan kabuller.....	53
Çizelge 4.1. Atık çamur kurutma sisteminin kütle hesaplaması sonuçları.....	55
Çizelge 4.2. Atık çamur kurutma sisteminin enerji analiz sonuçları.....	56
Çizelge 4.3. Atık çamur kurutma sisteminin maliyet analizi sonuçları.....	57

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Çamur Oluşum Prosesleri	11
Şekil 2.2. Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan işlemlere genel bakış	21
Şekil 2.3. Atıksu arıtma tesisleri özellikleri ve sayıları	22
Şekil 2.4. Atıksu arıtma tesisleri kapasiteleri ve arıtma miktarları	23
Şekil 2.5. 2016 Yılı arıtılan suların deşarj durumları.....	24
Şekil 2.6. Fiziksel arıtma sistemi arıtma tesisi akış şeması	25
Şekil 2.7. Kimyasal arıtma sistemi arıtma tesisi akış şeması.....	26
Şekil 2.8. Aktif çamur sistemli arıtma tesisi akış şeması.....	30
Şekil 2.9. Damlatma filtreli arıtma tesisi akış şeması	30
Şekil 2.10. Fiziksel ve Kimyasal ünitelerin kullanıldığı arıtma tesisi akış şeması	32
Şekil 2.11. Belediye Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Miktarı.....	34
Şekil 2.12. Sanayi Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Miktarı	35
Şekil 2.13. Endüstriden Kaynaklanan Arıtma Çamurunun Yönetimi.....	36
Şekil 2.14. Belediyelerden Kaynaklanan Arıtma Çamurunun Yönetimi.....	36
Şekil 2.15. Bertaraf ve geri kazanılma yöntemlerine göre arıtma çamuru miktarı.....	37
Şekil 3.1. OSB Aylık Çıkan Atık Miktarı.....	44
Şekil 3.2. OSB Aylara Göre Ortalama Saatlik Çıkan Atık Miktarı	45
Şekil 3.3. OSB Aylar Göre Ortalama Saatlik Çıkan Katı Madde-Su Oran Miktarı	45
Şekil 3.4. Döner tamburlu kurutma sistemi	46
Şekil 3.5. Döner tamburlu kurutma sisteminin akış şeması.....	48
Şekil 3.6. Kurutma sistemine giren ve çıkan ısıların şematik gösterimi.....	51
Şekil 4.1. Kurutma Sisteminin Saatlik Doğalgaz Tüketimi (kg/saat).....	58
Şekil 4.2. Kurutma Sisteminin Saatlik Doğalgaz Tüketimi (m ³ /saat).....	58

Sayfa

Şekil 4.3. Kurutma Sisteminin Saatlik Isı Enerjisi İhtiyacı	59
Şekil 4.4. Kurutma Sisteminin Saatlik Doğalgaz Tüketimi.....	60
Şekil 4.5. Arıtma çamurunun saatlik kabuk karşılığı.....	60
Şekil 4.6. Arıtma çamurunun saatlik yakıt getirisi	61
Şekil 4.7. Arıtma çamurunun saatlik net kazanç grafiği	62
Şekil 4.8. Arıtma çamurunun saatlik net kazanç grafiği	62



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklamalar
Al	Alüminyum
Al₂O₃	Alüminyum oksit
Atm	Normal atmosfer(1atm=101325 N/m ²)
Bar	(1.013 bar =1 atm)
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum oksit
CH₄	Metan
CO	Karbon monoksit
HCl	Hidroklorik asit
HF	Hidroflorik asit
H₂S	Hidrojen sülfür
K	Kelvin (0 °C=273.15 K)
Kcal	Kilokalori (1 kcal= 4.19 kJ)
Kg	Kilogram (1 kg = 1000 g)
kJ	Kilojoule (1 kJ=0.24 kcal)
kWh	Kilowatt-saat (1kWh=3600 kJ = 3.6 MJ)
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
mg	Miligram (1 g = 1000 mg)

mJ	Megajoule (1 MJ = 1000 kJ = 10 ⁶ joule)
mm	Milimetre (1 m = 1000mm)
mt	Megaton (1Mt =10 ⁶ ton)
µm	Mikrometre (1µm = 10 ⁻⁶ m)
Na	Sodyum
NH₃	Amonyak
NH₄	Amonyum Katyonu
NO_x	Azot Oksitler
O₂	Oksijen
Pb	Kurşun
Pd	Paladyum
SO₂	Kükürt dioksit
SO₃	Kükürt trioksit
SO_x	Kükürt oksitler

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AAT	Atıksu arıtma tesisi
AKM	Askıda katı madde
AID	Alt ısııl değeri (cal/g)
ÇKH	Çamur kuruma hızı
DG_{maliyet,saat}	Saatlik doğalgaz maliyeti (TL/saat)
ISL_{maliyet,saat}	Saatlik işletme maliyeti (TL/saat)
KM	Katı madde
m_{toplam,yıl}	Yıllık endüstriyel atık miktarı (kg/yıl)
m_{toplam,saat}	Saatlik endüstriyel atık miktarı (kg/saat)
m_{su}	Atık çamuru içerisindeki su miktarı (kg/saat)
m_{katı}	Atık çamuru içerisindeki katı miktarı (kg/saat)
m_{%20}	%20 nem oranındaki endüstriyel atık miktarı (kg/saat)
m_{su,buhar}	Buharlaştırılacak toplam su miktarı (kg/saat)
m_{su,absorb}	%20 nemli atık içerisinde bulunan su miktarı (kg/saat)
m_{hava,}	Sisteme giren saatlik hava miktarı (kg/saat)
m_{DG,saat}	Sisteme giren saatlik doğalgaz ağırlığı (kg/saat)
m_{DG,saat}	Sisteme giren saatlik doğalgaz hacmi (kg/saat)
m_{DG+havatoplam,giren}	Sisteme giren doğalgaz ve hava miktarı (kg/saat)
MY_{maliyet,saat}	Saatlik mevcut yakıt maliyeti (TL/saat)
OSB	Organize sanayi bölgesi
Q_{su,buhar}	Buharlaştırılacak su için gerekli ısı (kj/saat)
Q_{su,absorb}	%20 atık içinde suyu ısıtmak için gerekli ısı(kj/saat)
Q_{katı}	Çamurdaki katıyı ısıtmak için gerekli ısı (kj/saat)
Q_{toplam,kullanılan}	Kurutma sisteminde kullanılacak ısı (kj/saat)
Q_{kayıp}	Kurutma sisteminde ısı kaybı (kj/saat)
Q_{toplam,giren}	Kurutma sistemine giren toplam ısı (kj/saat)
SÇ	Çamur özgül ağırlığı
SK	Sabit karbon (%)
SVI	Çamur hacim indeksi
TK_{maliyet,saat}	Saatlik toplam kurutma maliyeti (TL/saat)

UID	Üst ısıl değeri (cal/g)
UM	Uçucu madde (%)
YT_{saat}	Saatlik yakıt tasarrufu
YT_{yıl}	Yıllık yakıt tasarrufu
YM	Yatırım maliyeti



1.GİRİŞ

Dünya genelinde nüfusun çoğalması, sanayinin gelişmesi, kentselleşme ve teknolojinin son zamanlarda yaygınlaşması ile eş zamanlı olarak evsel, endüstriyel atıklar ile enerji tüketiminde sürekli artmaktadır.

Ülkelerin sürekli artış gösteren bu enerji ihtiyaçlarının karşılanması, enerji sektöründe yakıt rezervlerinin azalmasına ve enerji güvenliğinin her geçen gün olumsuz şekilde etkilenmesine sebep olmaktadır (Abdmouleh, 2015).

Enerji tüketiminin ve nüfus yoğunluğunu artması ile beraber çevresel bozulmalarında artış gösterdiği görülmektedir (Ahmed ve ark., 2015).

Günümüzde artış gösteren çevresel sorunlar, küresel ısınma ve birçok problemler sebebiyle enerjinin ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması, enerji geri kazanımı ve verimlilik artırıcı projelerin uygulanması daha da önem kazanmaktadır (Bedir, 2014)

Atıksu arıtma tesislerinde meydana gelen sera gazı emisyon kaynakları ve miktarları belirlenmelidir (Kyung ve ark., 2015). Değişen iklim şartları atıksu arıtma tesislerinin arıtma prosesleri için olumsuz tehlike oluşturmaktadır (Zouboulis ve Tolkou, 2014).

İklim değişikliğinin etkilerinin minimize edilmesi için yenilikçi arıtma metodları geliştirilmektedir (Aanuoluwapo ve Ohiş, 2017). Bu sistemlere örnek olarak bioçar uygulamaları gösterilebilir. Bioçar yapıları gereği bünyelerinde çok uzun süreli CO₂'i depolayabilirler ve atıksu içerisinde ihtiva eden hava kirleticileri absorp etme özellikleri oldukları için sera gazlarında azaltıcı etkilerinin olduğu bilinmektedir (Qambrani ve ark., 2017).

Bu sebeple küresel ısınma problemini yavaşlatmak için alınması gereken uygulamalar enerji potansiyelini direk olarak etkileyecektir (Moriarty ve Honnery, 2016).

Enerji verimliliği su kaynakları yönetiminin doğru şekilde sürdürülebilirliğinin sağlanması, arazilerin sürdürülebilir yönetimi, temiz ulaşım yöntemleri, temiz su yönetimi gibi pek çok alanları içermektedir (Dupont, 2015).

Tüm dünya genelinde ve ülkemizde su kaynaklarının tüketilmesinde en büyük pay sahibi olarak tarımsal faaliyetler öncelikli gelmektedir. Araştırma sonuçlarına göre dünya genelinde su kaynaklarının yaklaşık olarak %70'i sulama alanlarında kullanılmaktadır.

Bu sebepten dolayı su kaynaklarının verimli ve dikkatli kullanımının önemli olduğu günümüzde azalmakta olan su kaynaklarını destek olmak maksadıyla arıtım işlemine tabi olmuş arıtma sularının tarımsal alanlarda sulama amacıyla tekrardan kullanılması çok önemli hale gelmiştir (Perez, 2015; Aşık ve Özsoy, 2016).

Arıtma sularının, arıtılmasından sonra tekrardan kazanılması hem ulusal olarak hem de uluslararası olarak sürdürülebilirliği özellikle su yokluğu yaşamakta olan mevsimleri kurak geçmekte olan ülkelerde yaygın olarak uygulama alanları bulmuştur (Zaibel ve ark., 2016).

Gerekli arıtma işlemi ve uygun teknik faaliyetler yapıldığı takdirde, arıtma işlemine tabi tutulan atıksuların tarımsal alanlarda sulama işleminin yapılması, kurak geçen yıllarda alternatif olarak su kaynağı oluşturma, su kaynaklarında meydana gelen kirlilik yüklerinin azaltma, bu suların yeraltı sularına dahil olmadan atık sulara ek olarak arıtma sağlama, arıtma sularının tarım alanlarında organik madde ihtiyaçlarını karşılamasından dolayı yapay olarak gübre gereksinimini azaltma ayrıca bu atık suların çevreye zarar vermeden ekonomik olarak bertarafını sağlama ve kaynakların verimli olarak kullanılması gibi pek çok faydaları bulunmaktadır (Belhaj ve ark., 2016).

Atıksu arıtma tesisleri bünyesinden her sene büyük miktarlarda arıtma çamuru meydana gelmektedir. Bu çamurlar endüstriyel ve evsel arıtma tesislerinin arıtım işlemi sonucu ortaya çıkmakta olan nihai ürün olarak bilinmektedir.

Arıtma çamurlarında; virüsler, çeşitli bakteriler ve birçok ağır metaller gibi zararlı maddeler ile mikroorganizmaların ihtiva ettiği görülmektedir (Qian, L., Wang, S., Xu, D., Guo, Y., Tang, X., Wang, L., 2016).

Bu atıkların çevreye zarar vermemesi ve insan sağlığının korunduğu ekonomik bertaraf yöntemleri bulunmaktadır (Vantarakis, 2016).

Enerji ve Çevre problemleri birçok ülkede görüldüğü gibi ülkemizde gelişmiş sanayiye sahip şehirlerde de sorun teşkil etmektedir. Bu problemlerin en fazla yaşandığı bölge

Marmara Bölgesi'dir (Pehlivan ve Zorlu, 2016). Kentsel ve endüstriyel atıksu arıtma çamurlarının durumu çevresel ve başka proseslerde değerlendirilmesi üzerine ülkemizde görüşülmesi gereken önemli konulardan biridir.

Arıtma çamurunun bertaraf edilmesi konusunda çok uzun sürelerden beri çok çeşitli yöntemlerle birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan bu araştırmalarda atık su arıtma tesisleri için genel olarak belirlenen atık suların deşarj miktarlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır (Ahmetovic ve ark., 2014). Enerji verimliliği dikkate alınarak atık su arıtma tesisleri hemen hemen hiç tasarım yapılmamıştır (Rojas, 2012; Vera, 2015).

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarından enerji kazanımı yapıldığı faaliyetlerde tesis net enerji üreticisi olma imkânına sahip duruma geçmekte olduğu fakat günümüzde uygulanan arıtma yöntemleriyle tüketilen enerjinin kompleksinin yeniden kazanıldığı tesis sayısı çok azdır (Werf, 2011).

Bu sebepten dolayı arıtma çamurunun bertaraf edilmesi ve çıkan atığın alternatif enerji olarak kullanılması için en yenilikçi, uygun yatırım ve işletim maliyetini dengeleyecek sürdürülebilir çözümler bulmak gerekmektedir (Oh ve ark., 2014).

Atıksu arıtma tesislerinin tasarımı yapılırken enerji kazanımının yanısıra tesisin yapılacağı alana özel etütlerin yapılması çok önemlidir. Tesisin yapılacağı zeminin özellikleri, anakaya bölgesine olan derinlik mesafesi, arıtılacak olan suların deşarj edilebilecekleri alıcı ortamlar, yüzeysel su kaynaklarına olan mesafeler, bölgenin iklim koşulları, yeraltı sularının seviyesi ve seviye değişimleri, akış yönü, suların kalitesi, arıtma çamurlarının ve malzemelerin taşınması için kullanılacak olan yollar, bölgenin nüfus yoğunluğu, tesisten etkilecek yerleşim bölgeleri ve tarım arazileri vb. etkenlerin analiz edilmesi gerekmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinin olduğu yerleşim alanları için koku genelde karşılaşılan bir problemdir (Lewkowska ve ark., 2016; Abraham, 2014).

Bu tesislerin çevrelerinde görülmekte olan bu olumsuzluklar bu bölgede yaşamakta olanlar kadar bu tesislerde çalışanlarını da olumsuz etkilemektedir (Niu ve ark., 2014). Meskun bölge ve tesis çalışanlarının etkilendiği bu koku sorunları sağlıksız bir ortamın belirtisi olarak değerlendirilir (Giungato ve ark., 2016).

İstenilmeyen bu koku emisyonları kontrol altına alınarak seviyelerini düşürmek ve tamamen ortadan kaldırmak tüm dünyada atıksu arıtma tesisleri için en önemli çözülmesi gereken problemlerin içerisinde yer almıştır (Zhou ve ark., 2016).

Bu sebepten dolayı koku emisyonlarını ve dağılımlarının analiz edilerek değerlendirilmesi, kimyasal bileşiklerinin tanımlanması tüm bu rahatsızlıkların kaynakları ile mücadele yerel yönetimlerin üzerinde çalışması ve çözmesi gereken önemli konular arasındadır (Brattoli ve ark., 2016).

Geleneksel olarak evsel ve endüstriyel atıksu arıtma faaliyeti gösteren tesislerde işletme giderlerinin %25 ile %40 arasındaki oranın enerji tüketiminden kaynaklandığı yapılan literatür araştırmalarından ve yönetsel tecrübelerden olduğu tespit edilmiştir. (Elías-Maxil, 2014). Ayrıca aydınlatma ile ısıtma için gerekli enerji ihtiyacı bu oranın %6'sı olarak kabul edilmiştir (Jenkins, D. ve Wanner, J., 2014).

Amerika'da atıksu su arıtma tesislerinde tüketilen enerji, ülke bazında tüketilen toplam enerji miktarının yaklaşık olarak %2'sidir. Avrupa'da ise atıksu su arıtma tesislerinde tüketilen enerji toplam enerji kullanımının yaklaşık olarak %1'i civarındadır. Dünya genelinde ise atıksu su arıtma tesislerinde tüketilen enerjinin toplam tüketilen enerjinin yaklaşık olarak %0,1 ile %0,4 arasında olduğu tahmin edilmektedir (Aynur, 2014).

Yapılan araştırmalar sonucunda atık su arıtma tesislerinde kullanılan toplam enerji, yıl içerisinde arıtılmış toplam atık suların hacmi (kW-saat/m³) olarak standartlarda geçtiği belirtilmiştir (Krampe, 2013).

Sürekli artış gösteren arıtma çamur miktarları, çamur bertaraf yöntemleri ile beraber çamurun yeniden değerlendirilerek farklı alanlarda kullanılmasını gündeme getirmiştir (Aydın, 2004).

Yapılan bu çalışmalarda arıtma çamurlarının yüksek ısı değerlere sahip enerji kaynağı olduğu görülmüştür. Ayrıca tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılması, bitki gelişimi ve toprak üzerine etkilerinin olduğu çalışmalar incelendiğinde bu konuda önemli çalışmaların olduğu literatür taramalarında karşılaşılmıştır.

Mamais ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalarda, atıksuların arıtıldığı tesislerin enerji kullanımlarını incelemişler ve bu kullanımları en az seviyelere çekmek için optimum enerji tüketim stratejileri önermişlerdir. Çalışmalar neticesinde, çözülmüş oksijen ve çamur tutma zamanlarının kısaltılması arıtım tesislerinde enerji tasarrufunun yapılmasında çok önemli etkilerin sağlanacağını belirtilmişlerdir (Mamais ve ark., 2015).

Atıksu arıtma çamurlarının mikro ve makro besin elementleri içeriğince zengin olması bitkilerin büyümesinde olumlu etkiler yaratacağı, süs bitkileri yetiştiriciliğinde organik gübre kaynağı ve toprak düzenleyici olarak kullanılacaklarını gösteren çok fazla çalışma bulunmaktadır (Pathak ve ark. 2009).

Süs bitkisi türünün kullanıldığı bir çalışmada %50 toprak ile %50 arıtma çamurunun ihtiva ettiği karışım uygulamasında süs bitkisi türünün büyümesinde önemli artışlar olduğu görülmüştür (Patel ve Patra, 2014).

Akat ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada eşit miktarda atık su arıtma çamuru dahil edildiği koşullarda *Limonium sinuatum* adlı bitki çeşidi yetiştirilmesinde kök ağırlığının özellikleri açısından önemli bir farkın meydana gelmediği fakat yetiştirme şartlarında kök uzunlukları % 5 oranında artış gösterdiğini ifade etmişlerdir (Akat ve ark., 2015).

Bai ve arkadaşlarının yaptığı arıtma çamurlarından artan dozajlarda *Lolium perenne* bitki türlerinde, en fazla biyokütlenin en fazla doz uygulandığı 150 ile 300 ton/ha seviyelerinde meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Yapılan bu çalışmada toplanan veriler ile bitki kök gelişimleri, kuru ve yaş olarak ağırlıklarına ait olan veriler ile sonuçların uyumlu olarak arttığı görülmüştür (Bai ve ark., 2014).

Bedbabis ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmalarda; arıtma işlemi uygulanmış sular ile tarımsal alanlarda sulama faaliyeti yapıldığı zaman toprağın pH seviyelerinde ani ve kısa süreli artışlar meydana geldiği, uygun dozajlama yapıldığı takdirde olumsuz herhangi bir etki yaratmadığı gözlemlenmiştir (Bedbabis ve ark., 2015).

Tarım alanında yapılan başka bir çalışmada domates türünde 1 hektar alanda 30 kg, 145 kg ve 500 kg arıtma çamuru uygulamasında verimde ve büyümede en yüksek değerlere 145

kg/ha dozajlama oranında ulaştığı ve bu dozajlama miktarları arasında önemli miktarlarda artış olduğu saptanmıştır (Sortino, 2014).

Iwai tarafından %5 oranında arıtma çamuru ilave edilen küspe ve kabuk karışımlarında 1 ay süre ile vermistabilizasyon işlemini yapmışlardır. Bu yapılan işlemler neticesinde, karışımlar içerisine konulan solucanların %96 ile %100 oranında hayatlarını sürdürdüğü ve Cu, Hg, Cd, Cr, ve Pb gibi ağır metallerin oranlarında çok fazla azalmalar olduğunu bildirmişlerdir (Iwai, 2013).

Zawadzinska ve Salachna yapmış olduğu bir çalışmada, atık arıtma çamur kompostu içermekte olan hercai menekşe yetiştirilmesinde kullanımının yaprak ve çiçeklerin makro element içerikleri üzerlerine yaptığı etkileri araştırdıkları çalışmalarında, düşük miktarlarda arıtma çamuru uygulamaları yapıldığında çiçek sayısını olumlu bir şekilde etkilediğini fakat % 75 dozaj miktarında çiçek sayılarında düşüş yaşandığını, kükürt, fosfor, azot, potasyum içeriklerinin artan arıtma çamur kompostu kullanımları ile artış gösterdiğini kalsiyum ve magnezyum içeriklerinin ise değişmediklerinin bildirmişlerdir (Zawadzinska ve Salachna, 2014).

Chen ve arkadaşlarının güneş ile arıtma çamurlarının kurutulmasıyla arıtma çamurunun gübre değerleri üzerine etkilerinin gözlemlendiği bir çalışmada, güneşin kompost parçalanma prosesini iyileştirdiği, son ürünlerdeki toplam organik carbon değerini azalttığı ve olgunlaşma periyodunda kısalmalar olduğunu ifade etmişlerdir (Chen ve ark., 2014).

Gübre olarak arıtma çamurlarının kullanıldığı başka bir çalışmada vermistabilizasyon süresinin farklı miktarlarda arıtma çamuru ve gübre içeren karışımların Zn, Pb, Cd, Cr, Cu ve Ni gibi ağır metallerine olan etkilerinin gözlemlendiği bir çalışmada, vermikompostlama süresinin uzatılması ile bu ağır metal madde içeriklerinde azalmalar olduğunu belirtmişlerdir (Kızılkaya ve Türkay, 2014).

Bu çalışmalardan anlaşıldığı üzere vermikompost işlemine tabii tutulan materyallerin bitki besin elementi içerikleri vermikompost işleminden tabii olmayan materyallerin bitki besin değerlerine karşı yüksek seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir (Namlı ve ark., 2014).

Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin arıtımının en maliyetli tarafı atıksu arıtma faaliyetleri sonrasında meydana gelen arıtma çamurunun işlenme işlemi, nakliye işlemi ve bertaraf edilme işlemleridir. Arıtma çamurunun ihtiva ettiği katı madde oranı çok düşük olduğundan ve büyük miktarlarda su içerdiğinden dolayı arıtma çamurunun işlenme faaliyetleri ve bertaraf edilme faaliyetlerinde, maliyetleri oluşturan kalemler, işlenmekte olan arıtma çamurlarının hacimleri ile ilgilidir.

Arıtma Çamurlarının bertaraf edilme işlemleri arıtma tesislerinin toplam yatırım masraflarının %20 ile %30'unu, işletme masraflarının ise %40 ile %60'ını kapsamaktadır. Bundan dolayı, çamur arıtımında birinci öncelik, çamur içerisinde ihtiva eden su miktarını mümkün olduğunca kurutularak ayrılmasıdır.

Yapılan analizlerde arıtma çamuru içerisindeki su muhtevasının azalması ile çamurun enerji değerinde artış gösterdiği söylenmektedir (USEPA, 1987).

Arıtma çamurlarının kurutulması için çeşitli işlemler uygulamaktadır. Bunlar; Solar Kurutma Sistemleri, Bant Tipi Termal Kurutucular, Döner Tamburlu Termal Kurutucular ve Pedallı Termal Kurutuculardır. Bu kurutma yöntemleri kullanılarak nemden gereği kadar arındırılmış olan atık çamurları depolanarak saklanabildiği gibi birçok sektörde ek yakıt olarak da kullanılmaktadır.

Amerika, Danimarka, Hollanda, Japonya ve Fransa gibi gelişmiş ülkelerde evsel ve endüstriyel atıkların oluşturduğu zararlarını en az seviyeye indirmek ve bu atık çamurları değerlendirmek adına çok önemli araştırmalar yapılmaktadır.

Danimarka ısı enerjilerinin %18'ini ve elektrik enerjilerinin ise %4'ünü sınırları içerisinde bulunan 34 adet atık yakma tesislerinden sağlamaktadır (Kılıçarslan ve Özön, 2012).

Arıtma çamurlarının içerisinde ihtiva eden sular kurutulduktan sonra ortaya çıkan katı atıklar termal işlemler ile uzaklaştırılmaları için geliştirme aşamasında veya endüstride uygulanan çok fazla teknoloji mevcuttur. Belirtilen bu teknolojileri 3 temel sınıfta sınıflandırılmaktadır.

Bu temel gruplar;

- Tek başına yakma(mono-incineration)
- Birlikte yakma (co-combustion)
- Yeni ve alternatif termal işlemler

Endüstriyel çamurların kurutulduktan sonra çimento sektöründe ek yakıt olarak kullanılması günümüzde çok sık rastlanan örneklerin başında gelmektedir (Tosun, 2006).

Aynur ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada atık su arıtma çamurlarının çimento sektöründe ek yakıt olarak kullanılabilirliğini ayrıca incelemişlerdir. Çalışma kapsamında tamamen LPG kullanılarak çalışan sistem verileri, öncelikle %5 ve %10 oranında Tuzla arıtma çamuru ve %20 oranında Paşaköy arıtma çamuru kullanılarak sistemin yakıtlandırılması durumundaki parametreler ile kıyaslamıştır (Kemirtek, 2013).

Spliethoff ve ark., arıtma çamurlarının bir araştırma ölçekli sistemlerde toz kömürleri ile beraber yakılmalarını incelemişlerdir. Yanma sonucunda meydana gelen katı atıklar ve emisyonlar gözlemlenmiş ayrıca bu çalışmalarda piroliz sonucunda meydana gelen gazların yakma ekonomisi üzerinde etkileri görüşülmüştür (Spliethoff ve ark., 1996).

Hein ve Bemtgen tarafından, arıtma çamurlarının kömür ile beraber yakıldığı pilot uygulama tesis çalışmalarında da 700°C - 950°C sıcaklıklarda, %30 arıtma çamuru oranlarına kadar beraber yakmada yeterli miktarlarda yüksek bir yanma verimi elde etmişlerdir (Hein ve Bemtgen, 1998).

Abbas ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, %30 oranına kadar beraber yakmada akışkan yataklı uygulamalar gerçekleştirilmiş ve bu yapılan deneyler sonucunda yanma işleminde herhangi bir olumsuz etkiler gözlenmediği görülmüştür (Abbas, 1992).

A. Erdinçler'in yapmış olduğu çalışmada Türkiye'de 2009 yılında 27 207 ton evsel arıtma çamuru ile 16 548 ton endüstriyel arıtma çamuru olmak üzere toplamda 43 755 ton arıtma çamuru çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanıldığı ifade edilmiştir (Erdinçler, 2011).

Dünya genelinde tekrardan kazanılan atık suların yaklaşık olarak %25'i tekrardan endüstride kullanılmaktadır (Metcalf ve Eddy, Inc., ve Lin ve Lee, 2001, 2004)

Bu çalışmada organize sanayi bölgesinde bulunan atıksu arıtma tesisinden elde edilen ve mevcut durumda depolama yöntemi ile imha edilen endüstriyel arıtma çamurlarının miktarını azaltmak için etkin bir bertaraf yöntemi olduğu düşünülen yakma ile ahşap sektöründe ek yakıt olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Bu amaçla çalışma kapsamında öncelikle organize sanayi bölgesinden bir yıl boyunca elde edilen atık çamur miktarı kaydedilmiş ve bu atık çamurların kimyasal analizleri yapılarak içerikleri ve ısı değerleri belirlenmiştir. Elde edilen kimyasal içerik ve ısı değerler baz alınarak, kurutma sistemi tasarımı yapılmış ve tüm sistemin ayrı ayrı maliyet analizleri yapılmıştır.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Arıtma Çamurunun Tanımı

Atıksu arıtıma işlemi sonucunda meydana gelen yarı katı halde veya sıvı, kokulu, tabii tutulduğu arıtma yöntemlerine göre düşük miktarlarda KM (katı madde) içeren stabilize edildikten sonra oluşan çamurlar "arıtma çamuru" olarak adlandırılmaktadır (Angın, 2016).

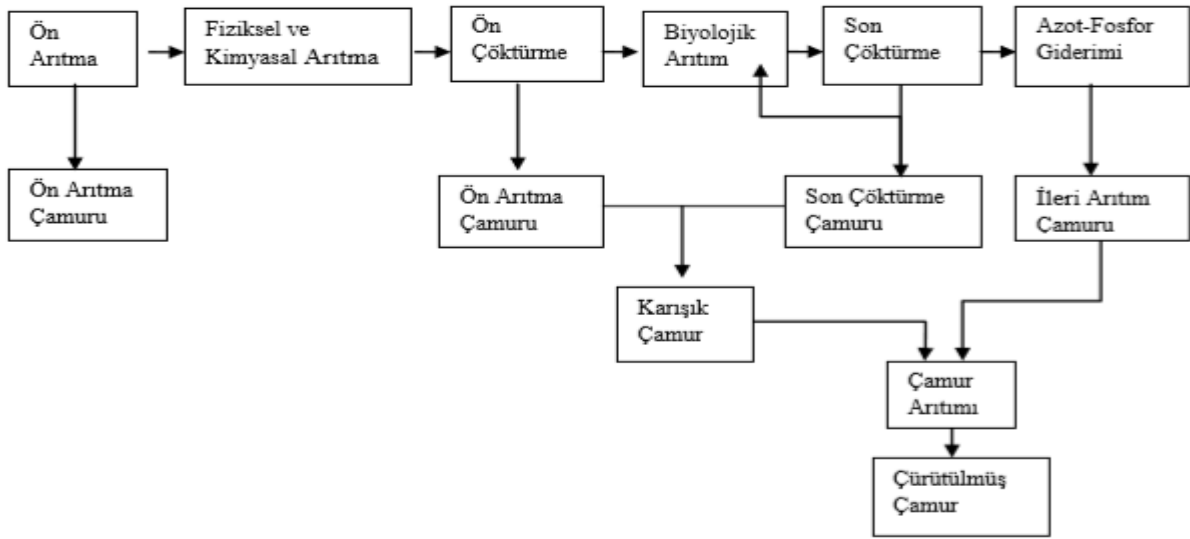
2.2. Arıtma Çamuru Kaynakları

Arıtma tesislerinin arıtım işleminden sonra ortaya çıkan arıtma çamuru çıkış kaynaklarına göre üç ana başlıkta incelenmektedir (Uçar, 2014).

- Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurları; sanayilerden kaynaklı proseslerdeki suların arıtılması sonucu ortaya çıkan çamurlardır.
- Yerel yönetimlerin işlettiği atıksu arıtma tesisleri kaynaklı evsel arıtma çamurları; evsel atıksu veya yağmur sularını, endüstriyel ve evsel suların arıtıldığı kentsel atıksu arıtma tesisleri,
- İçme suyu için kullanılan arıtma tesisleri kaynaklı arıtma çamurları; içme sularını kullanmadan önce arıtım yapılması zorunludur ve bu arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarı diğer atıksu arıtma tesislerinde meydana gelen arıtma çamuruna oranla önemli ölçüde düşüktür.

Klasik yapılan atıksu arıtma tesisleri kaynaklı arıtma çamurları, birincil, ikincil ve ileri arıtma proseslerinden şartlara göre geçirilmektedir.

Belirtilen bu arıtma prosesleri, atıksu kirlilik oranı üzerinde farklı etkilere sahiptir. Bundan dolayı meydana gelen arıtma çamurlarında farklı yapıdadır. Çamur oluşum prosesleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çamur Oluşum Prosesleri (Aydın, 2004).

2.3. Arıtma Çamurunun Özellikleri

Atıksu arıtma tesislerinde uygulanan işlemler sonrası meydana gelen arıtma çamurunun karakteristik özellikleri ile içeriği, arıtım yapılan suyun içeriği ile uygulanan arıtma işlemlerine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir.

Arıtma çamurlarının bu karakteristik özellikleri ile verilerinin bilinmesi depolama, deşarj, arıtılma veya enerji elde etmek için yapılan çalışmalarda önem teşkil etmektedir.

Arıtma Çamurlarının bertaraf planlaması yapılırken bu parametre değerlerinin detaylıca analiz edilip, gerçekleştirilecek fizibilite çalışmalarında bu analizlerden elde edilen bulgulara dayandırılması gerekmektedir (Varank, 2012).

Atıksu arıtma çamurları kimyasal, biyolojik ve fiziksel olmak üzere üç temel grupta incelenebilir.

2.3.1. Fiziksel özellikler

Atıksu arıtma çamurlarının fiziksel özellikleri; çamur içerisinde ihtiva eden katı madde miktarı, çamurdan ortama yayılan koku, atık çamurunun sıcaklığı ve renk gibi özellikleri içermektedir.

Bu özelliklerden arıtma çamuru içerisinde ihtiva eden katı madde oranı, sıcaklık vb. parametreler atıksu arıtma proseslerinde çok önemli faktörlerdir.

Yapılan analizlerde; sıcaklık, kimyasal reaksiyonları ve biyolojik aktiviteyi, katı maddeler ise ünitelerin boyutlarını etkilemekte olduğu görülmüştür (Lin ve Lee, 2001).

Arıtma çamurunun fiziksel özellikleri, aşağıda belirtilen maddeler ile ana başlıklar altında açıklanmıştır.

Özgül yoğunluk (Bağıl yoğunluk)

Birim hacimlerdeki arıtma çamuru yoğunluğunun yine aynı hacimlerdeki suyun yoğunluğuna oranları şeklinde tanımlanmakta olan özgül yoğunluk, birçok arıtma çamuru numuneleri için hemen hemen 1,0 civarındadır.

Diğer bir ifade ile "arıtma çamurunun yoğunluğu yaklaşık olarak suyun yoğunluğuna yakın" olduğu çalışmalar sonucunda görülmektedir (Filibeli, 1996).

Örnek olarak;

1 m³ arıtma çamuru 1010 kg geliyor ise,

Özgül yoğunluk;

SG = 1010/1000=1,01 olarak ifade edilmektedir.

Çamur katı madde içeriği

Endüstride ve kentsel arıtma çamurlarının içerisinde barındırdığı katı maddeler "% Katı Madde (%KM)" veya "mg/L" olarak ifade edilmektedir.

Arıtma çamuru içerisindeki toplam KM(katı madde) mg/L olarak, standartlaştırılmış uygulamalarda belirtilen prosedür gereğince belirlenip belirli hacimdeki numunelerin 105 °C'de etüvlerde buharlaştırılarak ortaya çıkan ağırlık kayıplarına göre hesaplanmaktadır.

Katı madde ile su içeriğinin ilişkisi aşağıdaki gibidir:

%Katı Madde = 100 - %Su içeriği

Arıtma çamurlarının katı madde içerikleri olduğu arıtma kademelerine göre çeşitli değişimler göstermektedir. Örneğin; ön çökeltme havuzlarında meydana gelen çamur genellikle % 3 ile % 5, aktif çamur havuzlarını takiben yer aldığı son çökeltme havuzlarında meydana gelen arıtma çamuru % 0,5 ile % 2, graviteli yoğunlaştırıcıların çıkışı yoğun çamuru % 5 ile % 10 katı madde içermektedirler.

Farklı arıtma kademelerinde meydana gelen arıtma çamurlarının tipik olarak katı madde konsantrasyonları Çizelge 2.1’de verilmektedir (Metcalf & Eddy, Inc., 2004).

Çizelge 2.1. Çamurlarının tipik katı madde konsantrasyonları(Metcalf & Eddy, Inc., 2004).

Çamur Tipi	Katı Madde Konsantrasyonu, % KM	
	Aralık	Tipik
Ön Çökeltim Çamuru	4,0 – 10,0	5,0
Aktif Çamur	0,8 – 2,5	1,3
Damlatmalı Filtre Humusu	1,0 – 3,0	1,5
Ön Çökeltim Çamuru + Aktif Çamur	0,5 – 1,5	0,8
Anaerobik Çürütülmüş Çamur	5,0 – 10,0	8,0

Arıtma çamurlarının farklı aşamalarından özgül kuru madde miktarları ve özgül ağırlıkları gibi fiziksel özellikler Çizelge 2.2’de verilmektedir (Metcalf & Eddy, Inc., 2004).

Su verme işlemleri ve yoğunlaştırma uygulamalarından sonra çamurun katı madde içerikleri uygulandıkları yöntemlere bağlı olarak yaklaşık olarak %50 seviyelerine kadar çıkabilmektedir.

Çizelge 2.2. Arıtma çamurunun fiziksel özellikleri (Metcalf and Eddy, Inc., 2004).

Çamur Tipi (kg/1000 m ³)	Çamur Katısı Özgül Ağırlığı	Çamur Özgül Ağırlığı	Tipik Kuru Madde Ağırlığı
Ön Çökletme Çamuru	1,4	1,02	151
Aktif Çamur	1,25	1,005	84
Damlatmalı Filtre Çamuru	1,45	1,0025	72
Uzun Havalandırılmalı Sistem Çamuru	1,3	1,015	96
Havalandırılmalı Lagün Çamuru	1,3	1,01	96

Çamur hacim indeksi

Arıtma çamuru hacim indeksi (SVI), arıtma çamurunun çökeltme özelliklerinin belirlenmesi için kullanılmakta olan parametredir. Çamur hacim indeksinin hesaplaması yapılırken; arıtma çamurundan alınan numune 30 dakika süreyle kapasitesi 1 litre olan mezürde çökeltilmeye bırakılır, çamur miktarı mililitre olarak ölçülür ve miligram/litre çamur askıda katı madde konsantrasyonu değerine bölünür.

Örnek olarak;

$$SVI = \text{ml çamur} \times 1000 / (\text{mg/l} \text{ askıda katı madde (AKM)})$$

Arıtma çamurundaki giriş katı madde konsantrasyonu 1000 mg/L ve 30 dakikalık çökeltme sonrası mezürdeki çamur miktarı 100 ml ise,

$$SVI = 100 \times 1000 / 1000 = 100 \text{ ml/gr olarak hesaplanır. (Filibeli, 1998).}$$

Çamurdaki suyun dağılımı

Arıtma çamuru içerisindeki suların hangi formlarda oldukları ile ilişkili olarak su verme uygulamalarından hangilerinin daha etkin olacakları değişmektedir. Arıtma çamurundaki suyu dört ana grup şeklinde incelemek mümkün olduğu belirtilmiştir (Filibeli, 1996).

Serbest Su

Çamur partiküllerinden bağımsız ve graviteli çökeltme uygulamaları ile çok kolay ayrılabilen sulardır.

Flok Suyu

Çamur floklarının içerisinde hapsedilmiş olarak bulunmakta olan sudur, yumak ile beraber hareket ederler. Mekanik su alma işlemleri ile giderilebilir.

Kapiler Su

Partiküllerin üzerlerinde bağlı olarak bulunurlar ve bu partiküllerin sıkıştırma işlemi deformasyonları sonucu uzaklaştırılabilir.

Kimyasal Bağlı Su

Partiküller içerisinde kimyasal olarak bağlanmış olan sudur.

Çizelge 2.3. Tipik aktif çamurdaki suyun dağılımı (Filibeli, 1998).

Su Bileşeni	Hacim
Serbest su	30%
Yumak suyu	7%
Kılcal	2,50%
Bağlı su	60%
Katı maddeler	0,50%
Toplam	100%

Arıtma çamurları tabi oldukları çeşitli uygulamalar ve ihtiva ettikleri su miktarlarına göre belirli bir forma ulaşırlar. Çamurları bu bağladıkları suları bırakma durumuna göre yoğunlaştırıcıda su şekilde sonuç verirler (Toprak, 2002).

Çizelge 2.4'de içinde bulundurdukları su miktarlarına göre arıtma çamurlarının tanımı ve yapısı verilmektedir.

Çizelge 2.4. İçerdikleri su miktarına göre çamurun yapısı ve tanımı (Toprak, 2002).

Su Miktarı (%)	Yapısı ve Tanımı
>%85	Sıvı ve pompalanabilir.
%65 - 75	Yapışkan, saptanabilir. Henüz plastik ve macunsu
<%65-65	Yapışkan değil, ufalanabilir, kırıntı yapı
<%35-40	Saçılabilir, dağılabilir, kalıcı sertlikte
<%10-15	Toz halinde

- Kolay suyu alınabilir çamurlar Su miktarı %75
- Orta derecede suyu alınabilir çamurlar Su miktarı %85-90
- Zor suyu alınabilir çamurlar Su miktarı %97-99

Çamurun akışkanlık özelliği

Arıtma çamurlarının akışkanlık özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan en yaygın parametre viskozitedir. Viskozite, akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnç olarak bilinmektedir. Viskozite, kayma gerilmeleri ile kayma hızlarının aralarındaki bağlantıları incelemektedir.

Çamurun akışkanlık özellikleri, katı madde partikül boyutu dağılımları, sıvı yoğunlukları ve katı madde konsantrasyonları gibi bir çok etkene bağlı olarak belirlenmektedir. Eğer akışkanların kayma gerilmeleri ile kayma hızları arasında doğru bir orantı var ise bu akışkanlar “Newtonian” akışkanlar olarak adlandırılırlar ve bu akışkanların viskoziteleri yaklaşık olarak sabit bir şekilde kalmaktadır. Katı madde içerikleri çok düşük olan ve içerdikleri su miktarları fazla olan arıtma çamurları, Newtonian akışkan gibi davranırlar (Bilgili, 2013).

Çamur partikül boyut dağılımı

Arıtma çamurunun şartlandırılmaları ve su verme özelliğinin belirlenmesinde, çamurların uygulandığı bir çok işlemde (çökeltme, filtrasyon vb.) çamurdaki partikül boyut dağılımlarının belirlenmesi için farklı analiz yöntemleriyle yapılabilir.

Arıtma çamuru içerisindeki partiküller yalnızca boyut olarak değil yoğunluk ve şekil olarak da değişkendir. Arıtma çamurlarının partikül boyutu zamana ve test şartlarına göre değişkenlikler gösterebilir (Cebeci, 2012).

Çamurun su verme özellikleri

Mekanik ve doğal su alma uygulamaları nihai olarak yok edilme işlemleri öncesinde çamurun hacimlerini azaltmak ve çamur içerisindeki katı madde içeriklerine ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır. Arıtma çamuru şartlandırma işlemleri ise çamurların su verme özelliklerinin geliştirilmesi ve mekanik olarak su alma işlemlerinin etkinliğini artırılması amacıyla çok fazla kullanılmaktadır.

Termal şartlandırma, kimyasal şartlandırma, filtrasyon, gibi birçok şartlandırma yöntemleri olmakla beraber kimyasal şartlandırma bu metodlar arasındaki en fazla tercih edilen metodlardır (Cebeci, 2012).

2.3.2. Kimyasal Özellikler

Atık sulardaki çözülmüş ve askıda kalan katılar inorganik ve organik maddeler içermektedir. "Organik maddeler; protein, yağ, pestisit, karbonhidratlar, yüzey aktif madde, zirai ilaçlar ile diğer zararlı kimyasalları içerebilirler. İnorganik maddeler ise; sülfürleri, kloridleri, nürientleri, ağır metalleri, alkaliniteyi, pH'ı, ve diğer zararlı inorganikler maddeleri kapmakta" olduğu çalışmalarda belirlenmiştir (Lin ve Lee, 2001).

Kimyasal parametreler, arıtma çamurlarının içerisinde mevcut olan toksik maddelerin ve besinlerin varlıklarını ayrıca tarım alanlarında kullanılıp kullanılmayacağını belirlemede yol göstericidirler. Arıtma çamurunun kimyasal özellikleri, aşağıdaki başlıklar altında açıklanmıştır:

Çamur partiküllerinin elektriksel yükleri

Partikül üzerlerindeki elektriksel yükler "zeta potansiyeli" ile ölçülürler. Zeta potansiyelleri koloidal hallerde bulunmakta olan katı maddenin kontrolü ve tanımlanması amacıyla kullanılmakta olan bir elektro kinetik parametrelerdir ayrıca bu parametreler

mV olarak ölçülür. Kentsel çamurların zeta potansiyelleri -10 mV ile 20 mV arasında değişkenlik göstermektedir. Endüstriyel arıtma çamurları ise -80 mV 'u geçen zeta potansiyellerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Filibeli; 1996).

Çamurun ısı değeri

Arıtma çamurlarının ısı değerleri, çamurların türlerine ve içerdikleri uçucu katı madde miktarına bağlıdır. Arıtma yapılmamış ön çökeltme çamurlarının ısı değerleri, özellikle önemli miktarlarda gres ve yağ içeriyorsa bu çamurların ısı değerleri çok yüksektir. Özellikle mutfak öğütücülerinin yoğun kullanıldığı bölgelerde, çamurların uçucu madde içerikleri dolayısı ile ısı değerleri çok yüksek olacaktır. Çürümüş çamurlar, ham çamurlara oranla daha düşük ısı değerlere sahiptir. Çeşitli arıtma çamurlarına ait ısı değerleri Çizelge 2.5'de özetlenmektedir (Filibeli 1998).

Arıtma çamurlarının ısı değerleri bazı düşük kaliteli kömürlerin ısı değerine (32,186 kJ/kg kuru madde) eşdeğerdir. Arıtma çamurları belli miktarlarda su içerdiklerinden ve içerdikleri katı maddelerin sadece bir kısmı yanıcı olduğundan dolayı yakıt değeri 2,299 kJ/kg çamur kadardır (Filibeli, 1998).

Çizelge 2.5. Çeşitli çamurlara ait ısı değerleri (Filibeli, 1998).

Çamur Bileşeni	Kuru Madde Isı Değeri (kJ/kg)	
	Aralık	Tipik Değer
Ham Ön Çökeltme Çamuru	23 250 - 29 000	25 550
Aktif Çamur	16 270 - 23 250	20 900
Anaerobik Çamur	9 300 - 13 950	11 620
Kimyasal Madde Eklenmiş Ön Çökeltme Çamuru	13 950 - 18 600	11 620
Biyolojik Filtre Çamuru	16 270 - 23 250	19 750

Çamurun ağır metal içeriği

Arıtma çamurları, oluştuğu endüstriyel kuruluşların çeşitlerine göre içinde; metal tuzları, alkaliler, oksitleyiciler, yağlar, boyalar, hidrokarbonlar, organik bileşikler, fenoller, asitler,

sülfatlar, Cr, Pb, Al, Cd, Cu, As, Hg, Co, Fe, azot ve organik fosfor gibi maddeler içerebilmektedir.

Ağır metal içerikleri yönetmeliklerde belirtilen değerlerden fazla olan arıtma çamurlarındaki ağır metal içeriğinin giderilmesi için uygulanan farklı uygulamalar vardır. Bu uygulamalar fiziksel ayırma işlemleri ile katı ve sıvıyı ayırmak için uygulanan işlemler olarak iki bölümde incelenmektedir.

Katı ve sıvıların ayırma işlemli, ağır metallerin çok düşük pH şartlarında çözülmüş hale gelmeleri ve arıtma çamurlarının katı fazlarından ayrılarak sıvı fazlarına geçmeleri ve katı - sıvı ayırma işlemi ile beraber arıtma çamurundan ağır metallerin uzaklaştırılması esasına dayanır.

Çizelge 2.6. Arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metal derisizleri (Filibeli, 1998).

Metal	Kuru Madde (mg/kg)	
	Aralık	Ortalama
Arsenik	1,1 - 230	10
Kadmiyum	1,0 - 3 410	10
Krom	10 - 99 000	500
Kobalt	11,3 - 2490	30
Bakır	84 - 17 000	800
Demir	1 000 - 154 000	17 000
Kurşun	13 - 26 000	5 000
Mangan	32 - 9 870	260
Civa	0,6 - 56	6
Molibden	0,1 - 214	4
Nikel	2,0 - 5 300	80
Selenyum	1,7 - 17,2	5
Kalay	2,6 - 329	14
Çinko	101 - 49 000	1 700

2.3.3. Biyolojik Özellikler

Arıtma çamurları içerisinde bulunan belirgin organizma grupları; bakteriler, bitkiler, protozoa, virüsler, hayvanlar, algler ve fungi gibi mikroorganizmalardır. Pek çok mikroorganizmalar biyolojik arıtma prosesinde atık suyun arıtılması için yararlıdır. Bunların yanında atık suda bazı virüslerin, mantarların, protozoaların ve patojenik bakterilerin, desteklenmesi başlıca sorunlardandır.

Koliform bakterileri insanların atıklarının meydana getirdiği kirlenmenin belirtisi olmaktadır. Algler de koku ve tat problemlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Atık suların arıtılması esnasında organik maddeler bakteriler vasıtası ile parçalanmakta olduğu belirtilmiştir (Lin ve Lee 2001).

Biyolojik parametreler arıtma çamuru içerisindeki mikrobik faaliyetleri, organik madde patojenlerinin varlığı bundan dolayı çamurun emniyetli bir şekilde kullanılıp kullanılmayacağını göstermektedir.

2.4. Atıksu Arıtma Yöntemleri

Endüstriyel ve evsel arıtma tesislerinin arıtım işlemi sonucunda açığa çıkan atık çamurlarının nihai bertaraf işlemi yapılmadan önce muhakkak arıtılması gerekmektedir. Arıtma tesislerinin tasarlanması yapılırken çamur problemi önceden göz önünde bulundurulup en uygun arıtma yöntemi seçilmeli ve arıtım sonucu ortaya çıkan çamurun tehlikeli atık özelliklerini içerip içermediği dikkate alınarak bertaraf edilmelidir.

Biyolojik çöktürme, kimyasal çöktürme ve fiziksel çöktürme yöntemlerinde açığa çıkan çamurların atıksu arıtma tesislerinden alınması ve belirlenen uygun yöntemler ile zararsız hale getirilerek bertaraf edilmeleri gerekmektedir.

Atık su arıtma tesislerinin bölümleri ve boyutlandırılmalarının seçimi yapılırken meydana gelen arıtma çamurlarının nasıl bertaraf edilmesi konusu dikkate alınmalıdır.

Atık su arıtma tesislerinde meydana gelen arıtma çamurunun arıtılmaları ve depolanmaları için uygulanacak yöntemler ham atık suların özelliklerine, kullanılmakta olan

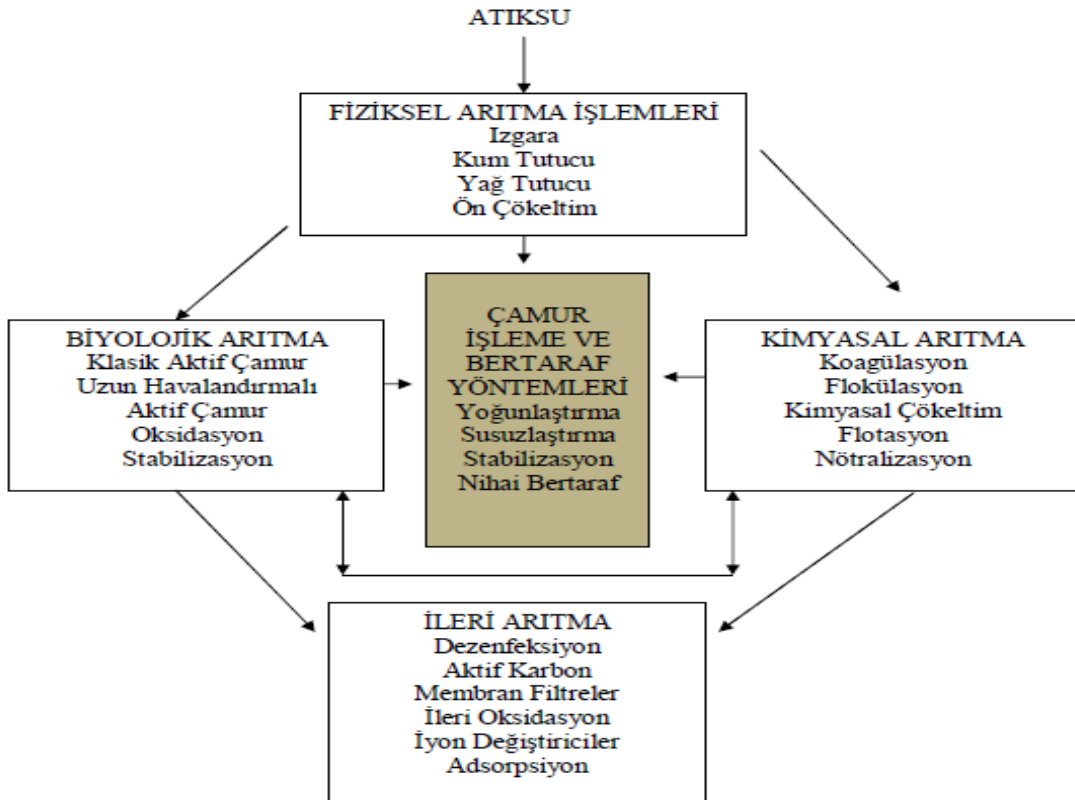
kimyasallara, uygulanan arıtma proseslerine, yönetmeliklere ve birçok koşullara bağlıdır. Değişik özelliklerdeki atık sular için farklı arıtma metodları kullanılabilir.

Evsel atık sular için genellikle biyolojik ve fiziksel arıtma yöntemleri seçilirken, endüstriyel atık suların arıtılması için kimyasal arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Her üç arıtma yöntemlerinin de kullanıldıkları arıtma metodları da mevcuttur.

Klasik arıtmalardan çıkan suların üçüncü arıtım kademelerinden sonra endüstriyel kullanım alanlarına verilmesi durumunun çevresel bakımdan daha uygun olduğu belirtilmektedir (Pintilie ve Castells, 2016).

Atık su arıtma yönteminin veya yöntemlerinin belirlenmesinde şu parametreler göz önünde bulundurulmalıdır;

- Atık suyun karakterizasyonu
- Arazi maliyeti ve kullanılabilirliği
- Gerekli çıkış suyu kalitesi
- Gelecekte su kalitesi standartlarının yükseltilmesi

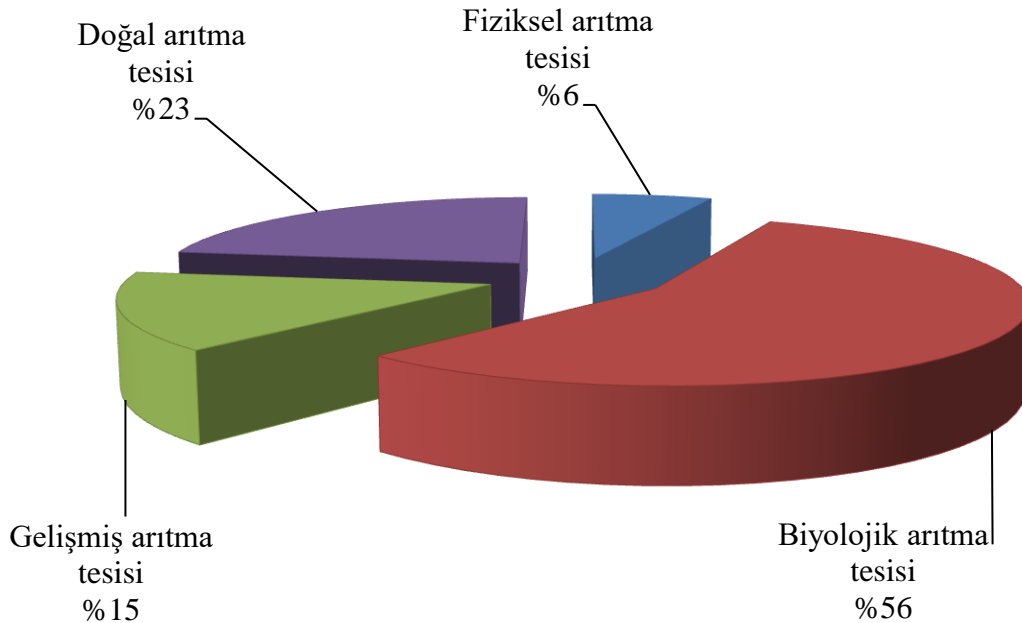


Şekil 2.2. Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan işlemlere genel bakış (Filibeli, 1998).

Şekil 2.2’de kullanılan prosesler sonucunda meydana gelen arıtma çamuru genel olarak sıvı formda olup, uygulandığı arıtma metotlarına ve işletmesine bağlı olarak ortalama %1 ile %2 oranlarında katı madde içermektedir. Çamurun hacmi, arıtma sistemlerine eklenen yoğunlaştırıcılarla azaltma yapılabilmektedir. Çamur yoğunlaştırma tanklarında %5 katı konsantrasyonuna kadar yükseltilebilen çamur buradan susuzlaştırma ünitelerine alınarak %20 ila %40 arasında katı madde oranına sahip çamur kekine dönüştürülmekte olduğu görülmüştür (Varank, 2012).

Şekil 2.2 şematik gösteriminde arıtma çamuru meydana gelme sürecini incelediğimizde, arıtma tesislerinde arıtma çamurunun, ön çökeltim havuzları (birincil çamur), kimyasal çökeltim havuzları, son çökeltim havuzları (ikincil çamur) ve sistemde var ise çamur çürütücülerinden elde edildiği görülmektedir.

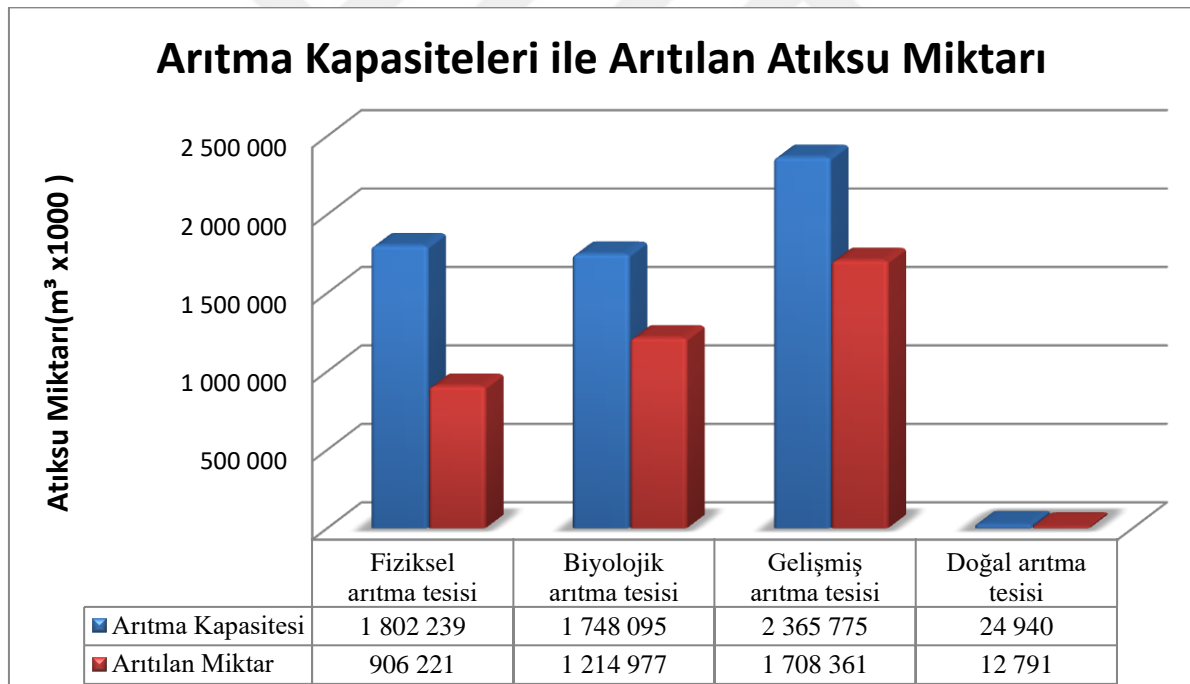
Ülkemizde atıksu arıtma tesisleri sayılarında sürekli artış görülmektedir. 2016 yılında TUIK verilerine 55 adet fiziksel arıtma tesisi, 492 adet biyolojik arıtma tesisi, 135 adet gelişmiş arıtma tesisi ve 199 adet doğal arıtma tesisi olmak üzere toplamda 881 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır.



Şekil 2.3. Atıksu arıtma tesisleri özellikleri ve sayıları (TUIK, 2016).

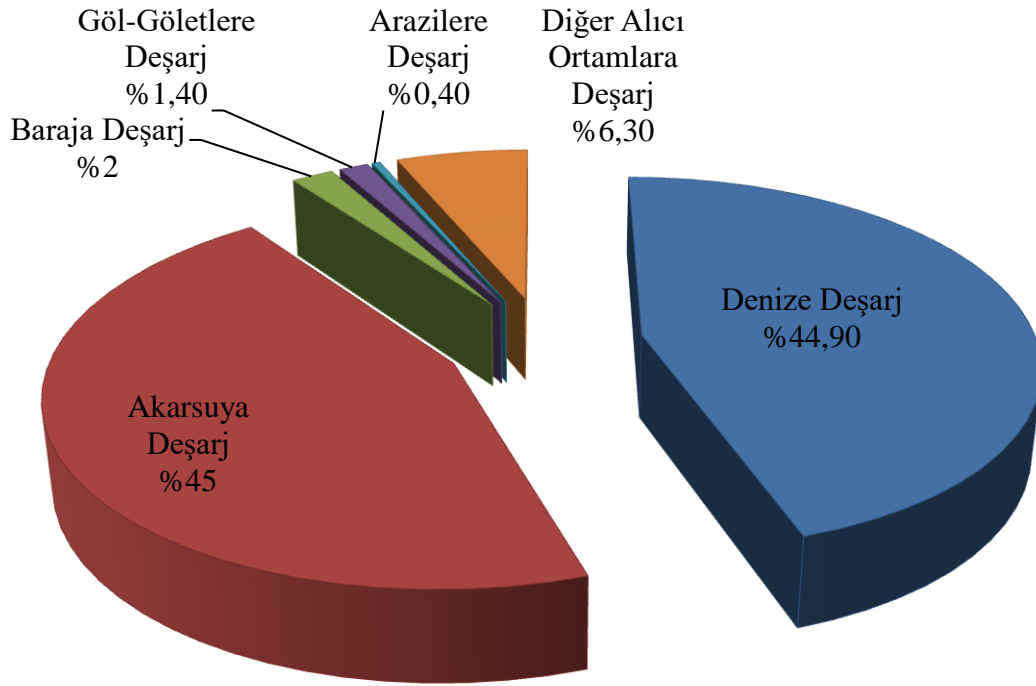
Türkiye İstatistik Kurumu 2016 verilerine göre belediyelerden deşarj edilen atıksu miktarı 4,5 milyar metreküp olarak tespit edilmiştir. Bu duruma göre; toplamda 1397 belediye tarafından 1338'ine kanalizasyon şebekesi ile hizmet verildiği belirtilmekte olup. kanalizasyonların şebekelerinden toplanan 4,5 milyar metreküp olan atıksuların % 40,4'ü denize, % 2,8'i baraja, % 48'i akarsuya, , % 1,8'i göl ve göllere, % 6,5'i diğer alıcı ortamlara ve % 0,5'i araziye deşarj edildiği belirtilmektedir. Deşarj edildiği belirtilen atıksuların % 85,7'si arıtıldığı tespit edilmiştir.

2016 TUİK verilerine göre kanalizasyonların şebekelerinden deşarj edilen yaklaşık 4,5 milyar metreküp atıksuların yaklaşık 3,8 milyar metreküpü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Arıtılan bu atıksuların % 44,5'i gelişmiş atıksu arıtma tesislerinde, % 31,6'sı biyolojik arıtma tesislerinde, % 23,6'sı fiziksel arıtma tesislerinde ve % 0,3'ü ise doğal arıtma tesislerinde arıtılmıştır (TUİK, 2016).



Şekil 2.4. Atıksu arıtma tesisleri kapasiteleri ve arıtma miktarları (TUİK, 2016)

Arıtılan atıksuların % 45'i akarsulara, % 44,9' u denizlere, % 1,4'ü göl ve göletlere, % 2'si barajlara, % 0,4'ü arazilere ve % 6,3'ü ise diğer alıcı ortamlara deşarj edildiği belirtilmiştir (TUİK, 2016).



Şekil 2.5. 2016 Yılı arıtılan suların deşarj durumları (TUİK, 2016).

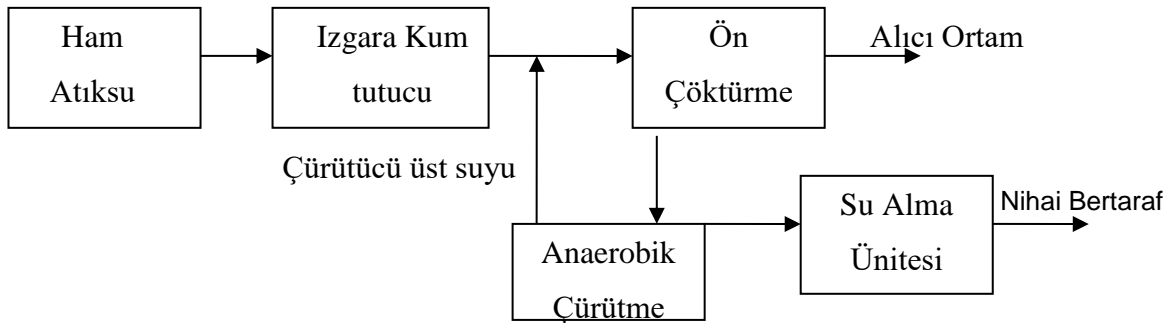
2.4.1. Fiziksel Arıtma Yöntemleri

Arıtma çamurlarının kirlilik faktörlerinin fiziksel özelliklerine; özgül ağırlığı, viskozitesi ve maddenin boyutlarına göre uygulanmakta olan arıtma yöntemleridir. Atık sular farklı yoğunluk, büyüklük ve şekillerde katılar içermektedir.

Fiziksel arıtma yöntemleri, atık suların içerdikleri askıda katı partikül ve diğer büyük katı maddeleri sudan ayırıştırarak diğer proseslerin arıtma işlemlerine tabi olmak üzere hazırlayan yöntemlerdir.

Basit olduğundan dolayı genellikle tüm gelişmiş atık su arıtma yöntemlerinde katı parçaların sudan ayrılması işleminde çok sık kullanılmaktadır.

Bu arıtma yöntemleri; kum tutucular, elekler, yüzer madde tutucular, ızgaralar, çökeltim, dengeleme ve yüzdürme havuzlarıdır.



Şekil 2.6. Fiziksel arıtma sistemi arıtma tesisi akış şeması (Keskinler ve ark., 2011).

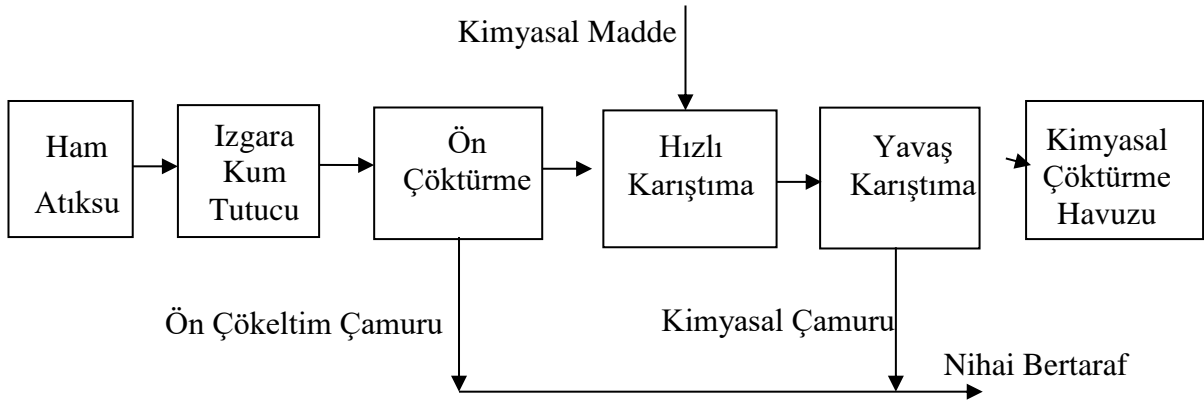
2.4.2. Kimyasal Arıtma Yöntemleri

Arıtma çamurlarının kirlilik faktörlerinin kimyasal özelliklerine göre, dışarıdan kimyasal madde eklenmesi ile yapılmakta olan arıtma yöntemleridir.

Atık suların arıtılmasında kimyasal uygulama, çözülmüş ve askıda katı maddelerin fiziksel özelliklerini değiştirerek bu maddeleri çöktürme ile kolay bir şekilde gidermek için kimyasalların ilave edilmesini içeren proseslerdir.

Kimyasal arıtma yöntemlerinde zararsız veya daha az zararlı atıklar oluşur. Kimyasal arıtma uygulamaları sonucunda meydana gelen çamurun özellikleri kullanılan kimyasal maddeler ve atık suyun özelliklerine göre değişmektedir.

Kimyasal arıtma çamurlarının kokuları olmakla beraber ön çökeltim çamurlarına oranla daha kötü kokulu değildir (Filibeli, 1996).



Şekil 2.7. Kimyasal arıtma sistemi arıtma tesisi akış şeması (Keskinler ve ark., 2011).

2.4.3. Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Arıtma çamurlarının kirlilik faktörlerinin biyolojik özelliklerine göre, biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda atık sulardaki çözülmüş olan organik kirleticilerin uzaklaştırıldığı biyolojik yöntemlerdir. Örnek olarak; Biyolojik arıtma yöntemleri, atıksuların içerisindeki kirletici maddeler olarak bilinen çözülmüş halde ve askıda bulunan inorganik ve organik maddelerin mikroorganizmalar ile fakültatif, anaerobik ve aerobik koşullarda parçalanarak çevre açısından zararsız olan bileşiklere dönüştürülmeleri işlemine verilen genel isimlendirmedir. Ön çökeltim çamurlarına oranla susuzlaştırılması veya yoğunlaştırması daha zor olan bir çamur çeşididir (Varank, 2012).

Bu arıtma yöntemleri; Uzun Havalandırılmalı, Klasik Aktif Çamur, Aktif Çamur, Stabilizasyon, Oksidasyon (Metcalf and Eddy, 2004; US EPA, 1987).

Stabilizasyon

Arıtma çamurlarında patojenleri gidermek veya azaltmak istenilmeyen kokuları yok etmek; potansiyel organik bozulmaları engellemek, azaltmak veya bu risklerden kurtulmak amacıyla uygulanmakta olan işlemlerdir.

Atık suların arıtma işlemlerinden sonraki çözilemeyen kalıntıları olarak bilinen ham arıtma çamurunun alıcı ortamlara kanalize edilebilmeleri için stabilize edilmeleri gerekmekte olduğu belirtilmektedir (Bilgin ve ark, 2002).

Ham arıtma çamurlarının stabilize edildikten sonra biyokatı olarak adlandırılır. Biyokatı tanımı, işlenmiş arıtma çamuru ve arıtma çamuru ile eş anlamlı olarak kullanılmakta olduğu belirtilmektedir (Bilgin ve ark., 2002).

Stabilizasyon uygulamalarının bazılarında ham arıtma çamurunun dezenfeksiyonu sağlanırken, bazı Stabilizasyon uygulamalarında ise tam olarak dezenfeksiyon sağlanamamaktadır. Arıtma çamuru stabilizasyonu için kullanılan uygulamalar 3 temel başlık altında toplanabilir (Filibeli, 2013).

Bu uygulamalardan biri ile stabilizasyona maruz kalan ham çamur "arıtma çamuru" olarak isimlendirilir ve bundan dolayı kaynak olarak değerlendirilebilir. Bunlar;

- Kimyasal metotlar: Kireç stabilizasyonu,
- Biyolojik metotlar: Kompostlama, Aerobik çürütme, Anaerobik çürütme,
- Termal metotlar: Isıl işlemler olarak sıralanabilirler.

Anaerobik Çürütme

Organik maddelerin oksijen olmayan ortamlarda bozunması olarak tanımlanmaktadır. Bu işlem iki basamakta gerçekleşir. İlk basamak olarak organik maddeler organik asitlere, ikinci basamakta ise organik asitler karbondioksit ve metana dönüştürülüp biyogaz meydana getirilmektedir.

Meydana gelen biyogaz, tesislerin işletmelerinde gerekli olan elektrik ve ısı enerjilerini sağlamakta kullanılmaktadır (Filibeli, 1998).

Organik atıkların öğütülerek anaerobik çamur çürütücülere katı madde olarak beslendiği ve metana dönüştürüldüğü uygulamalar mevcuttur (Gou ve d., 2014; Ratanatamskul ve d., 2015)

Biyolojik arıtmada sera gazlarını azaltarak minimize etmek için anaerobik sistemlerde kullanılabilir. (Ma ve diğ., 2017).

Anaerobik arıtma faaliyetlerini yapmak için tesislerin sıcak iklim bölgelerinde kurulması gerekmektedir. Buna karşılık stabilizasyon havuzları kullanılacak ise çok daha sıcak bölgelerin tercih edilmesi gerekmektedir (Tolkou ve Zouboulis, 2015).

Aerobik Çürütme

Meydana gelen arıtma çamurlarının, yeteri miktarda oksijenin sağlandığı şartlarda biyolojik stabilizasyonu için kullanılmakta olan bir uygulamadır. Aerobik yöntemlerin işletilmesinde; oksijen gereksinimi, bekleme süreleri, karıştırma, sıcaklık ve ortam pH'ı gibi etkenler kontrol altında tutulmalıdır (Filibeli, 1998).

Kompostlama

Aerobik işlemlerdir. Doğru bir şekilde işletilmekte olan sistemlerde organik maddenin bozulması esnasında sıcaklıklar 70 °C'ye kadar çıkartılarak, patojen bakterilerin yok edilmeleri sağlanabilmektedir (Filibeli, 1998).

Kompostlama işlemleri, tarımsal alanların korunması amacıyla yapılan çevre dostu proseslerdir. Bu proseslerin yapılma maksadı karbon emisyonlarını düşürerek arazilere elverişli hale getirmektir.

Bu amaçla farklı olan organik atıkların tarımsal alanlarda kullanılmasını sağlayabilmektedir (Uçaroğlu, 2016).

Bu yapılan proses sonrası toprakların besin maddeleri ve su tutma kapasiteleri, pH parametreleri ve birçok özelliklerde iyileşme görülmektedir (Gusiatin, 2016).

Kurutma

Arıtma çamurları içerisinde ihtiva eden suların nem içeriklerinin azaltılmaları ve buharlaştırılması dışında patojen giderimi sağlanmaktadır.

Kireç ile Stabilizasyon

Kireçler, arıtma çamurlarının içerisinde barındırdığı suların verme özelliklerini geliştirmelerine ek olarak çamur stabilizasyonu amacıyla da kullanılmaktadırlar. Bu yöntemlerde çamura, pH değerini 12'ye yükseltecek miktarlarda kireç ilavesi yapılır. Yüksek pH değerleri, mikroorganizmalar için çok uygun olmayan ortamlar oluşturur. Bu sebepten dolayı kokular kaybolur, çamur ayrışmaz ve sağlık riskleri ortadan kalkmaktadır (Filibeli, 1996).

Bu uygulamalarda sönmüş kireç kullanımı olabileceği gibi ayrıca sönmemiş kireçlerde kullanılabilirler. Bu durumlarda açığa çıkacak olan ısıdan faydalanılarak kısmen kurutma işlemleri olarak gerçekleştirilebilir.

Arıtma çamurların kireç ile stabilizasyon uygulamalarında üç temel yöntem kullanılmaktadır (Filibeli, 1998)

- Susuzlaştırma işlemi öncesi arıtma çamuruna kireç ilaveleri (kireç ile ön arıtılma)
- Susuzlaştırma işlemi sonrası arıtma çamuruna kireç ilaveleri (kireç ile son arıtılma)
- İleri kireç stabilizasyon teknolojileri

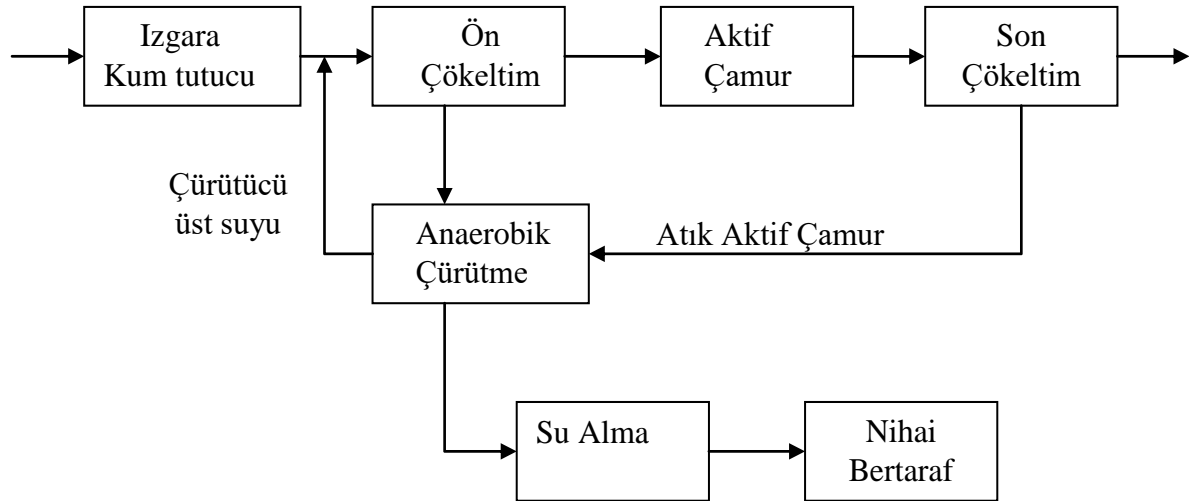
Atık suların taşınmaları, arıtılması, deşarj edilmesi ve meydana gelen arıtma çamurunun bertaraf edilmesi gibi proseslerde çok fazla enerji gerekmektedir.

Bu proseslerin havalandırma (biyolojik arıtma yönteminde) ve pompalama için gerekli olan enerji en büyük oranı oluşturmaktadır.

Amerika'da bulunan atıksu arıtma tesislerinin %75'inden daha fazlasında biyolojik arıtma yöntemi olarak aktif çamur sistemleri kullanılmaktadır.

Bu tesislerin havalandırma uygulamalarında, tesislerin tükettiği toplam elektrik miktarının %60'ı kullanılmakta olduğu söylenmektedir (Tchobanoglous, Öztürk, 2014, 2015).

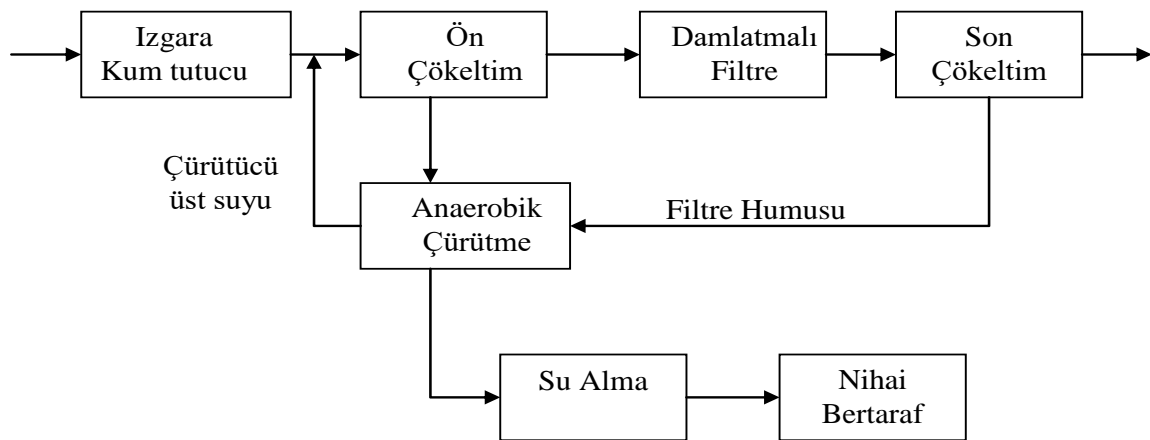
Aktif çamur uygulamaları arıtım tesislerinde etkili bir şekilde kullanılıyor olmakla beraber bazı dezavantajlara sahiptir. Bu uygulamaların en büyük dezavantajlarından bir tanesi çok yüksek miktarlarda çamur üretimidir (Kelessidis, 2012).



Şekil 2.8. Aktif çamur sistemli arıtma tesisi akış şeması (Keskinler ve ark., 2011).

Aktif çamur, içinde inorganik ve organik maddeler bulunduran atık su ile birlikte canlı olarak veya cansız olarak bütün mikroorganizmaların karışımları olup, bu proses; mikroorganizmaların oksijen kullanarak organik maddeyi ayrıştırması ilkesinden yararlanılarak geliştirilen bir aerobik atık su arıtım sistemleridir.

Bu aşama ikincil bir arıtım aşamasıdır ve sonralarında son çöktürme havuzları tarafından izlenmektedir. Klasik arıtım uygulamalarında proses seçimlerine göre veya ihtiyaçlara göre ön çökeltme havuzları da kullanılmaktadır.



Şekil 2.9. Damlatma filtreli arıtma tesisi akış şeması (Keskinler ve ark., 2011).

Damlatmalı filtre arıtma uygulamalarında organik maddeler yüzeye bağlı olan mikroorganizmalarca giderildikleri bir arıtım yöntemleridir. Damlatmalı filtreler plastik veya taş gibi dolgu malzemelerinden meydana gelirler.

Atık sular filtre yataklarından geçerken; dolgu malzemelerin üzerindeki bakteriler bir biyofilm tabakaları oluştururlar. Kullanılmakta olan dolgu malzemelerinin aralarında boşluklar bulunmaktadır.

Bundan dolayı, mikroorganizmaların dolgu malzemeleri üzerlerinde tabaka şeklinde yaşamaları, organik maddeler ile beslenme yapmaları ve hava geçişleri ile oksijen transferi sağlanmaktadır.

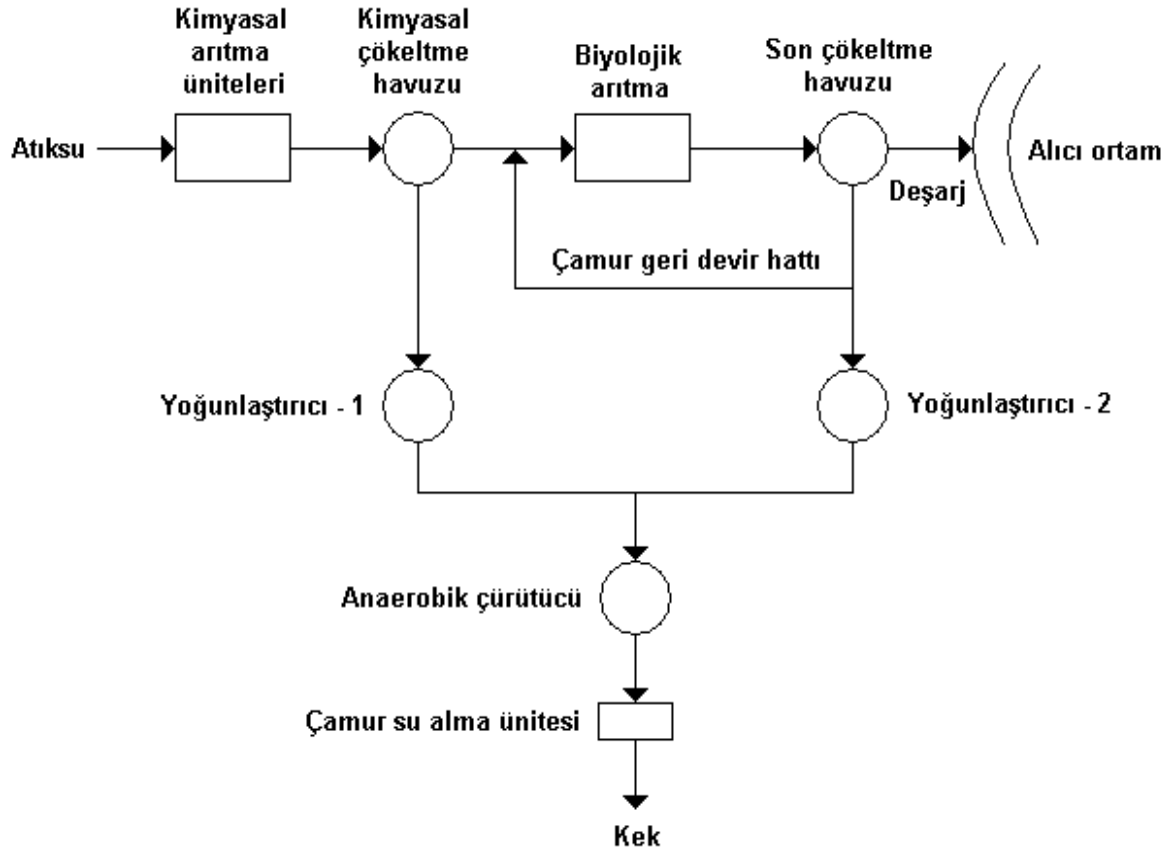
Mikroorganizmalar belirlenen kalınlıklara ulaştıktan sonra, dolgu malzemelerinden koparlar, çıkış sularındaki bu biyofilm parçaları son çökertme havuzlarında çökertme yapılarak sudan ayrıştırılırlar.

2.4.4. İleri Arıtım Yöntemleri

İkincil arıtım uygulamalarından daha kaliteli ve yüksek derecede arıtıma yapılması için uygulanmakta olan arıtma yöntemleridir. Biyolojik arıtma yöntemlerinde kolayca ayrışmayan organikleri, ağır metalleri, nutrientleri, ve diğer zararlı toksik maddeleri içermekte olan yeterince arıtılmamış atık suların alıcı başka ortamlara verilmesi, suların bozulmasına yol açar.

Bu sebepten dolayı ikincil arıtma, yöntemleri atık suların arıtılmasında yeterli düzeyde olmayıp, fiziko-kimyasal arıtma uygulamalarını da içeren üçüncül arıtma olarak da adlandırılan ileri arıtma yöntemleri uygulanmaktadır.

Atık suların daha yüksek, kaliteli, ileri düzeyde arıtım yapılması amacıyla; iyon değişimi, aktif karbon adsorpsiyonu, kimyasal indirgeme, ters ozmoz, yükseltgeme gibi yöntemler kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. Üçüncül arıtma tesisi akış şeması (Samsunlu, 2011).

Arıtma çamurlarının uygun olarak arıtılması ve yönetilmesi karakteristik özelliklerine göre belirlenir. Nem dağılımı, Çamur miktarının tanımlanması ve organik içerik arıtma çamurlarının susuzlaştırma işlemi için kritik parametrelerdir.

Uçucu yağ asitleri, alkalinite ve pH konsantrasyonları aerobik veya anaerobik çamur çürütme etkinliği noktasında ölçülebilir.

KOK, pestisitler ve ağır metal içerikleri araziye uygulama, yakma, kurutma gibi alternatifler düşünülüyorsa kesinlikle ölçülmeleri gerektiğini" belirtilmiştir (Metcalf and Eddy,2004; US EPA, 1987).

Arıtma çamurlarının katı madde içerikleri uygulandıkları arıtım kademelerine göre farklılık göstermektedir. Örnek olarak; ön çökeltim havuzlarında meydana gelen çamur genel olarak % 3 ile % 5, aktif çamur havuzlarını takiben yer alan son çökeltim havuzlarında meydana gelen çamur % 0,5 ile % 2, graviteli yoğunlaştırıcı çıkışı yoğun çamurlar % 5 ile

% 10 katı madde içermektedirler. Çizelge 2,7’de farklı arıtım kademelerinde meydana gelen arıtım çamurlarının tipik kompozisyonu verilmektedir.

Çizelge 2.7. Arıtma kademelerindeki çamurlarının tipik kompozisyonu (Metcalf&Eddy, 2014).

Parametre	Arıtılmamış Birincil Arıtma Çamurları		Arıtılmamış Aktif Arıtma Çamurları	
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik
Toplam Katı Madde (TKM) %	1-6	3	0,4 - 1,2	0,8
Uçucu Katı Madde (TKM' nin %'si olarak)	60-85	75	60 - 85	70
Yağ ve Gres (TKM' nin %'si olarak)	5-8	6	5-12	8
Protein (TKM' nin %'i olarak)	20-30	25	32 - 41	36
Azot (N, TKM' nin %'i olarak)	1,5-4	2,5	2,4 - 5	3,8
Fosfor (P ₂ O ₅ , TKM' nin %'i olarak)	0,8-2,8	1,6	2,8-11	5,5
Potasyum (K ₂ O, TKM' nin %'i olarak)	0-1	0,4	0,5-0,7	0,6
Selüloz (TKM' nin %'i olarak)	8-15	10	-	-
Demir (Sülfür olarak değil)	2-4	2,5	-	-
Slika (S ₂ O ₂ TKM' nin %'i olarak)	15-20	-	-	-
Ph	5-8	6	6,5-8	7,1
Alkalinite (mg CaCO ₃ /l)	500-1500	600	580-1100	790
Organik Asitler (mg/l HAC)	200-2000	500	1100-1700	1350
Enerji İçeriği (kj/kg UAKM)	23 000-29 000	25 000	19 000-23 000	20 000

2.5. Arıtma Çamuru Bertaraf Yöntemleri

Atıksu arıtma çamurları çok büyük hacimler kapladığından dolayı bu çamurlarda ilk öncelik olarak atık suların kaynaklarında azaltma uygulamaları planlanmaktadır. Arıtma çamurlarının işlenmeleri ve bertaraf edilmeleri en az atıksu arıtım işlemi kadar önemlidir.

Son zamanlarda, atıksu arıtım işlemi konusunda yapılan yatırımlar ile beraber arıtma çamurlarında işlem ve bertaraf problemleri Avrupa Birliği uyum sürecinde yapılan mevzuatlarda düzenleme ile beraber üzerinde özenle durulmakta olan bir konu haline gelmiştir.

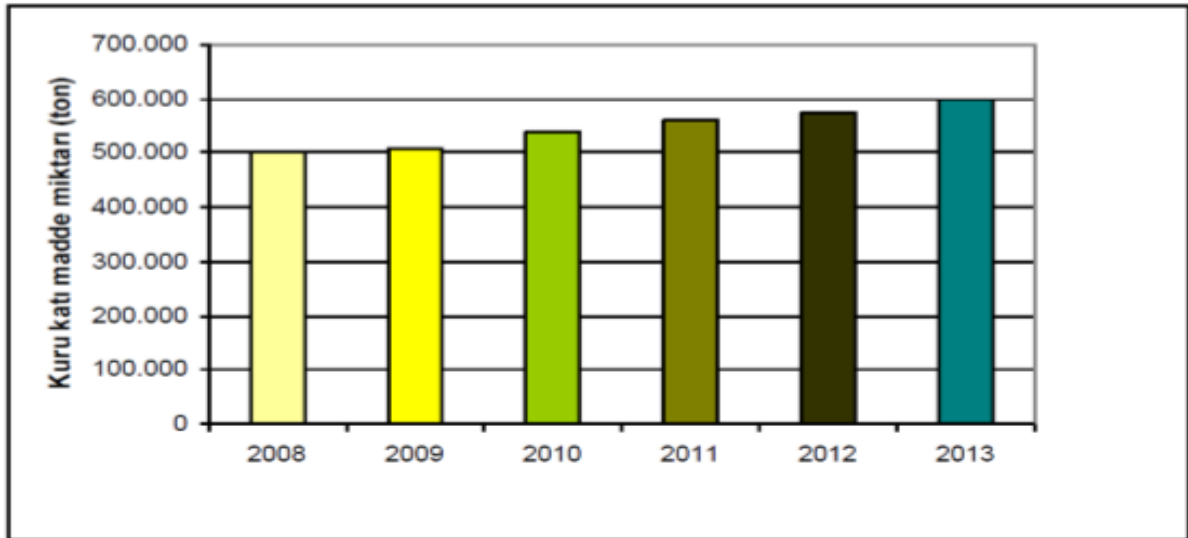
Arıtma çamurlarının yönetilmesi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde' de önemli bir konu haline gelmiştir.

Arıtma çamurlarının yönetilmesi, çevre yönetim sistemleri içerisinde yer alması gerekli çok önemli bir konudur.

Arıtma çamurlarının sebebiyet verdiği çevresel problemler ve getirilen yasal zorunluluklar, bu çamurların yönetilmesini zorunlu hale getirmektedir.

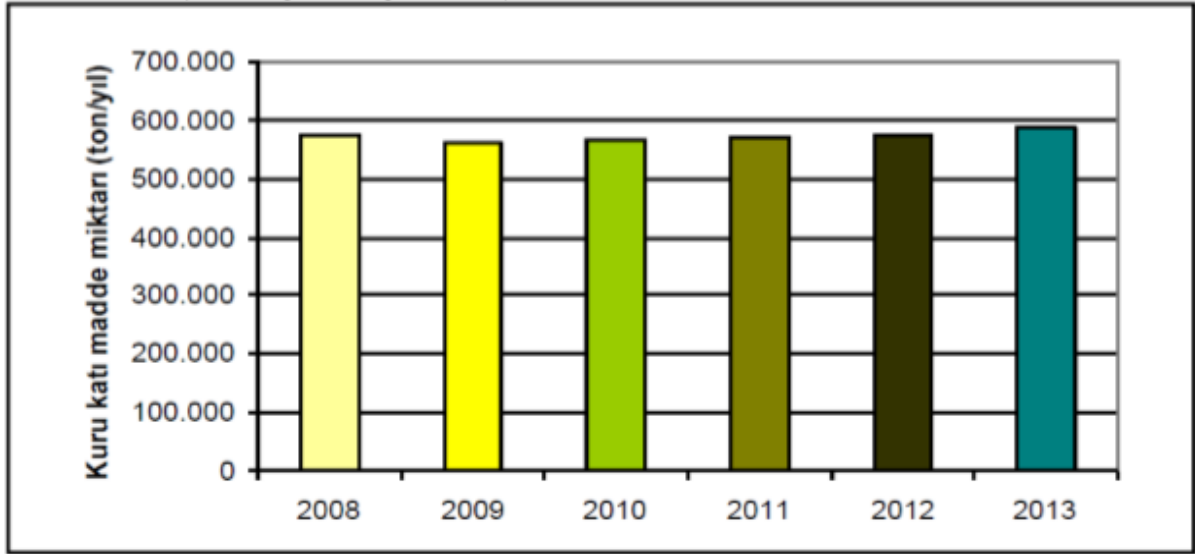
Atıksu arıtma tesislerinin, deşarj etme standartlarında olan kısıtlamalar ve bu kısıtlamalar ile birlikte arıtma işlemleri sonucunda meydana gelen arıtma çamuru miktarlarının azaltılması, meydana gelen çamurların en etkili teknolojilerle işlenmesi, arıtma ve bertaraf etme aşamalarında çamurların yararlı kullanılması alternatiflerin değerlendirilmesi konuları çamurlarının yönetilmesinin en önemli unsurlarını oluşturmaktadır.

Şekil 2.11'de 2013 yılında Türkiye'de belediyelerden kaynaklanmakta olan arıtma çamurlarının yıllara göre miktarları verilmiştir.



Şekil 2.11. Belediye Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Miktarı (Erdoğan, 2013).

Şekil 2.12'de ise Türkiye'de sanayi kaynaklı arıtma çamurlarının yıllara göre miktarları verilmiştir.



Şekil 2.12. Sanayi Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Miktarı (Çokgör, 2012).

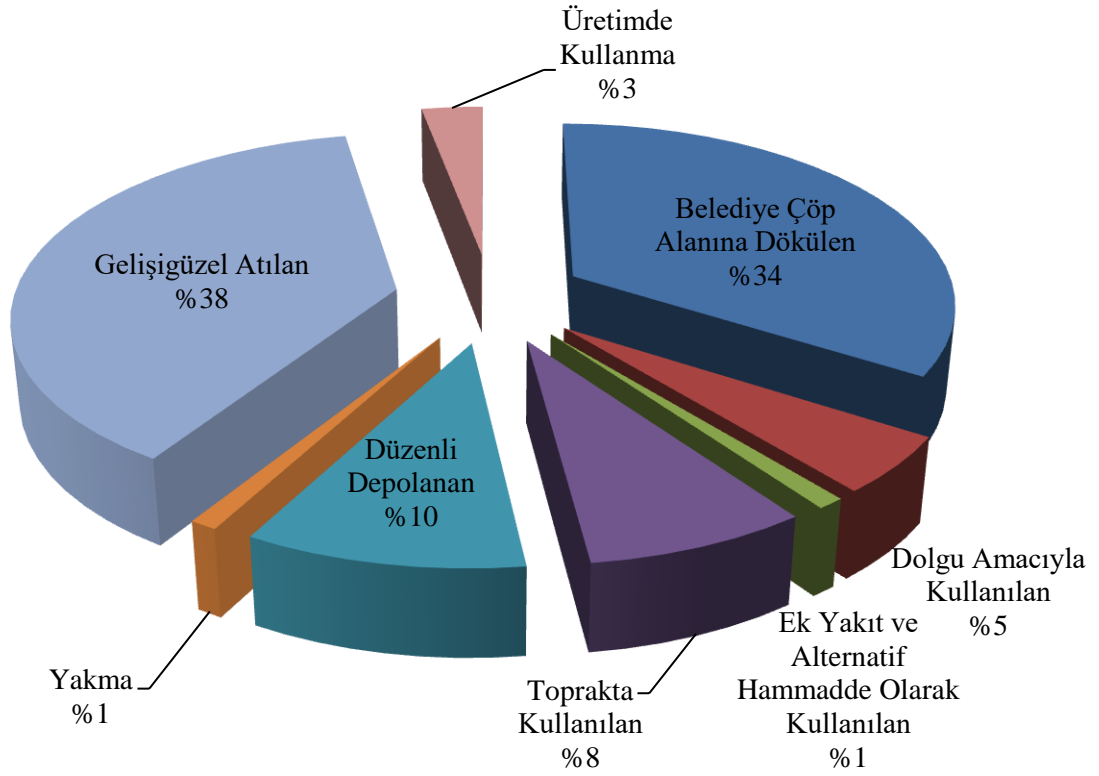
Şekiller incelendiğinde nüfus yoğunluğu ve sanayileşmenin artması ile arıtma çamur miktarlarının sürekli artış gösterdiği görülmektedir.

Aşağıdaki şekiller incelendiğinde Şekil 2.13’de görüldüğü gibi 2008 yılında ülkemizde sanayi kaynaklı arıtma çamurlarının yönetiminin Şekil 2.14’de ise belediyelerden kaynaklı arıtma çamurlarının yönetiminin şematik gösterimi verilmiştir.

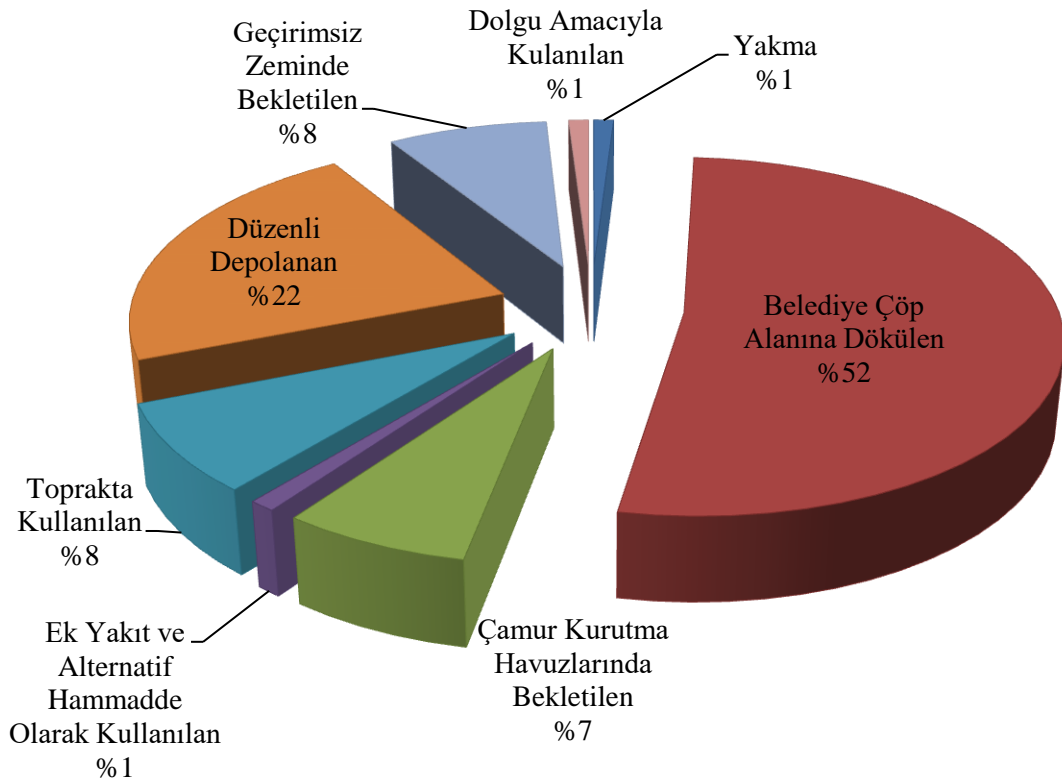
2008 yılına ait belediyelerden ve sanayilerden toplanan verilere göre ülke genelinde yapılan çalışmaların sonucunda; sanayi tesislerinden 575 000 ton/yıl, evsel atık su arıtma tesislerinden ise 500 000 ton/yıl arıtma çamuru olmak üzere toplam 1 075 000 ton/yıl (kuru katı madde) arıtma çamurunun meydana geldiği değerlendirilmektedir.

2009 yılında 27 207 ton evsel arıtma çamuru ile 16 548 ton endüstriyel arıtma çamuru olmak üzere toplamda 43 755 ton arıtma çamurunun çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanıldığı belirtilmiştir(Öztürk, 2010).

Bu şekillerden de görüldüğü üzere arıtma çamurlarının kayda değer çok büyük bir bölümünün belediye çöp alanlarına döküldüğünü, ek yakıt ve alternatif hammadde olarak kullanımının çok az olduğu görülmektedir.



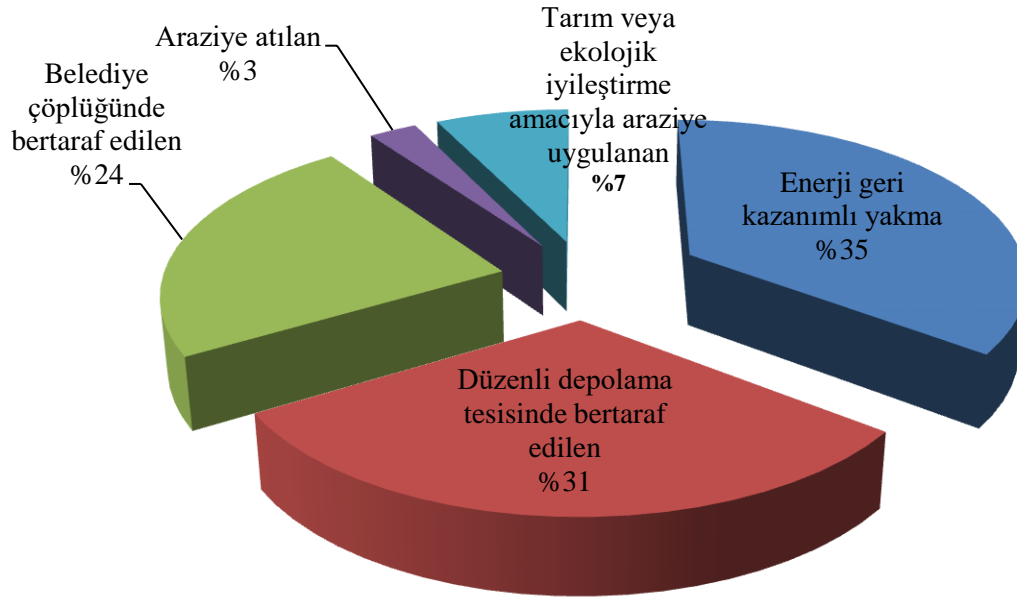
Şekil 2.13. Endüstriden Kaynaklanan Arıtma Çamurunun Yönetimi (Öztürk, 2010).



Şekil 2.14. Belediyelerden Kaynaklanan Arıtma Çamurunun Yönetimi (Öztürk, 2010).

Aşağıdaki şekil incelendiğinde Şekil 2.15’de 2016 yılında TUIK verilerine göre geri kazanım ve bertaraf yöntemlerine göre arıtılan çamur miktarları verilmiştir.

Sürekli artan enerji maliyetleri ve çevresel sorunlardan dolayı arıtma çamurlarından enerji kazanımı miktarlarında önemli ölçüde artış olduğu görülmektedir.



Şekil 2.15.Geri kazanım ve bertaraf yöntemlerine göre arıtma çamuru miktarı(TUIK, 2016)

Sürekli artmakta olan enerji maliyetleri ve atıksu arıtma tesislerine karşılık olarak ülkelerin çok büyük miktarlarda çamur üretimleriyle , kompostlama, düzenli depolama; yakma ve okyanuslarda bertaraf edilmesi çok önemli alternatifler olmaktadır.

Ayrıca bu bertaraf yöntemlerinin yanında çamur lagünlerinde toplama, termik yöntemler, kimyasal sabitleme (stabilizasyon), arazi iyileştirme, dağıtım ve pazarlamadır.

2.5.1. Düzenli depolama

Arıtma çamurlarının ve katı atıkların halkın güvenliğine ve sağlığına zarar vermeyecek bir şekilde üzerinin örtülmesi ve depolanması işlemlerine denir.

Arıtma çamuru depolanma işleminin uygulanmalarında ilk hedef, çamur hacimlerinin azaltılarak depolama alanlarındaki kalitesinin artırılmasıdır. Bu sebepten dolayı düzenli depolama yapılacak olan arıtma çamurunun mekanik veya doğal yöntemler uygulanarak suyun alındıktan sonra depolanmaları gerekmektedir.

2.5.2. Yakma

Yakma yöntemi katı atıkların tasarlanan özel fırınlarda yakılması işlemidir. Yakma işlemlerinde temel hedef çıkan katı atıkların çevreye zarar vermeden yok edilmesi, katı atıkların hacminin azaltılması ile beraber, bu atıklardan enerji elde etmektir.

Japonya'da bulunan bazı akışkan yataklı yakma sistemlerinde işletme maliyetlerinin yaklaşık olarak yarı yarıya azaldığı görülmüştür (Otero, 2002). Ancak yakma prosesleri etkili olmasına karşın çevresel sorunların çok yüksek maliyetlerde yatırım ihtiyacı olduğu da bilinmektedir. Özellikle arıtma çamurlarının yaygın olarak kömür yakmakta olan enerji üretim tesislerinde asıl (birincil) yakıt ile birlikte ek yakıt olarak yakılması amacıyla uzaklaştırılabilmekte olduğu yapılan çalışmalarca bilinmektedir (Vesilind, 1996).

2.5.3. Kompostlaştırma

Bu proses arıtma çamurunun biyolojik olarak parçalanabilmekte olan en kısmının tekrardan kazanılması ve değerlendirilmesi işlemidir. Bu prosesin amacı, atığın çevresel problemler oluşturmadan biyolojik olarak parçalanabilmesidir.

Bu proses ile biyolojik olarak parçalanabilmekte olan atıkların kütlelerini, nemini ve hacmini, azaltarak önemli bir toprak düzenleyici haline dönüştürülür.

Arıtım çamurlarından kompost üretimlerinin araştırıldığı çalışmalarda "çevresel ve sosyal problemlerin önemi vurgulanarak, kompostun kullanılmasına yönelik düzenlemelere ihtiyaç olduğu" vurgulanmıştır (Sanchez-Monedero 2004).

Bu uygulama şekli, düzenli depolamaya kıyasla daha pahalı, yakma prosesine göre ise ucuz bir bertaraf yöntemidir.

2.5.4. Denize boşaltma

Atıksu arıtma tesislerinin ilk kuruldukları zamanlarda meydana gelen çamur tüm dünyada çöp depolama alanlarına denizlere ve okyanuslara dökülmüştür. Ancak çamurların okyanuslara, denizlere dökülme durumu 1 Ocak 1999 tarihi itibarıyla yasaklanmıştır.

2.5.5. Termik yöntemler

Bu yöntemler arıtma çamuruna ısı uygulayarak arıtma çamurundan suyu uzaklaştırma esasına dayanır. Arıtma çamurunun nem oranının mekanik su giderme uygulamasına oranla termal yöntemler çok daha verimlidir. Bu yöntemlerin avantajları; patojenlerin azaltılması, düşük taşıma masrafları, ile beraber kurutulmuş arıtma çamurunun daha iyi pazarlama ve depolama imkanları sağlamasıdır. Termal olarak kurutulmuş çamurlar toprak iyileştiricisi veya gübre olarak rahatlıkla pazarlanabilmekte, yakma ve depolama uygulamalarında tercih edilmektedir.

2.5.6. Arazide bertaraf yöntemleri

Araziye çamurun serilme uygulaması nihai bertaraf uygulaması olarak düşünülmeyle beraber bu yöntemdeki amaç arıtma çamurunun tarımda alanlarında toprak şartlandırıcısı olarak değerlendirilmesidir. Çünkü arıtma çamurları yararlı besin maddeleri içerdiği için, toprak özelliklerini iyileştirir ve bitkilerin gelişiminde önemli rol oynarlar.

Arıtma çamurlarının arazide uygun olarak değerlendirilmesi için çevre bakımından zararsız olmaları, inorganik ve organik maddelerin madde dolanımını sağlamaları gerekmektedir.

Arıtma çamurlarının hangi zaman aralıklarında toprağa verilmesi işlemi bölgenin bitki üretim programlarına, iklim şartlarına ve müsaade edilen yük oranına göre değişkenlik göstermektedir.

Toprağa verilebilecek olan yükün hesaplamasında en önemli etken bölge toprağının göllenme ve taşkına sebep olmaksızın absorbe edebileceği en yüksek çamur miktarıdır. Diğer bir önemli etken ise fosfor ve azot gibi besin maddeleridir.

Arazide bertaraf yönteminde bu işlemi yapmadan önce arıtım çamurlarına bazı birkaç ön işlem uygulanmalı ve yeraltı sularının kalite değişimleri sürekli izlenerek kontrol altında tutulmalıdır. Evsel arıtım çamurları içerisinde her türlü patojen mikroorganizma bulunabileceğinden dolayı bu arıtma çamurlarını doğrudan araziye vermek uygun değildir.

Endüstriyel arıtma çamurlarında ise, içerdikleri çözünmüş toksik maddeler, çeşitli ağır metal tuzları gibi zararlı maddeler nedeniyle toprak ve yeraltı sularının kirlenmeleri risklerinden dolayı arazilere doğrudan olarak bertarafı çok sakıncalıdır.

Arıtma çamurlarının sürekli olarak toprağa uygulanması sonucu bor, çinko, bakır, ağır metal gibi iz elementlerin uzun vadelerde topraklarda birikimi de söz konusu olabilir. Sonuç olarak bu birikim olayı toprak ve ürünler üzerinde çok zararlı etkilere sebebiyet vereceği belirtilmiştir (Filibeli 1996).

2.5.7. Dağıtım ve pazarlama

Arıtma tesislerinin kapasitelerine bağlı olarak, meydana gelen çamurun %11 ile %19 oranı dağıtım ve pazarlama maksadıyla kullanılmaktadır. Golf sahaları, parklar ile meyve bahçelerinde yüzey topraklarını iyileştirmek için kullanılabilen arıtma çamurları, kompostlanmış çamurlardır.

Kompostlanmış çamurlar, açık olarak veya torbalanmış bir şekilde satılabilir. Bu amaçla uygulanan çamurlar, yenilebilen veya yenilemeyen bitki türlerine göre gruplandırılmıştır.

Dağıtım ve pazarlama amacıyla çamurların yararlı olarak kullanımı için Avrupa bulunan ülkelerde ve Amerika'da uygulanmakta olan yönetmelikler çerçevesinde minimum standartlar getirilmiştir. Çamurların dağıtılması ve pazarlanmasında kirleticilerin kontrol edilmesi için uygulanan yönetmelikler, çamurun arazide uygulanmasında kullanılanlarla benzerlik göstermektedir.

Bu yönetmeliklerde ayrıca patojen mikroorganizmaların seviyelerini azaltmak amacıyla genel konularda belirtilmektedir (Filibeli 1996).

2.5.8. Arazi iyileştirme (Reklamasyon)

Tarımsal olarak kullanıma elverişli olmayan arazilerin atıksu arıtma çamurları ile desteklenerek tarımsal olarak kullanıma elverişli haline dönüştürülmeleri mümkündür, fakat bu uygulamaların maliyetleri çok yüksektir. Ağır metal içerikleri ile toksik oranları yüksek olan arıtma çamurları arazi reklamasyonunda kullanılmazlar (Filibeli 1996).

2.5.9. Çamur lagünleri

Lagünler, çamurların kurutulması, çürütülmesi, depolanması, yoğunlaştırılması, ve nihai bertarafında uygulanmakta olan sistemlerdir. Çok büyük alanlara kurulan lagünlerde çökmeden ve buharlaşmadan dolayı çamur hacimlerinde çok önemli miktarlarda azalmalar olur, çamurun katı madde içeriğinde artmalar olur.

Çevresel olarak etkilerin en az seviyelerde olmasından ve / veya işletim ve yapım kolaylıkları ile işletmesel masraflarının düşük seviyelerde olmasından dolayı çok fazla tercih edilen nihai bertaraf sistemleridir.

Pratik uygulamada lagünler, endüstrilerden gelmekte ve uygulanmakta olan kimyasal arıtım işlemlerine bağlı olarak çok çeşitli ağır metal hidroksitleri içermiş arıtma çamurlarının sularını almada ve zararsız olarak bertaraf edilmelerinde kullanılmaktadır.

Toksik karaktere sahip arıtma çamurlarının lagünlerde bertaraf edilmeleri esnasında dikkat edilmesi gerekli husus, toksik maddelerin yeraltı sularına sızmalarının yani karışmalarının önlenmesidir.

Yeraltı sularının kirlenme riski, büyük alanlara ihtiyaç duyulması ve koku problemlerine sebep olmak gibi birkaç dezavantajları olmakla beraber; işletim masrafları ile bakım maliyetlerinin düşük seviyelerde olması ayrıca arazilerin ucuz olduğu bölgelerde ilk yatırım masraflarının düşük seviyelerde olması gibi avantajları olan nihai bertaraf sistemleridir (Filibeli 1996).

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Atık çamur analizi

AOSB'den çıkan atık çamurun kimyasal analizinin yapılması ve kalorifik değerinin belirlenmesi, ek yakıt olarak kullanılıp kullanılmayacağı hususunda fikir vermesi için önemli bir analizdir. Bu nedenle hem mevcut durumda tesiste ek yakıt olarak kullanılmakta olan ağaç kabuğunun hem de arıtma çamurunun kurutma öncesi ve kurutma sonrası farklı zamanlarda ve farklı kuruluşlarda analizleri yaptırılmıştır.

Arıtma çamuru ve ağaç kabuğunun kimyasal analizi Çizelge 3.1'de, Arıtma çamurunun fiziksel ve kimyasal analizi Çizelge 3.2'de Çizelge 3.3'de ise ağır metal içerikleri belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Arıtma çamuru ve ağaç kabuğunun kimyasal analizleri

ORJİNAL BAZDA (%77,81 NEMLİ)						
Kaba Analiz	SK	UM	Kül	Nem	ÜID	AID
	%				cal/g	
Arıtma Çamuru	1,39	13,41	7,39	77,81	617	142
Ağaç Kabuğu	12,84	42,46	4,83	39,87	2732	2351
KURU BAZDA (%2,26 NEMLİ)						
Kaba Analiz	SK	UM	Kül	Nem	ÜID	AID
	%				cal/g	
Arıtma Çamuru	6,25	60,44	33,31	0	3443	3199
Ağaç Kabuğu	21,36	70,62	8,03	0	4544	4275

Çizelge 3.1'de verilen SK sabit karbonu, UM uçucu maddeyi, ÜID üst ısıl değeri ve AID alt ısıl değeri ifade etmektedir.

Nemli artıma çamurunun ve ağaç kabuğunun kalorifik değerlerine bakıldığında, yüksek nem içeriğinin de etkisi ile atık çamurun nemli kalorifik değeri çok düşük ölçülmüştür.

Fakat arıtma çamuru içerisinde kurutularak nemi alındığında artıma çamuru kalorifik değerlerinin kayda değer oranlarda arttığı görülmektedir.

Çizelge 3.2. Numunenin Fiziksel – Kimyasal Analiz Sonuçları

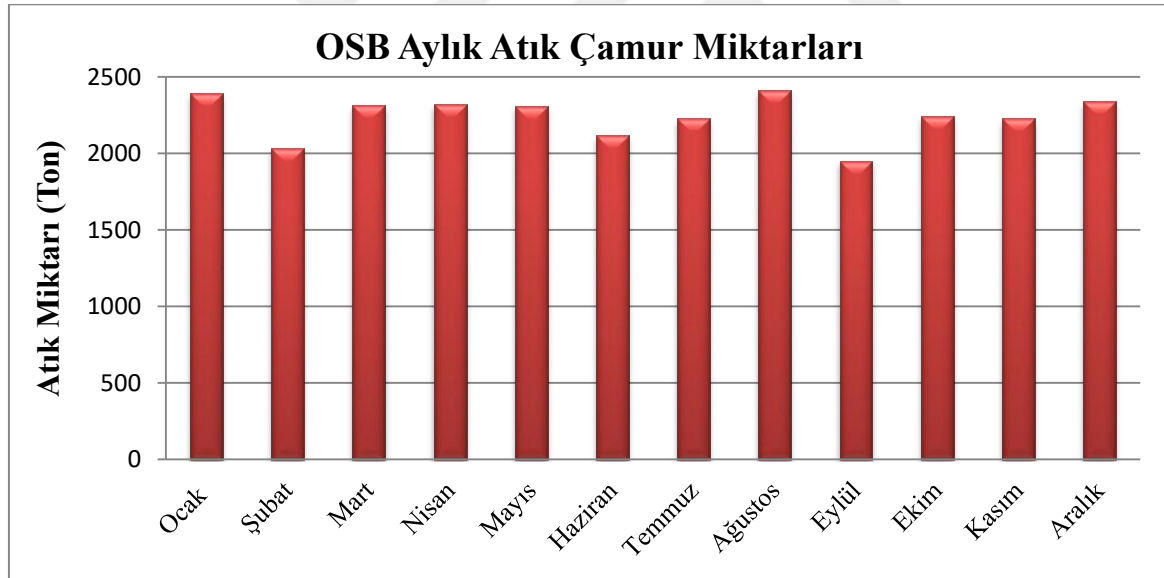
PARAMETRE	SONUÇ	ANALİZ METODU
Görünüm - Koku	Siyah - Kötü Kokulu	-
pH Değeri (Sulu Çözelti)	7,25	TS8753 EN 12176
Çözülmüş Oksijen (mg/lt)	0,25	SM 4500 OG
Nem Miktarı (% ağırlık)	52,53	TS 9646 EN 12880
Katı Madde İçeriği (% ağırlık)	47,47	TS 9646 EN 12880
Organik Madde Miktarı (% ağırlık)	27,29	TS 8336
İnorganik Madde Miktarı (% ağırlık)	20,18	TS 8336
Toplam Kükürt (% ağırlık)	4,87	ASTM 4239
Yağ Gres Tayini (g/kg)	22865 (%2,29)	ASTM D7066
Toplam Organik Karbon (mg/kg)	240023 (%24,00)	SM 5310B

Çizelge 3.2’de Fiziksel ve Kimyasal analiz sonuçlarına göre değerlere bakıldığında ‘‘Arıtma Çamuru’’ örneğinin nötral, nemli ayrıca hem organik hemde inorganik içeriğe sahip olduğu gözlenmiştir. Numunenin yapılan analizler sonucunda yüksek kalorifik değeri olmakla birlikte karbon ve kükürt içeriklerinde yüksek oranda olduğu görülmektedir. Toplam organik karbon değerinin %24,00 olması yüksek kalorifik değer sonucu ile uyumludur.

Çizelge 3.3. Numunenin ICP – MS Sonuçları (mg/kg)

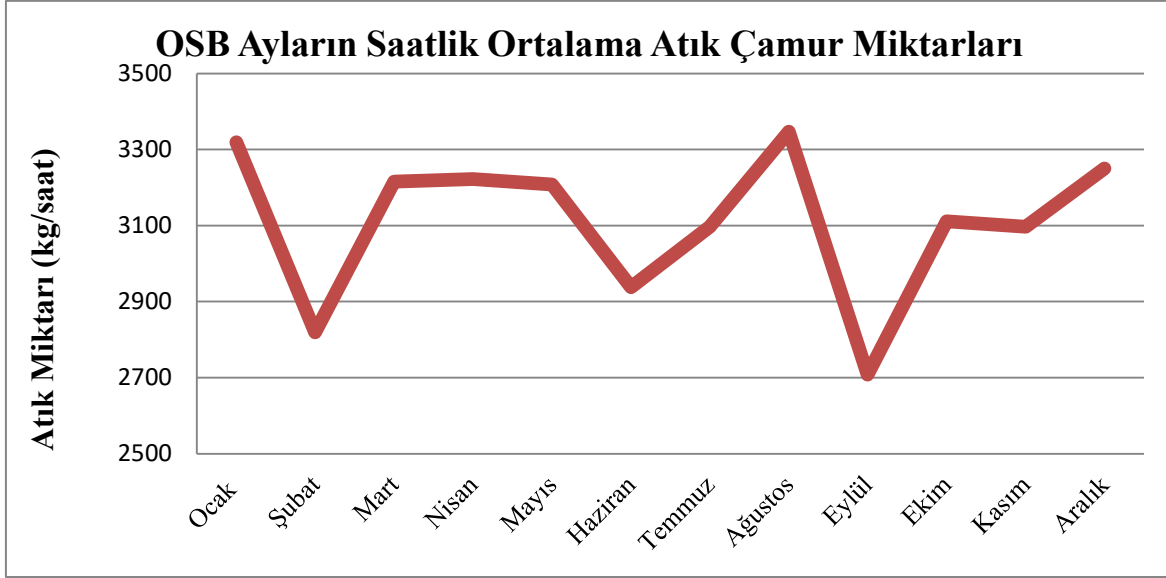
Na	Mg	Al	K	Ca	Cr	Mn
7138	4911	46043	2195	5392	266	139
Fe	Ni	Cu	Zn	Sn	Ba	
37761	313	326	6992	104	113	

Çizelge 3.3’de numunenin ağır metal içeriği gösterilmekte olup içeriğinde %4,6 alüminyum, %3,78 demir, %0,71 Sodyum, %0,70 Çinko, %0,54 kalsiyum, %0,49 magnezyum tespit edilmiştir. Diğer metaller çok daha düşük seviyelerdedir. Numune içerisinde risk içerebilecek metaller bulunmamaktadır.



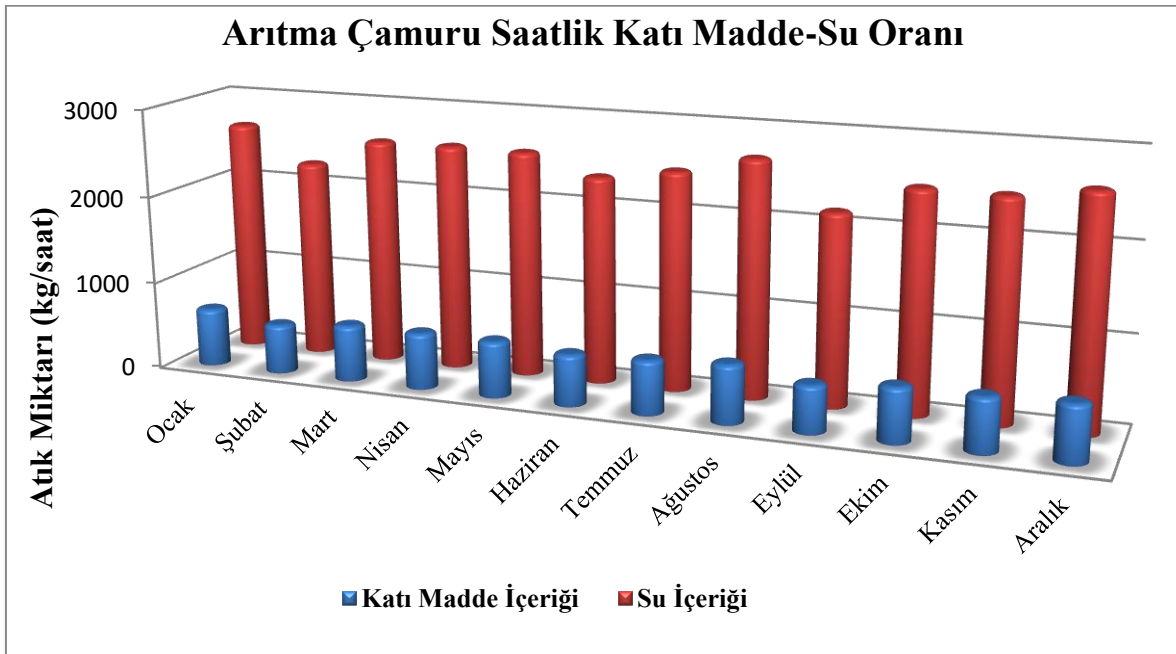
Şekil 3.1. OSB Aylık Çıkan Atık Miktarı (ton/ay)

Şekil 3.1’de Organize sanayi bölgesinde 2017 yılında meydana gelen endüstriyel atık miktarının aylara göre dağılımı gösterilmektedir. Yıl boyunca çıkan endüstriyel atıkların aylık olarak miktarları incelendiğinde yıl boyunca ortalama aylık 2240 ton olarak gerçekleştiği, yıl boyunca endüstriyel atık miktarı toplamı ise 26880 ton olarak gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 3.2. OSB Aylara Göre Ortalama Saatlik Çıkan Atık Miktarı (kg/saat)

Şekil 3.2’de Organize sanayi bölgesinde 2017 yılında meydana gelen endüstriyel atık miktarının aylara göre ortalama saatlik dağılımı gösterilmektedir. Yıl boyunca ortaya çıkan endüstriyel atıkların aylara bölümünde saatlik ortalama 3111 kg olarak gerçekleşmiştir. Burada AAT (Atıksu arıtma tesisi) 30 gün 24 saat kabulü üzerinden grafik verileri çıkarılmıştır.



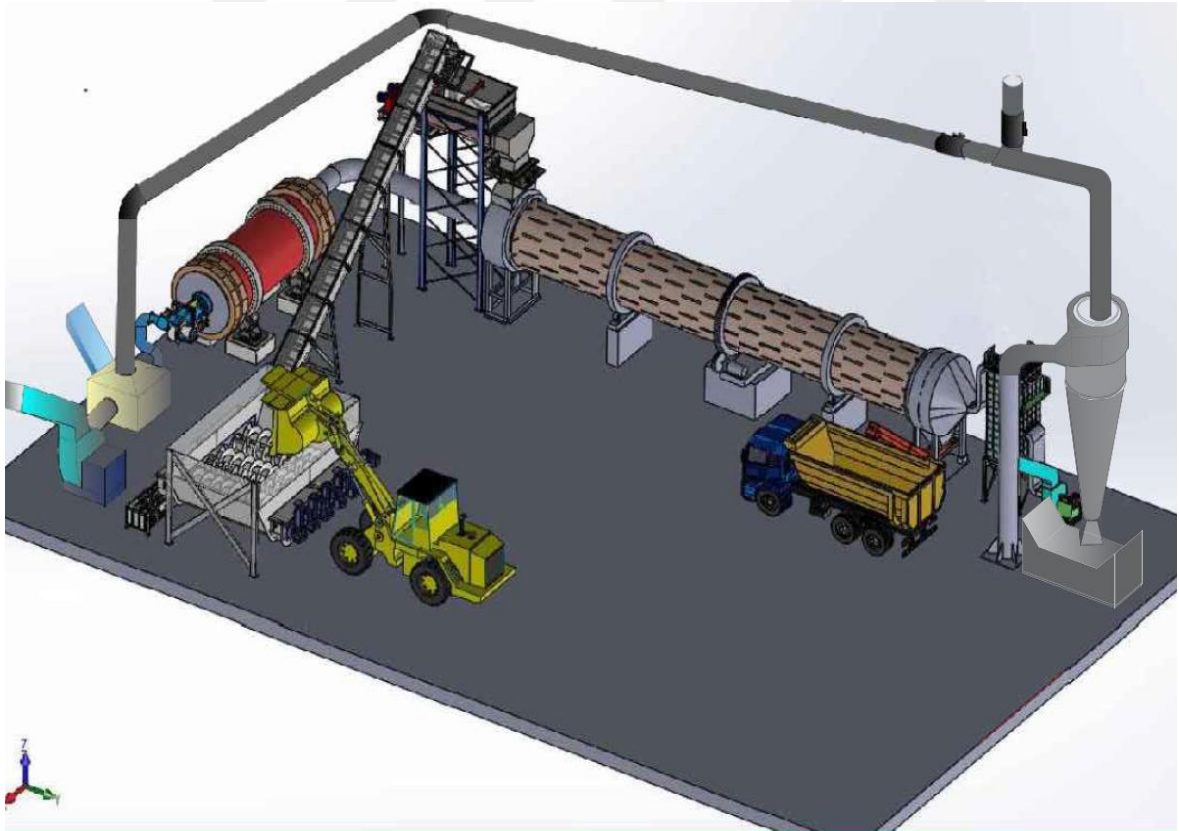
Şekil 3.3. OSB Aylar Göre Ortalama Saatlik Çıkan Katı Madde-Su Oran Miktarı (kg/saat)

Şekil 3.3’de Organize sanayi bölgesi 2017 yılında meydana gelen saatlik endüstriyel atığın içerdiği katı miktarı ile su miktarının karşılaştırılması gösterilmektedir. Yıl boyunca çıkan endüstriyel atıkların saatlik ortalama 3111 kg arıtma çamuru içerisinde 622 kg katı madde ve 2489 kg su içerdiği görülmektedir.

3.1.2 Kurutma Metodu

Dekantör girişinde % 2.2 kuruluk oranına sahip endüstriyel atık çamurunun dekantör çıkışındaki kuruluk oranı %20 olarak ölçülmüştür. Ağaç bazlı panel endüstrisi sektöründe faaliyet gösteren işletmede, atık çamurun özel hareketli ızgara dizaynına sahip kazanda ağaç kabuğu ile birlikte ek yakıt olarak kullanılabilmesi için %80 kuruluk oranına sahip olması gerekmektedir.

Kurutma yöntemi olarak döner tamburlu termal kurutma sistemi tercih edilmiştir. Tasarlana kurutma sisteminin görseli Şekil 3.4’de akış şeması gösterimi ise Şekil 3.5.’de verilmektedir.



Şekil 3.4. Döner tamburlu kurutma sistemi

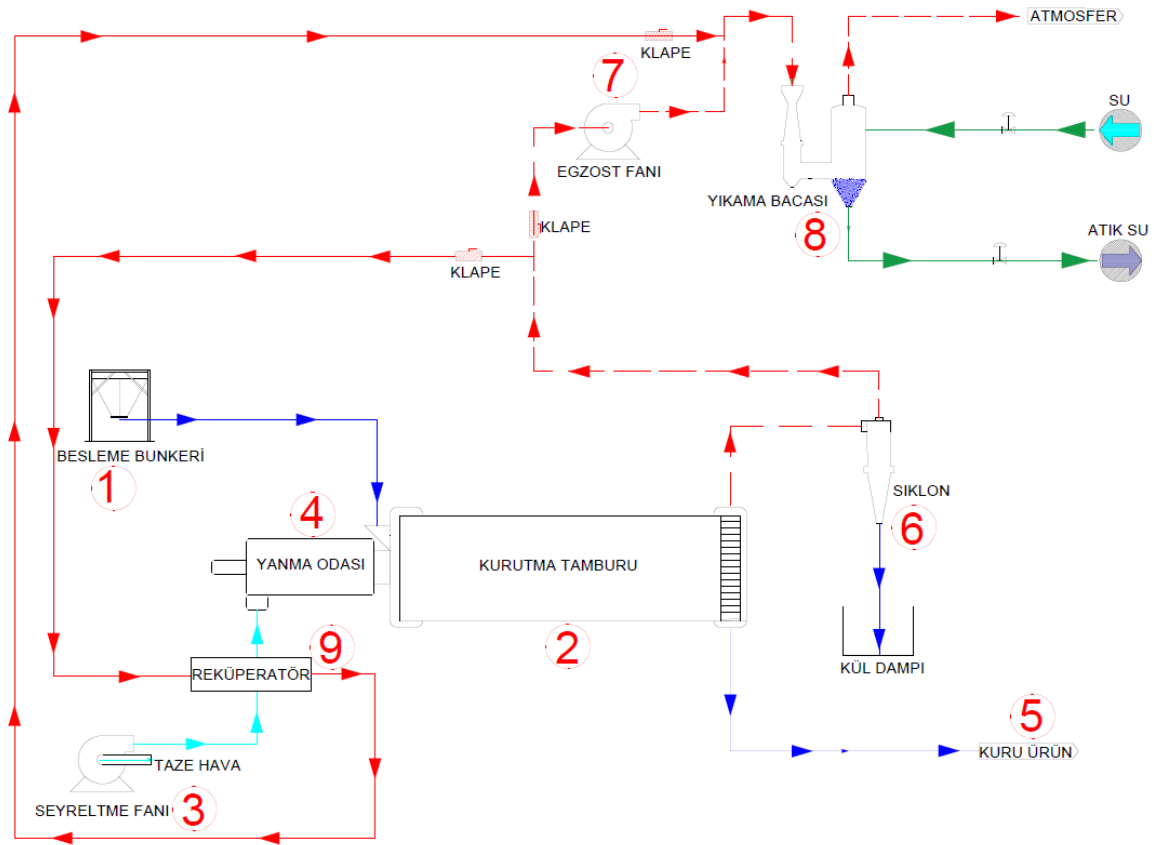
Kurutma işleminde ilk olarak Organize sanayi bölgesinden çıkan endüstriyel arıtma çamuru besleme bunkerine (1) beslenmekte ve bantlı konveyörler vasıtasıyla döner kurutucuya (2) gönderilmektedir. Atmosferden fan (3) vasıtasıyla emilen taze hava kurutma fırınından çıkan sıcak baca gazı ile reküperatörde (9) bir miktar ısıtılmaktadır. Ön ısıtma yapılmış taze hava ile yakıt karışımı brülör vasıtasıyla yanma odasında (4) yakılmakta ve oluşan sıcak gaz döner tambur içerisine %20 nemli arıtma çamurunu kurutmak üzere gönderilmektedir.

Sıcak gaz ile aynı yönlü temas eden arıtma çamurunun içerisinde bulunan su, sıcaklığın etkisi ile buharlaşmakta ve istenilen kuruluk derecesi elde edilinceye kadar devam ettirilmektedir. %3 eğime sahip döner tamburun iç kısımlarında bulunan yönlendirme kanatları vasıtasıyla arıtma çamuru taşınarak ileri doğru hareket ettirilir ve döner tambur çıkışında bulunan çıkış bunkerinden kurutma işlemine tabi olmuş ürünler (5) helezonlar vasıtasıyla kurutma sisteminden dışarı alınır.

Kurutma sonrası atık çamurun nemini ölçmek için çıkış bunkerinde nem sensörleri bulunmaktadır ve bu sensörlerden elde edilen veriler ile istenilen nem elde edilinceye kadar sistem akışı ve sıcaklıkları ayarlanmaktadır.

Kurutma işlemi tamamlandığında bacadan atmosfere salınacak olan egzoz gazının öncelikle kurutma sonrasında içerisinde az miktarda da olsa kalan ağır metaller içeren küller siklondan (6) geçirilerek kül dampına alınmaktadır.

İçerisindeki artıklardan arındırılmış olan egzoz gazı sonrasında atık ısının bir kısmının geri kazanılması için reküperatöre (9) iletilmektedir. Reküperatörden çıkan ve ısısının bir kısmını atmosferden emilen taze havaya aktaran atık gaz egzoz fanı (7) tarafından emilerek zararsız hale getirilmek üzere yıkama bacasına (8) gönderilmektedir.



Şekil 3.5. Döner tamburlu kurutma sisteminin akış şeması

Kurutma sonrası elde edilen atık gazların yıkama bacasına gönderilmesinin temel nedeni bu gazların kokulu, tehlikeli madde içerebilen, insan ve çevre sağlığına olumsuz etkileri bulan gazlar olmasıdır. Bu nedenle egzoz fanı vasıtasıyla emişi yapılan atık gaz yıkama kulesi içerisinde aşağıdan yukarıya doğru geçirilirken, bu esnada yıkama kulesinin alt tarafında bulunan özel kimyasala sahip solüsyonlarda nozullar vasıtasıyla kulede üst kısımdan alt kısma doğru püskürtülmektedir.

Solüsyonun uzun süre gaz ile temas halinde olması için dolgu malzemeleri bu sistemde kullanılmaktadır. Kule içerisinde bulunan bu dolgu malzemeleri, kirli gazların çözelti ile reaksiyona girme işlemi için çok geniş bir yüzey alanı oluşturmaktadır.

Gazların akımı ile sürüklenmekte olan sıvı damlacıklar, kulenin üst bölümüne montajı yapılan damla tutucular ile bu sıvılar tutulmaktadır. İstenilen standartlar dışında olan bu gaz konsantrasyonu limit değerlerin altına indirilerek ve kokusu giderilerek standartlar dâhilinde zararsız bir şekilde atmosfere atılmaktadır.

3.2. Yöntem

Tasarlanan döner tamburlu termal kurutucuda kurutularak yakıt olarak kullanılacak olan %20 nemdeki endüstriyel arıtma çamuru hesaplanmasında öncelikle OSB'den alınmış olan yıllık ortalama atılan endüstriyel atık miktarı alınmıştır. Alınan bu atık miktarı içerisinde ort. %80 su bulunmaktadır. Bu nedenle toplam atık miktarı;

$$m_{toplam,yil} = m_{katı,yil} + m_{su,yil} \quad (1)$$

dan oluşmaktadır. $m_{toplam,yil}$ yıllık atıksu arıtma tesisinde arıtılan arıtma çamuru miktarını ifade etmektedir. Kurutma ve yakma sisteminin yıl boyunca 12 ay ve ayda 30 gün çalıştığı kabulüne dayanarak, üretilen günlük atık miktarı;

$$m_{toplam,gün} = \frac{m_{toplam,yil}}{12*30} \quad (2)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan günlük toplam kütle miktarı baz alındığında saatlik kurutulacak kütle miktarının hesaplanmasında,

$$m_{toplam,saat} = \frac{m_{toplam,gün}}{24} \quad (3)$$

eşitliğinden faydalanmıştır. Elde edilen bu endüstriyel atık çamuru içerisindeki su ve katı endüstriyel atık çamuru kütlelerinin hesaplanmasında;

$$m_{su} = m_{toplam,saat} * 0.8 \quad (4)$$

$$m_{katı} = m_{toplam,saat} - m_{su} = m_{toplam,saat} * 0.2 \quad (5)$$

formüllerinden yararlanılmıştır. Elde edilen su kütlesi miktarı buharlaşacak olan suyun aldığı ısının hesaplanmasında kullanılacak olup, suyun tamamı buharlaşmayacağı için kurutma sonrası elde edilecek %20 nemdeki endüstriyel katı çamurun su kütlesinin hesaplanması gerekmektedir.

Bu nedenle %20 nemdeki su ve endüstriyel katı atık toplam kütlelerinin hesaplanmasında;

$$m_{\%20} = \frac{m_{katı}}{(1-0.2)} \quad (6)$$

Eşitliği kullanılmıştır. Burada $m_{\%20}$ ifadesi %20 nemdeki toplam katı endüstriyel atık ve su miktarını ifade etmektedir. Döner tamburlu termal kurutucu içerisinde suyun tamamı buharlaştırılmayarak bir kısmı katı içerisinde bırakılacağından, ısı hesaplamalarında kullanılacak olan buharlaşacak su miktarı,

$$m_{su,buhar} = m_{su} - (m_{\%20} - m_{katı}) \quad (7)$$

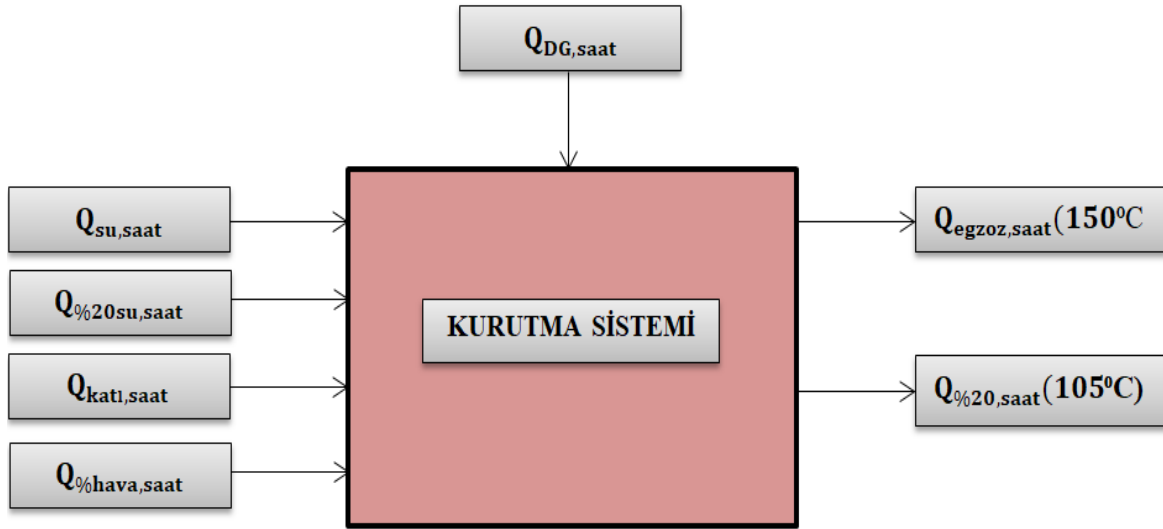
formülü ile hesaplanmıştır. Buharlaşan su miktarı ile giren toplam su kütlelerinin farkı ise katı çamur içerisinde absorbe edilen su miktarını verir. Dolayısı ile absorbe edilecek su miktarı;

$$m_{su,absorb} = m_{\%20} - m_{katı} \quad (8)$$

eşitliği ile hesaplanır. Sistem içerisinde gelen toplam atık, buharlaşacak su, istenilen nem oranı, katı atık miktarlarının tespiti, enerji hesaplamaları ve kurulacak sistemin fizibilite hesaplamaları için en önemli adımdır. Bu adımdan sonra elde edilen kütle miktarları da baz alınarak sistemin ısı yük hesaplamaları yapıp ihtiyaç duyulan sistem kapasitesi kararlaştırılacaktır.

Sisteme giren ısı aylık ortalama ortam sıcaklığında gelen ortalama %80 nemli arıtma çamurun içerisindeki suyun buharlaştırılarak sisteme giren atığın %20 nem oranına kadar kurutulması işlemidir.

Kurutma sistemine giren ve çıkan ısıların şematik gösterimi Şekil 3.5’de verilmektedir. Burada buharlaştırılacak su, ısıtılacak hava, %20 nem oranına kadar kurutulacak katı ve bu katının içinde absorbe ettiği su ile yakılan doğalgaz sistem girdisi olarak verilmekte, sistem çıktısı ise %20 kuruluk oranına sahip katı ile sıcak egzoz gazı olmaktadır.



Şekil 3.6. Kurutma sistemine giren ve çıkan ısıların şematik gösterimi

Adana aylık ortalama hava sıcaklıkları alınarak yapılan hesapta dışarıdan sisteme giren taze hava($T_{th,giriş}$) reküperatörde egzoz sisteminden çıkan($T_{ek,giriş}$) sıcak gaz ile sıcaklığı artırılarak yanma odasına reküperatörden çıkan($T_{th, çıkış}$) hava gönderilmekte olup burada reküperatör çıkış sıcaklığı;

$$\eta = \frac{T_{th, çıkış} - T_{th, giriş}}{T_{ek, giriş} - T_{ek, çıkış}} \quad (9)$$

formülü ile bulunmaktadır. Hesaplama yapılırken reküperatör verimliliği %80 alınmıştır.

Şekil 3.6.'da verilen enerji dengesi şematik görüntüsü dikkate alındığında sisteme giren saatlik doğalgaz miktarı, toplam sisteme giren kurutulacak arıtma çamuru ve Adana aylık ortalama sıcaklık ve nem oranı dikkate alınarak reküperatörde ortam havasının ısıtarak sisteme gönderilmesi ve kurutma sisteminden çıkan egzoz ve istenilen sıcaklıktaki arıtma çamurunun enerji eşitliği;

$$Q_{DG,saat} + Q_{su,saat} + Q_{hava,saat} + Q_{katı,saat} + Q_{\%20su,saat} = Q_{egzoz} + Q_{\%20} \quad (10)$$

denklemini ifade edilir.

Burada her bir ısı değeri daha açık ifadeler ile yazıldığında denklem;

$$(m_{DG} * LHV) + (m_{su} * h_1) + (m_{hava} * h_2) + (m_{katı} * h_3) + (m_{\%20su} * h_3) = (m_{egzoz} * h_3) + (m_{\%20} * h_4) \quad (11)$$

şekline dönüşür.

Enerji dengesi denkleminde verilen giren toplam endüstriyel atığın sıcaklığından dolayı sahip olduğu enerji;

$$m_{toplam,saat} * h_1 = (m_{su,buhar} * h_{su@ort^{\circ}C}) + (m_{su,absorb} * h_{su@ort^{\circ}C}) + (m_{katı} * h_{katı@ort^{\circ}C}) + (m_{hava} * h_{hava@ort^{\circ}C}) \quad (12)$$

ile hesaplanır. Burada katı sıcaklığı ile reküperatöre giren hava sıcaklığı Adana için aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama bağıl nem dikkate alınmıştır.

Bu eşitlikte katı kütesinin enerji hesabının yapılmasında;

$$m_{katı} * h_{katı@ort^{\circ}C} = m_{katı} * c_{katı} * \Delta T \quad (13)$$

denkleminde de faydalanılabilir. Eşitlik içerisinde çıkan toplam egzoz enerjisinin hesabında daha hassas bir sonuç elde edebilmek için egzoz içerisindeki kızgın buhar fazındaki su ve kuru egzoz havası enerjileri ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Bu nedenle egzoz havası içerisindeki enerji miktarının hesaplanmasında;

$$m_{toplam, egzoz} * h_3 = (m_{su,buhar} * h_{su@150^{\circ}C}) + (m_{egzoz} * h_{egzoz@150^{\circ}C}) \quad (14)$$

eşitliği kullanılmıştır. Ayrıca kurutma sonrası yakıt olarak kullanılacak olan %20 nemdeki yakıtın ihtiva ettiği enerjinin hesabında karışım içerisindeki kuru katı enerjisi ve nem içerisinde absorbe edilen enerji ayrı ayrı ele alınarak daha doğru bir sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Bu durumda %20 nemdeki yakıtın ihtiva ettiği enerji;

$$m_{\%20} * h_4 = (m_{katı} * h_{katı@105^{\circ}C}) + (m_{su,absorb} * h_{su@105^{\circ}C}) \quad (15)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada katı içerisindeki enerji hesabında

$$m_{katı} * h_{katı@105^{\circ}C} = m_{katı} * c_{katı} * \Delta T \quad (16)$$

eşitliği kullanılmaktadır.

Tüm bu denklemler kullanılarak sistemin kütle ve enerji analizi yapılmış ve sistem için kurula bilecek kurutma sistemi fizibilite çalışması yapılmıştır.

Bu hesaplamalar esnasında bazı parametreler sabit kabul edilmiş olup sistem analizi boyunca yapılan kabuller Çizelge 3.4.'de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Sistem analizi boyunca yapılan kabuller

Parametre	Değer	Birim
Yıllık Endüstriyel Atık Miktarı	26880	ton/yıl
Aylık Çalışma Süresi	30	gün
Günlük Çalışma Süresi	24	saat
Endüstriyel Atık Nem Oranı	80	%
Kurutma Sonrası Atık Nem Oranı	20	%
Rekuperatör Etkinliği	80	%
Yanma Verimi	95	%
Kurutma Sistemi Isı Kaybı*	10	%
Bağıl Nem*	65,10	%
Ortam Sıcaklığı*	25,26	°C
Endüstriyel Atık Sıcaklığı	25,26	°C
Egzoz Gazı Sıcaklığı	150	°C
Kurutucu Giriş Sıcaklığı	500,34	°C
Katı Atık Öz Isısı	1,26	kJ/kg-K

*Sisteme giren toplam ısı içerisindeki oranı

*Bağıl nem yıllık ortalama alınmıştır

*Ortam sıcaklığı yıllık ortalama alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Endüstriyel atık su arıtma çamurlarının düzenli olarak depolanması ve bertaraf edilmesi için depolama ve nakliye maliyeti olmak üzere iki temel gider bulunmaktadır. Burada taşıma maliyeti endüstriyel atık su arıtma tesisinin depolama ve bertaraf bölgesine uzaklığı ile taşınacak malzeme özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Atık su arıtma çamurlarının ek yakıt olarak endüstride kullanılması için göz önünde bulundurulacak maliyetler ise; kurutma tesisi kurulum maliyeti, kurulan tesisin işletme maliyeti, kurulu güç enerji ihtiyacı maliyeti, taşıma maliyeti ile endüstriyel atık yakma maliyetidir.

Endüstriyel atık su arıtma çamurlarının ek yakıt olarak kullanımı kapsamında organize sanayi bölgesi atık su arıtma çamurlarının özellikleri incelenmiştir.

Tasarlanmış olan kurutma sistemi ve atık çamur değerlendirme sistemi için organize sanayi bölgesinden çıkan yıllık atık çamur miktarı göz önünde bulundurularak sistem tasarımı, enerji ihtiyacı ve ekonomik analizleri yapılmıştır.

Bu nedenle tasarlanmış olan sistem içerisinde her bölgedeki atık su çamuru kütlelerinin hesaplanması, kurutma ihtiyacı ve üretilebilecek enerji potansiyelinin yanı sıra sistemin ekonomik analizinin yapılabilmesi için de büyük önem arz etmektedir.

Yöntem başlığı altında verilen kütle denklemleri ve kabuller kullanılarak sistem içerisindeki çamur kütlelerinin hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken organize sanayi bölgesinin bulunduğu yani endüstriyel arıtma çamurunun meydana geldiği bölgenin aylık olarak sıcaklık ortalaması, bağıl nem ortalamaları dikkate alınmıştır.

Atık çamur kurutma sisteminin kütle hesaplamaları çizelgesinde görüldüğü üzere arıtma çamurunun bünyesinde bulunan su miktarı, çamur hacminin büyük kısmını oluşturduğu için kurutma sistemi sonucunda çamura ihtiva eden bu suların buharlaşması ile önemli miktarlarda hacim olarak azalma meydana gelmektedir.

Atık çamur kurutma sisteminin kütleli hesaplama sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Atık çamur kurutma sisteminin kütleli hesaplama sonuçları

Parametre	Değer	Birim
$m_{\text{toplam,yıl}}$	26880,00	ton/yıl
$m_{\text{toplam,saat}}$	3111,11	kg/saat
m_{su}	2488,89	kg
$m_{\text{katı}}$	622,22	kg
$m_{\%20}$	777,78	kg
$m_{\text{su,buhar}}$	2333,00	kg
$m_{\text{su,absorb}}$	155,56	kg
$m_{\text{DG+havtoplam,giren}}$	17840,92	kg/saat
m_{hava}	17665,74	kg/saat
$m_{\text{DG,saat}}$	191,15	kg/saat
$m_{\text{DG,saat}}$	210,06	m^3/saat

Alınan veriler ile organize sanayi bölgesinden çıkan yıllık 26880 ton endüstriyel atığın atıldığı görülmektedir.

Yıllık ortalama atık miktarı baz alınarak yapılan hesaplamalarda saatte çıkan atık su çamuru kütlesi yaklaşık 3111,11 kg olarak hesaplanmıştır ve bu çıkan saatlik atık için yapılan hesaplamalar sonucunda içerisinde toplam 2488,89 kg su ve 622,22 kg katı atık olduğu görülmüştür.

Çıkan %80 nemli bu endüstriyel atık çamurunu ek yakıt olarak kullanması düşünüldüğünde gerekli kuruluk oranına getirmek için saate 17665,74 kg hava ile 191,15 kg doğalgaza ihtiyaç duyulacağı hesaplanmıştır.

Elde edilen saatlik kütle değerleri baz alınarak birim saatte sistemde ihtiyaç duyulacak enerji miktarının hesabı yapılmıştır. Atık çamur kurutma sisteminin enerji hesaplamaları sonuçları Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Atık çamur kurutma sisteminin enerji analizi sonuçları

Parametre	Değer	Birim
$Q_{su,buhar}$	6 162 393	kJ/saat
Q_{hava}	308 222	kJ/saat
$Q_{su,absorb}$	52 158	kJ/saat
$Q_{katı}$	62 582	kJ/saat
$Q_{toplam,kullanılan}$	658 5356	kJ/saat
$Q_{kayıp}$	658 535	kJ/saat
$Q_{toplam,giren}$	7 243 892	kJ/saat

Sisteme giren endüstriyel atığın istenilen kuruluk derecesine getirilmesi için atık içerisinde bulunan suyun buharlaştırılması için saatte toplam 6 585 356 kJ/saat ısıya ihtiyaç duyulacaktır.

Hesaplanan bu değer ideal şartlarda olması gereken ısı olup, bu miktarın %10 kadar bir kısmının proses süresince kayıp ve kaçaklar ile kaybolacağı kabulüne dayanarak sistem için gerekli olan enerji miktarı toplam yaklaşık 7 243 892 kJ/saat olarak kabul edilmiştir.

Elde edilen enerji hesaplamaları baz alınarak sistemin atık su çamuru kurutma maliyeti hesabı yapılmıştır.

Atık su çamuru kurutma sisteminin maliyet analizi sonuçları Çizelge 5,3'de verilmektedir. Burada saatlik doğalgaz maliyeti ortalama 256,27 TL olarak, işletme maliyeti ortalama saatlik 93,97 TL olarak hesaplanmıştır.

İşletme maliyeti içerisinde çalıştırılan personellerin saatlik ücretleri, Endüstriyel atığın loader iş makinaları ile besleme bunkerine besleme esnasında yaktığı motorin, 156,5 kw kurulu elektrik gücüne sahip tesisin elektrik maliyeti ve arıtma çamuru tesisinden nakliye hizmetlerinin maliyetleri işletme maliyetleri içerisinde yer almaktadır.

Bu iki maliyeti toplamı bize toplam 373,07 TL toplam maliyeti vermektedir.

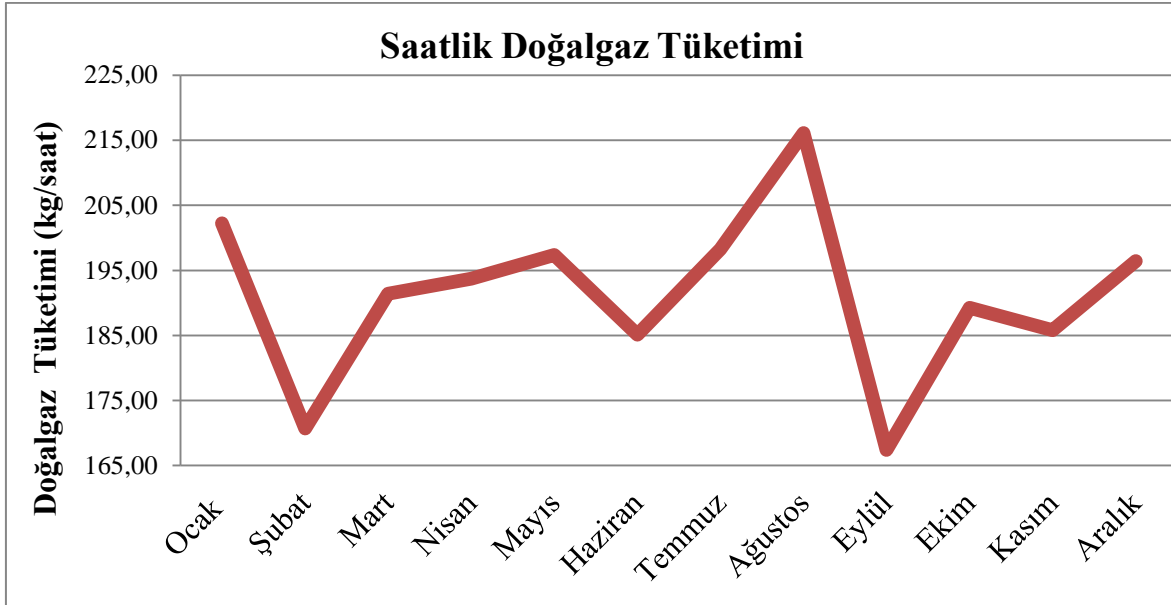
Endüstriyel atıktan elde ettiğimiz yakıt tasarrufu işletme maliyetleri çıkarılmadan saatte ortalama 582,01 TL olarak hesap edilmiş, toplam işletme ve doğalgaz yakıt maliyetleri düşüldüğünde ortalama saatte net 208,94 TL olarak kazanç elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 4.3. Atık çamur kurutma sisteminin maliyet analizi sonuçları

Parametre	Değer	Birim
DG _{maliyet,saat}	256,27	TL
İŞL _{maliyet,saat}	116,80	TL
TK _{maliyet,saat}	373,07	TL
MY _{maliyet,saat}	582,01	TL
YT _{saat}	208,94	TL
YT _{yıllık}	1 805 233	TL
YM	1 986 000	TL

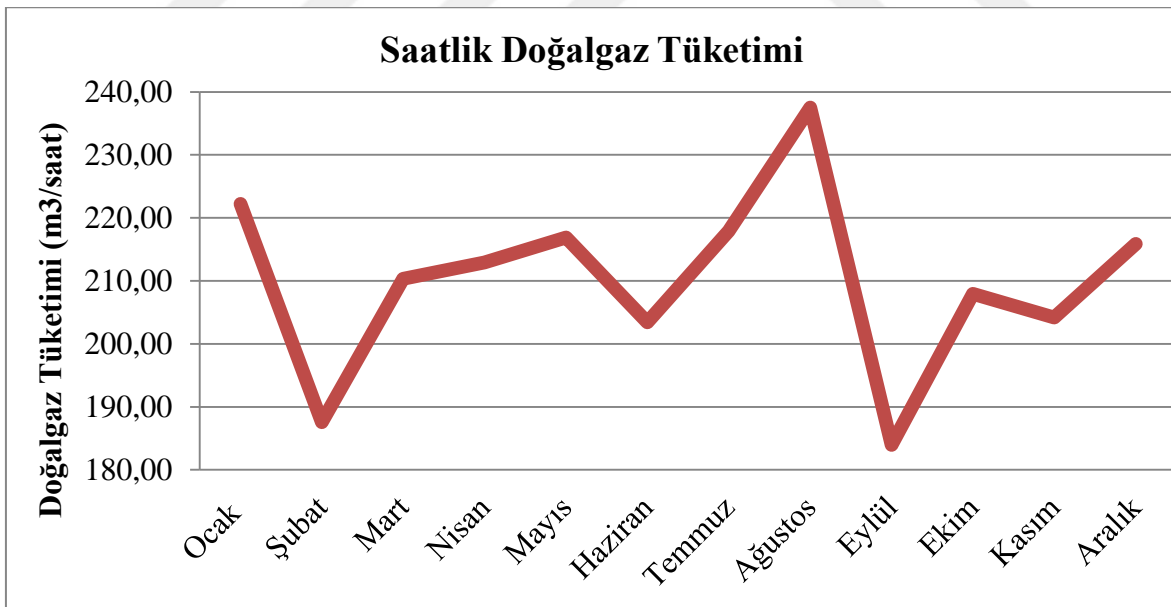
Şekil 4.1’de Organize sanayi bölgesinde meydana gelen endüstriyel atıkların %20 kuruluk oranından, %80 kuruluk oranına çıkarmak için tasarlanan kurutma sisteminin yakıt ihtiyacıdır. Arıtma çamurlarını istenilen kuruluk oranına çıkarmak için ihtiyaç duyulan doğalgaz miktarının aylara göre saatlik dağılımı şematik olarak gösterilmektedir.

Hesaplamalar sonucunda tasarlanan kurutma sisteminin yıl boyunca ihtiyacı olan yakıt miktarının aylara bölümünde saatlik ortalama doğalgaz ihtiyacı 191,15 kg/saat olarak gerçekleştiği hesaplanmıştır.



Şekil 4.1. Kurutma Sisteminin Saatlik Doğalgaz Tüketimi(kg/saat)

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere kurutma sisteminin yıl boyunca ihtiyacı olan yakıt miktarının aylara bölümünde saatlik ortalama doğalgaz ihtiyacı 210,06 m³/saat olarak hesaplanmıştır.

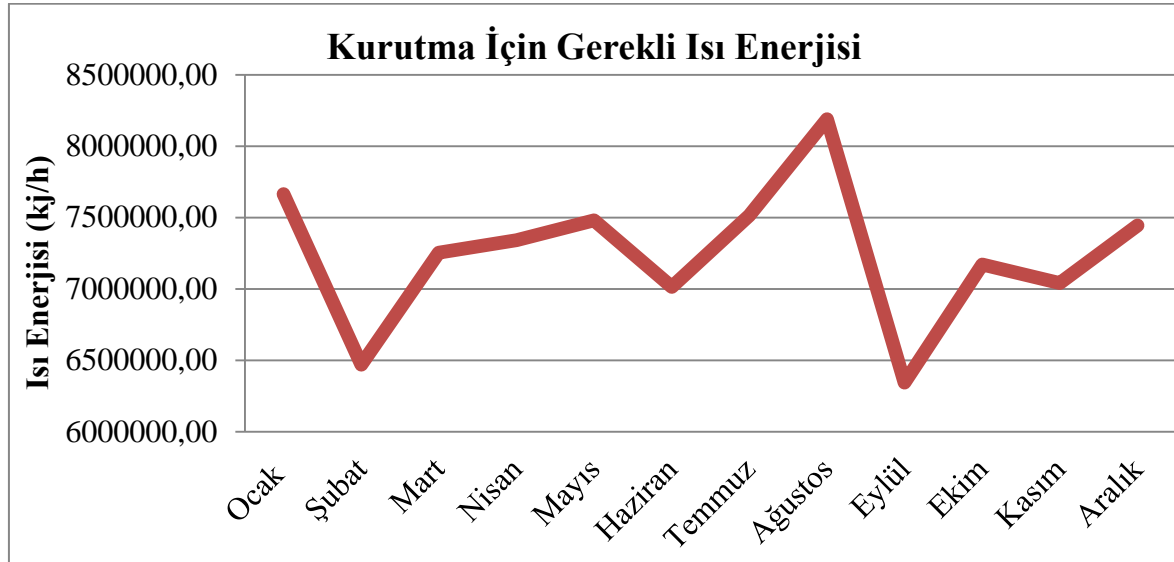


Şekil 4.2. Kurutma Sisteminin Saatlik Doğalgaz Tüketimi(m³/saat)

Şekil 4.3’de Organize sanayi bölgesinde meydana gelen endüstriyel atıkların %20 kuruluk oranından, %80 kuruluk oranına çıkarmak için tasarlanan kurutma sisteminin ihtiyacı olan

saatlik ısı enerjisi ihtiyacıdır. Arıtma çamurlarını istenilen kuruluk oranına çıkarmak için ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin aylara göre saatlik dağılımı gösterilmektedir.

Hesaplamalar sonucunda tasarlanan kurutma sisteminin yıl boyunca ihtiyacı olan ısı enerjisinin aylara bölümünde saatlik ortalama ihtiyaç 7 243 892 kj olarak gerçekleşmiştir.

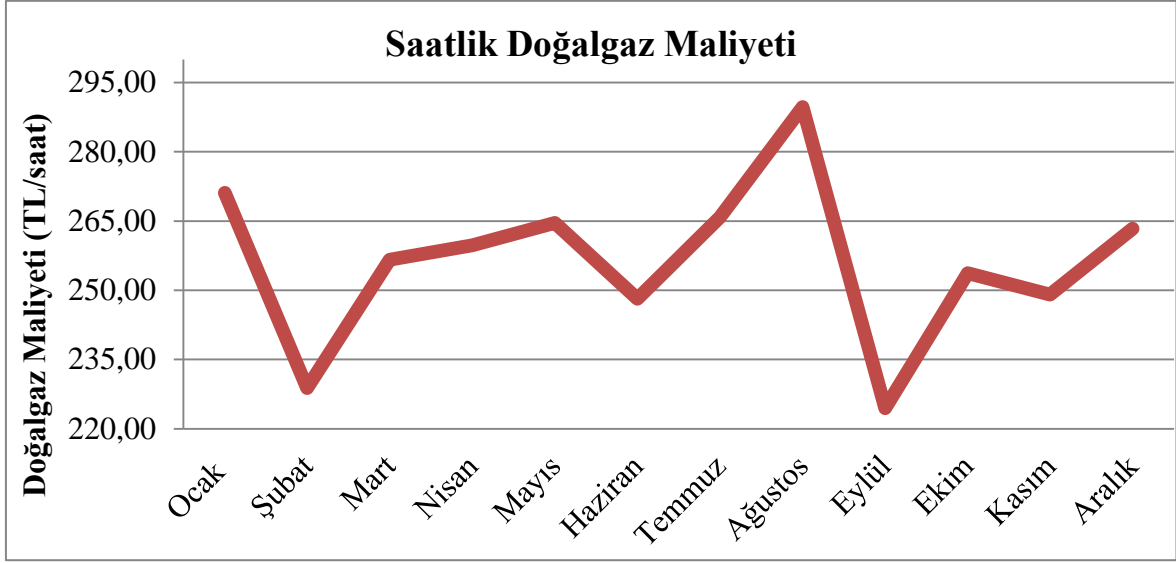


Şekil 4.3. Kurutma Sisteminin Saatlik Isı Enerjisi İhtiyacı(kj/h)

Şekil 4.4’de Organize sanayi bölgesinde meydana gelen endüstriyel atıkların %20 kuruluk oranından, %80 kuruluk oranına çıkarmak için tasarlanan kurutma sisteminin ihtiyaç duyduğu yakıtın saatlik maliyetidir.

İhtiyaç duyulan doğalgaz maliyetinin aylara göre saatlik dağılımı şematik olarak gösterilmektedir. Doğalgazın metreküp fiyatı 1,22 TL olarak alınmıştır.

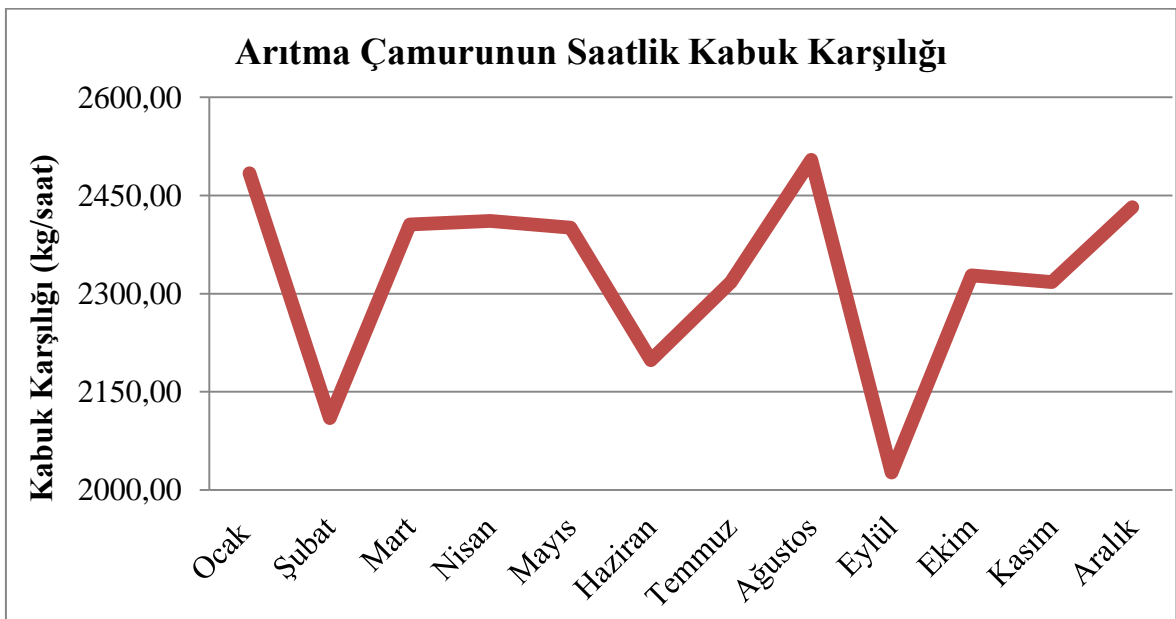
Yıl boyunca ortalama yakıt maliyetinin aylara bölümünde saatlik ortalama 256,27 TL olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. Kurutma Sisteminin Saatlik Doğalgaz Tüketimi(TL/saat)

Ağaç bazlı panel endüstrisi sektöründe faaliyet gösteren fabrikaya ait özel hareketli ızgara dizaynına sahip kazanlarda ağaç kabuğu yakılmaktadır.

Isıl analizi yaptırılan ağaç kabuğu ve artıma çamurunun ısı değerleri karşılaştırılarak saatli ağaç kabuğuna karşılık gelen arıtma çamurları miktarları Şekil 4.5. 'da verilmiştir. Hesaplamalar sonucunda yıl boyunca ortalama saatlik 2328,05 kg arıtma çamuru yakılan kabuk miktarına karşılık gelmektedir.

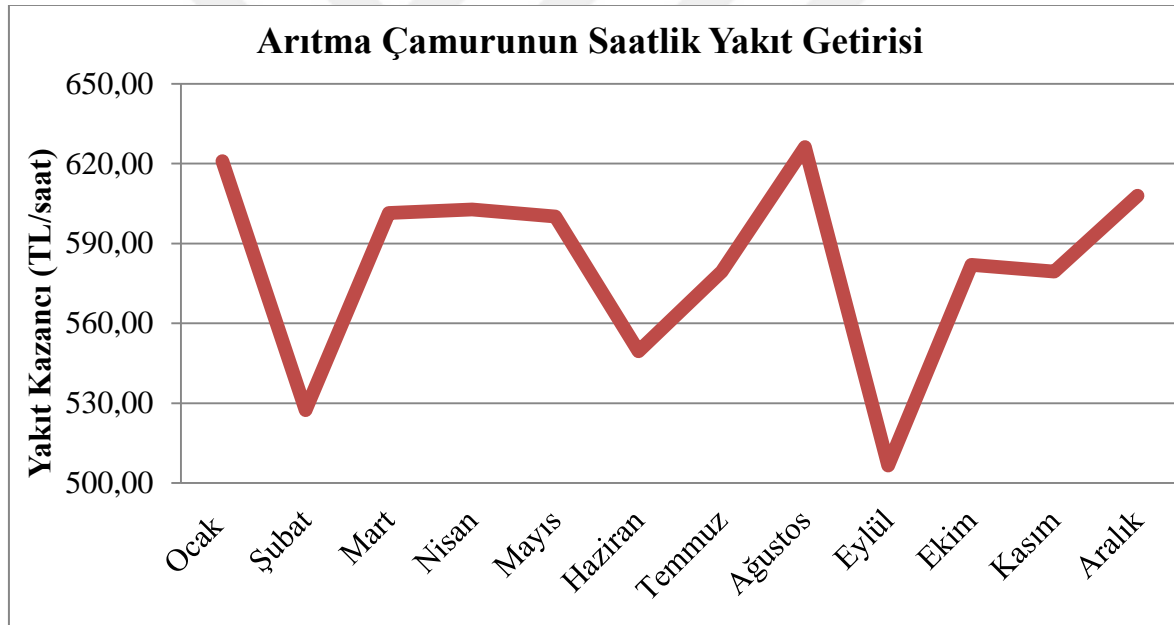


Şekil 4.5. Arıtma çamurunun saatlik kabuk karşılığı (kg/saat)

Şekil 4.6'da saatlik ağaç kabuğuna karşılık gelen arıtma çamurlarının parasal olarak getirisi verilmiştir. Hesaplamalar sonucunda yıl boyunca ortalama saatlik 582,01 TL getirisi olmaktadır.

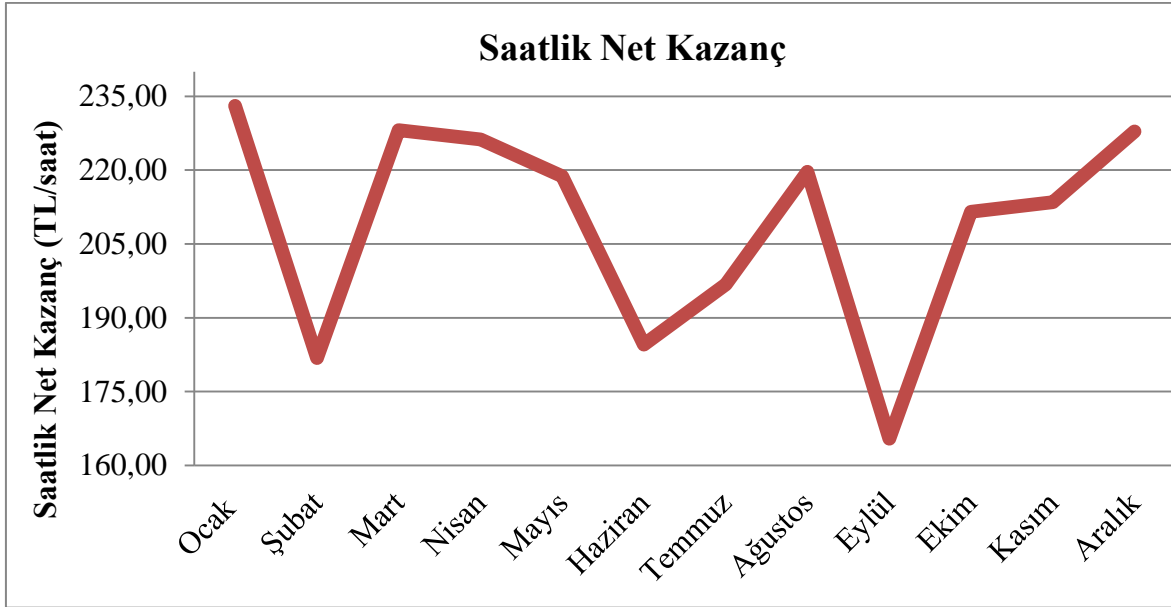
Kazanda yakılan kabuk yakıtı ağaç bazlı panel endüstrisinde kullanılan odunların dış yüzeyinde bulunan tabakaların ayrıştırılması işleminden sonra ortaya çıkmakta olup bu çıkan kabuk normal şartlar altında kazan yakıtı olarak kullanılmaktadır.

Üretimden ayrıştırılan kabuk miktarı kazan yakıtını tam olarak karşılamamakta olup eksik yakıtın dışarıdan temini esnasında bu yakıtın ton fiyatı 250 TL olarak alınmaktadır. işletme maliyet kalemleri ile kurutma maliyetleri Şekil 4.6. 'da yani saatlik ek yakıt olarak kullanılan arıtma çamuru getirisine dahil değildir.



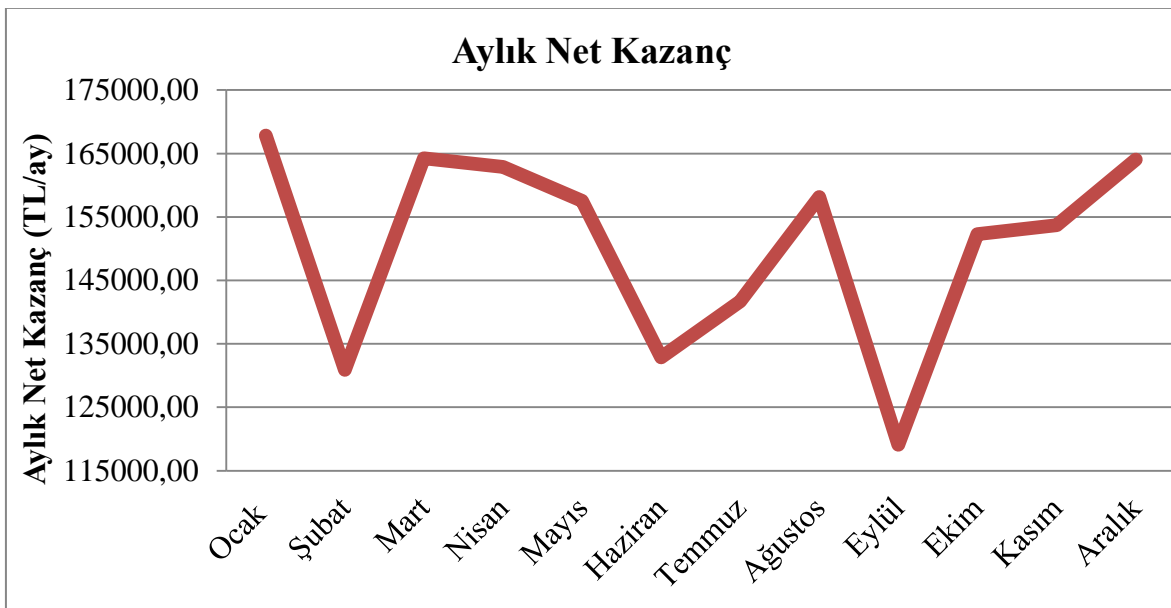
Şekil 4.6. Arıtma çamurunun saatlik yakıt getirisi (TL/saat)

Şekil 4.7'de Organize sanayi bölgesinde meydana gelen endüstriyel atıkların %20 kuruluk oranından, %80 kuruluk oranına tasarlanan kurutma sisteminin işletme maliyetleri ve doğalgaz tüketimleri çıkarıldıktan sonra hareketli ızgaralara sahip özel tasarıma sahip kazanlarda ek yakıt olarak kullanıldığında saatlik net kazancın aylara göre dağılımı verilmektedir. Yıl boyunca ortalama saatlik net kazanç 208,94 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.7. Arıtma çamurunun saatlik net kazanç grafiği (TL/saat)

Şekil 4.8’de Organize sanayi bölgesinde meydana gelen endüstriyel atıkların %20 kuruluk oranından, %80 kuruluk oranına tasarlanan kurutma sisteminin işletme maliyetleri ve doğalgaz tüketimleri çıkarıldıktan sonra hareketli ızgaralara sahip özel tasarıma sahip kazanlarda ek yakıt olarak kullanıldığında net kazanç getirisinin aylara göre dağılımı verilmektedir. Yıl boyunca ortalama aylık net kazanç 150 436 TL yıllık boyunca toplam net kazanç ise 1 805 233 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Arıtma çamurunun saatlik net kazanç grafiği (TL/saat)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sistem maliyet analiz tablosu incelendiğinde, kurutma sistemi için gerekli olan yakıtın organize sanayi bölgesinden alınıp kamyonlar vasıtasıyla kurutma tesisine getirilmesi neticesinde oluşan nakliye masrafı, bu atığın kurutulmak üzere kurutma bunkerine beslenmesi için kullanılan loader yakıt gideri ile loader operatör masrafı, kurutma tesisinin işletilmesi için gerekli personellerin giderleri ile bu tesisin ekipmanlarının tükettiği elektrik masrafı toplamı işletme maliyeti olarak düşünülmüş ve bu maliyetlerin toplamı saatlik 116,80 TL olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde kurutma işlemi için saatlik 256,27 TL tutarında doğalgaza ihtiyaç duyulacağı görülmüştür. Toplam kurutma maliyeti, her iki masraf kalemi de toplanıldığında, 373,07 TL olarak hesaplanmaktadır.

Mevcut durumda ağaç kabuğunun yakıt olarak kullanıldığı tesiste kabuk yakıtının yerine kurutulan endüstriyel atık su çamurunun yakıt olarak kullanılması durumunda saate 582,01 TL getirisi olacağı, işletme ve kurutma maliyetleri çıkarıldığında saatlik 208,94 TL yıllık ise 1 805 233 TL net kazanç elde edileceği gözlenmiştir.

Kurutma tesisi kurulum maliyetleri çeşitli firmalardan alınan teklifler neticesinde ortalama 1 986 000TL olarak belirlenmiş olup yatırımın geri dönüş süresi yaklaşık 13 ay olarak hesaplanmıştır.

Tüm bunlara ek olarak, endüstride enerji elde etmek için farklı atıkların yakıt olarak kullanılmasının sağlandığı bu çalışma ile atık su çamurlarının ek yakıt olarak kullanılması ile yakıt tasarrufu ve dolayısı ile ciddi oranlarda CO₂ salınımının azalacağı görülmektedir.

Arıtma çamurlarının yakılması sonucu kazan hareketli ızgaralardan kül koveyörlerine ve sonrasında kül damplarına alınan küller ile siklonlarda tutulan küller çimento bileşimine çok yakın değerlerde olduğundan dolayı hammadde olarak bu sektörlerde değerlendirilebilmektedir.

Egzostan çıkan gazlar MDF hattında ağaç liflerini kurutmak için kullanılan kurutuculara ait karışım odalarına yöndirilerek bu bölgelerde hava hızları ve sıcaklıkları üretim

şartlarına göre 75 °C ile 80 °C arası değerlere düşürülmekte bundan dolayı egsoz gazı içerisinde bulunan ağır metaller yoğuşturularak karışım odası altında bulunan bölgeden belirlenen periyotlarda alınarak kl damplarına gönderilmektedir.

Ayrıca atıkların düzenli depolanmasında su, hava ve toprağa verilen kirletici emisyonları da bu çamurların ek yakıt olarak kullanılması ile minimize edilebilecektir.



KAYNAKLAR

- Aanuoluwapo, O. O., & Ohis, A. C. (2017). Biomimetic strategies for climate change mitigation in the built environment. *Energy Procedia*, 105, 3868-3875.
- Abbas, T., Costen, P., Glaser, K., ve Ou J., (1992); "Combined Combustion of Biomass, Municipal Sewage Sludge and Coal in a Pulverized Fuel Plant". In *Proceedings Combined Combustion of Biomass/Sewage Sludge and Coals, Final Report EC-Research Project, APAS-Contract COAL-92-0002*.
- Abdmouleh, Z., Alammari, R. A., & Gastli, A. (2015). Review of policies encouraging renewable energy integration & best practices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 249-262.
- Abraham, S. M. (2014). *Measurement and Treatment of Nuisance Odors at Wastewater Treatment Plants (Doctoral dissertation, UCLA)*.
- Ahmed, K., Shahbaz, M., Qasim, A., & Long, W. (2015). The linkages between deforestation, energy and growth for environmental degradation in Pakistan. *Ecological Indicators*, 49, 95-103.
- Ahmetović, E., Ibrić, N., & Kravanja, Z. (2014). Optimal design for heat-integrated water-using and wastewater treatment networks. *Applied Energy*, 135, 791-808
- Akat, H., Demirkan, G.Ç., Akat, Ö., Yokaş, İ., (2015). Limonium sinuatum yetiştiriciliğinde farklı ortamlara ilave edilen atık su arıtma çamurunun süs bitkisi yetiştirme materyali karışımı olarak kullanımı. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1):81-90.
- Angın, İ. (2016). Arıtma çamurlarının stabilizasyonuna alternatif bir yaklaşım: Vermistabilizasyon. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 47(2), 123-129.
- Aşık, B. B., & Özsoy, G. (2016). The use of treated wastewater for agricultural irrigation and potential risks. *Radovi Poljoprivrednog Fakulteta Univerzitetu u Sarajevu (Works of the Faculty of Agriculture University of Sarajevo)*, 61(66 (1)), 198-203.
- Aydın S (2004). *Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçlarla Kullanımının Araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Aynur, Z. (2014). *Atıksu arıtma tesislerinde enerji verimliliğinin incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 151s, İstanbul*.
- Bedbabis, S., Trigui, D., Ahmed, C. B., Clodoveo, M. L., Camposeo, S., Vivaldi, G. A., & Rouina, B. B. (2015). Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. *Agricultural water management*, 160, 14-21.

- Bai, Y., C. Gu., T. Tao., X. Zhu., Y. Xu., Y. Shan and K. Feng. 2014. Responses of ryegrass (*Lolium perenne* L.) grown in mudflats to sewage sludge amendment. *Journal of Integrative Agriculture*, 13 (2): 426-433.
- Bedir, 2014. H. Sınıf Öğretmenlerinin Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle İlgili Algıları Üzerine Nitel Bir Çalışma. *Kara Harp Okulu Bilim Dergisi*, 24(1), 19-45.
- Belhaj, D., Jerbi, B., Medhioub, M., Zhou, J., Kallel, M., & Ayadi, H. (2016). Impact of treated urban wastewater for reuse in agriculture on crop response and soil ecotoxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(16), 15877-15887.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H. (2002) *Biyokatıların Arazide Kullanımı, Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Ankara.*
- Bilgili, M. S. (2013). *Evsel atık su arıtma tesisi çamurlarının katı atıklarla birlikte kompostlaştırılması (Doctoral dissertation, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).*
- Brattoli, M., Mazzone, A., Giua, R., Assennato, G., & de Gennaro, G. (2016). Automated collection of real-time alerts of citizens as a useful tool to continuously monitor malodorous emissions. *International journal of environmental research and public health*, 13(3), 263.
- Cebeci, N. Z. (2012). *Endüstriyel arıtma çamurlarının ozonla minimizasyonu ve bertaraf maliyetinin değerlendirilmesi (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).*
- Chen, Y., Yu, F., Liang, S., Wang, Z., Liu, Z., & Xiong, Y. (2014). Utilization of solar energy in sewage sludge composting: Fertilizer effect and application. *Waste management*, 34(11).
- Çokgör, E. U., Filibeli, A., Sanin, F. D., Erdinçler, A., İnsel, G., Ayol, A., ... and Sever, A. (2012). *Evsel/Kentsel atıksu arıtma tesislerinde çamur üretim potansiyeli: mevcut durum*, 4. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi (UKAY), 22-25.
- DuPont, C., Levitt, J., & Bilmes, L. (2015). *Green bonds and land conservation: The evolution of a new financing tool.*
- Erdinçler, A.(2011). *Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarından Enerji Elde Edilmesi*,<http://tekirdag.cevreorman.gov.tr/Tekirdag/Files/Egitimler/Calistay/Aysen%20Erdinçler%20%C3%87orlu%20Sunum%5B1%5D.pdf>,04.06.2011
- Elías-Maxil, J. A., Van Der Hoek, J. P., Hofman, J., & Rietveld, L. (2014). Energy in the urban water cycle: Actions to reduce the total expenditure of fossil fuels with emphasis on heat reclamation from urban water. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 808-820.
- Filibeli, A. (1996) "Arıtma Çamurlarının İşlenmesi", *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:255, İzmir.*

- Filibeli, A. (1997). Arıtma Çamurlarının Genel Özellikleri, İşleme ve Bertaraf yöntemleri. DEÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, 19s, İzmir.
- Filibeli, A., (2013). Arıtma Çamurlarının İşlenmesi (7. Baskı). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 255, İzmir.
- Filibeli, A. (1998) Arıtma çamurlarının işlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları No:225, ISBN 975-441-117-4, 1-25 / 71-100.
- Giungato, P., de Gennaro, G., Barbieri, P., Briguglio, S., Amodio, M., de Gennaro, L., & Lasigna, F. (2016). Improving recognition of odors in a waste management plant by using electronic noses with different technologies, gas chromatography–mass spectrometry/olfactometry and dynamic olfactometry. *Journal of Cleaner Production*, 133, 1395-1402.
- Gou, C., Yang, Z., Huang, J., Wang, H., Xu, H., & Wang, L. (2014). Effects of temperature and organic loading rate on the performance and microbial community of anaerobic co-digestion of waste activated sludge and food waste. *Chemosphere*, 105, 146-151.
- Qambrani, N. A., Rahman, M. M., Won, S., Shim, S., & Ra, C. (2017). Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 255-273.
- Qian, L., Wang, S., Xu, D., Guo, Y., Tang, X., Wang, L. (2016). Treatment of municipal sewage sludge in supercritical water: A review. *Water research.*, 89: 118-131.
- Zorlu, H., & Pehlivan, H. (2016). Arıtma çamurunun alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği. *Sakarya University Journal of Science*, 20(2), 177-184.
- Sanchez-Monedero, M. A., Mondini, C., De Nobili, M., Leita, L., & Roig, A. (2004). Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter. *Waste Management*, 24(4), 325-332.
- Hein K.R.G. ve Bemtgen J.M., (1998); "EU Clean Coal Technology-Co-Combustion of Coal and Biomass" *Fuel Processing Technology* ,54, s.159-169.
- Iwai, C.B., Ta-Oun, M., Chuasavatee, T., Boonyotha, P., (2013). Management of municipal sewage sludge by vermicomposting technology: Converting a waste into a bio fertilizer for agriculture. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 4(1): 169-174.
- İ. Kılıçarslan ve N. N. Özön, "Arıtma çamurunun incelenmesi ve maliyeti ve dünyadaki arıtma çamurunun yakarak bertarafı",%1 içinde ICS 2012, Kocaeli, 2012.
- Jenkins, D., Wanner, J. (2014). *Activated Sludge-100 Years and Counting*. IWA Publishing, Londra, İngiltere.

- Kemirtlek, A. (2013). Atık su arıtma çamurlarının çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılabilirliğinin araştırılması (Doctoral dissertation, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Keskinler B, Hız H, Kara S, Dizge N (2011). Tekirdağ İli Arıtma Çamurlarının Karakterizasyonunun ve Uygun Bertaraf Yöntemlerinin Belirlenmesi Projesi (2011)
- Krampe, J. (2013). Energy benchmarking of South Australian WWTPs. *Water Science and Technology*, 67(9), 2059-2066.
- Kelessidis, A., Stasinakis, A.S. (2012). Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste management.*, 32: 1186-1195.
- Kızılkaya, R., Hepşen Türkay, F.Ş., (2014). Vermicomposting of anaerobically digested sewage sludge with hazelnut husk and cow manure by earthworm *Eisenia foetida*. *Compost Science & Utilization*, 22: 68-82.
- Kyung, D., Kim, M., Chang, J., & Lee, W. (2015). Estimation of greenhouse gas emissions from a hybrid wastewater treatment plant. *Journal of Cleaner Production*, 95, 117-123.
- Lin, S.D., Lee, C.C. (2001). *Water and Wastewater Calculations Manual*, McGraw-Hill Inc., ISBN: 0-071-371958-0, USA.
- Lewkowska, P., Cieřlik, B., Dymerski, T., Konieczka, P., & Namieřnik, J. (2016). Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques. *Environmental research*, 151, 573-586.
- Ma, R., Hu, Z., Zhang, J., Ma, H., Jiang, L., & Ru, D. (2017). Reduction of greenhouse gases emissions during anoxic wastewater treatment by strengthening nitrite-dependent anaerobic methane oxidation process. *Bioresource technology*, 235, 211-218.
- Mamais, D., Noutsopoulos, C., Dimopoulou, A., Stasinakis, A., & Lekkas, T. D. (2015). Wastewater treatment process impact on energy savings and greenhouse gas emissions. *Water Science and Technology*, 71(2), 303-308.
- Metcalf & Eddy, (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Edition, , McGraw Hill.
- Metcalf & Eddy, (2014). *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, McGraw-Hill 4th Eds., NewYork, USA.

- Moriarty, P., & Honnery, D. (2016). Can renewable energy power the future?. *Energy Policy*, 93, 3-7.
- Namlı, A., Akça, O., Perçimli, C., Beşe, S., Gür, Ş., Arıkan, H., Eser, İ., İzci, E., Gümüşay, E., Tunca, G., Khálau, I.J., Mutafçılar, Z., Demirtaş, Ö., (2014). Evsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının solucanlar (*Eisenia fetida*) ile kompostlanması. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 2(2): 46-56.
- Niu, Z. G., Xu, S. Y., & Gong, Q. C. (2014). Health risk assessment of odors emitted from urban wastewater pump stations in Tianjin, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(17), 10349-10360.
- Nuhoğlu, A. (2012). System Design for Organic Carbon and Nutrient Removal From Sewage Based on Energy Recovery, Doktora Tezi.
- Oh, S. E., Yoon, J. Y., Gurung, A., & Kim, D. J. (2014). Evaluation of electricity generation from ultrasonic and heat/alkaline pretreatment of different sludge types using microbial fuel cells. *Bioresource technology*, 165, 21-26.
- Otero, M., Diez, C., Calvo, L. F., Garcia, A. I., & Morán, A. (2002). Analysis of the co-combustion of sewage sludge and coal by TG-MS. *Biomass and Bioenergy*, 22(4), 319-329.
- Öztürk, İ. ve T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2010. Türkiye'nin iklim değişikliği ulusal eylem planının geliştirilmesi projesi, Atık Sektörü Mevcut Durum Değerlendirilmesi Raporu, 2.Taslak-Web, Eylül 2010.
- Öztürk, İ., Dereli, R.K., Ersahin, M.E. (2015). Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği ve İyi İşletim Pratikleri. İSTAÇ Teknik Kitaplar Serisi-5, İstanbul, ISBN 978-605-63269-2-9.
- Pathak, A., Dastidar, M.G. and Sreekrishnan T.R., (2009). Bioleaching of Heavy Metals from Sewage Sludge: A Review. *Journal of Environmental Management* 90: 2343-2353.
- Patel, A. and Patra, D.D. (2014). Influence of Heavy Metal Rich Tannery Sludge on Soil Enzymes vis-à-vis Growth of *Tagetes mitula*, an Essential Oil Bearing Crop. *Chemosphere*, 112:323- 332.
- Perez CF, Madera-Parra CA, Echeverri-Sanchez AF, UrrutiaCobo N, 2015. Wastewater Reuse: impact the chemical and macronutritional attributes of an inceptisol irrigated with treated domestic wastewater. *Ingenieria y Competitividad*, Vol. 17: 19-28.
- Pintilie, L., Torres, C. M., Teodosiu, C., & Castells, F. (2016). Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study. *Journal of cleaner production*, 139, 1-14.
- Ratanatamskul, C., Wattanayommanaporn, O., & Yamamoto, K. (2015). An on-site prototype two-stage anaerobic digester for co-digestion of food waste and sewage

- sludge for biogas production from high-rise building. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 143-148.
- Rojas, J., & Zhelev, T. (2012). Energy efficiency optimisation of wastewater treatment: Study of ATAD. *Computers & Chemical Engineering*, 38, 52-63.
- Sanchez-Monedero, M. A., Mondini, C., De Nobili, M., Leita, L., & Roig, A. (2004). Land application of biosolids. Soil response to different stabilization degree of the treated organic matter. *Waste Management*, 24(4), 325-332.
- Spliethoff H., ve ark., (1996). Ber. Dtsch. Wiss.Ges. Erdoel, Eredgas Kohle, Tagungsber.
- Sortino, O., E. Montoneri., C. Patanè., R. Rosato., S. Tabasso and M. Ginepro. (2014). Benefits for agriculture and the environment from urban waste. *Science of The Total Environment*, 487:443-451.
- Tchobanoglous, G., Stensel, H.D., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu-Orf, M., Bowden, G., Pfrang, W. (2014). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*. 5. baskı, Metcalf-Eddy/Aecom, McGraw-Hill, Singapur.
- Tolkou, A. K., & Zouboulis, A. I. (2015). Effect of Climate Change in WWTPs and especially in MBR Infrastructures used for Wastewater Treatment. *Journal of Desalination and Water Treatment*, 57, 2344-2354.
- Toprak, H., (2002). "Arıtma Çamurlarının Nihai Bertaraf Yöntemleri", Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları 2, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 1-18
- Tosun, F. (2006). Çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak katı atıkların kullanımı (Doctoral dissertation, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Uçar, N. (2014). Mekanik susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının kuruma potansiyellerinin ve stabilizasyonunun fenton-fotofenton yöntemi ile iyileştirilmesi (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Uçaroğlu, S., & Alkan, U. (2016). Composting of wastewater treatment sludge with different bulking agents. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(3), 288-295.
- Us Epa (1987). Design manual dewatering wastewater municipal wastewater sludges, Office of research and development, Washington DC 20460, EPA/625/1-87-014.
- Xue, D and X. Huang. (2013). The impact of sewage sludge compost on tree peony growth and soil microbiological, and biochemical properties. *Chemosphere*, 93: 583-589.
- Werf. (2011). *Energy Management*. Alexandria, VA: Water Environment Research Foundation.

- Vantarakis, A., Paparrodopoulos, S., Kokkinos, P., Vantarakis, G., Fragou, K., & Detorakis, I. (2016). Impact on the quality of life when living close to a municipal wastewater treatment plant. *Journal of environmental and public health*, 2016.
- Varank, G, Bilgili, M.S., Sekman, E., Top, S., (2012). "Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Katı Atıklarla Birlikte Kompostlaştırılması", Bitirme Raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, İstanbul.
- Vera, L., Sun, W., Iftikhar, M., & Liu, J. (2015). LCA based comparative study of a microbial oil production starch wastewater treatment plant and its improvements with the combination of CHP system in Shandong, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 96, 1-10.
- Vesilind, P. A., & Ramsey, T. B. (1996). Effect of drying temperature on the fuel value of wastewater sludge. *Waste management & research*, 14(2), 189-196.
- Zawadzińska, A., & Salachna, P. (2014). Effect of substrates containing composts with the participation of municipal sewage sludge on flowering and macronutrient content in the leaves of garden pansy (*Viola× Wittrockiana* Gams.). *Journal of Ecological Engineering*, 15(2).
- Zaibel, I., Zilberg, D., Groisman, L., & Arnon, S. (2016). Impact of treated wastewater reuse and floods on water quality and fish health within a water reservoir in an arid climate. *Science of the Total Environment*, 559, 268-281.
- Zhou, Y., Hallis, S. A., Vitko, T., & Suffet, I. H. M. (2016). Identification, quantification and treatment of fecal odors released into the air at two wastewater treatment plants. *Journal of environmental management*, 180, 257-263.
- Zouboulis, A., & Tolkou, A. (2014). Effect of climate change in wastewater treatment plants: reviewing the problems and solutions. In *Managing water resources under climate uncertainty* (pp. 197-220). Springer, Cham.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı : Veysel Karani
 Soyadı : AHİ
 Uyuğu : T.C.
 Doğum yeri ve tarihi : ADANA / 28.07.1983
 Medeni durumu : Evli
 Telefon no : 0 (322) 394 53 08
 Faks : 0 (322) 394 53 09
 e-mail : vahi@keas.com.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2019
Lisans	Mustafa Kemal Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2005
Lise	Şehit Temel Cingöz Anadolu Lisesi	2001

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-Halen	KASTAMONU ENTEGRE A.Ş	Mekanik Bakım Mühendisi
2009-2013	ATOS MAKİNA KİMYA SAN VE TİC.	Üretim Şefi
2005-2009	SİLSAN SİLİNDİR A.Ş	Üretim Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Evsel ve Kentsel Atık Su Arıtma Çamuru Kurutma Tesisinin Tasarımı ve Ekonomik Analizi; International Congress on Engineering and Architecture (ENAR-2018)
- Evsel ve Kentsel Atık Su Arıtma Çamuru Kurutma Tesisinin Tasarımı ve Ekonomik Analizi; IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu

Hobiler

Kitap Okumak,



DİZİN**A**

Aerobik · 27, 28

Anaerobik · 13, 18, 27, 28

Arıtma çamuru · iv, ix, 12, 14, 17, 27, 38, 42

B

Biyolojik arıtma · vii, 26, 31

Ç

Çamur · viii

D

Dekantör · iv, 46

E

Enerji · 1, 2, 3, 33, 52, 66, 69

F

Fiziksel arıtma · vii, x, 24, 25

H

Hacim · xv, 14, 54

I

Isıl değeri · iv, xv, xvi, 18, 42

İ

İleri arıtma · viiK

Kimyasal arıtma · vii, x, 25, 26

Kompostlaştırma · vii, 38

O

Organize sanayi · xv, 44, 45, 46, 47, 57, 58, 59, 61, 62

P

Partikül · 17

R

Rekuperatör · 53

S

Stabilizasyon · 26, 27, 29

T

Termal · iv, 7, 17, 27, 39

U

Uçucu katı madde · 33

Y

Yakma · vii, 38

Yoğunluk · 12, 17, 24



TEKNOVERSİTE