

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ÇAMUR
YÖNETİMİ**

Veysel BOZKIR

Yüksek Lisans Tezi

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Çevre Teknolojisi Bilim Dalı

AĞUSTOS 2020

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE ÇAMUR YÖNETİMİ

Tez Yazarı

Veysel BOZKIR

Danışman

Prof. Dr. Halil HASAR

AĞUSTOS 2020

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Çamur Yönetimi
Yazarı: Veysel BOZKIR
İlk Teslim Tarihi: 16.07.2020
Savunma Tarihi: 24.08.2020

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Halil HASAR Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Başkan:	Pof. Dr. Özge HANAY Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Mahmut FIRAT İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../2020 tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Çamur Yönetimi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

24.08.2020

Veysel BOZKIR



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve birikiminden faydalandığım, tezimin tüm aşamasında ve iş hayatımda her zaman desteğini hissettiren değerli hocam ve danışmanım, Prof. Dr. Halil HASAR'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda araştırmalarımı yaptığım ve ihtiyaç duyduğum belgeleri kullanmamda yardımcı olan Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi yöneticilerine teşekkür ederim.

Bu sürece başlamamda ve sürdürmemde desteklerini eksik etmeyen Doç. Dr. Özgür ÖZDEMİR'e, ablam Dr. Çiğdem BOZKIR'a ve değerli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Veysel BOZKIR
ELAZIĞ, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	İİ
BEYAN	İİİ
ÖNSÖZ	İV
İÇİNDEKİLER	V
ÖZET.....	Vİİ
ABSTRACT	Vİİİ
ŞEKİLLER LİSTESİ	İX
TABLolar LİSTESİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	Xİ
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. ARITMA ÇAMURU	2
2.2. ÇAMUR KAYNAKLARI.....	3
2.3. ARITMA ÇAMURUNUN BİRLEŞİMİ	4
2.4. ARITMA ÇAMURUNUN ELEKTRİKSEL YÜKLERİ.....	4
2.5. ARITMA ÇAMURU STABİLİZASYONU.....	5
2.5.1. Arıtma Çamurlarının Biyolojik Stabilizasyonu.....	6
2.5.2. Arıtma Çamurunun Kireç ile Stabilizasyonu	6
2.6. ARITMA ÇAMURLARININ MİKTARI VE HESABI	6
2.7. ARITMA ÇAMURLARI YOĞUNLAŞTIRILMASI	7
2.7.1. Yoğunlaştırma	7
2.7.2. Statik Çamur Yoğunlaştırıcılar	7
2.7.3. Mekanik yoğunlaştırıcılar	8
2.7.4. Çamur Şartlandırma	10
2.8. ARITMA ÇAMURLARININ SUSUZLAŞTIRILMASI	11
2.9. ÇAMUR KURUTMA YATAKLARI	12
2.10. MEKANİK SUSUZLAŞTIRMA	13
2.11. KURUTMA	16
2.11.1. Termal Kurutma.....	17
2.11.2. Solar Kurutma	18
2.12. ÇAMURUN GÜBRE DEĞERİ.....	19
2.13. ARITMA ÇAMURUNU MEVZUATL.....	21
2.14. ARITMA ÇAMURUNDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ.....	22
3. ÇALIŞMA SAHASI	23
3.1. TESİS YERLEŞİM ALANI VE ÖZELLİKLERİ	23
3.2. MALATYA İLERİ BİYOLOJİK ATIKSU ARITMA TESİSİ	24
3.2.1. Kaba Izgara, Terfi İstasyonu ve İnce Izgara Üniteleri	26
3.2.2. Kum ve Yağ Tutucu Havuzları	26

3.2.3. A ² O Prosesi.....	27
3.2.4. Çamur Susuzlaştırma ve Depolama Üniteleri	28
3.2.5. Arıtma Tesisi Laboratuvarı	29
3.3. DEŞARJ NOKTASI.....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
4.1. İKİNCİ KADEME ARTIŞININ DEĞERLENDİRİLMESİ	30
4.2. İŞLETME VE DİZAYN ANALİZLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	30
4.3. ATILAN ÇAMUR MİKTARLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	31
4.4. KADEME ARTIŞI NÜFUSUNUN VE DEBİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	32
4.5. GELECEK KİRLİLİK YÜKLERİNİN VE KONSANTRASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	37
4.6. ÖN ÇÖKTÜRME HAVUZUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ	38
4.7. ÖN ÇÖKTÜRME HAVUZUNDA ÇÖKEN ÇAMURUN KİRLİLİK YÜKLERİNİN VE DEBİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	39
4.8. BİYOLOJİK ARITIM KISIMLARINA GİREN KİRLİLİK YÜKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	40
4.9. YOĞUNLAŞTIRILMIŞ ÇAMUR MİKTARLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	40
4.10. ARITMA ÇAMURUNDAN OLUŞAN BİYOGAZ DEĞERLENDİRİLMESİ	42
4.11. ÇAMUR KURUTMA ALTERNATİFLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	44
4.12. SOLAR ÇAMUR KURUTMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	44
4.13. TERMAL KURUTMA.....	50
4.14. BERTARAF YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	52
4.14.1 DÜZENLİ DEPOLAMA	54
4.14.2. TOPRAKTA KULLANMA.....	56
4.14.3. TERMAL BERTARAF	58
4.14.4. YAKMA	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	72

ÖZET

İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Çamur Yönetimi

Veysel BOZKIR

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2020, Sayfa: [xiii] + 71

Ülkemizde sayısı sürekli artan ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerindeki fosfor ve karbon giderimi kaynaklı proses sonucunda arıtma çamuru meydana gelmektedir. Eşdeğer nüfusu yüksek olan tesislerde, atıksu kirlilik yükleri artmakta ve her gün tonlarca çamur oluşmaktadır. Bu durum, ileri biyolojik atıksu arıtma tesislerinde çamurun doğru değerlendirilmesi ve bertarafını içeren yönetimin belirlenmesini zorunlu kılmıştır.

Tez çalışması, Malatya İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi'nin dizayn değerleri ve 2017-2018 işletme verileri dikkate alınarak hazırlanmıştır. 2017-2018 yılları arasında ortalama 99.312 m³/gün debide atıksuyun arıtıldığı ve %16-20 katı madde içeren 73 ton/gün çamurun oluştuğu arıtma tesisinin 2.kademe artışı incelenmiştir. Kademe artışıyla tesise gelecek kirlilik yükü, oluşacak ön ve son çöktürme çamur miktarları, çamurun biyogaz üretimine etkisi, çamur kurutma ve bertaraf seçenekleri değerlendirilmiştir.

2. kademeyle birlikte arıtma tesisi kapasitesinin 850.000 eşdeğer nüfusa artacağı hesap edilmiştir. Ön ve son çöktürme çamurları anaerobik çürütücülerde stabilize edilmiş ve çamurun organik kısmı azalmıştır. Çamur susuzlaştırma ünitesinden nihai olarak, %25 KM içeren 75 ton/gün çıkan çamur oluşacağı hesap edilmiştir. İnşa edilecek anaerobik çürütücülerde oluşan biyogaz ile tesisin en az %30 enerji tüketiminin biyogazdan karşılanacağı hesap edilmiştir. Çamur kurutma sistemlerinin nihai bertaraf seçeneğine göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Malatya ili özelinde sürdürülebilir yöntemler üzerinde yapılan değerlendirmede, tesiste üretilecek stabilize çamurun en ekonomik bertaraf yöntemi düzenli depolamadır. Ancak bu seçenek depolama alanının kısıtlı olması sebebiyle uygun görülmemiştir. Anaerobik stabilizasyon sonrasında solar kurutma ile toprakta kullanım uygun görülmüştür. Ayrıca termal kurutmayla $\geq$ %90 KM değerine ulaşan çamurun termal olarak da bertaraf edilebileceği değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, Arıtma, Arıtma Çamuru, Çamur Kurutma, Çamur Yönetimi, Çamur Bertarafı

ABSTRACT

Sludge Management in Advanced Biological Wastewater Treatment Plants

Veysel BOZKIR

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

August 2020, Pages: [xiii] + 71

The advanced biological wastewater treatment plants, which are constantly increasing in our country, treatment sludge has formed as a result of the phosphorus and carbon removal process. In plant with high equivalent population, wastewater pollution loads has increased and tons of sludge is produced every day. This has made it essential to identify the management that includes the reasonable assessment and disposal of sludge in advanced biological wastewater treatment plants.

This study has created with the design values and 2017-2018 operational data of the Malatya Advanced Biological Wastewater Treatment Plant. The 2. stage transition of the treatment plant, where wastewater was treated at an average flow rate of 99.312 m³ / day and 73 tons / day of sludge containing % 20 KM between the years of 2018-2017, has examined. In the stage increase has been evaluated the future pollution load of the plant, sludge amounts of the preliminary and final settling, the effect of the sludge on biogas production, sludge drying and disposal options.

It is calculated that the treatment plant capacity will increase to 850,000 equivalent population in the 2nd stage. The preliminary and secondary settling sludges has been stabilized in anaerobic digesters and the organic portion of the sludge was reduced. 75 tons / day of sludge, which contains 25% KM, will be produced in the sludge dewatering unit. Anaerobic digesters will be made and at least 30% of the energy consumption of the plant will be obtained from biogas. Sludge drying systems were evaluated according to the final disposal option. The most economical disposal method of stabilized sludge produced in the plant is landfill in the evaluation made on sustainable methods for Malatya province. However, this option was not considered suitable due to the limited storage land. Solar drying and agricultural use are suitable after anaerobic stabilization. Sludge, which reached $\geq 90\%$ KM by thermal drying, has been evaluated thermal disposal.

Keywords: Wastewater, Treatment, Sewage Sludge, Sludge Drying, Sludge Management, Sludge Disposal

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Partikül türüne göre flokuant türü (SNF FLOEGER, 2020).....	5
Şekil 2.2. Tipik bir graviteli yoğunlaştırıcının çalışma prensibi (Monroe Environmental Corporation, Monroe, MI, 2020).....	8
Şekil 2.3. Santrifüj yoğunlaştırıcı (HAUS, 2020).....	9
Şekil 2.4. Bant Yoğunlaştırıcı (HUBER, 2020)	10
Şekil 2.5. Katyonik Polielektrolit ile şartlandırılmış aktif çamur	10
Şekil 2.6. Santrifüj yoğunlaştırma	14
Şekil 2.7. Belt press çalışma şekli (RKR Makine, tarih yok)	15
Şekil 2.8. Plakalı press çalışma prensibi (AES Arıtma, 2020)	16
Şekil 2.9. Bant tipi kurutucu (HUBER, 2020).....	18
Şekil 2.10. İnce film tipi kurutucu (Ranteko, 2020)	18
Şekil 3.1. Malatya İli Kanalizasyon hatları	24
Şekil 3.2. Malatya İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi	25
Şekil 3.3. İnce Izgara	26
Şekil 3.4. Kum ve Yağ Tutucu Havuz	27
Şekil 3.5. Anaerobik ve Aerobik Havuzlar	28
Şekil 3.6. Çamur Susuzlaştırma ve Taşıma	29
Şekil 3.7. Malatya İBAAT Laboratuvarı	29
Şekil 4. 1. Aylara göre atılan çamur	32
Şekil 4.2. Karşılaştırmalı Tahmini Nüfus Grafiği	36
Şekil 4.3. Türkiye Radyasyon Global Değerleri (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2020)	45
Şekil 4.4. Malatya İBAAT Aylara Göre Radyasyon Değerleri	46
Şekil 4.5. Buharlaşma Değerleri.....	46
Şekil 4.6. Çamur Kurutma Değerleri-1	48
Şekil 4.7. Çamur Kurutma Değerleri-2	49
Şekil 4.8. İnce film kurutucu sistemi	51
Şekil 4.9. 2005-2011 arıtma çamuru kıyası (Bianchini, Pellegrini, & Saccani, 2016)	53
Şekil 4.10. Çamur Arıtımı ve Bertaraf Maliyetleri (Hall)	54
Şekil 4.11. Depolama sahası.....	55
Şekil 4.12. Arıtma çamurunun düzenli depolanmasına analiz.....	56
Şekil 4.13. %18 KM arıtma Çamuru Analizi	57
Şekil 4.14. Oda sıcaklığında kurutulmuş arıtma çamur analizi	58
Şekil 4.15. Akışkan yataklı yakma sistemi (Takahiro, ve diğerleri, 2009).....	61
Şekil 4.16. Gazifikasyon (Su ve Çevre Teknolojileri, tarih yok).....	62
Şekil 4.17. Çamur kurutma ve yakma ünitesi.....	63

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. AAT'lerinde oluşan atık katılar ve çamurların özellikleri (Metcalf, 2003)	3
Tablo 2.2. Ham ve Çürütülmüş Çamurun Tipik Kimyasal Kompozisyonu (Metcalf, 2003)	4
Tablo 2.3. Çamurun içindeki KM yüzdesine göre kalite sınıflandırılması	11
Tablo 2.4. Aktif Çamur Prosesleri Tasarım Parametreleri (htt9)	12
Tablo 2.5. Arıtma çamurları ve suni gübrelerdeki nutrient seviyelerinin karşılaştırılması (Metcalf and Eddy, 2003).	20
Tablo 2.6. Arıtma çamurlarında bulunan ağır metal değerleri (Metcalf and Eddy, 2003).	20
Tablo 2.7. Arıtma Çamuru Mevzuatları	21
Tablo 4.1. Dizayn değerleri.....	30
Tablo 4.2. 2017-2018 İşletme Değerleri	31
Tablo 4.3. Tablo fazla çamur UAKM/AKM analiz sonuçları	31
Tablo 4.4. Atılan Çamur Miktarı	32
Tablo 4.5. 2007-2018 Nüfus verileri.....	33
Tablo 4.6. Malatya Nüfus Tahminleri karşılaştırması.....	36
Tablo 4.7. Kirlilik miktarı	37
Tablo 4.8. 2.Kademe Kirlilik Yükleri	38
Tablo 4.9. Karşılaştırmalı Konsantrasyon Değerleri.....	38
Tablo 4.10. Ön çöktürme havuzu çıkışı kirlilik yükleri ve konsantrasyonları	39
Tablo 4.11. Ön çöktürme çamuru kirlilik yükleri	40
Tablo 4.12. Biyolojik arıtım yapılarına giriş debisi ve kirlilik yükleri	40
Tablo 4.13. Fosfor Giderimi ve Biyolojik Fazla Çamur Miktarı	42
Tablo 4.14. Toplam yoğunlaşmış çamur debileri.....	42
Tablo 4.15. Biogaz Tesisi Değerleri	43
Tablo 4.16. Malatya İBAAT Enerji Tüketimi.....	44
Tablo 4.17. Solar Kurutma Sistemleri Kıyası	49
Tablo 4.18. Solar Kurutma Yaklaşık Maliyet	50
Tablo 4.19. Mevcut Çamur Bertarafı Maliyeti.....	50
Tablo 4.20. İnce film kurutucu sistemi yatırım fiyat örneği - 1	52
Tablo 4.21. İnce film kurutucu sistemi yatırım fiyat örneği - 2	52
Tablo 4.22. Bant tipi çamur kurutma yatırım fiyat örneği - 3	52
Tablo 4.23. 27 Avrupa ülkesinde yıllık arıtma çamuru oluşumu ve bertaraf yolları (Environmental, Economic and Social Impacts of the Use of Sewage Sludge on Land, Final Report, Part I, 2008).....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

AAT: Atıksu Arıtma Tesisi

AÇ: Arıtma Çamuru

AKM: Askıda Katı Madde

EN: Eşdeğer Nüfus

İBAAT: İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

KM: Kuru Madde

MJ: Megajoule

OM: Organik Madde

TN: Toplam Azot

TP: Toplam Fosfor

UAKM: Uçucu Askıda Katı Madde

UKM: Uçucu Katı Madde

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

Ç: Çoğalma Katsayısı

\$: Dolar

BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı

C: Karbon

CaO: Kalsiyum Oksit

CH₄: Metan

f/m: Besin/Mikroorganizma

gr: gram

H₂: Hidrojen

H₂S: Hidrojen Sülfür

K: Potasyum

Kcal: Kilokalori

Kg: Kilogram

KOI: Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Kw: Kilowatt

Kwh: Kilowattsaat

m³: metreküp

Mg: miligram

Mj: Megajoule

N: Azot

N₂O: Nitrit

P: Fosfor

Q_{ort}: Ortalama Debi



1. GİRİŞ

Ülkemizde atıksu arıtma tesislerinin sayısı her geçen gün artmaktadır. Yasal zorunluluk ve daha iyi standartlarda arıtılmış suya ulaşmak amacıyla arıtma tesisleri ileri arıtma yöntemleriyle tasarlanabilmektedir. Tasarlanan tesisler, her türlü kirliliğe sahip atıksuları arıtabilecek niteliktedir. Buna karşın oluşan çamur, işletmeler için hala büyük bir sorun teşkil etmektedir. İlk yatırım maliyetinde yüksek yer kaplayan çamur ünitelerinin doğru tercih edilmemesi, düzgün işletilememesi ve nihai olarak çamurun bertaraf edilememesinin çevresel problemler oluşturduğu bilinmektedir. Kentsel atıksuların arıtımı sonrası elde edilen çevresel fayda, bozunma ve kokuşma eğilimi olan yüksek organik madde içerikli arıtma çamuruyla farklı bir çevresel sıkıntıya dönüşmektedir. Önlenemeyen her atık için tercih edilmesi gereken çözüm atıkları azaltmaktır. Arıtma çamurlarının azaltılması, arıtma tesislerinin tasarım kriterlerinin doğru seçilmesine önemli bir düzeyde bağlıdır. Örneğin, atıksu arıtma sistemi dizaynı çamur yaşına göre belirlenmektedir. Çamur yaşı da arıtma çamuru oluşumunu doğrudan etkilemektedir. Ülkemizdeki kentsel atıksu arıtma tesisleri, çoğunlukla ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri şeklinde inşa edilmişlerdir. Bu sistemler genellikle yüksek çamur yaşına sahip uzun havalandırmalı sistemler şeklinde olup, daha az ve stabil çamur oluşabilmektedir. Ancak kentleşmenin hızlanmasıyla birlikte uzun kanalizasyon sistemleri oluşmaktadır. Bu durumda yüksek ve çeşitli kirletici yüküne sahip kanalizasyon deşarjına yol açarak, yüksek miktarda arıtma çamuru oluşmasına sebep olmaktadır.

Çevre politikaları gereği her gün sayısı artan atıksu arıtma tesislerinin havza koruma planlarına göre arıtım parametreleri ve verimleri belirlenmektedir. Bu değerlere göre sistem dizaynı, çamur yaşı ve arıtım sonucunda oluşan çamur miktarları hesaplanabilmektedir. Oluşan çamur miktarları bertaraf seçeneklerine göre hem işletmede hem de ekonomik anlamda zorluklar meydana getirmektedir. 2002 yılında inşaatına başlanan Malatya İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesis (İBAAT) projelendirilirken, 2020 yılı için ikinci kademeye geçilmesi ve ön çöktürme havuzları, çamur çürütücü gibi yeni ünitelerin ilave edilmesi öngörülmüştür.

Bu tez çalışmasında, Malatya İBAAT işletme ve dizayn verileri incelenmiş, arıtma tesisinin 2.kademe artışıyla hizmet edeceği eşdeğer nüfus hesaplanmış ve ilave edilecek üniteler belirlenmiştir. Eklenecek çamur çürütücüden elde edilecek enerji miktarı, oluşacak nihai çamur miktarı hesaplanmış ve nihai arıtma çamuru için alternatif bertaraf yöntemleri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Arıtma Çamuru

Atıksuyun arıtılması sonucunda oluşan, kokmuş yarı katı ya da sıvı halde bulunan, arıtma işletimi ve dizaynıyla değişmekle beraber ağırlıkça % 0,25 ila % 12 arasında katı madde (KM) içeren atıklar “atıksu arıtma çamuru” olarak isimlendirilmektedir. Arıtma çamurunun, fazla hacimler kaplamasının nedeni büyük bir kısmının sudan oluşmasıdır. Atıksu arıtımında sıklıkla tercih edilen 3 ana arıtma sisteminden olan ön arıtım, ikincil arıtım veya fiziksel-kimyasal arıtmadır. Bu sistemlerinde oluşan çamurları, ön çökeltim çamurları, kimyasal çamurlar ve biyolojik çamurlar olarak sınıflandırabiliriz. Biyolojik arıtma çamuru, yüksek oranda organik madde içerdiği için bozunma eğilimi yüksektir. Arıtma çamuru ünitelerini ve bertaraf şeklini uygun şekilde tasarlamak için elde edilecek katı madde ve çamur miktarlarını, özelliklerini ve kaynaklarını bilmek gereklidir (Filibeli, Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, 1996).

Kentsel atıksuların arıtımında yaygın olarak biyolojik arıtma yönteminin tasarımının rahat olması ve yüksek verimliliği nedeniyle diğer yöntemlerden daha fazla tercih edilmektedir. Ancak, aktif çamur prosesiyle yüksek miktarlarda fazla çamur oluşmakta ve bu durumda derece ciddi bir problem oluşturmaktadır. Ayrıca, fazla miktarda atık çamur oluşumu tesisler için büyük bir ekonomik yük oluşturmaktadır (Liu, 2003). Çamurun taşınması, arıtılması ve bertarafı arıtma tesisinin işletme maliyetinin % 50-60'ını oluşturur (Horan, 1990).

Atıksu Arıtma Tesisi'ndeki çamur oluşumu, genellikle günlük eşdeğer kişi başına 35 ila 85 gr KM arasındadır (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003). Yüksek şehirleşme oranı, gelişmekte olan sanayi ve nüfus artışıyla çamuru üretimini arttırmıştır. Avrupa Komisyonu, Avrupa'da yıllık çamur üretiminin 1992 yılında 5.5 milyon ton kuru madde olduğunu belirtirken; bu 2005 yılı sonunda yaklaşık 9 milyon tona yükseldi (European Commission, 2020). Türkiye'nin kentleşmesinin artmasıyla birlikte, kanalizasyon sistemleri ve atıksu arıtma tesisleri de artmaktadır. ENVEST raporunda, Türkiye'deki toplam çamur miktarının, 2008 yılında 1.075.000 ton kuru çamur/yıl olduğunu ifade edildi (Konsorsiyumu, 2010).

Oluşan çamur için yaklaşık bir değerlendirme yapıldığında, Türkiye'de atıksu arıtma tesislerinde uygulanan farklı arıtma seviyeleri olduğuna göre oluşan çamur kişi başına 45 (gr KM/gün) miktarı kabul edilebilir. 2015 yılında toplam nüfusun yaklaşık %93.3'ü belediye hudutları içinde yaşadığına göre ve bu nüfusun %78'inin atıksuyu belirli bir kademede

artıldığına göre bu nüfus yaklaşık 57 milyon olarak hesaplanabilir. Böylece, günde yaklaşık 2583 ton AÇ (yılda 943.000 ton) üretildiği tahmin edilebilir (Samsunlu, Türkiye'de Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Bertarafı, 2015).

2.2. Çamur Kaynakları

Konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinde çamur ve katı made kaynağı, prosesin tipi ve işletme metoduna bağlı olarak değişebilmekle birlikte bir proses içerisindeki ünitelere göre de farklılık göstermektedir. Atıksu arıtma tesisleri de oluşan atık ve çamur özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. AAT'lerinde oluşan atık katılar ve çamurların özellikleri (Metcalf, 2003)

Katı atık/ çamur	Özellikleri
Izgara kaynaklı atıklar	Izgaraların çubuk aralığından büyüklük organik ve inorganik maddelerin tutulmasıyla oluşur.
Kum Tutucu kaynaklı Atıklar	Yüksek hızda çökelebilmek özelliğine sahip inorganik katı maddelerden oluşmaktadır.
Ön çökeltim havuzu çamurları	Ön çökeltim çamurları genellikle organik madde içeriği yüksek, kötü kokuludur gri-kahve rengindedir. Çürütücülerde çürütülebilir.
Kimyasal çökeltim çamurları	Metal tuzlarının etkisiyle kimyasal çökeltme, sonucu oluşan arıtma çamuru koyu renkli ve çok miktarda demir içeriyorsa yüzeyi kırmızıya yakındır. Kireç çamurları ise ön çökeltim çamuru gibi gri-kahve rengidir. Kimyasal arıtma çamurları ön çökeltim çamurları gibi kötü kokulu değildir.
Aktif çamur	Kahverengi ve flok ağırlıklıdır. Koyu renk gözleniyor ise septik şartlar oluşmuş demektir. Rengi açıksa yeterince havalanmamışta olabilir. İyi koşullardaki çamurun kokusu, toprak kokusundadır. septikleşmeye meyilli bu çamur, istenmeyen kokular yayabilir. Yalnız veya ön çökeltim çamurla karıştırılarak çürütülebilir.
Damlatmalı Filtre Çamuru	Damlatmalı filtre çamuru floklu yapıda ve taze olduğu zaman nispeten kokusuzdur. Diğer çamurlara göre daha yavaş parçalanmaya uğramasına rağmen kolay çürütülebilir.
Aerobik Çürütülmüş Çamur	Çamurun rengi açık kahverengiyle koyu kahveye arasında değişebilir. Stabil olduğu için kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur kolaylıkla susuzlaştırılır.
Anaerobik Çürütülmüş Çamur	Koyu kahve-siyah renkli ve önemli miktarda gaz içerir. Kokusu hafif, sıcak katran veya yanmış lastik kokusu hissedilebilir. Zengin bahçe toprağı özelliklerindedir.
Kompostlanmış Çamur	Kompostlaştırılmış çamur, koyu kahve-siyah renklidir. Ancak kompost sırasında odun kırıntıları kullanılmışsa, rengi değişebilir. İyi kompostlanmış çamur kokusuz olup, bahçe tipi toprak şartlandırıcısı olarak ticari amaçlı kullanılabilir.
Septik Çamur	Foseptik çamuru siyah renkli olup çürütülmemesi durumunda hidrojen sülfür ve diğer gaz çıkışlarından dolayı kokusu rahatsız edici olabilir.

2.3. Arıtma Çamurunun Birleşimi

Tipik ham çamur, %60,27 karbon, % 6,51 hidrojen, % 24,89 oksijen, % 8,35 azot ve % 0 kükürt içerir. Çürütücüden sonra, değerler sırasıyla % 62.70 karbon, % 8.27 hidrojen, % 19.45 oksijen, % 7.38 azot ve % 2.22 kükürt olarak değişir (Houdkova, Boran, Ucekaj, & Elsaber, 2008). Kentsel Atıksu arıtma tesislerinden elde edilen kuru çamur içeriği, 21 MJ / kg kalori değeri olan linyit kömürün bileşimine benzerdir (Stasta, Boran, Bebar, Sthenlik, & Oral, 2006). Genel olarak, stabilize kentsel atıksu çamuru, % 30 -% 55 arası organik madde, % 3'e kadar toplam azot, % 0.7 -% 1.5 arası toplam fosfor, % 0.7 toplam potasyum içeriği, % 10 -% 20 arasında C / N oranı ve çeşitli seviyelerde ağır metal iyonları içerir (Grobelaç & Jaskulak, 2019). Her ne kadar bu değerler tipik tarımsal kullanımda (% 5 azot, % 10 fosfor ve % 10 potasyum) gübrelere kıyasla daha düşük olsa da, çamur iyi bitki gelişimi için yeterli besin sağlar (Metcalf, 2003). Tablo 2.2'de ham ve çürütülmüş çamur bileşimleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Ham ve Çürütülmüş Çamurun Tipik Kimyasal Kompozisyonu (Metcalf, 2003)

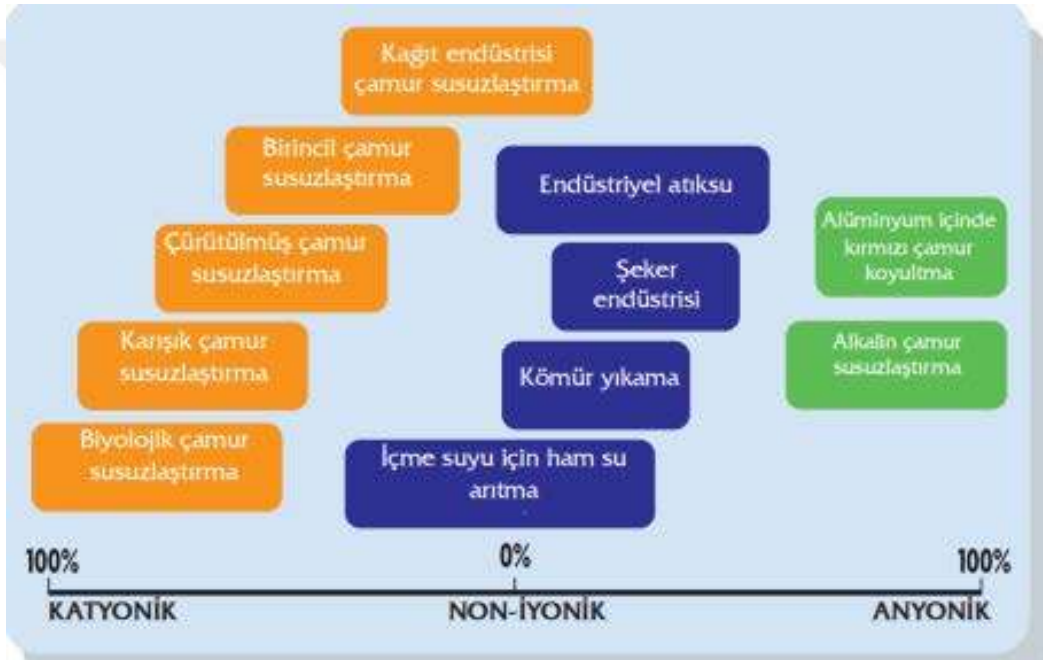
Parametre	Ham ön çökeltim çamuru		Çürütülmüş ön çökeltim çamuru		Aktif Çamur
	Aralıklar	Standart	Aralıklar	Standart	Aralıklar
KM'nin % olarak					
Kuru madde (KM)	5-9	6	2-5	4	0.8-1.2
Uçucu katı madde	60-80	65	30-60	40	59-88
% Protein	20-30	25	15-20	18	34-4
% N	1,5-4	2,5	1,6-6	3	2.4-5
% P	0.8-2.8	1,6	1,5-4	2.5	2.8-11
pH	5-8	6	6,5-7,5	7	6,5-8,0
% Potasyum (K ₂ O)	0-1	0,4	0-3	1	0,5-0,7
% Selüloz	8-15	10	8-15	10	-
% Demir	2-4	2.5	3-8	4	-
% Silisyum	15-20	-	10-20	-	-

2.4. Arıtma Çamurunun Elektriksel Yükleri

Çamur tanecikleri üzerindeki net elektriksel yük “zeta potansiyeli” ile ölçülür. Tanecik üzerindeki yük büyük olduğu zaman yumaklaşmayı engeller ve bu çeşit çamurlar suyunu zor bırakır. Kentsel atıksu arıtma çamurlarının genellikle zeta potansiyeli “- 10 ila 20 mV”

arasındadır (Filibeli, 1998). Bu negatif yüklü taneciklerin bir arada getirebilmek için, atıksu arıtma çamurunun şartlandırılmasında katyonik esaslı polielektrolit kullanılmaktadır.

Bir flokülanın yük türü partiküllerin türüne göre seçilir. Seçim genellikle aşağıdaki şekil 2.1'e göre yapılır. Mineral partikülleri yakalamak için anyonik (-) flokülanlar, Organik partikülleri yakalamak için katyonik (+) flokülanlar. Hangi yükün daha uygun olduğunu sadece bir laboratuvar testi belirleyebilir. Yük yoğunluğu arıtılacak çamur türüne bağlıdır. Kentsel çamur için, bu yük yoğunluğu esas olarak, çamurun içindeki Organik Madde içeriğine bağlı olarak değişir. OM genel olarak uçucu katı madde (UAKM) içeriğidir. Daha fazla UAKM, daha fazla katyonik yük gerektirir (SNF FLOEGER, 2020). Partikül türüne göre flokuant türü şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Partikül türüne göre flokuant türü (SNF FLOEGER, 2020)

2.5. Arıtma Çamuru Stabilizasyonu

Çamur stabilizasyonu, AÇ' deki organik madde içeriğinin azaltılması, patojen organizmaların giderilmesi ve kötü kokunun önlenmesi amacıyla çamura uygulanan işlemlerdir (Ayol, Filibeli, Sır, & Kuzkaya, 2007).

En yaygın kullanılan stabilizasyondalar olan biyolojik stabilizasyon, aerobik çürütme, anaerobik çürütme ve kompostlaştırma yöntemlerinden oluşur. Kimyasal çamur

stabilizasyonunda ise en yaygın yöntem kireç ile stabilizasyondur (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2003; Lu, Gavala, Skiadas, Mladenovska, & Ahring, 2008).

2.5.1. Arıtma Çamurlarının Biyolojik Stabilizasyonu

Biyolojik çamur stabilizasyonu, hoş olmayan kokuları önlemek için hızla parçalanın OM'lerin konsantrasyonlarını azaltır. Anaerobik biyolojik çamur stabilizasyonu (çürütme) ile aerobik çamur stabilizasyonu arasında genellikle bir ayrım yapılır. Bu işlemler normal olarak psikrofilik, mezofilik veya termofilik sıcaklık aralıklarında gerçekleştirilir. Atıksu çamurunun çürütülmesi, çamur stabilizasyonuna, yani daha az koku emisyonuna ve biyolojik aktiviteye izin verir. Ayrıca çürütücünün, arıtma çamuru susuzlaştırma kapasitesini artırması da önemlidir. Anaerobik arıtmanın diğer bir avantajı, enerji üretimi için gaz üretmesidir. Diğer biyolojik çamur stabilizasyon yöntemleri, kompostlama ve topraklamadır. Çürütücü ile tetiklenen susuzlaştırma, çürütücünün ardından termal geri dönüşüm için avantajlıdır. Bununla birlikte, anaerobik parçalama işleminin organik madde konsantrasyonunu ve dolayısıyla çamurun kalorifik değerini düşürdüğü dezavantajdır (Wiechmann, ve diğerleri, 2013).

2.5.2. Arıtma Çamurunun Kireç ile Stabilizasyonu

Kireç stabilizasyonu, çamura kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) veya çabuk kireç, CaO) eklenerek ve böylece pH'ı 11 ya da üstüne yükselterek gerçekleştirilir. Kireç stabilizasyonunun en büyük dezavantajı geçici olmasıdır ve zamanla (gün) pH düşer (Peirce & Vesilind, 1998).

2.6. Arıtma Çamurlarının Miktarı ve Hesabı

Atıksudaki askıda madde (AKM) ile çökelmeden sonraki suyun AKM içeriği arasındaki fark, 1 litre atıksudan uzaklaştırılan çamurun mg olarak miktarını vermektedir. Bu çamur miktarı, debi ile çarpıldığında ise ilgili atıksu arıtma ünitesinden giderilen katı madde miktarı (kg/gün) hesaplamaktadır. Oluşan bu çamurun belirli bir katı madde içeriğine (%) kadar yoğunlaştırıldığı kabul edilirse, ($\text{m}^3/\text{gün}$) olarak oluşacak çamur hacmi aşağıdaki gibi belirlenmektedir (Filibeli , Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, 2013). AAT oluşan çamur miktarı karakterizasyonu, seçilen atıksu/çamur arıtma teknolojileri ve proses parametrelerine bağlı olarak değişmektedir.

$$V_{\text{ç}} (\text{m}^3/\text{gün}) = \text{TKM} (\text{kg}/\text{gün}) / (\% \text{KM} * \rho_{\text{ç}} * 1000 \text{ kg}/\text{m}^3)$$

TKM = Toplam katı madde

ρ_c = Çamurun özgül ağırlığı

V_c = Çamur Hacmi

Çamurdaki kül yüzdesi ise şöyle hesaplanır;

$$\text{Kül Yüzdesi(\%)} = \frac{\text{Katı Madde İçeriği(TKM)} - \text{Organik Madde İçeriği(VSS)} \times 100}{\text{Katı Madde İçeriği(TKM)}}$$

2.7. Arıtma Çamurları Yoğunlaştırılması

2.7.1. Yoğunlaştırma

Yoğunlaştırma, atık çamurundaki su içeriğini azaltan bir işlemdir; Böylece sadece katı çamur içeriği artmaz, aynı zamanda toplam çamur hacmi azalır. Yoğunlaştırma işlemi, KM' nin % 0,8 çamur içeriğini % 4'e arttırabilir. Bu işlem arzu edilir çünkü sonraki süreç adımlarında hem ilk yatırımı hem de işletme maliyetini azaltır. Çamur yoğunlaştırma işlemi yüksek oranda hacim azaltsa bile, çamurun fiziksel özelliği hala akışkandır. Graviteli yoğunlaştırma, flotasyon yoğunlaştırma, santrifüj yoğunlaştırma, graviteli-belt yoğunlaştırma, döner tambur yoğunlaştırma bazı yoğunlaştırma işlemlerindendir (Metcalf, 2003, McFarland, 2000).

Temel olarak iki çeşit yoğunlaştırıcı kullanılmaktadır. Bunlar statik (yoğunlaştırma havuzları) ve mekanik yoğunlaştırma sistemleridir. Bu iki sistemlerinde, yoğunlaştırmaya yardımcı madde olarak katyonik polimerler kullanılarak, KM konsantrasyonu artar ve geri devir yükünü azaltılır (Alpaslan, ve diğerleri, 2004).

2.7.2. Statik Çamur Yoğunlaştırıcılar

Bu tip yoğunlaştırıcılar, ön çökeltim ve son çökeltim çamurlarının ön yoğunlaştırmasında, stabilize edilmiş çamurlara ise son yoğunlaştırmak için uygulanmaktadır. Graviteli yoğunlaştırıcılar, biyolojik arıtma uygulayan tesislerin son çökeltim havuzlarına benzer şekilde tasarlanır ve işletilir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020).

Graviteli yoğunlaştırıcıların kenar duvarları 3-4 m yüksekliğinde ve çapları 20-35 m kadar olabilen dairesel yapılardır. Organik çamurların yoğunlaştırıldığı büyük tanklarda çamurun katı madde bekletme süresinin aşılması halinde çamurun yüzmesi ve gazlaşma problemleri ile karşılaşılır. Gaz oluşumu katı maddelerin çökmesini engeller, bu durumda çıkış suyunda AKM kaçaklarına neden olacaktır. Biyolojik aktiviteyi ve gaz oluşumunu engellemek için gerekli olması halinde klor gibi çeşitli kimyasalların ilavesi yapılabilir. Bu tip yoğunlaştırıcılarda standart

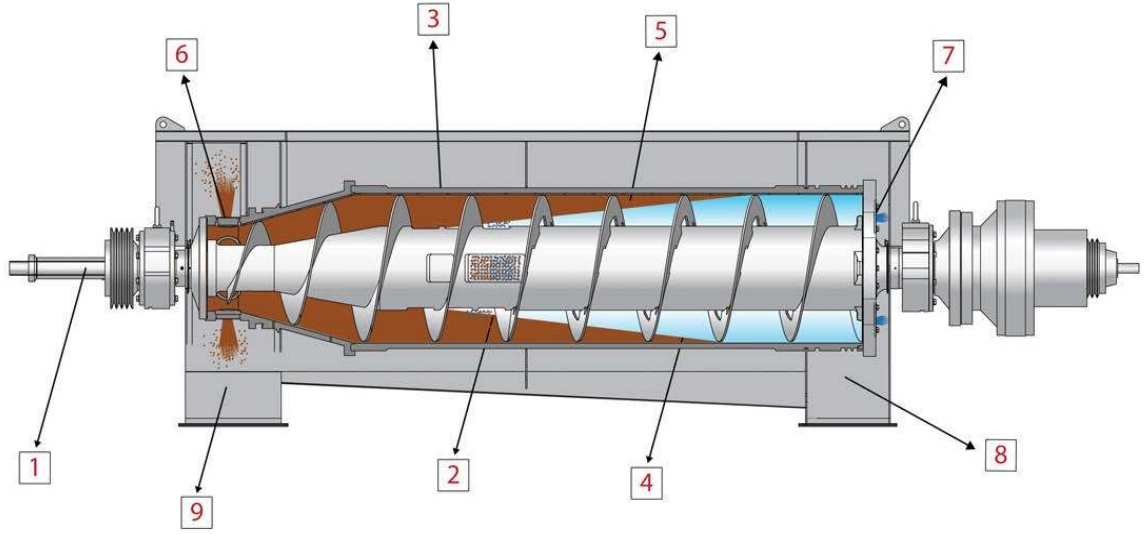
çökeltim havuzlarından daha dik eğilim verilir (Andreoli, Sperling, & Fernandes, 2007). Tipik bir yoğunlaştırıcı çalışma prensibi Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Tipik bir graviteli yoğunlaştırıcının çalışma prensibi (Monroe Environmental Corporation, Monroe, MI, 2020)

2.7.3.Mekanik yoğunlaştırıcılar

Santrifüj metodu önceki metotlardan tamamen farklıdır. Santrifüj işlemi, katı/sıvı ayrışımını yerçekimi ile zorlamak yerine merkezkaç kuvveti ile zorlamaktır. Bu kuvvet yüksek bir hızda dönen (2500-3500 rpm) bir konik-silindir hazne içinde oluşturulur. Çamur partikülleri hazneye ters yönlü olarak preslenir ve hazneden çok az daha fazla (birkaç rpm) hızla dönen bir vida ile santrifüjün dışına taşınır (SNF FLOEGER, 2020). Şekil 2.3’de santrifüj yoğunlaştırıcı çalışma prensibi verilmiştir.



1. Ürün Giriş Borusu 2. Ürün Besleme haznesi 3. Tambur 4. Helezon 5. Separasyon Haznesi 6. Katı Çıkış Burcu
7. Sıvı Çıkış Gözü 8. Sıvı Çıkış Şutu 9. Katı Çıkış Şutu

Şekil 2.3. Santrifüj yoğunlaştırıcı (HAUS, 2020)

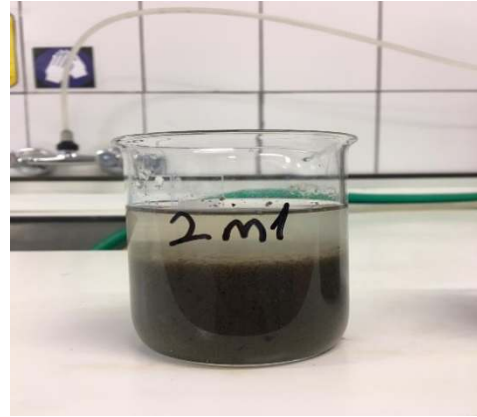
Bant ile yoğunlaştırmada; Bant üzerine serilmiş ham çamurun tamburlar arasından geçerken oluşturulan sıkma kuvvetinden faydalanılarak yoğunlaştırılması işlemidir. Bant genişliği ve uzunluğu ile kullanılan tambur yoğunlaşma kapasitesini belirler. Bant yoğunlaştırıcı Şekil 2.4’de görülmektedir.



Şekil 2.4. Bant Yoğunlaştırıcı (HUBER, 2020)

2.7.4. Çamur Şartlandırma

Şartlandırma, çamurun susuzlaştırma özelliklerini arttırmak için kimyasal veya fiziksel işlemini içerir. En çok uygulanan iki şartlandırma yöntemi, kimyasalların eklenmesi ve ısıtma işlemidir. Diğer işlemler arasında dondurma, ısıtma ve elütrasyon bulunur (United Nations, 2003). Şekil 2.5’de katyonik polielektrolit ile şartlandırılmış aktif çamur görülmektedir.



Şekil 2.5. Katyonik Polielektrolit ile şartlandırılmış aktif çamur (MASKİ, 2020)

2.8. Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırılması

Susuzlaştırma, su içeriğini ve toplam çamur hacmini azaltmak için su uzaklaştırma tekniğidir. Tipik olarak susuzlaştırma, yoğunlaştırmadan sonra gelir ve çamur artık bir sıvı olmaktan çıkmıştır. Susuzlaştırılmış çamur, bir bant konveyörü ile veya kamyonlar tarafından taşınabilir. Susuzlaştırma işleminden sonra çamur katılaştığından, nakliye ve çamur taşıma maliyetleri azalır, yakma verimliliği artar ve toprak doldurma sırasında sızıntı suyu üretim potansiyeli azalır. Tipik susuzlaştırma işlemleri, santrifüjleme ve belt filtre pressdir (Metcalf, 2003) (McFarland, 2000). Üniteye çamur %3 KM içeriğiyle girerken, ünitenin sonunda %22 KM içeriğine ulaşarak çıkar. Bu işlemde çamura kimyasal madde ilave edilir. Bu madde sayesinde çamurdaki su miktarı azaltılır. Katı madde oranı yükseltilecek çamur daha az hacim kaplar ve daha kolay taşınabilir (STS Arıtma Sistemleri, 2020). Susuzlaştırma daha fazla suyu uzaklaştırır ve "kek" olarak adlandırılan daha kuru bir malzeme çıkarır (U.S. EPA, 2000). Çamurun KM içeriği, susuzlaştırma kalitesini göstermektedir. Çamurun içindeki KM yüzdesine göre kalite sınıflandırılması Tablo 2.3 'de verilmiştir (Vigneswaran & Kandasamy, 2009).

Tablo 2.3. Çamurun içindeki KM yüzdesine göre kalite sınıflandırılması

Susuzlaştırma Kalitesi	% KM
İyi	26-30
Orta Kalite	22-26
Kötü	8-22

Çamurda bulunan suyunun alınması için, bant filtre, vakum, pres, santrifüj gibi mekanik yöntemlerle veya kurutma yataklarıyla sağlanabilir. Mekanik kurutma sistemleri, makine ve teçhizat gerektiren, kalifiye elemana ihtiyaç duyulan, ilk yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksek olan ünitelerdir. Kurutma yatakları ise inşa ve işletme kolaylığı ile mekanik sistemlere göre daha düşük yatırım ve işletme maliyetleri sebebiyle daha kolay sistemlerdir. Bun ünitelerin tek dezavantajlı tarafı fazla alana ihtiyaç göstermeleridir. İklim şartlarının uygun olduğu hallerde bu mahzur ortadan kalkmaktadır. Aktif çamur ve damlatmalı filtre arıtma tesislerinden çıkan çamurlar çürütüldükten sonra çamur kurutma yataklarına verilebilir. Aktif çamur tesislerinde çürütme öncesi tercihen çamur yoğunlaştırma uygulanmaktadır. Aktif çamurun tadil edilmiş şekillerinden biri olan uzun havalandırılmalı sistemde uzun bekletme süresi sebebiyle çamurlar stabilize olduğundan yoğunlaştırmadan sonra çamurlar çamur kurutma yataklarında serilebilir (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013). Tablo 2.4'de aktif çamur proseslerinin tasarım parametreleri görülmektedir.

Tablo 2.4. Aktif Çamur Prosesleri Tasarım Parametreleri (Engineeringnotes, 2020)

Proses tipi	Uzun Havalandırma	Değiştirilmiş Havalandırma	Tam Karışım	Temas Stabilizasyonu	Kademeli Havalandırma	Konvansiyonel
Akış rejimi	Tam Karışım	Piston	Tam Karışım	Piston	Piston	Piston
MLSS (mg/l)	3000-6000	200-500	3000-6000	1000-3000 4000-10000	2000-3000	1500-3000
MLVSS/MLSS	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
F/M(kg BOD ₅ /kg MLVSS)	0.05-0.15	1.5-5.0	0.2-0.6	0.2-0.6	0.2-0.4	0.2-0.4
Bekletme Süresi (saat)	18-36	1.5-3	3-5	0.5-1 3-6	3-5	4-8
Çamur Yaşı (gün)	20-30	0.2-0.5	5-15	5-15	5-15	5-15
Geri Devir Oranı	0.75-1.5	0.05-0.15	0.25-0.75	0.25-1	0.25-0.75	0.25-0.5
BOİ Giderimi (%)	95-98	60-75	85-95	80-90	85-95	85-95
Kg başına hava gereksinimi (m ³)	100-125	25-50	50-75	50-75	50-75	40-100

Susuzlaştırma için doğal su alma yöntemleri ve mekanik su alma olarak 2 tip yöntem vardır.

2.9. Çamur Kurutma Yatakları

Çamur kurutma yatakları özellikle çürütülmüş arıtma çamurlarının ve uzun havalandırma aktif çamur sistemlerinden üretilen çamurların susuzlaştırılması amacıyla yaygın olarak uygulanan doğal bir çamur susuzlaştırma yöntemidir. Yataklara serilen çamurun kurutulma işleminden sonra oluşan katılar düzenli depolamaya taşınabilir veya toprak iyileştirici olarak kullanılabilirler. Bu sistemlerin üstünlükleri arasında, düşük ilk yatırım maliyeti, işletme ve bakım ihtiyaçları ile kurutulmuş ürünlerdeki yüksek katı içerikleri sayılabilir. Fakat geniş alanlara ihtiyaç göstermeleri, iklim değişikliğinin kuruma özellikleri üzerindeki önemli etkisi, çamur

kekinin uzaklaştırılması sırasında insan gücüne ihtiyaç duyulması, haşere ve potansiyel koku oluşumunun gözlenmesi en önemli mahzurlarını oluşturmaktadır.

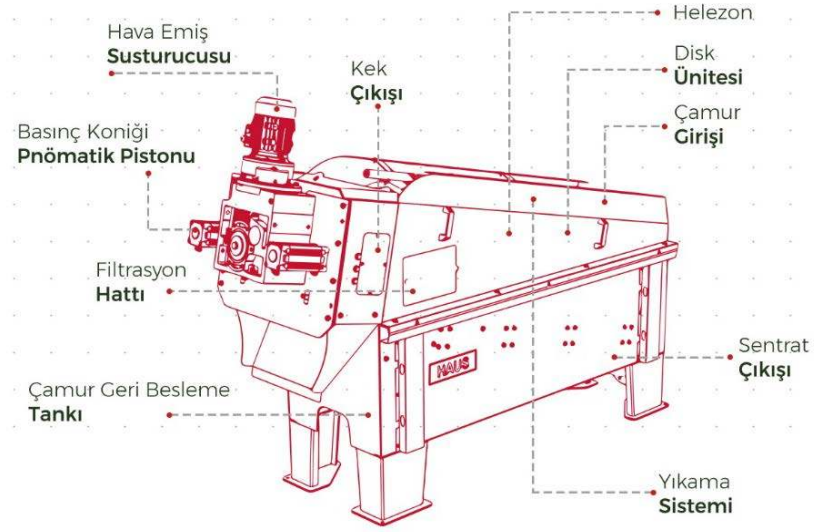
Klasik kum dolgulu çamur kurutma yatakları genellikle küçük ve orta ölçekli yerleşim yerlerinde uygulanmaktadır. Bu yatakların ilk yatırım maliyetleri, oluşan çamur keklerinin yataktan kaldırılması ve uzaklaştırılması için gerekli maliyetler, yatak içerisindeki kumun yerleştirilmesi ve büyük alanlara ihtiyaç duyulması gibi dezavantajları nedeniyle, büyük nüfuslu yerleşim yerlerinde kullanımlarını kısıtlamaktadır (Öztürk, Çallı, Arıkan, & Altınbaş, 2016).

Çamur kurutma yatakları, gözenekli filtrelere sahip ve en az iki hücre ve süzme borularından oluşabilir. Filtre yataklarında tanecik büyüklüğü üstten tabana doğru büyüyen çok katlı kum ve çakıl tabakalarından yapılır. Üstteki en ince tabaka, kurutulmuş çamur ile birlikte zamanla uzaklaşır bundan dolayı birkaç uzaklaştırma işleminden sonra yenilenmelidir. Üstteki kum tabakası 50 mm-100 mm derinliğe sahip olmalı ve daha aşağıdaki çakıl tabakası 300 mm-400 mm derinliğe sahip olmalıdır. Çakıl tabakası içerisindeki tahliye boruları asgari 80 mm anma çapına (DN) sahip olmalıdır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013).

2.10. Mekanik Susuzlaştırma

Santrifüj yoğunlaştırma ve susuzlaştırma, silindirik bir haznenin hızlı dönüşüyle katıları sıvıdan ayırmak için kullanan yüksek hızlı bir işlemdir (U.S. EPA, 1987) . Santrifüjler atıksu arıtımında 1930'lardan beri kullanılmaktadır. Çürütücü veya susuzlaştırma öncesi yoğunlaştırma, suyu uzaklaştırarak çürütücü ve depolama için gerekli olan hacmi azaltır (U.S. EPA, 2000).

Arıtma çamurundaki su ve katının merkezkaç kuvveti yardımıyla ayrılarak katı madde içeriği daha yüksek çamur elde edilmesinde kullanılırlar. Mekanik ekipman içerisine sabit debide çamur beslenen tambur yüksek devirlerde (800-3200 dev/dk) döndürülerek merkezkaç kuvvetinin oluşturulması sağlanır. Bu sayede özgül kütlesi sudan daha yüksek olan katı maddeler tambur yüzeyinde toplanır. Tambur içindeki helezon döndürülerek toplanan katı fazı dekantörün çamur çıkışına taşır (Andreoli, Sperling, & Fernandes, 2007). Periyodik aralıklarla tambur üzerine basınçlı su püskürtülerek tambur temizliği otomatik olarak sağlanır. Giriş katı madde miktarının değiştiği durumlarda basınç koniği otomatik olarak sıkıştırma oranını ayarlayarak maksimum kurulukta katı faz çıkışını sağlar ve şekil 2.6'de gösterilmiştir (HAUS, 2020).

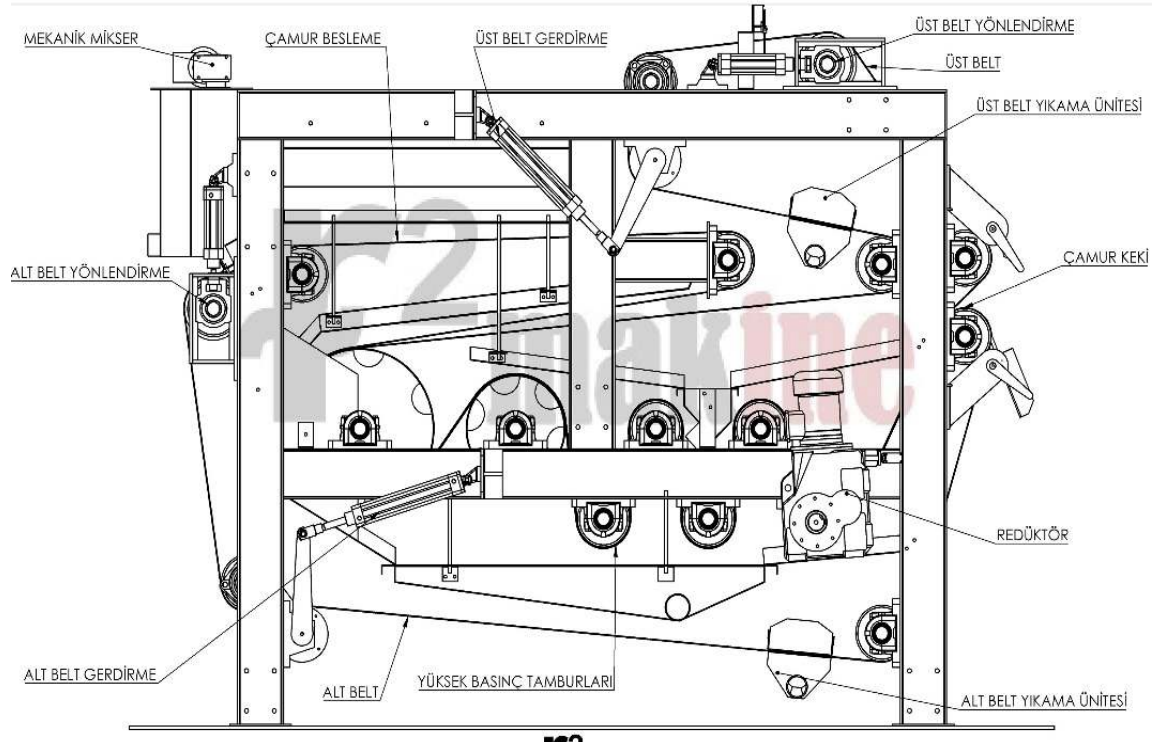


Şekil 2.6. Santrifüj yoğunlaştırma (HAUS, 2020)

Belt filtre presler; yüksek mekanik teknoloji gerektirmemesi sebebiyle günümüze kadar inşa edilen AAT' lerinde çamur susuzlaştırma ekipmanı olarak en çok tercih edilen ekipmanlar arasındadır. Katyonik polielektrolit ile kimyasal şartlandırılmış çamur, hareketli bant üzerine yerleştirilmiş merdaneler arasından geçirilerek sıkıştırılması prensibe göre çalışır. Şartlandırılmış çamur bant üzerinde hareket etmeye başlayarak yer çekimin etkisiyle suyu bırakmaya başlar ve merdaneler arasında işletme koşullarında belirlenen basınçla sıkıştırılarak suyu bırakmaya devam eder.

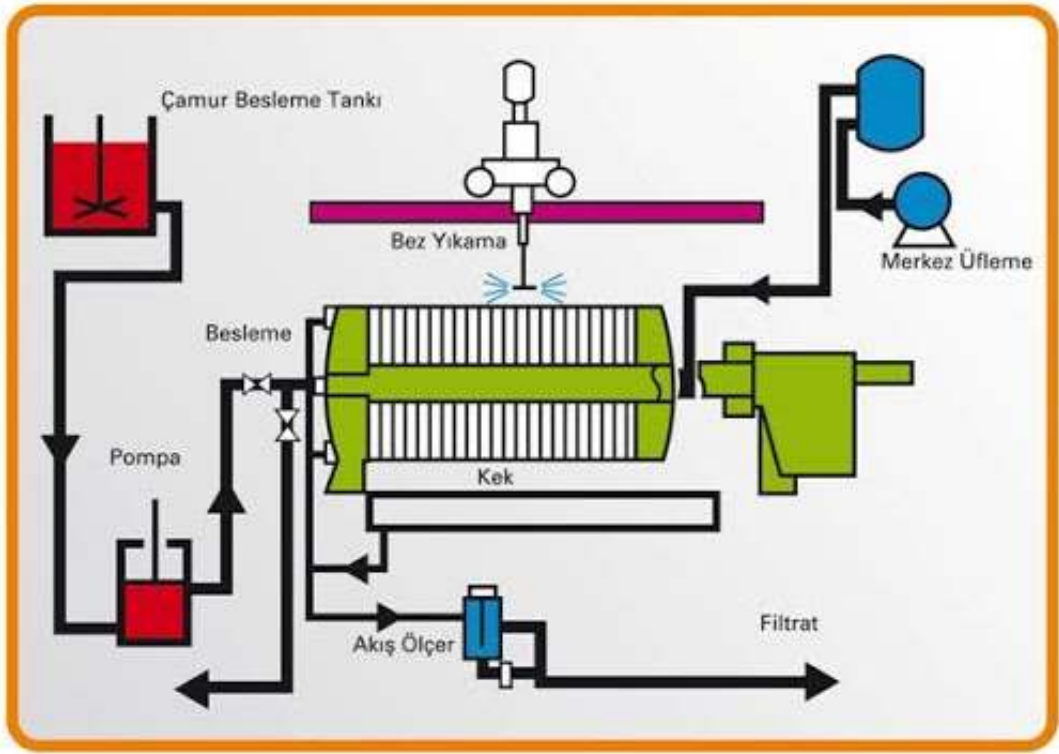
Belt filtre preslere (Şekil 2.7) giren çamur %3-4 kurulukta olup, susuzlaştırma işleminden sonra yaklaşık %18-25 arasında çıkış yapar.

BELT PRES



Şekil 2.7. Belt press çalışma şekli (RKR Makine, 2020)

Plakalı pres filtreler (Şekil 2.8), yan yana yerleştirilerek arasından su sızmasına engel olunacak mertebede sıkıştırılabilen ve içine filtre bezi konan içi boşluklu plakaların içine çamurun yüksek basınçla basılması ve bu sayede çamur suyunun filtre bezinden süzülerek çıkması, sonunda çamurun plakalar arasındaki bezin içinde kek şeklinde kalması prensibiyle çalışır. Önceleri pres filtreler demir dökümden imal edilirken, bugün plastik esaslı malzemeler kullanılabilmektedir. Böylelikle işletme esnasında plakaların açılıp kapanması kolaylaşmakta, daha iyi temizlenebilmekte ve korozyona karşı daha dayanıklı olmaktadır (Andreoli, Sperling, & Fernandes, 2007).



Şekil 2.8. Plakalı press çalışma presibi (AES Arıtma, 2020)

2.11. Kurutma

Kurutulmuş arıtma çamuru, doğrudan arıtma işleminden kaynaklanan ıslak çamura göre birtakım avantajlara sahiptir. Çamur susuzlaştırma ve kurutma aşağıdaki nedenlerle tercih edilir:

- Çamur hacminin azalması
- Depolama ve nakliye daha elverişli
- Yükleme ve dozlamaya daha uygundur
- Mikrobiyolojik stabilizasyon ve çevre sağlığı
- Yüksek Kalorifik değer

(Wiechmann, ve diğerleri, 2013).

Ayrıca sıcaklık artırıldıkça patojenlerin giderilmesi kolaylaştığı için ısı kurutma işlemlerinde çamur dezenfekte edilir. Diğer mikroorganizmalara göre direnci daha fazla olan Hepatit A virüsünün bulunduğu çamurda yapılan deneylerde çamurun ince filmli kurutucuda tamamen dezenfekte edilebildiği, güneşle kurutmada ise virüsün direnç gösterdiği görülmüştür (Romdhana, Lecomte, Ladevie, & Sablayrolles, 2009).

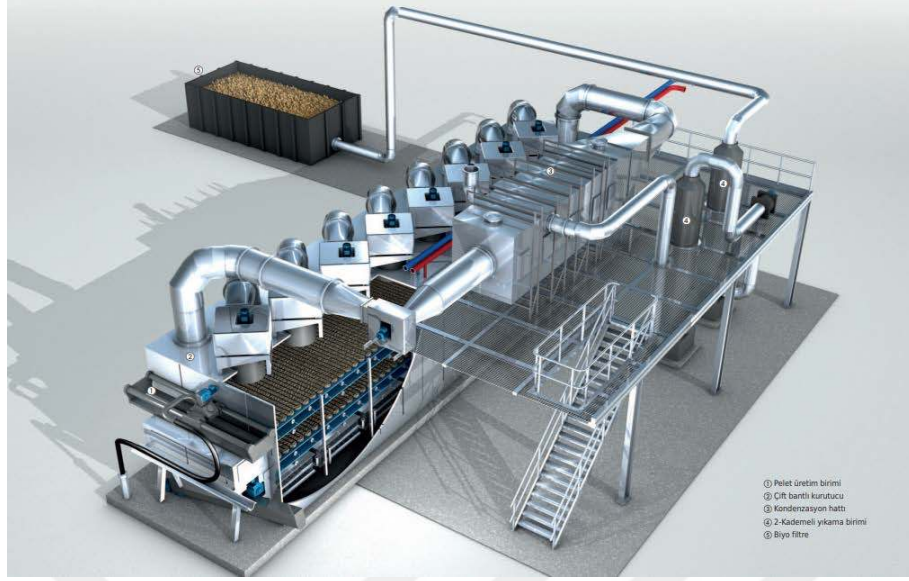
2.11.1. Termal Kurutma

Termal kurutmanın, ana işleyişi ısıtarak çamurdaki su içeriğini azaltan bir işlem olup aslında fizikokimyasal dönüşümlerin olduğu, modern ısı ve kütle transferi ile karmaşık bir süreçtir. Kurutulmuş ürün hem % 14 KM'den %92-95 KM'e ulaşır hem de stabilize olur. Kurutma, ıslak beslemeye ısı sağlayarak sıvının buharlaşmasının bir sonucu olarak ortaya çıkar (Mujumdar & Zhonghua, 2007).

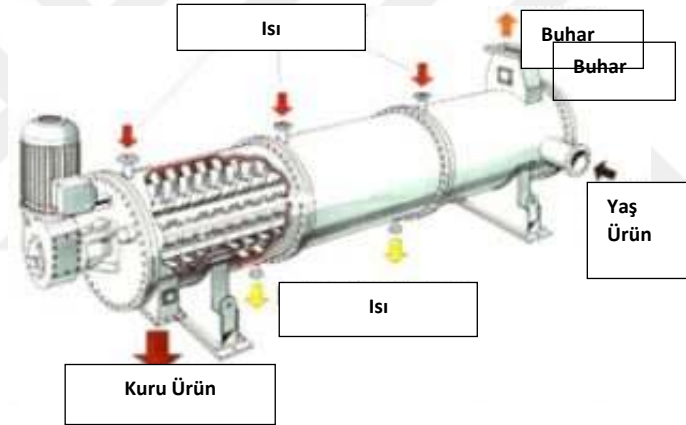
Doğrudan (direkt) kurutucular, çamurla temas eden ısı, sıcak hava veya gaz kullanır. Doğrudan kurutucunun enerji verimliliğini arttırmak için sıcak baca gazlarındaki ısının bir kısmı geri kazanılır ve yanma odasına geri verilir. Ayrıca, çamur kurutma derecesine bağlı olarak, kurutulmuş çamur gerektiğinde yeniden devir edilir. Döner tambur, hareketli bant (Şekil 2.9) ve akışkan yatak, doğrudan kurutuculara örnektir (Flaga, 2007; Fonda & Lynch , 2009).

Dolaylı (indirect) kurutucular, ısıtılmış yüzeyler çamura nüfuz ederken veya temas ettiğinde ısı enerjisini çamura iletir. Temas yüzeyini ısıtmak için farklı gaz türleri (buhar, sıcak gaz) veya sıvılar (sıcak su, yağ ve propilen glikol gibi glikol çözeltisi) kullanılır (Fonda & Lynch , 2009).

Çamur kurumasına uygulanabilen dolaylı kurutucular; paletli, disk, dikey tip kurutuculardır. Dolaylı kurutucuların avantajları arasında şunlar belirtilmelidir: koku, toz riski, hava kirliliği daha az olup, ayrıca kurutulmuş çamurun devir daimine gerek yoktur. Bu tip kurutucuların ana dezavantajı, doğrudan kurutuculardan daha az ekonomik verime sahip olmalarıdır (Oleszkiewicz, Reimers, & Suszenie Osadów ściekowych, 1998). Dolaylı kurutucular aynı zamanda sınırlı kurutma verimliliğine ve genellikle daha uzun bekletme süresine sahiptir (PGO, 2004). Sıklıkla kullanılan dolaylı kurutuculardan olan ince film tipi kurutucu Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.9. Bant tipi kurutucu (HUBER, 2020)



Şekil 2.10. İnce film tipi kurutucu (Ranteko, 2020)

2.11.2. Solar Kurutma

Güneşte kurutma, güneş radyasyonunun kullanıldığı en eski kurutma tekniklerinden biridir. Örneğin eski zamanlardan beri gıda veya gıda dışı ürünleri korumak için doğrudan güneş ışığı altında kurutulur. Güneşte kurutma, insanoğlu tarafından üretilen enerji gerektirmez, yenilenebilir enerji kullanır ve dünyanın herhangi bir yerinde uygulanabilir. Bununla birlikte, çamur kurutma verimliliğini artırmak için uygun yenilik veya uygulamaya ihtiyaç vardır. Pahalı, sınırlı ve çevre dostu olmayan fosil yakıtlardan dolayı solar kurutma, mekanik termal kurutucuların yerini almak için popüler bir seçenek haline gelmektedir (Hii, Jangam, Ong, & Mujumdar, 2012).

Geleneksel güneş kurutma sistemleri türleri Güneş enerjisini çamur susuzlaştırma amacıyla kullanılmıştır. Kaplamalı (paved) kurutma yatağı ve kum kurutma yatakları geleneksel güneş kurutucularına örnektir. Kaplamalı kurutma yatağı, kum drenajları olarak inşa edilmiş bir asfalt veya beton döşeli alandır. Çamur çökeltme özellikleri iyi ise, çamurdaki suyun %20-30'unu gidermek mümkündür. Kuruma süresi iklim koşullarına bağlıdır. Örneğin, kurak bir bölgedeki 30 cm kalınlığında bir çamur yatağı, 30 ila 40 gün içinde %40 ila 50 KM'ye ulaşabilir (U.S. EPA, 1987). Kum kurutma yatağı, drenaj kanalları ile desteklenen bir kurutma yatağıdır. Çamur 200 ila 300 mm kalınlığında serilir ve kurumaya bırakılır. Kum kurutma yatakları, çamuru %25-40 KM'ye kadar kolayca kurutabilir ve yeterli bekletme süresi verildiğinde çamuru %60 kuru katı içeriğine kadar kurutabilir. Kurutma yatakları genellikle küçük ve orta ölçekli bölge veya endüstriyel atıksu arıtma tesisleri için kullanılır. Yöntemin basit olması ve minimum düzeyde işletme gerektirmesine rağmen, büyük alan gereksinimi ve iklim koşullarına bağlı olması dezavantaj olup, yine İklim koşulları ve düşük drenaj oranı da koku problemlerine ve düşük patojen giderilmesine neden olabilir (Metcalf, 2003, Al-Muzaini, 2003, Öglü & Özdemir, 2010).

Geleneksel kurutma yatakları düşük olan patojen giderme verimliliği, çamur kullanımını sınırladığı için sorun olmaktadır (Ritterbusch & Bux, 2012). ABD'de A Sınıfı çamur, çim alanlara, ev bahçelerinin uygulanması için arzu edilen seviyedir ve istenilirse torbalarda, diğer kaplarda taşınarak verilebilir ya da satılabilir. A sınıfına ulaşmak için E.coli, fekal koliform ve Salmonella gram başına 100 ems/gr kuru maddeden az olmalıdır (EPA, 1999).

Esasen AÇ' nin kurutulması için, herhangi bir ön şart bulunmamakla birlikte çamurun nihai kullanımı kurutma prosesi gerekliliklerini belirler. AÇ' de patojenlerin bulunma ihtimali önemli bir sorun olarak görülmeli ve ciddiye alınmalıdır. Bu sebeple arıtma çamurundaki patojen miktarını en aza indirmek için düzgün ve doğru kurutma işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

2.12. Çamurun Gübre Değeri

Hayvan gübresi ve insan atıkları 1940'lardan önce ürün verimini arttırmak için yaygın olarak kullanılmıştır. Bu tarihten sonra sentetik gübreler yaygın kullanılmaya başlanılmıştır. Çoğu kimyasal gübre N, P, K ve aynı zamanda suda kolay çözünebilen mineral tuzlar içermektedir. N, P ve K bitki yaşamı için ana maddelerdir. Suni gübre ile beslenen bitkiler çok hızlı büyür, ancak bu doğal olmayan yetiştirme şekli bitkilerde protein içeriğini düşürmekte ve daha çok hastalık riski oluşturmaktadır (Spinosa & Vesilind, 2001).

Çamurun gübre olarak değeri, içerisindeki N, P ve K miktarına bağlıdır. Genellikle bu maddelerin çamurda mevcut olan miktarları iyi bir kimyasal gübrede aranan değerlerden daha düşüktür. Çamuru gübre olarak değerlendirirken ihtiva ettiği ağır metaller ile diğer toksik maddeler de dikkate alınmalıdır. Bazı uygulamalarda arıtma çamurunun fosfor ve potasyum içeriği bitkinin gereksiniminin çok altında kalabilir. Bu durumda kimyasal madde ile eksik olan besi maddesinin ilavesi sağlanabilir. Arıtma çamurunun içerdiği besin değerleri ticari gübrelerle karşılaştırmalı olarak Tablo 2.5’ de çamurda bulunan tipik ağır metal konsantrasyonları verilmektedir (Metcalf, 2003). Tablo 2.6’da AÇ’de bulunan ağır metal değerleri verilmiştir.

Tablo 2.5. Arıtma çamurları ve suni gübrelerdeki nutrient seviyelerinin karşılaştırılması (Metcalf, 2003)

Nutrient, %			
	Azot	Fosfor	Potasyum
Tarımsal amaçlı kullanılan gübreler	5	10	10
Stabilize olmuş arıtma çamuru için tipik değerler	3,3	2,3	0,3

Tablo 2.6. Arıtma çamurlarında bulunan ağır metal değerleri (Metcalf, 2003)

Metal	Kuru madde, mg/kg	
	Aralık	Ortalama
Arsenik	1,1-230	10
Kadmiyum	0-3410	110
Krom	10-99000	500
Kobalt	11,3-2490	30
Bakır	84-17000	800
Demir	1000-154000	17000
Kurşun	13-26000	500
Manganez	32-9870	260
Cıva	0.6-56	6
Molibden	0,1-214	4
Nikel	2-5300	80
Selenyum	1,7-17,2	5
Kalay	2,6-329	14
Çinko	101-49000	1700

2.13. Arıtma Çamurunu Mevzuatı

Çevre Kanunu ve bu kanuna bağlı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ve Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinde AÇ' nın yönetimine dair düzenlemeler bulunmaktadır. AB mevzuatında yer alan, Atıkların Yakılmasına İlişkin Direktifi (2000/76/EC), Atıkların Düzenli Depolanması Direktifi (99/31/EC) ve özel atık arıtım işlemlerini kapsayan ise AÇ ile ilgili hususlar 86/278/EC nolu direktif ile esasa bağlanmaktadır. AB uyum süreci kapsamında Atık Çerçeve Yönetmeliği gereğince alt yönetmelikler (Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği, Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği vb.) ülke mevzuatına girmiştir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı). Tablo 2.7'de arıtma çamurlarının mevzuatları verilmiştir.

Tablo 2.7. Arıtma Çamuru Mevzuatları

Doküman Adı	Yürürlüğe Girdiği Tarih
Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği	31.12.2004
Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği	08.01.2006
Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği	20.03.2010
Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik	26.03.2010
Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirilenmiş Sahalara Dair Yönetmelik	08.06.2010
Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik	03.08.2010
Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik	06.10.2010
Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği	25.11.2014
Çevre İzin ve Lisans Yönetmeliği	10.09.2014
Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği	20.06.2014
Atık Yönetimi Yönetmeliği-	02.04.2015
Atık Yönetimi Yönetmeliği Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik	23.03.2017
Kompost Tebliği	05.03.2015
Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik Taslağı-	-

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik	3.08.2010
--	-----------

2.14. Arıtma Çamurundan Biyogaz Üretimi

Arıtma çamurunun çürütülmesinden elde edilen biyogaz önemli bir enerji kaynağıdır. Çürütücü gazında ortalama olarak %60-70 CH₄, %25-30 CO₂, geriye kalan kısımda ise H₂, N₂, H₂S ve diğer gazlar vardır. Gazın ısı değeri 21000-25000 kJ/m³ aralığında ısıtma ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılır. Anaerobik arıtmanın kinetiğinden hareketle üretilen biyogaz içindeki CH₄ miktarı aşağıdaki ifadelerle hesaplanabilir (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013).

Çürütücüde oluşan aktif çamur (biyokütle) miktarı Px;

$$Px = (E \times Y \times 10^{-3} \times Q \times So / ((1 + kd \times Qc))$$

CH₄ miktarı;

$$V_{CH_4} = 0,35 \times (E \times Q \times So \times 10^{-3} - 1,42 \times P_x)$$

Px : Çürütücüde üretilen çamur miktarı (kg UKM/gün)

Y: Biyokütleyle dönüşüm oranı (evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarında, Y=0,05- 0,1mg UKM/mg BOİ_{kullanılan})

E: Çürütücü verimi (BOİ_u veya KOİ_{bp} giderim) verimi (0,6-0,9)

Q: Çamur debisi (m³/gün)

So: Beslenen çamurun BOİ_u veya KOİ_{bp} değeri (g/m³)

kd: İçsel solunum hızı sabiti (evsel AAT çamuru için, 0,02-0,04 gün⁻¹)

Qc: Çamur yaşı (gün)

Q_{CH₄}: Üretilen metan (m³/gün)

0,35: 1 kg BOİ_u veya KOİ_{bp}'nin CH₄ eşdeğeri (T = 35°C için 0,395 ≈ 0,40)

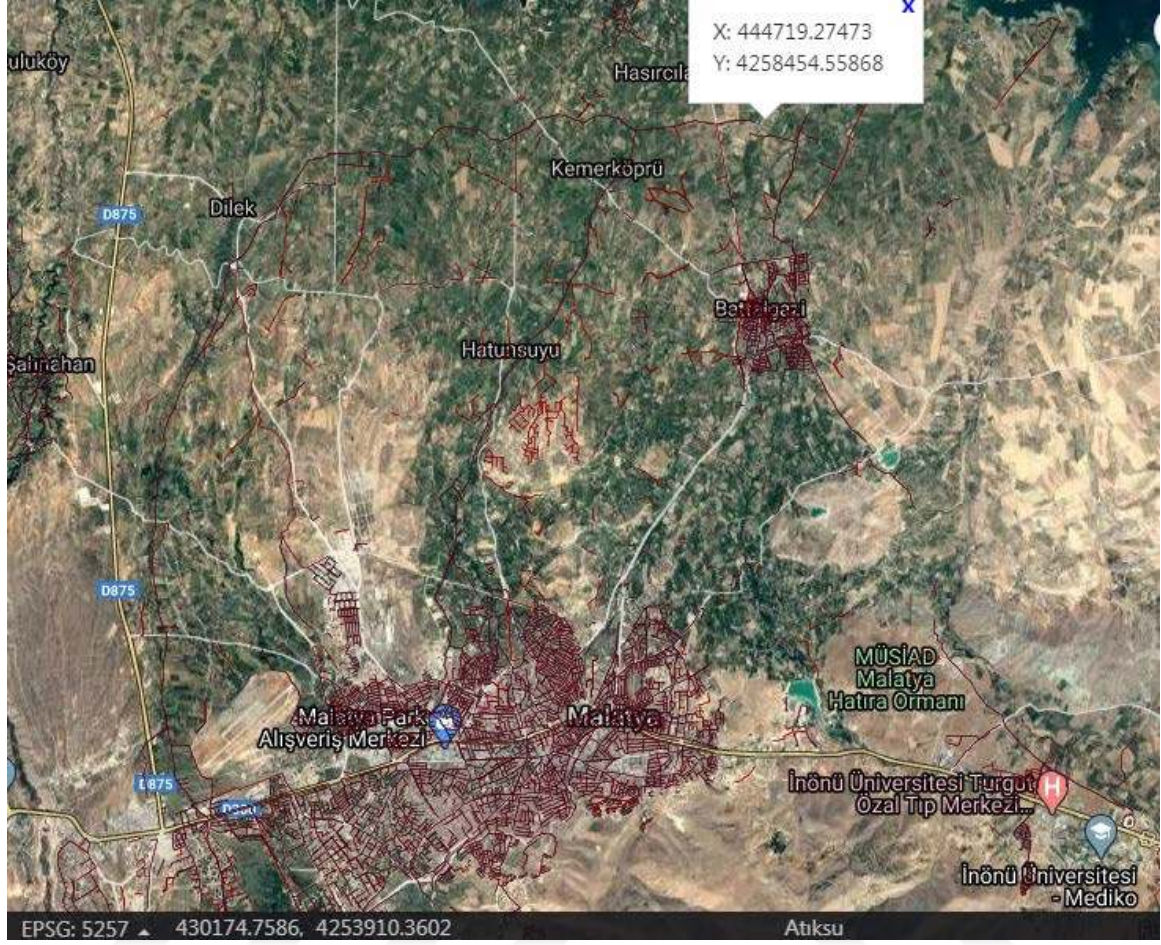
1,42: 1 kg UKM'nın BOİ_u veya KOİ_{bp} eşdeğeri

3. ÇALIŞMA SAHASI

Bu tezde kullanılan verilerin alındığı Malatya İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin işletme ve dizayn kriterleri göz önünde bulundurularak, Alman Atıksu Teknik Derneği'nin ATV (DWA) kural ve standartlarıyla, Tarım ve Orman Bakanlığının hazırlandığı Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi Tasarım kriterlerine göre bir excell tabanlı atıksu arıtma tesisi tasarlama programı hazırlanmıştır. Bu program doğrultusunda gelecek nüfus, 2. Kademe artışında oluşacak çamur miktarı, bu çamurdan üretilcek biyogaz miktarı ve AÇ'nun bertaraf seçeneklerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmıştır.

3.1. Tesis Yerleşim Alanı ve Özellikleri

Malatya İBAAT tesisinin konumu, şehrin güneyden kuzeye doğru eğimli olması nedeniyle şehrin kuzey tarafındadır. Şekil 3.1'de gösterilen Battalgazi ve Yeşilyurt İlçelerine ait kanalizasyon hatları cazibe ile arıtma tesise ulaşmaktadır. Tesis yerinin Karakaya Baraj Gölüne yaklaşık 3 km kuzeyinde olması da olası deşarjlar için avantaj sağlamaktadır. Tesis sahasının toplam alanı yaklaşık 183 dekadır.



Şekil 3.1. Malatya İli Kanalizasyon hatları (MASKİ, 2020)

3.2. Malatya İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi

Malatya İBAAT (Şekil 3.2), Malatya Merkez ilçeleri Battalgazi ve Yeşilyurt'un yerleşim birimlerinin kentsel atıksularının çevre kirliliğine sebep olmayacak şekilde bertaraf edilmesi amacı ile 720.000 eşdeğer nüfusa hizmet edecek şekilde 2010 yılı için ortalama proje debisi 135.00 m³/gün olarak inşa edilmiştir. Ayrıca 2020 yılı ve 2030 yıllarında kademe artışı ön görülerek, gelecek ek ünitelerin yerleri bırakılmıştır. Tesis Bamag-Sistem Yapı-Gap İnşaat konsoryumu tarafından 2004'de tamamlanarak işletmeye alınmıştır.



Şekil 3.2. Malatya İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (MASKİ, 2020)

2018 yılına kadar tesise kanalizasyon atıksuları, Batı ana kolektörü 2400 mm çaplı ve Doğu ana kolektörü 1000 mm çaplı iki ayrı hattan gelmekteydi. Ancak şehrin doğu tarafına uzatılan kanalizasyon hattıyla birlikte 1000 mm çapındaki doğu kolektörü 1600 mm olarak deplase edilmiş ve bu hat üzerine kaba ızgarayı rahatlamak amacıyla taş tutucu yapılmıştır. Arıtma Tesisi karbon ile birlikte azot ve fosfor giderimini de içeren ve stabil çamur üreten uzun havalandırmalı aktif çamur prosesidir.

Malatya İBAAT Proses Özellikleri

Arıtma Tesisi 1.kademesinde yer alan Üniteler:

- Kaba Izgara
- Giriş Pompa İstasyonu
- İnce Izgaralar
- Havalandırmalı Kum ve Yağ Tutucular
- Selektör Tank
- Anaerobik Havuz
- Havalandırma Havuzları -Blower Ünitesi
- Son Çökeltme Havuzları
- Mekanik Çamur Yoğunlaştırma ve Susuzlaştırma Üniteleri
- Atıksu Dağıtma, Toplama ve Deşarj Yapıları
- Çamur Toplama Yapıları

- Köpük Toplama Yapıları
- Trafo ve Jenaratör Binası
- İşletme, Garaj ve Atölye Binası
- Geri Devir Çamur pompa istasyonu

3.2.1. Kaba Izgara, Terfi İstasyonu ve İnce Izgara Üniteleri

Tesis girişinde 2,5 cm aralıklı 1 adet halatlı tip kaba ızgara otomatik ve manuel mekanik temizleme prensibine göre çalışmaktadır. Kaba ızgaradan geçen atıksu, tesis boyunca cazibeli akışına olanak vermek için terfi istasyonunda yaklaşık 8.5 metre terfi edilir. Pompa istasyonunda 4 (Kapasitesi 3000 m³/saat) ve 2 (Kapasitesi 6000 m³/saat) adet olmak üzere altı adet dalgıç pompa bulunmaktadır. Terfi ettirilen atıksu 6 mm aralıklı üç adet ince ızgaradan (Şekil 3.3) geçirilerek kaba ızgarada tutulamayan tesis ekipmanlarına zarar verecek maddeler uzaklaştırılır.

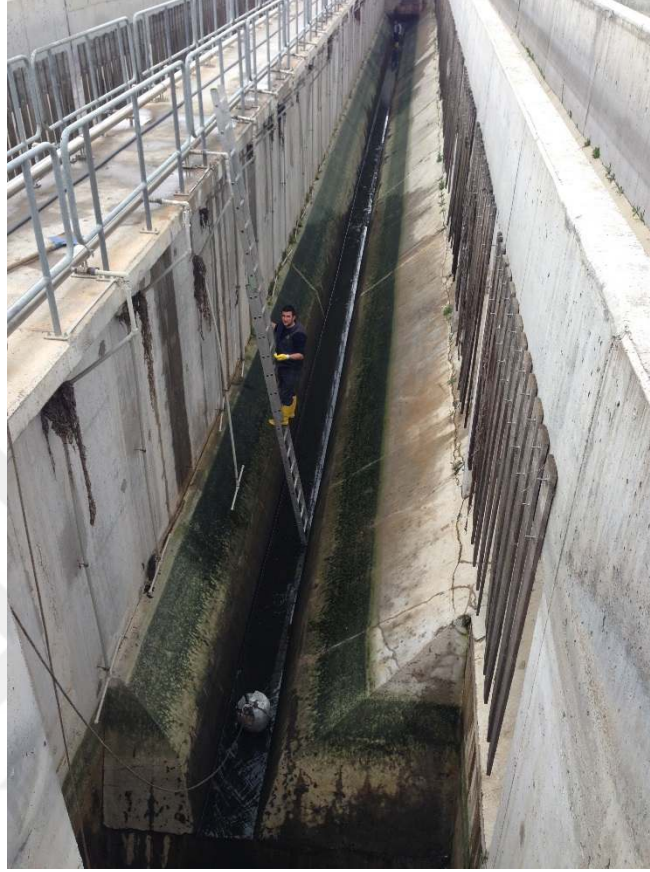


Şekil 3.3. İnce Izgara (MASKİ, 2020)

3.2.2. Kum ve Yağ Tutucu Havuzları

Ham atıksu ince ızgaradan geçtikten sonra paralel olarak işleyen toplam 4 adet ve her biri 4 metre genişliğinde 64 metre uzunluğunda, 864 m³ hacimdeki havalandırılmalı kum ve yağ tutucuya geçer. İnorganik madde olan kumlar havuz dibine hava yardımıyla çökertilerek, yüzer maddelerde

havuz yüzeyinde biriktirilerek, sıyrıcılar ile atıksudan ayrılır. Kum ve yağ tutucuların havalandırılması için, 2 asıl 1 yedek (Kapasite 600 Nm³/gün Motor gücü 30 kW) rotary pistonlu hava blowerları bulunmaktadır. Kum ve Yağ Tutucu havuz Şekil 3.4’de görülmektedir.



Şekil 3.4. Kum ve Yağ Tutucu Havuz (MASKİ, 2020)

3.2.3. A²O Prosesi

Fiziksel arıtmadan geçen atıksu, kum tutuculardan savaklanarak selektör tanka gelmektedir. Burada geri devir çamur pompa istasyonundan terfi edilen çamur ile atıksu karışır ve önce anaerobik havuzda oksijensiz olarak bekletilir. Böyle atıksu içerisindeki fosfor salınımı yapıldıktan sonra 6 adet havalandırma havuzuna geçmektedir. Burada karbon ve azot giderimi için aerobik ve anoksik kısımlar mevcuttur. Şekil 3.5’de biyolojik havuzlar görülmektedir.

Bu havuzlarındaki mikroorganizmaların faaliyetlerini sürdürmeleri için oksijen sağlayan 3 asıl 1 yedek olmak üzere toplam 4 adet (Kapasitesi 14.000Nm³/saat, motor gücü 450 kWh) blowerlar mevcuttur. Havalandırma havuzlarında oksijenin homojen bir biçimde dağıtılması 884 adet difüzörler ile sağlanmaktadır. Oksijen girişi, oksijen ölçüm cihazları ve hava kontrol valfleri ile otomatik olarak ayarlanmaktadır.

Havalandırma havuzları çıkışından savaklanan, atıksu ana dağıtım yapısında toplanarak son çökeltme havuzlarına iletilmektedir. Dairesel tipli 6 adet havuz mevcuttur. Son Çökeltme Havuzlarında oluşan aktif çamur geri devir çamur pompa istasyonunda cazibe ile toplanarak %75-80'i selektör tankına terfi edilmekte ve fazla çamurda çamur susuzlaştırma ünitesine gönderilmektedir. Son çökeltme havuzlarında savaklanan çıkış suyu Boran Deresi'ne deşarj edilmektedir.



Şekil 3.5. Anaerobik ve Aerobik Havuzlar (MASKİ, 2020)

3.2.4. Çamur Susuzlaştırma ve Depolama Üniteleri

Son çökeltme havuzlarının tabanındaki aktif çamur, cazibe ile çamur toplama ünitesine akar ve fazla çamur belt pres ünitesine pompa ile aktarılır. Aktarılan çamur, yoğunlaştırma için polielektrolit ile çamur hattında karşılaştırılır, belt preslere basılır. Belt pres ekipmanında suyu alınan çamur %16-22 KM arasında orana ulaşır ve bant yardımıyla çamur depolama sahasına aktarılır. Şekil 3.6'da çamur susuzlaştırma ünitesi ve taşıma bantları görünmektedir.



Şekil 3.6. Çamur Susuzlaştırma ve Taşıma (MASKİ, 2020)

3.2.5. Arıtma Tesisi Laboratuvarı

Kum ve yağ tutucudan savaklanan atıksular ortak bir kanaldan geçer ve bu noktaya konumlandırılmış giriş kompozit numune alma cihazı otomatik olarak 15 dakika bir giriş suyundan numune almaktadır. Aynı şekilde arıtılan atıksu kanalına yerleştirilen başka bir numune alma cihazı çıkış suyundan 15 dakika bir numune almaktadır. Anlık ve 24 saatlik giriş-çıkış suyu numunelerinin analizleri Şekil 3.7’ de gösterilen arıtma tesisi laboratuvarında yapılmaktadır.



Şekil 3.7. Malatya İBAAT Laboratuvarı (MASKİ, 2020)

3.3. Deşarj Noktası

Son çökeltim havuzlarından arıtılmış olarak savaklanan sular, deşarj noktasında birleşir ve boran deresine cazibeyle ulaşır. 3 km uzunluğundaki dere vasıtasıyla Karakaya Baraj Gölüne ulaşır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İkinci Kademe Artışının Değerlendirilmesi

Malatya İBAAT 2004 yılında devre almış ve 3 kademe olarak hedeflenmiştir. 2. kademeye geçiş düşüncesi 2020 yılı olup, ön çöktürme havuzları, çamur çürütücüler bu kademeye devre girmesi planlanmıştır. İşletme ve dizayn verileri göz önünde bulundurularak, 2020 yılındaki kademe artışı için nüfus projeksiyonu oluşturulacak ve tesise gelecek kirlilik yükleri belirlenecektir. Belirlenen bu kirlilik yükleriyle, ön çöktürme ve çamur çürütücüler boyutlandırılacaktır. Arıtma tesisinde çamur çürütmeyle oluşacak biyogaz miktarı ve bu gazdan sağlanacak enerji hesaplanacaktır. Nihai atılacak çamur miktarı belirlenerek, çamurun bertaraf seçeneklerinin kıyası yapılacaktır.

4.2. İşletme ve Dizayn Analizlerinin Değerlendirilmesi

Çamur yönetiminin belirlenmesi ve ünitelerin boyutlandırılmasında önemli olan kirlilik yükleri parametreleri, 24 saatlik numuneler olarak tesis laboratuvarında analiz edilmiştir. 2010 yılı için belirlenen dizayn kapasitesi değerleri Tablo 4.1’ de, 20017-2018 yılları işletme değerleri de Tablo 4.2’de verilmiştir.

Bunun yanında, tesis prosesinin ve arıtma veriminin takibi açısından geri devir ünitesi üzerinden atılan fazla çamur sıvısı numuneleri üzerinde yapılan analizler sonuçları Tablo 4.3’ de detaylı şekilde verilmiştir.

Tablo 4.1. Dizayn değerleri (MASKİ, 2020)

KAPASİTE VE KİRLİLİK YÜKLERİ PARAMETRE	Birim	2010 (1.Kademe) Nüfus
DEBİ	m ³ /gün	133.133
AKM YÜKÜ	kg/gün	37.800
KOİ YÜKÜ	kg/gün	64.800
BOİ5 YÜKÜ	kg/gün	32.400
TOPLAM N YÜKÜ	kg/gün	5.940
TOPLAM P YÜKÜ	kg/gün	972

Tablo 4.2. 2017-2018 İşletme Değerleri (MASKİ, 2020)

	2017	2018
Debi(m3/gün)	101.243	97.381
KOI(kg/gün)	29.560	30.940
BOİ5(kg/gün)	14.108	14.980
AKM (kg/gün)	17.805	20.230
TN(kg/gün)	2.370	3.724
TP (kg/gün)	422	532

Tablo 4.3. Fazla çamur UAKM/AKM analiz sonuçları (MASKİ, 2020)

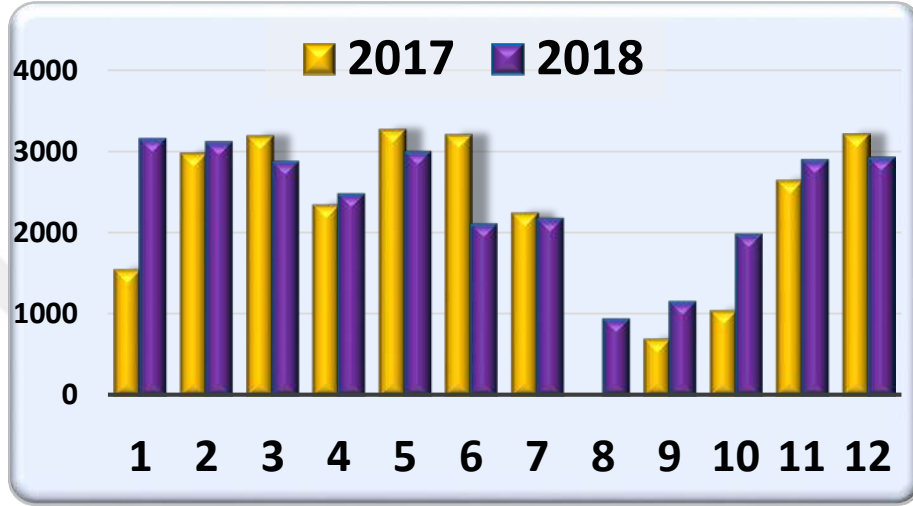
Aylar	2017 UAKM/AKM	2018 UAKM/AKM
Ocak	0.69	0.73
Şubat	0.74	0.74
Mart	0.72	0.71
Nisan	0.67	0.75
Mayıs	0.65	0.72
Haziran	0.66	0.68
Temmuz	0.63	0.68
Ağustos	0.62	0.69
Eylül	0.64	0.69
Ekim	0.64	0.67
Kasım	0.65	0.69
Aralık	0.67	0.69

4.3. Atılan Çamur Miktarlarının Değerlendirilmesi

Malatya İBAAT’de arıtma sonrası oluşan fazla çamur belt press ünitesinde susuzlaştırılarak, tesisten uzaklaştırılır ya da geçici depolama alanına serilerek kurutulur. 2017-2018 yılları arasında belt press ünitesinde çıkan çamur (%18 KM) miktarları Tablo 4.4’de verilmiştir. Şekil 4.1’de aylara göre atılan çamur değerleri görülmektedir.

Tablo 4.4. Atılan Çamur Miktarı (MASKİ, 2020)

Yıl	Atılan çamur (ton/gün) (%18 KM)
2017	72
2018	75



Şekil 4. 1. Aylara göre atılan çamur (MASKİ, 2020)

4.4 Kademe Artışı Nüfusunun ve Debisinin Değerlendirilmesi

Kademe artışı yapılacak arıtma tesisinin hizmet edeceği nüfus seçimi bu sürecin en önemli ve ilk adımlarından biridir. 2010 için 720.000 eşdeğer nüfus kapasiteli dizayn edilen tesis, 2020 için 960.000 eşdeğer kişi olarak hedeflenmiştir. Ancak diğer bölümlerde de gösterildiği gibi dizayn değerleri, işletme değerlerinin çok üzerinde olabilmektedir. Bu durumda gereksiz ve uzun süre boşa bekletilen inşa ve mekanik ekipmanlara sebep olmaktadır. Bu sebeple, bu çalışmada 2. Kademe artışı için 960.000 eşdeğer nüfus alınmayarak, Tablo 4.5’de gösterilen TÜİK nüfus sayım sonuçları tekrardan incelenmiştir.

2007-2018 nüfus artış hızlarına göre sabit hızlı geometrik artış yöntemi, aritmetik artış yöntemi, geometrik artış yöntemi ile 3 farklı yöntemle nüfus artış projeksiyonu oluşturulmuş ve Tablo 4.6 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. 2007-2018 Nüfus verileri

Sene	Merkez	Yeşilyurt	Battalgazi	TOPLAM
N2007	383.185	7.700	15.847	406.732
N2008	411.181	7.940	16.792	435.913
N2009	388.590	7.852	16.977	413.419
N2010	401.705	7.802	16.979	426.486
N2011	419.959	7.707	17.148	444.814
N2012	426.381	7.941	17.224	451.546
N2013		267.365	297.806	565.171
N2014		283.716	299.863	583.579
N2015		294.452	301.483	595.935
N2016		304.369	304.397	608.766
N2017		311.764	307.067	618.831
N2018		304.295	295.821	600.116

Sabit hızlı geometrik artış yöntemi (iller bankası metodu); Gelecekteki nüfus, geçmiş sayımların sonuçlarından çıkarılan bir çoğalma katsayısı (Ç) kullanılarak hesaplanır.

$$N_t = N_y \left(1 + \frac{\text{Ç}}{100} \right)^t$$

Burada;

N_t : t yıl sonraki tahmini nüfus

N_y : En yeni nüfus sayım değeri

Ç : Çoğalma katsayısı

T : En son nüfus sayımı yapılan yıl ile tahmin yapılacak yıl arasındaki toplam yıl

Çoğalma katsayısı ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Ç} = \left(\left(\frac{N_y}{N_e} \right)^{\frac{1}{a}} - 1 \right) \times 100$$

Burada;

a : İki nüfus sayımı arasında geçen süre (yıl)

N_e : Yerleşim yerinin eski nüfus sayım değeri

Tüik verilerine göre yıllara göre çoğalma katsayısı (Ç) hesabı aşağıdadır. Hesaplanan bu Çoğalma Katsayılarına (Ç) göre;

$\text{Ç}_{ort} = 2,10$, $\text{Ç}_{min} = -3,02$, $\text{Ç}_{max} = 4,85$, $\text{Ç} < 1 \rightarrow \text{Ç} = 1$, $\text{Ç} > 3 \rightarrow \text{Ç} = 3$ alınır.

Çoğalma Katsayılarına (Ç) göre hedeflenen senelerdeki nüfus tahmini hesap sonuçları aşağıdadır.

Ç_{ort} için nüfus tahmini: $N_{2020} = 625.586$ kişi $N_{2030} = 770.095$ kişi

Ç_{min} için nüfus tahmini: $N_{2020} = 564.416$ kişi, $N_{2030} = 415.357$ kişi

Ç_{max} için Nüfus Tahmini: $N_{2020} = 659.739$ kişi, $N_{2030} = 1.059.391$ kişi

Aritmetik artış yöntemi

Bu yöntemde nüfusun aritmetik olarak arttığı varsayılır. Gelecekteki nüfusun belirlenmesinde aritmetik artış katsayısı kullanılır.

$$k_a = \frac{N_2 - N_1}{t_2 - t_1}$$

Gelecekteki nüfus ise;

$$N = N_2 + k_a x (t - t_2)$$

Eşitliği ile bulunur.

Burada;

k_a : Aritmetik artış katsayısı

t_2 : Son nüfus sayımının yapıldığı tarih

t_1 : Önceki nüfus sayımının yapıldığı tarih

t : Nüfus tahminin yapılacağı yıl

N_2 : t_2 yılındaki nüfus

N_1 : t_1 yılındaki nüfus

N : Gelecekteki nüfus

k_a değerleri aşağıda hesaplanmıştır. Hesaplanan bu k_a değerlerine göre;

$$k_{min} = -18.715$$

$$k_{ort} = 10261$$

$$k_{max} = 24.762$$

k_{ort} değerine göre nüfus tahmini hesabı aşağıdadır.

$$N_{2020} = 620.638 \text{ kişi}$$

$$N_{2030} = 723.248 \text{ kişi}$$

Geometrik artış yöntemi

Nüfusun geometrik olarak arttığı kabul edilerek projeksiyonlar yapılır. Bunun için geçmiş nüfus sayımlarından faydalanılarak bulunan geometrik artış katsayısı kullanılır.

$$k_g = \frac{\log N_2 - \log N_1}{t_2 - t_1}$$

Gelecekteki nüfus için;

$$\log N = \log N_2 + k_g x(t - t_2)$$

Eşitliği kullanılır.

Burada;

- k_g : Geometrik artış katsayısı
- t_2 : Son nüfus sayımının yapıldığı tarih
- t_1 : Önceki nüfus sayımının yapıldığı tarih
- N_2 : t_2 yılındaki nüfus
- N_1 : t_1 yılındaki nüfus
- N : Gelecekteki nüfus

k_g değerleri aşağıda hesaplanmıştır.

Hesaplanan bu k_a değerlerine göre;

$$k_{\min} = -0,013$$

$$k_{\text{ort}} = 0,009$$

$$k_{\max} = 0,021$$

k_{ort} değerine göre nüfus tahmini hesap sonucu aşağıdadır.

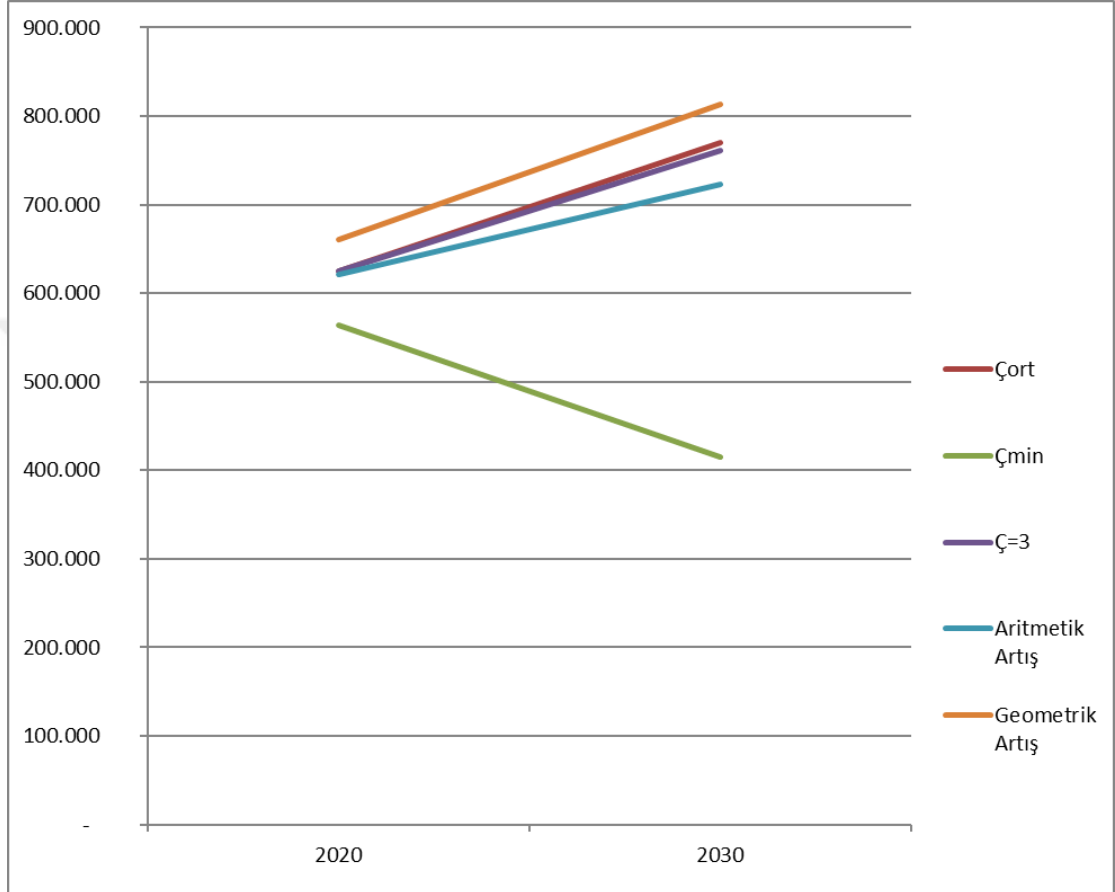
$$\log N_{2020} = 660.845 \text{ kişi}$$

$$\log N_{2030} = 813.017 \text{ kişi}$$

Projeye esas nüfusların tespitinde önceki bölümlerde farklı yöntemlerle hesaplanan nüfus projeksiyonları değerleri dikkate alınmıştır.

Tablo 4.6. Malatya Nüfus Tahminleri karşılaştırması

Yıllar	İller Bankası Metodu			Aritmetik Artış	Geometrik Artış
	$\bar{C}_{ort}$	C_{min}	C_{max}		
2020	625.586	564.416	659.739	620.638	660.845
2030	770.095	415.357	1.059.391	723.248	813.017



Şekil 4.2. Karşılaştırmalı tahmini nüfus grafiği

Genel olarak nüfus sayımının yapıldığı ilk yıl ile son yıl arasında da lineer bir artış olduğu gözlenmektedir. Buna göre İller Bankası metodunda C_{min} ve C_{max} yöntemleri hariç diğer nüfus projeksiyonları birbirine benzer görülmektedir. Bu sebeple özel nüfus artışları çalışma dışı bırakılmış ve güvenli yerde kalınarak nüfus projeksiyonu N: 850.000 kişi kabul edilmiştir.

Kişi başı günlük su tüketimi 150 litre ve %80 kanalizasyona intikali alınarak kademe artışının debisi;

$$Q_{ort}: 0.15 * 850.000 * 0.8 = 102.000 \text{ m}^3/\text{gün}$$

hesaplanmıştır. Emniyetli tarafta kalınp, 105.000 m³/gün olarak proje debisi alınmıştır.

4.5. Gelecek Kirlilik Yüklerinin ve Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Çamur miktarı ve oluşacak biyogaz miktarı, kirlilik yükleriyle doğrudan bağlantılıdır. Eşdeğer nüfusun hesaplanmasıyla birlikte tesise gelecek kirlilik yükü ve konsantrasyonu hesabı yapılacaktır. Kişi başı alınan kirlilik yükleri Tablo 4.7’de verilmiştir. Tablo 4.8’de 2. Kademedeki öngörülen kirlilik yükleri verilmiştir. Tablo 4.9’ da dizayn değerleri, 2. kademedeki öngörülen değerler ve 2017-2018 ortalama değerleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.7. Kirlilik miktarı

KOI	60 gr/kişi.gün
BOI ₅	30 gr/kişi.gün
AKM	30 gr/kişi.gün
TN	5,3 gr/kişi.gün
TP	0,6 gr/kişi.gün

Bu değerlere göre atıksu kirlilik yükleri aşağıda hesaplanmıştır.

2. kademe kirlilik yükleri:

$$L_{KOI} = 850.000 \text{ kişi} \times 60 \frac{\text{gr}}{\text{kişi}} \cdot \text{gün}/1000 = 51.000 \text{ kg/gün}$$

$$L_{BOI5} = 850.000 \text{ kişi} \times 30 \frac{\text{gr}}{\text{kişi}} \cdot \text{gün}/1000 = 25.500 \text{ kg/gün}$$

$$L_{AKM} = 850.000 \text{ kişi} \times 30 \frac{\text{gr}}{\text{kişi}} \cdot \text{gün}/1000 = 25.500 \text{ kg/gün}$$

$$L_{TN} = 850.000 \text{ kişi} \times 5,3 \frac{\text{gr}}{\text{kişi}} \cdot \text{gün}/1000 = 4.505 \text{ kg/gün}$$

$$L_{TP} = 850.000 \text{ kişi} \times 0,6 \frac{\text{gr}}{\text{kişi}} \cdot \text{gün}/1000 = 510 \text{ kg/gün}$$

Tablo 4.8. 2.Kademe Kirlilik Yükleri

	2.kademe
KOI(kg/gün)	51.000
BOI₅(kg/gün)	25.500
AKM(kg/gün)	25.500
TN(kg/gün)	4.505
TP (kg/gün)	510

Yukarıda hesaplanan debi ve kirlilik yüklerine göre atıksuyun kirlilik konsantrasyonları aşağıda hesaplanmıştır.

$$C_{KOI} = \frac{L_{KOI}}{Q_{ort}} \times 1000 = \frac{51.000}{105.000} \times 1000 \approx 486 \text{ mg/lt}$$

$$C_{BOI5} = \frac{L_{BOI5}}{Q_{ort}} \times 1000 = \frac{25.500}{105.000} \times 1000 \approx 243 \text{ mg/lt}$$

$$C_{AKM} = \frac{L_{AKM}}{Q_{ort}} \times 1000 = \frac{25.500}{105.000} \times 1000 \approx 243 \text{ mg/lt}$$

$$C_{TN} = \frac{L_{TN}}{Q_{ort}} \times 1000 = \frac{4.505}{105.000} \times 1000 \approx 43 \text{ mg/lt}$$

$$C_{TP} = \frac{L_{TP}}{Q_{ort}} \times 1000 = \frac{510}{105.000} \times 1000 \approx 5 \text{ mg/lt}$$

Tablo 4.9. Karşılaştırmalı Konsantrasyon Değerleri

	Dizayn	2.kademe	2017-2018
KOI (mg/lt)	485	486	326
BOI₅ (mg/lt)	242	243	159
AKM (mg/lt)	283	243	199
TN (mg/lt)	45	43	25
TP (mg/lt)	7	5	4,5

4.6. Ön Çöktürme Havuzunun Değerlendirilmesi

Malatya İBAAT sahasında 2. kademe için ön çöktürme havuzu yerleri bırakılmış ve terfi yüksekliği buna göre hesaplanmıştır. Hesaplanan kirlilik yükleri ve debiye göre 2 saat bekletme süresine sahip olacak şekilde dairesel olarak ön çöktürme boyutlandırılması yapılacaktır. Ayrıca

ön çöktürmede bekletme ile oluşan giderim verimleri; AKM için % 64, BOI₅ ve KOI için % 33, TN için % 9, TP için % 11 alınarak hesaplamalar (Tablo 4.10) yapılmıştır.

Tablo 4.10. Ön çöktürme havuzu çıkışı kirlilik yükleri ve konsantrasyonları

	Kirlilik Yükleri (kg/gün)	Kirlilik Konsantrasyonları (mg/lt)
	2.kademe	2.kademe
BOI₅	17.085	162
KOI	34.170	325
AKM	9.180	87
TKN	4.099	39
P	453,90	4,32

Ön çöktürme havuzları ikinci kademe 2 adet olarak hesaplanacaktır. Buna göre havuz başına düşen debiler;

$$Q_{ort} = \frac{105.000 \text{ m}^3/\text{gün}}{2 \text{ havuz}} = 52.500 \text{ m}^3/\text{gün}$$

4.7. Ön Çöktürme Havuzunda Çöken Çamurun Kirlilik Yüklerinin ve Debisinin Değerlendirilmesi

Ön çöktürmede çöken çamurun kirlilik yükleri; ön çöktürme havuzlarına giren ve çıkan kirlilik yüklerinin farkı alınarak hesaplanmıştır. Tablo 4.11 'de ön çöktürme çamur kirlilik yükleri verilmiştir.

$$SBOI_5 = BOI_{5giriş} - BOI_{5çıkış} = 25.500 - 17.085 \approx 8.415 \text{ kg/gün}$$

$$SKOI = KOI_{giriş} - KOI_{çıkış} = 51.000 - 34.170 \approx 16.830 \text{ kg/gün}$$

$$SAKM = AKM_{giriş} - AKM_{çıkış} = 25.500 - 9.180 \approx 16.320 \text{ kg/gün}$$

$$STN = TN_{giriş} - TN_{çıkış} = 4.505 - 4.099 \approx 405,45 \text{ kg/gün}$$

$$STP = TP_{giriş} - TP_{çıkış} = 510 - 453,90 \approx 56,10 \text{ kg/gün}$$

Tablo 4.11. Ön çöktürme çamuru kirlilik yükleri

Parametre	Çamur Kirlilik Yükleri (kg/gün)
	2.kademe
BOI ₅	8.415
KOI	16.830
AKM	16.320
TN	405,45
TP	56,10

4.8. Biyolojik Arıtım Kısımlarına Giren Kirlilik Yüklerinin Değerlendirilmesi

Ön çöktürmede bekletilerek savaklanan atıksularda belirli bir arıtım verimi gerçekleşir ve arıtımı gerçekleşen kısım ön çöktürme çamuruna geçer. Savaklanan atıksu çamur susuzlaştırma ve yoğunlaştırmalarından gelen süzüntü sularıyla birlikte proses havuzlarında (Tablo 4.12) biyolojik arıtıma tabi tutulur. Normal şartlarda ön çöktürmeye giren atıksuda, çöken atıksu çamurundan dolayı debide azalma olması beklenir. Ancak süzüntü ve yoğunlaştırma debileri de göz önünün de bulundurularak, proses havuzlarına giren debi ve kirlilik yükü emniyetli alanda kalarak yüksek tutulmuştur.

Tablo 4.12. Biyolojik arıtım yapılarına giriş debisi ve kirlilik yükleri

	2.kademe
Debi (m ³ /gün)	105.000
BOI ₅ (kg/gün)	18.000
AKM (kg/gün)	10.100
TN (kg/gün)	4.150
P (kg/gün)	470

4.9. Yoğunlaştırılmış Çamur Miktarlarının Değerlendirilmesi

Çamur yaşı, mikroorganizmaların aktif çamur prostele kaldıkları zaman olarak tanımlanır. Mikroorganizmalar üreme yerine yaşam fonksiyonlarını devam ettirmeyi tercih etmektedirler. Yüksek çamur yaşına bağlı olarak mikroorganizmaların elde ettiği besi maddesi azalmaktadır. Mikroorganizma hücrelerinin muhafazası için kullanılan enerji ve mikroorganizmaların kendi hücrelerini sindirmelerinde (iç solunum) artış meydana gelmektedir. İç solunum sonucu, prosese

giren besi maddesi karbondioksit ve suya dönüşmektedir. Bu durumda proseste aşırı çamur üretimi azalmaktadır. Çamur yaşındaki artışa bağlı olarak proseste biyokütle konsantrasyonu artmaktadır (Gürtekin & Şekerdağ, 2006).

Deşarj standart değerlerine arıtma parametrelerini giderim verimi, oluşacak çamur miktarını belirlemektedir. Arıtma sistemi azot giderimi esaslı olduğu için dizaynda çamur yaşı gelecek için 12,6 gün hesaplanmış ve bu değerle devam edilmiştir. Önceki bölümde hesaplanan kirlilik yüklerine göre 2. Kademedede oluşacak fazla çamur miktarları (Tablo 4.13) hesaplanmıştır. Ayrıca dizaynda son çöktürmeler için çamur hacim indeksi (SVI) 120, maksimum yoğunlaşma süresi 2 saat ve geri devir oranı 1 olarak seçilmiştir. Bu seçimle birlikte sırasıyla dip çamur konsantrasyonu, geri devir seyrelme oranıyla birlikte geri devir çamuru katı madde konsantrasyonu, fazla çamur debisi hesabı ve aktif çamurun kirlilik yükleri hesaplanmış, çamur miktarları ile Tablo 4.14'de verilmiştir.

Fosfor gideriminde oluşan fazla çamur;

$$SP_{d,P} = Q \times (3 \times X_{P,Bio-P} + 6,8 \times X_{P,Prec,Fe} + 5,3 \times X_{P,Prec,Al})/1000$$

$$SP_{d,P} = 105.000 \times (3 \times 2,57 + 6,8 \times -0,81)/1000 = 232 \text{ kg/gün}$$

Karbon gideriminde oluşan çamur miktarı;

$$SP_{d,C} = (C_{KOI,IAT} - C_{KOI,EFF}) \times \left(Y_H - \left(\frac{(1-b) \times k_{dh} \times f_T \times Y_H \times t_{ss,dim}}{1 + k_{dh} \times f_T \times t_{ss,dim}} \right) \right) + (a + a_0) \times X_{S,IAT}$$

eşitliğiyle hesaplanmıştır.

SP_{d,P}: Fosfor gideriminde oluşan çamur miktarı, kg/gün

X_{P, BioP}: Biyolojik olarak giderilen fosfor konsantrasyonu, mg/L

X_{P, Prec, Fe}: Demir kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu, mg/L

X_{P, Prec, Al}: Alüminyum kullanılarak çöktürülen fosfor konsantrasyonu, mg/L

SP_{d,C}: Karbon giderimin de oluşan çamur miktarı, kg/gün

Q: Ortalama debi, m³/gün

C_{KOI, EFF}: Çıkış KOİ eşdeğeri, mg/L

Y_H: Heterotrofik dönüşüm katsayısı, k_{dh} : Heterotrofik ayrışma katsayısı

b: Hücre Kalıntısı (0,20 gün⁻¹)

F_i: Sıcaklık düzeltme faktörü

a_o: inert organik askıda katı madde

a: inert mineral askıda katı madde

Tablo 4.13. Fosfor Giderimi ve Biyolojik Fazla Çamur Miktarı

Çamur Miktarları	İkinci Kademe
Fosfor Giderimi Fazla Çamuru (kg/gün)	232
C ve N Giderimi Fazla Çamuru (kg/gün)	10.040,79
Toplam Biyolojik Çamur (kg/gün)	10.272,79
Uçucu Katı Madde Miktarı(kg/gün) (çamurun %68 i alınmıştır)	6.985,49

Tablo 4.14. Toplam yoğunlaşmış çamur debileri

	2.kademe
Gravity Yoğunlaştırıcı Çamuru (m³/gün)	219,56
Graviteli Yoğunlaştırıcı BOİ yükü (kg/gün, %7 KM)	8.162,55
Mekanik Yoğunlaştırıcı Çamuru (m³/gün)	139,63
Mekanik Yoğunlaştırıcı BOİ yükü (kg/gün, %7 KM)	6.610,29
Toplam Yoğun Çamur (m³/gün)	359,19
Toplam Yoğun Çamur (m³/saat)	14,97
Toplam yoğunlaştırılmış BOİ₅ yükü (kg/gün)	14.772,84

4.10. Arıtma Çamurundan Oluşan Biyogaz Değerlendirilmesi

2. kademe için inşa edilecek olan çürütücülerde oluşan çamur miktarına göre biyogaz elde edilecektir. Biyogaz, çürütücüye giren çamurun organik kısmından oluştuğu için nihai çamurda azalmış olacaktır. Bu bölümde, çamurdan oluşan biyogaz miktarı, çürütücüden çıkan nihai arıtma çamuru miktarı ve biyogazdan elde edilen enerji miktarı hesaplanmıştır. Tablo 4.15’de biyogaz ünitesi değerleri verilmiştir. Bu hesaplamalarda ısı kaybı ve çürütücülerin ısınması göz önünde bulundurulmuştur. Enerji kaybı %50 (normal işletme şartlarında %20-30) öngörülerek hesaplanmıştır. Malatya İBAAT 2017 -2018 yılları enerji tüketimleri Tablo 4.16’da verilmiştir. Bu veriler doğrultusunda AÇ’den elde edilecek enerjiyle, arıtma tesisinin ortalama %30 enerjisinin karşılanacağı öngörülmüştür.

Çürütücüde oluşan aktif çamur(biyokütle) miktarı P_x ;

$$P_x = (E \times Y \times 10^{-3} \times Q \times S_o / ((1 + k_d \times Q_c)) \text{ eşitliğiyle şu şekilde hesaplanmıştır;}$$
$$P_x = (0,7 \times 0,08 \times 21724,76 / ((1 + 0,03 \times 25)) = 659,19 \text{ kg UKM/gün}$$

CH₄ miktarı;

$$V_{CH_4} = 0,35 \times (E \times Q \times S_o \times 10^{-3} - 1,42 \times P_x) \text{ eşitliğiyle şu şekilde hesaplanmıştır;}$$
$$V_{CH_4} = 0,40 \times (0,70 \times 21724,76 - 1,42 \times 659,19) = 5618,27 \text{ m}^3/\text{gün}$$

P_x : Çürütücüde üretilen çamur miktarı (kg UKM/gün)

Y: Biyokütleyle dönüşüm oranı (evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarında, Y=0,05- 0,1mg UKM/mg BOİ_{kullanılan})

E: Çürütücü verimi (BOİ_u veya KOİ_{bp} giderim) verimi (0,6-0,9)

Q: Çamur debisi (m³/gün)

S_o: Beslenen çamurun BOİ_u veya KOİ_{bp} değeri (g/m³)

k_d: İçsel solunum hızı sabiti (evsel AAT çamuru için, 0,02-0,04 gün⁻¹)

Q_c: Çamur yaşı (gün)

Q_{CH₄}: Üretilen metan (m³/gün)

0,35: 1 kg BOİ_u veya KOİ_{bp}'nin CH₄ eşdeğeri (T = 35°C için 0,395 ≈ 0,40)

1,42: 1 kg UKM'nin BOİ_u veya KOİ_{bp} eşdeğeri

Tablo 4.15. Biyogaz Tesisi Değerleri

Px Çürütücüde üretilen net biyokütle (kg UKM/gün)	695,19
Üretilecek biyogaz miktarı	5.618,27 m ³ /gün
Net biyogaz miktarı (%50 kayıp öngörülmüştür)	2.809
Üretilecek biyogazın ısı değeri	5.400 kcal/m ³
Toplam Isıl değer	15.168.600 kcal/gün
Gaz jeneratöründen elde edilen enerji (%40 verimle)	7.056 kW/(gün)
Arıtma Tesisinden çıkan çamur miktarı (%25 KM)	75 m ³ /gün

Tablo 4.16. Malatya İBAAT Enerji Tüketimi

	2017	2018
Enerji tüketimi kw/yıl	9.402.597	9.434.805
Enerji tüketimi kw/gün	25.760	25.848

4.11. Çamur Kurutma Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

Mevcut koşullarda tesiste oluşan çamurlar 2 adet kamyon ile yaklaşık 20 km uzaklıktaki çöp depolama sahasında depolanmaktadır. Ancak tesis kurulduğundan bugüne kadar depolama sahası hem çöp hem de çamur depolamasında kullanılmaktadır. Bu sebeple bu alanda, arıtma çamuru depolamaya uzun yıllar hizmet edecek alan kalmamıştır. Bundan sonraki depolama alanının en az 50-60 km uzaklıktaki bir alan içerisinde olması beklenmektedir. Bu da taşıma maliyetleri artıracaktır.

Kademe artışı yapılacak tesiste önceki bölümlerde hesaplandığı gibi %25 kuruluşunda günlük yaklaşık 75 m³ çamur atılacaktır. Uzaklaştırılacak çamurun bertaraf alternatifleri değerlendirilecektir. Günlük atılacak çamurun daha da fazla olmasını durumunda tesiste geçici depolama alanı bulunmaktadır. Debinin azaldığı ve çamur üretiminin düştüğü periyotlarda depolanan çamurun bertarafı yapılabilecektir. Yapılacak bertaraf seçeneğine göre de çamur kurutma sisteminin seçilmesi gerekmektedir.

Kurutma çamur içerisinde bulundan büyük miktardaki suyu almakta kullanılan en önemli teknik işlemdir. Çamur kurutmanın temel amacı çamurun nihai bertarafını sağlamak için çamur içerisindeki suyun alınarak, nakliye ve bertaraf işlemleri için oluşacak hacmi azaltma temeline dayanır. Genellikle debisi fazla olan kentsel atıksu arıtma tesislerinde kullanılan iki tür kurutma tekniği mevcuttur. Bunlar sera tipi solar kurutma ve termal kurutmadır. Önceki bölümlerde hesaplanan arıtma çamuru miktarına göre kurutma seçenekleri ve maliyetleri incelenecektir.

4.12. Solar Çamur Kurutmanın Değerlendirilmesi

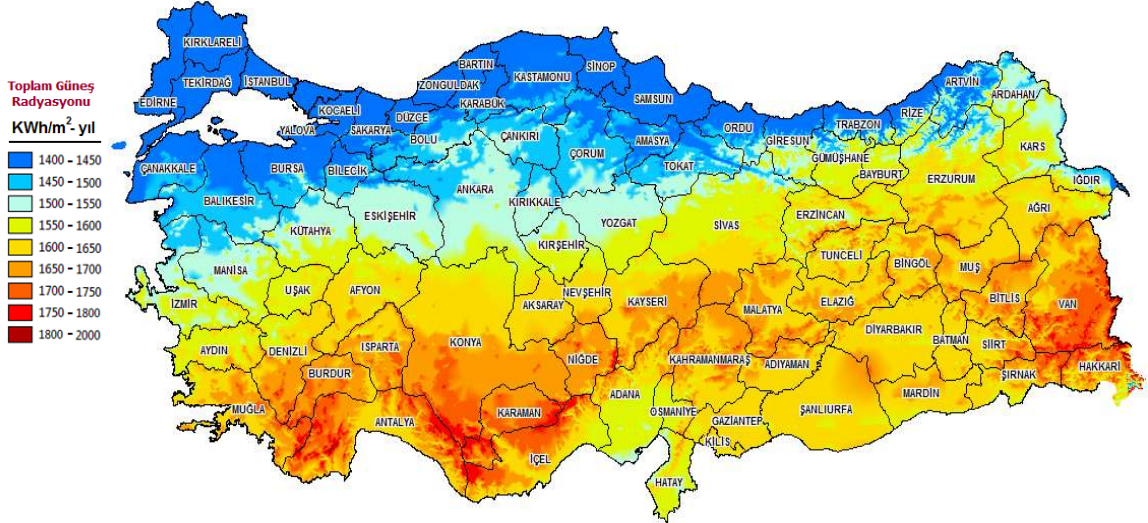
Solar kurutma, aslında geçmişten beri geleneksel olarak güneşte kurutma yatakları serilen çamurun kurutulması şeklinde uygulanmıştır. Son zamanlarda güneş kurutma yatakları, kurutucunun kaplanması, çamurun karıştırılması ve kurutucularda havalandırılması yoluyla sera tipi kurutucularına dönüştürülmüştür.

Sera tip kurutmada suyun giderimi tamamen meteorolojik şartlara bağlı olarak gerçekleşir ve yenilenebilir enerji kaynaklı olduğu için enerji kullanımı oldukça düşüktür. Sera için çelik konstrüksiyon imal edilip alanlar şeffaf film tabakası ile kaplanır. Böylece güneş radyasyonu ile

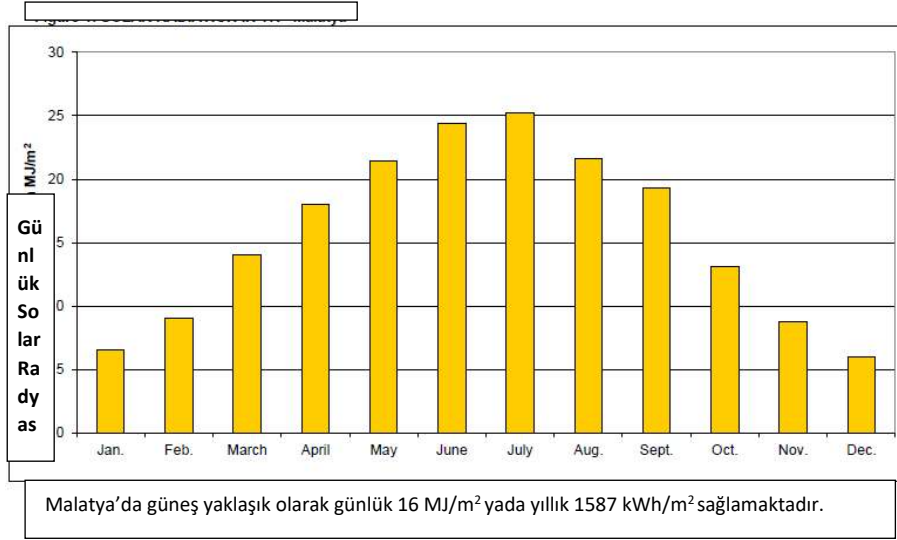
ünite içindeki hava ısınır ve zemine serilmiş çamurun içerisindeki su ısınan çamurdan ayrılır. Suyu doymuş hava, seradan uzaklaştırılmak için havalandırma sistemi kurulur ve hava değişiminin sağlanır. Zemine serilen çamurun kuruluğunu artırmak için belirli aralıklarla karıştırılması gerekir.

Ayrıca güneş enerjisiyle kurutulan çamurun diğer termal kurutmalardan ayrılan bir diğer yönü son ürünün nutrient içeriğidir. Termal tesislerinde sıklıkla uygulanan kurutma aralığı 120-160 °C'dir, bu durumda toprağa yarayışlı organik maddenin çamurdan uzaklaşması ihtimalini daha da artırmaktadır. Güneşle kurutma sistemlerinde ise iç ortam kurutma sıcaklığı 20 °C ile 60 °C aralığında gerçekleşmektedir. Bu da kurutulan son ürünün kompost olarak kullanım olasılığını artırmaktadır. Ayrıca emisyon kontrolü açısından da fayda sağlamaktadır (Salihoğlu, 2016).

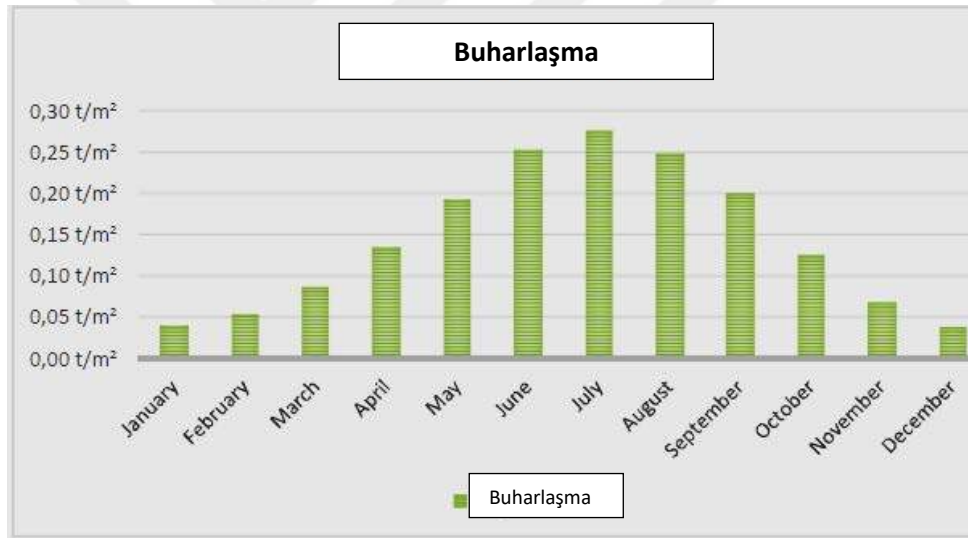
Toplam güneş radyasyonu Şekil 4.3 'de verilmiştir. Bu şekilden anlaşıldığı gibi Malatya İli, Batı Akdeniz ve bazı İç Anadolu illerinden sonra güneş enerjisine en uygun iller arasında yer almaktadır. Şekil 4.4' de Malatya İBAAT yerleşkesi için aylara göre solar kurutma radyasyon değerleri verilmiştir. Yine bu değerler doğrultusunda m² başına buharlaştırılacak su miktarı Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Türkiye radyasyon global değerleri (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2020)



Şekil 4.4. Malatya İBAAT aylara göre radyasyon değerleri



Şekil 4.5. Buharlaşma Değerleri

Yunanistan da yapılan bir araştırmada susuzlaştırılmış 8 kg çamur, sera tipi solar kurutmaya 20-25 cm kalınlığında serilmiştir. Yaz ayında çamurdaki nemlilik %85 den % 6 ya 7-15 günde düşerken, sonbaharda 9-33 günde gerçekleşmiştir. Sonbaharda çamurdaki nemlilik yazıya göre %10 oranında artmıştır. Eğer aynı sistem yardımcı ısıtıcılarla desteklenseydi kurutma prosesi kış ayında 1-9 gün arasında olacaktı (Bennamoun, 2012).

Yine Avrupada 25 arıtma tesisinde yapılan bir çalışmada çamur kurutmada buharlaşma oranları 0.6-1.0 ton/m² arasında değişmektedir. Şayet bu sistemler ısıtma sistemi ile donatılırsa

buharlaşma oranı 3.5 ton/m² kadar artabilir. Almanya, İsviçre ve Avusturya'daki belirli çalışma alanlarında, susuzlaştırılmış çamurdaki buharlaşma oranları 0.5-1.1 su /m².yıl olarak ölçölmüştür. (Bux & Baumann, 2003).

Solar tip kurutma sistemleri için gereken enerji, havalandırma ve çamur karıştırma ekipmanlarında kullanıldığından dolayı buharlaştırılan su (ton) başına enerji tüketimi 15-40 kWh arasındadır. Bu sistemlerde daha az yakıt ve enerji kullanıldığından CO₂ emisyonunu azalır. Almanya'da ton başına buharlaştırılan su miktarlarına göre farklı kurutma sistemleri için CO₂ emisyonları karşılaştırıldığında güneşte kurutmada 24 kg CO₂, termal kurutmada 170 kg CO₂ olarak ölçölmüştür. Başka bir deyişle, güneş kurutma tesisindeki CO₂ emisyonu, termal kurutma tesisinden daha düşüktür (Ritterbusch & Bux, 2012).

Malatya İBAAT için yapılan çalışmada, çamur kurutma için buharlaşma oranı 1.02 ton su/m².yıl ve aktif kullanım alanı 17.562 m² (şekil 4.6) olarak hesaplanmıştır. Bu sistemin enerji tüketimi, buharlaştırılan ton su başına 26.5 kwh olarak verilmiştir. Yine farklı bir çalışmada ise buharlaşma 2.1 su /m².yıl olarak hesaplanmıştır.şekil 4.7'de verilen hesaplamalarda ise buharlaşma oranı 1.6 ton/m².yıl ve buharlaşan ton su başına enerji tüketimi 22 kwh enerji tüketimi öngörölmüştür. Tablo 4.17'de solar kurutma ünitelerinin kıyas değerlerine yer verilmiştir.

SİSTEMİN ENERJİ TÜKETİM BİLGİLERİ

Ünite Adı	Adet	Çalışma-h/yıl	Etkili Güç	Kullanım	Yıldız Üçgen	Toplam/kWh	Mekanik Güç
Palanga Motorları	12	2.426	3	0,3	1,74	45.589	36
Kürek motorları	24	1.213	2,2	0,3	1,74	33.432	52,8
Kazıyıcı plaka motorları	12	303	0,5	0,1	1	182	6
Kurulum(tahmini)	12	1.000	1	1	1	12.000	12
Fanlar	108	2.150	0,75	1	1	174.150	81
Konveyör motorları	12	3.200	5	1	1	192.000	60
Scrubber Elektrik	-	-	101	1	1	-	-
Sirkülasyon Pompası	-	-	2,2	1	1	-	-
Su - Scrubber	-	-	-	-	-	-	-
NaOH - Scrubber	-	-	-	-	-	-	-
Isı Pompası	-	-	-	-	-	-	-
Huber RoWin Isı Eşanjörü	-	-	-	-	-	-	-
Genel Toplam	-	-	-	-	-	457.353	-
Kayıplar	5%	-	-	-	-	22.868	-
TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİ	-	-	-	-	-	480.221	248 kW
Su Buharlaşması İçin Enerji Tüketimi (SB)	480.221	kWh/yıl	Çamur	18.068 t/sb	-	26,5 kWh/t	-

ÇAMUR GİRİŞ VE ÇIKIŞ VERİLERİ

Ayılar	Yaş Çamur Giriş/t	KM Çamur Giriş/%	Kuru Çamur Çıkış/t	KM Çamur Çıkış/%	Buharlaşan su/t	Yükseklik/cm	Buhar. su/m ²
Ocak	2.161	25	675	80	1.486	25	0,08
Şubat	2.161	25	675	80	1.486	30	0,08
Mart	2.161	25	675	80	1.486	29	0,08
Nisan	2.161	25	675	80	1.486	20	0,08
Mayıs	2.161	25	675	80	1.486	5	0,08
Haziran	2.161	25	675	80	1.486	5	0,08
Temmuz	2.161	25	675	80	1.486	5	0,08
Ağustos	2.161	25	675	80	1.486	5	0,08
Eylül	2.161	25	675	80	1.486	5	0,08
Ekim	2.161	25	675	80	1.486	5	0,08
Kasım	2.161	25	675	80	1.486	8	0,08
Aralık	2.161	25	675	80	1.486	17	0,08
TOPLAM	25.936	25	8105	80	17.831	13	1,02

Şekil 4.6. Solar kurutma değerleri-1

Arıtma Çamuru					
Çamur Miktarı (ton/gün)	Çamur Miktarı (ton/yıl)	Solar Kurutma Girişi KM %	Solar Kurutma Çıkışı KM %	Kütle Azalması (ton/yıl)	Gerekli Minimum Alan İhtiyacı (m2)
75,5	27.557	16,5%	80%	21.840	10.290
75,5	27.557	16,5%	85%	22.175	11.175
72	26.280	16,5%	80%	20.920	9900
72	26.280	16,5%	85%	21.178	10.656

Buharlaşma	1.668 kg/m ² /year
Buharlaşan su kütlesi	29.505 t / year
Solar kurutma sonrası çamur miktarı	9.915 t / year
Kütle azalımı	75 %
Çıkış Kuruluk Oranı	80 % DS
Buharlaşan ton su başına enerji tüketimi	22 kWh / t

Şekil 4.7. Solar kurutma değerleri-2

Tablo 4.17. Solar kurutma sistemleri kıyası

	Çıkış KM	Buharlaşma	Enerji Tüketimi
A senaryosu	% 80 KM	1.02 ton su/m ² .yıl	26.5 kwh/ton su
B senaryosu	% 80 KM	1.6 ton su/m ² .yıl	22 kwh/ton su
C senaryosu	% 80 KM	2.1 ton su/m ² .yıl	29 kwh/ton su

Tablo 4.18’de günlük 80 ton çamuru, %80 KM üzerine çıkarabilme kapasiteli solar kurutmanın ilk yatırım ve işletme maliyet değerleri verilmiştir. Tablo 4.19’da ise mevcut durumdaki depolama sahasına yapılan çamur nakliyesinin oluşturduğu maliyet verilmiştir.

Tablo 4.18. Solar kurutma yaklaşık maliyet

Arazi bedeli hariç tutulmuştur	
Yatırım bedeli	2.500.000 \$
Yıllık İşletme Maliyetleri;	
15-18 Ton Çamur Taşıma Maliyeti(günlük 1 kamyon)	10.000 \$/yıl
Enerji Gideri(1 kw 0.1 \$ olarak alınmıştır.)	55.000 \$/yıl
Bakım	9.000 \$/yıl

Tablo 4.19. Mevcut çamur bertarafı maliyeti (MASKİ, 2020)

Mevcutta nakliye taşıma masrafı	
Kamyon Seferi	5 sefer/gün
Yıllık Maliyet	35.000\$/yıl

4.13. Termal Kurutma

Termal çamur kurutma sistemleri, solar çamur kurutma sistemlerine göre iklim şartlarına doğrudan bağımlı değildir. Bu sistemler sürekli olarak yüksek ısıya ihtiyaç duyduğundan işletme maliyeti, solar kurutmaya göre çok yüksektir. Ancak ilk kurulum maliyetleri daha düşük olabilir. Termal kurutmayı gerçekleştirmek için yüksek miktarda enerji gerekir. Bu sistemler için tipik olarak, gerekli enerji 2627 kJ / kg-biyokati veya 2595 kJ / kg-su (0.72 kW / kg-su) olarak hesaplanmıştır (Fonda & Lynch , 2009; Lowe, 1995). Bu nedenle termal çamur kurutma sistemleri gerekli olan ısıyı, çamur yakma veya enerji üretim ünitelerinden oluşan atık ısıyla karşılayabilirler. Böylece işletme maliyetleri en uygun noktaya gelir.

Birçok termal kurutma yöntemi mevcuttur. Şekil 4.8’de Malatya İBAAT çamurunun %70 ila 87 KM çıkış değerine göre, yatay ince film tip kurutma sistemi bilgileri verilmiştir. Bu sistemlerin yatırım maliyetler verileri Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’de verilmiştir. Bant tipi kurutma değerleri Tablo 4.22’de gösterilmiştir.

Giriş Miktar	80	Ton/Günde
Giriş Miktar	3333,3	Kg/Saatte
Giriş KM	19	%
Çıkış KM	70	%
Buharlaştırılan su	58,3	Ton/Günde
Buharlaştırılan su	2428,6	kg/Saatte
Kuru Çamur Üretimi	21,7	Ton/Günde
Kuru Çamur Üretimi	0,9	Ton/Saatte
1kg su buharlaştırma için		
Elektrik Enerjisi	0,75	Kw
Isı Enerjisi	645,00	Kcal

Enerji Tüketimleri	TESİS A ince film	NDS 8000 (1)
Günlük net ısı tüketimi	37.594.285,71	Kcal/gün Net
Buharlaştırılan su	2.428,57	Kg/saat
Saatlik net ısı tüketimi	1.566.428,57	Kcal/saat Net
Günlük net elektrik tüketimi	2.914,29	Kwh
Günlük net termal enerji KwhT Net	43.714,29	KwhT
Çamur ve su oranına göre : ISI ENERJİSİ TÜKETİMİ		
Su buharlaştırma net	645,00	Kcal/kg
çamur kurutma net	469,93	Kcal/kg
Kızgın Yağ kazanı verimi :	90,00	%
Su buharlaştırma net	716,67	Kcal/kg
çamur kurutma net	522,14	Kcal/kg
Doğal gaz tüketimi 8250 kcal / NM3	63,29	NM3/Ton Çamur
Çamur ve su oranına göre : ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ		
Su buharlaştırma	4.800,00	Kw/T
Çamur kurutma	60,00	KwT
Giriş Miktar	80	Ton/Günde
Giriş Miktar	3333,3	Kg/Saatte
Giriş KM	18	%
Çıkış KM	87	%
Buharlaştırılan su	63,4	Ton/Günde
Buharlaştırılan su	2643,7	kg/Saatte
Kuru Çamur Üretimi	16,6	Ton/Günde
Kuru Çamur Üretimi	0,7	Ton/Saatte
1kg su buharlaştırma için		
Elektrik Enerjisi	0,75	Kw
Isı Enerjisi	645,00	Kcal

Enerji Tüketimleri	TESİS A ince film	NDS 8000 (1)
Günlük net ısı tüketimi	40.924.137,93	Kcal/gün Net
Buharlaştırılan su	2.643,68	Kg/saat
Saatlik net ısı tüketimi	1.705.172,41	Kcal/saat Net
Günlük net elektrik tüketimi	3.172,41	Kwh
Günlük net termal enerji KwhT Net	47.586,21	KwhT
Çamur ve su oranına göre : ISI ENERJİSİ TÜKETİMİ		
Su buharlaştırma net	645,00	Kcal/kg
çamur kurutma net	511,55	Kcal/kg
Kızgın Yağ kazanı verimi :	90,00	%
Su buharlaştırma net	716,67	Kcal/kg
çamur kurutma net	568,39	Kcal/kg
Doğal gaz tüketimi 8250 kcal / NM3	68,90	NM3/Ton Çamur
Çamur ve su oranına göre : ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİ		
Su buharlaştırma	4.800,00	Kw/T
Çamur kurutma	60,00	KwT

Şekil 4.8. İnce film kurutucu sistemi

Tablo 4.20. İnce film kurutucu sistemi yatırım fiyat örneği - 1

Kapasite	80 ton/gün
Giriş kuruluk oranı	18%
Çıkış kuruluk oranı	87%
1 kg suyu buharlaştırmak için gerekli enerji	0.75 kw
FİYAT€	2.000.000

Tablo 4.21. İnce film kurutucu sistemi yatırım fiyat örneği - 2

Kapasite	80 ton/gün
Giriş kuruluk oranı	19 %
Çıkış kuruluk oranı	70%
1 kg suyu buharlaştırmak için gerekli enerji	0.75 kw
FİYAT€	1.840.000

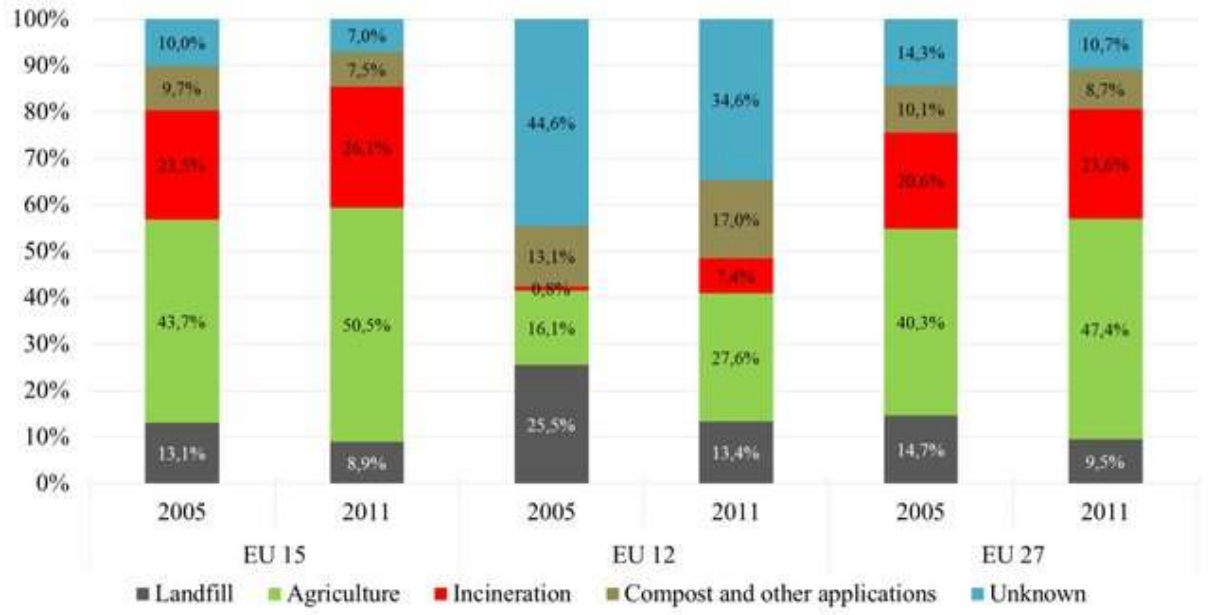
Tablo 4.22. Bant tipi çamur kurutma yatırım fiyat örneği

Kapasite	80 ton/gün
Giriş kuruluk oranı	20 %
Çıkış kuruluk oranı	90%
1 kg suyu buharlaştırmak için gerekli enerji	0.92 kw
FİYAT€	1.200.000

4.14. Bertaraf Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

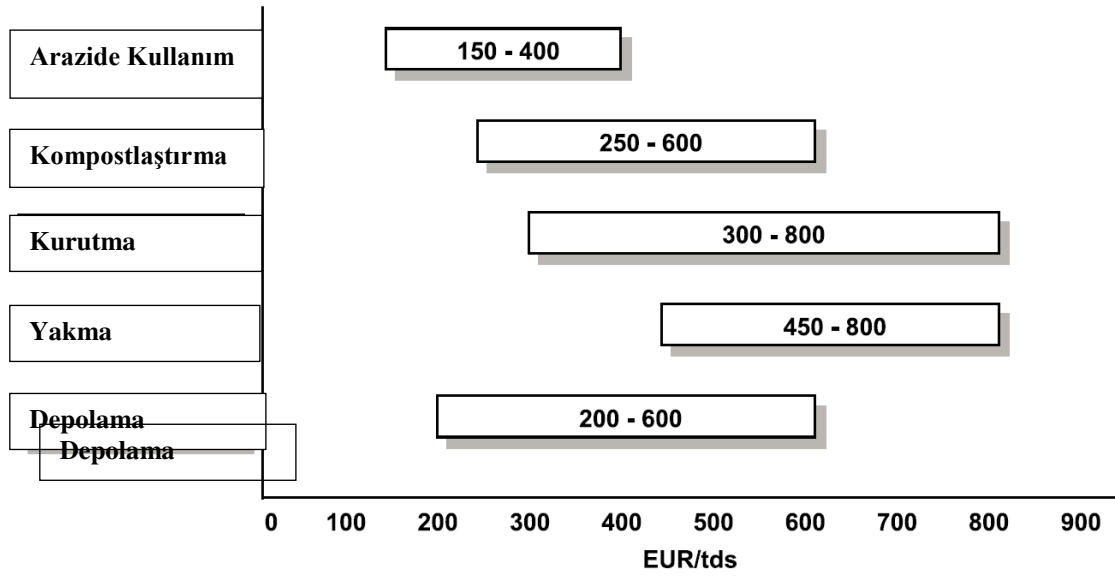
Ülkemizdeki arıtma tesislerinden çıkan çamur, günümüze kadar basit yöntemlerle bertaraf edilmeye çalışılmıştır. AB uygulamaları dikkate alındığında çıkan çamurun kontrolsüz veya düzensiz şekilde bertarafının yerine sürdürülebilir ve kontrollü bertaraf yöntemlerinin seçildiği görülmüştür. Bununla birlikte yeni teknoloji ve prosesler de ülkemizde görülmeye başlanmış böylece farklı bertaraf alternatifleri oluşmuştur. Malatya İBAAT’ de oluşan arıtma çamurları, bertaraf seçeneklerinden sadece düzenli depolamayı kullanmıştır.

Şekil 4.9’da verilen çalışmada, Avrupa birliği üyelerinin 2005-2011 yılları arasındaki bertaraf yöntemleri verilmiştir. Bu yöntemlere ait işletme maliyetleri Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



İlk 15 üye için (EU-15), 12 yeni üye için (EU-12)

Şekil 4.9. 2005-2011 yılları arıtma çamuru kıyası (Bianchini, Pellegrini, & Saccani, 2016)



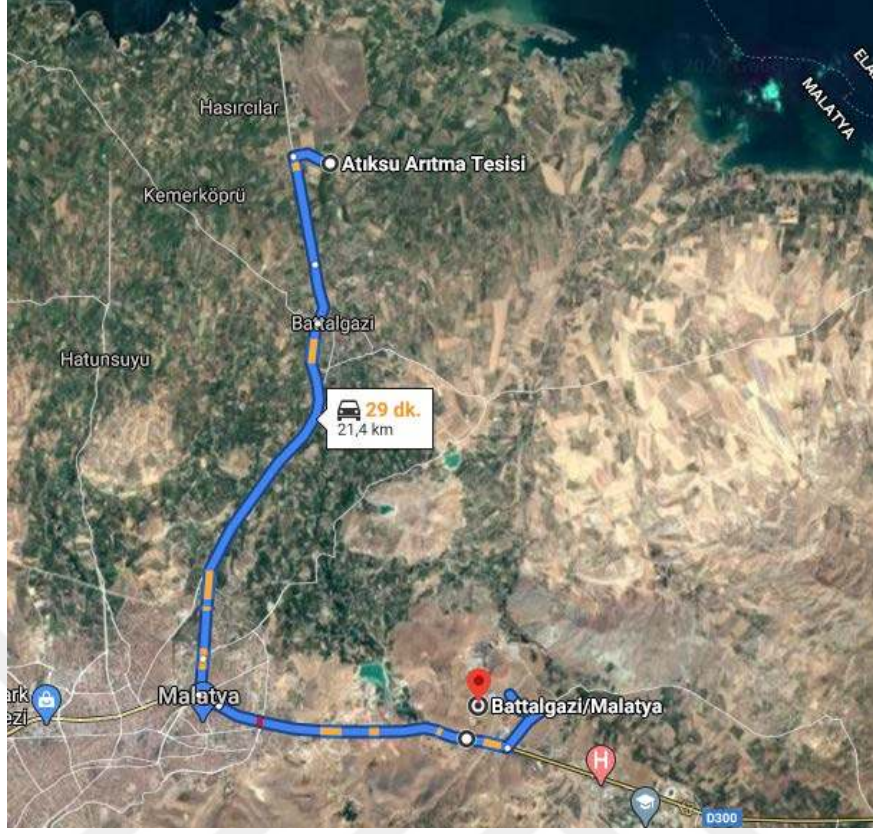
Şekil 4.10. Çamur arıtımı ve bertaraf maliyetleri (Hall, 2020)

4.14.1 Düzenli Depolama

Düzenli depolama, düşük teknolojiye sahip prosesi nedeniyle az enerji tüketimli ve ekonomiktir. Ancak düzenli depolama, yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip sera gazları olan CH_4 ve N_2O 'ların önemli bir kaynağıdır. P ve ağır metal içeren sızıntı suyu, yüzey ve yeraltı sularını tehdit edebilir. Besin veya enerji içeriğinin hiçbirisi depolama alanından geri kazanılmaz (Hall, 2020).

Malatya İBAAT, yaklaşık 20 km uzaklıktaki depolama sahasında (Şekil 4.11) arıtma çamurlarını bertaraf etmektedir. Ancak bu depolama sahası hem kentsel katı atıkları almakta hem de arıtma çamurunu kabul etmektedir. Alanın kısıtlı olması ve çöp bertaraf tesislerin buraya kurulması sebebiyle arıtma çamurları bu alana daha fazla istenmemektedir. Bu sebeple yakın zamanda başka bir depolama alanına ihtiyaç duyulacağı öngörülmekte ve bu alanın 50 km'den yakın olmaması beklenmektedir.

Düzenli depolamaların arıtma çamurunu kabul etmesi Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmeliğin Ek-2'sinde verilen diğer tüm parametreleri sağlaması durumunda olmaktadır. Şekil 4.12'de gösterilen analiz sonuçları, ilgili yönetmeliğe göre yapılmış ve tüm değerleri sağladığı görülmüştür.



Şekil 4.11. Depolama sahası

	TÜRKAK Türk Akreditasyon Kurumu tarafından AKREDİTE edilmiştir		T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından Çevre Ölçüm ve Analizleri Yeterlik Belgesi verilmiştir.	
Belge No 01/090/2013				
Ekosistem Analiz Prj. Dan. Hiz. Peyz. Müh. İnş. Çevre Lab. Taah. Tic. Ltd. Şti. Mahfesiğmaz Mah. 79008 Sk. No:3 Çukurova/ADANA Tel: 0322 232 99 57-232 99 57 Fax: 0322 232 99 27 Web: www.ekosistemcevre.com Email: ekosistem@ekosistemcevre.com				
Deney Raporu Test Report				
AB-0144-T N-6397/15 22.01.2016				

Proje Adı ve Rapor No (Project Name and Number): MALATYA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ATIKSU ARITMA TESİSİ - ARITMA ÇAMURU (BELT PRES) (MÜHÜR NO: EKOSİSTEM 0547) (EVSEL ve KENTSEL ARITMA ÇAMURLARININ TOPRAKTA KULLANILMASINA DAİR YÖNETMELİK – EK 2 B - ANLIK - N-6397/15)				
Parametre Parameter	Birim Unit	Analiz Sonucu Test Result	Sınır Değer Boundary Value	Analiz Metodu Test Method
Kurşun	mg/kg	22,3	750	SM 3111 B
Kadmiyum	mg/kg	<8,5	10	SM 3111 B
Krom	mg/kg	40,7	1000	SM 3111 B
Bakır	mg/kg	84,6	1000	SM 3111 B
Nikel	mg/kg	51,7	300	SM 3111 B
Çinko	mg/kg	215,2	2500	SM 3111 B
Civa	mg/kg	0,21	10	SM 3112 B
Adsorblanabilen organik halojenler (AOX) **	mg/kg	403,5	500	TS EN ISO 9562
Lineer alkilbenzin sülfonat (LAS) *	mg/kg	<22,3	2600	SM 5540 C, PR.504.301
Diftalat(2-ethylhexyl) (DEHP) **	mg/kg	73,35	100	ASTM D 7056
Nonil Fenol Etoksilat (NPE) *	mg/kg	<0,76	50	CEN/TS 16182
Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)	mg/kg	1,4	6	EPA 8270 D, EPA 3540 C, EPA 3630 C

Not: * İşaretli Parametreler ARTEK Çevre Analiz Laboratuvarı Tarafından Yapılmıştır. ** İşaretli parametreler NEN Mühendislik Çevre Analiz Laboratuvarına yaptırılmıştır ve *** İşaretli parametreler TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü' ne yaptırılmıştır. **** İşaretli Deneyler Akreditasyon Kapsamı Dahilinde Değildir.

"Sonuçlar sadece deneyi yapılan numunelere aittir." "The results belong to the tested sample". Gelen numuneler raporu çıktıktan sonra muhafaza edilmez.

Görüşler ve Yorumlar (Ideas and Comment):

Bu rapor EKOSİSTEM ÇEVRE ANALİZ LABORATUVARI'nın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz. İmzasız ve mühürlü raporlar geçersizdir.
 This report cannot be reproduced partly without written permission. Reports without signature and seal are not valid.


 S. Özkan GÖRÜK
 Çevre Mühendisi
 Mühür/İmza

F32	Rev.No:06/Rev.Tarihi: 01.01.2015	İlk Yayın Tarihi: 20.11.2006	Sayfa 2/3
-----	----------------------------------	------------------------------	-----------

Şekil 4.12. Arıtma çamurunun düzenli depolanmasına analiz

4.14.2. Toprakta Kullanma

Arazi uygulaması, arıtma çamurunun yönetmelikte gösterilen toprak, patojen ve ağır metal içeriği ile ilgili yerel kriterleri karşıladığında gerçekleşir. Yem (yulaf, yonca, vb.) ve tahıl bitkilerinin (buğday, mısır vb.) yetiştiriciliğinde, mera ıslahında, kıraçlaşmış toprakların

kazandırılmasında, yeşil alan, refüjler ve süs bitkisi yetiştiriciliğinde uygulama oranları da dikkat edilerek kullanılabilir.

Çamurun araziye uygulaması, verimlilik ve toprak iyileştirme özellikleri açısından büyük bir fırsattır. Arazi uygulamasında çamurdan elde edilen toprak düzenleyicilerin kullanımının gözeneklilik, toprak agregası (toprağın direnme kabiliyeti), kütle yoğunluğu, su tutmasını ve topraktaki karbon sekestrasyonu (karbondioksit giderimi) gibi toprak fiziksel özelliklerini iyileştirebildiği görülmüştür. Böylece atmosferik CO₂ içeriğini ve küresel ısınma potansiyelini azaltabileceği gösterilmiştir (Wang, Chen, Ge, & Jia, 2008; Poulsen & Bester, 2010). Sentetik gübrelerin yerine çamur kullanıldığında elektrik ve yakıt tüketimindeki çevresel etki de büyüktür (Murry, Horvarth, & Nelson, 2008).

Şekil 4.13’de belt prestren ünitesinden yaklaşık %18 KM içeriğiyle çıkan arıtma çamurunun analizi gösterilmiştir. Şekil 4.14’de aynı çamurun, oda sıcaklığında % 95 KM içeriğine kadar kurutulmuş analiz sonuçları gösterilmiştir. Her iki analizde yönetmeliğin tüm değerleri sağlamasına rağmen patojenik değer aşılmıştır. Bunun sebebi ise arıtma çamuruna herhangi bir stabilizasyon uygulanmamakta ve kurutma sisteminden geçmemektedir. 2. kademe yapılacak olan çamur çürütme ve çamur kurutma üniteleriyle birlikte zorunlu patojenik değerler sağlanacaktır.

Tablo 1: Malatya Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşletme Müdürlüğü Arıtma Çamuru (Atık) Örneği Analiz Sonuçları “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” Ek 1 – B, C, D Limit Değerleri ve Analiz Yöntemleri

Parametre/Örnek	Arıtma Çamuru (Atık)	Yönetmelik Ek 1 – B, C, D Limit Değerleri	Analiz Yöntemleri
(*)Kurşun (Pb mg/kg)	26,78	750	EPA 6020 B
(*)Kadmiyum (Cd mg/kg)	0,77	10	
(*)Krom (Cr mg/kg)	65,7	1000	
(*)Bakır (Cu mg/kg)	163,7	1000	
(*)Nikel (Ni mg/kg)	55,16	300	
(*)Çinko (Zn mg/kg)	491,7	2500	
(*)Cıva (Hg mg/kg)	0,16	10	EPA 7473
(*)Azot (TKN mg/kg)	55056	---	SM- 4500- N _{org} . B
(*)Fosfor (P. mg/kg)	15884	---	Yaş yakma
(*)PAH (mg/kg)	0,17	6	ISO 11338-2
(*)PCB (mg/kg)	< 0,1	0,8	ISO 10382
(*)PCDD/F (ng TEQ/kg)	0,137	100	EPA 1613
(*)pH	6,40	---	TS 8332 ISO 10390
C / N (%)	1,213	---	Hesaplama
(*)Nem,(%)	83,82	---	TS 9546 EN 12280
(*)Kuru Madde (%)	16,18	---	TS 9546 EN 12280
(*)Organik Madde (550°C’de) (%)	65,78	---	TS EN 12879
(*)İletkenlik (dS/m)	5,29	---	ISO 11265
E.Coli (EMS/g) ¹⁾	4.5 Log 10	2 Log 10	FDA 1998
Alt Isıl Değer (cal/g)	Orijina Örnekte	29	ASTM D 5865, ISO 1928
	Havada Kuru Bazda	3034	
	Kuru Bazda	3245	

Şekil 4.13. %18 KM arıtma Çamuru Analizi

Tablo 1: Malatya Büyükşehir Belediyesi MASKİ Genel Müdürlüğü İçme Suyu ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Belt Pres Çıkışı Kurutulmuş Arıtma Çamuru Numunesi Analiz Sonuçları “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” Ek 1 – B, C, D Limit Değerleri ve Analiz Yöntemleri

Parametre/Numune	Belt Pres Çıkışı Kurutulmuş Arıtma Çamuru	Yönetmelik Ek 1 – B, C,D Limit Değerleri	Analiz Yöntemleri
(*)Kurşun (Pb mg/kg)	15,88	750	EPA 6020 B
(*)Kadmiyum (Cd mg/kg)	0,52	10	
(*)Krom (Cr mg/kg)	107,52	1000	
(*)Bakır (Cu mg/kg)	98,5	1000	
(*)Nikel (Ni mg/kg)	169,6	300	
(*)Çinko (Zn mg/kg)	322,7	2500	
(*)Cıva (Hg mg/kg)	0,112	10	EPA 7473
(*)Azot (TKN mg/kg)	46737	---	SM- 4500- Norg. B
(*)Fosfor (P. mg/kg)	8014	---	Yaş yakma
(*)PAH (mg/kg)	0,62	6	ISO 11338-2
(*)PCB (mg/kg)	< 0,1	0,8	ISO 10382
(*)PCDD/F (ng TEQ/kg)	13,8	100	EPA 1613
(*)pH	6,06	---	TS 8332 ISO 10390
C / N (%)	6,8	---	Hesaplama
(*)Nem,(%)	4,38	---	TS 9546 EN 12280
(*)Kuru Madde (%)	95,62	---	TS 9546 EN 12280
(*)Organik Madde (550°C'de) (%)	55,78	---	TS EN 12879
(*)İletkenlik (dS/m)	2150	---	ISO 11265
E.Coli (EMS/g) ¹⁾	2.18 Log 10	2 Log 10	FDA 1998

Şekil 4.14. Oda sıcaklığında kurutulan arıtma çamur analizi

4.14.3. Termal Bertaraf

Termal proseslerin amacı çamurunun enerji içeriğinden faydalanmak, kütlesini en aza indirmek ve çevreye vereceği zararı en aza indirmektir. Solar kurutma, iklim koşullarına doğrudan bağlıdır. Ayrıca termal kurutmaya göre daha büyük bir alana ihtiyaç duyduğu için termal bertaraf prosesi öncesi çoğunlukla termal kurutma tercih edilmektedir. Termal kurutma, yüksek enerji ihtiyacı gereksinim duymaktadır. Bu sistemde, yüksek enerji tüketiminin önüne geçmek için termal bertaraf işleminde oluşan atık ısı kurutmada kullanılmaktadır. Bu nedenle kentsel arıtma çamuru yönetiminde, enerji geri kazanımı dikkate alınmalıdır. Tablo 4.23’de Avrupa birliği ülkelerinde, çamurun tarımda kullanım oranı 2010 (42%)’ dan 2020 (44%) yılına kadar neredeyse aynı oranı sabit devam ettiği gösterilmiştir. Ayrıca düzenli depolama oranı azalmakta ve yakma oranı artmaktadır.

Termal bertaraf sistemlerinin hala pahalı olması sebebiyle, ülkemizde sayıları çok azdır. Türkiye'nin en büyük su ve kanal idaresi olan İstanbul da henüz bir yakma tesisinin olmaması bu sistemlerin ülkemizde henüz çok yeni olduğu göstermektedir. İstanbul'da Ataköy ve Ambarlı İBAAT gibi çıkan çamur, tesis bünyesinde kurulu olan kurutma tesislerinde istenilen kuruluğa ($\geq$ %75-90 KM) getirilmesinin ardından çimento fabrikalarında ek yakıt olarak mevcut alternatifler tesisler değerlendirilmiş ve çamurun çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılmasına başlanmıştır. Bu yöntem için Malatya ili sınırları içerisinde çimento fabrikasının olmaması dezavantaj olmakla birlikte Elazığ İl sınırları içerisinde faaliyetini sürdüren çimento fabrikaları seçenek olabilmektedir.

Tablo 4.23. 27 Avrupa ülkesinde yıllık arıtma çamuru oluşumu ve bertaraf yolları (European Commission, 2008)

Member state	Sludge ^a (Ktds/a)	Recycle ^a (%)	Inciner ^a (%)	Landfill ^a (%)	Other ^a (%)	Sludge ^b (tds/a)	Recycle ^b (%)	Inciner ^b (%)	Landfill ^b (%)	Other ^b (%)
Greece	260	5	0	95		260	5	40	55	10
Bulgaria	47	50	0	30	20	151	60	10	10	20
Ireland	135	75	0	15	10	135	75	10	5	10
Cyprus	10	50	0	40	10	17.62	50	10	30	10
Latvia	30	30	0	40	30	50	30	10	30	30
Estonia	33	15	0	–	85	33	15	0	–	85
Lithuania	80	30	0	5	65	80	55	15	5	25
Finland	155	5	0	–	95	155	5	0	–	95
Malta	10	0	0	100	–	10	10	0	–0	–
Luxemburg	10	90	5	–	5	10	80	20	–	–
Hungary	175	75	5	10	5	200	60	30	5	5
Poland	520	40	5	45	10	950	25	10	20	45
Romania	165	0	5	95	–	520	20	10	30	40
Slovakia	55	50	5	5	40	135	50	40	5	5
Spain	1,280	65	10	20	5	1,280	70	25	5	–
France	1,300	65	15	5	15	1,400	75	15	5	5
Italy	1,500	25	20	25	30	1,500	35	30	5	30
UK	1,640	70	20	–	10	1,640	65	25	–	10
Czech Rep.	260	55	25	10	25	260	75	20	5	5
Slovenia	25	5	25	40	30	50	15	70	10	5
Portugal	420	50	30	20	–	750	50	40	5	
Austria	273	15	40	>1	45	280	5	85	>1	10
Denmark	140	50	45	–	5	140	50	45	–	5
Germany	2,000	30	50	0	20	2,000	25	50	–	25
Belgium	170	10	90	–	–	170	10	90	–	–
Netherlands	560	0	100	–	–	560	–	100	–	–
EU27 total	11,564	42	27	14	16	13,047	44	32	7	16

a 2010

b 2020

Termal bertaraf sistemleri Piroliz, Yakma ve Gazlaştırma üzere üçe ayrılır. Bu sistemlerin temel farklılığı verilen hava miktarlarının farklı olmasıdır. Bu sistemlerin temel özellikleri Tablo 4.24'de verilmiştir. Katı atıkların yakılması ile hacimce % 90, ağırlıkça % 70 bir azalma sağlanır (Öztürk İ. , 2010).

Tablo 4.24. Piroliz, Yakma ve Gazlaştırma sistemlerinin temel özellikleri (Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on The Best Available Techniques for Waste Incineration, 2006)

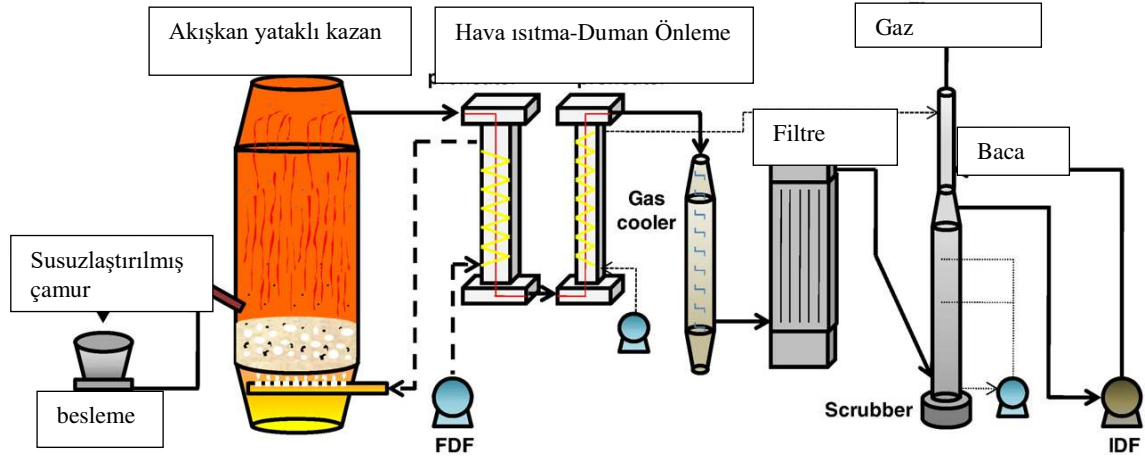
	Piroliz	Gazlaştırma	Yakma
Reaksiyon sıcaklığı	250-700	500-1600	800-1450
Basınç	1	1-45	1
Siyokiyometrik oran	0	<1	>1
Yanma Ürünleri			
Gaz Faz	H ₂ , CO, hidrokarbon, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂
Katı Faz	Kül, katran	Kül, cüruf	Kül, cüruf
Sıvı Faz	Ethanol, asetik asit	-	-

4.14.4. Yakma

Yanma hali hazırda çamur enerji değerlemesi için kullanılan ısı işlem yöntemidir. Yakılan çamur miktarı hali hazırda üretilen çamura oranı Danimarka’da % 24, Fransa’da % 20, Belçika’da % 15 ve Almanya’da % 14’e ulaşmıştır (Lundin, Olofsson, Pettersson , & Zetterlund, 2004). Islak ya da kuru çamur yakma (ağırlıkça% 41-65 kuru malzeme içeriği ile) akışkan yataklı yanma reaktörlerine etkili bir şekilde sokulabilir (Fytli & Zabaniotou, 2008). Hem çamur depolama hem de tarımsal yeniden kullanımla ilgili katı sınırlamalar göz önünde bulundurulduğunda, yanma/yakmanın uzun vadede önemli bir rol oynaması beklenmektedir (Malerius & Werther, 2003).

Gaziantep’ de yapılan bir çalışmada akışkan yataklı çamur yakma tesisi incelenmiştir. Kış aylarında termal kurutma ve yakma ünitesine beslenen %27 KM içerikli arıtma çamurunun içerdiği organik madde, yaz aylarında sisteme beslenen çamurun organik madde içeriğinden farklı olması nedeniyle kış ayında açığa çıkan enerji miktarının da yaz aylarına göre yaklaşık %40 daha fazla olduğu görülmüştür (İrdemez, Yılmaz, & Anlatıcı, 2016). Bu farklılığın temel sebebi ise kış aylarında sıcaklığın daha az olmasında dolayı çamur çürütücülerdeki performans düşüşünden kaynaklıdır. Bu durumda kış aylarında çürütücülerden çıkan çamurun organik içeriği daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Ayrıca çamur yakma ile çıkan enerji fazlasının geri kazanımda değerlendirilebilmesi için kurulacak olan bir buhar türbünü yatırımı ile atık ısının elektrik enerjisine dönüşmektedir. Gerek termal kurutma ve yakma tesisinin gerekse de AAT’nin anlık

enerji tüketiminin büyük bir kısmını karşılayabileceği ifade edilmiştir. Şekil 4.15’de akışkan yataklı yakma sistemi görülmektedir.

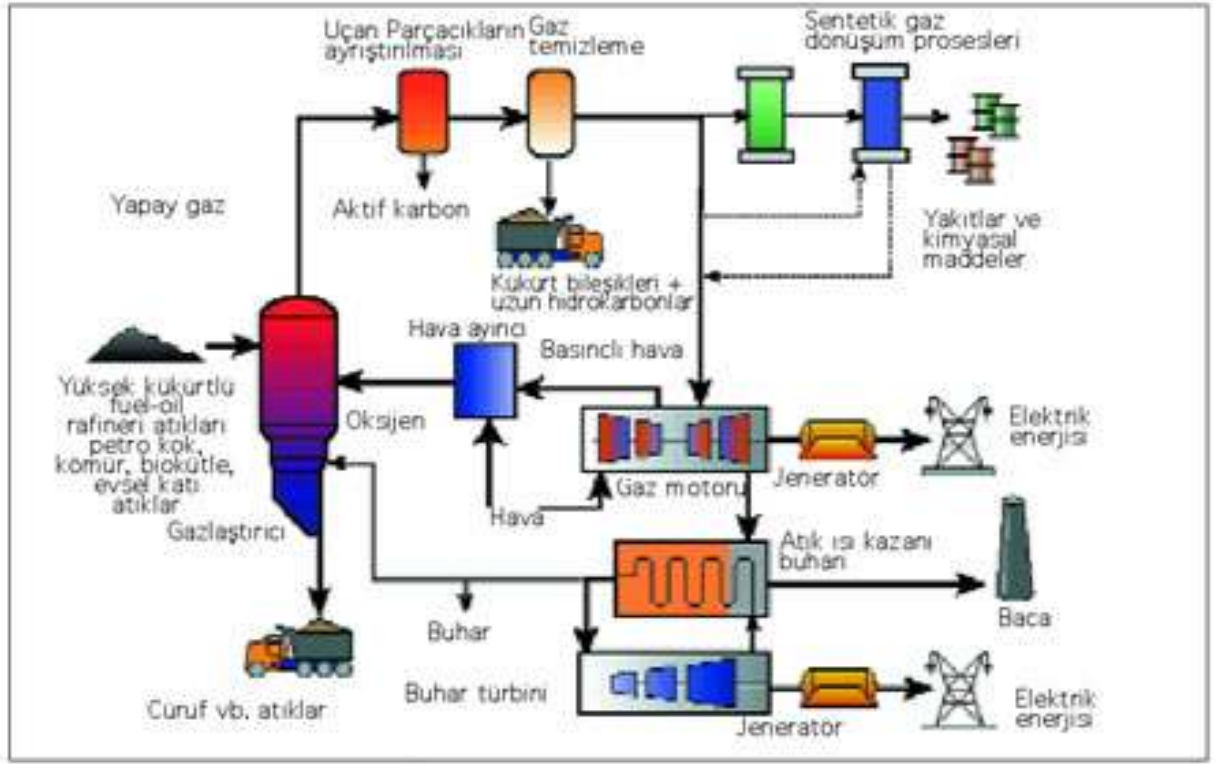


Şekil 4.15. Akışkan yataklı yakma sistemi (Takahiro, ve diğerleri, 2009)

Gazlaştırma; çamurun karbonlu içeriğinin reaktif bir atmosfer, hava veya buhar varlığında yanıcı bir gaza ve küle dönüştürüldüğü termal işlemdir. Gazlaştırma esas olarak organik maddelerin toplam yanması için gerekli oksijenin % 20 ila 40'ını kullanarak yanıcı gaza veya sentez gaza (syngas) dönüştürülen bir termokimyasal reaksiyondur. Gazlaştırma işleminde, katıları, CO veya H₂ ve diğer gazların bir karışımı olan bir sentez gazına dönüştürmek için ısı, basınç ve buhar kullanır. Çamurundan elde edilen sentez gazının ısıtma değeri yaklaşık 4 MJ / m³'tür. Bu sistemde, yakma işleminde yaygın olarak karşılaşılan, ek yakıt ihtiyacı, SO_x ve NO_x emisyonları, ağır metaller, uçucu kül ve klorlu dibenzodioksinlerin ve dibenzofuranların potansiyel üretimi gibi riskler çok görülmez. Bu proseste en verimli çalışma %90 KM çamur olmasına rağmen susuzlaştırılmış çamur (% 20-40 KM) da kullanılabilir (Spinosa, ve diğerleri, 2011).

Gazlaştırma (Şekil 4.16), piroliz gibi atık yakmaya alternatif berataraf teknolojilerin en önemli özellikleri baca gazı ve kül/cüruf gibi işletme maliyetlerinin düşük olmasıdır. Söz konusu teknolojiler yeni oldukları için henüz yeterli sayıda deneyimleri yoktur. Orta ve uzun vadede gazlaştırma teknolojisinin arıtma çamuru beratarafında büyük ölçekte uygulanması beklenmektedir (Öztürk, Çallı, Arıkan, & Altınbaş, 2016).

Ayrıca günümüzde yapay gaz, çamur fermantasyonundan elde edilen biyogaz ile birlikte aynı üniteye ısı üretmek için bir gaz motorunda veya yanma odasında kullanılmaktadır (Judex, Gaiffi, & Burghbacher, 2012).

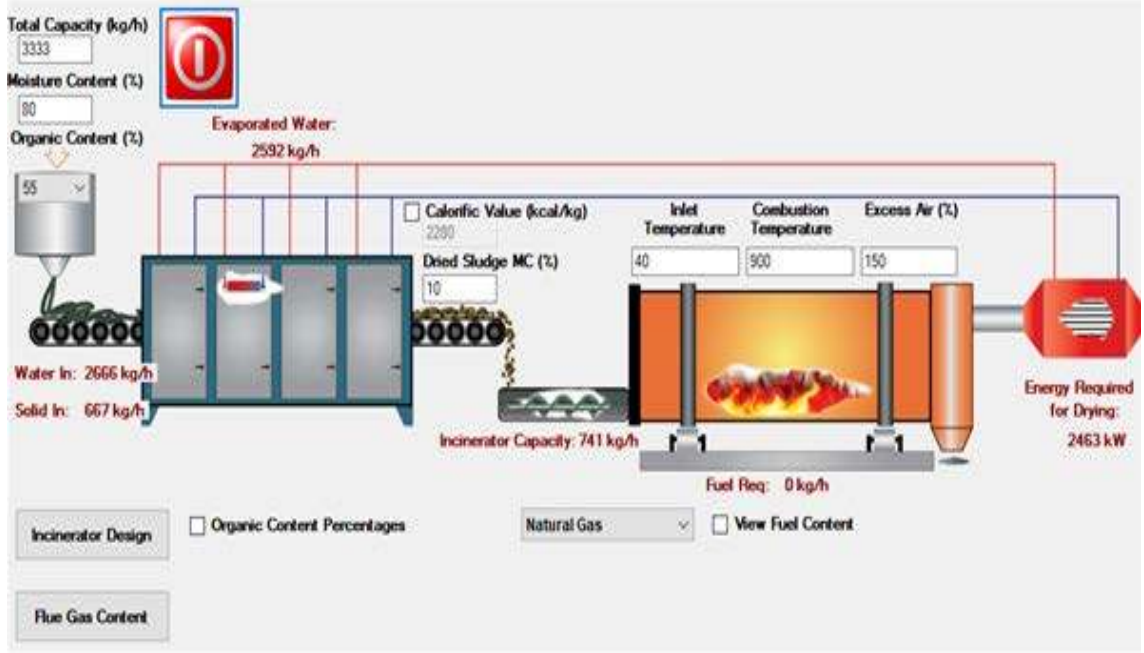


Şekil 4.16. Gazifikasyon (Su ve Çevre Teknolojileri, 2006)

MALATYA İBAAT için yapılan bir yakma ve kurutma tesisi senaryosu Şekil 4.17’de verilmiştir. Bu sistemde günde 80 ton çamur (%20 KM) önce kurutucuya girmekte bu üniteden %90 KM içeriğiyle ayrılmaktadır. Kurutma esnasında kullanılan enerji ise yakmada elde edilen atık ısıdan oluşmaktadır. Bu sebeple kurutucu doğrudan tip olarak tercih edilmiştir. Buharlaştırılacak su miktarı saatte 2399 kg olarak hesaplanmış ve bu buharlaştırma için gerekli enerjinin 2463 kw olması belirlenmiştir. Bu enerji yakma sisteminden geri kazanılacaktır. Böylece atık ısıyla çamur kuruluşunda en yüksek noktaya ulaşılması hedeflenmiştir.

Analizlerde çamurun, OM içeriği %65-55, kalorifik değerinde 3200-3000 kcal/kg arasında değiştiği gözlenmiştir. Yapılan çalışmada yakma ünitesine giriş değeri OM için %55, kalorifik değer içinse 2280 kcal/kg olarak alınmıştır. Giriş değerleri, analiz değerlerinden düşük alınmış ve emniyetli tarafta kalınmıştır. Bu senaryo ile dışarıdan enerji gereksinimi olmadan çamur termal

olarak bertaraf edilmiş olacaktır. Tüm bu sistem maliyeti ise 2.500.000 euro olarak öngörülmüştür.



Şekil 4.17. Çamur kurutma ve yakma ünitesi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Malatya İBAAT'nin dizayn, 2017-2018 işletme değerlerinin analizi yapılarak, tesisin hizmet ettiği eşdeğer nüfus, kirlilik yükleri, çamur analizleri incelenmiş ve 2. kademe artışı için karşılaştırılma yapılmıştır. Atıksuyun BOİ, KOİ, AKM, TN ve TP, fazla çamurun UAKM, AKM ve TKM, susuzlaştırılmış çamurun nem tayin analizleri Malatya İBAAT bünyesindeki laboratuvarda yapılmıştır. Susuzlaştırılmış çamurun ağır metal, organik madde ve kalorifik değerleri analizleri ise akrediteli laboratuvarlarda yapılmıştır. Dizayn değerleri ise arıtma tesisi projelendirilirken oluşturulan proses raporundan alınmıştır.

Yapılan araştırmaların sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- 1) Arıtma tesisi laboratuvarında ham atıksuya yapılan ait analiz sonuçlarına göre ortalama kirlilik yükleri değerlerin 2017 yılı için 29.560 kg/gün KOİ, 14.108 kg/gün BOİ5, 2.370 kg/gün TN, TP 422 kg/gün ve 17.805 kg/gün AKM'dir. 2018 yılında ham atıksuyun sonuçları ise, 30.940 kg/gün KOİ, 14.980 kg/gün BOİ5, 3.724 kg/gün TN, TP 532 kg/gün, 20.230 kg/gün AKM olduğu analiz edilmiştir. Bu kirlilik yüklerin 1.kademe dizayn değerlerine oranla %40 ila 50' den daha az olduğu tespit edilmiştir.
- 2) 2. Kademe artışında için proses raporunda nüfus projeksiyonu 960.000 kişi alınmıştır. Ancak kademe aşaması için yeniden nüfus hesapları yapılmış ve Malatya İBAAT 2. Kademe için yapılan nüfus projeksiyonun hatalı olduğu değerlendirilmiştir. Dizayn değerleriyle kademe artışı yapılması durumunda arıtma tesisinde daha büyük üniteler ve mekanik ekipmanlar yer alacaktır. Yerel yönetimlerin arıtma tesisleri gibi ilk yatırım maliyeti yüksek olan hizmetlerde genellikle kredi kullandığı bilinmektedir. Gereksiz büyük hacimli inşa ve mekanik ekipmanlardan dolayı ilk yatırım maliyeti artacak ve yönetimlerin borç yükünü arttıracaktır.
- 3) Kademe artışıyla yapılacak çamur çürütücüde, arıtma çamurunun organik kısmından oluşan biyogazdan elde edilen enerji ile MALATYA İBAAT'nin %30 enerji gideri karşılanacak ve oluşacak nihai çamur miktarı azalacaktır. Bununla birlikte çamur anaerobik çürütücüde stabil hale gelecektir. AÇ'nin toprakta kullanılması için stabilizasyon şartı sağlanmış olacaktır. Böylece MALATYA İBAAT çamurunun bertaraf seçeneğinin artacağı yönünde değerlendirme yapılmıştır.
- 4) Seçilecek çamur kurutma ünitelerinde, termal kurutma ilk yatırım maliyetinin sera tipi solar kurutmadan daha az olduğu tespit edilmiştir. Ancak solar kurutma sistemi işletme koşullarında daha az elektrik tüketerek, işletme maliyeti yönünden daha avantajlıdır.

Termal kurutmanın tercih edilmesi sadece atık ısı geri kazanım durumlarında uygun olacağı tespit edilmiştir.

Solar kurutma enerji tüketimi termal sistemlere göre daha az olmasına rağmen solar kurutmanın yıllık enerji maliyeti, MALATYA İBAAT'nin 1 aylık enerji maliyetine eşit olduğu değerlendirilmiştir.

- 5) Uzun yıllardan beri arıtma çamurunun depolama sahasında depolanarak bertaraf edilmesinden dolayı depolama sahasında yeterli alan kalmamıştır. Farklı depolama alanı arayışları devam etmekte olduğu ve yeni alanın mevcut depo sahasından en az 2 kat (50-60 km) uzaklıkta olacağı belirlenmiştir.
 - 6) Arıtma çamurunun, toprakta kullanılması dair tek engelin E.coli parametresi olduğu tespit edilmiştir. Bu parametrenin anaerobik stabilizasyon ve kurutma sistemleri ile sınır değerlerin altına ineceği yönünde değerlendirme yapılmıştır.
 - 7) Çamurun kalorifik değerlerine göre yapılan analiz sonucunda termal bertarafa uygun olduğu tespit edilmiştir. Gazifikasyon ve yakma bertarafı için değerlendirme yapılmıştır. Gazifikasyon tesisinde oluşan yapay gazın, çamur çürütücü ile oluşan gazla birlikte enerjiye dönüşebilmesi ihtimali öngörülmüştür.
- Arıtma çamurunun %90 KM içeriğiyle dışarıdan enerjiye ihtiyaç duyulmadan yanabileceği ve bu yakma sonucunda açığa çıkan atık ısının termal kurutma sisteminde çamuru istenilen kuruluğa ulaştıracağı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of Sewage Sludge in EU Application of Old and New Methods-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1(12), 116-140.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.014>.
- AES Aritma. (2020). *AES Aritma*. 02 02, 2020 tarihinde <http://www.aesaritma.com/pages/filterpress.aspx> adresinden alındı
- Al-Muzaini, S. (2003). Performance Of Sand Drying Beds for Sludge Dewatering. *The Arabian Journal for Science and Engineering*(2).
- Alpaslan, N., Döngel, D., Küçükgül, E. Y., Sponza, D., Toprak, H., & Türkman, A. (2004). Atıksu Aritma Tesislerinin Tasarım ve Proje Kontrol Esasları. İzmir: Emre Basımevi.
- Andreoli, C. V., Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). Sludge Treatment and Disposal, Biological Wastewater Treatment Series . London: IWA Publishing.
- Andreoli, C., Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). *Sludge Treatment and Disposal* (s. 101-119). içinde IWA.
- Ayol, A., Filibeli, A., Sır, D., & Kuzkaya, E. (2007). Aritma Çamurlarının Biyolojik Dezentegrasyonu: Enzimatik ARıtımın Çamur Minimizasyonu Üzerine Etkileri. 7. *Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*. İzmir.
- Bennamoun, L. (2012). Solar Drying of ,Wastewater Sludge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(16), 1061– 1073.
- Bianchini, A., Pellegrini, M., & Sacconi, C. (2016). Sewage Sludge Management in Europe: A Critical Analysis of Data Quality. *International Journal of Environment and Waste Management*, 26.
- Bridge, T. R. (1982). Sludge Derived Oil-Wastewater Treatment Implication. *Environ. Technol. Lett. Vol 3*, 151-156.
- Bux, M., & Baumann, R. (2003). Performance, Energy Consumption and Energetic Efficiency Analysis of 25 Solar Sludge Dryers. *Proceedings of the Water* (s. 522-534). içinde WEFTEC.
- Cao, X., Meng, X., & Meng, X. (2011). Recycling to soils: a sustainable way of sludge disposal and its practice in China. *Adv Mater Res*, 183–185:1417–1422.
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2020). 01 20, 2020 tarihinde Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> adresinden alındı
- Engineeringnotes. (2020). 01 30, 2020 tarihinde Engineeringnotes: http://www.engineeringenotes.com/wp-content/uploads/2018/04/clip_image002-3.jpg adresinden alındı
- EPA. (1999). *Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States*. EPA530-R-99-009.

- European Commision. (2020, 01 10). *European Commission Environment Waste Sludge*.
<https://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/index.htm> adresinden alındı
- European Commission. (2008). *Environmental, Economic and Social Impacts of The Use of Sewage Sludge on Land, Final Report, Part I*. EC (European Commission).
- Filibeli , A. (2013). Arıtma Çamurlarının İşlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Filibeli, A. (1996). *Arıtma Çamurlarının İşlenmesi*. İzmir: Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Filibeli, A. (1998). *Arıtma Çamurlarının İşlenmesi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.
- Filibeli, A. (2018). Arıtma Çamurlarının Nihai Olarak Bertaraf Edilmesi Ve Yararlı Kullanım Alternatiflerinin İncelenmesi . *Atıksu Arıtımı Çalıştayı*.
- Flaga, A. (2007). *Sludge Drying*. Kraków: Institute of Heat Engineering and Air Protection Cracow University of Technology.
- Fonda, K. D., & Lynch , E. (2009). Going for The Green in Thermal Drying: Evaluation of Innovative New Technologies and Industry Trends. *Proceedings of The Water Environment Federation Residuals and Biosolids*, (s. 1019-1043).
- Grobelak, A., & Jaskulak, M. (2019). Sludge multifunctions in a phytobiome—Forest and plantation application including microbial aspects. M. Prasad içinde, *Industrial and Municipal Sludge* (s. 323-336). Oford: Elsevier.
- Gürtekin , E., & Şekerdağ, N. (2006). Aktif Çamur Proseste Aşırı Çamur Üretimini Azaltmak için Kullanılan Yöntemler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*.
- Hall, J. (2020, Mart). *Ecological and Economical Balance for Sludge Management Options*. 02 25, 2020 tarihinde
<https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/workshoppart4.pdf>
adresinden alındı
- HAUS. (2020). *HAUS*. 01 27, 2020 tarihinde
<https://www.haus.com.tr/haustr/urunler.php?group=1&id=9> adresinden alındı
- HAUS. (2020). *HAUS*. 01 02, 2020 tarihinde <https://www.hausworld.com/urun-3-vidali-pres.html>
adresinden alındı
- Hii, C., Jangam, S., Ong, S., & Mujumdar, A. (2012). *Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations*.
- Horan, N. (1990). *Biological wastewater treatment systems: theory and operation*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Houdkova, L., Boran, J., Ucekaj, V., & Elsaber, T. (2008). Thermal Srocessing of Sewage Sludge – II. *Applied Thermal Engineering*, 2083-2088.
- http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Ar%C4%B1tma%20%C3%87amurlar%C4%B1.pdf, 04.12.15. (tarih yok).

- <https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/EK5.pdf>. (tarih yok).
- HUBER. (2020). 01 25, 2020 tarihinde https://www.huber.com.tr/fileadmin/huber-tr/documents/brochures/bt_tr.pdf adresinden alındı
- HUBER. (2020). HUBER. 01 26, 2020 tarihinde <https://www.huber.com.tr/tr/ueruenler/camur-aritimi/camur-yogunlastirma/huber-bantli-yogunlastirici-drainbelt.html> adresinden alındı
- (2006). *Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on The Best Available Techniques for Waste Incineration*. European Commission.
- İrdemez, Ş., Yılmaz, A. E., & Anlatıcı, E. (2016). Evsel Atıksu Arıtma Çamurlarının Termal Kurutma-Yakma Prosesi ile Uzaklaştırılmasında Arıtma Verimi–Enerji İlişkisinin İncelenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 65-73.
- Judex, J. W., Gaiffi, M., & Burghbacher, C. H. (2012). Gasification of Dried Sewage Sludge: Status of The Demonstration and The Pilot Plant. *Waste Management*, 719-723.
- Kidd, P. S., Domínguez-Rodríguez, M. J., Díez, J., & Monterroso, C. (2007). Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. *Chemosphere*, 66:1458–1467.
- Konsorsiyumu, E. P. (2010). *Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması için Teknik Yardım Projesi*. Ankara: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Liu, Y. (2003). Chemically reduced excess sludge production in the activated sludge process. *Chemosphere*, 1-7.
- Lowe, P. (1995). Developments in The Thermal Drying of Sewage Sludge. *Water and Environment Journal*, 306-316.
- Lu, j., Gavala, H. N., Skiadas, I., Mladenovska, Z., & Ahring, B. (2008). Improving Anaerobic Sewage Sludge Digestion by Implementation of A Hyper-Thermophilic Prehydrolysis Step. *Journal of Environmental Management*, 881-889.
- Lundin, M., Olofsson, M., Pettersson, G., & Zetterlund, H. (2004). Environmental and Economic Assessment of Sewage Sludge Handling Options. *Resource Conservation and Recycling*, 255-278.
- Malerius, O., & Werther, J. (2003). Modeling The Adsorption of Mercury in The Flue Gas of Sewage Sludge Incineration. *Chemical Engineering Journal*, 197-205.
- MASKİ. (2020). Malatya.
- McFarland, M. J. (2000). *Biosolids Engineering*. McGraw-Hill.
- Metcalf, E. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. McGrawHill.
- Monroe Environmental Corporation, Monroe, MI. (2020). 02 01, 2020 tarihinde <https://www.monroeenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/circular-clarifiers-and-thickeners/> adresinden alındı

- Mujumdar, A., & Zhonghua, W. (2007). Cost-Effective Innovation Aided by Mathematical Modeling Approach. *Thermal Drying Technologies* (s. 145-153.). içinde
- Murry, A., Horvarth, A., & Nelson, K. (2008). Hybrid Life-cycle Environmental and Cost Inventory of Sewage Sludge Treatment and End-usescenarios: A Case Study from China. *Environ Sci Technol*, 3163-3169.
- Oleszkiewicz, J. A., Reimers, R. S., & Suszenie Osadów ściekowych, M. (1998). *Międzynarodowego Seminarium Szkoleniowego nt. Kraków.*
- Ögleni, N., & Özdemir, S. (2010). Pathogen reduction effects of solar drying and soil. *Tubitak Turk J Agric For* , 509-514.
- Öztürk, İ. (2010). *Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları.* İstanbul.
- Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O., & Altınbaş, M. (2016). *Atıksu Artıma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı* (s. 120-121). içinde Ankara.
- Peirce, J. J., & Vesilind, P. (1998). Sludge Treatment, Utilization and Disposal. *Environmental Pollution and Control*.
- Peters, G., & Rowley , H. (2009). Environmental comparison of biosolids management systems using life cycle assessment. *Environ Sci Technol*, 2674-2679.
- PGO. (2004). *Zespół autorów pod redakcją dr Krzysztofa Skalmowskiego.* Aktualizacja: Dashöfer Holding Ltd. Wydawnictwo Verlag Dashöfer Sp. z o.o.
- Piskorz, J., Scott, D. S., & Westerberg , I. B. (1986). Flash Pyrolysis of Biomass. *Ind. Eng.Chem. Proc. Design Develop*, 265-270.
- Poulsen, T., & Bester, K. (2010). Organic Micropollutant Degradation in Sewage Sludge During Composting Under Thermophilic Conditions. *Environ Sci Technol*, 5086-5091.
- Ranteko. (2020). *Ranteko.* 03 01, 2020 tarihinde <http://www.ranteko.com/tr/termal-camur-kurutucu/> adresinden alındı
- Ritterbusch, S., & Bux, M. (2012). Solar Drying of Sludge - Recent Experiences in Large Installations. *3rd European Conference on Sludge Management.* Leon, İspanya.
- RKR Makine. (2020). 02 02, 2020 tarihinde <http://www.rkrmakine.com.tr/urun-detay--Ccedil-amur-Susuzlastirma-Belt-Pres> adresinden alındı
- Romdhana, M. H., Lecomte, D., Ladevie, B., & Sablayrolles, C. (2009). Monitoring of Athogenic Microorganisms Contamination During Heat Drying Process of Sewage Sludge. *Process Safety and Environmental Protection*, 377–386.
- Salihoğlu, N. K. (2016). Türkiye’de Arıtma Çamurlarının Güneş Enerjisiyle Kurutulması için Yaklaşımlar ve Ekonomik Değerlendirme. *Su ve Çevre*, 46.
- Samsunlu, A. (2011). *Atık Suların Arıtılması.* İstanbul: Birsen Yayınevi.

- Samsunlu, A. (2015, Kasım). Türkiye'de Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Bertarafı. *Su ve Çevre*, 44-56.
- Singh, R. P., & Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Manage* , 28:347–358.
- SNF FLOEGER. (2020, 01 25). *Çamur Susuzlaştırma*. snfturk: http://www.snfturk.com/images/uploads/d48d0a57d3c54a6da9f6864e7685b6d3_sludge-dewatering-e_marked.pdf adresinden alındı
- Spinosa, L., & Vesilind, P. A. (2001). *Sludge into Biosolids Processing, Disposal and Utilization*. London: IWA Publishing.
- Spinosa, L., Ayol, A., Baudez, J. C., Canziani, R., Jenicek, P., Leonard, A., . . . Dijk, L. V. (2011). Sustainable and Innovative Solutions for Sewage Sludge Management. *Water*, 3, 702-717.
- Stasta, P., Boran, J., Bebar, L., Sthenlik, P., & Oral, J. (2006). Thermal Processing of Sewage Sludge. *Applied Thermal Engineering*, 1420-1426.
- STS Arıtma Sistemleri. (2020). *STS Arıtma Sistemleri*. 01 29, 2020 tarihinde <http://stsarıtma.com.tr/tr/hizmetler/camur-susuzlastirma-ekipmanlari/belt-pres> adresinden alındı
- Su ve Çevre Teknolojileri. (2006). 03 10, 2020 tarihinde Su ve Çevre: <http://www.suvecevre.com/yayın/525/yakma-yerine-neden-gazlastirma-15603.html#.XpxcavkzbIV> adresinden alındı
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020, 01 25). *Atıksu Arıtma Tesisleri İşletmecileri için El Kitabı*. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/ek14-20191127124112.pdf> adresinden alındı
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020). *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*. 02 18, 2020 tarihinde <https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/EK5.pdf> adresinden alındı
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2013). *Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi* (s. 306). içinde T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Takahiro, M., Suzuki, Y., Nagasawa, H., Yamamoto, T., Koseki, T., Hirose, H., & Okamoto, S. (2009). Combustion Characteristics of Sewage Sludge in An Incineration Plant for Energy Recovery. *Chemistry*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.03.003>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, D. H. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Newyork: Mc-Graw Hill.
- U.S. EPA. (1987). *Design Manual: Dewatering Municipal Wastewater Sludges*.
- U.S. EPA. (2000). *Biosolids Technology Fact Sheet Centrifuge Thickening and Dewatering*.
- United Nations. (2003). *A general review by United Nations, Economic and Social Commission for Western Asia*. New York: United Nations Publications.

- Vigneswaran, S., & Kandasamy, J. (2009). Sludge Treatment Technologies. *Waste Water Treatment Technologies*(2), 99.
- Wang, H., & Brown, S. (2008). Technological options for the management of biosolids. *Environ Sci Pollut Res*, 308-317.
- Wang, X., Chen, T., Ge, Y., & Jia, Y. (2008). Studies on Land Application of Sewage Sludge and Its Limiting Factors. *J Hazard Mater*, 554–558.
- Weiner, R. E., & Matthews, R. A. (2003). *Environmental Engineering*. Burlington: Butterworth-Heineman.
- Wiechmann, B., Dienemann, C., Kabbe, C., Brandt, S., Vogel, I., & Roskosch, A. (2013). *Sewage Sludge Management in Germany*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA).



ÖZGEÇMİŞ

Veysel BOZKIR

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : BİNGÖL
Doğum Yılı : 08.02.1990
Uyruğu : TC
Adres : Hastane Caddesi. Zafer sitesi a blok kat:2 no:7 Malatya
E-posta : bozkirveysel@gmail.com
Yabancı Diller : İngilizce (Düzey: İyi)

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans : “ İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Çamur Yönetimi”
Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 2020
Danışman: Prof.Dr. Halil HASAR
Lisans : Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Bölümü, 2013
Lise : Fatih Lisesi, Malatya, 2007

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

- ✓ Bildiğiniz bilgisayar programlama dilleri (C-C++)
- ✓ Kullanabildiğiniz bilgisayar programlarını (AUTOCAD)

İŞ DENEYİMİ

2017 – :Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi, Çevre Mühendisi
2015 – 2017: Çevre Danışmanlık Hizmetleri, Çevre Mühendisi