



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA İLİ EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN
OLUŞAN ÇAMURLARIN NİHAİ BERTARAFI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Türkay DÜZGÜN

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Gülden GÖK**

AKSARAY, 2018



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA İLİ EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN
OLUŞAN ÇAMURLARIN NİHAİ BERTARAFI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Türkay DÜZGÜN

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Gülden GÖK**

AKSARAY, 2018

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 142301411 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, "Türkey DÜZGÜN", ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ANKARA İLİ EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE OLUŞAN ÇAMURLARIN NİHAİ BERTARAFI ÖRNEĞİ" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Gülden GÖK
Aksaray Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Görkem AKINCI
Dokuz Eylül Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Melayib BİLGİN
Aksaray Üniversitesi



Teslim Tarihi:

Savunma Tarihi:23.03.2018

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında Türkiye’de ve tüm dünyada büyük bir sorun haline gelmiş olan evsel atıksu arıtma çamurlarının bertaraf edilmesi hususunu Ankara ili özelinde incelenmek istenmiştir. Evsel atıksu arıtma tesislerinde arıtım faaliyetleri sonucu oluşan arıtma çamurları da atıksu gibi çeşitli arıtım işlemlerinden geçirilerek zararsız hale getirilmesi gereken katı – sıvı tipte bir karışımdır. Arıtma çamurlarının kaynağında olduğu haliyle çevreye verilmesi halinde, büyük çevresel zararlara ve felaketlere yol açabilmektedir.

Teknolojinin gelişmesi, enerji ihtiyaçlarının artması ve çevresel açıdan oluşturduğu önem gibi sebeplerle evsel atıksu arıtma tesisleri kaynaklı oluşan arıtma çamurlarının yönetimi hususu günümüzde yeni yaklaşımların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Arıtma çamurları bu sayede artık yenilenebilir bir enerji kaynağı ve/veya ikincil ürünler oluşturmada hammadde özelliği ile öne çıkan katı-sıvı atık karışımıdır. Arıtma çamurlarının yönetimi; sistem içindeki tüm hususların göz önünde bulundurulmuş, bütüncül bir yaklaşımla ele alınan ve hem yerel hem de ulusal ölçekte değerlendirmesi gereken bir sistemler bütünüdür. Ayrıca, tüm bu hususlar yanında planlanan yönetim sistemleri sürdürülebilir nitelikte de olması unutulmamalıdır.

Evsel atıksu arıtma tesisleri kaynaklı arıtma çamurları yönetiminin bu derece önem arz etmesi, tez konusu olarak seçimimde etkili olmuştur. Bu sebeple tez çalışmamda Ankara ili özelinde olmak üzere, evsel atıksu arıtma tesisleri kaynaklı arıtma çamurlarının nihai bertarafı için bir öneri oluşturulabilmesi hedeflenmiştir.

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışmada alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Türkay DÜZGÜN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam sırasında değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Gülden GÖK’ e teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım sırasında manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli eşim Narin Nur DÜZGÜN’ e, yüksek lisans eğitim sürecimin ikinci yarısında hayatımıza dâhil olan ve baba olmanın kıymetli duygusunu bana yaşatan oğlum Doğukan Halis DÜZGÜN’ e teşekkürlerimle birlikte sevgilerimi sunuyorum.

Tez çalışmalarımın laboratuvar çalışmaları ile mekanik-elektrik hazırlık safhalarında benden desteğini hiç esirgemeyen kıymetli çalışma arkadaşlarım Ahmet DİNÇ ve Bayram ALKAN’ a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca yüksek lisans tez çalışmamda kaynak olarak kullandığım, bilim adına yapılmış çalışmalarda kıymetli katkısı ve emeği olan tüm herkese sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1 Arıtma Çamurları	3
2.1.1 Atıksu arıtılması ve önemi	3
2.1.2 Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları	5
2.2 Arıtma Çamurunun Özellikleri	7
2.3 Arıtma Çamuru Karakteristiğinde Önemli Parametreler	13
2.4 Arıtma Çamuru Kaynakları.....	17
2.4.1 Birincil arıtma çamuru	17
2.4.2 İkincil arıtma çamuru	19
2.4.3 Kimyasal arıtma çamuru	23
2.5 Arıtma Çamurlarının Bertaraf Edilmesi.....	25
2.5.1 Çamur arıtma süreçleri	25
2.5.2 Arıtma çamuru bertaraf yöntemleri.....	45
2.6 Önceki Çalışmalar.....	67
3. UYGULAMA – MATERYAL METOT.....	81
3.1 Ankara İli Tanıtımı.....	81
3.2 Atıksu Arıtma Tesisleri	85
3.2.1 Tatlar atıksu arıtma tesisi üniteleri	88
3.2.2 Atıksu arıtma tesisi arıtma çamuru ve atıksu değerleri	91
3.3 Pilot Ölçekli Hibrit Çamur Kurutma Sistemi Tasarımı.....	96
3.3.1 Arıtma çamuru kurutma çalışmaları ve sonuçlar	101
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	112
5. SONUÇLAR.....	119
KAYNAKLAR	122
EKLER.....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	140

ÖZET

ANKARA İLİ EVSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDEN OLUŞAN ÇAMURLARIN NİHAİ BERTARAFI ÖRNEĞİ

Arıtma çamuru, su ve atıksu arıtılması sonucu katı ve sıvı karışımlardan oluşan maddedir. Bu madde bazı ön ve nihai işlemlerden geçirilerek zararsız hale getirilmelidir. Aksi durumlarda çevresel zararlara yol açabilmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurun miktar ve özellikleri atıksuyun bileşimine bağlıdır. Bununla birlikte, kullanılan atıksu arıtımının türü ve çamurun bertaraf yöntemleri oldukça önemlidir. Arıtma tesislerinde oluşan çamurlar, tesiste atıksu arıtımı sırasında kullanılan arıtma türüne ve atıksu arıtma tesisinin bulunduğu bölgenin atıksu karakteristiğine göre değişmektedir. Evsel atıksu arıtımı sonrası arda kalan arıtma çamuru çeşitli arıtma aşamalarından geçirmekte ve bu sayede arıtımı ve/veya bertarafı gerçekleşmektedir. Söz konusu arıtma aşamalarından geçirilen ve zararsız hale getirilen arıtma çamuru nihai işlem yeri olarak toprak güçlendirici madde olarak (gübre vb.) kullanılmakta veya yakma işlemine tabi tutulmaktadır. Yapılan çalışmada, kentsel atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurların nihai bertarafı kapsamında kurutma yöntemleri Ankara ili kentsel atıksu arıtma tesisleri bağlamında incelenmiştir. Ankara ili arıtma çamurlarının hibrit yapıda hem solar radyasyon ile çalışan hem de termal enerji kaynakları (kojenerasyon ile solar paneller) ile de kurutma sistemine kesintisiz bir güç sağlayacak olan bir sistemde kurutulması en uygun çözüm olacaktır. Söz konusu termal kaynak tesiste hali hazırda var olan kojenerasyon sisteminden sağlanabilir. Ayrıca solar radyasyon kaynaklı kurutma sisteminden daha iyi verim alabilmek için çamur kurutma sistemine güneş panelleri eklenmesi önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, Arıtma Çamuru, Bertaraf Yöntemleri, Gübre, Kurutma, Yakma.

ABSTRACT

FINAL DISPOSAL EXAMPLE OF SEWAGE SLUDGES IN ANKARA PROVINCE WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Sewage sludge is a matter consists of solid and liquid mixtures which resulting from the treatment of water and wastewater. This substance must be rendered harmless by some preliminary and final treatment. Otherwise it can cause environmental damage. Otherwise, it could cause some environmental damages. The amount and characteristics of the mud produced in wastewater treatment plants depend on the composition of the wastewater. However, the type of wastewater treatment used and the disposal methods of the mud are very important. Sludges formed in treatment plants vary according to treatment type which used during wastewater treatment and character of wastewater of the region which wastewater treatment plant in. The treatment mud remaining after the domestic wastewater treatment is passed through various stages of purification, and the treatment and / or disposal takes place at this site. Sewage sludge remaining after the domestic wastewater treatment is passed through various stages of treatment and the sludge treatment and/or disposal is carried out by using these methods. The treated sludge, which has been passed through the purification stages and rendered harmless, is used as soil strengthening material (fertilizer etc.) as the final treatment site or subjected to incineration process. In the study, drying methods in the context of the final disposal of mud sourced from urban wastewater treatment plants have been examined in the context of urban wastewater treatment plants in Ankara. It will be the most appropriate solution to dry the sludge in the Ankara municipal sewage sludge in a hybrid structure that will provide uninterrupted power to both the solar radiation as well as the thermal energy sources (cogeneration and solar panels). The thermal welding can be provided from the existing cogeneration system. In addition, adding solar panels to the sludge drying system is an important alternative to improve the efficiency of the solar radiation sourced drying system.

Keywords: Disposal Methods, Drying, Fertilizer, Incineration, Sewage Sludge, Wastewater.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1: Atıksu arıtımı ve çamur oluşumu.	18
Şekil 2.2: Ön arıtım sisteminin akış şeması.	18
Şekil 2.3: Aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikinci arıtım.	19
Şekil 2.4: Damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil arıtım.	20
Şekil 2.5: Düzenli depolama alanında ortaya çıkan durumlar.	49
Şekil 2.6: Araziye serme mekanizması.	51
Şekil 2.7: Kurutma aşamaları.	62
Şekil 3.1: Ankara ili haritası (URL-4).	81
Şekil 3.2: Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası (URL-5).	82
Şekil 3.3: Ankara ili rüzgâr hız dağılımı (50 m) haritası (URL-6).	83
Şekil 3.4: Ankara ili kapasite faktör dağılımı (50 m) haritası (URL-6).	83
Şekil 3.5: Tatlar AAT genel konumu ve Ankara ili sucul ortamı haritası.	84
Şekil 3.6: Atıksu arıtma tesisi akış diyagramı.	86
Şekil 3.7: Tatlar atıksu arıtma tesisi genel vaziyet planı.	87
Şekil 3.8: Pilot ölçekli hibrit çamur kurutma sistemi program çizimi.	98
Şekil 3.9: Pilot ölçekli hibrit çamur kurutma sistemi.	99
Şekil 3.10: Kurutulmuş çamur örnekleri.	101
Şekil 4.1: Atıksu girişi KOİ, BOİ ₅ , AKM ve Org. Madde grafiği.	112
Şekil 4.2: Atıksu girişi debi ve pH grafiği.	113
Şekil 4.3: 2017 dönemi KOİ, BOİ ₅ ve AKM (%) giderim verimleri.	114
Şekil 4.4: AAT susuzlaştırılmış çamur analiz değerleri.	115
Şekil 4.5: AAT mevsimsel bazda elde edilen sonuçlar.	116

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Arıtma sonrası oluşan katı madde ve çamurların özellikleri	9
Çizelge 2.2: ABD’de çamur kullanma ve uzaklaştırma metotları	10
Çizelge 2.3: Ham ve çürütülmüş çamurun tipik kimyasal bileşimi	11
Çizelge 2.4: Farklı arıtma kademelerindeki çamur konsantrasyonları	14
Çizelge 2.5: Topraktaki ağır metal sınır değerleri	15
Çizelge 2.6: Toprakta kul. stabilize arıtma çamuru ağır metal muhtevaları	16
Çizelge 2.7: Klasik atıksu arıtma tesislerinde KM ve çamur kaynakları	21
Çizelge 2.8: AAT kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri	22
Çizelge 2.9: Çamur arıtımında farklı yöntemler	26
Çizelge 2.10: Farklı AAT prosesleri katı madde yoğunlukları	28
Çizelge 2.11: Farklı AAT süreçlerindeki katı madde konsantrasyonları	29
Çizelge 2.12: Çamur şartlandırma yöntemleri ve amaçları	30
Çizelge 2.13: Farklı şartlandırma süreçlerinin karşılaştırılması	31
Çizelge 2.14: Farklı susuzlaştırma süreçlerinin karşılaştırılması	33
Çizelge 2.15: Ham ve çürütülmüş çamurların kimyasal özellikleri	37
Çizelge 2.16: Arıtma çamurlarındaki patojenler	37
Çizelge 2.17: Anaerobik bozunmanın giriş ve performans kriterleri	38
Çizelge 2.18: Farklı yoğunlaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması	41
Çizelge 2.19: Dezentegrasyon yöntemlerinin karşılaştırılması	45
Çizelge 3.1: Atıksu arıtma tesisi temel tasarım kriterleri	88
Çizelge 3.2: AAT 2017 yılı atıksu giriş değerleri	91
Çizelge 3.3: Atıksu analizlerinde kullanılan deney metotları	93
Çizelge 3.4: AAT 2017 yılında arıtılmış atıksu çıkış değerleri	93
Çizelge 3.5: AAT 2017 yılı kirlilik giderim verimleri	94
Çizelge 3.6: AAT susuzlaştırılmış çamurda ölçülmüş ağır metaller	95
Çizelge 3.7: AAT susuzlaştırılmış çamur ağır metal seviyeleri	96
Çizelge 3.8: AAT çamur ve çıkış atıksuyu analiz değerleri	102
Çizelge 3.9: Çamur ve atıksu analizlerinde kullanılan deney metotları	104
Çizelge 3.10: AAT çamur kurutma çalışmaları ilkbahar dönem sonuçları	104
Çizelge 3.11: AAT çamur kurutma çalışmaları yaz dönem sonuçları	105
Çizelge 3.12: AAT çamur kurutma çalışmaları sonbahar dönem sonuçları	106
Çizelge 3.13: AAT çamur kurutma çalışmaları kış dönem sonuçları	106
Çizelge 3.14: AAT çamur susuzlaştırma ve kurutma çalışma sonuçları	107
Çizelge 3.15: Kurutulmuş çamurda elde edilen analiz sonuçları	108
Çizelge 3.16: Kurutulmuş çamurda elde edilen ağır metal miktarları	109
Çizelge 3.17: Kurutulmuş çamurdaki ağır metal miktarlarının kıyaslanması	110
Çizelge 3.18: Kurutulmuş çamurun ek yakıt olarak değerlendirilmesi	110

SİMGELER DİZİNİ

Al	Alüminyum
Al₂(SO₄)³	Alum
As	Arsenik
CaO	Kalsiyum Oksit
Cd	Kadmiyum
CH₄	Metan
CH₄S	Metantiyol (Methanethiol)
C₂S	Di-Kalsiyum Silikat (Belit)
COS	Karbonil Sülfür (Carbonyl Sulfide)
cm	Santimetre
CO₂	Karbondioksit
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
°C	Santigrat Derece
daa	Dekar
Fe	Demir
FeCl₃	Demir Klorür
FeSO₄.7H₂O	Demir Sülfat
Fs	Di-benzofuranlar
g	Gram
ha	Hektar
Hg	Cıva
H₂	Hidrojen
H₂O	Su Buharı
HCl	Hidroklorik Asit
HF	Hidroflorik Asit
H₂S	Hidrojen Sülfür
Kd	Kadmiyum
Kg	Kilogram

KHz	Kilohertz
kW	Kilowatt
L	Litre
m²	Metrekare
mg	Miligram
Mn	Manganez
Mo	Molibden
MW	Megawatt
N₂	Azot
NH₃	Amonyak
Ni	Nikel
N	Azot
NO	Azot Oksit
NH₃	Amonyak
O₂	Oksijen
PAHs	Poli Aromatik Hidrokarbonlar
PCB	Poliklorobifenil
PCDD	Poliklorlu Dibenzo-P-Dioksinler
Pb	Kurşun
P₂O₅	Fosfor
pH	Hidrojen İyonu Konsantrasyonu Logaritmik İfadesi
Sb	Antimon
Se	Selenyum
SO₂	Kükürt Dioksit
Tl	Talyum
Wh	Watt-h
VOC₅	Uçucu Organik Bileşikler (Volatile organic compounds)
Zn	Çinko

KISALTMALAR DİZİNİ

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASKİ	Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
AKM	Askıda Katı Madde
ATY	Atıktan Türetilmiş Yakıt
BANİP	2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı
BAKAY	Büyük Ankara Kanalizasyon ve Yağmursuyu Projesi
BOİ₅	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CEN	Avrupa Standardizasyon Organizasyonu
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DAF	Çözünmüş Hava ile Yüzdürme
EN	Avrupa Standartları (European Norm)
EN	Eşdeğer Nüfus
EPA	ABD Çevre Koruma Ajansı
ESP	Değiştirilebilir Sodyum Yüzdesi
HKEP	Havza Koruma Eylem Planı
ICP	Inductively Coupled Plasma
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
ITC	Invest Trading and Consulting AG
% İOM	Yüzde İnorganik Madde
KÇ	Kurutulmuş Çamur
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KM	Katı Madde
% KM	% Katı Madde
MEGEP	Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
% OM	Yüzde Organik Madde
RDF	Refuse Drived Fuel
SÇ	Susuzlaştırılmış Çamur

SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SM	Standart Metot
TBB	Türkiye Belediyeler Birliği
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
TGA	Termo Gravimetrik Analiz
TN	Toplam Azot
TOK	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor
TS(E)	Türk Standartları (Enstitüsü)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
US	United States (Birleşik Devletler)
US EPA	ABD Çevre Koruma Ajansı

1. GİRİŞ

Yerleşim yerlerinden oluşan atıksular o bölge nüfusunu teşkil eden insanların temel gereksinimlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni kullanılan suyun büyük bir kısmının atıksuya dönüşmesidir. Atıksu; evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş ve/veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları, cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda oluşan sulardır. Suların çeşitli kullanımlar sonucunda atıksu haline dönüşerek yitirdikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırabilmek ve/veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin birini veya birkaçına atıksu arıtma olarak değerlendirilmektedir.

Arıtma çamuru; su ve atıksu arıtımıyla oluşan, sahip olduğu özelliklerden dolayı aynı zamanda kendisinin de çeşitli arıtım işlemlerden geçirilerek zararsız hale getirilmesi gereken, aksi durumda kaynağında olduğu haliyle çevreye verildiğinde çevrede zarara yol açabilecek katı ve sıvı karışımlardan oluşan maddedir. Arıtma çamurlarının büyük bir bölümünün su olmasından dolayı kapladıkları hacmin oldukça fazla olduğu söylenebilir. Özellikle biyolojik arıtma işlemlerinden meydana gelen arıtma çamurlarının organik madde içeriğinin yüksek ve katı maddenin yüzdesinin de düşük olması nedeniyle bu tip çamurlar bozulma ve kokuşma eğilimindedirler.

Atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurun miktarı ve özellikleri atıksuyun bileşimine, kullanılan atıksu arıtımının tipine ve çamura uygulanan bertaraf yöntemine bağlıdır. Tesise giren atıksu bileşimindeki değişimlerden ve arıtma süreçlerindeki anlık değişimlerden dolayı üretilen çamurun özellikleri aynı tesis içinde bile yıllık, mevsimlik ve hatta günlük olarak değişebilmektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanı sıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır.

Arıtma tesislerinde meydana gelen çamurlar, arıtma durumunun değişik aşamalarında işlem gördükten sonra, nihai işlem yeri olarak toprağa bırakılmakta, yakılabilmekte, denize boşaltılabilmekte veya karada dolgu maddesi olarak kullanılabilmektedir. Arıtma çamurlarının ortadan kaldırılması ya da yeniden kullanımı sanayileşmiş büyükşehirlerin önemli sorunlarından biridir. Önceden de yapıldığı gibi, bu çamurların bertaraf edilmesi sürecinde yeni kirliliklere yol açılmaması temel bir unsurdur.

Atıksuların içerdikleri besin maddelerini sadece fiziksel/kimyasal veya klasik aktif çamur ya da tamamıyla biyolojik proseslerle gidermek yeterli olmayabilir. Bu sebeple çalışmada bahsedilen proseslerden alıcı ortamların hassasiyetine göre, ülke şartları ve ekonomi de göz önünde tutularak uygun olanının seçilmesi gerekir. Doğru bir sistem tasarımı, besin maddesi ve karbon giderimi esaslarının belirlenmesini ve bu süreçleri sağlayacak organizma gruplarının gelişmesini içine almalıdır (Timur ve Altınbaş, 1997).

Ankara ili kentsel atıksu arıtma tesisi (Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi) kaynaklı arıtma çamurları için nihai bertaraf yöntemlerinden olan kurutma ve yakma (termal) yöntemlerinin değerlendirildiği bu çalışmamız toplamda beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümünde genel bir giriş olması açısından çalışmamıza ait ana başlıklar genel bir özet halinde sunulmuştur. İkinci bölüme gelindiğinde ise evsel atıksu arıtma tesisleri kaynaklı oluşan arıtma çamurlarının özellikleri, çıkış kaynakları, arıtma süreçleri ile bertaraf yöntemleri ve arıtma çamurları konusunda Türkiye ve dünyada yapılmış olan çeşitli çalışma örnekleri yer almıştır. Üçüncü bölümde ise Ankara İli kentsel atıksu arıtma tesisleri çamurunun hibrit (termal ve solar) kurutma yöntemiyle nihai bertarafı için pilot ölçekli kurutma ünitesi hazırlanmıştır. Pilot ölçekli hibrit özelliğe sahip çamur kurutma ünitesinde deneme çalışmaları yapılmış, çamur örneklerinin analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular Ankara ili kentsel atıksu arıtma tesisi kaynaklı çamurlar bağlamında incelenmiştir. Dördüncü bölümde ise üçüncü bölümde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen bulgular tartışılmış ve değerlendirilmiştir. Son bölümde (beşinci bölüm) ise tüm çalışmamız sonrası Ankara ilinde oluşan arıtma çamurlarının nihai bertarafı kapsamında önerilen sistem ve özelliklerine yer verilmiştir.

Atıksu arıtma çamurlarının nihai bertaraf tipine bağlı olarak çamur arıtma teknolojileri ve dolayısıyla arıtma maliyetleri de farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada da, Ankara ili ve bölgesi adına atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurlar için “nihai çamur bertarafı ve yönetimi” süreçlerine bir öneri oluşturabilmesi planlanmaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Arıtma Çamurları

1800’lü yılların sonuna doğru Amerika kıtasında başlayana atıksu arıtma tesisleri işletimi artık dünya geneline yayılmıştır. Ülkemizde de gerek yasal gerek çevre baskısından dolayı atık suların arıtımı çevre politikalarına paralel olarak önem kazanmış, yerel yönetimler ile atıksu üreticileri için arıtma işlemi yapmak veya yaptırmak zorunlu kılınmıştır.

Atıksu arıtma tesisleri, evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların alıcı ortamlara doğrudan deşarj edilmesi halinde doğal çevremizde oluşabilecek olumsuz etkileri azaltmak için tasarımlanır. Farklı atıksu karakteristiklerinden dolayı, her atıksuyun arıtımı için uygulanan arıtma işlemleri de farklı olmaktadır (Filibeli, 2013).

Türkiye Cumhuriyeti (T.C.) Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nca (ÇŞB) 2016 yılı kasım ayında “Alıcı Ortam Kriterleri Bazında Deşarj Standartlarını Belirleme ve Uygulama Yöntemlerinin Geliştirilmesi Projesi” başlatılmıştır. Söz konusu proje kapsamında Ülkemiz tüm havza ya da su kütlelerinde uygulanabilecek yeni gerçekçi bir yöntemin geliştirilmesi hedeflenmektedir (URL-1).

2.1.1 Atıksu arıtılması ve önemi

Teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesi, su kaynaklarından azami yararın sağlanmasına aracı olmakla birlikte, bu ilerlemeye paralel olarak sanayileşmenin ve şehirleşmenin de artması beraberinde çevre kirliliğini ve özellikle de su kirliliğini getirmiştir. İnsanlar devamlı olarak doğal hidrolojik çevrime müdahale etmekte, su kaynaklarının kalitesini düşürecek düzeylerde organik, inorganik ve biyolojik kirlenme oluşmaktadır. Su kirliliğinin çeşitli tanımlamaları yapılmakla birlikte ABD (Amerika Birleşik Devletleri) Çevre Koruma Ajansı (EPA) su kirliliğini, suyun kalitesini ölçülebilecek düzeyde kötüleştirecek miktar veya konsantrasyonlarda kanalizasyon suyu, endüstriyel atıksu ve diğer zararlı veya istenmeyen maddelerle bozulması olarak tanımlanmaktadır (Bayhan, 1996).

Yerleşim yerlerinden oluşan atıksular o bölge nüfusunu teşkil eden insanların temel gereksinimlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni kullanılan suyun büyük bir kısmının atıksuya dönüşmesidir (Muslu, 1996).

Atıksu, evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda oluşan sulara atıksu denir (SKKY, 2004).

Resmi gazete tarihi 31.12.2004 olan ve 25687 Resmi Gazete sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde (SKKY) madde 3'te yer alan tanımlar bölümünde atıksu arıtımı “suların çeşitli kullanımlar sonucunda atıksu haline dönüşerek yitirdikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırabilmek ve/veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin biri veya birkaçı” şeklinde ifade edilmiştir (SKKY, 2004).

Nüfus artışı, teknolojinin gelişmesi, hayat standartlarının yükselmesi, sanayinin gelişmesi gibi nedenlerle dünyada ve ülkemizde atıksu üretimi artmıştır. Oluşan bu atıksuların kontrolsüz bir şekilde doğaya verilmesi çevre sorunlarına yol açmaktadır. Çevre sorunlarını azaltmak için, atıksular arıtılarak zararları en aza indirilmelidir. Atıksuların kirlilik değerleri çevre için kabul edilebilir değerlere getirildikten sonra atıksular doğaya verilmelidir (Muslu, 1996).

Atıksuların arıtılmadan doğaya verilmesi durumunda ise içeriğindeki organik maddelerin ayrışması ile kötü kokulu gazlar açığa çıkar. Ayrıca bünyesinde mikroorganizmaları ve bu mikroorganizmaların yaşamaları için gerekli olan çeşitli besin maddelerini barındırmaktadır. Şehir atıksularında daima hastalık etkenlerinin (bakteriler, virüsler, parazitler ve solucan yumurtaları) göz önüne alınması gerekir. Eğer arıtılmış su iyi dezenfekte edilmemiş ise, iyi arıtılmış sularda dahi, patojen mikroorganizmalardan bir kısmı kalmış olabilir (Muslu, 1996).

Yanabilen maddeler (benzin, benzol veya diğer seyrelticiler) kanala bırakılmış ise patlama tehlikesi söz konusudur. Dolayısıyla atıksuların arıtılarak bu maddelerden arındırılması gerekmektedir (Muslu, 1996).

2.1.2 Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları

Arıtma çamuru; su ve atıksu arıtımıyla oluşan, sahip olduğu özelliklerden dolayı aynı zamanda kendisinin de ön işlemlerden geçirilerek zararsız hale getirilmesi gereken, aksi durumda kaynağında olduğu haliyle çevreye verildiğinde çevrede zarara yol açabilecek katı ve sıvı karışımlardan oluşan maddedir (Kar, 2014).

Başka bir deyişle atık su arıtımı sonucunda oluşan ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0,25 ile %12 katı madde içeren sıvı-katı karışımı atıklar arıtma çamuru olarak isimlendirilmektedir (Okur ve Delibacak 1996, Filibeli 2013). Ham çamurlar farklı yöntemlerle stabilize edilerek kullanıma uygun hale getirildiklerinde “işlenmiş arıtma çamuru” ya da “arıtma çamuru” olarak tanımlanırlar. Arıtma çamuru kimi ülkelerde “biyokatı” olarak da adlandırılmaktadır (Filibeli, 2013).

Çamurlar fiziki yapısına göre mikrobiyolojik nitelikleri, besin ögesi, su verme özelliği ve metal içeriklerine göre değerlendirilmelidir. Evsel özellikleri olan atıksuların arıtıldıkları tesislerde meydana gelen çamurların nitelikleri hemen hemen benzerlik göstermelerine karşın, sanayi kaynaklı arıtma çamurlarının nitelikleri sanayi sektörleri ve alt sektörleri temelinde önemli farklılıklar göstermektedir. Her sanayi türü için meydana gelen çamurların nitelikleri de ayrı olarak tespit edilmelidir (Taştatar, 1997).

Mekanik, biyolojik ve kimyasal arıtma metotları sırasında meydana gelen çamur gerek çevre problemleri nedeniyle ve gerekse de insan sağlığı için tehdit oluşturmaları açısından birtakım ön işlemlere tabi tutulmalıdır. Çamur için yapılacak ön işlemlerin amacı; hacmini azaltmak, çamuru stabilize etmek, suyu gidermek ve patojen organizmaları öldürmektir.

Bilindiği gibi atık sular hem evlerde kullanım sonucu hem de sanayi kaynaklı su kullanımı sonrası meydana gelir. Bu nedenle, atıksu karakterizasyonu evsel, ticari ve endüstriyel kullanıma bağlı olarak değişiklikler gösterebilir. Atıksularda mevcut organik ve inorganik kirleticilerin değişik fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak arıtılması sırasında meydana gelen çamur hem miktar hem de özellik bakımından bir arıtma tesisinden diğer arıtma tesisine farklılık gösterebilmektedir (Kar, 2014).

Arıtma çamurları çıkış kaynaklarına göre üç grupta incelenebilir (Dağ, 2008):

- a. Yerel yönetimlerce işletilen atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan evsel arıtma çamurları; sadece evsel atıksu veya evsel, endüstriyel ve yağmur sularının arıtıldığı kentsel atıksu arıtma tesisleri,
- b. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları; sanayi kaynaklı proses sularının arıtımından kaynaklı çamurlardır.
- c. İçme suyu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları; içme sularının kullanımdan önce arıtılması zorunludur ve içme suyu arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarı atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarına göre önemli ölçüde düşüktür.

Atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurun miktarı ve özellikleri atıksuyun bileşimine, kullanılan atıksu arıtımının tipine ve çamura uygulanan bertaraf yöntemine bağlıdır. Tesise giren atıksu bileşimindeki değişimlerden ve arıtma süreçlerindeki değişimlerden dolayı üretilen çamurun özellikleri aynı tesis içinde bile yıllık, mevsimlik ve hatta günlük olarak değişebilmektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanı sıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır. Bu çamurlar, çökebilen katı maddelerin meydana getirdiği ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtma ve pıhtılaşma sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma süreçleri sonucu ortaya çıkan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma süreçlerinden doğan alum çamurları gibi arıtımın tipine ve amacına bağlı olarak da kategorize edilebilir (Bayrak, 2008).

Atıksu arıtma tesislerinden oluşan arıtma çamurlarının tarım yönünden ele alınması gerektiğinde, bunların öncelikli olarak nutrient ya da besin unsuru içeriği, tuzluluk, pH ve ağır metal kapsamları yönünden ayrıntılı araştırmaların yapılması gereklidir.

Endüstri tesisleri ve evsel nitelikli atıksularda yer alan su ve atık çamurun tekrar kullanımı gerek çevre yönünden gerekse ekonomik ve siyasal yönden değer taşımaktadır (Taşatar, 1997).

Arıtma tesislerinde meydana gelen çamurlar, arıtma durumunun değişik aşamalarında işlem gördükten sonra, nihai işlem yeri olarak toprağa bırakılmakta, yakılabilmekte, denize boşaltılabilmekte veya karada dolgu maddesi olarak kullanılabilmektedir.

Arıtma çamurlarının ortadan kaldırılması ya da yeniden kullanımı sanayileşmiş büyükşehirlerin önemli sorunlarından biridir. Önceden de yapıldığı gibi, bu çamurların bertaraf edilmesi sürecinde yeni kirliliklere yol açılmaması temel bir unsurdur.

Miktar yönünden giderek artan arıtma çamurlarının çevresel açıdan minimum zararı dokunabilecek biçimde ortadan kaldırılması, aynı zamanda da besin unsurlarının madde dolaşımına eklenmesi için bu çamurları araziye bırakmak en uygun yöntemlerden biri olarak değerlendirilse de çamurların toprağa ve yeraltı sularına etkilerini araştırarak bu doğrultuda karar vermek gerekmektedir (Demirel, 2010).

Uygulamaya konulacak yerin bölgesel ve arazi şartları, iklim ve topografya gibi durumları da göz önünde bulundurulmalıdır (Demirel, 2010). Drenajı iyi ve yeraltı su düzeyinin de yüksek olmadığı yerlerde uygulama yapılması daha uygundur. Hızlı endüstrileşme ve şehirleşmenin olduğu yerlerde bu durum daha önem kazanır.

Toprağın korunmasında birey ve toplumlarının önemli yükümlülükleri vardır. Bununla birlikte ülkemizde, mevcut durumda toprak kirlenmesi ya da korumasına ilişkin kapsamlı bir tüzük ya da yönetmeliğin olmayışı, arıtma çamurlarının elimine edilmesi ya da tarım alanlarında kullanılmasında ülkemizi gelişmiş ülkelerden daha riskli duruma getirmektedir. Yasal boşluklar, yetersiz kontrol mekanizmaları ve yeterli bilimsel ve pratik araştırma sonuçları ve verilerin olmaması nedeniyle arıtma çamurlarının uzaklaştırılması tesis sahibinin veya bu atığı kullanacak olan çiftçinin inisiyatifine bağlı olmaktadır. Aslında 2872 sayılı Çevre Kanunu'na dayalı olarak hazırlanan mülga yönetmelik olan 14.03.1991 tarihli ve 20814 Resmi Gazete sayılı mülga yönetmelik olan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile yasal çerçeve oluşturulmuş görünmektedir. Bu nedenlerden dolayı, yönetmeliğin uygulanmasında aksaklıklar olmaktadır (Uzun ve Bilgili, 2011). Atık suların arıtma operasyonlarından sonra çözünmeden duran kalıntılardan olan ham çamurun alıcı ortamlara nakledilebilmeleri için stabilizasyon yapılması gerekmektedir (Bilgin vd., 2003).

2.2 Arıtma Çamurunun Özellikleri

Arıtma çamurlarının bertarafında kısa süreli önlemler yerine uzun süreli çözüm yolları üzerine çalışılmalıdır. Arıtma tesisleri proje aşamasında arıtma çamurlarının en uygun bertaraf yönteminin mevcut koşul ve imkânlarla göre tespit edilerek, ona göre projeye dâhil edilmesi gerekmektedir (Demirel, 2010).

Bununla beraber çamur işlenmesi süreçleri, arıtımı ve bertaraf sistemlerini düzenleyebilmek için de arıtma sisteminde ortaya çıkan çamurun kaynağı, özellikleri ve miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Arıtma çamurunun işlenmesi ve bertaraf edilmesinde en önemli konu arıtma işlemleri sonucu oluşan çamur ve katı maddelerin karakterinin bilinmesidir. Çamurun özellikleri, çamur ve katı maddenin orijinaline (kaynağına) ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak değişir. Su arıtma ve atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2.1 'de verilmektedir (Filibeli 2013). Bu aynı zamanda katı atığın kaynağı, sistemdeki çamur yaşı ve süreç tipi ile de yakından ilgilidir. (Dölgen, 2004).

Atıksu arıtma tesislerinde ortaya çıkan çamur yapısı, tesislerde uygulanan kimyasal, biyolojik, fiziksel ya da ileri arıtma süreçlerine göre değişmekte, ortaya çıkan yüksek karbonlu organik yapıda azot, kükürt, potasyum ve metal bileşikleri de yer alabilmektedir (MEGEP, 2011).

Oluşan çamur hacim olarak büyük olmakta, işlenmesi ve bertaraf edilmesi atıksu arıtma alanında karmaşık bir sorun olarak kendini göstermektedir. Çamur sorununun karışıklığının başlıca nedenleri ise şu şekilde özetlenebilir; arıtılmamış atıksudaki büyük ölçüde kokuşmuş maddeler, biyolojik arıtmada ortaya çıkarak uzaklaştırılması gerekli olan çamurun ham atıksulardaki organik maddelerden farklı olarak bozularak kokuşma özelliğine sahip olması ve çamurun yalnızca az bir bölümünün katı madde, önemli bir bölümünün ise sudan meydana gelmesi ve dolayısıyla büyük hacim kaplamasıdır (Yıldız vd., 2009). Çamur bazen besi kaynağı olarak da kullanılabilir. Örneğin kurutulmuş aktif çamur hayvan yemine ilave edilebilir. Kentsel atıksu arıtımından gelen arıtma çamurları oldukça yüksek oranda protein içerir. Atıklar üzerinde büyüyen kurtlar sonradan protein olarak geri kazanılabilir. Çamurdan hayvan yemi üretmek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Dolayısıyla, çamurun besi değeri vardır ve gelecekte bu amaçla yaygın olarak kullanılabilir (Filibeli, 2013).

Amerika'da örnek olarak 1993 yılı döneminde elde edilen veriye bakacak olursak, ilgili yıl içerisinde ortaya çıkan 5,40 milyon ton biyokatinin %33'ü arazide kullanılmaktadır. Arazide uygulanan biyokatıların %67'si tarım alanlarında, %3'ü orman alanlarında, %9'u ıslah edilecek alanlarda, %9'u yeşil alanlarda ve %12'si torbalanarak satılmaktadır. Avrupa'da ise yine benzer dönem sayılabilecek bir zamanda yapılan araştırmada; 1992 yılı itibariyle elde edilen biyokatı miktarı ile ülke bazında bertaraf miktarı ve kullanım oranları incelendiğinde, üretilen biyokatı 7 milyon ton olup, bunun % 37'si tarım alanlarında kullanılmaktadır (Dölgen, 2004).

Çizelge 2.1: Arıtma sonrası oluşan katı madde ve çamurların özellikleri.

Katı Madde veya Çamur	Özellikleri
Izgara Atıkları	Izgara çubukları arasında tutulabilecek büyüklükte olan organik ve inorganik maddelerin tutulmasında kullanılır. Organik madde içeriği sistemin yapısıyla mevsime göre değişim gösterir.
Kum Tutucu Atıklar	Yüksek ivmeli çökme özelliğine sahip inorganik katı maddelerden oluşmaktadır. İşletme koşullarına da bağlı olarak yağ ve gres gibi önemli miktarda organik maddeleri de kapsarlar.
Köpük, Yağ ve Gres	Köpük, ön ve son çöktürme havuzları yüzeyinden sıyrılarak yüzebilen nitelikteki maddelerden meydana gelir. Gres, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal katı yağlar, parafin, sabun, yiyecek atıkları, meyve ve sebze atıkları, saç, kağıt ve karton, izmarit, plastik gibi maddeleri kapsar. Köpüğün özgül ağırlığı genelde 0,95'dir.
Ön Çökeltim Çamuru	Ön çökeltim çamurları genel olarak gri-kahverengi renkte ve kötü kokuludur. Uygun işletme şartlarında kolaylıkla çürütülebilir.
Kimyasal Çökeltim Çamurları	Metal tuzlarının kimyasal çökelişi sonucunda ortaya çıkan çamur koyu renklidir. Çok miktarda demir kapsıyorsa yüzeyi kırmızımsıdır. Kireç çamurları gri-kahverengi renklidir. Kimyasal çamurlar, ön çökeltim çamurları kadar kötü kokulu olmamaktadır. Çamurdaki demir ya da alüminyum hidratları, çamuru jelatin benzeri yapar. Tankta bırakılması durumunda birincil çamur gibi yavaş bir çürümeye maruz kalır. Önemli miktarda gaz çıkışı olur ve uzun depolama süresine bağlı olarak çamur yoğunluğu artar.
Aktif Çamur	Kahverengi ve flok ağırlıklı olmaktadır. Koyu renk gözleniyor ise septik koşullar meydana gelmiş demektir. Renk açıksa yeterli derecede havalandırılmış olabilir. İyi şartlardaki çamur, toprak kokusuna sahiptir. Çamur kolayca septikleşmeye eğilimlidir ve istenmedik kokular yayabilir. Sadece ya da ön çökeltim çamurla karıştırılarak aktif çamur kolaylıkla çürütülebilir.
Damlatmalı Filtre Çamuru	Damlatmalı filtre humusu, floklu ve taze olduğu zaman nispeten kokusuzdur. Diğer çamurlara göre daha yavaş parçalanmaya uğrar ancak kolay çürütülebilir.
Aerobik Çürümüş Çamur	Bu çamurun rengi açık kahverenginden koyu kahveye değişir ve floklu görünümündedir. Kötü kokulu olmayıp çoğunlukla küf kokuludur. İyi çürütülmüş çamur kurutma yataklarında kolaylıkla susuzlaştırılabilir.
Anaerobik Çürümüş Çamur	Koyu kahve-siyah renklidir ve önemli miktarda gaz içerir. Tam çürütüldüğünde, kötü kokmaz, kokusu hafif, sıcak katran ya da yanmış lastik kokusu hissedilebilir. Çamur ince tabak şeklinde, kurutma yatağına yayıldığında, katılar yüzeyde tutular, su hızlı şekilde drene olur ve katılar yatak üzerinde yavaşça çökerler. Çamur kururken gaz açığa çıkar, zengin bahçe toprağı özelliklerindedir.
Kompostlanmış Çamur	Kompostlanmış çamur koyu kahve-siyah renklidir. Ancak kompostlamada eski kompost ve odun kırıntıları kullanılmamışsa rengi değişebilmektedir. İyi kompostlanmış çamur kokusuz olup, bahçe tipi toprak koşullandırıcısı olarak ticari amaçlı kullanılabilir.
Fosseptik Çamur	Fosseptik çamur siyah renklidir. İyi çürütülmemesi durumunda hidrojen sülfür ve diğer gaz çıkışlarından dolayı kokusu rahatsız edicidir. İnce tabakalar halinde serilirse, kurutma yataklarında kurutulabilir, ancak iyi çürütülmemişse ciddi koku sorunu ile karşılaşabilir.
Atık Alum Çamuru	Gri-sarı renkli ve kokusuzdur. Kurutma yataklarında suyunu almak zordur.

ABD’de üretilen çamur miktarı 1972’den beri artmakta olup, 1997 yılına göre bu değer 6,23 milyon ton/senedir. Yıllara göre çamurun uzaklaştırma yöntemi de farklılıklar göstermektedir. Örneğin 1972’de, toplam çamurun %20’si arazide uygulama ile (land application), %25’i de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktaydı. Ancak 1997’de üretilen toplam çamurun %55’i arazi uygulamasında, %17’si de yakma yöntemi ile uzaklaştırılmaktadır. Söz konusu durumu içeren tablo Çizelge 2.2 ’de sunulmuştur. Çamurun denize deşarjına ise 1991 yılı döneminde son verilmiştir (Spinosa ve Vesilind, 2001).

Çizelge 2.2: ABD’de çamur kullanma ve uzaklaştırma metotları.

Uygulama	1972	1989 ¹	1997 ¹
Arazide Uygulama	% 20	% 33,3	% 54,8
Yüzey Uzaklaştırma	- ⁴	% 10,3	% 19,2 ²
Arazide Depolama	% 40	% 33,9	- ⁴
Yakma	% 35	% 16,1	% 17,3
Deniz Deşarjı	% 15	% 6,3	0
Diğer	- ⁴	- ⁴	% 8,7 ³

¹ US EPA 1993

² Katı atık ile depolama ve tek tip dolguları içermektedir.

³ Bazı maddelerin diğer alanlarda depolama ve uzun süreli saklamalarını içerir.

⁴ Veri mevcut değildir.

Patojen organizma konsantrasyonu oldukça yüksektir. Aktif çamurda çok çeşitli organizmalar vardır, hepsinin belirlenmesi olanaksızdır. Sabit besi maddesi altında bu tip organizmalar sürekli değişim ve üreme gösterirler. En çok bulunan mikroorganizmalar bakterilerdir. Çürümüş çamurdaki organizma sınıfları çürütme yöntemine bağlıdır. Çürütme yöntemiyle patojenik mikroorganizmalar büyük oranda yok edilirler (Spinosa ve Vesilind, 2001).

Arıtma çamurlarında biyolojik açıdan ele aldığımızda içerisindeki organizmalar sınıflandırılmakta ve patojen organizmalar incelenmesi yapılmaktadır. Bir çamur kütlelerinin çok farklı kaynağı olabileceği muhtemel olup her bir kaynaktan gelen besin ile değişik organizmaların bu kütlede yer alacağını düşünülürse, çamur kütlesi içerisinde patojen mikroorganizmaların üremesi kaçınılmazdır. Ham ön çökeltim çamuru çok sayıda ve değişik türde organizma içermektedir.

Çamur kütlelerinde bulunan su giderici enzimlerin varlığı ile çamurların su verme kapasitesi arasında bir ilişki olduğu tahmin edilmektedir. Bu suretle doğal su verme

özellikleri iyi olmayan çamurlara enzimler ilave etmek suretiyle su verme özellikleri kolaylaştırılmakta ve çamur daha stabil hale getirilmek uygun bir çalışma olacaktır.

Nihai uzaklaştırma metodunun tespitinde besin unsurlarının da kapsanmasıyla kimyasal bileşimlerin önemli bir bölümünün bilinmesi oldukça önemlidir. Havasız çürütme sistem denetiminde alkalın ve organik asit içeriğinin ölçülmesi gereklidir. Aşağıdaki Çizelge 2.3'te arıtılmamış, arıtılma aşamasında olan (aktif çamur) ve çürütülmüş çamurun (stabilizasyon işlemine uğramış çamur) tipik kimyasal bileşimi gösterilmektedir (Filibeli, 2013).

Çizelge 2.3: Ham ve çürütülmüş çamurun tipik kimyasal bileşimi.

Parametre	Ham Ön Çökeltim Çamuru		Çürütülmüş Ön Çökeltim Çamuru		Aktif Çamur
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	Aralık
Kuru Madde (% KM)	2-8	5	6-12	10	0,8-1,16
Uçucu Katı Madde (KM'nin %)	60-80	65	30-60	40	59-88
Yağ ve Gres (KM'nin %)	6- 30	-	5- 20	18	-
Eter Çözültisi	6-30	-	5-20	18	-
Eter Ekstraktı	7-35	-	-	-	-
Protein (KM'nin %)	20-30	25	15-20	18	34-4
Azot (N, KM'nin %)	1,5-4	2,5	1,6-6	3	2,4-5
Fosfor (P ₂ O ₅ KM'nin %)	0,8-2,8	1,6	1,5-4	2,5	2,8-11
Potasyum (K ₂ O, KM'nin %)	0-1	0,4	0-3	1	0,5-0,7
Selüloz (KM'nin %)	8-15	10	8-15	10	-
Demir (Sülfid Olmayan)	2-4	2,5	3-8	4	-
Silisyum (SiO ₂ , KM'nin %)	15-20	-	10-20	-	-
pH	5-8	6	6,5-7,5	7	6,5-8,0

Aktif çamur atıksuya ilave edildiğinde mikroorganizmalar atıksudaki atık partiküllerini bünyelerine alarak çoğalmaktadırlar. Mikroorganizmalar çoğaldıkça atıksudaki organik madde miktarı azalmaktadır. Verimli olarak bu sistemin çalıştırılabilmesi için mikroorganizmalar belirli oranda besi maddesine ve oksijene ihtiyaç duymaktadırlar (Çınar, 2008). Aktif çamur sistemi, havalandırma ve çökeltme birimlerinden oluşmaktadır. Mikroorganizma konsantrasyonunu içeren tanklarda, yüzeysel havalandırıcı ya da difüzörler ile basınçlı havalandırma yapılmaktadır.

Sistem, ilk aşamada arıtma, ızgara, kum tutma ve çökeltme işlemlerinden meydana gelmektedir. Evsel atıksularda ilk aşama arıtma ile atıksudaki biyolojik oksijen ihtiyacının 5 gün sonundaki değeri (BOİ₅)'nin % 30-35'i ortadan kaldırılmaktadır. İkinci aşama ise ön çökeltmeden sonraki arıtmadır ve biyolojik havalandırma işleminin kademesidir. Aktif çamur sürecinde mikroorganizmaların besinleri parçalayabilmek için belli bir süreye ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle atıksu belirli bir süre havalandırma tankında belirli bir süre kalmaktadırlar. Bu işlem sırasında çözünmüş organik madde, çökelebilen biokütle haline dönüştürülmekte ve nihai çökeltme tankında çamur olarak tutulmaktadır. Daha önceden havalandırılmış olan bu çamur, aktif çamur olarak değerlendirilmektedir. Aktif çamurun bir bölümü havalandırma tankına geri döndürülür (Öztürk vd., 2005). Geride kalan kısım ise çoğalan çamura karşı gelen çamur olup sistemden dışarı alınarak birinci kademe arıtma sırasında çıkan çamurla karıştırılarak bertaraf işlemleri uygulanmaktadır. Aktif çamur prosesi ile % 90'ın üzerinde BOİ₅ giderimi sağlanmaktadır (Öztürk vd., 2005).

Havalandırma, aerobik mikroorganizmalara oksijen sağlanması ve biyolojik yumaklarla atıksuyun karışım halinde tutulmasını sağlamaktadır (Gray, 2004). Atıksudan uzaklaştırılan organik maddeler mikroorganizmalar tarafından iki amaç için kullanılmaktadırlar: yeni hücreler meydana getirmek ve aktiviteleri için gerekli enerjiyi sağlamak. Aktif çamurda bakteriler, protozoalar, mantarlar, rotiferler bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar aktif çamurda bakterilerin hâkim olan mikroorganizma türü olduğunu göstermiştir (Gönüllü, 2004). Aktif çamur süreci aşağıda sıralanan ve birbirleri ile ilişkileri olan çeşitli bileşenlere sahiptir (Yıldız vd., 2009);

- a.** Biyolojik reaksiyonların meydana geldiği tekil veya çoklu havalandırma havuzu,
- b.** Basıncılı havalandırma, mekanik yüzeysel havalandırma veya saf oksijenle havalandırma sistemlerinden birisinin kullanımı ile aerobik biyolojik arıtım ve organizmaları askıda halde tutan karışım için gerekli olan oksijeni veren bir havalandırıcı,
- c.** Arıtılmış sudan biyolojik katıların ayrımını sağlayan çökeltme havuzu,
- d.** Çökeltme havuzunda katıların toplanmasını ve havalandırma havuzuna geri çevrimini gerçekleştiren sistem,
- e.** Aşırı biyokütlenin süreçten uzaklaştırılmasını sağlayan sistem.

Evsel nitelikli atıksuların arıtıldığı arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının özellikleri birbirine benzemekle beraber, endüstriyel kaynaklı arıtma çamurlarının özellikleri endüstriyel sektör ve alt sektörler bazında büyük farklılıklar göstermektedir. Her endüstrinin çamurunun özellikleri ayrı ayrı belirlenmelidir.

2.3 Arıtma Çamuru Karakteristiğinde Önemli Parametreler

Arıtma çamurlarını karakterize etmek için çok sayıda fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametre ve testler mevcuttur. Bunların yardımı ile arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertarafı sırasında çevreye olan etkileri tayin edilebilmektedir. Bu testlerle ilgili en önemli sorun, testlerin yapıldığı laboratuvarlardaki yöntem ve uygulamaların farklı koşullar altında gerçekleştirilmesi nedeniyle elde edilen sonuçların farklı değerler vermesidir. Bu sorunu ortadan kaldırabilmek için Avrupa Standardizasyon Organizasyonu (CEN-C308) adlı bir teknik komite oluşturmuştur. Bu komite arıtma çamurları karakterizasyonu tayininde kullanılan metotların standardize edilmesine karar vermiştir (Dağ, 2008).

Konvansiyonel parametrelerin tayinleri arıtma çamurunun işlenmesi ve bertarafı sırasında uygulanan metot ile ilişkili olduğundan, üzerinde çalışma yapılan arıtma çamuru ile ilgili daha temel bilgiler üretebilen parametrelerin ve testlerin geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir (Dağ, 2008).

2.3.1 Çamur katı madde içeriği

Çamurun katı madde içeriği “mg/L” veya “% Katı Madde (% KM)” olarak ifade edilmektedir. Çamurdaki toplam katı madde mg/L olarak, standart yöntemlerde verilen prosedüre göre belirlenir ve belli hacimdeki numunenin 103 °C ’de etüvde buharlaştırılması sonucunda meydana gelen ağırlık kaybına göre hesaplanır (Okur ve Delibacak 1996, Filibeli 2013).

Çamurdaki toplam katı maddeler, askıda ve çözünmüş katı maddelerin toplamına eşittir. Bu üç tip katı madde (toplam, askıda ve çözünmüş) her biri uçucu ve sabit kısımlara sahiptir (Filibeli, 2013).

Çamurun katı madde içeriği arıtma kademesine göre değişim göstermektedir. Örneğin; ön çökeltim havuzunda oluşan çamur % 3-5, graviteli yoğunlaştırıcı çıkışı çamur % 5-10 katı madde içermektedir. Çizelge 2.4 ’te çeşitli arıtma kademelerinde oluşan arıtma çamurlarının tipik katı madde konsantrasyonları verilmektedir (Öztürk vd. 2005).

Çizelge 2.4: Farklı arıtma kademelerindeki çamur konsantrasyonları.

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

2.3.2 Çamur ısı değeri

Çamurun ısı değeri, çamur tipi ve muhtevastaki uçucu katı madde oranına bağılı olmaktadır. Ham ön çökeltim çamurunun ısı değeri, özellikle büyük ölçülerde yağ ve gres kapsadığında çok yüksek düzeye çıkmaktadır.

Çürütülmüş çamur arıtılmamış çamurdan daha düşük ısı değere sahip olmaktadır. Çamurun ısı değeri birtakım düşük kalitesi olan kömürlerin ısı değerlerine (7.700 Cal/g kuru madde) eş değerdir. Ortalama arıtılmamış ön çökeltme çamurunun ısı değeri 6.100 Cal/g, aktif çamurun 5.000 Cal/g ve havasız çürütülmüş çamurun 2.750 Cal/g kadardır. Çamurun son giderilme aşaması için termal işlemler uygulanacak ise olabildiği kadar çamurun suyu uzaklaştırılarak ısı değeri yükseltilmelidir (Filibeli 2009, Özcan vd. 2011).

2.3.3 Toprakta kullanımı

Çamurun toprakta gübre olarak kullanılması yeni bir kavram olmamaktadır. Kullanım durumu çamur içeriğindeki azot, fosfor ve potasyum miktarına bağılıdır. Genel olarak arıtma çamuru yapısında, kimyasal gübrelerde yer alan değerden daha az ölçüde bu maddeler bulunmaktadır. Suni gübreyle beslenen bitkiler çok hızlı büyüdüklerinden bu doğal olmayan yetiştirilme şekli sulu hücrelere yol açmakta ve protein miktarını düşürmektedir ve daha çok hastalık riski oluşmaktadır (Özdemir vd., 2005). Evsel nitelikli arıtma çamurları içindeki su azaltıldıktan ve stabilizasyon işlemlerinden geçirildikten sonra tarımda kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Arıtma çamurlarının içindeki su, sahip olduğu bileşiklerden dolayı yeraltı suyunun kirlenmesine yol açabilmektedir. Aynı zamanda içeriğindeki ağır metal miktarının sınır değerleri aşp aşmadığı sürekli izlenmelidir.

Evsel arıtma çamurlarında her tür patojen mikroorganizma bulunabileceğinden bunların doğrudan arazide kullanımı sakıncalıdır. Taze çamur, çürük çamura göre hijyenik açıdan daha sakıncalı olup, işlenmemiş haldeki arıtma çamurlarının sebze tarımında kullanılması istenmemektedir (Filibeli, 2013).

Ayrıca patojen mikroorganizma içeriği hayvanları tehdit eden bir unsur sayıldığından otlaklarda kullanılmamalıdır (Filibeli, 2013).

2.3.4 Çamurun ağır metal içeriği

Endüstriyel ve kentsel atıksu arıtma tesislerindeki arıtma çamurları farklı oranlarda ağır metal içermektedir. Göreceli olarak yüksek düzeylerde ağır metal içeren arıtma çamurlarının büyük miktarda üretimi, bu materyalin yeni ekolojik problemlere yol açmaksızın güvenli bertarafı için çözüm gereksinimini artırmaktadır. Özellikle arıtma çamurlarının araziye uygulanması ve tarımsal amaçlı kullanımında ağır metal içerikleri büyük önem taşımaktadır.

03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte” uygulamalara yönelik gerekli bilgiler bulunmaktadır. Söz konusu yönetmeliğin EK 1-A bölümünde topraktaki ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.5: Topraktaki ağır metal sınır değerleri.

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

“Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliğin EK 1-B bölümünde toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal muhtevaları aşağıda Çizelge 2.6’da verilmiştir.

2.3.5 Çamurun depolanabilirliği

Arıtma çamurları susuzlaştırılıp stabil hale geldiğinde uygulanabilecek nihai bertaraf yöntemlerinden birisi çamurun deponi alanında depolanmasıdır. Deponi alanına gönderilecek çamurun 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe göre yapılması gerekmektedir. Buna göre; ilgili yönetmeliğin Geçici Madde 4 (1) kısmında arıtma çamurunun düzenli depolanması hakkında şu şekilde bahsedilmektedir.

Çizelge 2.6: Toprakta kul. stabilize arıtma çamuru ağır metal muhtevaları.

Ağır Metal Muhtevaları	Sınır Değerler (mg/kg) Fırın Kuru Toprak
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1.000
Bakır	1.000
Nikel	300
Çinko	2.500
Cıva	10

“Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin EK-IV bölümünde tehlikesiz olarak sınıflandırılan arıtma çamurlarının, Ek-2’de verilen diğer tüm parametreleri sağlaması, ağırlıkça en az % 50 kuru madde ihtiva etmesi, ön işleme tabi tutularak kötü kokunun giderilmesi gerekmektedir.”

Kentsel atıksuyun arıtılmasından kaynaklanan arıtma çamurları 02.05.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete ile yayınlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği” EK-IV listesinde” 19 08 05 atık kodu ile isimlendirilmiş ve yönetmeliğe göre tehlikesiz atık olarak nitelendirilmiştir.

Bazı endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları, tehlikeli ve zararlı atık sınıfına girmektedir. Bu tip çamurların mono-deponilerde nihai bertaraf edilmesi daha uygun olmaktadır. Bununla beraber yeraltı ve yüzey sularının kirlenmemesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu kapsamda “Atık Yönetimi Yönetmeliği” EK-IV listesinde” endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılmasından kaynaklı oluşan tehlikeli arıtma çamurları 19 08 11 ve 19 08 13 kodları ile isimlendirilmiş ve tehlikeli oldukları da yine “*” işareti ile belirtilmiştir.

Ayrıca tehlikeli arıtma çamurlarının depolama işlemi sırasında alınan önlemlerin yeterli olduğu veya atığın özelliği sebebi ile depolama işleminde çevrenin olumsuz yönde etkilenmeyeceğinin ispat edilmesi hallerinde, atıklar depolanabilir veya bu amaçla depo tesisi kurulmasına izin de verilebilmektedir.

2.4 Arıtma Çamuru Kaynakları

Arıtma çamurları çıkış kaynaklarına göre; içme suyu, atıksu ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları olarak üç başlıkta incelenebilir. (Yıldız vd., 2009).

Arıtma çamurlarının yapısı, arıtılan sudaki temel kirletici yüklere ve tesiste uygulanan teknik koşullara bağlıdır. Bu çamurlar, çökebilir katı maddelerin yarattığı ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtım ve pıhtılaşma neticesinde ortaya çıkan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma süreçleriyle meydana gelen biyolojik çamurlarla içme suyu arıtma süreçlerinden doğan alum çamurları gibi arıtım türü ve amacına bağlı olarak da kategorize edilebilir.

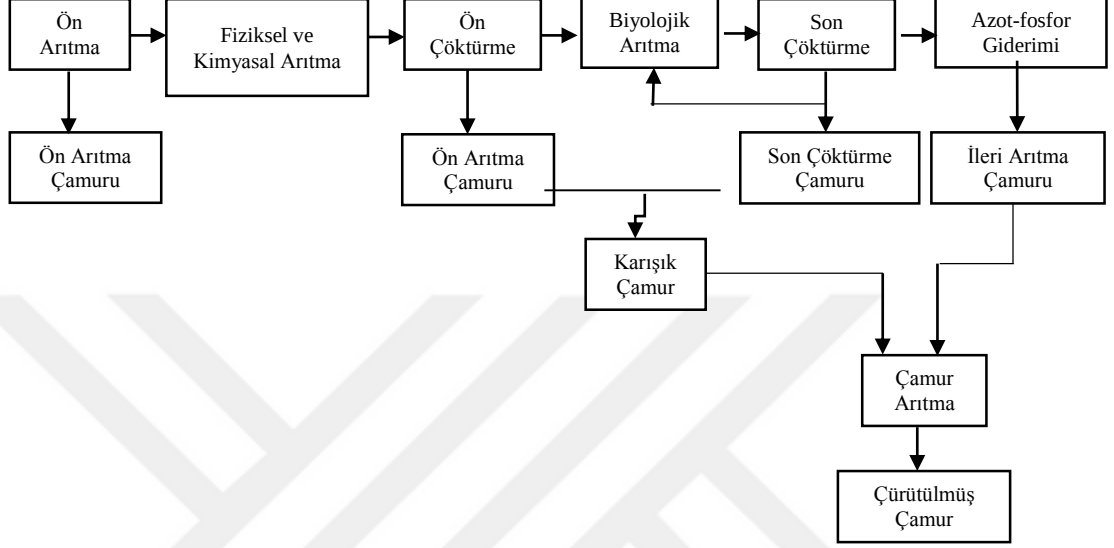
Klasik atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları, birincil, ikincil ve ileri arıtma proseslerinden çekilmektedir. Her bir arıtma prosesi, atıksu kirlilik yükü üzerinde farklı etkilere sahiptir. Buna bağlı olarak oluşan çamurlarda farklı yapıdadır. Atıksu arıtımı ve çamur oluşum prosesleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Aydın, 2004).

2.4.1 Birincil arıtma çamuru

Bu yöntem daha ziyade fiziki sistemleri içerir ve özellikle büyük kentlerde yaygınlıkla kullanılmaktadır. Ön arıtmanın ana prensibi, çökebilir durumdaki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılmasıdır. Ön arıtma sistemleriyle oksijen ihtiyacı olan maddelerin ortadan kaldırılması temel olmamakla birlikte biyolojik oksijen gereksiniminin bir bölümü çökebilir katı maddelerle beraber giderilir. Kendiliğinden çökebilir özelliklere sahip katı maddeler kum tutucularda tutulur.

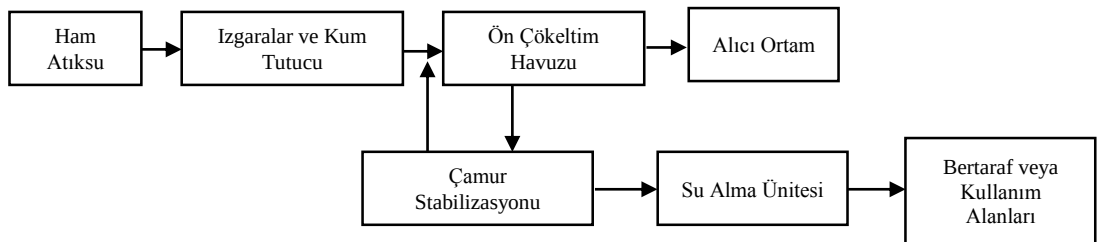
Ön çökeltme havuzu kendi kendine çökme durumuna sahip katı maddelerin ölçüsü değildir. Tüm bunlar köpük olarak adlandırılmaktadır veya çökebilir katı maddelerle beraber uzaklaştırılır veya birtakım arıtma operasyonuna sokmadan yakın giderme alanına yönlendirilir. Çökeltme havuzu tabanında toplanmış olan maddeler de arıtılmamış ön çökeltme çamuru olarak nitelendirir ve su muhtevası çok yüksektir (MEGEP, 2011). Ham çökeltme çamuru olarak isimlendirilen bu çamurların organik madde içeriği % 60-80 arasındadır (Aydın, 2004).

Ön arıtmada etkili bir çöktürme sağlamak gerektiğinde koagülasyon ve flokülasyon gibi kimyasal arıtma yöntemleri de kullanılmaktadır. Koagülasyon yönteminde, çökmeyi engelleyen kolloidal partiküllerin nötralizasyonu için bir koagülant ilavesi ve hızlı karıştırma uygulanır. Flokülasyonda ise, koagülasyondan sonra kolloidal partiküllerin topaklaşması sağlanmaktadır (Aydın, 2004).



Şekil 2.1: Atıksu arıtımı ve çamur oluşumu.

Birincil arıtmada temel olarak fiziksel arıtım yapılır. Arıtımın bu ilk aşamasında inorganik karakterli katı maddeler ızgara ve kum tutucu filtrelerinde toplandıktan sonra bertaraf sahasına iletilirler. Izgara ve kum tutucudan geçen atıksu ön çökeltim havuzlarına iletilir. Çökeltim havuzu tabanında toplanan maddeler ham ön çökeltim çamuru olarak tanımlanır. Bu çamurun stabilizasyonunda genellikle anaerobik çürütme yöntemi kullanılmaktadır. Ön çökeltim sisteminin yanı sıra destilasyon, dondurma ve ters osmoz yöntemleriyle de ön arıtma yapılabilir. Bu sistemlerin BOİ giderim verimi % 90-95 arasında olmaktadır. Yine % 30-35 BOİ giderim verimi olmasına rağmen ön çökeltim havuzlarıyla ön arıtım düşük maliyeti nedeniyle tercih edilmektedir. Şekil 2.2 'de ön arıtım sistemi akış şeması gösterilmektedir (Ekşi, 2007).



Şekil 2.2: Ön arıtım sisteminin akış şeması.

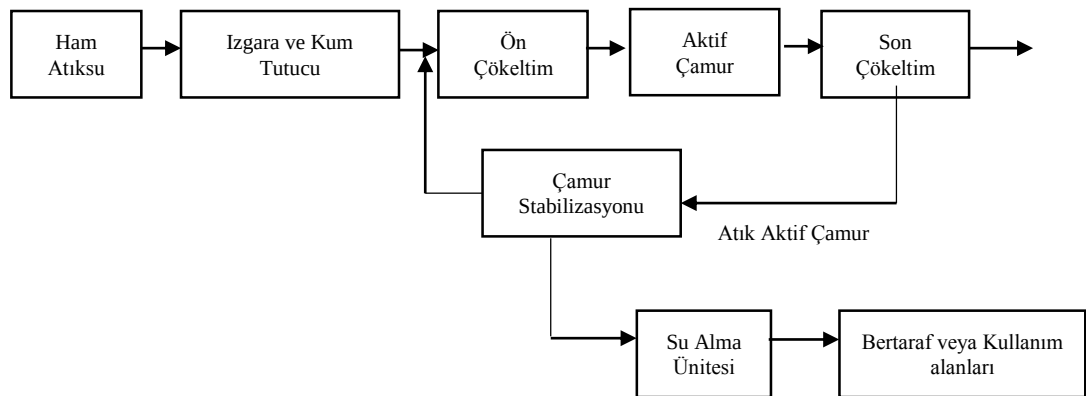
Anaerobik çürütme ile çamur koku ve patojenlerden önemli oranda arındırılır. Kurutma yataklarında veya mekanik olarak suyu alındıktan sonra kullanımı mümkün olmaktadır (Ekşi, 2007).

2.4.2 İkincil arıtma çamuru

İkincil arıtmada temel, çözünebilir özelliklere sahip biyolojik oksijen gereksinimi giderilmesidir. Bu gereksinim, biyokimyasal yöntemlerle giderilmekle birlikte fiziksel ve kimyasal arıtma operasyonları da bu amaca yönelik olarak kullanılabilir (MEGEP, 2011).

Biyolojik arıtmanın temeli çözünebilir organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonuna dayanır. En yaygın olarak kullanılan ikincil arıtım sistemleri; aktif çamur ve damlatmalı filtrelerdir (Daigger vd.,1999). Biyolojik sistemlerde aktif ajanlar mikroorganizmalardır ve lagünler, aktif çamur ve damlatmalı filtre veya biyo-filtrasyon prosesleri gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Lagünlerde bakteriyel çoğalma ile organik maddelerin CO₂ ve biokütleye dönüşümü sağlanır. Gerekli oksijen lagüne yapay havalandırmayla verilir (Aydın, 2004).

İkincil arıtma sistemlerinden en yaygın olanı aktif çamur sistemleridir. Bu sistemlerde sudaki organik maddelerin giderimini sağlayan biyokütle sıvı içinde asılı halde bulunur ve aerobik olarak askıda çoğalırlar. Havalandırma difüzör ve yüzeysel havalandırıcılarla sağlanır. Biyokütle son çökeltme tankında çökeltir ve çökemeyen tesisin başına geri gönderilir. Atılan kısım aktif çamur olarak bilinir ve büyük problemlere neden olmaktadır. Genellikle büyükşehirlerde atık suların arıtımında kullanılmaktadır (Uçar, 1997). Aktif çamur, süspanse bir yapı içerisinde yerleşmiş çeşitli bakteri türlerinden ve protozoalardan oluşmaktadır (Ekşi, 2007). Şekil 2.3'te aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikinci arıtım sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikinci arıtım.

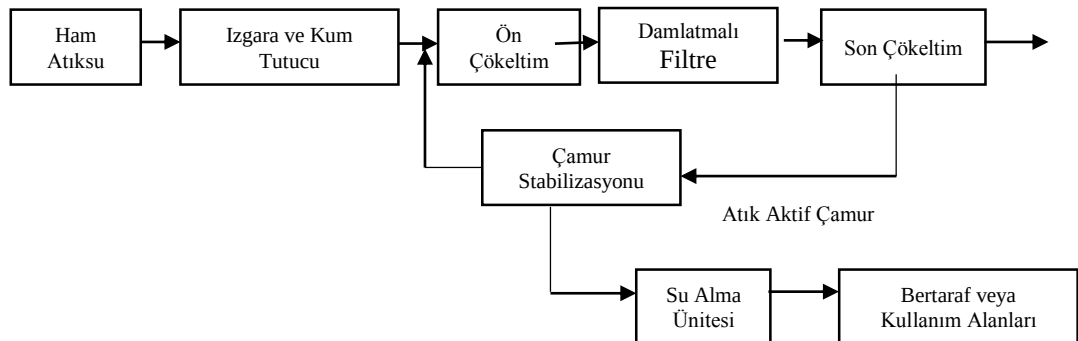
Aktif çamur sistemde son çökeltme havuzunda toplanan atık aktif çamurun sadece bir kısmı stabilize edilmek üzere sistemden uzaklaştırılmakta, diğer kısmı ise geri devir çamuru olarak sisteme gönderilmektedir.

Tasarımı iyi yapılmış aktif çamur sistemine göre işletilen bir tesisin BOİ arıtma verimi % 80-90 arasında değişmektedir. Havasız çürütücüye seçenek olarak, atık aktif çamur havalı ya da aerobik olarak çürütülebilir. Atık aktif çamur ayrı bir tanka alınır ve kısa bir zaman havalandırılır. Bu suretle çamurdaki uçucu katı maddeler biyolojik olarak stabilize olmaktadır. Neticede ortaya çıkan çamur, aerobik çürütülmüş çamur olmaktadır (Ekşi, 2007).

Biyolojik arıtmada yaygın olarak kullanılan diğer bir sistem damlatmalı filtrelerdir. Damlatmalı filtreler üzerinde mikroorganizmaların biyofilm halinde büyüdüğü katı tanecikler içeren bir dolgulu sistemdir. Bu sistem küçük yerleşim yerlerine ait atıksuların ve biyolojik olarak ayrışabilen endüstri sularının arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu sistemdeki biyolojik süreçler gerçek anlamda mekanik bir filtre olarak çalışmazlar. Bu nedenle, filtreler biyolojik reaksiyon yatakları olarak da isimlendirilmektedirler. Filtre yataklarından kopan katı partiküller son çökeltim havuzunda arıtılmış sudan ayrılır ve bu çamur filtre keki olarak tanımlanır ancak miktarı azdır. Filtre keki genellikle ham ön çökeltim çamuru ile karıştırılmakta ve genellikle anaerobik olarak çürütülmektedir.

Aşağıdaki Şekil 2.4'te damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil bir arıtım sistemi gösterilmektedir (Ekşi 2007, Bilgin vd. 2003).



Şekil 2.4: Damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil arıtım.

Klasik bir atıksu arıtma tesisi genellikle ızgara, kum tutucu, ön havalandırıcı, ön çökeltme havuzu, biyolojik arıtma, son çökeltme havuzu ve çamur işleme ünitelerinden oluşmaktadır (Öztürk vd., 2014).

Klasik aktif çamur sistemleri aktif çamur prosesinin tam anlamıyla her aşamasının gözler önüne serildiği sistemler olarak da tanımlanabilir. Tesisin kurulacağı bölgede alan kısıtlama sorunu mevcut değilse klasik aktif çamur sistemi tercih edilebilir. Sistemin çevresel şartlardan etkilenme olasılığı düşüktür. Bu sebeple sistem, atıksu arıtılma verimi açısından da oldukça stabil bir karakter sergilemektedir (Öztürk vd., 2014).

Klasik aktif çamur sistemli bir atıksu arıtma tesisi ünitelerden çıkan katı madde ve çamur tipi ile özellikleri Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8’de gösterilmektedir (Öztürk vd., 2014).

Çizelge 2.7: Klasik atıksu arıtma tesislerinde KM ve çamur kaynakları.

Uygulanan Arıtma Süreci	Katı Madde ve Çamur Tipi	Açıklama
Izgara	Kaba katı maddeler	Kaba katı maddeler elle veya mekanik olarak temizlenen ızgaralarda tutulur.
Kum Tutucu	Kum ve köpük	Köpük giderme işlemi kum ayırma ile birlikte gerçekleştirilir.
Ön Havalandırma	Kum ve köpük	Bazı tesislerde ön havalandırma tanklarında köpük ve yağ gidericiler bulunmaz. Ön havalandırma havuzlarından önce kum tutucular yoksa, ön havalandırma havuzunda kum birikimi olabilir.
Ön Çökeltme	Ön çökeltme çamuru ve köpük	Çamur ve yüzer madde miktarı, toplama sistemine ve sisteme endüstriyel atık deşarjı olup olmamasına bağlıdır.
Biyolojik Arıtma	Süspanse katı maddeler	Süspanse katı maddeler BOI gideriminden oluşur. Biyolojik arıtmadan çıkan atık çamurun yoğunlaştırılması maksadıyla yoğunlaştırıcı gerekir.
Son Çökeltme	Son çökeltme çamuru ve köpük	Biyolojik arıtma birimlerinden gelen çamurun ayrıldığı yerdir.
Çamur İşleme Süreçleri	Çamur, kompost ve kül	Son ürünlerin özellikleri, işlenen çamurun karakteristiğine ve uygulanan arıtma yöntemine bağlıdır.

Çizelge 2.8: AAT kaynaklanan çamur ve katı atıkların özellikleri.

Katı Madde veya Çamur Kaynağı	Katı Madde ve Çamur Tipi
Izgara Atıkları	Izgara çubukları arasında tutulacak büyüklüğe sahip tüm organik ve inorganik maddeleri içermektedir. Organik madde muhtevası atıksu toplama sisteminin çeşidi ve mevsimlere göre farklılık göstermektedir. Bu maddeler direkt olarak sistemden uzaklaşarak katı atık depolama alanlarında bertaraf edilmektedir.
Köpük Yağ Ve Gres	Köpük, ön/son çökeltme havuzu seviyesinden sıyrılarak yüzebilecek özelliklere sahip maddelerden meydana gelmektedir. gres, bitkisel ve mineral yağlarla hayvansal yağlar, sabun, yiyecek artıkları, meyve/sebze atıkları, kağıt, paçavra, saç, izmaritler ve plastik gibi maddeleri kapsamaktadır. Köpüğün özgül ağırlığı 1,0'dan küçük olmaktadır. Kum ve yağ tutucudan alınan yağlı maddeler sıyrıcılar aracılığıyla alınma suretiyle özel olan bölgelere aktarılmaktadır.
Kum Tutucu Atıkları	Yüksek ivmeden çökebilin inorganik muhtevaya sahip olmakla birlikte, havalandırılmalı kum ve yağ tutucu gibi birimlerde yağ ve gres gibi maddelerin de tutulmasıyla bu birimlerin yüzeyinden ayrılan çamurların organik madde muhtevası da fazla olmaktadır. Bu çamurlar herhangi bir operasyona uğramadan çöp depolama alanlarına nakledilerek bertaraf edilebilmektedir.
Ön Çökeltim Çamuru	Ön çökeltim tanklarından sağlanan çamurlar 1,5-2 saatlik sürelerde çökebilin organik/inorganik muhtevaya sahip katı maddelerdir. Bu çamurlar önemli ölçüde organik madde kapsadığından bozulmaya ve kokuşmaya eğilimli olmaları nedeni ile giderilmeden arıtılmaları risklidir. Dolayısıyla biyolojik arıtma çamurlarıyla beraber bertaraf edilmelidir. Bu çamurlar genel olarak gri kahverengi renge sahip ve kokusu kötüdür. Uygun işletme şartlarında kolaylıkla çürütülebilirler. Bunun yanı sıra, ön çökeltim havuzlarının yüzeylerinde yağ-köpük gibi çamurlarda birikim söz konusu olmaktadır.
Aktif Çamur	Aktif çamur genel olarak kahverenginde floklu görünümü vardır. Rengi koyu ise septik şartlar oluşmuş demektir. Renk açık ise yeterli derecede havalanmamış olabilir. İyi şartlardaki çamurun toprak kokusu vardır ve hızlı bir şekilde septik olma meyli vardır, ayrıca istenmedik koku da yayabilmektedir. Tek olarak ya da ön çökeltme çamuruyla karıştırılmak suretiyle çürütülebilmektedirler.
Kompostlaşmış Çamur	Koyu kahverengi ve siyah renge sahip olan bu çamurun rengi, kompostlaşma operasyonu esnasında eski kompost ve odun talaşı kullanıldığında değişebilmektedir. İyi kompostlaşmış çamurun kokusu da rahatsızlık vermemektedir. Bahçe tipi toprak koşullandırıcısı olarak ticari amaca yönelik kullanılabilir.
Damlatmalı Filtre Çamuru	Damlatmalı filtre çamuru, floklu yapıda ve taze olduğunda kokusuz olmaktadır. Genel olarak diğerlerine göre daha yavaş bozunmaktadır. Filtre çamurunda kurtçuklar çok ise çabuk bir şekilde zararsız duruma gelir. Damlatmalı filtre çamuru kolayca çürümektedir.
Aerobik Çürümüş Çamuru	Aerobik olarak çürümüş çamurların renkleri açık kahveden koyuya doğru değişmekte ve floklu görünüme sahip olmaktadır. Aerobik çürüten çamurların kokusu rahatsızlık vermemekte, küf kokusuyla tanımlanmaktadır. İyi çürümüş olan aerobik çamur, kurutma yataklarında kolaylıkla suyunu vermektedir.
Atık Alum Çamuru	Gri sarı renge sahip olan bu çamurun kurutma yataklarında suyunu almak güçtür.
Kimyasal Çökeltim Çamuru	Kimyasal çökeltim tanklarında, kimyasal maddelerin eklenmesiyle ortadan kaldırılan toksik maddelerin niteliklerine göre çamur meydana gelmektedir. metal tuzlarının kimyasal çökeltimi neticesiyle ortaya çıkan çamurlar genel olarak koyu renkli olmaktadır. Demiri çok ihtiva ettiğinde ise yüzeyi kırmızımsıdır. Kireç çamurları da gri kahve renklidir. Kimyasal çamurların duyulabilecek kokusu olmakla beraber, ön çökeltim çamuru kadar kötü olmamaktadır. Bu çamur mukoz yapıdadır, demir ve alüminyum hidratlar çamura jelatine benzer bir yapı kazandırır. Çamur ise tankta uzun zaman kalacak olursa, ön çökeltim çamuru gibi ancak daha yavaş bozulmaya başlamaktadır. Önemli ölçülerde gaz çıkışı olabilmekte ve uzun depolama sürecine dayanarak çamurun yoğunluğu artmaktadır.
Anaerobik Çözünmüş Çamur	Bu çamurun rengi koyu kahverengiden siyaha eğilimlidir ve büyük miktarda gaz kapsamaktadır. Tümüyle çürüdüğünde rahatsızlık vermemekte, belirsiz kokuya sahip olmakta, sıcak katran ve yanık lastik kokusu duyulmaktadır. Kum yatağın üzerine ince tabakayla serilirse, katı maddeler gerisinde temiz bir su bırakmak suretiyle oluşan gazla beraber kum yatak üzerine taşınmaktadır. Çamur kurumaya yüz tutarken gaz salımı olmakta, bahçe toprağı kokusunda da kırılgan bir yüzey ortaya çıkmaktadır.
Flotasyon Çamurları	Flotasyon çamurları, yağ, gres ve askıdaki katı madde gibi yoğunluğu su özgül ağırlığından daha küçük ve organik muhtevası yüksek olan yüzücü maddeler olarak kendini göstermektedir. Çoğunlukla çamur yoğunlaştırıcısında kondense edildikten sonra varillere konmak suretiyle ayrı olarak giderilmelerine karşın, bazen de biyolojik arıtma çamurlarıyla beraber bertarafı mümkün olabilmektedir.

2.4.3 Kimyasal arıtma çamuru

İleri arıtma sistemlerinden kaynaklanan çamurlar, kimyasal prosesler ve bakteriyel faaliyet nedeniyle oluşan istenmeyen nütrientlerin (azot ve fosfor) giderilmesi için ikincil arıtma proseslerine ek olarak kurulan sistemlerde oluşmaktadır. İleri arıtım, alıcı ortam deşarj standartlarının sağlanması için gereklidir. Ortamda amonyak ve nitratin oluşumu toksiktir ve azot giderimi, azot oluşumu ile gelişen biyolojik bir prosestir. Her bir adım spesifik bakteriler ile yürütülür ve gelişimi için farklı şartlara ihtiyaç vardır.

Fosfor giderimi ise kimyasal ve biyolojik proseslerin birlikte kullanılması ile uygulanır. Fosforun fiziksel-kimyasal giderimi ile aktif çamur tesislerinde üretilen çamur miktarı %30 oranında artar. Biyolojik arıtma fosfor giderilmesine uygun spesifik mikroorganizmalar ile yürütülür. Arıtma sırasında bakteri bünyesinde biriken fosfor, atılan çamurun arıtımını zorlaştırmaktadır (Aydın, 2004).

İleri arıtma sistemlerinden kaynaklanan, kimyasal prosesler ve bakteriyel faaliyetler sebebiyle oluşan nütrientlerin giderilmesi için ikincil arıtma proseslerine ek olarak kurulan proseslerden oluşmaktadır. Deşarj standartlarını sağlamak için ileri arıtıma ihtiyaç duyulmaktadır. Ortamda amonyak ve nitratin oluşumu toksiktir ve azot giderimi, N₂ oluşumu ile gelişen biyolojik bir prosestir. Her bir adım spesifik bakteriler ile yürütülür ve gelişimi için farklı şartlara ihtiyaç vardır.

Fosfor giderimi ise kimyasal ve biyolojik proseslerin birlikte kullanılması ile gerçekleştirilir. Biyolojik olarak fosfor giderimi de spesifik bakteriler ile sağlanır ve arıtma sırasında biriken fosfor atılan çamurun arıtımını zorlaştırır. Fiziksel ve kimyasal proseslerle fosfor giderimi ise aktif çamur tesislerinde üretilen çamurun %30 oranında artmasına sebep olur (Aydın, 2004).

Mekanik arıtma işlemleri ile giderilemeyen askıda ve çözünmüş haldeki katı maddeler ise, ya kimyasal koagülasyon işlemleri ile veya biyolojik arıtma işlemlerinde oluşturulan koagulant yardımıyla çökeltilerek veya yüzdürülerek su ortamından uzaklaştırılırlar. Çözünmüş organik maddeler ise biyolojik arıtmada bakteri bünyesinde tutularak canlı hücrelere, yani biyokütleyle dönüştürülür. Ortaya çıkan biyolojik çamur nihai çökeltim havuzlarında çökeltirme suretiyle sudan ayrılmaktadır. Nihai çökeltim operasyonları neticesinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının su ve organik madde muhtevası çok yüksektir (Filibeli, 2013).

Mekanik ve biyolojik metotlarla bertaraf edilemeyen çözülmüş durumdaki organik maddeler ya da metal tuzları kimyasal madde ilavesi ile yapılan kimyasal koagülasyon işlemi ile sudan ayrılır (Filibeli, 2013). Bazı Avrupa ülkelerinde çamur üretimindeki değişiklikler aşağıdaki nedenlerden kaynaklanır (Tezcan, 2007);

- a. Bazı çamur üretim şekilleri nüfus eşdeğeri temelinde ifade edilir. Genelde nüfus eşdeğeri BOİ olarak verilir. Fakat birçok endüstri tipinde yüksek BOİ yüksek miktarlarda çamur üretimi anlamına gelmemektedir.
- b. Ülkeden ülkeye dizayn standartları (çamur yaşı vb.) değişebilir.
- c. Arıtma sistemleri çok iyi tanımlanmamış olabilir. Örneğin bir oksidasyon hendeği anoksik bölgesi veya anoksik bölgesiz olarak iletilebilir. Bu çamur üretimini etkiler.
- d. Çamur şekilleri çamur uzaklaştırmaya göre rapor edilirken bazıları üretime göre rapor edilir.
- e. Arıtma tesislerinde çamur üretiminin ölçümü basit değildir. Bu yüzden işletmecilerin tahminleri kullanılır.

Evsel atıksuların biyolojik arıtımı yaygın olarak kullanılan arıtma işlemlerinden birisidir (Uçar, 1997). Biyolojik arıtma yöntemi, dizaynının kolay olması ve yüksek verimliliği nedeniyle diğer yöntemlerden ayrılmaktadır. Ancak, aktif çamur prosesi sonucunda yüksek miktarda atık çamur oluşmaktadır ve bu son derece ciddi bir problem oluşturmaktadır.

Aynı zamanda atık çamurun arıtılması ve bertarafı tesisler için büyük bir ekonomik yük oluşturmaktadır. Yaklaşık olarak evsel atıksu arıtma tesisi işletim maliyetinin yarısı çamur arıtımı ve bertarafına harcanmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde meydana gelen arıtma çamur miktarı, uygulanan süreç, kirlilik yoğunlaşması ve uygulanan çamur kurutma metoduna tabi olarak değişiklik göstermektedir.

Literatürde arıtma çamuru oluşma miktarına ilişkin farklı değerler var olup, günde kişi başına arıtma çamuru oluşturma miktarı 26-90 kişi/gün kuru madde olarak değerlendirilmektedir. Arıtma çamurlarının kuru madde muhtevası çamur susuzlaştırma yataklarında yüzde 80-90 oranında artarken, mekanik çamur kurutma yapılan tesislerde aynı değer yüzde 17-25 seviyesinde kalmaktadır. Sağlanan çamur miktarı da genel olarak bir ton arıtma çamuru/bin m³atıksu (1 ton arıtma çamuru/1.000 m³ atıksu) aşamasındadır (URL-2).

2.5 Arıtma Çamurlarının Bertaraf Edilmesi

Dünyada atık çamurun nihai bertarafına ait yöntemler hala tam olarak kesinleşmemekle birlikte atık çamur sorunu her geçen gün büyümektedir. Çamur miktarının artmaya devam etmesine karşılık düzenli depolama alanlarının kapasitelerinin sınırlı olması, çamurun tarımda kullanılmasının sınırlandırılması gibi sebepler bu sorunu daha da önemli hale getirmekte ve araştırmacıları çamurun bertarafı ve değerlendirilmesi konusunda yeni yöntemler bulmaya yöneltmektedir.

İşlem görmemiş çamurların araziye rastgele boşaltılması, koku ve patojen mikroorganizma sorunu, yeraltı sularının kirlenmesi gibi problemleri doğurabilmektedir (Rhyner vd., 1995).

2.5.1 Çamur arıtma süreçleri

Çamur arıtımı çamurun hacmini ve su içeriğini azaltmak, çamuru stabilize etmek ve içerdiği patojen organizmaları gidermek için yapılır. Böylece çamur bertaraf edilebilir hale getirilmektedir. Aksi takdirde çamur mevzuat gereği hiçbir şekilde kullanılamaz ve depolanamaz. Çamurun arıtımı için pek çok arıtma yöntemi kullanılmaktadır.

Çamurların işlenmesi, çamurun kaynağına göre uygulanan arıtma işlemine ve seçilen nihai bertaraf yöntemine göre değişir. Çamur şartlandırma işlemi, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma işlemlerinde çamurun suyunu daha kolay vermesini sağlar. Küçük partiküller, daha büyük ve parçalanması daha zor parçalar haline dönüştürülür. Böylece sulu çamurdaki katı-sıvı faz ayrımı kolaylaşır (Rhyner vd., 1995).

Genelde çamur işleme prosesleri; yoğunlaştırma, stabilizasyon, şartlandırma, susuzlaştırma ve uzaklaştırma gibi tek başına ve/veya ardışık kademeler şeklindedir. Bu prosesler tek başlarına kullanılabildikleri gibi aynı anda birkaçı da bir arıtma tesisinde bulunabilmektedir. Çizelge 2.9'da çamur arıtma süreçlerinin farklı uygulamaları ve bunların hedefleri tanımlanmıştır (Öztürk vd., 2005).

Arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarına genellikle çamurun su içeriğini, patojen içeriğini ve fermantasyon kapasitesini azaltmak amacıyla arıtma uygulanır. Arıtma çamurları patojenleri gidermek, istenmeyen kokuları gidermek, potansiyel bozunmayı azaltmak, inhibe etmek veya durdurmak amacıyla stabilize edilirler. Bunları sağlayabilme başarısı, çamurun uçucu veya organik kısmı üzerinde stabilizasyon işleminin etkisi ile ilişkilidir (Bilgin vd., 2003).

Patojenleri gidermek, istenmeyen kokuları gidermek ve potansiyel bozunmayı azaltmak veya durdurmak amacıyla çeşitli stabilizasyon yöntemleriyle (aerobik çürüme, anaerobik çürüme, kimyasal stabilizasyon, ısıtma işlemi, kompostlama) stabilize edilirler. Bunları sağlayabilme başarısı, stabilizasyon işleminin, çamurun uçucu veya organik kısmı üzerindeki etkisi ile ilişkilidir (Filibeli, 2013).

Çizelge 2.9: Çamur arıtımında farklı yöntemler.

Süreçler	Sürecin türü	Hedefler
Şartlandırma	Kimyasal şartlandırma Termal şartlandırma	Çamurun yapısının modifikasyonu, İleri arıtmalara hazırlanması,
Yoğunlaştırma	Yerçekimi ile yoğunlaştırma Çamur yatağı ile yoğunlaştırma Çözünmüş hava ile yüzdürme	Uygulanacak uzaklaştırma yöntemlerinin veriminin artırılması, gerekli yoğunluk ve katı madde içeriğinin sağlanması, Çamurun su içeriğinin azaltılması,
Susuzlaştırma	Kurutma yatakları Santrifüj Dekantör Bant filtre Filtre pres	Çamurun su içeriğinin azaltılması,
Stabilizasyon ve Dezenfeksiyon	Biyolojik süreçler Anaerobik çürütme Aerobik çürütme Uzun süre sıvı fazda bekletme Kompost Kimyasal süreçler Kireçle işlem Nitrit işlem Fiziksel süreçler Termal kurutma Pastörizasyon	Koku gelişiminin azalması, Çamurdaki patojen içeriğin azalması,
Termal Kurutma	Doğrudan Dolaylı	Su içeriğinin büyük oranda azaltılması,

Stabilizasyon işlemleri sırasında bu istenmeyen koşulları gidermek; uçucu kısmın biyolojik indirgenmesi ile uçucu maddenin kimyasal oksidasyonu ile, mikroorganizma gelişimini engellemek için çamura kimyasal maddesi ilavesi ile, çamuru dezenfekte etmek veya sterilize etmek için ısıtma işlemi uygulanması ile sağlanır (Dölgen 2004, Filibeli 2013).

Stabilize edilmemiş ham çamurlar, bünyelerinde bakteriler, protozoa, helmintik parazitler ve virüsler gibi çok sayıda patojen bulundurulur (Anonim, 1996).

Stabilizasyon işlemi tasarlandığında, arıtılacak olan çamur miktarı ve stabilizasyon prosesinin diğer arıtma üniteleri ile uyumu önemlidir (Filibeli, 2013).

Çamur stabilizasyonu için kullanılan yöntemler 3 başlıkta toplanabilir. Bunlar kimyasal yöntemler (kireç stabilizasyonu), biyolojik yöntemler (aerobik çürüme, anaerobik çürüme, kompostlama) ve termal yöntemlerdir (Filibeli, 2013).

Atıksu arıtma tesislerinde yoğunlaştırıcılar, çamur katı madde konsantrasyonunu arttırmak için kullanılırlar. Yoğunlaştırma çok ekonomik bir işlemdir.

Çünkü çamur katı madde konsantrasyonundaki artış önemli derecede hacim azalmasına yol açar. %1 katı madde kapsayan çamur tam hacim işgal ederken %2 katı maddeye kadar yoğunlaştırılırsa hacmi yarı derecede azalır.

Aynı çamur % 5 katı maddeye kadar yoğunlaştırıldığında ise başlangıçtaki hacminin sadece % 20'sine sahip olacaktır. Böyle bir hacim azalması arıtma tesisi maliyetini önemli ölçüde azaltacaktır (Demirel, 2010).

Kondense etme (yoğunlaştırma) ve çamur suyunu alma arasında bir ayrımının yapılması gereklidir. Operasyonların her ikisinde de katı madde yoğunlaştırılmasında görülen artış ve hacim azalmasıyla sonuçlanmasına karşın ulaşılan katı madde yoğunlaşması farklı olmaktadır. Yoğunlaştırma işlemlerinde elde edilen katı madde yoğunlaştırılması % 15'ten azdır. Pompalanabilen özelliklere sahip olan böyle çamurlar farklı yönlerden akışkanlık niteliklerini taşır (Filibeli, 2013).

Çamur suyunun alınması işleminde ise ulaşılan katı madde konsantrasyonları % 15'ten büyüktür ve çamur artık katı madde gibi davranmaktadır (Filibeli, 2013). Bu sayede suyu alınmış arıtma çamurlarının taşınımı mümkün hale gelmiş olmaktadır.

Çamur şartlandırma işlemi, nihai bertaraf öncesinde çamurun içeriğindeki suyun uzaklaştırılması amacıyla uygulanan ve yoğunlaştırma veya su alma işlemlerinde çamurun suyunu daha kolay vermesini sağlamak amacıyla uygulanır (Filibeli, 2013).

Çamur şartlandırma, su içinde bulunan kolloidal veya partikül haldeki askıda katı maddelerin üstünde, fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin etkisiyle oluşan elektriksel yükleri nötralize etmek veya kararsız hale getirmek demektir. Şartlandırma işlemi sırasında küçük ve şekilsiz partiküller daha büyük ve parçalanması daha zor parçalar haline dönüştürülür. Bu şekilde sulu çamurdaki katı-sıvı faz ayrımı kolaylaşır.

Çizelge 2.10'da farklı tipte atıksu arıtma tesisleri proseslerinden kaynaklanan çamurların fiziksel özellikleri, miktarları ile gözlenen katı madde yoğunlukları verilmiştir (Demirel, 2010).

Çizelge 2.10: Farklı AAT prosesleri katı madde yoğunlukları.

Arıtma İşlemi veya Süreci	Katı Maddelerin Yoğunluğu (kg/m ³)	Çamurun Yoğunluğu (kg/m ³)	Kuru Katı Maddeler (kg/10 ³ m ³)	
			Aralık	Tipik Değer
Ön Çökeltim Tankı	1400	1020	110-170	150
Aktif Çamur	1250	1005	70-100	80
Damlatmalı Filtre	1450	1025	60-100	70
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	1300	1015	80-120	100
Havalandırmalı Lagün	1300	1010	80-120	100
Filtrasyon	1200	1005	12-24	20
Askıda Büyüyen Denitrifikasyon	1200	1005	12-24	18

2.5.1.1 Şartlandırma

Çamur arıtma süreçlerinden ilki olarak ele aldığımız, şartlandırma işlemi suyunu verme özelliğini geliştirmek için uygulanmaktadır. Şartlandırma kimyasal ve fiziksel yöntemlerle yapılmaktadır. Genelde kullanılan kimyasal şartlandırma yöntemi ve ısı işlemler kullanılmaktadır. Çamurun susuzlaştırma özelliğini arttırmak üzere, susuzlaştırma veya yoğunlaştırma için başlangıçta termal veya kimyasal olarak uygulanan bir yöntemdir (Siyasal, 2007).

Şartlandırmada amaç, çamurun yumak yapısını büyüterek ya da güçlendirerek susuzlaştırma işlemine yardımcı olmaktır (Sanin, 2007).

Çamur şartlandırmada, su içinde bulunan kolloidal veya partiküler haldeki askıda katı maddelerin üstünde, fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin etkisiyle oluşan elektriksel yükleri nötralize edilmiş veya kararsız hale getirilmiş olmaktadır (Filibeli, 2013).

Çizelge 2.11’de farklı tipteki atıksu arıtma tesislerinin gerçekleştirdiği işlemler ile proses yapıları kaynaklı oluşan arıtma çamurlarında gözlemlenen katı madde konsantrasyon aralık değerleri ile ortalama değerleri verilmiştir (Demirel, 2010).

Kimyasal şartlandırma, tuzlar, kireç veya organik bileşikler kullanılarak yapılmaktadır. Termal şartlandırma ise, 30-60 dakika boyunca 150-200 C°’de çamurun ısıtılması ile uygulanmaktadır. Dondurma, ışınlama ve çözücü ekstraksiyonu gibi diğer yöntemlerde deneysel olarak kullanılmaktadır (Doğan, 2011). Termal şartlandırma işlemleri kısa sürede yüksek verim ile yapılan işlemlerdir. Yalnız bu işlemlerin uygulama maliyetleri de oldukça yüksektir.

Çizelge 2.11: Farklı AAT süreçlerindeki katı madde konsantrasyonları.

Uygulanan Arıtma İşlemi ve Süreci	Katı Madde Konsantrasyonu (% KM)	
	Aralık	Ortalama
Ön çökeltim çamuru	5-9	6
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	3-8	4
Ön çökeltim çamuru + damlatmalı filtre humusu	4-10	5
Ön çökeltim çamuru + demir tuzları (fosfor için)	0,5-3	2
Ön çökeltim çamuru + düşük kireç dozajı (fosfor için)	2-8	4
Ön çökeltim çamuru + yüksek kireç dozajı (fosfor için)	4-16	10
Son Çökeltim Tankı	Aralık	Ortalama
Ön çökeltim uygulanmış atık aktif çamur	0,5-1,5	0,8
Ön çökeltim uygulanmamış atık aktif çamur	0,8-2,5	1,3
Damlatmalı filtre humusu	1-3	1,5
Döner biyolojik temas tankı atık çamuru	1-3	1,5
Yer Çekimli Yoğunlaştırıcı	Aralık	Ortalama
Ön çökeltim çamuru	5-10	8
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	2-8	4
Çözünmüş Hava Yüzdürmeli Yoğunlaştırıcı	Aralık	Ortalama
Polimer ilaveli atık aktif çamur	4-6	5
Polimer ilavesiz atık aktif çamur	3-5	4
Santrifüj ile Yoğunlaştırıcı	Aralık	Ortalama
Atık aktif çamur	4-8	5
Yer Çekimli-Bant Yoğunlaştırıcı	Aralık	Ortalama
Polimer ilaveli atık aktif çamur	4-8	5
Havasız Çürütme	Aralık	Ortalama
Ön çökeltim çamuru	2-5	4
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	1,5-4	2,5
Havali Çürütme	Aralık	Ortalama
Ön çökeltim çamuru	2,5-7	4
Ön çökeltim çamuru + atık aktif çamur	1,5-4	2,5

Çamur şartlandırma işleminde en çok kullanılan yöntemler, demir klorür, demir sülfat, kireç, alum ve organik polimerler gibi kimyasal maddelerin ilavesi ile yapılan kimyasal şartlandırma işlemi ve ısıtma işlemidir. Demir klorür ve organik polimerler kimyasal şartlandırıcı olarak en çok kullanılan kimyasallardır (Spellman, 1997).

Çamur kurutma yataklarına alma işleminin haricinde kalan susuzlaştırma uygulamaları için çamurun şartlandırılması gerekir. Çamur şartlandırma işlemi, nihai bertaraf öncesinde çamurun içeriğindeki suyun uzaklaştırılması ve yoğunlaştırma veya su alma işlemlerinde çamurun suyunu daha kolay vermesinin sağlanması amacıyla uygulanır. Çamur şartlandırma, su içinde bulunan koloidal veya partikül haldeki askıda katı maddelerin üstünde, fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin etkisiyle oluşan elektriksel yükleri nötralize etmek veya kararsız hale getirmek demektir (Siyasal, 2007).

Şartlandırma amacıyla kimyasal şartlandırma, termal şartlandırma, elutrasyon, dondurma-çözme gibi pek çok yöntem olmakla birlikte en çok kullanılan yöntem kimyasal madde ilavesi ile yapılan kimyasal şartlandırmadır (Lee vd., 2001). Kullanılan çeşitli şartlandırma yöntemleri, şartlandırma işleminin uygulandığı arıtma kademeleri ve amaçlar Çizelge 2.12’de verilmiştir (Filibeli, 2013).

Çizelge 2.12: Çamur şartlandırma yöntemleri ve amaçları.

Şartlandırma Yöntemi	Uygulama Kademesi	Amaç
Polimer İlavesi	Yoğunlaştırma	Katı madde içeriğini, yükleme oranını ve yoğunluğunu arttırmak,
Polimer İlavesi	Su alma	Çamur keki katı madde muhtevasını arttırmak,
İnorganik Kimyasal Madde İlavesi	Su alma	Çamur keki katı madde muhtevasının arttırmak,
Yıkama (Elutrasyon)	Su alma	Asidik özelliği olan kimyasal şartlandırıcı ihtiyacını azaltmak ve KM muhtevasının arttırmak,
Isıl İşlem	Su alma	Kimyasal madde kullanımını azaltmak veya tamamen kaldırmak ve çamur keki katı madde muhtevasını arttırmak; stabilize çamur elde etmek,
Kül İlavesi	Su alma	Vakum filtrelerde kek ayırımını kolaylaştırmak, filtredeki basıncı ve filtre verimini arttırmak ve kimyasal madde kullanımını azaltmak,

Şartlandırma işlemi sırasında küçük ve şekilsiz partiküller daha büyük ve parçalanması daha zor parçalar haline dönüştürülür. Bu şekilde sulu çamurdaki katı – sıvı faz ayrımı kolaylaşır (Siyasal, 2007).

Kimyasal şartlandırma, çamurun yapısına bağlı olarak ham çamurun % 90 ila 99'luk nem muhtevasını, %65 ila % 85'e düşürmektedir. Kimyasal şartlandırma, demir klorür (FeCl_3), kireç, alum [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$] ve organik polimerler (polielektrolit) kullanılarak gerçekleştirilir. Şartlandırmada dozlama tipini ve miktarını artıtılacak çamurun özelliği ve karıştırma önemli derecede etkilemektedir (Salihoğlu, 2007).

Çamurun özelliklerine bakıldığında nereden kaynaklandığı kullanılacak kimyasal seçimi ve dozaj miktarı için çok önemlidir. Çamurun konsantrasyonu şartlandırıcının dağılması için önemlidir. Kireç kullanıldığı zaman kuvvetli amonyak kokusuna ve taşlaşmaya neden olacağı için pH önemlidir. Koagülantın iyi dağılması ve oluşan flokların dağılmaması için de karıştırmaya önem verilmelidir (Muhcu, 2012). Dozaj miktarları laboratuvarında yapılan testler sonucu belirlenmeli, sahadaki sonuçlar da izlenmelidir.

Katıların suya olan ilgisi azaltılır, kokusuzlaştırılır ve prese gerek kalmadan, kimyasal ilave edilmeden susuzlaştırılması sağlanır. Isıl şartlandırma sonucu oluşan süzöntü suyu yüksek organik yüke sahip olduğu için tekrar arıtılması gerekmektedir. İlk yatırım maliyeti yüksektir ve fazla enerji tüketimi gibi dezavantajları olduğu için kullanımı kısıtlıdır. Tüm bu işlemlerin avantajları, dezavantajları ve uygulanabilirlikleri Çizelge 2.13'te özetlenmiştir (Aydın, 2004).

Çizelge 2.13: Farklı şartlandırma süreçlerinin karşılaştırılması.

Şartlandırma	Avantajları	Dezavantajları
Kimyasal (mineral yapıda)	Çamur yoğunluğunun artması,	Çamur miktarı artması, Organik madde miktarı azalması, Yavaş yürüyen bir reaksiyon,
Kimyasal (organik yapıda)	Çamur kütlesinin azalması, Tarımsal değerinde değişim olmaması, Düşük miktarlarda kullanımı, Kolay kullanım ve taşınma,	Ürünlerin maliyeti,
Termal	Tüm çamurlara uygulanabilirliği, Yeterli ve kararlı bir süreç, Stabilizasyon ve dezenfeksiyon, Düşük çamur miktarı,	Enerji tüketimi, Koku, Filtrelerde kirlilik yükü artışı,

Isıl şartlandırma ise çamurun ısıtılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Verilen ısı ile çamurun fiziksel özellikleri değiştirilerek susuzlaştırma gerçekleştirilir. Isıl işlem diğer yollarla stabil edilemeyen ve şartlandırılmayan biyolojik çamurlar için uygun

bir yöntemdir. Bu yöntem ile oldukça yüksek verimler alınmasına karşılık çamurun ısıtılması işlemi oldukça maliyetli bir işlemdir. Dolayısıyla bu yöntem günümüzde ancak mecbur kalındığı durumlarda talep görmektedir.

2.5.1.2 Susuzlaştırma

İkinci olarak ele aldığımız söz konusu işlem arıtma tesisinden çıkmış olan çamurun kolaylıkla uzaklaştırılmasında, sıvı durumdan çıkarak katı hale dönüşmesi gereklidir. Dolayısıyla çamurun kapsadığı su miktarının azaltılabilmesi için farklı işlemlerin uygulanması gerekmektedir. Arıtma çamurları genel olarak yoğunlaştırma operasyonundan sonra susuzlaştırma işlemine bağlı tutulurlar.

Arıtma tesisinden çıkan çamurun kolayca uzaklaştırılabilmesi için sıvı halinden çıkıp katı hale dönmesi gerekmektedir. Bu nedenle, çamurun içerdiği su miktarının azaltılması için değişik işlemlerin uygulanması gerekir. Arıtma çamurları genellikle yoğunlaştırma işlemi sonrasında susuzlaştırma işlemine tabi tutulurlar (Muslu, 1996).

Anaerobik olarak çürütülmüş olan arıtma çamurunun mekanik olarak susuzlaştırılması işlemleri kapsamında santrifüj dekantör içerisinde ilk olarak katyonik nitelikli poli-elektrolit (polimer) ile birleşen arıtma çamurunun katı madde içeriği, yükleme oranı ve yoğunluğu artmaktadır. Yoğunluğu artmış olan arıtma çamur yine santrifüj dekantör içinde katı-sıvı faz ayrımı ile susuzlaştırma işlemi nihayete ulaşmaktadır (Filibeli, 2013).

Susuzlaştırma, çamurun su içeriğinin azaltılmasını sağlayan ve büyük oranda hacim küçülmesine neden olan yoğunlaştırıcıdan sonraki aşamadır. Susuzlaştırma sonrası çamur kek halini alır su içeriği azalmış olur ve katı madde içeri de buna bağlı olarak artar. Susuzlaştırma sonrasında oluşan çamurun taşınması ve işlenmesi daha kolay olmaktadır. Ayrılan su ise sisteme geri verilmektedir. Susuzlaştırma, kurutma yatakları, santrifüj ile susuzlaştırma, bant filtre ve filtre pres üniteleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Toprak, 2011).

Kurutma yatakları; susuzlaştırma için en basit yöntemlerden biridir. Çamurun açık alana serilmesi ile suyunun buharlaşması sağlanmaktadır. Su içeriği % 50'ye kadar düşürülmektedir (İleri, 2000). Düşük işletme maliyeti ve kolay uygulanabilirliği gibi avantajlarının yanı sıra büyük alanlara ihtiyaç duyulması ve iklim şartlarına bağlılığı gibi dezavantajları mevcuttur (Filibeli ve Erden-Kaynak, 2005).

Santrifüj ile susuzlaştırma prosesi, santrifüj içerisinde merkezkaç kuvvetlerini kullanarak çamurun suyunun alınmasını sağlayan mekanik bir uygulamadır. Koku probleminin olmaması, işletmeye alması ve devre dışı bırakılmasının kolay olması ve kolay kullanılabilir olması gibi avantajları arasındadır (Toprak, 2000).

Bant filtre prosesinde bir polimer ile karıştırılmış arıtma çamurları yer çekimli bant filtre ile susuzlaştırılması sağlanır. Çamurlar iki kayış arasında preslenerek susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Uygulamada kullanılan plaka ve çerçeve filtre presler çamur susuzlaştırma için en yaygın olanlardır. Klasik filtre pres, arasına basınçla çamurun enjekte edildiği düşey plaka sütunlarından oluşmaktadır. Ayrılan su plakalar açılmadan önce uzaklaştırılır, çamur kekleri toplanır. Bazı uygulamalarda, susuzlaştırma derecesinin artırılması amacıyla filtre pres su ile doldurulmadan önce plakalar arasına membran yerleştirilir. Farklı susuzlaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması aşağıdaki Çizelge 2.14’te verilmiştir (Dağ, 2008).

Çizelge 2.14: Farklı susuzlaştırma süreçlerinin karşılaştırılması.

Susuzlaştırma süreçleri	Avantajları	Dezavantajları
Kurutma Yatakları	Kolay işletme, Küçük arıtmalara uygun, Yıl boyunca fonksiyonel, Düşük işletme maliyeti, Yüksek kuru madde içeriği,	Alan ihtiyacı, Hava koşullarına bağımlılık, Koku riski, İşgücü gereksinimi,
Santrifüj Dekantör	Sürekli işletme, Kompakt sistem, Otomasyon imkânı,	Özel bakım, koku, Çamur özelliği, Yüksek enerji tüketimi, Yüksek yatırım maliyeti,
Bant Filtreler	Sürekli işletme, Kolay işletme, Orta yatırım maliyeti,	Sınırlı su içeriği giderimi Temiz su ihtiyacı, Uzmanlık gerekli,
Filtre Pres (Bant)	Yüksek su içeriği giderimi, Çamurun yapısal değişimi, Otomasyon imkânı,	Kesikli işletme, Şartlandırma gereksinimi, Uzmanlık gerekli, Yüksek yatırım maliyeti,
Plakalı Filtre Pres	Çok yüksek kek KM’si, Filtratta düşük askıda katı madde,	Kesikli işletme, Yüksek ekipman maliyeti, Yetişmiş personel, Ekipman için geniş alan ihtiyacı,
Çamur Lagünleri	Düşük enerji tüketimi, Alana bağlı yatırım maliyeti, Yetişmiş personel ihtiyacı az, Kimyasal madde tüketimi yok,	Koku ve sinek problemi, Alana bağlı yatırım maliyeti, Görsel görüntü kirliliği, Yeraltı suyu kirlenme riski,

Çamurun tipine ve uygulanan basınca bağlı olarak kuru madde miktarı değişmektedir. Filtre pres çamur susuzlaştırmada en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Ardışık olarak art arda yerleştirilerek atık çamurun sıkıştırılması sağlanır (Dağ, 2008).

Yüksek basınçla basılarak çamurdaki su ayrılarak çamurun kek haline gelmesi sağlanır. Genellikle % 30-45 gibi yüksek susuzlaştırma seviyesine ulaşmak için bu yöntem kullanılır. Bununla birlikte yatırım maliyetleri, özellikle yüksek kapasiteli tesislerde oldukça yüksektir (Dağ, 2008).

Mekanik susuzlaştırma yöntemleri arasında yer alan santrifüj yönteminde ise katı maddeler santrifüj kuvvetinin etkisi ile sıvı fazdan ayrılır. Santrifüjleme yöntemi ile susuzlaştırılan arıtma çamurları, diğer yöntemlerle susuzlaştırılan çamurlara nispeten daha kararlıdır ve daha az koku problemi oluşturur (Kocaer, 2000).

2.5.1.3 Stabilizasyon

Çamur stabilizasyonu, çevreye herhangi bir zarar vermeksizin, herhangi bir kötü koku yaratmaksızın bertaraf edilebilen çamur stabil çamur olarak tanımlanabilir (Filibeli, 2013).

Stabilizasyon ile çamurda biyolojik olarak parçalanabilen maddeler mikroorganizmalar tarafından fermente edilerek kokusu azaltılır ve çamurun kararlı hale gelmesi sağlanır. Stabilizasyonda aynı zamanda çamurun katı madde içeriğinin de artırılması sağlamaktadır. Çamur stabilizasyonunda kullanılan başlıca teknolojiler; kireç stabilizasyonu, ısı işlem, anaerobik (havasız) stabilizasyon ve aerobik (havali) stabilizasyon olarak sıralanabilir (Gönüllü, 2004).

Çamur stabilizasyonu, patojenlerin azaltılması, istenmeyen kokunun giderilmesi, kokuşmanın önlenmesi gibi faydalar sağlamaktadır. Stabilizasyon prosesi; uçucu bileşiklerin biyolojik parçalanması, uçucu bileşiklerin kimyasal oksidasyonu, mikroorganizmaları inhibe etmek üzere çamura kimyasal ilavesi, çamurun sterilizasyonu için ısı uygulaması işlemlerinden en az birini veya birkaçını ihtiva eder (Filibeli, 2013).

Kireç stabilizasyonu, çamura kireç ilave edilerek pH'nın 12 ve üzerine çıkarılmasıyla mikroorganizmaların faaliyetleri engellenerek stabilizasyon sağlanmış olur. Mikroorganizmaların faaliyetinin engellenmesiyle çürüme gerçekleşmez, koku oluşumu engellenir ve patojen riskler ortadan kalkmış olur (Toprak, 2011).

Hammaddenin (kirecin) ucuz olması nedeniyle düşük bir maliyete sahiptir. Kireçle stabilizasyon sunucunda oluşan çamur büyük hacim kaplar ve kimyasal ilave edildiği için kararlı değildir.

Yüksek pH mikroorganizmalar uygun olmayan bir ortam meydana getirir. Bunun sonucu olarak çamur ayrışma koku kaybolur. Bu işlem hem çamurun dezenfeksiyonuna yardımcı olur hem de madde içeriğini artırarak kolay taşınmasını sağlar. Fermantasyona engel olabilmek genellikle çamura % 30 kireç ilavesi önerilmektedir. Arıtılmamış ham çamura kireç ilavesi, su almaya kolaylık sağlayan bir şartlandırma operasyonu olarak uzun zamandır uygulanmaktadır (Dağ, 2008).

Stabilizasyonun katkı maddesi şeklinde kullanılması da sadece son dönemlerde başlamıştır. Kireç ile stabilize etme, su alma operasyonundan önce çamura kirecin eklenmesi (kireçle ön işlem), su almadan sonra kireç eklenmesi (kireçle son işlem) olarak iki kademedir oluşmaktadır (Dağ, 2008).

Çamura kireç ile ön işlemin gerçekleşmesi halinde, sulu halde bulunan çamurun suyunun alınarak yüksek pH oranı temin etmek için gerek duyulan kireç miktarından daha çok kirecin eklenmesi gerekli olmaktadır. Bunun yanı sıra, yüksek oranda patojenin ortadan kaldırılması için de su alma operasyonundan önce yeterli derecede temas süresinin sağlanması da gerekmektedir. Dolayısıyla yaklaşık 2 saat pH oranının 12'nin üzerinde olması tavsiye edilmektedir. stabilizasyonda sönmüş ve sönmemiş kireç ve bazı durumlarda kireç ile beraber uçucu kül, çimento fırın tozları ve karpit kireci de kullanılmaktadır (Aydın, 2004).

Isıl işlem, çamurun ısıtılarak suyunun alınmasını sağlayan hem stabilizasyon hem de susuzlaştırma işlemidir. İşlem 30 dakika gibi kısa zaman aralıklarında yüksek basınç ve 260 °C üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşir. Yüksek sıcaklık ve basınç, çamurdaki bağlı suyu açığa çıkarır ve katı maddelerin flokleşmelerini sağlar. Ek olarak proteinli maddelerin hidrolizi gerçekleşir, hücre bozunması sonucu organik bileşikler ve amonyak açığa çıkar (Filibeli, 2013).

Çamurun ısıtılma işlemi tabi tutulmasıyla kokusuz son ürün oluşturulur ve içerdiği patojenlerin de bertarafı sağlanmış olur. Oluşan son ürün gübre veya toprak şartlandırıcı olarak kullanılabilir (Filibeli, 2013).

Arıtma tesislerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının, aerobik veya anaerobik olarak parçalanması, mekanik kurutulması ve yakılması gibi yöntemlerle bertaraf edilmesinin

maliyeti arıtma tesisi için yapılan toplam yatırımın yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır (Öbek vd., 2004).

Anaerobik stabilizasyon, anaerobik çürüme, moleküler oksijen yokluğunda organik ve inorganik maddelerin parçalanması işlemi olup sonucunda biyogaz diye tabir edilen gaz kompozisyonu elde edilmektedir. Söz konusu biyogaz kompozisyonu içeriğinde genel olarak; metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), su buharı (H_2O), azot (N_2), oksijen (O_2), hidrojen (H_2), Amonyak (NH_3), hidrojen sülfür (H_2S) bulunmaktadır. Bileşimler biyo-atığın kaynağına göre değişmekle birlikte bölgenin mevsimsel koşulları, tüketim alışkanlıkları vb. koşullara göre değişmektedir. Arıtma çamurundaki organik maddeler, anaerobik şartlar altında biyolojik olarak parçalanması süreci (CH_4 ve CO_2 'e) bir seri organizma grubu tarafından yürütülen bir biyolojik bozunma işlemidir.

Çamurun oksijensiz ortamda ayrışması sonucu karbondioksit ve metana dönüşmesi olayıdır. Anaerobik ayrışma 3 aşamada gerçekleşir: Bunlardan ilki büyük molekülü organik maddelerin basit moleküllere dönüştüğü hidroliz aşaması, ikincisi asit bakterileri tarafından uçucu yağ asitlerinin oluşturulması, sonuncusu ise uçucu asitlerin metan bakterileri tarafından son ürün olan metan ve karbondioksite dönüşümüdür (Dumlu, 2011). Anaerobik çürütme, ürettiği enerji ve stabilizasyon sonucu faydalı çamur kullanımını sağladığı için sıklıkla tercih edilmektedir. Üretilen enerji sistemin işletilmesinde kullanılmaktadır (Filibeli, 2013).

Anaerobik çürüme ile stabilizasyonda birçok patojenler etkisiz hale gelir ve oluşan stabil çamur gübre veya toprak şartlandırıcı olarak kullanılabilir. Çok küçük hacimlerde çamur uzaklaştırılır. Anaerobik stabilizasyonda yüksek ve düşük hızlı çürütücüler yaygın olarak kullanılır. Ham ve çürütülmüş arıtma çamurunun kimyasal özellikleri de uğradığı stabilizasyon sonucu değişiklik göstermektedir (Tchobanoglous vd., 1991).

Arıtma çamurları içinde ham ön çökeltim çamurları bünyelerinde yüksek konsantrasyonda patojen organizma bulundurlar. Anaerobik çürütme işlemi uygulandığında, patojen organizma sayısı düşmektedir (Laak, 1986).

Çürütme verimini alıkonma süresi, katı konsantrasyonu, sıcaklık, karıştırma ve organik yükleme hızı gibi fiziksel faktörlerin yanı sıra pH, alkalinite, uçucu asit konsantrasyonları, nütrientler ve toksik maddeler gibi kimyasal faktörler etkilemektedir (Demirel, 2010).

Çizelge 2.15'te ham çamurların, işlem görerek (stabilizasyon) çürütülmüş çamurların ve aktif çamurun tipik kimyasal özellikleri verilmiştir (Tchobanoglous vd., 1991). Çizelge 2.16'da ise örnek patojen organizma sayıları verilmiştir (Laak, 1986).

Çizelge 2.15: Ham ve çürütülmüş çamurların kimyasal özellikleri.

Parametre	Ham Ön Çökeltim Çamuru	Çürütülmüş Ön Çökeltim Çamuru	Aktif Çamur
Toplam Kuru Madde (KM) %	2 - 8	6 - 12	0,83 – 1,16
Uçucu Katı Madde (KM'nin %'si)	60 - 80	30 - 60	59 - 88
Azot (N), (KM'nin %'si)	1,5 - 4	1,6 – 6,0	2,4 – 5,0
Fosfor (P ₂ O ₅), (KM'nin %'si)	0,8 – 2,8	1,5 – 4,0	2,8 – 11,0
pH	5,0 - 8,0	6,5 – 7,5	6,5 – 8,0
Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	500 – 1.000	2.500 – 3.500	580 – 1.100

Çizelge 2.16: Arıtma çamurlarındaki patojenler.

Çamurlar	Virüs (PFU/100 ml)	Koliform (10 ⁶ /ml)	Salmonella (100 ml'de)	Pseudomonas (100 ml'de)
Ham Ön Çökeltim Çamuru	7,9	11,0 – 11,4	460	46.000
Aktif Çamur	-	2,0 – 2,8	74 – 23.000	1.100 – 24.000
Çürütülmüş Karışık Çamur	0,85	0,4	29	34

Ön çökeltim havuzu tabanında toplanan ham ön çökeltim çamurunun su muhtevası oldukça yüksektir. Bu çamurun anaerobik olarak çürütülmesiyle % 50 uçucu madde giderimi sağlanır, koku azaltılır ve önemli oranda patojen giderilir. Çürümüş çamurlar araziye verilebilir ya da kurutma yataklarında kurutulduktan sonra veya mekanik olarak suyu alındıktan sonra nihai bertarafı yapılabilir. Aktif çamur sisteminde ise oluşan mikroorganizma miktarı sistem için gerekli olan miktarı aşarsa fazla katı maddelerin sistemden atılması gerekir. Sistemden atılan bu katı maddelere atık aktif çamur adı verilmektedir (Vesilind, 1979).

Anaerobik stabilizasyonun havalandırmaya gerek duyulmaması, enerji sağlaması gibi avantajlarının olmasının yanı sıra aklimizasyon evresinin uzun olması, sistemin dış etkilere karşı duyarlı olması gibi dezavantajları mevcuttur (Alparslan, 2004). Bununla beraber Anaerobik çürütme ile çamur içerisindeki uçucu ve biyolojik yönden dirençli organik madde içeriği düşmekte, patojen miktarının ve koku problemi azalmaktadır. Çizelge 2.17'de anaerobik bozunmanın giriş ve performans değerleri verilmiştir (Kocaer, 2000).

Çizelge 2.17: Anaerobik bozunmanın giriş ve performans kriterleri.

Parametre	Tipik Değer
Bekletme zamanı (gün)	15-18
Uçucu katı madde miktarı (kg UAKM/m ³ -gün)	0,8-1,6
Katı madde miktarı (kg AKM/m ³ -gün)	1,0-2,0
İşletme sıcaklığı (C ⁰)	30-37
pH	6,6-7,5
Beslenen çamur konsantrasyonu (%)	3-8
Toplam katı giderimi (%)	30-35
Beslenen çamurdaki uçucu katı konsantrasyonu (%)	70-80
Uçucu katı giderimi (%)	40-50
Gaz üretimi (m ³ /kg UAKM)	0,8-1,2

Anaerobik arıtma sistemlerinin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Speece 1996, Filibeli ve Erden-Kaynak 2005);

Avantajları;

- a. Düşük reaktör hacmi vardır.
- b. Düşük atık biokütle üretimine sahiptir.
- c. Mevsimsel arıtma imkânı tanır.
- d. N ve P ihtiyaçları düşüktür.
- e. Enerji tasarrufu sağlar ve değerli yan ürünler üretir.
- f. Düşük köpüklenme sorunu söz konusudur.
- g. Aerobik olarak giderilemeyen bazı maddelerin giderimini sağlar.

Dezavantajları;

- a. Başlangıç aşamasının uzun tutulması gereklidir.
- b. Atıksuların bazısında yüksek ölçüde alkalinite ihtiyacı, düşük çıkış kalitesi ve koku sorunları gibi durumlarla karşılaşılır.
- c. Düşük sıcaklık ve düşük kinetik hızlar söz konusu olduğu için ısıtma ihtiyacına gerek duyulur.
- d. Azami biokütle faaliyeti için yüksek NH₄ yoğunluğu gereklidir.
- e. Dolgu malzemesi maliyeti söz konusudur.
- f. Askıda katı madde birikiminin verimliliği düşürdüğü söylenebilir.

Anaerobik çamur çürütücüler düşük ve yüksek ivmeye sahiptir. Düşük ivmeli olanlarda ısıtma ve karıştırma uygulanmamakta ve hidrolik bekleme süresi de mevsim ve bölgesel iklim koşullarına göre bir ya da iki ay arasında değişiklik göstermektedir (Demirel, 2010). Yüksek hıza sahip çürütücülere ısıtma ve karıştırma uygulanma suretiyle ayrışma sürecinin daha hızlı hale getirilmesi sağlanmaktadır. Yüksek ivmeye sahip çürütücüler de, seri bağlı iki reaktör olarak tasarlanmaktadır. İkinci reaktör çökeltmeyi gerçekleştirerek çamur yaşının denetimine imkân sağlamaktadır (Yeşil, 2011).

Aerobik stabilizasyon, çamurun açık havuzlarda havalandırılarak biyolojik olarak parçalanmasıdır. Aerobik çürüme sonucunda karbondioksit ve su oluşmaktadır. Biyolojik olarak parçalanabilen maddeler oksitlenir ve mikrobiyal kütle aerobik mikroorganizmalar tarafından parçalanarak aerobik çürütme gerçekleşmiş olur.

Sıcaklığın 70 °C'nin üzerine yükselmesi mikroorganizmaların büyük çoğunluğunun yok edilmesini için yeterli olmaktadır. 65 °C sıcaklıklarda 5-6 gün bekletilen çamurda uçucu maddeler %40 oranında azalır. Aerobik bozunma basittir ancak anaerobik bozunmaya göre 5-10 kez daha fazla enerjiye gereksinim duyar (Toprak, 2000). Aerobik çürütmenin işletilmesinin kolay ve basit olması, ilk yatırım maliyetinin düşük olması ve çürüme sonrası kokusuz stabil çamur üretilmesi başlıca avantajlarıdır. İşletme masrafının yüksek olması, çürüme sonrası kullanılabilir enerjinin olmaması ve büyük alanlara ihtiyaç duyulması ise dezavantajlarıdır (Alpaslan, 2004).

2.5.1.4 Dezenfeksiyon

İşlem patojenlerin giderimini gerçekleştirmektedir. Çamurların tarım faaliyetleri için kullanıldığı alanlarda, halk sağlığı açısından hastalık yapan organizmalarla teması kontrol altına almak ve engellemek amacıyla dezenfeksiyonu gereklidir. Sıvı ve susuzlaştırılmış çamurda hastalık yapan organizmaların yok edilmesi için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir (Doğan, 2011);

- a. Pastörizasyon,
- b. Isıl şartlandırma, ısı kurutma, yakma ve piroliz gibi diğer ısıl prosesler,
- c. Yüksek pH arıtımı, (kireç ile pH 12'nin üzerine getirilir, 3 saat kalma zamanı),
- d. Çürütülmüş sıvı çamurun uzun süreli depolanması,
- e. Çamurun stabilizasyonu ve dezenfeksiyonu için klorür ilavesi,
- f. Diğer kimyasallar ile ve yüksek enerjili ışın uygulaması ile dezenfeksiyon,
- g. 55 °C'nin üzerinde tam kompostlama ve en az 30 gün olgunlaştırmadır.

2.5.1.5 Yoğunlaştırma

Yoğunlaştırma, çamurun arıtılmasında ilk aşama olarak, çamur karışımındaki sıvıyı ortadan kaldırarak katı muhtevanın arttırılması operasyonudur. Sistemde meydana gelen çamuru daha yoğun duruma getirmek, bu nedenle daha küçük hacimli çamurla uğraşmak ve daha ekonomik çürütücü tankı sağlamak için kullanılır.

İkincil çökeltim tankından pompalanmış olan % 0,8 katı kapsayan fazla aktif çamur, kondensatörde % 4 katı konsantrasyona kadar yoğunlaştırılmakta, başka bir ifadeyle çamur hacminde beş kez azalma elde edilir (Dağ, 2008). Yoğunlaştırma sonrasında yer alan arıtım birimleri için önemli ölçüde yükün azalmasını temin eder.

Yoğunlaştırıcılar büyük oranda hacim azalmasına sebep olurlar. Yoğunlaştırıcıdan çamurun katı madde oranı performansa göre değişmekte ve genelde %5 civarındadır. Yoğunlaştırma yerçekimi, mekanik yöntemler ve çözünmüş hava ile yüzdürme gibi teknikler kullanılarak gerçekleştirilir (Filibeli ve Erden-Kaynak 2005).

Yerçekimi ile yoğunlaştırma, yoğunlaştırma havuzlarında gerçekleştirilir. Çalışma prensibi çökeltme tanklarınıninkine benzemektedir. Yoğunlaştırıcı havuzları çamurun yerçekimi ile çöktürülmesi ile sağlanır. Çamur tanka ortadan verilir çöken çamur tankının alt yüzeyinden alınır. Çamurdan ayrılan su savaklar yardımıyla tekrar sistemin başına verilir. Yoğunlaştırıcıların tasarımında gerekli yüzey alanı, hacim ve tank derinliği dikkate alınmalıdır (Gönüllü, 2004). Çamur yoğunlaştırma çözünmüş hava ile yüzdürmeli olabileceği gibi, basit ve işletilmesinin kolay olması dolayısıyla yerçekimi ile çamur yoğunlaştırma çok fazla tercih edilmektedir.

Üç tip yoğunlaştırıcı kullanılmaktadır. Yerçekimiyle yoğunlaştırma, çözünmüş hava ile yüzdürme (DAF) ve santrifüj ile yoğunlaştırmadır (Filibeli, 2013).

Mekanik yoğunlaştırıcıların kullanımı teknolojinin gelişmesiyle artmaktadır. Bunlar düşük hızlı santrifüjler, bant filtreler ve döner tamburlar ile yapılmaktadırlar. Santrifüjler dönen tanklarda çamurun merkezkaç kuvveti ile ayrılma ilkesine göre çalışır. Performansı santrifüjün dönme hızına bağlıdır. Bant filtreler çamurun bantlar üzerine serilmesi ve bu bantların hareket etmesi sonucu suyunun ayrılması prensibine göre çalışır. Bantlar yüksek basınçlı sularla sürekli yıkanır. Genelde aktif çamuru yoğunlaştırmak için kullanılır. Ülkemizde orta ölçekli ve büyük arıtma tesislerinde görülmeye başlanmıştır (Muhcu, 2012).

Yüzdürme ile yoğunlaştırıcılar hafif çamurlara alttan hava verilmesi ile çamurun yüzeyde toplanması ile gerçekleştirilir ve yoğunlaştırılır. Bunların tasarımında dikkat edilmesi gereken ana parametre hava/katı oranıdır.

Yerçekimi ile yoğunlaştırıcıların düşük enerji tüketimi, düşük yatırım maliyeti, kolay uygulama gibi avantajlarının yanı sıra biyolojik çamurlarda düşük performans gibi dezavantajına sahiptir. Mekanik yoğunlaştırıcılarında kolay uygulama, kompakt sistem gibi avantajının yanında işgücü ve temiz su ihtiyacı gibi dezavantajı vardır (Muhcu, 2012). Çizelge 2.18’de farklı yoğunlaştırma sistemleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Aydın, 2004).

Çizelge 2.18: Farklı yoğunlaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması.

Yoğunlaştırma Sistemleri	Avantajları	Dezavantajları
Yerçekimi ile	Kolay uygulama, Düşük enerji tüketimi, Düşük yatırım maliyeti,	Büyük hacimlerde uygulama, Biyolojik çamurlarda düşük performans,
Yerçekimi ve Bant Filtre ile	Kolay uygulama, Kompakt sistem,	İşgücü gereksinimi, Temiz su gereksinimi, Polimer kullanım zorunluluğu,
Çözünmüş Hava ile Yüzdürme	Kolay uygulama, Küçük alanda uygun, Düşük H ₂ S emisyonu,	Değişik koşullara uyum sağlamaması, Yüksek enerji tüketimi,

2.5.1.6 Dezentegrasyon

Arıtma çamuru dezentegrasyonu, dış kuvvetler uygulanarak arıtma çamuru yapısının deforme edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu kuvvetler fiziksel, kimyasal veya biyolojik şekilde olmaktadır. Dezentegrasyon işlemi sonrası çamurun pek çok özelliği değişmektedir (Müller vd., 2004). Dezentegrasyon işlemi uygulandığında çamur flok yapısı bozulmakta ve mikrobiyal hücre duvarları tahrip edilmektedir. Hücre duvarının parçalanması ile hücre duvarı tarafından korunan maddeler sıvı faza geçmekte ve çözünür forma dönüşmektedirler (Vranitzky ve Lahnsteiner, 2005).

Dezentegrasyon yöntemleri, arıtma çamurundaki katı maddelerin mekanik, kimyasal, termo-kimyasal, biyolojik ve oksidatif tekniklerle çözünmüş duruma geçirilmesini sağlamaktadır. Dezentegrasyon operasyonunda, çamura uygulanan gerilmelerden dolayı çamur flok yapısı bozularak mikroorganizma hücre duvarları parçalanmakta, hücre muhtevastaki organik çamur unsurları sıvı aşamaya geçmektedir (Filibeli ve Erden-Kaynak., 2006).

Dezintegrasyon işleminden sonra katı çamurun organik madde muhtevası minimum düzeye indiğinden, daha düşük ölçüde ve daha kalıcı bir çamur varlığı sağlanmaktadır. Atık çamurun stabilize edilmesinde en çok kullanılan yöntem olan anaerobik stabilizasyondan önce de çamurun parçalanması kullanılmaktadır.

Anaerobik stabilizasyon öncesinde dezintegrasyon işlemlerinin uygulanması ile anaerobik çürütme prosesinde hız sınırlayıcı adım olan hidroliz aşaması hızlandırılmaktadır. Organik maddeler büyük oranda çözünmüş halde bulunduğundan anaerobik çürütücünün verimi önemli ölçüde artmakta, oluşan biyogaz miktarı yükselmekte ve oluşan çamur miktarı da azalmaktadır (Ekşi, 2007).

Atık çamur dezintegrasyonu, dış kuvvetlerin uygulanarak arıtım çamur yapısının bozunması şeklinde de ifade edilmektedir (İleri, 2000). Bu güçler, fiziki, kimyasal veya biyolojik olarak kategorize edilmektedir. Parçalanma operasyonunun uygulanabilir oluşunda en önemli noktalar; ilk yatırım maliyeti, enerji tüketimiyle kimyasal madde tüketilmesine tabi olarak ortaya çıkan işletme maliyeti ve sistem verimliliğidir.

Arıtım çamuru miktarının kaynaktan azaltılması ve ayrıca anaerobik çürüme veriminde görülen artmayla birlikte metan gazında artışla daha çok enerji elde edilmesi ve çevresel zararı olmayan kokusuz ve kalıcı bir çamurun ortaya çıkması gibi avantajlar dikkate alındığında çamur dezintegrasyon işlemlerinin, arıtma tesislerinde gün geçtikçe yaygın bir kullanım alanına sahip olacağı düşünülmektedir. Dezintegrasyondaki en iyi sonuçlar geri devir çamuru ya da atık aktif çamur arıtıldığı durumda elde edilmektedir (Gönüllü, 2004).

Dezintegrasyonun en fazla etkisi, daha yeni aktif çamurla daha az bekletme süresine sahip çürütücüde ve çürümüş çamurdaki anaerobik mikroorganizmaların yüksek ölçüdeki faaliyetiyle sağlanır (Ekşi, 2007). Geri devredilmiş çamura ön arıtım yapıldığında denitrifikasyon ve çamur çökeltme koşulları optimize edilir ve atık çamur üretimde azalma görülür. Parçalanma süreci, çamur floklarının kırılması ve mikroorganizmaların hücre çeperlerinin dezintegrasyona uğrayarak hücredeki maddelerin çözünür biçimde sıvı aşamasına geçirilmesi operasyonu olup, parçalanma işleminin çamur özelliklerinde oluşturduğu değişiklikler; Flok yapısının bozunması ve hücre dezintegrasyonu, Çözünen maddelerin ve küçük parçacıkların salınımı ve Biyokimyasal süreçler olarak farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. (Demirel, 2010).

Dezintegrasyon işlemini kimyasal dezintegrasyon, fiziksel/mekanik dezintegrasyon ve biyolojik dezintegrasyon yöntemleri olmak üzere dezintegrasyon yöntemlerini üç başlık altında toplamak mümkündür (Dağ, 2008).

Fiziksel/mekanik dezintegrasyon, ultra ses, karıştırıcı bilyeli değirmenler, yüksek basınçlı homojenizasyon ünitesi, mekanik jet tekniği, yüksek performanslı elektrik akımı tekniği, lysate santrifüj yoğunlaştırıcı, termal işlemleridir. Kimyasal dezintegrasyon, enzimlerin kullanımı, alkalinite/asit hidrolizi, ozon ve hidrojen peroksit kullanılarak yapılan oksitleştirme işlemleridir. Biyolojik dezintegrasyon, biyolojik arıtma, karıştırıcı bilyeli değirmenlerde sisteme basınç veya enerji verilme suretiyle katı maddelerin gerilerek biçimlerini kaybetmelerini ve hücre çeperinin bu yönde dezentegre olmasını temin eden yöntemlerdir.

Yüksek basıncı olan homojenleştiricilerde mikroorganizma parçalanması, ani basınç salınmasının oluşturduğu boşluktan dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu süreçle anaerobik çürüme operasyonunda ortaya çıkan metan gazının yüzde 30 civarında arttırılabileceği ve mineral durumdaki çamur oranının yüzde 23 azaltılabileceği deneysel olarak tespit edilmiştir (Ekşi, 2007). Ultrasonik homojenleştirme birimi 20-40 kHz arası yüksek voltajdaki jeneratör, elektrik gücünü mekanik güce dönüştüren seramik bir kristal ve gücü sıvıya aktaran bir probdan meydana gelmektedir. ultrasonik operasyon ile çamurun flok yapısı bozunmakta ve çözünebilen karbonhidratlarla organik maddeler açığa çıkmaktadır (Filibeli ve Erden-Kaynak, 2006).

Mekanik jet yöntemi, çözülmüş hava dalgalanması işlemi gibi çalışmaktadır. Bu teknikte çamur basınçlandırılmakta ve daha sonra da bu basıncın ortadan kaldırılmasını temin eden bir boşluktan hızla çıkarak bir plakaya çarpmakta ve dezentegre olmaktadır (Gönüllü, 2004).

Termal dezintegrasyon işlemi, hücre duvarlarını parçalayarak hücre içeriğinin biyolojik ayrışmada kullanılabilir hale gelmesini sağlamaktadır. Bu dezintegrasyon yöntemi, organik maddelerin çözünür hale gelmesini, anaerobik stabilizasyonda biyogaz üretiminin artmasını, çamur özelliklerinin değişmesini ve patojen mikroorganizmaların azalmasını sağlamaktadır. Termal dezintegrasyon prosesinde optimum sıcaklık aralığı yaklaşık olarak 170-200 °C arasındadır. 200 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda ise biyolojik parçalanabilirlik arttırılmaz, tam tersi azalma görülmektedir (Alpaslan, 2004).

Kimyasal dezentegrasyon, ozon ve hidrojen peroksit kullanarak dezentegrasyonun amacı kısmi oksidasyon ve organik maddelerin hidrolizidir. Tam oksidasyondan çok büyük moleküllerin küçük moleküllere parçalanması ve zor ayrışan bileşiklerin kolay ayrışan bileşiklere dönüştürülmesi hedeflenmektedir (Bilgin vd., 2003).

Çamurun ozonlama işlemine tabi tutulması UAKM/AKM değerinde ve pH değerinde bir azalmaya neden olur. 0,16 g O₃/g KM 'lik ozon dozunun kullanılmasıyla UAKM/AKM oranı ham çamurda % 78'den çamurun ozonlanmasıyla birlikte % 73'e düşmüştür (Ekşi, 2007). Fenton süreci, hidrojen peroksidin oksidasyon etkisi ve demir tuzunun katalizörlüğünde oluşan ileri bir oksitleşme sürecidir. Atıksu arıtılmasında kullanılmasının yaygın olduğu bu sürecin son dönemlerde çamurun arıtılması için kullanılması da gündeme taşınmıştır. Laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilen bir araştırmada, bu süreç, kentsel nitelikli bir arıtım çamuruna uygulanarak, artan hidrojen peroksit ölçüsüne bağlı olarak sıvı aşamada KOİ, azot ve fosfor değerlerinin arttığı fenton sürecinin çamur parçalanma derecesini yükselttiği ve çamurun anaerobik çürümesi öncesinde ön arıtım operasyonu olarak kullanıldığında, stabilizasyon derecesini yükselteceği tespit edilmiştir (Filibeli ve Erden-Kaynak, 2006).

Biyolojik dezentegrasyon, biyolojik çamur dezentegrasyonu enzim aktivitesine dayanan bir ön arıtma prosesidir. Bu yöntemde, enzimler kendiliğinden üretilebildiği gibi dışarıdan enzim ilavesi de sisteme yapılabilmektedir. Biyolojik dezentegrasyon, çok etkili bir yöntem olmakla birlikte enzimler pahalıdır ve yeterli araştırmanın yapılmadığı bir procestir (Ekşi, 2007). Atık çamur dezentegrasyon yöntemlerinin karşılaştırılması Çizelge 2.19'da verilmiştir (Demirel, 2010).

Bu yöntemlerden (çamur arıtma yöntemlerinden) en uygun olanı arıtma çamurlarının özelliklerin, bölgenin jeolojik, hidrojeolojik yapısı ve iklim özelliklerine, eldeki ekonomik ve teknik imkânlarla uyum sağlayan yöntemdir. Ülkemizde evsel ve endüstriyel kökenli arıtma çamurları genellikle kurutma ve yoğunlaştırma işlemlerinden sonra ya da hiçbir işlem uygulanmadan sulu halde depolama için belediyelerin gösterdikleri döküm sahalarında bertaraf edilmekte veya yerleşim bölgeleri dışındaki boş arazilere kaçak olarak gelişigüzel dökülmektedir (Filibeli, 2013).

Evsel arıtma çamurlarında her tür patojen organizma bulunabileceğinden, bunların doğrudan araziye dökülmesinin çeşitli sakıncaları vardır (Filibeli, 2013).

Çizelge 2.19: Dezentegrasyon yöntemlerinin karşılaştırılması.

Yöntem	Anaerobik çürütücüden sonra çamur azalması (%)	Biyogaz üretimi artışı (%)	Avantaj	Dezavantaj
Yüksek Basıncılı Homojenizatörler	23-64	300'e kadar	-Koku oluşumu yok, -Uygulaması kolay, -Daha iyi su verme özelliği,	-Patojen azaltılması düşük, -Tıkanma sorunu, -Pompa ve homojenizer valfinde yüksek gerilme ve aşınma,
Ultrasonik Homojenizatörler	40-70	10-60	-Koku oluşumu yok, -Tıkanma sorunları yok, -Uygulaması kolay, -Daha iyi su verme özelliği,	-Yüksek enerji tüketimi, -Probtta aşınma,
Karıştırıcı Bilyeli Değirmenler	40-60	10	-Koku oluşumu yok, -İşletme güvenilirliği,	-Yüksek enerji kaybı, -Tıkanma sorunları, -Düşük dezenfeksiyon, -Kum tutucuda yüksek aşınma,
Asit ya da Baz Hidrolizi	-	-	-Düşük enerji ihtiyacı, -Çok iyi su verme özelliği,	-Çamur bileşiminin değiştirilmesi, -Kötü koku, -Ekipmanlarda bozulma ve korozyon, -Çıkışta yüksek KOİ,
Ozonlama	36	8	-İyi su verme özelliği,	-Yüksek enerji tüketimi, -Başlangıç çamurunda metallerin varlığı, -Yüksek maliyet,
Termal Hidroliz	60-80	400'e kadar	-Enerji tasarrufu, -Çok iyi su verme özelliği, -En iyi çamur dezenfeksiyonu,	-Gaz akımından kötü koku oluşumu,

2.5.2 Arıtma çamuru bertaraf yöntemleri

Günümüzde pek çok ülkede, arıtma çamurlarının bir daha kullanılmamak üzere bertarafı yerine yeniden kullanımı üzerinde durulmaktadır. Arıtma çamurunun yeniden kullanım olanakları arasında; tarım alanlarında, toprak ıslahında, yeşil alanlarda, ağaçlandırma ve orman alanlarında kullanımı sayılabilir.

Atıksu arıtma sürecinin çeşitli noktalarından çıkan çamurların, tesisten alınması ve uygun tekniklerle zararsız hale getirilerek uzaklaştırılması şarttır. Bu yöntemler aşağıdaki başlıklar altında sıralanmaktadır.

2.5.2.1 Düzenli depolama

Düzenli depolama, katı artıklarla arıtım çamurlarının insanların sağlığı ve güvenliklerine zararı dokunmayacak biçimde depo edilmesi ve üstünün kapatılması işlemidir. Çamurun depolanma işlemlerinin yapılmasındaki öncelikli amaç, çamurun üretildiği bölgede sorun olmasını engellemek amacıyla uygun deponi bölgelerine taşınması ve taşınan deponi sahalarında bulunan depolanma hacminin sürekli artırılmasıyla geçici olarak çamurun uzaklaştırılmasını sağlamaktır.

Dolayısıyla düzenli depolamaya gönderilmeden önce arıtma çamurunun doğal ya da mekanik yöntemlerle suyun alınmasıyla depolanması gerekmektedir (Alpaslan, 2004).

Atıksu arıtım operasyonu neticesinde oluşan çamurların, hem insanlara hem de çevreye zararları söz konusudur. İçinde yer alan organik maddeler, mikroorganizmaların çoğalmasına olanak sağlamakta ve bunlar da çeşitli hastalıklar yarattığından, çamurların düzenli olarak depo alanlarına aktarılması gerekli olmaktadır.

Bununla birlikte üzerinde işlem yapılmamış olan çamurun taşınarak depolanması, katı maddelerin düşüklüğünden dolayı rasyonel bir yaklaşım olarak değerlendirilmemektedir (Doğan, 2011).

Arıtım çamurlarının depolamasında iki tercih söz konusudur. Tek olarak depolanmada, depo alanı yalnızca arıtım çamurları için kullanılmaktadır. Karışık depolanmada da, depo alanı evsel katı atıklar için kullanılır. Çamurlarda, bu alanlar için özel teknik tedbirler alınmamıştır. Depoya gönderilen çamurlar genel olarak çürümeye bırakılarak kurutma yataklarında kurutulmuş aynı zamanda da suyunun alınmış olduğu çamurlardır. 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğe göre Geçici Madde 4 (1) kısmında arıtma çamurunun düzenli depolanması hakkında bahsedilmektedir. Bazı endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları, tehlikeli ve zararlı atık sınıfına girmektedir. Bu tip çamurların mono-deponilerde nihai bertaraf edilmesi daha uygun olmaktadır. Bununla beraber yeraltı ve yüzey sularının kirlenmemesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Tehlikeli arıtma çamurlarının depolama işlemi sırasında alınan önlemlerin yeterli olduğu veya atığın özelliği sebebi ile depolama işleminde çevrenin olumsuz yönde etkileneceğinin ispat edilmesi hallerinde, atıklar depolanabilir veya bu amaçla depo tesisi kurulmasına izin de verilebilmektedir.

Gelecekte atık çamurlarının düzenli depolama alanlarında bertarafı, başka hiçbir işleme yöntemi olmadığı durumlar için geçerli olacak ve bu şekilde bertaraf en düşük öncelikte kalacaktır. Günümüzdeki arıtma çamuru bertarafı zirai kullanım ve yakmaya yöneliktir (Ekşi, 2007).

Düzenli depolama alanları ile ilgili tercihler yapılırken en iyi tercihlerde ve en iyi işletme koşullarında bile bir miktar toprak altı kirliliğinin olması muhtemeldir (Filibeli, 2013).

Bu nedenle depolama sahası seçimi yapılırken jeolojik olarak sakıncası olan sahalardan sakınılması gerekliliği ortaya konulmuştur (Filibeli, 2013). Düzenli bir depolama sahası için yapılan seçimlerde, önemli diğer bir faktörde bu sahanın “kuru” bir bölgede yer almasının zorunluluğudur. Depolama sahası yeraltı su tabakasından yukarıda olmalıdır yani depolama sahasının tabanı ile doymamış bölge arasındaki mesafenin mümkün olduğunca büyük olması da gerekmektedir.

Çevresel kirlilik; doğru saha seçiminin yapılması, katı atıkların organize bir şekilde bertaraf edilmesi, depolama sahasının yüzeyinin profesyonelce korunması ve bertaraf tesisinin devamlı olarak düzenli tutulması ile minimize edilebilir (Öztürk vd., 2005).

Organik maddeler biyolojik olarak kolaylıkla parçalanabilirler. Bu parçalanma sırasında ve depolama aşamasında koku problemleri ortaya çıkar. Çamur aynı zamanda bulaşıcı hastalıklara da neden olabilir (Dağ, 2008). Atık çamurlarının depolanması ile ilgili iki alternatif vardır: Bunlardan ilki, arıtma çamurunun tek başına bertaraf edilmesi, diğeri ise evsel atıksu tesislerinden çıkan çamurun evsel katı atıklarla birlikte bertaraf edilmesidir. Tek başına depolama işleminin yapılacağı sahalardaki en önemli sınırlama arıtma çamurunun muhtevastaki su miktarıdır (Alpaslan, 2004).

Genelde bu % 65'ten daha fazla olmamalıdır, çünkü daha fazla su miktarları taşıma ve işleme sırasında kullanılan mekanik araçlara zarar verir. Karışık depolama yapılması durumunda, daha fazla olan malzeme evsel katı atıktır. Bu durumda arıtma çamuru ikinci bir ilave maddedir ve toplamın sadece % 20-25 kadarını oluşturur. Katı atıkların su tutma kapasitesi göreceli olarak yüksektir (Alpaslan, 2004).

Depolama sahasında uygun bir mikrobiyolojik faaliyetin başlaması için, atıkların % 60-65 civarında su ihtiva etmesi gerekir. Atıklar zamanla olgunlaşır ve depolama gazı oluşumu güçlenir. Bu depolama alanlarında oluşan depolama gazının toplanması ve kullanılması arzu edilen bir husustur (Alpaslan, 2004).

Atıkların depolanması sırasında oluşan fazlar aşağıdaki gibidir (Öztürk vd., 2005).

Başlangıç aerobik faz, ilk bozunma aerobik şartlarda ve mikroorganizmalar tarafından depolama alanındaki mevcut oksijenin kullanılmasıyla oluşmaktadır. Bu adım oldukça kısa sürmektedir (yaklaşık 14 gün) ve sızıntı suyunun organik içeriği artmaktadır.

Asitleşme fazı, oksijen miktarının azalmasıyla asitojenik ve fermentasyon bakterileri atığın kolay parçalanabilir maddelere bozunmasını sağlar. Depolama alanındaki pH düşer ve ağır metaller gibi inorganik içeriklerin çözünürlükleri artar. Sızıntı suyunda yüksek organik kirlilik gözlenir.

Anaerobik metanojen fazı, metanojenik bakteriler bu faz boyunca gelişir, metan üretimi artar, pH yükselir ve sızıntı suyunun organik içeriği azalır. Üretilen gazın bileşimi zamanla stabil hale gelir.

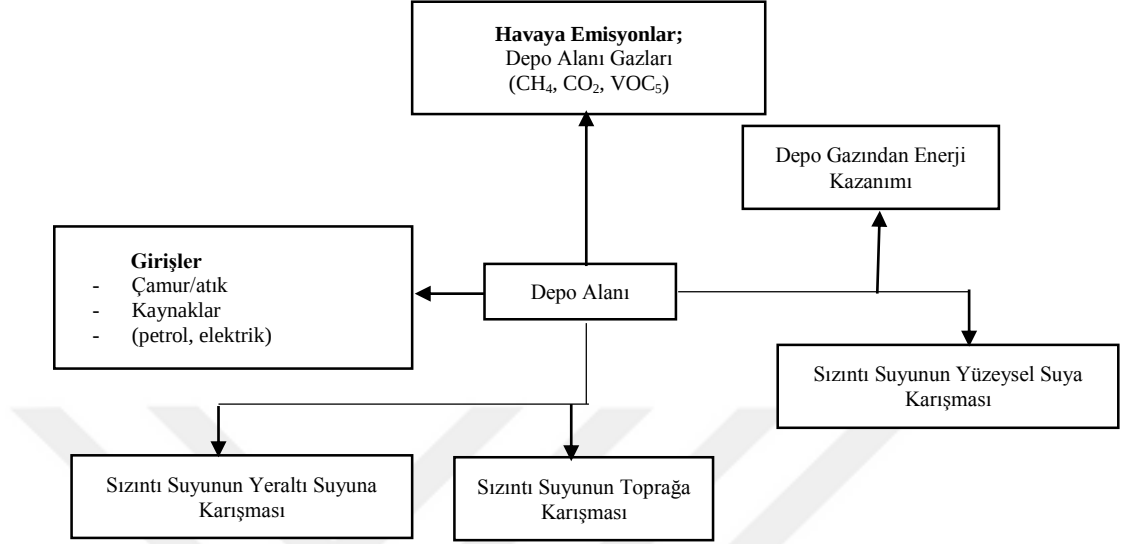
Depolama alanlarının sadece arıtma çamurları için kullanılması, depolama alanının hücrelerden oluşan kompakt yapısı nedeniyle gaz oluşumu için uygun değildir. Buna karşın gaz oluşumu gözlenebilir ve hatta gazın bileşimi % 50-60 metan, % 40-50 karbondioksit şeklindeki evsel atık depolama alanlarında oluşandan çok farklı olmayabilir (Toprak, 2000).

Evsel katı atıklarla birlikte karışık depolama uygulandığında ise arıtma çamurları esas bileşen değildir ve toplam depolama alanındaki oranı genellikle % 20-25 civarındadır (Toprak, 2000).

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre arıtma çamurlarının düzenli depolama alanlarında uzaklaştırılması için, çamurların katı madde içeriğinin % 35 olması gerekmekte belirtilmiştir.

Arıtma çamurlarının tehlikeli atık olup olmadığı ağır metaller, tuzlar ve toksik maddeler gibi özellikleri ile belirlenerek, depolamada oluşabilecek olumsuz sonuçlar önlenmelidir (Yeşil, 2011).

Şekil 2.5'te bir düzenli depolama alanında bulunan evsel atıklar ve arıtma çamurlarında oluşan reaksiyonlar zinciri verilmiştir. Sızıntı sularının yerinde arıtılması için gerekli önlemler alınmalıdır (Toprak, 2000).



Şekil 2.5: Düzenli depolama alanında ortaya çıkan durumlar.

2.5.2.2 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma atıkların biyolojik olarak dezentegre edilebilen bölümünün geri kazanımı ve tekrar değerlendirilmesi olarak ifade edilebilir. Bu sürecin amacı, atıkların çevresel zararlarından önce parçalanabilmesidir. Burada, biyolojik olarak parçalanabilen atıkların hacim, kütle ve nemi azaltılarak değeri olan bir toprak düzenleyicisi durumuna dönüştürülmektedir (Uzun ve Bilgili 2011).

Kompostlama işlemi organik atıkların geri kazanılmasını sağlayan en ekonomik ve çevre dostu uygulamalardan biri olarak uzun süredir kabul görmektedir. Yeterli derecede bozunuma uğramış olan olgun kompost içerisinde, zengin organik madde, karbon, azot, fosfor, potasyum ve çok sayıda mikro elementler içermektedir. Yüksek organik madde içerdiğinden, kompostlaştırılmış biyolojik çamur gübre olarak kullanılabilecek bir potansiyeldedir (Akıncı vd., 2014).

Kompostlaştırma sırasında suyu alınmış çamur bir veya birden çok maddeyle gerek nem içeriğinin denetimi gerekse sistemin C/N oranı ve enerji dengesi oluşturmak için karıştırılır. Ortaya çıkan bu karışım daha sonra kompostlama alanına yönlendirilir. Bu süreç tamamlandıktan sonra ürün, istenen aralıkta elenme suretiyle başta karıştırılmış olan ek maddeler yeniden kullanım için geri kazanılabilir.

Eleme işleme çoğu sistemde bir ara adım olarak yer almaktadır. Bu aşamadan sonra karışım piyasaya sürülebilmektedir.

Bu karışım sürecinde tüm çamur türleri işlenebilir. Bununla birlikte, arıtılmamış çamurların kompostlaştırılması sırasında arıtılmış çamura göre daha çok koku ortaya çıkar ve % 40 kadar daha çok alana gerek duyulur. Ayrıca ham çamur daha hızlı ısınmakta ve daha iyi kurumaktadır. Bu süreçte mikroorganizmalar çamurun organik bölümünü ve daha az miktarda ek maddeleri parçalarlar. Aerobik dezentegrasyonun nihai ürünü çoğunlukla su, CO₂, biokütle (mikroorganizmalar) ve stabil karışımdır. Parçalanma süresince açığa çıkan enerjinin bir bölümü ısıya dönüşerek ortaya çıkan kompostun sıcaklığı 70-80 °C 'ye çıkar. Bu artış, patojenlerin azalması için gereklidir (Yıldız ve Demir 2010). Bu yöntem, düzenli depolamaya göre pahalı, yakmadan ise ucuz bir uzaklaştırma yöntemidir. Arıtma çamurlarının karıştırılması özellikle ABD'de yaygın olarak uygulanmaktadır (Uzun ve Bilgili 2011).

2.5.2.3 Denize boşaltma/Araziye serme

Çamurun tarımda kullanılmasının amacı, çamur içerisindeki azot ve fosfor gibi nütrientlerle bazı organik maddeleri toprağın iyileştirilmesi ve gübre olarak kullanarak geri kazanmaktır.

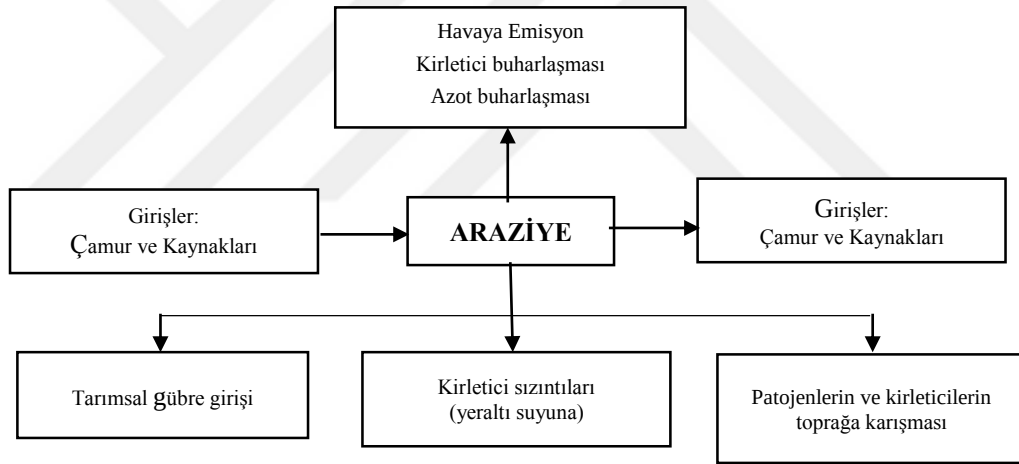
Premsipte bütün çamurlar standartları (ağır metal, patojen ve ön arıtma) sağlıyorsa tarımda kullanılabilir. Genellikle toplam katı madde miktarı ve bölgedeki bitkilerin ihtiyaç duyduğu nütrient miktarı çamurun kullanımını sınırlandırır. Çamurun iyi bir gübre olabilmesi için esas olarak içerisindeki azot ve fosfor miktarlarına bakılır (Tezcan, 2007).

Çamurun gübre olarak kullanımının birçok avantajı vardır. İçeriğindeki organik maddelerin biyolojik dönüşüme geri kazandırılması bunlar arasında ilk sırayı alır. Çamur ayrıca yapay gübre kullanımının yerini tutarak bunları üretmekte kullanılan ekipmanlar için harcanacak ilave enerjinin de azalmasına neden olur. Yakın geçmişte ağır metal içeren çamurun tarımda kullanımı bu maddelerin toprakta belirlenen sınır değerlerin üzerine çıkmasına neden oldu. Bu da gösterdi ki, kontrolsüz olarak tarımsal alanlara bırakılan arıtma çamurları, tarımda istenmeyen ağır metal konsantrasyonlarına sebep olmaktadır (Muslu, 1996).

AB direktiflerine göre organik atıkların depolanmasına ilişkin kısıtlamalar sebebiyle, çamur bertarafında nihai çözüm, çamurun kompostlaştırılarak tarımda kullanılmasıdır.

Çamurun kompost olarak kullanılabilmesi için mevcut çamur bertaraf tekniğinin iyileştirilmesi gerekir. Organik içeriği fazla olan çamurları, sıvı fazdan ayırma, yoğunlaştırma, stabilize etme susuzlaştırma ve nihai bertaraf gibi çamur arıtımında uygulanan prosesler, teknik ve işletme açısından kolay değildir. Organik atıkların ve arıtma çamurlarının birlikte kompostlaştırılması hem atıkların depolanması ile ilgili AB hedefleri ile örtüşmekte, hem de çamur bertarafına ilişkin nihai çözüm arayışını desteklemektedir (Filibeli, 2013).

Aksi takdirde ortama verilen fazla miktardaki azot ve fosfor toprakta birikerek, toprak kirliliğiyle beraber yeraltı suyu ve yüzeysel kaynaklar için de bir kirlenme söz konusu olacaktır. Bunun yanı sıra, tarım arazilerine aktarılmak istenen çamurların, ağır metal muhtevası ve tuzluluk açısından toprağa yapacağı etkilere dikkat edilmeli ve gereken değerlendirme, sınır değerler temel alınarak gerçekleştirilmektedir. Araziye sermenin mekanizması Şekil 2.6’da gösterilmektedir (Demirel, 2010).



Şekil 2.6: Araziye serme mekanizması.

Uygun özellikler taşıyan atıksu arıtma çamurlarının tarımsal arazilerde değerlendirilmesi, çamur içeriğindeki azot, fosfor ve potasyum gibi bitki besin unsurlarının doğal döngülerine yeniden kazandırılması yönünden en akılcı ve en ekonomik yoldur. Arıtma çamurları araziye uygulanırken, yıllık yükleme bazında çamur ile verilen azot veya fosfor miktarı ile ürünlerdeki mevcut azot veya fosfor miktarının toplamının, ürünün ihtiyacı olan yıllık azot veya fosfor miktarından küçük olmasına dikkat edilmelidir (Dölgen, 2004). Çamurun metal içeriği oldukça değişkendir. Önemli metaller; çinko, bakır, nikel, kadmiyum ve kurşundur (Alpaslan, 2004).

Çamur çok ince tabakalar halinde uygulandığında, çinko ve bakır mikronütrientler olduklarından, bitki büyümesini olumlu etkilerler. Atık çamurlar araziye serilirken aşağıda belirtilen yöntemler kullanılır (Alpaslan, 2004).

- a. Tankerlerle Yayma: Kapasitesi 3,8-7,6 m³ olarak belirlenen tankerlerle doğrudan araziye serme, sulu çamur uygulamalarında yaygınlıkla kullanılan bir sistemdir. Tankerlerle yayma yönteminin en önemli üstünlükleri düşük yatırım maliyeti ile işletme kolaylığıdır.
- b. Püskürtme: Arıtım çamurlarının araziye yayılması borularda tıkanıklık oluşturmeyen stabil ya da taşınabilen püskürtme yöntemleriyle gerçekleştirilebilir.
- c. Toprak Yüzeyi Altına Enjeksiyon Yöntemi: Bu sistemin temeli; karık açma ve çamuru bunun içine yerleştirme aynı zamanda da çamurun üstünün toprak katmanıyla örtülmesi olarak ifade edilebilir. Sistemin diğerlerinden farkı, çamurun toprak yüzeyine değil, altına enjekte edilmesidir. Bu yöntemle çamurla toprak çabuk karıştığından, çamurun yüzeye verilmesiyle ortaya çıkan çamur göletlerinde oluşan koku ve sinek sorunu ortadan kaldırılmış olur.
- d. Karık Sistemi: Çamurun karıklarla araziye serilmesi basitçe, ürün sulamasının karıklarla yapılmasıyla benzer işlemdir. Çamur, karıklarda yer alan ürünler arasından toprağı sulama ve gübreleme suretiyle akar.

Dünyada ilk arıtım tesisleri kurulduğu dönemlerde oluşan arıtma çamurları, çöp depolanma alanlarına ve denize bırakılmıştır (Uzun ve Bilgili, 2011).

Denize deşarj etme uygulamasının giderim mekanizmaları; ilk seyrelme (dalgaların etkisi ile), dispersiyon, çürüme-mikrobiyal ölüm ile ya da organik maddenin parçalanarak yok olmasıdır. Uygulamanın problemleri; tabakalaşma sebebi ile karışım ve istenen seyrelmenin sağlanamaması, yüksek hacimli deşarjların zaman içinde oksijen tüketimine yol açması, tabana çökerek büyük anaerobik hacimler yaratması, ağır metallerin balık ve kabuklu deniz hayvanlarında birikmesi deniz ve okyanusların içinde büyük ölü bölgeler oluşmasıdır (Toprak, 2011).

Bütün bu sebeplerden dolayı; 1988 yılında ABD’de, 1998 yılında da Avrupa Topluluğu’nda olmak üzere arıtma çamurlarının denize deşarjı yasaklanmıştır (Toprak, 2011).

Ülkemizde de çamurların deniz deşarjı Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) ile 1988 yılından beri yasaktır (Toprak, 2011).

Susuzlaştırma sonrası çamur kek halini alır su içeriği azalmış olur ve katı madde içeri de buna bağlı olarak artar. Susuzlaştırma sonrasında oluşan çamurun taşınması ve işlenmesi daha kolay olmaktadır. Ayrılan su ise sisteme geri verilmektedir (Dumlu, 2011). Ayrılan su içeriği (süzüntü suyu, sentrat suyu) susuzlaştırma işleminin kalitesi açısından önemli bir göstergedir. İşletme açısından takibi önem arz etmektedir.

Susuzlaştırma işlemi; kurutma yatakları, santrifüj ile susuzlaştırma, bant filtre ve filtre pres üniteleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Dumlu, 2011).

Kurutma yatakları susuzlaştırma için en basit yöntemlerden biridir. Çamurun açık alana serilmesi ile suyunun buharlaşması sağlanmaktadır. Su içeriği %50'ye kadar düşürülmektedir (Filibeli, 2013). Düşük işletme maliyeti ve kolay uygulanabilirliği gibi avantajlarının yanı sıra büyük alanlara ihtiyaç duyulması ve iklim şartlarına bağlılığı gibi dezavantajları mevcuttur (Dölgen, 2004).

Santrifüj ile susuzlaştırma prosesi, santrifüj içerisinde merkezkaç kuvvetlerini kullanarak çamurun suyunun alınmasını sağlayan mekanik bir uygulamadır. Koku probleminin olmaması, işletmeye alması ve devre dışı bırakılmasının kolay olması ve kolay kullanılabilir olması gibi avantajları arasındadır (Bilgin vd., 2003).

Bant filtre prosesinde bir polimer ile karıştırılmış arıtma çamurları yer çekimli bant filtre ile susuzlaştırılması sağlanır. Çamurlar iki kayış arasında preslenerek çıkarlar ve susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Çamurun tipine ve uygulanan basınca bağlı olarak kuru madde miktarı değişmektedir. Filtre pres çamur susuzlaştırmada en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Ardışık olarak art arda yerleştirilerek atık çamurun sıkıştırılması sağlanır. Yüksek basınçla basılarak çamurdaki su ayrılarak çamurun kek haline gelmesi sağlanır. Genellikle % 30-45 gibi yüksek susuzlaştırma seviyesine ulaşmak için bu yöntem kullanılır (Bayrak, 2008). Bununla birlikte yatırım maliyetleri, özellikle yüksek kapasiteli tesislerde oldukça yüksektir.

Uygulamada kullanılan plaka ve çerçeve filtre presler çamur susuzlaştırma için en yaygın olanlardır. Klasik filtre pres, arasına basınçla çamurun enjekte edildiği düşey plaka sütunlarından oluşmaktadır. Ayrılan su plakalar açılmadan önce uzaklaştırılır, çamur kekleri toplanır. Bazı uygulamalarda, susuzlaştırma derecesinin artırılması amacıyla filtre pres su ile doldurulmadan önce plakalar arasına membran yerleştirilir (Demirel, 2010).

2.5.2.7 Yakma

Yakma yönteminin başlıca amacı, depolama ile uzaklaştırılacak atık miktarının azaltılması olmaktadır. Böylelikle, katı atıklar hacimce % 80-90, ağırlık bakımından % 75-80 oranında azaltılabilmektedir (Doğan, 2011).

Enerji elde etmeksizin yakarak atık giderme artık OECD ülkelerinde neredeyse tamamen yasaklanmış durumdadır. Kentsel katı atıkları yakma sistemleri ön arıtma metodolojisine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

- a. İşlenmemiş katı atık yakma sistemleri (mass burning)
- b. İşlenmiş katı atık yakma sistemleri (RDF burning)

İşlenmiş katı atığın yakıt halinde işlenmemiş katı atığa göre birtakım üstünlükleri bulunmaktadır. Bunlar arasında; daha yüksek ve sabit ısı değeri, fiziksel ve kimyasal kompostun homojen oluşu, aktarımının kolaylıkla yapılabilmesi, yanma sürecinde daha az hava fazlası gerektirmesi ve baca gazı salınımlarının daha az olması sayılabilir. İşlenmiş katı atık, genel olarak akışkan yataklı yakma sistemlerinde yakılmaktadır. Basit formlara sahip akışkan yatak yakma sistemleri, kum yatağı olan dikey çelikten bir silindir, destekleyen ızgara yüzey ve hava enjeksiyon sistemlerinden oluşmaktadır (Filibeli, 2013).

İşlenmemiş katı atık yakma yönteminde atıklar direkt olarak fırınlarda yakılmakta, tek ürün de buhar olmaktadır. Buhar, doğrudan kullanılabilmekte ya da elektrik enerjisi, sıcak su veya soğutucu suya dönüştürülmek suretiyle kullanılmaktadır.

Yakma sonucunda; ısı enerjisi, kül ve baca atık gazı oluşmaktadır. Isı enerjisi, buhar türbini vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Hem elektrik hem de ısı enerjisine dayalı kojenerasyon sistemlerle de prosesin veriminin artırılması mümkündür. Net enerji üretimi; atığın bileşimine, yoğunluğuna, nem oranına ve atık içerisindeki inert maddelere bağlıdır. Yakma yöntemi ile organik maddenin ısı içerdiği %65-80 oranında sıcak hava, buhar ve sıcak suya dönüştürülebilir (Muhcu, 2012).

Yakma sistemlerinde atıkların yanabilmesi için gerekli oksijen miktarı fazla miktarda sisteme verilir ve tam yanma temin edilmeye çalışılır. Ancak, bu sistemlerde yanmanın gerçekleştirildiği 900-1200 °C sıcaklıkta meydana gelen gaz emisyonlarının arıtılması ve kontrolü hayli zor ve maliyetlidir (Salihoğlu, 2007).

Katı atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan kül ve cürufun uzaklaştırılması için düzenli bir depolamaya ihtiyaç bulunmaktadır. Oluşan cüruf da çeşitli amaçlarla

(örneğin; asfalt yol yapımı maddesi vb.) kullanılabilir (Demirel, 2010). Buna karşın; alan ihtiyacına en az gereksinimi olan sistem olması nedeniyle kentleşmenin ve nüfus artışının etkili olduğu büyük yerleşim yerlerinde kullanışlı bir yöntem olarak değerlendirilebilmektedir. Çevreye zararlı sera etkisi oluşturan fosil yakıtların kullanımını azaltması bakımından da çevreci bir yöntemdir denebilir.

Katı atık yakma tesisleri, teknoloji yoğun projeler oldukları için ilk yatırım ve işletme maliyetleri yüksek olmaktadır. Ayrıca, nitelikli çalışanlara da gerek duyulan süreçlerdir. Yakma tesislerinde özellikle aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekmektedir (Dağ, 2008):

- a. Baca gazı temizleme sisteminin kurulması ve toz, SO₂, HCl, HF gibi maddelerin salınımının azaltılması.
- b. Enerji tasarrufu ve yakma işleminden sağlanan ısının kullanımı için çeşitli yöntemlere başvurulması.
- c. Yakma sonucu ortaya çıkan kül ve cüruf gibi maddelerin başka sanayi tesislerinde kullanılması.

Yakma sistemlerinin işletme maliyetleri yönünden rasyonel olabilmesi için, atıkların yakılması sonucunda oluşan ısının bütün sistemin enerji gereksiniminden daha çok olması beklenmektedir. Bu da atık içindeki yanabilen bölümün ısı değerinin belli bir değerin üstünde olması ile sağlanmaktadır (Ekşi, 2007).

İşletim maliyeti açısından akılcı olabilmesi için atığın yakılması neticesinde ortaya çıkan ısının, tüm sistemin enerji ihtiyacından daha fazla olması gerekmektedir. Bu da atık içerisindeki yanabilir kısmın kalorifik değerinin belirli bir değerin üzerinde olması ile sağlanmaktadır (Demirel, 2010).

Ayrı Yakma Sistemleri: Arıtma çamurunu yakmak için kurulan özel yakma sistemleri uzun zamandır kullanılmaktadır. Döner fırınlar ve geleneksel fırınlar yerlerini artık günümüzde akışkan yataklı fırın sistemlerine bırakmaktadır (Filibeli, 2013).

Zaten işletimi zor ve maliyeti yüksek bir sisteme sahip olan arıtma çamuru yakma işlemleri, akışkan yataklı yakma sistemlerinin yaygınlaşması sayesinde işletiminin daha kolay hale gelmiştir ve bu durum da akışkan yataklı sistemlerin tercih edilmesinde önde gelen neden olmaktadır (Filibeli, 2013).

Bunun yanı sıra sistemler (Filibeli, 2013);

- a. Bu süreçler, düşük sıcaklıkta dikey tam yanmayı sağlarlar,
- b. Akışkan yatakta yer alan ve aktif olmayan maddeler, fırındaki ani sıcaklık değişikliğini engeller,
- c. Kesikli çalıştırma ihtimali vardır.
- d. Bakım maliyetleri de daha düşük olmaktadır.

Akışkan yataklı sistem, içinin ısı tuğlaları ile kaplanmış olan dikey yakma odalarına sahiptirler. Yatak altındaki kum tabakalarından yüksek sıcaklıktaki havanın geçirilmesiyle akışkan durumda tutulmaktadır. Bertaraf edilmesi gereken arıtım çamurları da bu yatağa bırakılmaktadır. Akışkan yataktaki gaz, ortaya çıkan yanma ürünlerinin tümüyle dezentegrasyonu için 850 °C'ye kadar ısıtılmalıdır. Mekanik olarak kurutulan çamurların yakma enerjisi verilmeden tümüyle yakılma olasılığı bulunmaktadır (Dağ, 2008).

Yanma odasından çıkan sıcak gazlardan ısı enerjisini geri kazanan bir ısı geri kazanım ünitesi kullanılır. Bu ısıyı geri kazanmak ve yeniden kullanmak için şu üç teknik kullanılır (Demirel, 2010).

Birinci teknikte, yakma gazı duman (yanmış gazlar) / hava ısı değiştirgecinden geçirerek ısıtılır. İkinci teknikte, geri kazanım kazanında oluşan buhar yardımı ile arıtma çamurunun kurutulması sağlanır. Üçüncüsünde ise, fırının arkasında yer alan buhar kazanındaki ısıyla döner diskli bir kurutma makinesinde arıtma çamurunun ön kurutma işlemi gerçekleştirilir.

İkinci teknik, ısıl yönden birincisine göre daha verimlidir, çünkü bu teknikte, ön kurutmadan önce %20-25 kuru madde miktarı ve %60-70 arasında uçucu madde/kuru madde oranına sahip arıtma çamurlarının otomatik (kendiliğinden) yanması temin edilebilmektedir. Kurutucudan çıkan su buharının geri kazanılması ve tekrar kazan tankına geri gönderilmesi de sonuçları (ısı kazanma verimliliğini) olumlu yönde etkilemektedir.

Bu tür ağır malzeme gereksinimi duyan ve yatırım maliyetleri gerektiren yatırımların büyük yatırımlar (kapasitelerinin saatte 2,5 ton suyu buharlaştırmaktan daha fazla)olmaları gerekmektedir. İkinci proses (teknik) Almanya, Hollanda ve İngiltere'de uygulanmaktadır. Bu proseste içinde yaklaşık % 23 kuru madde muhtevası olan arıtma çamurları kendiliğinden yakılabilmektedir (Özdemir vd. 2005).

Birlikte yakma sistemleri, atık çamurlarının yakılması için evsel atık yakan yakma tesislerinin kullanılması oldukça çekici bir seçenektir.

Yakma tesisinin, arıtma çamurunun olduğu atıksu arıtma tesisine yakın olması ve özellikle evsel atık yakan tesisin kapasitesi doyum noktasına ulaşmamış ise daha da ilginç bir alternatif oluşturmaktadır.

Birlikte yakmanın maliyeti ayrı yakmaya nazaran daha düşüktür. Bunun için yakma tesisinde çamur giriş sistemi gibi bazı noktaların modifiye edilmesi gerekebilir.

Evsel katı atıklarla arıtma çamurlarının karışımı karışımın enerji muhtevasının azalması nedeni ile dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Ayrıca ön-kurutmadan geçmiş veya hiçbir işlemde geçmemiş arıtma çamurlarının yakma tesislerine nasıl verilecekleri hususunda bir yöntemin geliştirilmesi de gerekmektedir (Demirel, 2010).

Bu yöntemlerden biri arıtma çamurlarının kuru madde miktarını % 65 seviyesine çıkartacak şekilde kurutulmasıdır. Bu durumda arıtma çamurunun kalorifik değeri evsel atık kalorifik değerine yakın olur (2000 kcal/kg) ve bu çamur doğrudan fırına verilebilir.

Fırına verilecek evsel katı atık madde miktarı verilen arıtma çamuru ağırlığı kadar azaltılmak zorundadır. Arıtma çamurlarının yakılmasında kullanılan diğer bir uygulamada çimento ve benzeri tesislerde ilave yakıt olarak kullanılmasıdır. Çamurun bu fırınlarda kullanılmasındaki temel sebep ise kalorifik değeridir.

Arıtma çamurlarının çimento fabrikalarında yakılmasında dikkat edilecek hususlardan biri de çamur besleme oranının, cüruf üretim miktarının % 5'inden daha fazla olmamasıdır. Bu nedenle 2.000 ton/gün işleyen bir çimento fabrikasında maksimum 100 ton/gün kuru çamur yakılabilmektedir. Bazı kaynaklarda ise çamurun çimento fabrikalarında yakılmasında dikkat edilecek hususlardan biride çamurun çimento ürününün mekanik özelliklerini etkileyip etkilemediğinden emin olunması yönündedir (Filibeli, 2013).

2.5.2.8 Kurutma

Kurutma işleminin temeli, arıtma çamurunda bulunan suyun buharlaştırılmasıdır. Arıtma çamuru, kurutmanın akabinde yakılacak ise kuru katı miktarı %40-50 derecesine yükseltilmektedir. Arıtma çamuru gübre, ilave yakıt gibi farklı amaçlara yönelik kullanımlar için paket haline getirilecek ise, kuru katı oranı %90-95 aşamasına

çıkartılıp, toz haline getirilir. Kurutma işlemini uygulamak için herhangi bir işlem öncesi şartlandırmaya gerek yoktur. Ancak kurutulmuş arıtma çamuru için kalite ölçütleri uygulamaya bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Yıldız ve Demir, 2010).

Çamur kurutmanın önemi çamur tasfiyesinde ön plana çıkmaktadır. Arıtma tesisleri bünyesindeki en karmaşık işlemlerden birisidir. Atıksu arıtımında otaya çıkan çamur miktarı, atıksuyun %1 ila 6'sı gibi düşük bir yüzdesini oluşturmakla beraber, çamur arıtma birimlerinin yatırım bedeli toplam sistem maliyetinin %30-40' ı işletme maliyeti ise bütün işletme maliyetinin %50'si kadardır. Bu yüzden en uygun çamur tasfiye yönteminin seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

Çamurun nihai uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak açısından katı madde içeriğinin artırılması ya da su içeriğinin azaltılması yani suyunun alınması gerekmektedir. Burada sağlanan yararları şunlardır;

- a. Çamurun su içeriği düştüğünde hacmi de azalacağından son uzaklaştırma alanına devir masrafı azalır.
- b. Kürek, kepçe nakil bandı, traktör gibi araçlarla taşınabildiğinden sıvı durumdaki çamura göre kolaylıkla aktarılabilir.
- c. Yakma ya da enerji geri kazanımı söz konusu olduğunda su içeriği azaldığından yakılması daha da kolaylaşır.
- d. Çamurun tümüyle kokusuz olmasını ve ayrışmamasını sağlar.
- e. Çamurun son olarak araziye yayma durumunda, yeraltına sızma sonucu yeraltı suyunun kirlenmesi engellenebilir.

Çamur suyunun alınması, vakum, pres, yatay bant filtre, burgulu pres, santrifüj gibi yöntemlerle ya da kurutma yatakları ve çamur havuzlarıyla sağlanabilir. Vakum, pres ve yatay bant filtre gibi sistemler, makine ve ekipmanı gerekli kılan, nitelikli elemana gerek duyan, aynı zamanda yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksek olan sistemlerdir.

Kurutma yatakları ise kurulma ve işletme kolaylıkları ile göreceli olarak daha düşük yatırım ve işletme maliyetlerinden dolayı, diğerlerine göre tercih edilmektedir. Sakıncalı yönü ise, geniş alana gerek duyulmasıdır. İklim koşullarının uygun olduğu durumlarda bu dezavantaj ortadan kalmaktadır (Filibeli, 2013).

Aktif çamur ve damlatmalı filtre tasfiye tesislerinden çıkan çamurlar çürütüldükten sonra çamur kurutma yataklarına verilebilir. Aktif çamur tesislerinde çürütme öncesi tercihen çamur yoğunlaştırma uygulanmaktadır (Toprak, 2011).

Aktif çamurun tadil edilmiş şekillerinden biri olan uzun havalandırmalı sistemde uzun bekletme süresi sebebiyle çamurlar stabilize olduğundan yoğunlaştırmayı müteakip çamurlar doğrudan çamur kurutma yataklarına verilebilir (Toprak, 2011).

Kurutma ve kurutucuların çeşitliliği farklı kurutma yöntem ve teknolojilerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu çeşitlilik arasında öne çıkanlar doğrudan, dolaylı, disk kurutma yapan yöntemlerdir (Uçar, 1997).

Doğrudan kurutucularda, arıtma çamuru ile buharlaşmayı temin eden ve eşzamanlı olarak su buharını sistemden çıkaran ısınmış gaz arasında doğrudan ilişki vardır (Uçar, 1997).

Dolaylı kurutucular ise dolaylı kurutucularda, çamura bir ısı aktarma yüzeyi yoluyla ısı dolaylı olarak transfer edilir. Sistemde buhar ve termal yağ gibi ısı araçları maddeyle doğrudan ilişkide bulunmamaktadır. Ortaya çıkan su buharının aktarımı için küçük bir hava akımı kullanılabilir. Bununla birlikte genellikle hava kullanılmamakta, kokuyu ortadan kaldırma maliyetini en düşük seviyeye indirirken ısı yalıtımın maksimum düzeyde tutmaktadır. Bu kurutucular arasında sıklıkla kullanılmakta olan sistemlerden bir diğeri de disk kurutucuları olmaktadır (Yıldız ve Demir, 2010).

Doğrudan kurutucular, dolaylı kurutucuların işlem gördüğü sırada kurutmada kullanılan gaz ısı, arıtma çamuruna doğrudan transfer edilmektedir. Bu işlem gaz ve maddenin arasında yoğun bir ilişki olmasını gerekli kılmaktadır. Doğrudan kurutucular arasında sıklıkla kullanılan donanımlar, rotatif davul kurutucuları ve akışkan yataklı kurutuculardır (Yıldız vd., 2009).

Disk kurutucu sistemleri yavaş ve döner ekipmanlardır. Bu ekipmanların yapısı basit ve işletilmeleri de kolaydır. Ekipmanın hareketsiz kısmı kurutulacak maddeyi içine alan neredeyse silindirik, yatay bir davuldan oluşmaktadır. Davulun içinde, davula bağlı olan ve karıştırıcı görevini yapan sıyrıcı çubuklar mevcuttur. Hareketsiz kısmın üst tarafında, toz ayırıcı ve kaçak buhar toplayıcı bir açıklık bulunur. Kurutucu genel olarak düşük bir alçak basınç ile çalıştırılır. Dönme faaliyeti ve davulun iç yapısından dolayı arıtma çamuru davulun öbür ucuna ulaşmakta ve aynı anda sıcak gazlarla çok

yoğun temasa geçmektedir. Son ürün %90 kuru katı oranına sahip granül arıtma çamurudur.

Davul içerisinde tıkanmayı engellemek için döner davul sistemine giren arıtma çamurunun kuru katı oranı % 65'ten fazla olmalıdır. Bu kıvama ulaşmak için yeni (ıslak) arıtma çamurunun daha önce kurutulmuş arıtma çamuruyla karıştırılması gerekmektedir. Gaz ve artıma çamuru arasında oluşan yoğun temas ve iyi ısı transferi sonucunda direk kurutucuların spesifik performansları dolaylı kurutuculardan daha iyidir. Buna ek bir avantaj olarak direk kurutucular mekanik tasarım olarak daha basittirler.

Öte yandan doğrudan kurutucuların bazı dezavantajları vardır. Bunlar: (Toprak, 2011)

- a. Kullanılan gazlar yüksek oranda kirletici (özellikle de koku yapan bileşenler) taşımaktadır. İşlemin bu sonucu önemli derecede gaz arıtımına neden olmaktadır.
- b. Bu tür kurutucular düşük ısılarda çalışmaya daha az uygundur. Bu durum özellikle döner davul kurutucusu için geçerlidir.
- c. Patlama riski vardır.

Gazların sisteme yeniden sirkülasyonu mümkün olsa da bu çok daha karmaşık kurutma ekipman tasarımı gerektirmekte ve böylelikle direkt kurutucuların avantajlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Her iki sistem yaygın olarak kullanılsa da doğrudan ve dolaylı kurutma teknolojileri arasındaki seçim arıtma çamuru karakteristiklerine ve çeşitli yerel faktörlerle yakından ilişkilidir (Filibeli ve Erden-Kaynak, 2005).

Kurutmanın dezavantajlarına bakacak olursak, harcanan enerji açısından bakılırsa bir kütleden suyun, buharlaştırma/kurutma yöntemiyle çıkarılması başka mekanik metotlarla karşılaştırıldığında (sıkıştırma ve santrifüj) maliyeti genel olarak daha yüksektir (Doğan, 2011). Bu nedenle kurutma öncesinde yeterli derecede mekanik olarak su çıkarma işlemi gerçekleştirilmelidir.

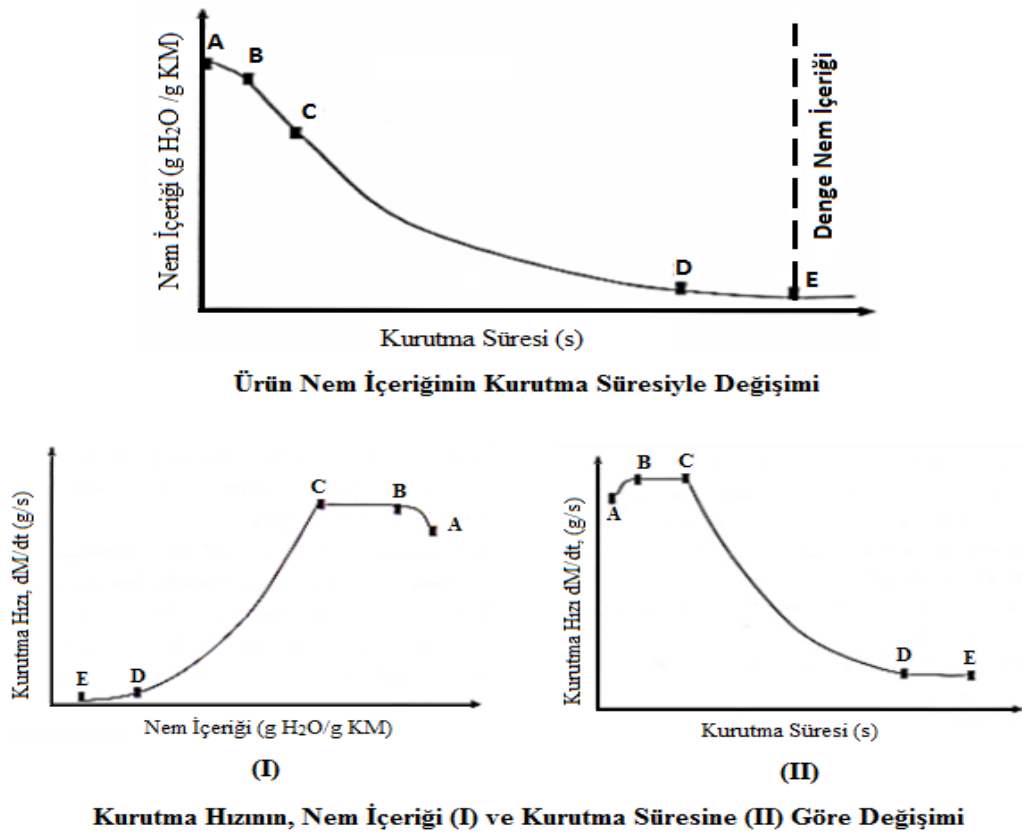
Granül üretim işlemlerini kapsayan çamur kurutma tesisleri, diğer yöntemlere göre daha çok maliyeti gerektirse de, diğer taraftan kurutma, arıtım çamurunun hacminde önemli ölçüde azalmaya yol açmakta ve depolanabilir hijyenik bir ürün imal etmektedir. Hacimdeki önemli derecedeki azalmalar nedeniyle kuru arıtma çamuru taşıma, dağıtım, işleme ve depolama harcamalarının büyük miktarda azaltmaktadır. Diğer yöntemlere göre maddenin kuru halde olmasının en büyük avantajı ise nihai

ürünü en uygun zamanda belirli bazı alanlara pazarlayabilme anlayışıdır. Bunları sıralamak gerekirse (Gönüllü, 2004):

- Tarım ve ormancılık alanlarında gübre olarak kullanımı,
- Çimento, enerji ve yakma tesislerinde enerji şeklinde kullanımı,
- Üst toprak görünümü, dolgu ve düzenli depolanma için kullanımı.

Isı yoluyla kurutulan arıtım çamurunun sıhhi (hijyenik) ve hacim küçültme işlemlerinden geçirilmesi birçok uygulamalarda önem taşır. Arıtma çamurlarının kurutulması sırasında da geçerli olan bir durum olarak, kurutulan bir ürünün nem içeriği ile kurutma süresi arasındaki ilişki kuruma eğrileri ile belirlenmektedir. Kuruma hızı, birim zamanda üründen transfer edilen nem miktarı olarak tanımlanır. Herhangi bir ürünün kuruma oranı, o ürünün nem içeriğine, kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemine bağlıdır (Özdemir vd., 2005).

Kurutma aşağıdaki Şekil 2.7’de gösterilen aşamalardan meydana gelmektedir (Kaya, 2008).



Şekil 2.7: Kurutma aşamaları.

Ayarlanma Süreci (A-B bölgesi): Madde yüzey sıcaklığının, ortam sıcaklığıyla dengeye gelme sürecidir. Sıcaklığı ve nem içeriği belli olan hava akımı kurutulacak olan maddenin üzerinden geçirildiğinde havanın sağladığı ısı enerjisinin bir kısmı maddenin yüzey sıcaklığını yükseltmekte diğer kısmı ise gizli buharlaşma ısısı olarak kullanılmaktadır. Bu bölümde kuruma hızında artma görülmekle birlikte tüm kuruma işleminin çok az bir bölümünü oluşturduğundan göz önüne alınmayabilir (Kaya 2008, Carl ve Hall 1982).

Sabit Hız Süreci (B-C bölgesi): Isı enerjisinin kurutucu havadan maddeye doğru olan transfer hızı buharlaşma hızına eşit hale gelmiştir. Bu bölge, sabit hızda kuruma periyodu olarak bilinir. Bu periyot sırasında, kuruyan ürün yüzeyinin tamamıyla ıslak olduğu kabul edilir. Böylece kurutma hızı yaş termometre sıcaklığı ile havanın kuru termometre sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak sabit bir hızda, C noktasına kadar gerçekleşmektedir. Bu bölgede kuruma hızı tamamıyla dış etkenlere bağlıdır (Kaya, 2008).

Kurutma havası ile ürün yüzeyi arasındaki ısı ve kütle taşınım katsayıları bu periyotta sürükleyici kuvvetlerdir. Sürecin, ürünlerin kurutulmasında çok kısa sürmesi ve süreç boyunca çok az miktarda nem transfer edilmesi sebebiyle, teorik çalışmalarda genellikle ihmal edilir (İşgenç ve Kınay, 2005).

Kuruma Hızındaki İlk Düşüş Süreci (C-D bölgesi): C değeri kurutulacak ürünün özellikleri ile ilgili birçok faktöre bağlı olan kritik nem miktarını göstermektedir. Yüzeyde ilk kuru noktanın olduğu duruma kritik nokta adı verilir. Kritik nokta sabit kuruma periyodunun sonunu ve azalan hızda kuruma periyodunun başlangıcını simgeler. Kritik nem, her madde için farklı düzeyde olup, o maddenin bileşimiyle ilişkili bir değerdir. Kritik nemden itibaren yüzey sıcaklığı yükselmekte ve kuruma durumuna göre kuru termometre sıcaklığına doğru yaklaşmaktadır. Bu periyotta, malzeme yüzeyinde ıslak alan miktarında sürekli azalma söz konusudur. Ürünün kuruma hızı, iç gözenek yapısının ve katının içindeki nemin yüzeye doğru akması nereden olan kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu periyotta difüzyon etkileri hâkimdir. Genellikle gıda ürünleri azalan kuruma periyodunda kururlar (Roberts 1999, Kaya 2008, Demirel 2010)

Kuruma Hızındaki İkinci Düşüş Süreci (D-E bölgesi): İkinci kritik nem içeriği olan noktasından sonra kuruma hızı sürekli olarak düşüş göstermektedir. İkinci azalan hız

periyodu olarak bilinen bu bölgede, ürün içindeki su yüzeye çok yavaş yayılır. Maddenin kuru noktaları giderek artar. Kuruma hızı giderek azaldığından dolayı kurutucu havadan alınan ısı enerjisinin çok az bir kısmı buharlaşma ısısı olarak kullanılır. Bu nedenle maddenin yüzey sıcaklığı giderek artar. Kurutucu havanın içindeki nemin buhar basıncı maddenin içindeki nemin buhar basıncına eşit olunca kuruma durur. E noktasında buharlaşma sona ermiştir. Bu noktada malzeme denge-nem içeriğine ulaşmıştır. Azalan hızda kuruma periyodunda, ürünlerdeki nem; difüzyonla sıvı hareketi, difüzyonla buhar hareketi, kılcal sıvı hareketi, şeklinde transfer edilebilir (Van Arsdel vd. 2006, Dağ 2008, Filibeli 2013, Toprak 2011, Carl ve Hall 1982).

Şekillerden de görüldüğü gibi azalan hız periyotları birinci (C-D bölgesi) ve ikinci (D-E bölgesi) olmak üzere ikiye ayrılır. Bu periyotta, kurutma havası hızının, kuruma hızına etkisi çok zayıf olup, onun yerini katının içyapı özellikleri almıştır.

Kurutma prosesi bu devrede, ürün içerisindeki nemin sıvı difüzyonu yoluyla ürün yüzeyine erişmesi ve yüzeye ulaşan nemin uzaklaştırılması şeklinde gerçekleşir (Kaya 2008, Carl ve Hall 1982). Ayrıca Şekil 1.7’de I ve II numaralı grafiklerde sırasıyla çamurun nem içeriğinin kuruma süresindeki davranış değişikliğini gördüğümüz A-B, B-C, C-D, D-E bölgeleri baz alınarak “kurutma hızının, nem içeriği ve kurutma süresine göre değişimleri” de gösterilmiştir.

Güneş enerjisi kaynağı tükenmeyen ve çevresel zararı olmayan temiz bir enerji kaynağı olup kolaylıkla ısı enerjisine dönüştürebilme özelliği nedeni ile tüm dünyada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Güneş enerjisiyle kurutma yöntemleri daha ziyade sebze/meyve gibi tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılan bir sistemdir (Tarhan vd., 2007). Ülkemiz güneş kuşağı içerisinde yer aldığı için yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir.

Güneş enerjisiyle kurutma sistemleri genel olarak ısıtma tarzına göre gruplandırılmaktadır. Bu grupları iki ana başlık altında toplamak gerekirse (Toprak, 2011);

- a. Aktif güneş enerjisiyle kurutma sistemleri (hibrit tip sistemler),
- b. Pasif güneş enerjisiyle kurutma sistemleri (doğal çevrimli sistemler).

Güneş enerjisi kullanılarak gıda ve ağaç ürünü kurutmaya ait çok çalışma bulunmaktadır. Fakat çamur kurutma üzerine yapılan çalışmalar çok azdır.

Araştırmalar güneş enerjisinden kurutma alanında üç yöntemle yararlanılabileceğini göstermektedir. Bunlar (Yıldız vd., 2009);

- a. Toplayıcıda toplanan enerji, doğrudan enerji tüketim ortamına aktarılmaktadır (doğrudan kullanım). Toplanan enerjinin, tüketilen enerjiye eşit olduğu, yani kurutma için yeterli olduğu durumlarda uygulanır.
- b. Güneş enerjisi toplanabildiği kadarıyla ısı deposuna aktarılmakta, kurutma sisteminde tüketilen enerji bu depodan sağlanmaktadır (dolaylı kullanım). Kurutma sıcaklığının yüksek olmadığı durumlarda, gece veya bulutlu havalarda devam etmesi istendiğinde bu yöntem seçilmektedir.
- c. Doğrudan ve dolaylı yöntemler birlikte uygulanabilmektedir. Toplanan güneş enerjisinin ihtiyaçtan fazlası depolanarak, güneş enerjisinin verimli olmadığı dönemlerde kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi ile çamur kurutmada sistemleri seralara benzemektedir. Ancak yapısal olarak seradan farklı bazı değişiklikleri vardır. Güneş enerjisiyle kapalı kurutma yataklarında çamur kurutma konusunda son yıllarda gelişmeler görülmektedir. Güneş enerjisi; kurutma sistemlerinde doğrudan veya yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir (Öztürk vd. 2005). Çamur karıştırma ve havalandırma için kullanılan elektrik enerjisi dışında, tüketim olmamaktadır. Elektrik tüketimi konvansiyonel kurutma sistemlerinde 70-110 kW-h iken bu sistemle 17-28 kW-h seviyesine indirilmiştir (Toprak, 2000).

Çamur susuzlaştırmada işletme maliyetlerinin yüksekliği, mekanik susuzlaştırma ekipmanlarıyla depolama sahalarına kabul kriteri olan % 35 katı maddeye ulaşamaması, çıkan ürünün kompost, yakma, depolama gibi birden fazla nihai bertaraf alternatifine uygun olması, yenilenebilir enerjinin kullanılması, işlem sonunda stabil bir ürün sağlanması güneş enerjisi ile kurutmanın avantajları olarak sıralanabilirler. Bununla ilgili Almanya’da yapılan bir çalışmada; güneş enerjisiyle çamur kurutma sistemiyle yaz aylarında % 93'lere sonbahar ve kış aylarında % 50'lere varan hacim azaltılması olduğu, böylece taşıma ve bertaraf maliyetlerinde oldukça önemli bir kazanç sağlanabildiği ortaya konulmuştur. Çalışmalar sırasında uçucu askıda katı madde miktarında % 37 ile % 43'ler düzeyinde azalma görülmüştür (Yıldız 2009, Yıldız ve Demir 2010).

Enerji kaynaklarının sınırlılığı ve kaynaklara ulaşımın maliyetli olduğu günümüzü düşündüğümüzde termal ve solar kaynaklı enerjinin birlikte uygulandığı (hibrit) kurutma sistemleri ön plana çıkmaktadır.

Termal yöntemler çoğunlukla çamur uzaklaştırma imkânlarının kısıtlı olduğu çok büyük tesislerde uygulanır. Yakma işleminden önce stabilizasyon gereksizdir. Çünkü aerobik veya anaerobik olarak çamurun stabilize edilmesi sonucu çamurun organik madde içeriği azalacağından yakma işleminde gerekli yakıt miktarı artar. Çok gözlü fırınlarda yakma veya akışkan yataklı fırınlarda yakma, piroliz, ıslak hava oksidasyonu ve ani kurutma ile yakma termal yöntemler olarak sıralanabilir (Filibeli, 2013).

Bazı ülkelerde % 40'lara ulaşan arıtma çamurlarını yakarak bertaraf etmek, organik atık miktarında en büyük hacim azalmasının sağlandığı yöntem olmasıyla arazi darlığı bulunan ülkeler için uygun bir çözüm olarak görülmektedir. Ancak bu yöntem düzenli depolamaya göre 2-3 kat daha pahalı bir yöntemdir. Ayrıca yakma neticesinde oluşacak hava kirliliği, gelişmiş baca gazı arıtma teknolojileri kullanılmadığı takdirde, çevreyi de olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Alpaslan, 2004).

Termal yöntemler çoğunlukla çamur uzaklaştırma imkânlarının kısıtlı olduğu çok büyük tesislerde uygulanır. Termal olarak işlem gören çamurlar, genellikle suyu alınmış ancak işlenmemiş çamurlardır. Yakma işleminden önce stabilizasyon gereksizdir. Çünkü, aerobik veya anerobik olarak çamurun stabilize edilmesi sonucu çamurun organik madde içeriği azalacağından yakma işleminde gerekli yakıt miktarı artar. Çok gözlü fırınlarda veya akışkan yataklı fırınlarda yakma, piroliz gibi termal yöntemler vardır. Bu sistemlerin yatırım ve işletme masrafları yüksek olduğundan nihai bertaraf yöntemi olarak kullanılmaları kısıtlıdır (Muslu, 1996).

Diğer taraftan kapalı çamur kurutma yataklarının tasarımında esas alınan yapı sera olmaktadır. Seralar güneş radyasyonunun şeffaf bir örtü ile kapalı bir yapı içerisinde alıkonularak iç ortamın ısıtılmasını sağlamak üzere planlanmaktadır. Özellikle sera tabanının, içerisindeki bitki örtüsünün ve şeffaf örtü malzemesinin güneş radyasyonunu ne kadar absorbe edeceği enerji yönünden önem taşımaktadır.

Çamurun ısı olarak işlenmesi iki şekilde gerçekleşmektedir: Organik katı maddelerin kısmi veya tamamen yakılması veya ıslak hava oksidasyonu yöntemleri ile CO₂ ve su gibi nihai ürünlere dönüşümü; diğeri ise organik katı maddelerin kalorifik

değerlerinden yararlanmak suretiyle piroliz yöntemi kullanılarak nihai ürünlere kısmi oksidasyonu veya buharlaştırılmasıdır.

Çamura ısıtma işlem uygulanmasının iki ana amacı vardır; nihai bertarafa gidecek olan çamur hacminin azaltılması, diğeri ise atık çamur içinde bulunan bileşiklerin stabilizasyonu veya yok edilmesidir (Öztürk vd., 2005).

Isıl işlem yöntemleri, genellikle enerji harcayan sistemlerdir; bu nedenle çamurun fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyi belirlemek ve yardımcı yakıtı ihtiyaç olup olmadığına ve ihtiyaç varsa ne kadar olduğuna karar vermek gerekmektedir. Arıtma çamurları çok değişik kaynaklardan geldiğinden ve çamurların içine çok farklı organik bileşikler olduğundan her çamur, çok farklı ısıtma değere sahiptir. Çamurların ısıtma değerlerinin belirlenmesi için kalorimetrik metotlar en çok kullanılan yöntemlerdir (Spinosa ve Vesilind 2001). Solar kurutma tesislerinde ise, kurutma işlemi güneş enerjisinden yararlanılarak gerçekleştirileceğinden, işletme maliyetleri termal kurutma ya da benzerleriyle kıyaslandığında oldukça düşük olmaktadır.

2.6 Önceki Çalışmalar

Bu bölümde arıtma çamurunun yönetimi kapsamında bizim çalışmamıza örnek oluşturabilecek çalışmalardan özet bilgi ve verilere yer verilmiştir. Bu bölüm oluşturulurken arıtma çamurlarının nihai bertarafı kapsamına girebilecek her tipte çeşitli uygulamalardan (kurutma, kompostlaştırma, yakma vb.) oluşturmaya dikkat edilmiştir.

Yamahata vd., (1985) yaptıkları çalışmada atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurun kurutulma testleri iki tip kürekli kurutucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Polimer içerikli çamur kekleri, inorganik içerikli kimyasallarla şartlandırılmış çamura göre daha kuru olduğu görülmüştür. Kurutma işlemi başladıktan kısa bir süre sonra arıtma çamuru, ilk başta homojen bir yapıda kürekler arasındaki hareketi çamurun ıslak-akışkan- yapısı sebebiyle ilk başta yavaşlama göstermiştir. Kurutma işleminin zamanla ilerlemiş olması ve kuruma oranındaki artış ile beraber çamur kürekler arasında ezilme ile 50-100 mm'lik topaklar, peletler oluşturmaya başlamıştır. Kurutma işleminin ileri safhalarında pelet boyutları 10-20 mm boyutlarına kadar küçülme göstermiş ve son aşamada arıtma çamuru artık toz halini almıştır. Kurutucu türündeki farklılık arıtma çamurunun ısınma sürecini, kuruma hız periyodunu açıklayan sebepler olarak karşımıza çıktığını söylemişlerdir.

Ayvaz (2000), çalışmasında atıksuların biyolojik arıtımı sonucu ortaya çıkan arıtma çamurlarının çevreye zarar vermeden ekonomik ve ekolojik biçimde giderilmesi ve değerlendirilmesi için uygulanan metotlar sıralamıştır. Arıtma işlemi sonucunda ortaya çıkan çamur tabakasının, insanlara ve çevreye verdiği değişik zararlar bulunmaktadır. İçerdiği organik maddeler, mikroorganizmaların çoğalmasına fırsat tanıdığını söylemiştir. Bu mikroorganizmalar değişik hastalıklara neden olacağından mutlaka bu çamurun deponi alanlarına taşınması gerekmektedir. Fakat hiçbir işleme tabi tutulmayıp çamurun taşınması ve deponisi, KM oranının çok düşük olmasından dolayı pek akılcı bir yaklaşım olmadığını ve sebeple arıtma çamurunun çevreye ve insanlara zararsız hale getirilmesi gerektiğini ve bu konuda farklı farklı değerlendirme yöntemleri (açık alanda değerlendirme, kompostlama, bitkilerle kurutma, termik kurutma, yakma, çimento üretiminde veya kömürlü santralde birlikte yakma, biyogaz elde etme, gazlaştırma ve son olarak alternatif metotlar olan yaş oksidasyon, hidroliz, hidrotermal oksidasyon, mikrodalga-yüksek basınç işlemleri) açıklanmıştır.

Onaka (2000)'nin yaptığı çalışmada arıtma çamurlarının yakılarak bertaraf edilmesi için mevcut olan yakma tesislerinin kullanılmasını önermektedir. Burada arıtma çamurlarının birlikte yakma işleminin üç ayrı faydasından bahsetmiştir. İlki, arıtma çamurunu doğrudan elden çıkarmak yerine çamurun ısıtma değerinin kullanılmasıdır. İkincisi, temel kullanılan yakıtların yerine arıtma çamurunun kullanılması sonucu yakıt kaynaklarının korunmasına fayda sağlayacaktır. Son olarak da yanma işlemi sonrası oluşan kül kalıntısının, çamurun yakıt olarak kullanılma öncesi halinden daha kolay bertaraf edilebilir, depolanabilir hale gelmiş olmaktadır. Arıtma çamurlarının nihai bertarafı kapsamında organik ve inorganik bileşiklerin kullanıldığı çimento üretiminde çamurun yakıt ve hammadde olarak kullanımı olarak ele alınabileceğinden bahsetmiştir. Çimento fabrikaları bertaraf tesisleri olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Ferrasse vd., (2002)'nin yaptığı araştırmada, arıtma çamurunun dolaylı kurutmaya tabi tutularak ve mekanik olarak karıştırma altında reolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sırasında görülmüştür ki, mekanik olarak dolaylı kurutma yapan kurutucular daha az enerji tüketmekte çünkü çamur buhar ile temas etmemektedir. Sonuçta oluşan çamur az kuru ve enerji oluşumu yüksek, az uçucu organik karbon konsantrasyonu, yangın ve patlama riskinin de düşük olduğu belirtilmektedir. Ayrıca bu kurutucularda

kısa bekleme süresi ve bu nedenle de kurutma kapasitelerinin diğerlerinden iyi olduğu, kapladığı alan itibarıyla de diğer kurutuculara göre avantajı olduğu belirtilmiştir.

Bilgin vd., (2003) fiziksel ve biyolojik arıtım uygulanan kentsel nitelikli atıksu arıtma tesislerinden oluşan biyokatıların, bitki verimi ve kalitesi ile toprak yapısına olabilecek etkilerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Çalışmada 3 ayrı tesisten alınan çamurlar kullanılmıştır. Uygulama sonucunda toprakta pH, tuz, kireç, organik madde ve alınabilir potasyum oranlarında bir değişiklik gözlenmemiştir. Üç yıl, sonunda üç örnek içinde mangan ve bakır değerlerinde değişim olmamış ancak demir oranında bir miktar artış gözlenmiş ve en fazla artışın da çinko miktarında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak üç uygulama için de, buğdayın protein oranını arttırdığı ve kalitesi üzerinde olumlu etkileri gözlenmiştir.

Bux ve Baumann (2003)'nin yaptığı araştırmada Avrupa'daki nüfusu 1.000 ile 300.000 arasında olan ve susuzlaştırma ünitesi bulunan 25 adet tesisi değerlendirilmiştir. Kurutma yatakları için gereken yatırım ve kurutma maliyetlerinin belirlenmesi kolay olmadığı tespit edilmiştir. Çünkü tesislerin her birinin iklim (sıcaklık, rüzgâr, nem, yağış, vd.) özellikleri farklılık göstermektedir. Sonuçta bölgelerin gereksinimlerine göre tesislerde değişiklikler olabileceğini ve maliyet açısından farklılıklar görülebileceğini belirtmişlerdir.

Lee ve Liu (2004)'nin çalışmasında atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurların yönetimi kapsamında fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikleri, yerel koşulları ve nihai bertaraf yöntemleri değişebilen çamur için bir “yerel arıtma çamurları yönetim planı” yapmak gerektiğini belirtmişlerdir. Bu yönetim planının, yönetmeliklere, yöresel koşullara, minimum enerji ihtiyacına ve enerji geri kazanımına ya da yeniden kullanımına uygun olası gibi ön koşulları sağlaması gerekliliğine işaret etmektedirler.

Arjona ve Cisneros (2005)'nin yaptıkları araştırmada arıtma çamuru kurutucularının (termal kaynaklı) tükettikleri enerji oranı ve kuru çamurun enerji değeri kıyaslayarak kurutmanın yapılabilirliğini değerlendirmişlerdir ve en iyi kurutma yöntemi olarak güneşle kurutma teknolojilerini tespit etmişlerdir.

Roxburgh vd. (2006), Hospido vd. (2008), Ghazy vd. (2011), Valderrama vd. (2013)'nin çalışmalarında atıksu arıtma tesisleri için çamur arıtımı adına anaerobik çürütme tasarlanmasının ve işletmenin, özellikle orta ve büyük ölçekli tesislerde (anaerobik arıtmanın ilk yatırım maliyeti sebebiyle) arıtma çamurlarının bertarafında

en ekonomik ve en üretken yöntemlerden biri olduğu gösterilmiştir. Bu sayede anaerobik çürütmenin en çok karşılaşılan ve uğraştıran sorunlarından olan organik maddenin yüksek oranda parçalamasının sağlanamaması durumu ortadan kalkabilmektedir (Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, ÇŞB, 2015).

Boran vd., (2007) arıtma çamurundan termal yöntemler vasıtasıyla enerji eldesi üzerine çalışma yapmışlardır. Dünyada fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi ve tüketimin artması göz önüne alındığında, yeni enerji kaynakları aramak giderek daha da önem kazanmaktadır. Arıtma çamurunun hem bertarafı hem de enerji üretilmesi kapsamında, teknoloji tipinin seçimini etkileyen başlıca faktörler vardır. Bunlar: çamur ısıtma değeri, bileşimi ve özellikle organik bileşiklerin fraksiyonu olup bu çalışmada çamurdan enerji elde etmek için önerilen 3 alternatif; ısı ve elektrik enerjisi elde etmek için ham çamurun anaerobik stabilizasyonundan oluşan metan gazının kullanımı, susuzlaştırılmış ham çamurun yakılması ile enerji eldesi ve her iki prosesden birlikte ısı enerjisi elde edilmesi şeklinde sıralanmıştır. Çek Cumhuriyeti'nin en büyük atıksu arıtma tesisi olan Prag Merkezi Atıksu Arıtma Tesisinden alınan örneklerin incelenmesi sonucu ikinci alternatifin en yüksek enerji kazancı sağladığı tespit edilmiştir.

Gascó ve Lobo (2007), atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurların toprak ve zeytin ağaçları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Saksılarda yetiştirilen bitkilere çeşitli oranlarda kuru atıksu çamuru uygulamaları yapılmıştır. 64 ile 128 mg.ha⁻¹ oranında yapılan uygulamalarda 120 gün sonunda yaprak uçlarında yakma hadiseleri gerçekleşmiş ve yaprak damlası gibi toksisite meydana gelmiştir. Söz konusu toksisite semptomları yüksek sodyum seviyesinden (% 0,19 üzerinde) kaynaklanmıştır. Elde edilen sonuçlara bize arıtma çamurunun genel olarak toprak ve bitkilerde eser metal seviyesini artırdığını göstermiştir. Ancak Zn (çinko) için bu değerlerin (ağır metaller) toprak ve bitkilerde normal aralıkta olduğu görüldü. Yapılan çalışmada görüldü ki, kümülatif metal kirletici yükleme oranları USEPA ve Avrupa kümülatif limit değerlerin olmasına rağmen (Cr hariç), arıtma çamurunun kullanılmasıyla alakalı insan, hayvan, bitki sağlığı üzerinde üretilmesi mümkün olan toksisite semptom risklerinin en aza indirilmesi için arıtma çamurlarının kullanımı ile ilgili düzenlemelerdeki sınır değerlerin yeniden gözden geçirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Flaga (2007), arıtma çamuru için kurutmanın gerçekten bir gereklilik hususuna değinerek çalışmasına başlamıştır. Çamur kurutma, çamur kurutma süreci, kurutucuların türleri, çamur kurutucusu lokalizasyonu, uygun çamur kurutma aralığı, enerji tüketimi, çamur kurutma maliyetleri ve nihayet çamur kurutma uygulaması ile bağlantılı bazı problemlere değinilmiştir. Fransız uzmanlarına göre arıtma çamurunun tarım için kullanılacak ise önerilen minimum % 60 KM veya daha üstü olmalıdır. Arıtma çamurunun direkt olarak termal kaynakla (yenilenemeyen kaynak) kurtulması önemli miktarda enerji maliyeti olması sebebiyle tercih edilmeyi zorlaştırırken, biyogaz gibi atıksu arıtma tesislerinde çamur stabilizasyonu ile elde edilen bir kaynak ile (yenilenebilir kaynak) çamurun kurutulması tavsiye edilmiştir.

Salihoğlu vd., (2007) yaptıkları çalışmada açık ve kapalı güneş çamuru kurutma tesisleri deneysel amaçlar için pilot ölçekte yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı Bursa kentinin çamur yönetimi sorununa ekonomik bir çözüm aramaktır. Bursa da kireç stabilizasyonu ve güneşle kurutma kombinasyonu uygulanmaktadır. Özel olarak tasarlanmış kapalı güneş enerjili kurutma tesisi kuruma ve fekal koliform azaltma açısından açık sisteme göre daha verimli olduğu kanıtlanmıştır.

Fytili ve Zabanitou (2008), arıtma çamurunun yeniden kullanımı kapsamında ısıt işlemlere (piroliz, gazlaştırma ve oksidasyon) ve çimento üretimi kapsamında yardımcı yakıt maddesi olarak kullanılmasını incelemişlerdir. Atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurların büyük bir kısmı tarımda kullanılmış, yakma yoluyla çöpe atılmış veya düzenli depolama alanlarında depolanmaktadır. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılması potansiyel olarak gıda zincirine geçebilme ihtimali sonucu patojen ve istenmeyen (organik kirleticiler) maddelerin birimine sebep olabilme söz konusudur. Bu çekinceler sebebiyle tarımda kullanımı kısıtlayıcı faktörler ortaya çıkmaktadır. Arıtma çamurlarında organik madde miktarı yüksek olduğu için yakıt ya da ek yakıt olarak kullanılması oldukça uygundur. Oluşan ısı sistemde doğrudan kullanılabilirdiği gibi elektrik enerjisi elde etmek için buhar üretilmesini sağlar. Bunlarla beraber çimento imalat sanayinde, bir taraftan maliyet başına düşen enerji talebini azaltmak ve çevresel şartları düşünerek alternatif yakıtların kullanılmasına çaba harcanmış ve bu kapsamda arıtma çamurlarının kullanımı gündeme gelmiştir. Burada nihai hedef proses kontrolünü ve alternatif yakıt tüketimini artırmak, ürün kalitesini de korumaktır.

Peregrina vd., (2008)'nin yaptıkları çalışmada atıksu arıtma çamurunun kurutulması için üç farklı sürekli akış şeması tasarlanmıştır. Söz konusu tasarımlar ticari ölçekte simüle edilmiştir. Söz konusu tasarımlarda geri dönüşüme uğramış kullanılmış yemek yağları aracılığı ile arıtma çamurlarının kurutulma işlemi yapılmıştır. Proses I, en basit akış şemasına sahip olan prodestir. Hiçbir geri kazanım uygulaması yapılmadığından en düşük bir ekonomik performans göstermiş ve boyut olarak diğer tasarımlara göre daha büyük hacim kaplayan sistemdir. Büyük hacimli oluşu yüksek enerji gereksinimine sebep olmuştur. Proses II, ekonomik performans açısından orta sınıf performans göstermiştir. Proses akış diyagramı açısından en karmaşık sistemdir (kapalı ısı pompa sistemi arıtma çamurlarının kurutma işlemine uygulanmış). Söz konusu adaptasyon iyi şekilde uyarlanamamış ve pahalı ekipmana ihtiyaç duyması ile düşük geri kazanım performansı göstermiştir. Proses III, önerilen kurutma sisteminde en iyi performansı göstermiştir. Enerji verimliliği de (ekonomik performans) iki numaralı prosese göre daha iyi performans göstermiştir. Sonuç olarak doğrudan kurutma yapan kurutucularda direncin kızartma ve ince-film kurutuculara göre bir kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Zabanitou ve Theofilou (2008), atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurun (kanalizasyon çamurunun) alternatif olarak kullanılmasıyla ilgili çamurun çimento fırınlarında yakıt olarak kullanılması ve bu süreçteki tüm sağlık ve çevre etkilerini irdeleyen bir çalışma yapmışlardır. Söz konusu çalışma Vassiliko çimento fabrikasında yapılmıştır. Çalışma kapsamında 2003 – 2004 yılları arasında 22.000 m³ atıksu arıtma çamuru çalışma kapsamında beslenmiştir. Çalışmada atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamur ile kok kömürünün karıştırılarak 1400 °C' de yakılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yeni karışım yakıt kaynağı insanlar için zarar teşkil eden dioksin yaymadığı görülmüştür. Bu şekilde belediye atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurunun çimento fabrikalarında kullanılması düşük maliyetli bir enerji kaynağı elde etmek için bir anahtar olduğu görülmüştür. Atıksu arıtma tesisleri çıkan çamurlar ciddi bir çevre sorunu iken bu sayede sadece enerji üretmekte kalmamakta ve yenilenebilir yakıt halinde karbondioksit emisyonlarını da azaltan bir kaynak olabileceği belirtilmiştir.

Angın ve Yağanoğlu (2009), arıtma çamuru uygulanan toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimlerin belirlemesi amacıyla, 2004 - 2007 yılları arasında Iğdır ili Aralık İlçesi'nde bir çalışma yapmışlardır. Uygulamada toprağa farklı miktarlarda ASKİ Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilen anaerobik arıtma

çamuru kullanılmıştır. Arıtma çamurunun organik madde konsantrasyonu yüksektir. Toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştirilmesi ve verimliliğinin artırılması amacıyla kullanılan arıtma çamurlarının önemli bir avantaj olduğu ve çevre açısından da faydalı olacağı belirlenmiştir.

Erden ve Filibeli (2009), yaptıkları çalışmada anaerobik yöntemle çamur işlemede fenton prosesinin etkilerini araştırmışlardır. Termofilik şartlar da tek kademeli anaerobik çamur çürütme prosesi ile iki kademeli (termofilik/mezofilik) anaerobik çürütme işlemini katı madde ve metan oluşumu açısından kıyaslamışlardır. Arıtma çamuru fenton prosesi ile ön işlem (partikül boyutlarının küçültülmesi, biyolojik olarak ayrışmayı hızlandırıcı) yapmışlardır. Yapılan her deneyde fenton sayesinde daha yüksek katı indirgeme ve daha yüksek metan üretimi görülmüştür. Bir diğer gözlem ise, fenton prosesi ile çamur üzerinde kılcal emme süresinin azalmasına yol açtı yalnız bu sonuç susuzlaştırma prosesine herhangi bir etkide bulunmamıştır. Çalışma sonucunda söz konusu reaktör çamurunda; katı madde oranında % 28,2 azalma, uçucu katı madde oranında % 26,8 düşüş, askıda katı madde oranında % 39,6 düşüş, uçucu askıda katı madde oranında da % 46,3 azalma olduğu görülmüştür. Sıcaklık şartlarında gerçekleşen iki kademeli çürütmenin fazla katı madde giderilmesine neden olmadığı fakat termofilik şartlara göre daha fazla metan üretimine olanak sağladığı görülmüştür.

Fonda ve Lynch (2009), çalışmalarında küresel ısınma ve çevre sorunlarının yanında arıtma çamurunun depolama maliyetinin olması, çamur hacminin azaltılması ve çamurun bir ürün değeri kazanılmasında termal kurutma önemli bir yere sahip olduğunu vurgulamışlardır. Kurutma teknolojisini hem finansal hem de çevresel endişeleri gidermek için kullanmaya karar verirken birkaç faktörü göz önüne almışlardır. Bunlar; kurutulmuş arıtma çamurları için yerel piyasa talebi ve kurutma çıkışında istenilen konsantrasyon, arıtma çamurlarının kurutulması kapsamında alternatif kaynaklar, atık ısı kaynakları veya yenilenebilir yakıtın mevcudiyeti, geleneksel çamur bertarafı için maliyet projeksiyonlarının (arazi uygulaması, depolama dolgusu, vb.) hazırlanması ve tip olarak kurutma tekniği, (solar, termal vb.) tecrübesi (uygulanmış projelerden örnekler) ve uygulanabilirliği (arıtma çamurunun olduğu bölgeye özgü koşulları, arıtma tipi vb.) dir. Yine çalışmada arıtma çamuru kurutma sistemlerinin tasarımında ve sonrası işletme süreçlerinde dikkate alınması gereken konulardan biri de sistemin toplamda çalışma süreleridir. Kurutma

tesislerinde 7/24 çalışma düzeni yerine atıksu arıtma tesisinin işletme sürecinde yapılacak yeni uygulamalar ile (dezentegrasyon vb.) çamur minimizasyonu ile yarıya yakın bir enerji kaybının önlenebileceğini belirtmişlerdir. Kurutma tesislerinde ihtiyaç duyulan enerjinin elektrik veya doğalgaz yanında biyogaz (anaerobik çürütücü kaynaklı), kojenerasyon ile geri kazanılmış ısı kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Horttanainen vd., (2009)'nin yaptıkları çalışmadaki amaçları, ısı ve elektrik üretimi noktalarında arıtma çamuru yakma tesisinin teknik ve ekonomik açıdan performansını analiz etmek ve çalışılan konsepti isteğe bağlı çamur arıtım teknolojileri ile karşılaştırılmasıdır. Bu çalışmada, tesis performansı yaklaşık 200.000 nüfusun ürettiği atıksu çamuru için dört farklı şekilde modellenmiştir. İlk ikisi; sadece arıtma çamurundan ısı ve elektrik üretimi yapan tesislerdir; diğer iki tesis ise ilki ile aynı olup tek farkları, arıtma çamurunun yanında termal kaynak (biyoyakıt) kullandıklarından dolayı daha büyük olmalarıdır. Analizler sonucunda, yakma tesislerinin en büyük ekonomik girdisinin, kabul edeceği çamur başına alınan ücretler olduğu görülmüştür. Söz konusu ücretler üretilen ısı veya elektrik enerjisinin ekonomik girdilerinden çok yüksektir; bu nedenden ötürü arıtma çamurundan ısı üretimi yapan tesisleri ekonomik anlamda arıtma çamurundan ısı ve elektrik üretimi tesislerinden üstün görünmektedir. Ancak, arıtma çamurundan ısı üretimi tesislerinde üretilen ısı enerjisinin gerekli yerlere taşınması çoğu zaman mümkün değildir, bu yüzden arıtma çamurundan ısı ve elektrik üretimi tesisleri bir termik santral gibi düşünülmelidir. Tesisin kurulacağı bölgedeki elektrik enerjisi talebine göre arıtma çamurundan ısı ve elektrik üretimi tesislerinin geri ödeme sürelerinin azalabileceği de vurgulanmıştır.

Lee ve Bae (2009), yaptıkları çalışmada atıksu arıtma tesisleri kaynaklı arıtma çamurlarının, belediye katı atıkların ile birlikte yakma işlemini çalışmışlardır. Çalışmada kurutulmuş arıtma çamuru yerine, çamuru yalnızca susuzlaştırılmış atıksu arıtma çamurları kullanmışlardır. Atıksu arıtma tesisi çamurunun 8, 12, 16 mm çapında ve 30 mm uzunluğunda peletler haline getirilmiştir. Susuzlaştırılmış atıksu arıtma çamurlarının evsel katı atıklarla birlikte yakılması sonrası elde edilen yakıt olan (RDF: Refuse Derived Fuel) 8 mm çapında ve 30 mm uzunluğuna getirilmiştir. Belediye katı atık örnekleri çöp, kâğıt, plastik ve odun gibi yanıcı atıklar kullanılarak sentezlenmiş ve 10 mm'nin altına parçalandıktan sonra yaklaşık % 40'lık bir nem içeriğine sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. Yakma öncesi arıtma çamur peletlerine % 30 oranında RDF eklenmesiyle oluşan yeni kombinasyon atığın aktivasyon enerjisinin önemli

ölçüde azaldığı belirtilmiştir. Birlikte yakma işleminin belediye katı atık örnekleri birlikte gerçekleştirilmesi durumunda; yakma reaksiyonunun hızının arttığı ve beraberinde çamur topaklarının nem içeriğinin azalmasına artırıcı etki sağladığı vurgulanmıştır.

Yaman (2009a), yaptığı çalışmada katı malzemeli ve malzemesiz hububat gelişimini ayrıntılı olarak incelemiştir. Sonuç olarak, bir yıllık dönemde çamur kullanılarak yapılan arpa üretiminde verim, brüt gelir ve birim maliyetler açısından çamur kullanılmayan parsellere göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmuş ve arıtma çamuru kullanımının toprak kalitesini azaltmada 25-250 €/da olduğunu ortaya koymuşlardır.

Yaman (2009b), yaptığı diğer bir başka çalışmada ülkemizde ve bazı dünya ülkelerinde katı malzemenin arazi ölçekli uygulamalarını literatür örnekleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Sonuçta en kapsamlı yönetmeliğe ABD'nin sahip olduğu, ABD'nin çamur uygulamasının risk değerlendirmesi konusunda ayrıntılı yönergesinin olduğu ve bu konuda AB ile Türkiye'nin yeterli düzeyde çalışma yapmadığı anlaşılmıştır. Arıtma çamurunda izin verilen ağır metal limitleri açısından ABD'nin kurşun dışındaki metallerde AB'den ve Türkiye'den çok yüksek değerleri benimsediği gözlenmiştir. Bu durumda ABD'nin çamur kullanımını AB'ye göre daha çok desteklediği, toprak kirliliği önleme konusunda daha az duyarlı olduğu söylenebilir.

Kalderis vd., (2010) yaptıkları çalışmada çeşitli ülkelerin, yoğun bir şekilde oluşan katı atıklarının ve bunların uygulama sahalarının azlığının üzerinde durmuşlardır. Özellikle, nihai bertaraf teknolojilerine yer vermişlerdir.

Lederer ve Rechberger (2010), çalışmalarında atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurun çevre üzerine etkisi, kaynaktan geri kazanımı, malzeme içeriğine göre ıslah edilme çeşidi ve bu hususların göz önünde bulundurulduğu yeni bir termo-kimyasal yönetimle kullanımı ele almışlardır. Fosfor (P), sınırlı olup lakin değişmeyen (her arıtma çamurunda bulunması açısından) bir kaynaktır. Atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurlar da önemli oranda fosfor içermektedir. Ve bu bulunma durumu da yaygın olarak tarımsal alanda kullanımına sebep olmaktadır. Bunun yanında atıksu arıtma tesisleri kaynaklı çamurlar sahip olduğu organik ve inorganik kirleticiler dolayısıyla da atık yakma tesislerinde ve endüstriyel tesislerde yakılarak enerji eldesi olarak

kullanılmaktadır. Stabilizasyona tabi tutulmuş ve akabinde susuzlaştırılmış olan atıksu arıtma tesisleri kaynaklı arıtma çamurlarının sahadam olumlu katkılar sağladığı belirtilmiştir.

Rubio - Loza vd., (2010) çalışmaları ile iki kademeli olarak gerçekleştirilen iki fazlı oksijensiz sindirimini karışık aktif çamur örneklerinde uygulamışlardır. Öncelikli olarak asitojenik/termofilik şartlarda işlev gören reaktörde kısa zamanlarda, metonojenik/mezofilik koşullarda işletilen reaktörde ise 10 ile 13 gün aktive edilmiştir. Başlangıç olarak çalışması yapılan asitojenik/termofilik şartlarda görev yapan reaktör hidrolik bekleme süresi kısa olmasına rağmen (2-3 gün), patojenleri tamamen imha etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda uçuşu katı madde azalma yüzdesinin (%38) olduğu görülmüştür. A sınıfı biyo-katı üretimi için termofilik ve mezofilik anaerobik çamur sindirimi daha ileri derece teknoloji ile tarımsal alanda ve halk sağlığını tehdit etmeyecek karaktere getirilebilir.

Scharenberg vd., (2010) çalışmalarını Nikaragua'nın Managua kenti 1,1 milyon EN (eşdeğer nüfus) göre tasarlanmış merkezi atıksu arıtma tesisinde bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında tesis kaynaklı oluşan arıtma çamurlarının güneş ile kurutulması ve devamında yeniden kullanım olanaklarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Sonuç olarak solar çamur kurutma sisteminin bölge için mükemmel bir seçenek olduğu görülmüştür.

Werle ve Wilk (2010), çalışmalarında Polonya'nın tamamını ele alan bir çalışma yapmışlardır. Polonya'da 2010 yılından 2018 yılına kadar üretilen toplam arıtma çamurunun (yıllık) 612.800 tondan (kuru bazda), 706.600 ton miktarına ulaşacağı tahmin edileceğini belirtmişlerdir. Ağırlıklı uygulanan çamur bertaraf sisteminin de depolama ve tarımsal alanda kullanım olduğu belirtilen çalışmada, etkin bir nihai bertaraf yöntemi geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Söz konusu çalışmada arıtma çamurunun bertarafı için piroliz, gazlaştırma, yakma ve birlikte yakma yöntemleri değerlendirilmiştir. Arıtma çamurlarının klasik yöntemlerle yakılması konusunda kontrol edilebilmesi ve çok sayıda deneyimlerin bulunması avantajken; yakma sonrası azot oksitler, ağır metaller ve diğer zararlı bileşiklerin oluşması sebebiyle birçok soru işaretini barındırmakla birlikte bu sorunların çözümü için büyük yatırımlar gerektirdiği belirtilmiştir. Bunun dışında arıtma çamurlarının diğer doğal kaynaklar (kömür, linyit vb.) veya belediye atıklarıyla birlikte yakılması çamur yönetimi açısından önemli seçenek olarak sunulmuştur. Mevcut yakma tesislerine küçük yatırımlarla arıtma

çamuru birlikte yakma işlemine tabi tutulabilmesi önemli bir alternatif olduğu da vurgulanmıştır. Diğer alternatif yöntemlerin ise piroliz, gazlaştırma veya her ikisinin uygulandığı bileşik prosesler olduğu belirtilmiş ve söz konusu proseslerin avantajlı tarafının enerji üretimi için etkin bir biçimde kullanılabilen bir ürün eldesinin olduğu vurgulanmıştır.

Zhao vd., (2010) yaptıkları çalışmada arıtma çamurlarının kurutulmasında farklı teknikler uygulamışlardır. Ancak bu yöntemler sonucunda yüksek hava akış oranı ve özellikle yüksek dönüş hızının su buharlaştırma oranında kayda değer bir avantaj sağlamadığını belirtmişlerdir.

Fuzhou ve Wei (2011), çalışmalarında beton sektöründe katı malzemelerin enerji kaynağı olarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmada termo-gravimetrik ölçüm ve eş ısılsız model analiz yöntemi ile atıksu giderim tesisi kaynaklı çamurlar ile kömürün yanması incelenmiştir. Coats-Redfern integral yönetime dayanılarak, bazı reaksiyon modelleri test edilmiştir. Katı malzemeler iki farklı bölgeden temin edilmiştir. Çalışmada özellikle termo-gravimetrik ölçüm ile elde edilen deneysel veriler ile tartışılmış. Atıksu arıtma tesisleri çamurlarının yanması kömüre göre daha düşük sıcaklık evresindedir. Arıtma çamurunun yanması kömüre göre daha düşük ateşleme sıcaklığı ve aktivasyon enerjisi ile üstünlük göstermiştir. Bu sonuçlar atıksu arıtma çamuru çimento fabrikalarında kısmen kömürün yerine yakılabileceği belirtilmiştir. Lakin çamurun kullanılması ile yanma sırasında ve sonrasında daha detaylı parametre analizi yapılmasına sebebiyet vereceği de vurgulanmıştır.

Park ve Jang (2011), yaptıkları çalışmada en son teknoloji pulverize kömür santrallerinde atıksu arıtma tesisi kaynaklı çamurun birlikte yakılması için yakıt reformasyonu ve karbonize arıtma çamuru çalışmaları yapılmışlardır. Kurutulmuş çamurla karşılaştırıldığında, karbonize olmuş arıtma çamurunun daha iyi yanabilirlik, öğütülebilirlik ve üstün yakıt oranına sahip olduğunu elde etmişlerdir. Bu durumun karbonize arıtma çamurunu pulvarize kömür santralleri için daha iyi yanabilir malzeme olduğunu vurgulamışlar ve söz konusu işlem sayesinde olumlu katkılar gözlemişlerdir. Yani tüm koşullarda cüruf eğiliminin düşük olduğu ve kömür bileşimine göre kirlenme eğiliminde orta veya yüksek olarak sonuçlar görülmüştür. Yapılan çalışmaya göre, yeni tip oluşturulan söz konusu yakıtın tam profilinin anlaşılması için pulvarize kömür santrallerinde karbonize olmuş çamurun gerçek

uygulanması yapılması ve ekonomik fizibilitesinin de araştırılması gerektiği vurgulanmıştır.

Rovira vd., (2011) çalışmalarında İspanya'nın Katalonya bölgesinde bulunan çimento fabrikasında yardımcı yakıt kaynağı olarak atıksu arıtma tesisi (kanalizasyon) çamuru alternatif yakıt olarak kullanılması sonuçlarının insan sağlığı üzerindeki risk değerlendirmesini yapmışlardır. Etkiyi ortaya çıkarmak için belirlenen noktalardan 2008 yılı içerisinde alınan örnekler analiz edilmiştir.

Biganzoli vd., (2012) bir önceki çalışmaya benzer bir çalışmada Kuzey İtalya'da bulunan bir tesiste ızgaralı fırın mevcut olan atıktan enerji eldesi için tasarlanmış bir tesiste içme suyu arıtımı kaynaklı arıtma çamuru ile kimyasal arıtma kaynaklı arıtma çamurları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Lin vd., (2012) incelemelerinde susuzlaştırılmış arıtma çamur keklerinin beton sektörüne faydalarını değerlendirmişlerdir. Düşük oranlarda betona ilave edilen katı malzemeler ile meydana getirilen madde, yüksek sıcaklık ve uzun sürelerde yakılmıştır devamında elde edilen veriler incelenmiştir.

Ritterbusch vd., (2012)'de geleneksel ve yenilikçi uygulamaları araştırmışlardır. Yeni uygulamaların özellikle sera gazı emisyonlarına olumlu katkılar sağladığını gözlemlemişlerdir. Geleneksel kurutuculara kıyasla (termal kaynaklı) karbondioksit (CO₂) emisyonu yedi kat düşük seviyededir. Nihai ürünü atık-enerji tesisleri, kömür santralleri veya çimento fırınları için yakıt olarak uygundur. Aynı zamanda, tarımsal kullanım veya arazi uygulaması için Sınıf A gübre olarak da kullanılabilir.

Wzorek (2012), çalışmasında arıtma tesisi kaynaklı katı malzemeye sahip enerji kaynaklarının sınıflamasını gerçekleştirmiş ve bunların betonda uygulanabilirliğini değerlendirmiştir.

Liu vd., (2014) gerçekleştirdikleri çalışmada evsel atıksu arıtma çamuru üzerinde fenton peroksidasyonu ile CaO şartlandırma işlemlerinin kurutma işlemleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Fenton reaktifi ile CaO birlikte uygulanması sonucu arıtma çamurunun kuruluk oranı önemli ölçüde artacağı düşünülerek bu durumun termal kurutulma davranışı ile kükürt ve azot gaz emisyonlarına olan etkilerine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her iki uygulama sonucunda, arıtma çamurunda serbest ve bağlı su miktarları azaldı, çamurun termal iletkenliği arttı, çamurdaki gözenekli yapı arttı ve çamurun kuruma performansı üzerine pozitif etkiler oluşturdu. Ayrıca söz konusu her iki uygulamaya tabi tutulan çamurun kurutulması sırasında sülfürlü (SO₂,

H₂S, CH₄S, COS) ve azotlu gaz emisyonları (NH₃, NO) da büyük ölçüde azalmış oldu. Arıtma çamuru üzerinde fenton peroksidasyonu ile CaO şartlandırma işlemleri, çamurun termal kurutulması için umut verici önemli bir gelişme olarak ortaya çıkmıştır.

Kurt vd., (2015) araştırmalarında arıtma çamurlarının güneşle kurutulması seçeneğini maliyet ve alan gereksinimi açısından değerlendirmişlerdir. Güneş ile kurutma sistemleri maliyet açısından avantajlıdır ve tipik olarak % 70'e kadar KM yakalanabilmekte ve ilave ısı ile de bu oran artırılabilir. Değerlendirmede 37 farklı atıksu arıtma tesisi için çalışılmıştır. Solar kurutma sistemi konvansiyonel ve kojenerasyonlu kurutma sistemi ile karşılaştırılacaktır. Solar kurutma işlemi için ortalama maliyet, bir arıtma tesisinin toplam maliyeti % 58, toplam gerekli alanın % 38'ini içine almaktadır. Büyük atıksu arıtma tesisi için solar kurutmanı güneş panelleriyle desteklenmesi toplamda uzun vadeli tasarruf sağlanacağı görüşmüştür. Çamur üretim hızı 5 ton/sa. Ve daha fazla olduğu atıksu arıtma tesislerinde arıtma çamurunun % 70 KM oranına kadar kuruması için gereken alan 2 ha olacağı ortaya çıkmıştır. Ayrıca teknolojinin hızla gelişmesi ile de güneş enerjisi depolama aygıtlarının kapasitelerinin artması, solar kurutmadaki ilk yatırım maliyetini düşüreceği kanısına varmışlardır.

Duyuşen vd., (2016) yaptıkları çalışmada farklı oranlarda deri arıtma çamuru kompostu ilave edilen funda toprağında çim yetiştirmişlerdir. Yapılan çalışma 45 sürmüştür ve deney periyodu sonunda Cr, Cu, Zn ve Ni metallerinin transfer katsayıları belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan beş farklı kompost/toprak karışımı sırasıyla; kontrol % 0, % 5, % 10, % 25 ve % 50 oranlarında kompost içermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, toprağa kütlece % 5 ve % 10 oranında kompost ilavesinin bitki gelişimini % 29-32 oranında arttırdığı, kontrol denemesine kıyasla kütlece daha fazla miktarda çim yetiştiği gözlemlenmiştir. Kompost içeriği % 25 karışımın çim gelişimini bir miktar yavaşlattığı, ancak kontrol saksısına oranla bitki kütlesinde önemli bir değişiklik göstermemiştir. Kompost oranını %50'ye çıkardığımız anda karışımın bitki gelişimini önemli ölçüde aksattığı görülmekte olup, bu oranda deri arıtma çamuru kompostu kullanımının çim bitkisi yetiştiriciliğinde tercih edilmesi önerilmemektedir. Ağır metallerin bitkiye transfer katsayıları Zn>Cu>Ni>Cr sıralamasıyla bulunmuştur. Ağır metallerin topraktaki kimyasal bağlanma formlarının bitkiye transferlerinde doğrudan etkisi olduğu anlaşılmıştır. Ağır metallerden sadece Cr mevzuattaki sınır

değerler açısından uygun olmamakla birlikte, bu metalin kimyasal bağlanma formlarının kararlı fraksiyonlarının yüksek oranda bulunması çevresel taşınımını büyük oranda engellemekte ve bitkilere transferini sınırlamaktadır. Söz konusu durum konsantrasyon açısından toksik olarak değerlendirilebilecek kromun aslında stabil formda hapsediği ve normal çevresel koşullarda oluşturduğu riskin yüksek olmadığı şeklinde yorumlanmaktadır. Elde edilen sonuca göre ağır metallerin topraktaki bulunuşlarının sadece konsantrasyonlarla değil, kimyasal dağılım formları dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermişlerdir.

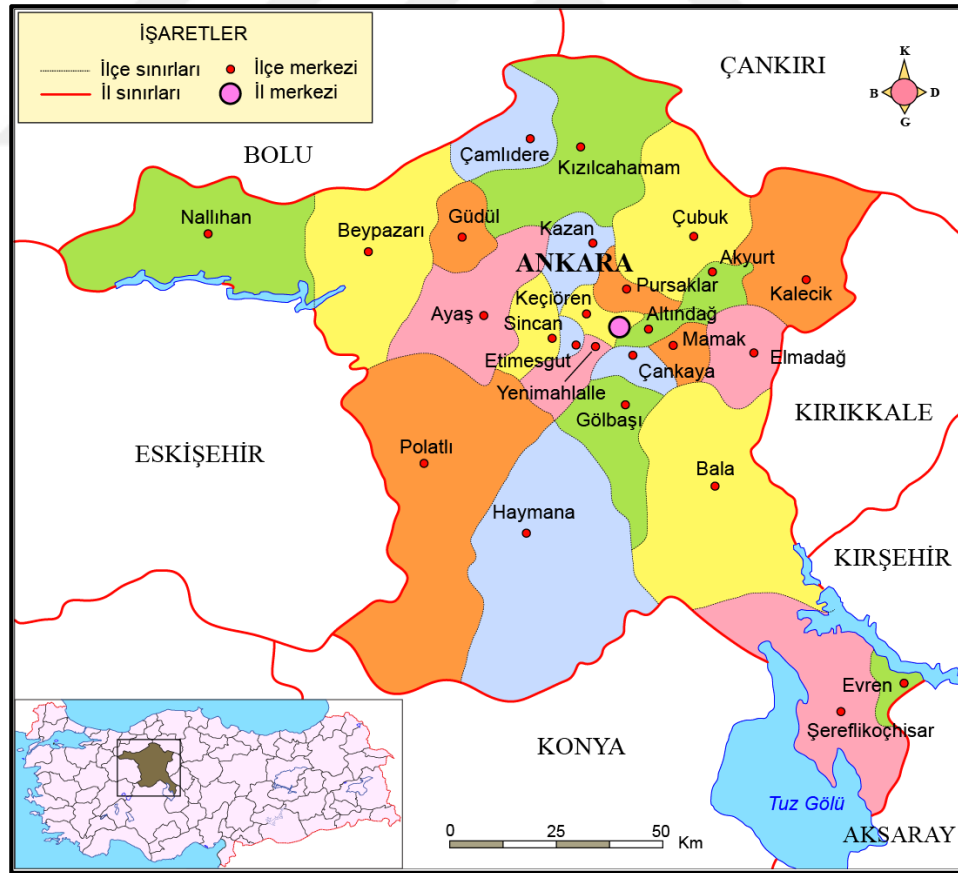
Kurt vd., (2016) yaptıkları çalışmada arıtma çamurlarının kurutulmasında sera tipi kurutucular ve güneş panellerinin birlikte kullanımının maliyet bazında incelenmesi üzerine çalışmışlardır. Türkiye'nin farklı iklim özelliklerine sahip bölgelerinden, farklı çamur üretim miktarları olan 7 farklı atıksu arıtma tesisi değerlendirilmiştir. Bu tesisler için hem sera tipi kurutucuların, hem de güneş paneli sisteminin yatırım ve işletim maliyetleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar susuzlaştırma ile elde edilen katı madde konsantrasyonunun kurutma maliyetlerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, sera tipi kurutucunun ve güneş panellerinin yerleştirilmesi için atıksu arıtma tesislerinin gerekli alana sahip olması gerektiği ortaya konmuştur. Büyük atıksu arıtma tesisleri için kullanılan güneş paneliyle desteklenen sera tipi çamur kurutma ünitelerinin ilk maliyetlerinin yüksek olmakla birlikte, düşük enerji giderleri sebebi ile uzun vadede ekonomik olabileceğini ortaya konmuştur. Ayrıca, sera tipi kurutucuların, uzaklaştırılacak su miktarı bazında bakıldığında güneş panellerinden daha ucuz olduğundan bahsedilmiştir. Bu sebeple sera tipi kurutuculara daha geniş alan ayrılmasının maliyetleri düşüreceği kanısına varılmıştır.

An ve Liu (2017), solar kurutma sistemlerine bazı yenilikçi yaklaşımlar getirmiş ve atık baca gazı ısı / güneş kapasiteli sistem kullanımı gibi gelişmiş solar çamur kurutma hakkında bilgi vermiş ve solar sistemlerin çamuru kurutma süreci ile ilgili özelliklerini de sunmuştur. Çamur kurutma işleminin ana etken faktörleri olan ortam hava sıcaklıkları, nem miktarı (havadaki), hava kurutma debisi, solar radyasyon şiddeti ile çamur serme kalınlıkları olduğundan bahsetmişlerdir. Yapılan çalışmada sera tabanının ısı pompası yardımıyla sıcak yağ kullanılarak ısıtılması, termal enerjinin depolanmasını ve soğuma olmasının önüne geçmek, verimliliği artırmak amacıyla zemin kaya yatağı ve farklı malzemeler eklenmiştir. Elde edilen sonuca göre oluşan maliyete göre sistemin bir fayda sağlamadığı gözlenmiştir.

3. UYGULAMA – MATERYAL METOT

3.1 Ankara İli Tanıtımı

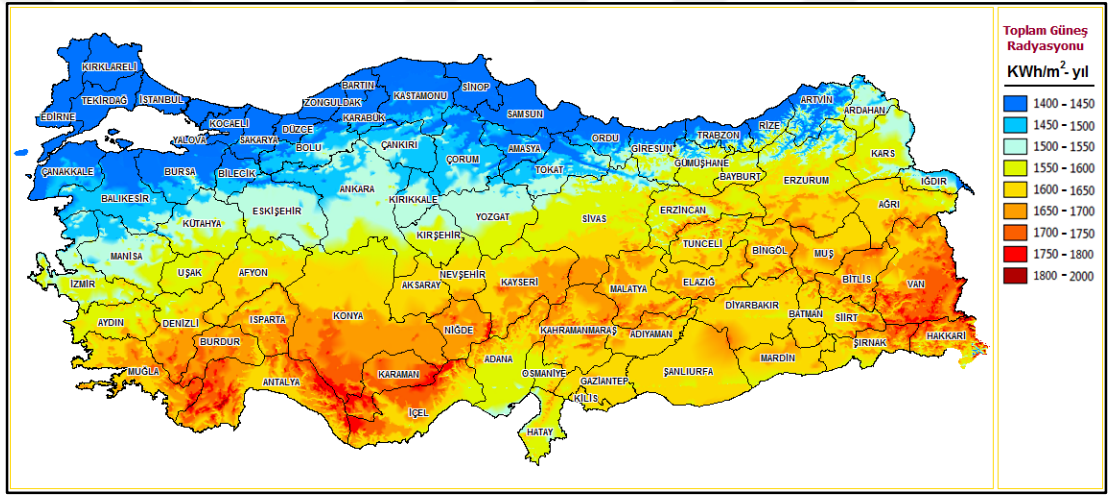
İç Anadolu Bölgesinin Yukarı Sakarya havzasında yer alan Ankara, $38^{\circ} 33'$ ve $40^{\circ} 47'$ kuzey enlemleriyle $30^{\circ} 52'$ ve $34^{\circ} 06'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. 2000 yılı nüfus sayımı verilerine göre, 4.007.860 kişilik nüfusuyla Türkiye'nin ikinci, 25.706 km² yüzölçümüyle üçüncü büyük ili olan Ankara, Türkiye Cumhuriyetinin Başkentidir (BANİP, 2023). Türkiye İstatistik Kurumu, yıllara göre il nüfusları, adrese dayalı nüfus kayıt sisteminin 2016 yılı verilerine göre ise 5.346.518 kişilik nüfusu bünyesinde barındırmaktadır (TÜİK, 2016). Şekil 3.1'de Ankara ili haritası ilçe sınırları, ilçe merkezleri de gösterilmek üzere sunulmuştur (URL-4).



Şekil 3.1: Ankara ili haritası (URL-4).

Akarsu kalite gözlemlerine göre Ankara Çayı IV. sınıf, Kızılırmak II. III. ve IV. sınıflar arasında değişmekte, buna karşılık Çubuk Çayı, Ova Çayı, Haman Çayı II. sınıf kirlilik arz etmektedir. Bu kirlilik daha ziyade kanalizasyon ve sanayi tesislerinin atıklarından kaynaklanmaktadır. Kapulukaya, Çubuk I. ve II., Eğrekkaya, Kurtboğazı gibi I. ya da II. sınıf su tutan bu baraj göllerinde önemli kirlilik yoktur (BANİP, 2023).

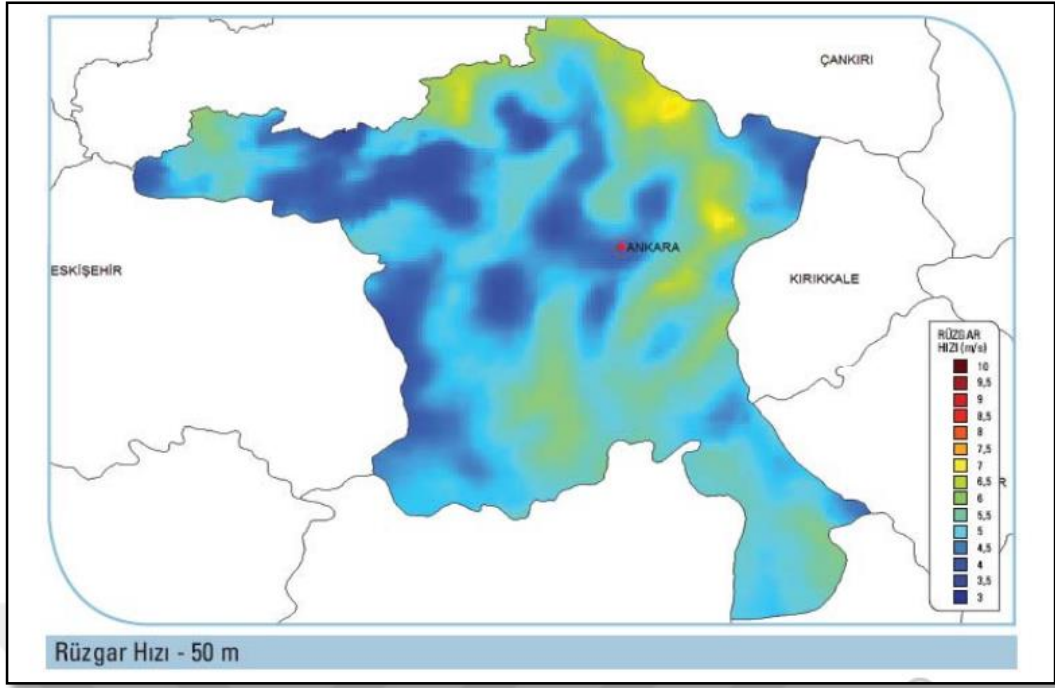
Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı açısından Ankara'nın da içerisinde yer aldığı İç Anadolu Bölgesi; Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgesinden sonra gelirken, Ankara 2.427 saat/yıl güneşlenme süresiyle 2.640 saat/yıl olan Türkiye ortalamasına yakın bir değere sahiptir (BANİP, 2023). Ülkemize ait güneş enerjisi potansiyel haritası Şekil 3.2'de verilmiştir (URL-5).



Şekil 3.2: Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası (URL-5).

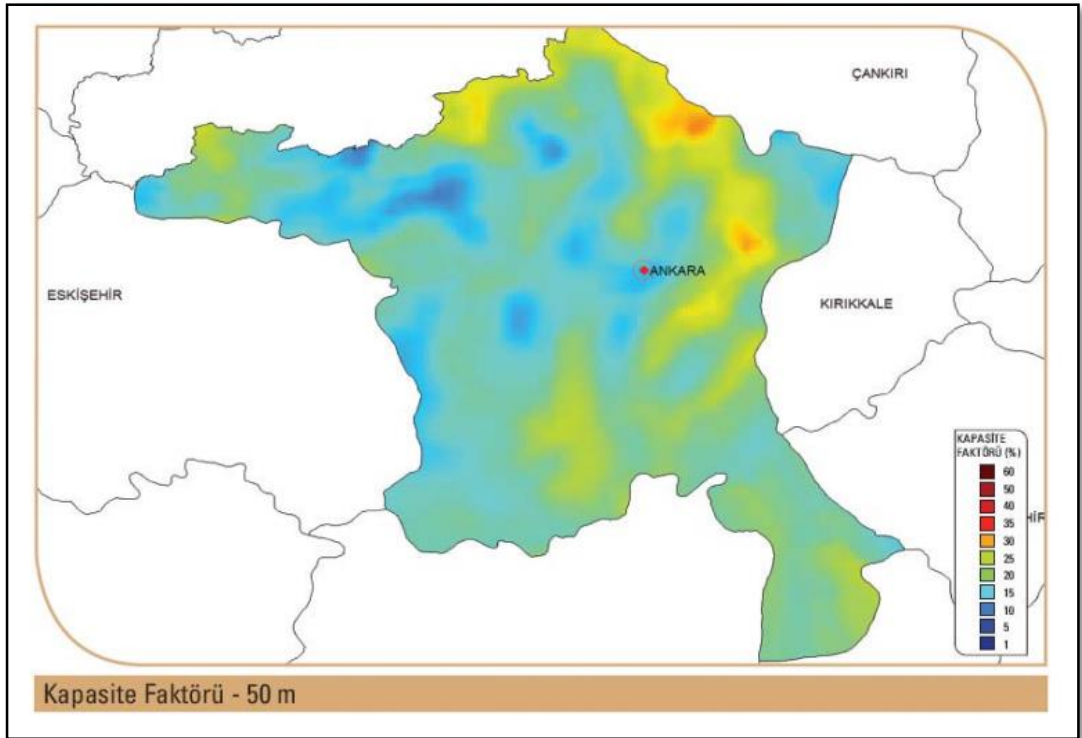
Bir bölgenin rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla rüzgar hız dağılımları ile ilgili bölgenin kapasite faktörü dağılımları baz alınarak çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bir bölgede ekonomik rüzgâr enerji santral yatırımı için gerekli olan rüzgâr hızı 7 m/s ve üzeri, bölge kapasite faktörünün ise % 35 ve üzerinde olması gerekmektedir.

Bu kapsamda nihai çamur bertaraf sisteminde yeni bir alternatif oluşturması ve yenilenebilir enerji kaynağıyla çamur bertaraf sisteminin desteklenmesi açısından bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirmeye tabi tutabilmek amacıyla Ankara ili rüzgâr hız dağılımı potansiyeli ve kapasite faktörü dağılımı (50 metre) Şekil 3.3 ve 3.4'te gösterilmiştir (URL-6).



Şekil 3.3: Ankara ili rüzgâr hız dağılımı (50 m) haritası (URL-6).

Şekil 3.3'te de görüleceği üzere Ankara il sınırları içerisinde genel rüzgâr hızının 4 ile 5 m/s olduğu görülmektedir. Tesisin kurulduğu alan da düşünüldüğünde, rüzgâr enerjisi yatırımının ekonomik bir çözüm olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.4: Ankara ili kapasite faktör dağılımı (50 m) haritası (URL-6).

Şekil 3.4'te de görüldüğü üzere Ankara il sınırları içerisinde genel kapasite faktörünün % 15 ile 25 m/s olduğu görülmektedir. Bölge kapasite faktörü ile rüzgâr hızları sonuçları incelendiğinde bölge adına rüzgâr enerjisi yatırımının ekonomik bir çözüm olmadığı anlaşılmaktadır.

1989 yılında Ankara kanalizasyon ve yağmur suyu sistemi Büyükşehir belediyesine devredilmiştir. Aynı yıl geliştirilen Büyük Ankara Kanalizasyon Projesi (BAKAY) ile ayrık sistem olarak yağmur suyu ve pis suyun toplanması, pis su toplama sisteminden gelen atıkları, Sincan Tatlar mevkiinde inşa edilecek atık su arıtma tesisine nakli ve arıtılmış suyun Ankara Çayı'na deşarjı öngörülmüştür.

Tesis, iki farklı genişleme aşamasına göre planlanmıştır. Söz konusu genişlemeler sonrası tesis 2025 yılında yaklaşık 6,3 milyon eşdeğer nüfusa hizmet verecek şekilde planlanmıştır. Tesisin yapımına 1992 yılında başlanmıştır.

Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi 1997 yılında faaliyete geçmiş olup, özellikle kanalizasyon halini almış Ankara Çayı ve bağlı bulunduğu sucul ortamda (Şekil 3.5'te de gösterilen Çubuk Çayı, Hatip Çayı, İncesu Deresi, Dikmen Deresi) büyük bir rahatlama yaşamıştır (Köle, M.M., 2012).



Şekil 3.5: Tatlar AAT genel konumu ve Ankara ili sucul ortamı haritası.

3.2 Atıksu Arıtma Tesisi

Tatlar Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi, hali hazırda Türkiye'nin en büyük atıksu arıtma tesisidir. Yapıldığı yıl itibariyle dünyanın da 4. en büyük Atıksu Arıtma Tesisi unvanına sahipti. Tatlar Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi, Ankara ilinin Sincan ilçesinin Yenikent bölgesinde kurulmuş ve günde 765.000 m³ atıksu arıtma kapasitesi ile aktif çamur prosesi bazında projelendirilerek inşa edilmiş, hali hazırda klasik aktif çamur prosesine göre tasarlanmış ve işletilmekte olan bir tesistir. Tesiste arıtma sırasında elde edilen biyogazdan elektrik üretilerek tesisin elektrik ihtiyacının yaklaşık % 80'i karşılanmaktadır. Bu şekilde biyogazdan elde edilen elektrik enerjisiyle yıllık 8,5 milyon TL tasarruf sağlanmaktadır. Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi (ASKİ) Genel Müdürlüğü, 2002 yılı I. Aşama için yaklaşık 4 milyon eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere inşa edilen dönemde dünyanın en büyük 4. Atıksu Arıtma tesisini 1 Ağustos 1997 tarihinde işletmeye almış olup 12 Mayıs 2000 tarihinde kesin kabulü yapılmıştır. Tesis alanı şehir merkezinin batısında 45 km mesafede, Ankara Çayı akıntısı yönündeki Tatlar köyünün (Sincan İlçesi, Yenikent bölgesi yakınında) yanında yer almaktadır (URL-3).

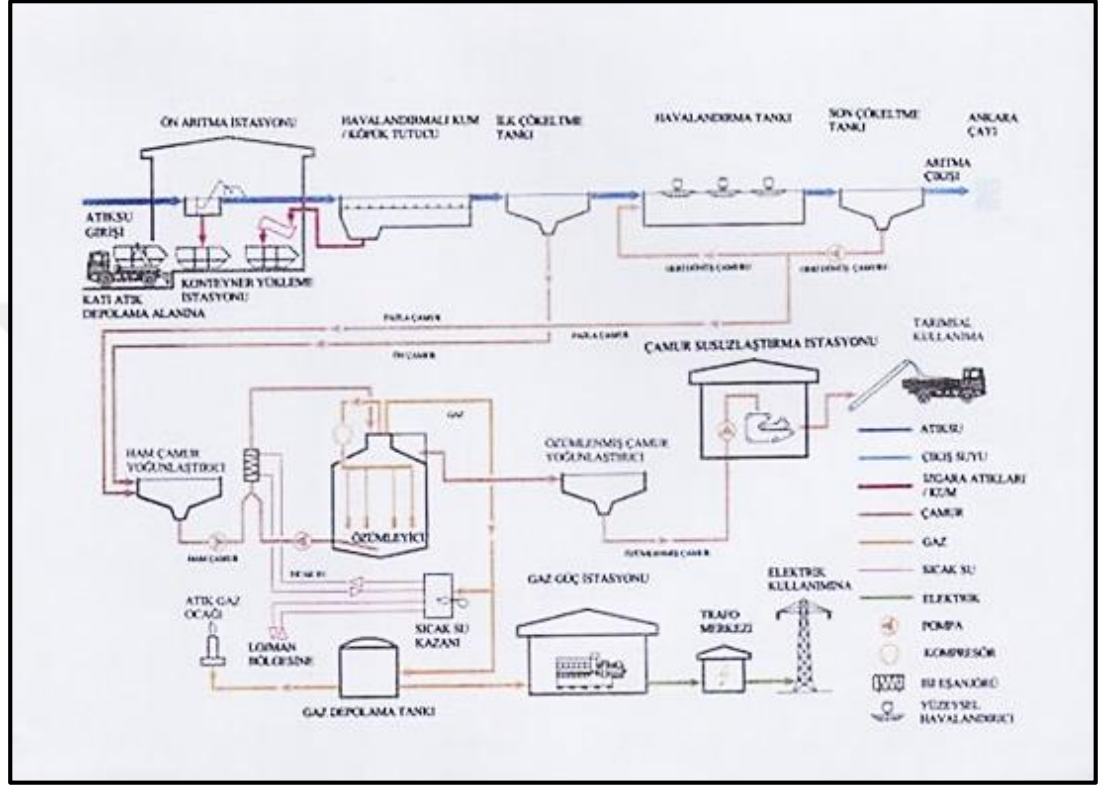
Tesisin yeri, 2025 yılında dahi şehir yerleşiminin dışında kalacağı dikkate alınarak seçilmiştir. Şehrin ve arıtma tesisinin topografisi, atıksuyun arıtma tesisine taşınmasında pompa istasyonu gerektirmeyecek şekilde tasarlanmasını mümkün kılmıştır. Kanalizasyon sisteminde toplanan bütün atıksular tesise tamamen cazibeyle ulaşmaktadır. 2025 hedef yılı için tesis alanı 182 hektar alanı kapsamaktadır ve ilk aşamada yaklaşık 1/3'ü kullanılmıştır (URL-3).

Ankara'nın merkezinden geçen Çubuk ve Hatip Çaylarının birleşiminden oluşan bu ismi alan Ankara Çayı ile Ankara ili sınırlarında bu akarsuya bağlanan Ova Çayı'nın su toplama alanlarını içine alır. 140 km uzunluğundaki Ankara Çayı'nın havzası 3.153 km² yüz ölçüme sahiptir (URL-3).

Ankara Çayı'na, Mogan ve Eymir Göllerinin sularını boşaltan İncesu Deresi ile Mürted Ovası'ndan geçen Ova Çayı ve solda Maliköy yakınında Haymana suyu karışır. Ankara Çayı, Eskişehir'in Mihalıççık ilçesine bağlı Dümrek köyünün güneyinde Sakarya Nehri'ne karışır (HKEP, Sakarya Havzası Final Raporu). Tatlar atıksu arıtma tesisine ait genel vaziyet planı ve ünitelerin genel gösterimi Şekil 3. 6'da verilmiştir.

Tesis ileriki aşamalarda azot ve fosfor giderimi de dâhil, ileri biyolojik arıtma amacına uygun olarak genişletme olanağına sahip bir yapıda inşa edilmiştir.

Kapasite bakımından Türkiye'nin en büyük atıksu arıtma tesisi olan Tatlar, dünyanın da sayılı tesislerinden biri olup hâlihazırda 765.000 m³/gün ortalama atıksuyu arıtabilmektedir. Arıtılan atıksu Ankara Çayı'na deşarj edilmektedir (URL-3).

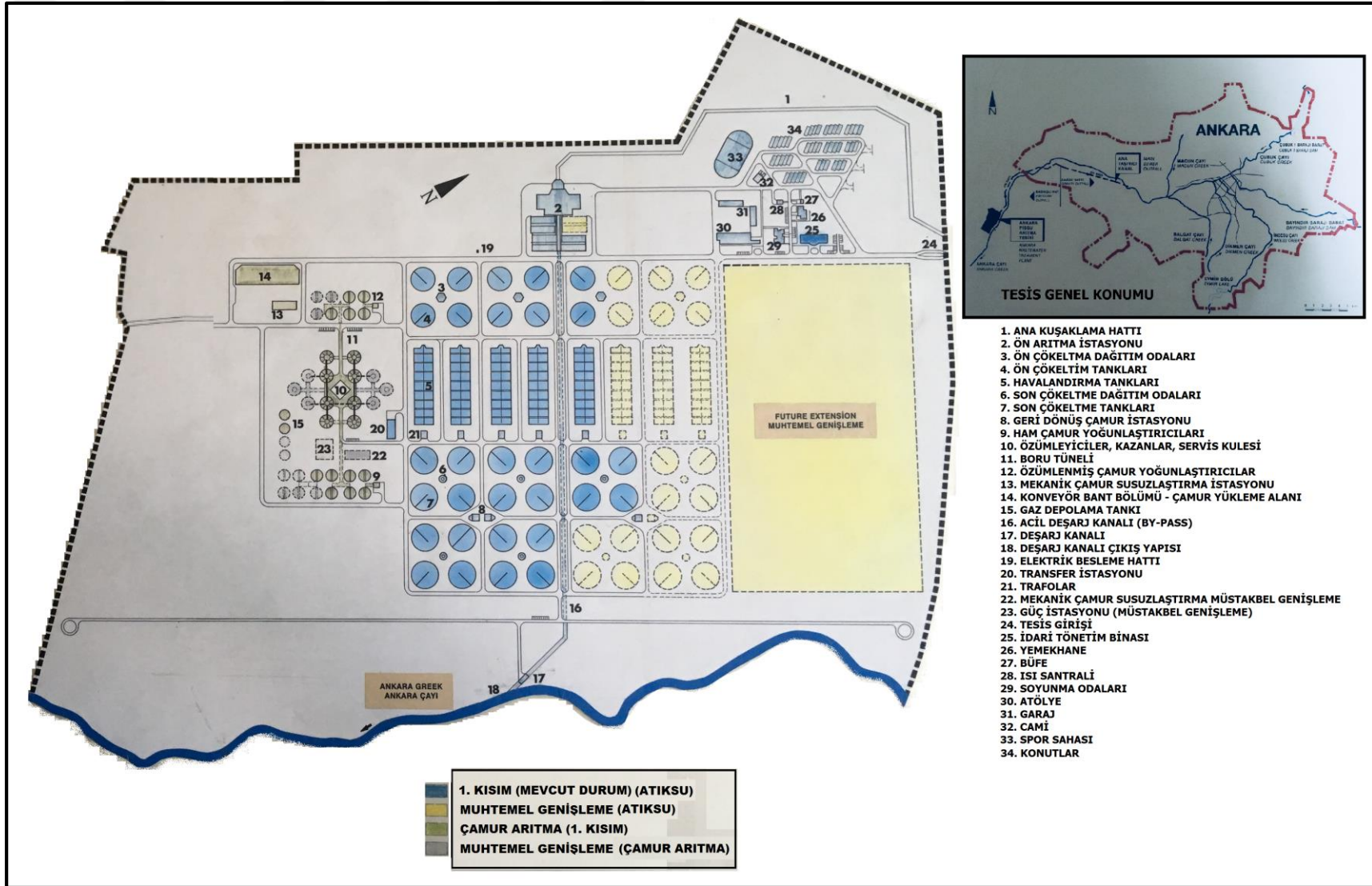


Şekil 3.6: Atıksu arıtma tesisi akış diyagramı.

Tatlar Atıksu Arıtma Tesisine ait tesis genel akış diyagramı Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Tesis mevcut haliyle klasik aktif çamur sistemine göre dizayn edilmiştir.

Tesisin temel tasarım kriterleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Tesis toplam 3 aşama olarak tasarlanmış ve proses hat sayısı bakımından genişleme ihtiyacı olduğu takdirde 4 hatta ulaşması planlanmaktadır (URL-3).

Tatlar Atıksu Arıtma Tesisleri 'ne ait genel vaziyet planı Şekil 3.7'de verilmiştir. Söz konusu gösterimde tesisi üniteleri, sosyal olanakları ve bununla beraber tesisin muhtemel genişleme planı da yer almaktadır.



Şekil 3.7: Tatlar atıksu arıtma tesisi genel vaziyet planı.

Çizelge 3.1: Atıksu arıtma tesisi temel tasarım kriterleri.

Geniştirme Aşamaları	Birim	1.Aşama (Güncel Durum)	2.Aşama	3.Aşama
Proses Hattı Sayısı	(adet)	2½	3	4
Tahmini Nüfus	(kişi)	3.277.000	3.970.000	4.859.000
Eşdeğer Nüfus (EN)	(kişi)	3.920.000	4.833.000	6.288.000
Ortalama Atıksu Miktarı	(m³/gün)	765.000	971.000	1.377.000
Ortalama Kuru Hava Debisi	(m³/sn.)	8,85	11,24	15,94
Maksimum Kuru Hava Debisi	(m³/sn.)	10,19	12,93	18,33
Maksimum Yağışlı Hava Debisi	(m³/sn.)	17,71	22,48	31,88
BOİ ₅ Yüğü (60 Gr/Kişi/Gün)	(kg/gün)	235.175	290.000	377.300
Ham ve Fazla Çamur (% 1,5 KM)	(m³/gün)	20.907	25.778	33.538
Özümlenmiş Çamur (%3,3 KM)	(m³/gün)	6.272	7.733	10.061
Susuzlaştırılmış Çamur Keki (≈ %30 KM)	(m³/gün)	704	869	1.130

Çıkış Suyu (Arıtılmış Su)

BOİ ₅ Konsantrasyonu	(mg/l)	< 30	-*	-*
Filtre Edilebilir Katılar (AKM)	(mg/l)	< 30	-*	-*

3.2.1 Tatlar atıksu arıtma tesisi üniteleri

3.2.1.1 Ön arıtma ünitesi

Ön arıtma ünitesi suyun arıtım için uygun hale getirildiği bölümdür. Ön arıtma giriş yapısı için zararlı olabilecek veya operasyonu etkileyecek maddelerin uzaklaştırılmasını kapsar. Bu maddeler kâğıt parçaları, tahta, odun parçaları, teneke, pet şişe, her türlü plastik maddeler, kum, gres, yağ, zift ve yüzey pisliğini içerir.

Bu bölümde sudan ayrılan kaba atıklar; her biri 584 m³ hacminde 209 m² yüzey alanına sahip 10 adet kum tutucu havuzlarında tutulan kum, çöp depolama alanına transfer edilmektedir. Kum tutucu havuzlarda bekleme süresi 11 dakikadır (URL-3).

3.2.1.2 Ön çökeltme havuzları

Kum tutuculardan çıkan su dağıtım odası vasıtası ile her biri 7.600 m³ hacminde 50 m çapında 10 adet dairesel ön çökeltme havuzlarına gönderilir. Bekletme süresi 1,5 saattir. Bu bölümde ön arıtma sisteminde çöktürülemeyen, askıda kalan ve yüzebilen maddeler uzaklaştırılır. Ön çökeltme havuzları dairesel hareketli köprüye bağlı sıyrıcılar vasıtası ile dibe çöken bu maddeler toplanarak cazibe ile ham çamur yoğunlaştırıcı havuzlara gönderilir. İyi bir ön çökeltme havuzunda giren sudaki askıda katı madde miktarının % 60-70, BOİ₅ miktarının % 25-30'unu arıtabilir. Ön çökeltme

havuzlarından savaklanan su, aktif çamur ile karıştırılarak biyolojik arıtma için havalandırma havuzlarına gönderilir (URL-3).

3.2.1.3 Havalandırma havuzları

Ön çökeltme havuzlarından çıkan atıksu her biri 13.005 m³ hacminde 2.600 m² yüzey alanına (153m× 17m) sahip dikdörtgen kesitli 10 adet havalandırma havuzlarına giriş yapar. Bekletme süresi 4 saattir. Bu bölümde çözünmüş olan organik maddeler mikroorganizmalar için besin kaynağıdır. Bu besinin kullanılmasıyla aktif mikroorganizma kütlelerinin üremesi ve atığın aerobik olarak stabilizasyonu sağlanır. Aerobik mikroorganizmaların yaşayabilmesi için yüzeysel havalandırıcılar yardımı ile suya oksijen transferi sağlanır. Bu havalandırıcılar aynı zamanda karıştırma işlemini de yapmaktadırlar (URL-3).

Havalandırma havuzlarında sabit bir mikroorganizma seviyesi sağlanması amacıyla son çöktürme havuzlarında çöken çamurun gerekli olan miktarı havalandırma havuzlarının girişinden sisteme geri döndürülür. Mikroorganizmaların yaşayabilmesi için uygun pH, oksijen ve besin ortamının sağlanması gereklidir (URL-3).

3.2.1.4 Son çökeltme havuzları

Havalandırma havuzlarından çıkan aktif çamurlu su her biri 9.200 m³ hacminde 55 m çapında 20 adet dairesel son çökeltme havuzlarına giriş yapar. Havalandırma havuzlarında stabilize edilmiş olan atık, son çökeltme havuzlarında çamur olarak çöktürülür. Çöken bu çamur cazibe ile geri dönüş pompalama istasyonu haznesine gelir. Gerekli miktarı geri döndürülür, fazla miktarı da ham çamur yoğunlaştırma havuzlara sevk edilir. Bekleme süresi minimum 3 saattir (URL-3).

3.2.1.5 Ham çamur yoğunlaştırma havuzları

Bu bölümde, ön çökeltme havuzlarından gelen ham çamur (ön çamur) ve son çökeltme havuzlarından gelen fazla çamur karıştırılarak her biri 1.964 m³ hacminde 25 m çapında 7 adet dairesel yoğunlaştırma havuzlarında gelir. Çamur, havuzlarda yaklaşık iki gün bekletilerek, yerçekimi ile iyice çöktürülür. Böylelikle çamurun kuru madde oranı yükseltilmektedir (URL-3).

Dikey karıştırıcılar sayesinde farklı bölgelerde çamur fazı oluşumu engellenir. Havuzun yüzeyinden savaklanan su tekrar bir arıtım için tesis girişine pompalanır (URL-3).

3.2.1.6 Çamur özümleme tankları (digesters)

Ham çamur yoğunlaştırma havuzlarından alınan yoğunlaşmış çamur, pompa vasıtası ile ısı eşanjöründen geçirilerek ısıtılır ve her biri 11.250 m³ hacminde 25 m çapında 35 m yüksekliğinde 8 adet silindirik ön gerilmeli beton özümleme tanklarına pompalanır. Özümleme, çürüyen veya bozunabilen organik maddelerin biyolojik olarak parçalanmasıdır. Özümleme prosesi anaerobik şartlarda uygun pH değeri olan 7,0-7,5 arasında 35 - 40 °C’de iki üç hafta sürer. Bu işlemde son ürün olarak çürümeyen ve bozunmayan katı maddeler kalmaktadır. Üstten alınan gaz filtrelerden (çakıl ve seramik filtreler) geçirilerek her biri 4.000 m³ hacminde 22 m çapında 17 m yüksekliğinde 2 adet silindirik yapıda gaz depolama tanklarına gönderilir. Açığa çıkan gaz karışımı yaklaşık olarak yaklaşık %75-80 oranında metan, %20 oranında karbondioksit ve diğer gazları içerir. Açığa çıkan bu biyogaz, elektrik üretiminde, sıcak su ihtiyacının karşılanmasında ve özümleme tanklarında karıştırma (gaz enjeksiyon) işleminde kullanılır (URL-3).

3.2.1.7 Biyogaz güç istasyonu

Biyogaz Güç İstasyonu özümleme tanklarında açığa çıkan biyogazı kullanarak elektrik enerjisi üreten gaz motorlarının tesis edildiği yapıdır. Her biri 1,0 MW gücünde 3 adet biyogaz motorları sayesinde tesisin elektrik ihtiyacının yaklaşık % 80’lik kısmı karşılanmaktadır. Yılda ortalama 21.000.000 kW-h elektrik üretilmektedir (URL-3).

3.2.1.8 Özümlemiş çamur yoğunlaştırma havuzları

Özümleme tanklarında çürütülen çamur, her biri 1.964 m³ hacminde 25 m çapında 5 adet dairesel özümlemiş çamur yoğunlaştırıcı havuzlara alınır ve iyice yoğunlaşması sağlanır. Yoğunlaşan çamur pompayla çekilir ve mekanik çamur susuzlaştırma istasyonuna gönderilir. Yüzeyinden alınan yüksek BOİ₅ içeriği olan su tekrar arıtım için tesis girişine pompalanır. Bekleme süresi 2 gündür (URL-3).

3.2.1.9 Çamur susuzlaştırma ünitesi

Bu bölümde, özümlemiş çamur yoğunlaştırıcılarından gelen çamura, çamurun yoğunluğuna göre hesaplanan oranda katyonik polielektrolit çözeltisi dozlanarak çamurun flokleşmesi sağlanır (URL-3).

Daha önce 6 adet 30 m³/saat kapasiteli belt presler ile susuzlaştırılan çamur, belt preslerin ekonomik ömrünü doldurması nedeniyle 2011 yılında kurulan ve daha ileri

teknoloji ürünü olan her biri 70 m³/saat kapasiteli 3 adet santrifüj dekantörler yardımıyla çamur susuzlaştırma yapılmaktadır. Kuru madde miktarı ortalama % 4-6'dan % 26-30'a çıkartılır. Santrifüj dekantörlerden süzülen su, tekrar arıtım için ön arıtma ünitesine pompalanmaktadır (URL-3). Susuzlaştırılma işlemine tabi tutulan arıtma çamurları geçirimsiz deponi sahalarda depolanmaktadır.

3.2.2 Atıksu arıtma tesisi arıtma çamuru ve atıksu değerleri

Ön çökeltim (ön çamur) ve aerobik havuzlardan alınan (fazla çamur) çamurların katı madde içeriğinin istenen değere ulaşması için ilk olarak gravite ile yoğunlaştırma amacıyla ham çamur yoğunlaştırıcılarına alınmakta ve yeterli bekleme süresi ile yoğunlaşması beklenmektedir. Akabinde istenilen yoğunluğa ulaşan ham çamurlar stabilizasyon amacıyla anaerobik şartlar altında işlev gören özümleyicilere beslenmekte ve mezofilik şartlar altında biyogaz üretimi gerçekleştirilmektedir. Özümleme tanklarında çürütülmüş çamur daha sonra özümlemiş çamur yoğunlaştırıcı havuzlara alınıp burada da çamur susuzlaştırma işlemi öncesi yoğunluğu istenilen değerlere getirilmekte ve akabinde santrifüj dekantörler vasıtasıyla kuru madde oranı % 26-30 aralığına çıkarılmaktadır (URL-3). Atıksu arıtma tesisinden aylık bazda alınan (en az üç numune) numunelerin ortalama değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Yapılan analizlere göre aylık bazda kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅), askıda katı madde (AKM), atıksu organik madde içeriği (% KM Org M.), iletkenlik ve pH değerleri ölçümlenmiştir.

Çizelge 3.2: AAT 2017 yılı atıksu giriş değerleri.

2017 DÖNEMİ	KOİ (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	AKM (mg/L)	Org M. (% KM)	İletkenlik (µS/cm)	pH
OCAK	356	210	318	66,1	1632	7,95
ŞUBAT	368	219	334	70,9	1476	7,92
MART	371	213	328	67,0	1333	7,96
NİSAN	373	224	380	70,2	1357	7,91
MAYIS	365	219	341	69,1	1480	7,95
HAZİRAN	374	216	267	73,5	1308	7,83
TEMMUZ	440	220	328	67,0	1370	7,79
AĞUSTOS	455	224	341	70,6	1331	7,72
EYLÜL	378	211	262	74,3	1164	7,91
EKİM	369	206	366	76,2	1254	7,93
KASIM	478	245	258	72,4	1249	8,07
ARALIK	501	271	264	69,6	1590	8,08

Atıksu arıtma tesisi 2017 yılı atıksu giriş değerlerinin yer aldığı Çizelge 3.2'ye bakıldığında; yapılan analizlerde yıl boyunca aylık ortalama tesis atık suyunda ortalama KOİ girişinin 402 mg/L, BOİ girişinin 223 mg/L ve AKM değerinin de 315 mg/L olduğu, görülmektedir. Yıllık pH ortalaması ise 7,95 civarında ölçülmüştür. Söz konusu durum ise arıtma çamurlarının sahip olacağı pH değeri açısından bizlere önemli bir göstergedir.

Giriş suyunda bulunan AKM değerinin yıl boyunca belirli bir değer aralığında (ortalama 315 mg/L) olduğu, yıl içinde inorganik olarak ayrışabilen maddelerin belirli bir yüzdeyi işgal ettiği görülmüştür. AKM parametresi yıl boyunca seyrinde KOİ 'nin aksine görüntü vermiş ve kış döneminde azalma göstermiştir.

Atıksuların arıtılması sırasında BOİ'nin giderilmesi için mikroorganizmalar görev yapmaktayken, KOİ parametresindeki tüm organik içeriğin atık sudan uzaklaştırılması için kimyasal olarak oksitlenme de gereklidir. Çizelge 3.2'ye göre tesise yıl içinde gelen atık suyun kirlilik derecesi ortalama kirliliğe sahip bir atıksuyu simgelemektedir. Yıl boyunca, aylık bazda alınmış olan numunelerde KOİ ile BOİ arasındaki sonuçlar incelendiğinde, elde edilen değerlerin 3/2 'ye yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, tesisin evsel atıksu karakterini etkileyecek oranda evsel dışı (endüstriyel vb.) karışımın atıksuya girişim yapmadığı yorumunu yapabilmemize olanak sağlamaktadır. Söz konusu yorumun daha da netleşmesi için konu ile ilgili olarak tesisin arıtma çamurunda da farklı yıllar bazında ölçülmüş ağır metal oranlarına ileriki sayfalarda değinilmiştir.

Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi klasik aktif çamur sisteminde tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu sebeple tesiste atıksudaki karbonu ayırma işlemleri ağırlık olarak devam etmektedir. Bu sebeple aldığımız numunelerde gerçekleştirilen analizler de karbon giderimini ölçen parametreler üzerinden işlev görmüştür.

Tesis atıksuyu giriş değerlerinde aylık bazda % 66'nın üstünde bir organik madde girişi (Çizelge 3.2) olduğu görülmektedir. Söz konusu durumun atıksudan biyogaz üretimi yoluyla enerji eldesi için oldukça uygun şartları içerdiğini görmekteyiz. Susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının da nihai bertarafı kapsamında enerji eldesi amaçlı bir yatırımın da (yakma, kurutma - birlikte yakma vb.) düşünülebileceğini ifade etmektedir.

Atıksu arıtma tesisi giriş atıksuyu için Çizelge 3.2'de yer alan parametreler analiz edilirken, Çizelge 3.3'te yer alan deney metotlarına göre çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 3.3: Atıksu analizlerinde kullanılan deney metotları.

PARAMETRE	Deney Metodu
pH	TS 3263 ISO10523 – Nisan 1999
Elektriksel İletkenlik	TS 9748 EN 27888 – Nisan 1996
Askıda Katı Madde (AKM)	SM 2540 D
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	SM 5520 D
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	SM 5210 B
Organik Madde Miktarı	SM 2540 E

Çizelge 3.4’te atıksu arıtma tesisinden 2017 yılı içinde arıtılmış atıksu çıkış değerleri aylık bazda alınan numunelerin analiz sonuçları ortalama değerlerini içeren sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 3.4: AAT 2017 yılında arıtılmış atıksu çıkış değerleri.

2017 DÖNEMİ	KOİ-Ç (mg/L)	BOİ ₅ -Ç (mg/L)	AKM-Ç (mg/L)	E. İletkenlik (mS/cm)	pH
OCAK	32	15	18	1358	8,11
ŞUBAT	33	14	15	1267	7,97
MART	32	12	14	1367	8,00
NİSAN	34	14	17	1314	7,91
MAYIS	30	12	18	1197	8,02
HAZİRAN	38	15	12	1132	7,88
TEMMUZ	39	17	20	1081	7,90
AĞUSTOS	32	16	19	1121	7,90
EYLÜL	41	21	24	1114	7,87
EKİM	39	20	20	1131	7,89
KASIM	37	19	19	1168	8,02
ARALIK	38	21	22	1466	8,05

Atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkışından alınan numunelerin çıkış değerleri ile ilgili parametreye ait sonuç değerleri ile giderim verimleri % olarak Çizelge 3.5’te verilmiştir. Atıksu arıtma tesisine ait geçmiş yıllar bazında yapılmış olan susuzlaştırılmış arıtma çamurundaki ağır metal değerleri Çizelge 3.6’da verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen ağır metal bulguları iki farklı birim olarak verilmiştir.

Atıksu arıtma tesisinde anaerobik stabilizasyon olması sebebiyle arıtma çamurlarının toprakta kullanımı hususunda ilgili mevzuatta (Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik) bahsedilen ve bakılması öncelikli olan

bakır, krom, çinko, kadmiyum, kurşun, nikel ve cıva ağır metallerinin analizler tabloya işlenmiştir.

Çizelge 3.5: AAT 2017 yılı kirlilik giderim verimleri.

2017 DÖNEMİ	KOI-Ç (mg/L)	KOI Verimi (%)	BOİ ₅ -Ç (mg/L)	BOİ ₅ Verimi (%)	AKM-Ç (mg/L)	AKM Verimi (%)
OCAK	32	91,01	15	92,86	18	94,34
ŞUBAT	33	91,03	14	93,61	15	95,51
MART	32	91,37	12	94,37	14	95,73
NİSAN	34	90,88	14	93,75	17	95,53
MAYIS	30	91,78	12	94,52	18	94,72
HAZİRAN	38	89,84	15	93,06	12	95,51
TEMMUZ	39	91,14	17	92,27	20	93,90
AĞUSTOS	32	92,97	16	92,86	19	94,43
EYLÜL	41	89,15	21	90,05	24	90,84
EKİM	39	89,43	20	90,29	20	94,54
KASIM	37	92,26	19	92,24	19	92,64
ARALIK	38	92,42	21	92,25	22	91,67
ORTALAMA	35,41	91,11	16,33	92,68	15,58	94,11

Çizelge 3.6 incelendiğinde ilgili yönetmelikte verilen sınır değerlerin sadece bir kez (2008 Yılı - Zn değeri) aşıldığı görülmektedir. Onun dışında diğer ağır metallerin arıtma çamurundaki bulunma değerlerinde ilgili sınır değerler açısından bir sorun gözükmemektedir. Çizelge 3.6'daki değerler dışında, ÇŞB tarafından 2015 yılında tamamlanan “Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi” kapsamında Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi çamur susuzlaştırma ünitesi çıkışından yaz ve kış dönemi olmak üzere alınan çamur keki numuneleri alınmıştır. Alınan numunelere ait sonuçlar Çizelge 3.7 'de sunulmuştur (Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, ÇŞB, 2015).

Çizelge 3.7 'deki değerler incelendiğinde Çizelge 3.6'da yer alan sonuçlarla paralellik gösterdiği görülmektedir. Çizelge 3.6'ya ek olarak Cd parametresinde yönetmelikte belirtilen sınır değenlere yaklaştığı, Zn parametresinde de sınır değerleri bir defa ihlal ettiği göze çarpmaktadır. Elde edilen veriler ağır metal konusunda arıtma çamurunun çok ciddi risk altında olmadığı görülmüştür.

Çizelge 3.6: AAT susuzlaştırılmış çamurda ölçülmüş ağır metaller.

Analiz Yapılan Dönem	2002 YILI	2003 YILI	2004 YILI	2005 YILI	2008 YILI	2011 YILI	2013 YILI	03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik
Ağır Metaller	(mg/kg KM)	(mg/kg KM)	(mg/kg KM)	(mg/kg KM)	(mg/kg KM)	(mg/l)	(mg/l)	EK 1-B: Toprakta Kullanılabilecek Stabilize Arıtma Çamurunda Müsaade Edilebilecek Maksimum Ağır Metal Muhtevaları
Bakır (Cu)	209,4	166,6	185,5	113,4	187,9	0,108	< 0,03	1.000(mg/kg fırın kuru toprak)
Krom (Cr)	117,8	157,5	216,0	232,8	249,6	0,22	0,02 ± 0,001	1.000(mg/kg fırın kuru toprak)
Çinko (Zn)	215,9	2077,0	1887,0	236,8	2.520	0,014	0,17 ± 0,01	2.500(mg/kg fırın kuru toprak)
Kadmiyum (Cd)	11,2	2,7	2,6	6,9	3,9	0,002	-	10(mg/kg fırın kuru toprak)
Kurşun (Pb)	132,1	116,3	82,7	113,2	37,2	0,024	< 0,02	750(mg/kg fırın kuru toprak)
Nikel (Ni)	64,2	136,9	93,5	61,6	53,3	0,08	< 0,02	300(mg/kg fırın kuru toprak)
Cıva (Hg)	0,7	1,5	3,8	2,4	1,27	0,0016	-	10(mg/kg fırın kuru toprak)

Çizelge 3.7: AAT susuzlaştırılmış çamur ağır metal seviyeleri.

TATLAR Atıksu Arıtma Tesisi ÇŞB - “Eysel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi (2015)”			03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete ’de yayımlanan “Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik
Ağır Metaller	Kış Dönemi Alınan Numune Değerleri (mg/kg)	Yaz Dönemi Alınan Numune Değerleri (mg/kg)	EK 1-B: Toprakta Kullanılabilecek Stabilize Arıtma Çamurunda Müsaade Edilebilecek Maksimum Ağır Metal Muhtevaları
Bakır (Cu)	219,4 ± 1,75	311,6 ± 5,8	1.000(mg/kg fırın kuru toprak)
Krom (Cr)	222,56 ± 0,53	372,1 ± 2,4	1.000(mg/kg fırın kuru toprak)
Çinko (Zn)	1932 ± 3,3	2418 ± 23,7	2.500(mg/kg fırın kuru toprak)
Kadmiyum (Cd)	5,7 ± 0,07	9,5 ± 0,04	10(mg/kg fırın kuru toprak)
Kurşun (Pb)	72,76 ± 0,04	92,6 ± 0,4	750(mg/kg fırın kuru toprak)
Nikel (Ni)	73,62 ± 0,08	141,5 ± 1,2	300(mg/kg fırın kuru toprak)
Cıva (Hg)	< 1	< 1	10(mg/kg fırın kuru toprak)

3.3 Pilot Ölçekli Hibrit Çamur Kurutma Sistemi Tasarımı

Tatlar atıksu arıtma tesisi çamur arıtımının yapıldığı son nokta olan çamur susuzlaştırma istasyonundan çamur numuneleri alınmış ve pilot ölçekli hibrit çamur kurutma sisteminde denenmiştir. Susuzlaştırma öncesi stabilize olmuş arıtma çamurları çamur susuzlaştırma istasyonunda ortalama % 26-30 KM oranına kadar susuzlaştırılmaktadır. Yani aynı niteliğe sahip bir ton arıtma çamurunda 700 ile 740 kg su bulunması anlamına gelmektedir. Susuzlaştırma işlemi tamamlanan özümlemiş çamur, depo sahalarına gönderilmektedir.

Arıtma çamurlarında solar kurutma sistemlerinin kullanımının çıkış kaynağı olarak, önceki yıllarda kullanılan üzeri açık yapıdaki çamur kurutma yatakları gösterilebilir. Solar çamur kurutma sistemleri çamur içindeki suyun % 70’ine kadar suyu rahatlıkla buharlaştırabilmektedir. Kurutma verimi iklim koşullarına bağlı değişkenlikleri gösterdiği söz konusu sistemde, bunu en aza indirmek amacıyla kurutma sisteminin hibrit tipte olması gerektiği düşünüldü. Bu kapsamda kurutma oranının % 90

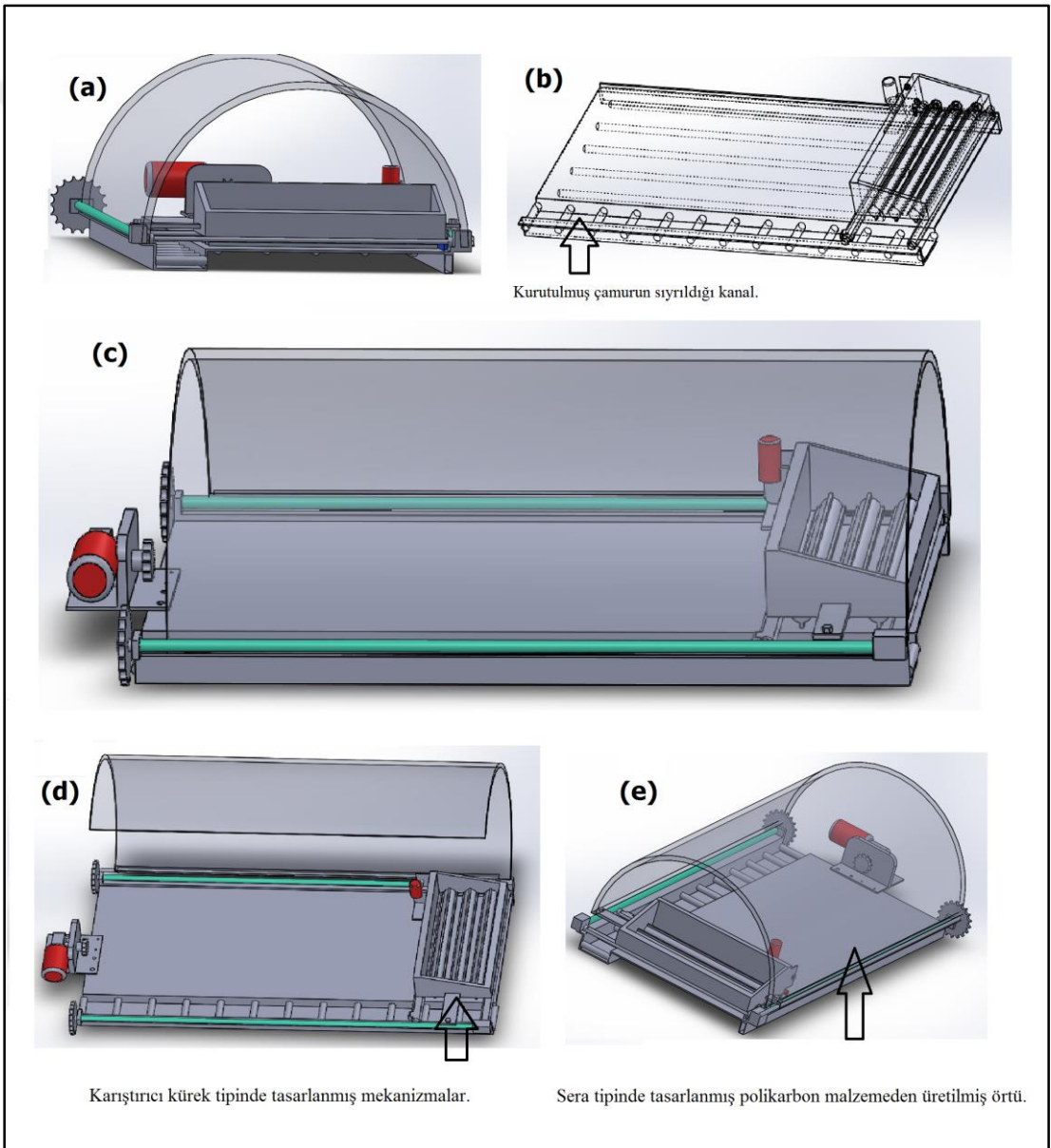
seviyesinin üzerine çıkarmak amacıyla örnek kurutucumuzda solar radyasyon kaynağı yanında bir de termal kurutma kaynağı (elektrik enerjisi) tesis edilmiştir. Bu kapsamda çamur kurutma alanının altına toplam 5 adet 550 Wh gücünde rezistanslar Şekil 3.8’de “b” isimli çizimde gösterilmiştir. Rezistanslar kurutma alanının altına döşenmiştir. Rezistanslar yardımıyla ısınan kurutucu tabla da arıtma çamurumuzu kurutmaktadır. Kurutucumuz doğrudan rezistans yardımıyla ısınmış olan yüzey tabla ile temas etmek suretiyle çamur kurutma işlemini gerçekleştirmektedir. Arıtma çamuru direkt olarak yüksek ısıya maruz bırakılmıştır.

Pilot ölçekli çamur kurutma sistemi, termal kaynak olarak elektrik enerjisi ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak da anlık solar radyasyonlar vasıtasıyla serimi yapılmış olan arıtma çamurunu kurutacak yapıda tasarlanmıştır. Bu sayede atık çamur miktarında 4 kata yakın bir azaltımı güvenli bir biçimde sağlanmış olacaktır. Ayrıca elde edilen kurmuş arıtma çamuru kolaylıkla idare edilebilir veya depolanabilir kıvamda olacaktır.

Kurutucumuz, çamur serimi ve kurutma alanı olarak 60 × 120 cm boyutlarında tasarlanmıştır. Kurutucu üzerinde yan yana tasarlanmış karıştırıcı kürek tipinde tasarlanmış mekanizmalar (Şekil 3.8 – d) mevcuttur. Karıştırıcıların iki ayrı işlevi yerine getirmekte ve bu sebeple her biri çift yönlü hareket (hem yatay hem de dikey eksenel yönde) yapmaktadır. İlki, çamurun havalanması, parçalanması ve kuru ile yaş çamurun homojen karışımı için alt-üst edilme işlemidir. Bununla beraber karıştırıcı mekanizma kurutma alanında ileriye ve geriye hareket yaparak kurutma alanında çamurun eşit ve düzgün dağılımını sağlamak ve ideal bir çamur yatağı oluşturulması sağlanmıştır. Karıştırıcı hızlarında ihtiyaca binaen değişiklik yapılmış ve çamur kurutma süresinde de önemli miktarda azalma meydana gelmiştir.

Solar radyasyonun da çamur kurutma işleminde kullanılmasının temel gereği olarak kurutucu çevresi ve üzeri sera tipte hazırlanmıştır. Kaplama malzemesi olarak güneş ışınlarını rahatlıkla geçirebilen polikarbon malzeme (Şekil 3.8 – e) kullanılmıştır. Söz konusu malzeme ısı kaybını en aza indiren, suya karşı dayanıklı bir üründür. Isı yalıtım oranı oldukça yüksek olan malzemenin ısı izolasyonu da oldukça yüksektir. Kurutucu içerisinde ortam sıcaklığını ve çamur kurutma alanının taban sıcaklığını ölçen termometreler yardımıyla da pilot sistemin sıcaklıkları kontrol altında tutulmuştur.

Kurutma sonucu elde edilen çamurların tek boyutta granül hale getirilmesi amacıyla serim işlemlerini yapan karıştırıcı kürek mekanizmaları, kurutucu alan üzerinde ileri geri sürekli hareket ederek hem arıtma çamurunun kuruma hızını arttırmakta, hem de kuruyan çamurun parçalanmasını da sağlamaktadır. Yeterli kuruluğa ulaşmış olan arıtma çamurumuz karıştırıcı küreklerin altına konumlandırılmış olan sıyrıcı yardımıyla Şekil 3.8 – b ‘de görülen ‘kurumuş çamur kanalına’ kurumuş çamur boşaltılmaktadır. Sıyrıcı sistemi karıştırıcı mekanizmanın hareketine dik yönde hareket yapmaktadır. Şekil 3.9’da pilot ölçekli çamur kurutma sistemimiz montajlanmış gerçek görüntüleri ve kurutma anlarına ait fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 3.8: Pilot ölçekli hibrit çamur kurutma sistemi program çizimi.



Şekil 3.9: Pilot ölçekli hibrit çamur kurutma sistemi.

Şekil 3.9'a baktığımızda, (A) ile isimlendirmeli resimde sistemimizin karıştırıcı – kürek mekanizması görülmektedir. Söz konusu mekanizma kurutma alanı boyunca belli aralıklarla hem yeni çamur serme işlevi görmekte hem de kuruma halinde olan çamurun karıştırılmasını sağlamaktadır. Bu durumuna da kurutucu alan üzerinde yan kısımlara konumlandırılmış tekerler yardımıyla miller üzerinde gerçekleştirmektedir. Söz konusu hareket çamurun serilmiş olduğu alan üzerinde; çamur serilme sınırlarında baştanbaşa olmak üzere, ileriye ve geriye olacak şekilde tekrarlanmaktadır.

Çamur sıyrıcı sistemimiz de söz konusu karıştırıcı – kürek mekanizmasının altına konumlandırılmış olup, yeterli kuruluğa ulaşan çamurun, kurutucu yüzey kenarına konumlandırılmış kanala taşınımını sağlamaktadır.

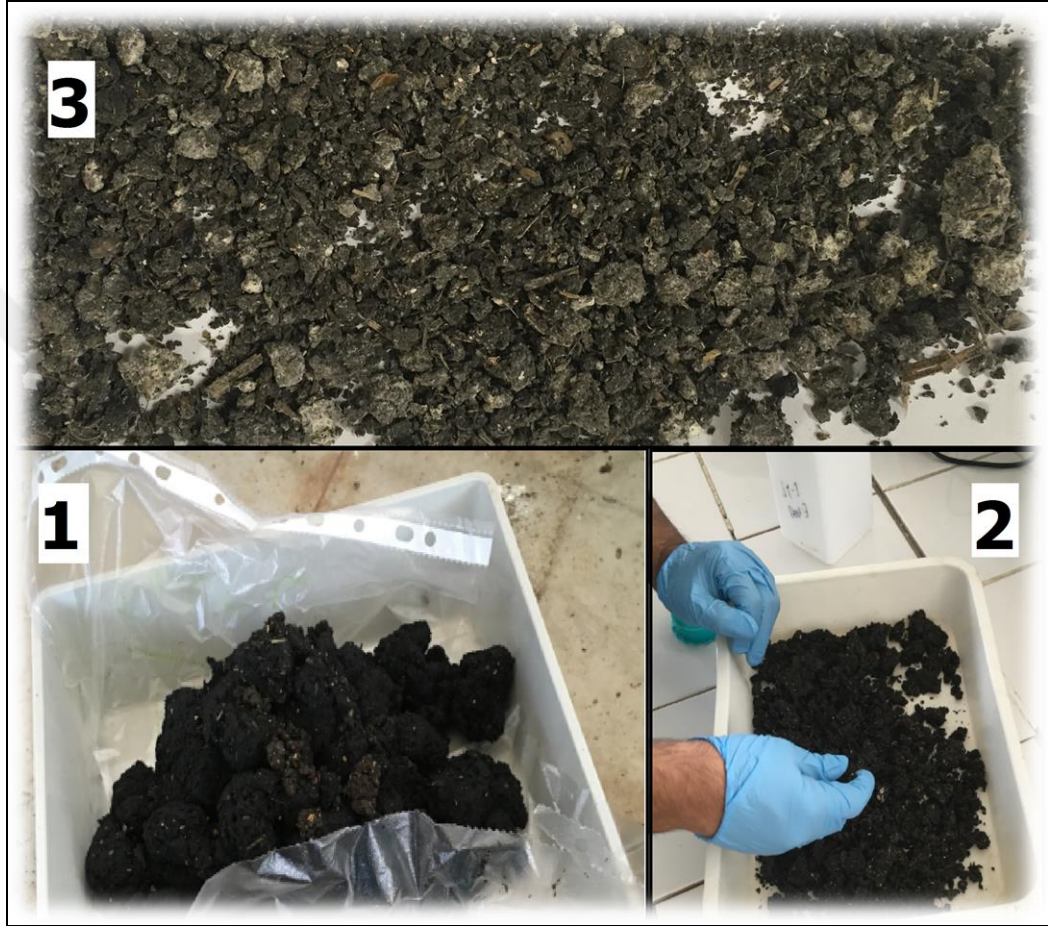
Şekil 3.9'a baktığımızda, (C ve F) ile isimlendirmeli resimlerde ise arıtma çamurunun kurutucuya serilmiş ve kurutma anındaki görüntüsü görülmektedir. Çamur kurutma sistemimiz termal kaynak noktasında elektrik enerjisi kullanabilen bir yapıdadır.

Şekil 3.9 - (E) isimli resimde de görüleceği üzere kurutucu alanın alt kısmına montajlanmış olan 5 adet elektrikli rezistanslar görülmektedir. Yine aynı resimde kuruma anında ısınin etkisiyle arıtma çamurlarından yükselen buharlar da görülmektedir. Kurutma çalışması yapılırken çamur serme kalınlığı 4 cm olarak uygulanmıştır. Bunun sebebi olarak tesisimizin küçük boyutlu ve kapasiteli olması sebebiyle, kurutma sistemimizdeki karıştırıcı – kürek mekanizması baz alınarak söz konusu yükseklik optimum olarak belirlenmiştir. Daha az hacimli çamur serildiğinde ise (serme yüksekliği 4 cm geçmeyecek şekilde) kuruma hızının normal zamana göre arttığı, enerji tüketiminin de azaldığı görülmüştür.

Sonuçta yaklaşık % 90 ve üzerindeki kuruluğa çıkarmış olduğum olan arıtma çamuru analiz edilmek üzere tek tipte granül (Şekil 3.10 – 2 ve 3) haline getirilmiştir. Granül halinde elde edilen arıtma çamurlarının nem tayinleri ile organik - inorganik madde (%) tayinleri yapılmıştır.

Arıtma çamurunun tesis dekantör çıkışından alınıp, kurutucuda kurutma işlemine tabi tutulması süreci ve kurutulmuş çamurların analizlerinin yapılması hususlarını içeren görseller Şekil 3.10'da sunulmuştur. Şekil 3.10 – 1 ile gösterilen resimde kurutma çalışması yapılmak üzere santrifüj dekantör çıkışından alınan susuzlaştırılmış arıtma çamuru numunesi görülmektedir.

Arıtma çamurlarının kurtulması sonrası laboratuvar analizleri yapmak üzere kurutucudan alınan arıtma çamuru örnekleri Şekil 3.10 - 2’de yer alan resimde görüldüğü üzere analiz yapılmak üzere hazırlanmıştır. Pilot ölçekli kurutucumuzda kurutma işlemine tabi tutulmuş arıtma çamurunun (en az % 90 KM) zaman geçtikçe toprak vb. bir görünüme kavuşmuştur (Şekil 3.10 – 3).



Şekil 3.10: Kurutulmuş çamur örnekleri.

3.3.1 Arıtma çamuru kurutma çalışmaları ve sonuçlar

Pilot ölçekli hibrit çamur kurutma sistemimizde çamur kurutma çalışması yapılmadan önce örnekleme olarak kullanacağımız arıtma çamuruna ait kuru madde, organik madde, inorganik madde yüzde değerleri analiz sonuçlarının dönemsel ortalamaları (üç aylık ortalamaları) Çizelge 3.8’e işlenmiştir.

Çizelge 3.8’de ham çamur (ön + fazla) diye adlandırılan arıtma çamurları, anaerobik stabilizasyona uğramamış arıtma çamurlarını ifade etmektedir. Tesisin, ön çökeltim havuzlarından alınan çamur ön çamur; biyolojik havuzlardan alınan çamur ise fazla

çamur olarak isimlendirilmiştir. Tesiste oluşan ön ve fazla çamurlar anaerobik stabilizasyon işlemi öncesi, çamurların istenilen % KM oranına ulaşması amacıyla “ham çamur yoğunlaştırma havuzlarına” karışık bir şekilde alınmakta ve yoğunlaşması beklenmektedir. Çizelge 3.8’e ait verilerin tamamı ekler bölümünde sunulmuştur.

Çizelge 3.8: AAT çamur ve çıkış atıksuyu analiz değerleri.

Aritma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Ocak – Şubat – Mart 2017 Dönemi				
Kuru Madde Oranları (% KM)	3,57	3,93	25,9	-
Organik Madde Miktarı (%)	66,1	47,6	42,8	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	33,9	52,4	57,2	-
pH Değerleri	7,91	7,33	8,21	8,03
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1330
Aritma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Nisan – Mayıs - Haziran 2017 Dönemi				
Kuru Madde Oranları (% KM)	4,19	3,09	28,2	-
Organik Madde Miktarı (%)	67,2	46,4	47,3	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	32,8	53,4	52,7	-
pH Değerleri	7,88	7,46	8,18	7,93
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1214
Aritma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Temmuz – Ağustos – Eylül 2017 Dönemi				
Kuru Madde Oranları (% KM)	3,03	3,11	26,7	-
Organik Madde Miktarı (%)	63,2	48,2	50,5	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	36,8	51,8	49,5	-
pH Değerleri	8,15	7,54	8,47	7,89
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1105
Aritma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Ekim - Kasım - Aralık 2017 Dönemi				
Kuru Madde Oranları (% KM)	4,09	2,74	27,1	-
Organik Madde Miktarı (%)	68,4	51,9	51,0	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	31,6	48,1	49,0	-
pH Değerleri	8,07	7,41	8,30	7,98
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1255

Hibrit ölçekli çamur kurutma sistemimizde kurutma çalışması için atıksu arıtma tesisinde anaerobik çürütme sonrası, çürütücülerden çıkışı yapılan özümlemiş arıtma çamurlarının bir sonraki aşaması olan susuzlaştırma ünitesinde katyonik nitelikli polielektrolit ile santrifüj dekantörler vasıtasıyla susuzlaştırılmış arıtma çamurları kullanılmıştır.

Çizelge 3.8'e incelendiğinde tesisin farklı farklı ünitelerinden numunesi alınan çamurlardan ham çamurun (özümlememiş arıtma çamuru) tüm yıl bazında % 3,72 KM oranına sahip olduğu görülmektedir. Bununla beraber ham çamurun pH seviyelerinin 8,00'lık bir yıllık ortalama değere sahip olduğu görülmüştür. Yine ham çamurun organik madde içeriğinin % 66,25 oranına sahip olduğu görülmüştür.

Anaerobik özümleme öncesi ham çamurun organik içeriğinin yüksek olması, iyi miktarda özümleme olabileceğini ve biyogaz üretiminin de yüksekliği konusunda bize bilgi sunmaktadır.

Özümlemiş çamurlarda bakıldığında ham çamura göre organik içeriğinin düştüğü (yıllık ortalama % 48,4) görmekteyiz. Söz konusu durum da arıtma çamurunun özümlemesi sonucu ortaya çıkmış doğal bir sonuçtur. Özümlemmeden önceki arıtma çamurlarının, özümlenme faaliyetiyle pH değerinin nötr ortalamaya yaklaştığını görmekteyiz.

Özümlemiş çamurlar ile susuzlaştırılmış çamurlar arasındaki organik madde değişimlerine bakıldığında; organik madde düşmesinin sebebi olarak, anaerobik stabilizasyon işlemi sonrası özümlemiş çamur yoğunlaştırma havuzlarında istenilen % KM oranı için bekleme sırasında havuz içerisindeki bakterin organik maddeyi kullanmaya devam ettiği yorumunu yapabilmekteyiz. Bu sebeple çamur yoğunlaştırma havuzlarında bekleme süresinin iyi ayarlanması gerekmektedir. Organik madde miktarındaki değişim arıtma çamurlarının bertaraf şekli için önem arz etmektedir.

Çizelge 3.8'de yer alan analizler, Çizelge 3.9'da yer alan deney metotları ile sonuçlandırılmış ve tabloya işlenmesi yapılmıştır.

Çizelge 3.9'da yer alan deney metotları ile analizleri yapılan arıtma çamurlarının analiz sonuçları ünite bazında ve yapılan analiz çeşidine göre Çizelge 3. 8'de yer alan susuzlaştırılmış arıtma çamuru sonuç değerlerinin yıl boyunca görünümünü ve özeti Çizelge 3.10'da yer alan grafikte verilmiştir.

Çizelge 3.9: Çamur ve atıksu analizlerinde kullanılan deney metotları.

DENEY	Deney Metodu
Katıdan Özütleme Analizi (Numune Hazırlama)	TS EN 12457-4/Ocak 2004
pH	TS 3263 ISO 10523 – Nisan 1999
Elektriksel İletkenlik (EC)*	TS 9748 EN 27888 – Nisan 1996
Organik Madde Miktarı	SM 2540 E
Kuru Madde Miktarı	SM 2540 G
Toplam Organik Karbon (TOK)	TS 12089 EN 13137
Toplam Fosfor (TP)	SM 4500-PB / SM 4500-PC
Toplam Azot (TN)	TS 8337 ISO 11261

* İlgili analiz çıkış atık suyunda yapılmıştır.

Susuzlaştırılmış olan arıtma çamurunun pilot ölçekli kurutma sisteminde kurutularak (arıtma çamurunun ortalama yaklaşık % 90 ve üzeri kuru madde oranına kadar kurutulması sonucu) elde edilen analiz değerleri; ilkbahar dönemi adına Çizelge 3.10’da, yaz dönemi adına Çizelge 3.11’de, sonbahar dönemi adına Çizelge 3.12’de ve kış dönemi adına da 3.13 içerisinde gösterilmiştir. Çamur kurutma işlemi hem solar radyasyon kaynağı (güneş) hem de termal kurutma kaynağı (elektrik enerjisi) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurutma sonrası çamur numunelerinin laboratuvarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile bu çalışmalarda kullanılan metotlar Çizelge 3.9’da yer almaktadır. Atıksu arıtma tesisi çıkışı olan ve dekantör santrifüj vasıtasıyla susuzlaştırılmış olan arıtma çamurundan yıl içerisinde aylık 3’er adet alınan numuneler pilot ölçekli çamur kurutma tesisimizde kurutulmuştur. Söz konusu kurutulmuş çamur örneklerine ait mevsimsel bazdaki 3 aylık (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış için ayrı ayrı 9’ar numunenin) ortalamaları aşağıdaki Çizelge 3.10, 3.11, 3.12 ve 3.13’e nihai olarak işlenmiştir.

Çizelge 3.10: AAT çamur kurutma çalışmaları ilkbahar dönem sonuçları.

ARITMA ÇAMURU TİPLERİ	Susuzlaştırılmış Çamur (SÇ) Değerleri	Kurutulmuş Çamur (KÇ) Değerleri
İlkbahar Dönemi		
Kuru Madde Oranları (% KM)	24,37	91,53
Organik Madde Miktarı (% OM)	54,32	53,70
İnorganik Madde Miktarı (% İOM)	45,68	46,30
Toplam Organik Karbon (% TOK)	7,43	-
Toplam Azot (% TN)	1,72	-
Toplam Fosfor (% TP)	1,38	-

İlkbahar dönemi (Çizelge 3.10) elde edilen sonuçlar incelendiğinde susuzlaştırılmış arıtma çamuru kurutma öncesi yapılan analizde % KM oranının 24,37 olduğu görülmektedir. Kurutma faaliyeti sonrası arıtma çamurumuz % KM oranı 91,53'e çıkmıştır. Bu durumda arıtma çamurunda yaklaşık 3,75 kat oranında hacim azalması meydana gelmiştir. Yine aynı çalışma sırasında elde edilen sonuca göre ilkbahar döneminde arıtma çamurlarının toplam organik madde ortalamalarında ciddi bir değişiklik olmadığı görülmüştür. İlkbahar döneminde arıtma çamuru numunelerinin toplam azot (TN) sonucuna bakıldığında % 1,72'lik bir değer ortalaması elde edilmiştir. Bununla beraber toplam fosfor (TP) oranı ise % 1,38 olarak gerçekleşmiştir. Toplam organik karbon (TOK) içeriğinde ise % 7,43 düzeyinde bir sonuca ulaşılmıştır.

Çizelge 3.11: AAT çamur kurutma çalışmaları yaz dönem sonuçları.

ARITMA ÇAMURU TİPLERİ	Susuzlaştırılmış Çamur (SÇ) Değerleri	Kurutulmuş Çamur (KÇ) Değerleri
Yaz Dönemi		
Kuru Madde Oranları (% <i>KM</i>)	26,18	95,87
Organik Madde Miktarı (% <i>OM</i>)	49,45	48,74
İnorganik Madde Miktarı (% <i>İOM</i>)	50,55	51,26
Toplam Organik Karbon (% <i>TOK</i>)	8,10	-
Toplam Azot (% <i>TN</i>)	2,61	-
Toplam Fosfor (% <i>TP</i>)	1,09	-

Yaz dönemi elde edilen Çizelge 3.11'de yer alan sonuçlar incelendiğinde susuzlaştırılmış arıtma çamuru kurutma öncesi yapılan analizde % KM oranının 26,18 olduğu görülmektedir. Kurutma faaliyeti sonrası arıtma çamurumuz % KM oranı 95,87'ye çıkmıştır. Bu durumda arıtma çamurunda yaklaşık 3,66 kat oranında hacim azalması meydana gelmiştir. Yine aynı çalışma sırasında elde edilen sonuca göre ilkbahar döneminde arıtma çamurlarının toplam organik madde ortalamalarında ciddi bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

Yaz döneminde arıtma çamuru numunelerinin toplam azot (TN) sonucuna bakıldığında % 2,61'lik bir değer ortalaması elde edilmiştir. Bununla beraber toplam fosfor (TP) oranı ise % 1,09 olarak gerçekleşmiştir. Toplam organik karbon (TOK) içeriğinde ise % 8,10 düzeyinde bir sonuca ulaşılmıştır. İlkbahar döneminde göre TOK (% 7,43'ten % 8,10'a) ve TN (% 1,72'den % 2,61'e) içeriklerinde bir yükselme olduğu görülmektedir. Bunun yanında arıtma çamurunun TP içeriğinde ise ilkbahar dönemine göre düşüş (% 1,38'den % 1,09'a) gözlenmiştir.

Çizelge 3.12: AAT çamur kurutma çalışmaları sonbahar dönem sonuçları.

ARITMA ÇAMURU TİPLERİ	Susuzlaştırılmış Çamur (SÇ) Değerleri	Kurutulmuş Çamur (KÇ) Değerleri
Sonbahar Dönemi		
Kuru Madde Oranları (% <i>KM</i>)	28,05	88,32
Organik Madde Miktarı (% <i>OM</i>)	53,35	52,41
İnorganik Madde Miktarı (% <i>İOM</i>)	46,65	47,59
Toplam Organik Karbon (% <i>TOK</i>)	7,82	-
Toplam Azot (% <i>TN</i>)	1,93	-
Toplam Fosfor (% <i>TP</i>)	1,27	-

Çizelge 3.12’de yer alan ve sonbahar döneminde elde edilen sonuçlar incelendiğinde susuzlaştırılmış arıtma çamuru kurutma öncesi yapılan analizde % KM oranının 28,05 olduğu görülmektedir. Kurutma faaliyeti sonrası arıtma çamurumuz % KM oranı 88,32’ye çıkmıştır. Bu durumda arıtma çamurunda yaklaşık 3,15 katı oranında hacim azalması meydana gelmiştir. Yine aynı çalışma sırasında elde edilen sonuca göre sonbahar döneminde arıtma çamurlarının toplam organik madde ortalamalarında ciddi bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Sonbahar döneminde arıtma çamuru numunelerinin toplam azot (TN) sonucuna bakıldığında % 1,93’lük bir değer ortalaması elde edilmiştir. Bununla beraber toplam fosfor (TP) oranı ise % 1,20 olarak gerçekleşmiştir. Toplam organik karbon (TOK) içeriğinde ise % 7,82 düzeyinde bir sonuca ulaşılmıştır. Yaz döneminde göre TOK (% 8,10’dan % 7,82’ye) ve TN (% 2,61’den % 1,93’e) içeriklerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Bunun yanında arıtma çamurunun TP içeriğinde ise yaz dönemine göre yükselme (% 1,09’dan % 1,27’ye) gözlenmiştir.

Çizelge 3.13: AAT çamur kurutma çalışmaları kış dönem sonuçları.

ARITMA ÇAMURU TİPLERİ	Susuzlaştırılmış Çamur (SÇ) Değerleri	Kurutulmuş Çamur (KÇ) Değerleri
Kış Dönemi		
Kuru Madde Oranları (% <i>KM</i>)	25,73	90,06
Organik Madde Miktarı (% <i>OM</i>)	48,76	49,48
İnorganik Madde Miktarı (% <i>İOM</i>)	51,24	50,52
Toplam Organik Karbon (% <i>TOK</i>)	7,36	-
Toplam Azot (% <i>TN</i>)	1,76	-
Toplam Fosfor (% <i>TP</i>)	1,65	-

Kış döneminde ise elde edilen Çizelge 3.13’teki sonuçlar incelendiğinde susuzlaştırılmış arıtma çamuru kurutma öncesi yapılan analizde % KM oranının 25,73 olduğu görülmektedir. Kurutma faaliyeti sonrası arıtma çamurumuz % KM oranı

90,06'ya çıkmıştır. Bu durumda arıtma çamurunda yaklaşık 3,50 katı oranında hacim azalması meydana gelmiştir. Yine aynı çalışma sırasında elde edilen sonuca göre kış döneminde arıtma çamurlarının toplam organik madde ortalamalarında ciddi bir değişiklik olmadığı görülmekle birlikte bir miktar artış (% 48,76'dan % 49,48'e) meydana gelmiştir. Kış döneminde arıtma çamuru numunelerinin toplam azot (TN) sonucuna bakıldığında % 1,76'lık bir değer ortalaması elde edilmiştir. Bununla beraber toplam fosfor (TP) oranı ise % 1,65 olarak gerçekleşmiştir. Toplam organik karbon (TOK) içeriğinde ise % 7,36 düzeyinde bir sonuca ulaşılmıştır. Sonbahar dönemine göre TOK (% 7,82'den % 7,36'ya) ve TN (% 1,93'ten % 1,76'ya) içeriklerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Bunun yanında arıtma çamurunun TP içeriğinde ise yaz dönemine göre yükselme (% 1,27'den % 1,65'e) gözlenmiştir.

Atıksu arıtma tesisinde çamur kurutma çalışmaları sonrası yapılan analizlerin yıllık ortalaması alınarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.14'e aktarılmıştır.

Çizelge 3.14: AAT çamur susuzlaştırma ve kurutma çalışma sonuçları.

ARITMA ÇAMURU TİPLERİ	Susuzlaştırılmış Çamur (SÇ) Değerleri	Kurutulmuş Çamur (KÇ) Değerleri
Yıllık Ortalama		
Kuru Madde Oranları (% <i>KM</i>)	26,08	91,45
Organik Madde Miktarı (% <i>OM</i>)	51,47	51,08
İnorganik Madde Miktarı (% <i>İOM</i>)	48,53	48,92
Toplam Organik Karbon (% <i>TOK</i>)	7,69	-
Toplam Azot (% <i>TN</i>)	2,005	-
Toplam Fosfor (% <i>TP</i>)	1,35	-

Yıllık bazda ise elde edilen Çizelge 3.14'teki sonuçlar incelendiğinde susuzlaştırılmış arıtma çamuru kurutma öncesi yapılan analizde yıllık % KM oranının 26,08 olduğu görülmektedir. Kurutma faaliyeti sonrası arıtma çamurumuz % KM oranı 91,45 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda arıtma çamurunda yıllık bazda yaklaşık 3,51 katı oranında hacim azalması meydana gelmiştir.

Yıllık bazda toplam azot (TN) sonucuna bakıldığında % 2,00'lik bir değer ortalaması elde edildiği görülmektedir.

Bununla beraber toplam fosfor (TP) oranı ise % 1,35 olarak gerçekleşmiştir. Toplam organik karbon (TOK) içeriğinde ise % 7,69 düzeyinde bir sonuca ulaşılmıştır.

Atıksu arıtma tesisinde çamur kurutma çalışmaları sonrası yaz ve kış dönemi olarak arıtma çamurları için aşağıdaki Çizelge 3.15'te yer alan analizler de yapılmıştır. Söz konusu analizlerde % su muhtevası, % organik madde miktarı, kalorifik değer, TOK, Cl, N ve P analizleri yapılmıştır.

Çizelge 3.15: Kurutulmuş çamurda elde edilen analiz sonuçları.

	Su Muhtevası (%)	Organik Madde, % KM	Kalorifik Değer, kcal/kg km	TOK, % KM	Cl, ppm	Çözünabilir N, ppm km	Çözünabilir P, ppm km
Yaz ve Kış Dönemi Ortalamaları							
YAZ	7,31	49,9	2579	28,51	1279,6	797	264
KIŞ	6,79	55,21	3073	33,24	6757,9	1923	326

Çizelge 3.15'te yaz dönemine bakıldığında, kurutulmuş çamur % 92,69'luk bir kuru madde oranına ulaşmıştır. Söz konusu döneme ait organik madde miktarı ise % 49,9 seviyelerindedir. Anaerobik anlamda çürütülmüş bir arıtma çamuru için oldukça iyi bir değer olarak kabul edilebilir. Anaerobik çürütücüde işlem görmüş akabinde susuzlaştırılmış ve nihayetinde hibrit çamur kurutma sistemimizde kurutuş arıtma çamurunun kalorifik değeri 2579 kcal/kg km olarak ölçülmüştür. Yine diğer analiz sonuçlarına bakıldığında ise; toplam organik karbon % 28,51 km olarak ölçülmüş, çözünabilir azot 797 ppm, çözünabilir fosfor ise 264 ppm bulunmuştur.

Çizelge 3.15'te kış dönemine bakıldığında, kurutulmuş çamur % 93,21'lik bir kuru madde oranına ulaşmıştır. Söz konusu döneme ait organik madde miktarı ise % 55,21 seviyelerindedir. Anaerobik anlamda çürütülmüş bir arıtma çamuru için oldukça iyi bir değer olarak kabul edilebilir. Anaerobik çürütücüde işlem görmüş akabinde susuzlaştırılmış ve nihayetinde hibrit çamur kurutma sistemimizde kurutuş arıtma çamurunun kalorifik değeri 3073 kcal/kg km olarak ölçülmüştür. Yine diğer analiz sonuçlarına bakıldığında ise; toplam organik karbon % 33,24 km olarak ölçülmüş, çözünabilir azot 1923 ppm, çözünabilir fosfor ise 326 ppm bulunmuştur.

Atıksu arıtma tesisinde çamur kurutma çalışmaları sonrası yaz ve kış dönemi olarak kurutulmuş arıtma çamurları için aşağıdaki Çizelge 3.16'da yer alan ağır metal analizleri yapılmıştır. Söz konusu analizlerde Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Co ve Mo yer almıştır.

Çizelge 3.16: Kurutulmuş çamurda elde edilen ağır metal miktarları.

	Al (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Mo (ppm)
YAZ	15126	0	0	237	232	12380	377,6	0	167,46	1305	0	0
KIŞ	14084	0	0	185,26	147,12	12538	384,2	0	145,62	1725,2	0	0

Çizelge 3.16'ya baktığımızda, her iki dönem için de (yaz ve kış) arsenik As, Cd, Zn, Co arıtma çamuru içerisinde içerik olarak görülmemişlerdir. Dördü de 0 mg/kg veya 0 ppm olarak sonuçlanmışlardır.

Yaz dönemi adına baktığımızda; Al: 15126 ppm, Cr: 237 ppm, Cu: 232 ppm, Fe: 12380 ppm, Mn: 377,6 ppm, Pb: 167,46 ppm ve Zn: 1305 ppm olarak bulunmuştur. Kış dönemine bakıldığında ise; Al: 14084 ppm, Cr: 185,26 ppm, Cu: 147,12 ppm, Fe: 12538 ppm, Mn: 384,2 ppm, Pb: 145,62 ppm ve Zn: 1725,2 ppm olarak bulunmuştur.

Sonuçlar incelendiğinde Al, Cr, Cu ve Pb yaz dönemine göre düşüş gösterirken; Fe, Mn ve Zn ise yaz dönemine göre artış gösteren ağır metaller olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 3.16 incelendiğinde Al ile Fe ağır metallerinin yüksekliği gözümüze çarpmaktadır. Söz konusu ağır metaller toprak elementleri diye adlandırılmaktadır ve toprak kaynaklı olarak artma çamurunda yüksek birikim olduğu düşünülmektedir. Yani tesise gelen atıksuya bilhassa yağış dönemlerinde yüzey yıkanması ile beraber kanalizasyona karışan yağmur suyunun etkisinden bahsedilebilmektedir.

Atıksu arıtma tesisinde Ankara ili kaynaklı evsel atıksuları fiziksel ve biyolojik olarak arıtmaya tabi tutulmaktadır. Tesiste kimyasal arıtım mevcut değildir. Buna rağmen Al ve Fe toprak grubu ağır metallerin yüksek çıkma sebebi olarak tesiste arıtım sırasında, belli oranlarda belli aralıklarla kullanılan bir kimyasalın (Al ve Fe içerikli) varlığından kaynaklandığı düşünülebilir.

Arıtma çamurunun tarımsal kullanımı için ABD Çevre Ajansının “Part 503” Yönetmeliği, Avrupa Birliği Direktifi (86/278/EEC) gibi işlev gören “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” te EK 1-B bölümünde toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal muhtevaları ile yaptığımız analizler sonucu elde ettiğimiz ağır metal analiz sonuçlarının değerlendirmesi için Çizelge 3.17’de karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 3.17: Kurutulmuş çamurdaki ağır metal miktarlarının kıyaslanması.

Parametreler	ABD (mg/kg km)	AB (mg/kg km)	TÜRKİYE* (mg/kg km)	Sonuçlar	
				Yaz	Kış
Arsenik (As)	41	-	-	0	0
Kadmiyum (Cd)	39	20 – 40	10	0	0
Krom (Cr)	-	-	1000	237	185,26
Bakır (Cu)	1500	1000 - 1750	1000	232	147,12
Manganez (Mn)	-	-	-	377,6	384,2
Nikel (Ni)	420	300 - 400	300	0	0
Kurşun (Pb)	300	750 - 1200	750	167,46	145,62
Selenyum (Se)	100	-	-	-	-
Çinko (Zn)	2800	2500 - 4000	2500	1305	1725,2

Çizelge 3.17’ye bakıldığında, elde ettiğimiz ağır metal muhtevalarına göre hem yaz hem de kış dönemi için “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliğin EK 1-B” bölümünde toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal muhtevaları aştığı görülmüştür. Yalnızca Zn parametresi adına kış dönemi sonucuna (1725,2 mg/kg=ppm) bakıldığında, ilgili sınır değere yaklaşma görülmüştür. Söz konusu kurutulan arıtma çamurunun toprakta kullanılmasının uygun olabileceği görülmektedir.

Çizelge 3.16 ve 3.17’ye bakıldığında, atıkların alternatif hammadde olarak kullanılması, atıktan türetilmiş yakıt hazırlanması kapsamında; atıktan türetilmiş yakıt (ATY) ve/veya ek yakıt olarak arıtma çamurlarının kullanılması açısından değerlendirdiğimizde, “Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği EK-3” teki yer alan sınır değerler ile karşılaştırılması Çizelge 3.18’de verilmiştir.

Çizelge 3.18: Kurutulmuş çamurun ek yakıt olarak değerlendirilmesi.

PARAMETRELER	Tebliğ Sınır Değerleri	Sonuçlar	
		Yaz	Kış
Kalorifik Değer, kcal/kg	> 2500	2579	3073
Nem Oranı, %	< 35	7,31	6,79
Klor İçeriği, %	< 1	0,12796	0,67579
Ağır Metaller Toplamı, mg/MJ	< 2500	2319, 06	2587,4

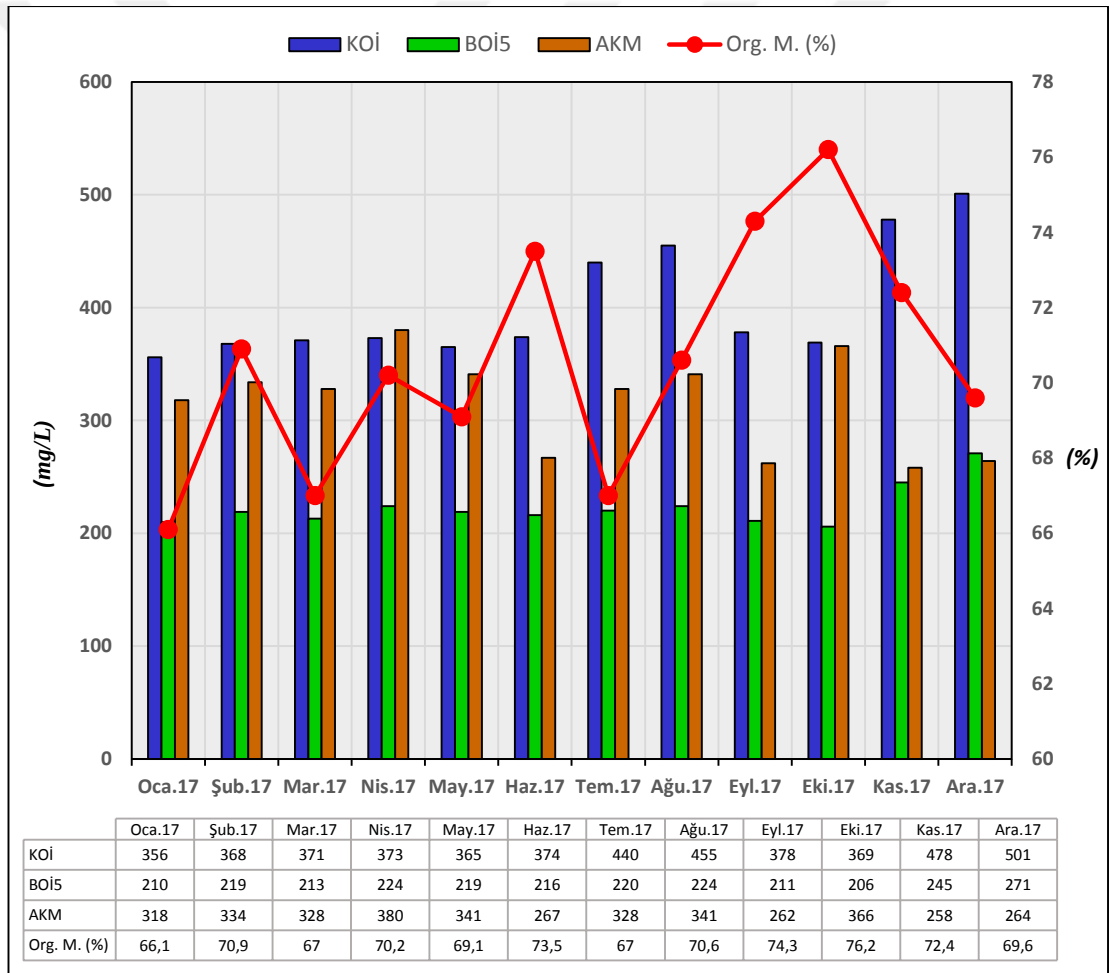
Çizelge 3.18; kalorifik değer, nem oranı ve klor içeriği parametrelerine kapsamında incelendiğinde atıktan türetilmiş yakıt (ATY) ve/veya ek yakıt olarak arıtma çamurlarının kullanılması açısından hazırlanması kapsamında elde ettiğimiz sonuçların uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.18 toplam ağır metaller toplam miktarlarına göre incelendiğinde; yaz dönemi için ağır metaller toplamı 2319,06 ppm olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu yönetmelik sınır değerinin altında kalmıştır, kış dönemi için ağır metaller toplamı 2587,4 ppm olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu yönetmelik sınır değerinin bir miktar üstüne çıkmıştır. Her iki dönemin ortalaması alındığında ise 2453,23 olarak gerçekleşmiş ve ilgili sınır değerinin altında kalmıştır.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Ankara ili atıksu arıtma tesisi kaynaklı arıtma çamurları nihai bertarafının belirlenmesi için yapılan çalışmamızda, arıtma çamurlarının temel niteliğini oluşturan atıksu kompozisyonunun ortaya konması için 2017 yılı boyunca tesis giriş atık suyundan ay bazında numuneler alınmıştır. Alınan numunelerin sonucunda KOİ, BOİ₅, AKM ve organik madde muhtevaları analiz edilmiştir. Söz konusu analiz sonuçları ortalamaları Şekil 4.1’de görülmektedir.



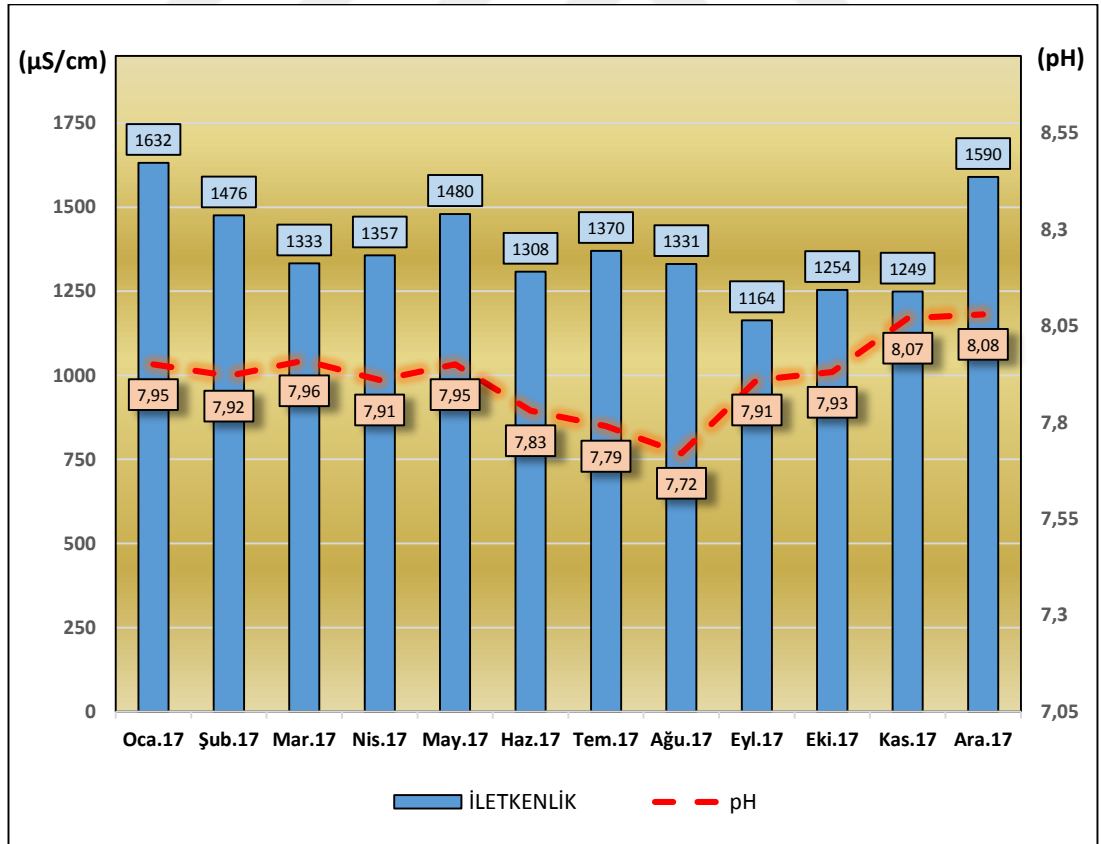
Şekil 4.1: Atıksu girişi KOİ, BOİ₅, AKM ve Org. Madde grafiği.

Yıl boyunca tesis giriş atık suyundaki KOİ, BOİ₅, AKM ve % Org. Madde içeriklerinin yıl boyunca meydana gelen salınımları Şekil 4.1’de grafik vasıtasıyla gösterilmiştir. Şekil 4.1’de de görüldüğü üzere yıl boyunca giriş atıksu parametreleri arasında en az

salınımı BOI_5 parametresi göstermişken, organik madde miktarı, askıda katı madde ve kimyasal oksijen ihtiyacı parametrelerinde yılın sonbahar ve kış dönemlerinde gözle görülür salınım göstermiştir.

Giriş atıksuyunda organik madde miktarının pik yaptığı dönem olarak eylül ile ekim karşımıza çıkmaktadır. KOI parametresine bakıldığında yılın ilk yarısı stabile yakın bir görüntü sergilediği sonraki aylarda ise çeşitli düşüş ve yükselişler gösterdiği görülmektedir. Yıl boyunca KOI anlamında pik değeri kış döneminde (kasım ve aralık) yakaladığı ve söz konusu durumun yağışlar ile beraber yüzey akışların da tesise ulaştığını ortaya koymaktadır. KOI parametresinin aksine BOI_5 parametresinde yıl boyunca sakin bir seyir izlemiştir.

Yıl boyunca tesise gelen atıksu içeriğindeki iletkenlik ile pH ölçüm sonuçlarını içeren grafik Şekil 4.2’de göstermiştir. Yıl içerisinde tesis giriş atık suyunda elektriksel iletkenlik parametresindeki salınımlar kış (ocak ve aralık ayları) dönemlerinde ağırlıklı olarak meydana gelmiş olmamasına rağmen, pH parametresindeki salınımlar özellikle yaz (ağustos ayı) döneminde meydana gelmiştir.

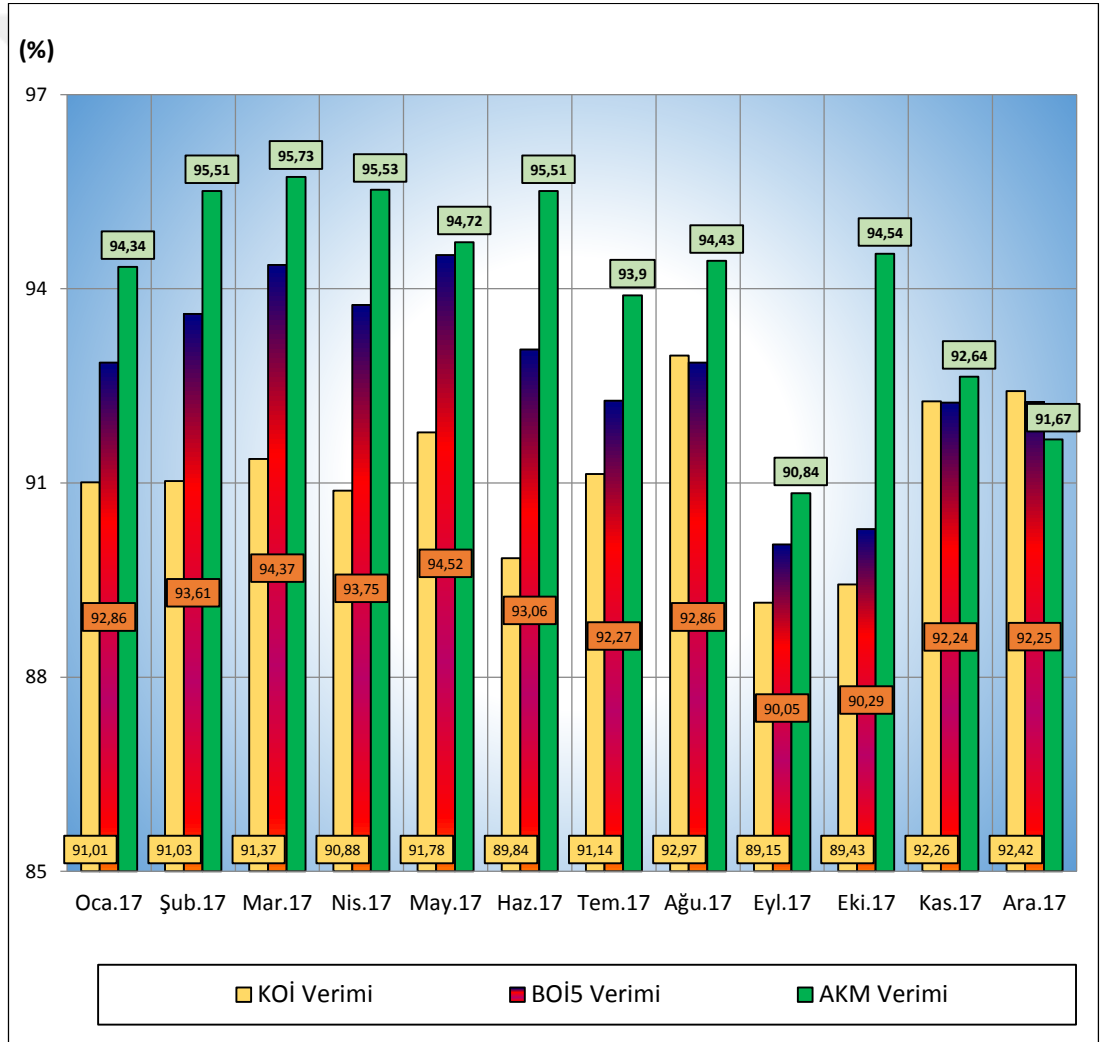


Şekil 4.2: Atıksu girişi debi ve pH grafiği.

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere yıl boyunca pH parametresi yaz dönemi ilerledikçe düşüş göstermiştir. Akabinde sonbahar başlangıcı ile yükselişe geçen pH miktarı yılın sonbahar döneminin sonu ve kış dönemi başlangıç dönemine kadar yıl içindeki en yüksek pH seviyelerine çıkmış, yaz döneminde ise en düşük seviyeye (7,72) inmiştir.

Lakin bu değişimlerdeki sonuçlara baktığımızda atıksu giriş pH değerleri bazında nötr karakter dışına çıkmamıştır.

Atıksu arıtma tesisine ait 2017 yılında alınan örneklere binaen yapılan analizlerdeki sonuçlara ait giderim verimlerinin görsel olarak sunumu aşağıda Şekil 4.3’te sunulmuştur. Sonuçlara baktığımızda her parametre için de giderim verim oranının % 88 ’in üstünde bir gerçekleşmeye sahip olduğu görülmüştür.

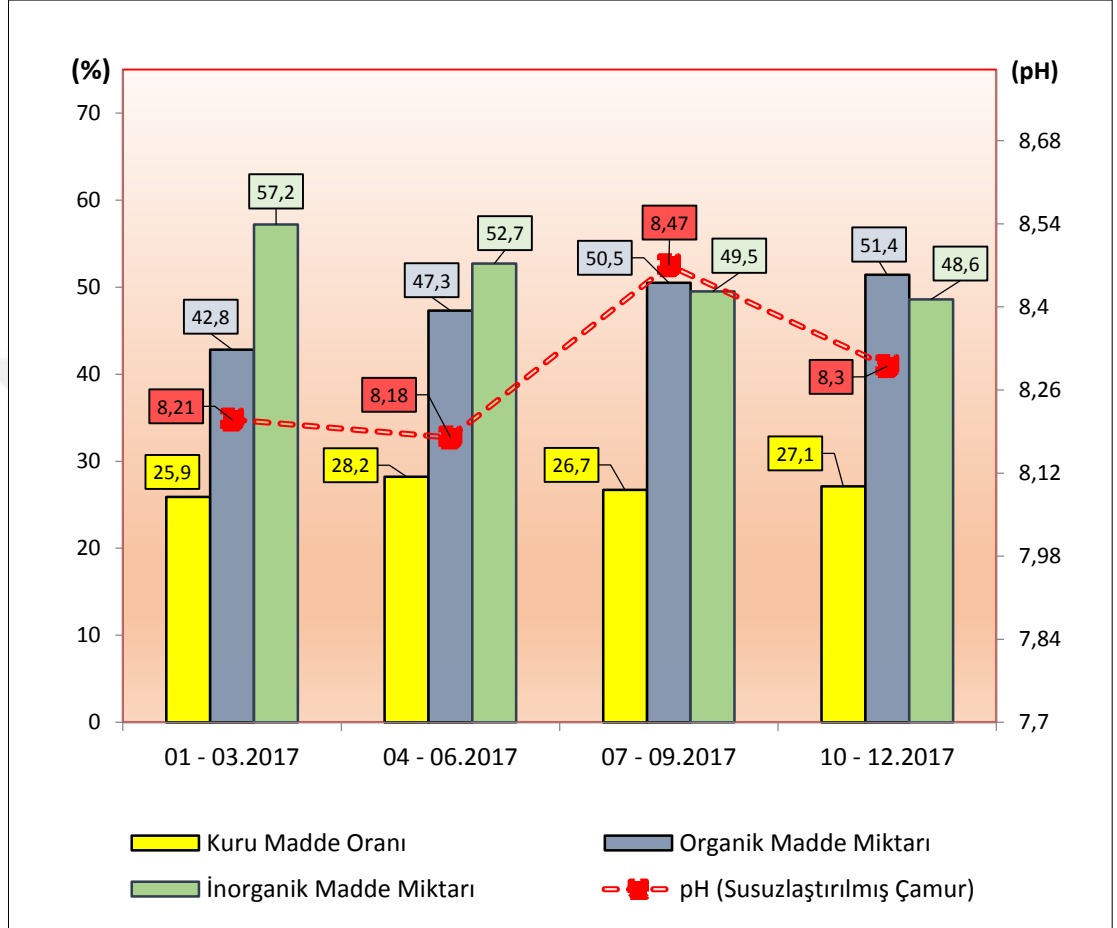


Şekil 4.3: 2017 dönemi KOİ, BOİ5 ve AKM (%) giderim verimleri.

2017 yılı içerisinde parametre bazlı giderim verim ortalamasında en düşük verim KOİ’de, en yüksek giderim verimi AKM parametresinde sağlanmıştır.

Giderim veriminin yıl içinde her üç parametrede de en düşük olduğu dönem Eylül 2017 döneminde gerçekleşmiştir.

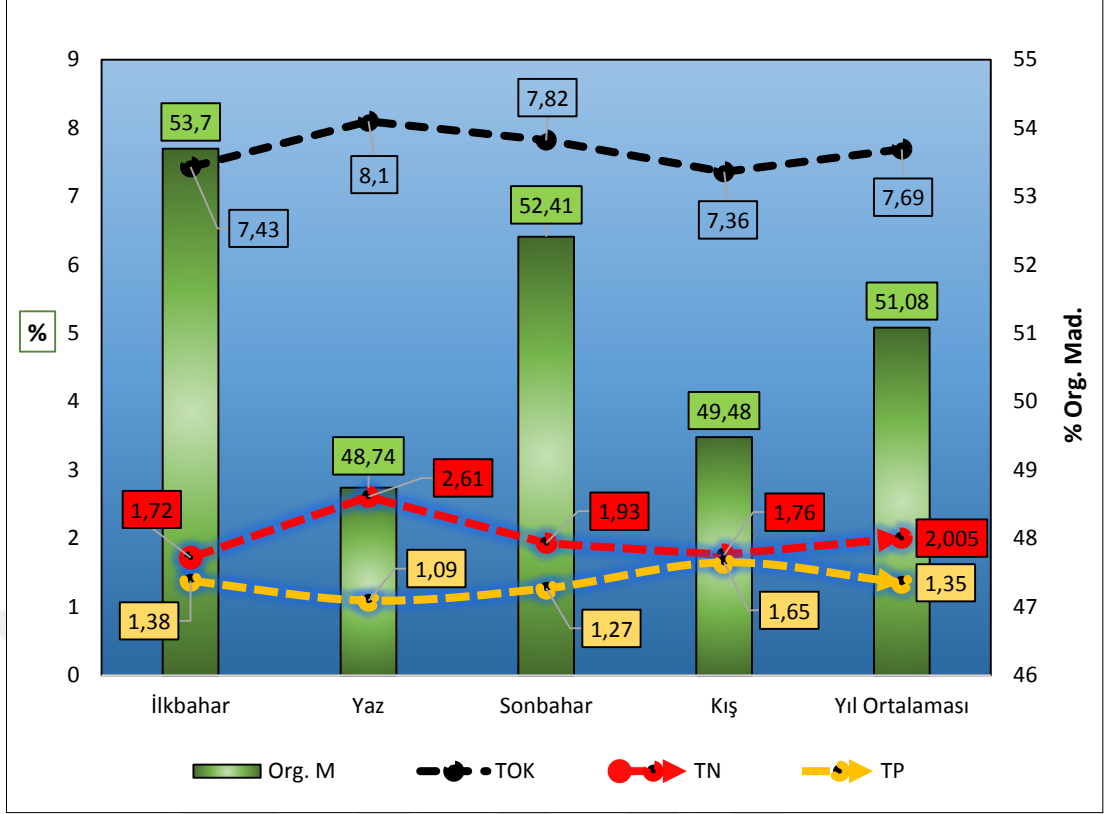
Çizelge 3.8’de yer alan susuzlaştırılmış arıtma çamuru sonuç değerlerinin yıl boyunca görünümü Şekil 4.4’te yer alan grafiğe işlenmiştir.



Şekil 4.4: AAT susuzlaştırılmış çamur analiz değerleri.

Çizelge 3.8’de elde edilen veriler ışında susuzlaştırılmış arıtma çamuru değerlerinin incelendiği Şekil 4.4’e göre arıtma çamuru anaerobik özümlemeye tabi tutulmasına rağmen organik madde miktarının % 42,8 ile % 51,4 arasında olduğu görülmektedir. Tüm yıl boyunca en düşük dönemi ocak ile mart döneminde elde edildiği, sonraki dönemlerde yılsonuna doğru artan bir görünüm sergilediği görülmüştür.

Özümlenmiş ve susuzlaştırılmış arıtma çamurunun organik içeriğinin özümlemeye rağmen oldukça yüksek seyrettiği karşımıza çıkmaktadır. Söz konusu durum arıtma çamurunun nihai bertarafı kapsamında çamurun yakılarak hem bertaraf hem de enerji eldesine de uygun olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.5: AAT mevsimsel bazda elde edilen sonuçlar.

Çizelge 3.14'e işlenmiş olan çamur kurutma çalışmaları sırasında elde edilen ortalama nihai veriler mevsimsel bazda ortalamaları alınarak aşağıdaki grafiğe aktarılmıştır. Söz konusu grafik (Şekil 4.5) sunulmuştur.

Kurutma çalışmamızın sonuçlarının yıl bazında ortalamasının yansıtıldığı Çizelge 3.14'deki tablo ile söz konusu tablonun grafiğe dökülmüş karşılığı olan Şekil 4.5 incelendiğinde; arıtma çamurundaki organik madde miktarının en yüksek olduğu dönemin ilkbahar dönemi olduğu, en düşük olduğu dönemin ise yaz döneminde olduğu görülmüştür. Bunun gelen atık suyun sahip olduğu organik madde miktarına göre değiştiği anlaşılmaktadır. Tüm yıl içinde organik madde ortalaması ise % 51,08 olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu organik madde miktarının yüksek olduğu görülmektedir, unutulmamalıdır ki % 51,08 organik madde içeriğinin özümleyiciye tabi tutulmuş çürütülmüş çamur ortalamasıdır.

Şekil 4.5 incelendiğinde, TN ile TP parametrelerinin davranışları yıl içinde incelendiğinde tam ters bir görüntü içinde oldukları görülmüştür. Yıllık ortalama değerleri TN için % 2,00 olarak gerçekleşmiş iken TP için % 1,35 olarak gerçekleşmiştir. Yıllık bazda arıtma çamurlarındaki TOK salınımına bakıldığında, TN

parametresi ile paralel değişimler gösterdiği görülmüştür. Yıllık ortalama bazında TOK değerinin yıllık ortalama bazında % 7,69 düzeyinde olduğu görülmüştür. TOK düzeyinin en yük olduğu dönemin % 8,10 ile yaz dönemi, en düşük dönem ise % 7,43 olarak ilkbahar döneminde gerçekleştiği görülmüştür. “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik” EK-2B’de verilen “Tehlikesiz Atıkların Düzenli Depolanabilme Kriterleri” uyarınca ilgili sınır değerin (50 g/kg = % 5) biraz üstünde bir değere sahip olduğu görülmüştür. Arıtma çamur keki örneklerinde TN ve TP içeriğindeki değişimlerin, giriş atıksuyu özelliğe, bölgenin ticari faaliyet yapısına, tüketim alışkanlıklarına ve arıtma prosesi sebebiyle kaynaklandığı düşünülmektedir.

ÇŞB tarafından 2015 yılında tamamlanan “Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi” kapsamında Tatlar Atıksu Arıtma Tesisinden alınan susuzlaştırılmış arıtma çamuru örneklerinde kış ve yaz mevsimlerini temsilen alınan çamur keki numunelerinin TOK içeriklerinin kış döneminde 225 g/kg, yaz döneminde ise 250 g/kg olarak tespit edilmiştir. “Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik” EK-2B’de verilen “Tehlikesiz Atıkların Düzenli Depolanabilme Kriterleri” uyarınca ilgili sınır değerin (50 g/kg = % 5) oldukça üstünde bir değere sahip olduğu görülmüştür (Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, ÇŞB, 2015).

Atıksu arıtma tesisi bölgenin hatta ülkemizin kurulu gücü bakımından en büyük atıksu arıtma tesisi olması sebebiyle atıksu karakteristiği evsel değil daha çok kentsel nitelikli olması beklenmektedir. Lakin ağır metal sonuçlarındaki durum bizlere atıksuya evsel kaynaklı kirlilik dışında fazla bir girişimin de söz konusu olmadığı yorumunu yapabilmekteyiz. Ayrıca yıllar bazındaki ağır metal sonuçlarından anlaşılaçağı üzere atıksu içeriğindeki ağır metal oranlarının da belirli bir düzen içerisinde olduğu ve arıtma çamurundaki ağır metaller bazında arıtma çamurlarının nihai bertarafı kapsamında yapılacak yatırımlar için de önemli güvence verebilmektedir. Tesis arıtma çamurlarının önemli miktarda bir ağır metal taşınaması sebebiyle arıtma çamurlarının toprakta uygulanması kapsamında arıtma çamurundaki ağır metal sonuçlarının, çamurun uygulanacağı bölgedeki toprak yapısının ağır metal içeriğinin dikkate alınması gerekmektedir.

ÇŞB tarafından 2015 yılında tamamlanan “Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi” kapsamında arıtma çamurlarının toprakta kullanımım hakkında, Tatlar Atıksu Arıtma Tesis çamur susuzlaştırma ünitesi çıkışından yaz ve kış dönemi

olmak üzere alınan çamur keki numuneleri almış ve söz konusu numuneleri almıştır. Alınan numunelere göre yapılan değerlendirmede Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi kaynaklı arıtma çamurlarının (çamur susuzlaştırma çıkışından alınan numuneler) tarım uygulamalarında kullanılabilir grupta yer aldığını belirtmişleridir. Devamındaki aşama olarak da tarım alanlarında kullanılabilir grupta yer alan arıtma çamurlarının hangi grupta yer aldığı da belirlenmiştir. Kullanılabilir arıtma çamurları için üç adet risk grubu belirlenmiştir. Bunlar: düşük, orta ve yüksek risk gruplarıdır. Ankara Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi kaynaklı arıtma çamurları orta risk grubunda oldukları ilgili raporda yer verilmiştir. Söz konusu sonuç tarafımızca tespit edilen durumlar ile benzerlik göstermiştir (Eysel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, ÇŞB, 2015).

ÇŞB tarafından 2015 yılında tamamlanan “Eysel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi” kapsamında arıtma çamurlarının ek yakıt olarak kullanımı hakkında şu görüş belirtilmiştir. Bu görüşe göre; Ankara ili ve ilçelerinde yer alan evsel atıksu arıtma tesisleri sayısı ve oluşturdukları çamur miktarları göz önüne alındığında bölgedeki çimento fabrikaları ile bu tesislerin üretim/ihtiyaç kapasiteleri düşünüldüğünde üretilen arıtma çamur miktarlarını karşılayabileceğinden bahsedilmiştir. Bölgede yer alan çimento fabrikalarının ek yakıt kapasitelerini oluşturan arıtma çamuru ile doldurulabileceğinden bahsedilmiştir (Eysel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, ÇŞB, 2015).

5. SONUÇLAR

Yaptığımız çalışmaya konu Tatlar Atıksu Arıtma Tesisinin kurulduğu bölgeye bakıldığında Ankara şehir merkezinden 45 km uzak bir bölgeye konuşlandırılmış ve 190 ha 'lık bir alana sahiptir. Tesiste anaerobik çamur stabilizasyonu yapılmaktadır. Arıtma çamurlarının anaerobik stabilizasyonu aracılığı ile biyogaz eldesi ve beraberinde elektrik enerjisi üretimi mevcuttur. Kojenerasyon (anaerobik çürütücü kaynaklı) ile geri kazanılmış ısı sistemi mevcut olup söz konusu sistemde hem elektrik hem de ısı enerjisine dayalı bir yapıdır. Bununla beraber Ankara ili 2.427 saat/yıl güneşlenme süresiyle 2.640 saat/yıl olan Türkiye ortalamasına yakın bir değere sahiptir. Bu sebeple de Ankara ili adına arıtma çamurlarının nihai bertarafı kapsamında Türkiye ortalamasında güneşlenme süresine sahip olması durumunun kullanılabilmesi de mümkündür.

Tesiste atıksuların arıtılması kaynaklı olarak oluşan susuzlaştırılmış arıtma çamurunda geçmiş yıllar bazında yapılmış analizlerde, arıtma çamuru içerisindeki ağır metal oranlarının genel itibariyle düşük olması sebebiyle arıtma çamurlarının toprakta kullanılabileceği hususu da önem arz eden bir konudur. Konu ile alakalı daha detaylı çalışmalar yapılması da gereklidir.

Ankara ili sınırlarında konvansiyonel yapıda kapasiteleri 1.000 ila 765.000 m³/gün arasında değişen 16 adet atıksu arıtma tesisi mevcuttur. Günlük oluşan arıtma çamuru miktarının yaklaşık yaklaşık % 75'i Tatlar Atıksu Arıtma Tesisini kaynaklı olarak oluşmaktadır. Tatlar AAT 'den günlük ortalama 300 ton % 26-30 KM oranına sahip arıtma çamuru çıkışı olmaktadır. Söz konusu tesisler kaynaklı arıtma çamurları geçirimsiz deponi sahalarında depolanmak suretiyle geçici bertarafı yapılmaktadır. Bir maliyet hesabı yapmak amacıyla Tatlar AAT 'yi baz aldığımızda tesisin deponi sahalarının bulunduğu bölge tesise gidiş – geliş toplam 20 km uzaklığındadır. Günlük oluşan arıtma çamurunun susuzlaştırma işlemi sonrası deponi sahalarına geçici olarak bertaraf için taşınması için 15 tonluk taşıma kapasitesine sahip araçlarla yaklaşık 20 sefer düzenlenmektedir. Çamurların yaklaşık olarak % 90 KM ortalamasında kurutulması sonrası oluşan toplam çamur hacmi yaklaşık 4 kat oranına kadar azalma

gösterecektir. Günlük yaklaşık 85 tonluk arıtma çamuru elde edilmiş olacaktır. Bu sayede de geçici bertaraf için yapılan taşıma maliyetinde ciddi bir azalma meydana gelecek, günlük ortalamada 5 sefer yapılması yetecektir. Harcanan mazotun litresi 5,25 ₺ üzerinden hesaba katarsak, arıtma çamurlarının taşınmasında bir günde 20 sefer için toplam 190 litre mazot tüketimi mevcuttur. Toplamda taşınan 300 ton % 26-30 KM içeren arıtma çamurunun taşıma maliyeti yaklaşık 1000 ₺/gün olmaktadır. Taşıma maliyeti 1 ton arıtma çamuru başına 3,34 ₺ olarak hesaplanmaktadır. Bununla beraber diğer giderleri de hesaplarsak 1 ton arıtma çamuru başına maliyet 5 ₺ civarına ulaşmaktadır. Sonuç olarak maliyetleri sadece mazot gideri üzerinden düşünersek ilk duruma göre 4 kat maliyet azalması mevcut iken, diğer giderlerde de (araçların bakım-onarım maliyeti ile personel giderleri) ilk duruma göre azalma olacağı için bu durum da hesaba katıldığında çamurlarımızın kurutulması ile toplamda 5 kat maliyet azaltımı söz konusu olacaktır.

Tatlar Atıksu Arıtma Tesisinin geçmiş yıllarda özümlemiş ve susuzlaştırılmış arıtma çamurunun (çamur keki) kalorifik değer analizlerinde yaklaşık 2.400 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Bahse konu kalorifik değer özümlemiş arıtma çamur değeri olması sebebiyle oldukça yüksektir. Bu sayede enerji eldesi bakımından arıtma çamurları yakılarak değerlendirilebilmesi mümkündür.

Yine yaptığımız analizde de yaz ve kış dönemleri adına kurtulmuş arıtma çamurunda kalorifik değer tespiti yapılmıştır. Yaz dönemi adına, 2579 kcal/kg km, kış dönemi adına ise 3073 kcal/kg km kalorifik değeri elde edilmiştir. Söz konusu sonuçlara bakıldığında kurutulmuş arıtma çamurunun kalorifik değerinin yüksekliği, çamurların nihai bertarafı kapsamında yakılması olasılığını ortaya koymaktadır. Bununla beraber kalorifik değerinin yüksekliği birlikte yakma sistemlerinde (çimento fabrikaları) nihai bertarafının yapılabileceği noktasında değerlendirilmesi uygundur. Bu kapsamda arıtma çamurlarının değerlendirilmesi düşünüldüğünde, Ankara bölgesinde de oldukça büyük kapasiteli çimento fabrikaları da mevcuttur.

Enerji maliyetlerini düşürmek ve yenilenebilir bir kaynak ile kurutma sistemini entegre etmek amacıyla tesisin bulunduğu bölgenin rüzgar enerjisi potansiyeli değerlendirilmiştir. Yapılan araştırma sonrası Ankara ili ve tesisin kurulduğu bölgenin rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından değerlendirildiğinde, yapılacak yatırımının ekonomik bir çözüm olamayacağı değerlendirilmiştir.

Arıtma çamurlarının atıkların alternatif hammadde olarak kullanılması, atıktan türetilmiş yakıt hazırlanması kapsamında; atıktan türetilmiş yakıt (ATY) ve/veya ek yakıt olarak arıtma çamurlarının kullanılması açısından değerlendirdiğimizde Çizelge 3.18'deki yönetmelik sınır değerlerinin genel itibarıyla altında kaldığını görmekteyiz. Kurutulmuş arıtma çamurunun nihai bertarafı kapsamında atıkların alternatif hammadde olarak kullanılması, atıktan türetilmiş yakıt hazırlanması konusunun uygunluğu da bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, konunun daha detaylı ve uzun dönem gözlemlerini içeren analizler, çalışmalar yapılması gerektiği de unutulmamalıdır.

Kurutulmuş olan arıtma çamurlarının yapılan analizlerde görüldüğü üzere toprakta kullanımı (toprak güçlendirici madde, kompost kullanımı ve gübre üretimi) mümkündür. Bu konuda da daha detaylı ve uzun dönem gözlemlerini içeren analizler, çalışmalar yapılması gerektiği de unutulmamalıdır.

Tüm bu sonuçlar sebebiyle arıtma çamurlarının hibrit yapıda hem solar radyasyon ile çalışan hem de termal enerji kaynaklarının sisteme entegre edilmesi ile kurutma sistemine kesintisiz bir güç sağlayacak olan -dış ortam şartlarından etkilenmeyecek- bir sistem ile kurutulması en uygun çözüm olacaktır. Söz konusu termal kaynak tesiste hali hazırda var olan kojenerasyon sisteminden sağlanabilir ve bu sayede ilk yatırım ile işletme maliyetlerinde azalmalar söz konusu olacaktır. Ayrıca solar kurutma sistemleri arazi ihtiyacı yüksek olan ve ilk kurulum maliyetinin düşüklüğü ile öne çıkan uygulamalardandır. Solar radyasyon kaynaklı kurutma sisteminden daha iyi verim alabilmek için çamur kurutma sistemine güneş panelleri eklenmesi önemli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- 2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı (BANİP, 2023), 2006. İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı, Ankara Büyükşehir Belediyesi, Ankara.
- Akıncı, G., Duyuşen, G., Gök, G. ve Şentürk, T., 2014. Heavy Metals Transfer from Soil to Grass Types in Tannery Sludge Compost Amended Soil, *Journal of Residuals Science ve Technology*, 11, 1, (Yayın No: 1322542).
- Alpaslan, M., 2004. Arıtma Çamurlarının Bertarafı Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarımı ve İşletme Esasları, İstanbul: TMMOB Çevre Mühendisleri Odası.
- Angın, İ. ve Yağanoğlu, A.V., 2009. Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Toprak Düzenleyicisi olarak Kullanımı. *Ekoloji*, 19, 73, 39-47.
- An, X., and Liu, W., 2017. Review on Sludge Drying Process and Dryer in Solar Energy, *American Journal of Energy Engineering*, 5(5), 34.
- Arjona, B.T. ve Cisneros, R.T., 2005. Analysis of Drying Technologies for Wastewater Treatment Plant Sludge As an Alternative Source of Energy, Third LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCET' 2005).
- Aydın, S., 2004. Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçlarla Kullanımının Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayvaz, Z., 2000. Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi, *ÇEVKOR*, 9: 35, 3-12, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Bornova-İZMİR.
- Bayhan, Y.K., 1996. Çapraz Akış Mikrofiltrasyon Sistemi Kullanılarak *S. Cerevisiae* ile Endüstriyel Atıksulardan Ağır Metal Giderimi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Bayrak, E.H., 2008. Atık Suların Arıtımında Yapay Sulak Alan Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.

- Biganzoli, L., Grosso, M., Giugliano, M. ve Campolunghi, M., 2012. Chemical and Sewage Sludge Co-Incineration in a Full-Scale MSW Incinerator: Toxic Trace Element Mass Balance, Waste Management and Research, 30 (10), 1081-1088.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H. ve Üstün, H., 2003. İkinci Kademe Arıtım Yapan Kentsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesislerinden Çıkan Arıtma Çamurlarının (Biyokatıların) Tarım Alanlarında Kullanılma Olanakları. T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü APK Dairesi Başkanlığı Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Sonuç Raporları 2003, Yayın No: 124, s.202-220, Ankara.
- Boran, J., Houdkova, L., Ucekaj, V. ve Stehlik, P., 2007. Utilization of Energy from Thermal Treatment of Sludge, Institute of Process and Environmental Engineering, Brno University of Technology (UPEI VUT), Brno, Czech Republic.
- Bux, M. ve Baumann, R., 2003. Performance, Energy Consumption and Energetic Efficiency Analysis of 25 Solar Sludge Dryers. Water Environment Federation, 522-534 pages WEFTEC, ABD.
- Carl, P.E. ve Hall, W., 1982. Drying and Storage of Agricultural Crops, Food / Nahrung 1982, 26(6), 556.
- Çınar, A., 2008. Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinde Verimlilik Kontrolü ve Karşılaşılan Önemli İşletme Sorunlarına Çözüm Yaklaşımları Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Dağ, C.M., 2008. Evsel Nitelikli Atıksular İçin Arıtma Prosesleri, Çevre Mühendisliği Uygulamaları, Ankara: Çevre Mühendisleri Odası Yayınları.
- Daigger, T., Lim, H.C. ve Grady, L., 1999. Biological Wastewater Treatment.
- Demirel, G., 2010. Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi ve Arıtma Çamurları Bertarafı Bildiri Kitabı, İzmir: II. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu.
- Doğan, V., 2011. Gıda Endüstrisi Atıksu Arıtma Çamurları Kullanılarak Vanadyum ve Florür Giderimi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., İstanbul.
- Dölgen, D., 2004. Fiziksel Arıtma Ünitelerinin Tasarımı (Ed. MN. Alpaslan, D. Dölgen, MF, İşgenç, Hİ. Kınay), Arıtma Tesislerinin Tasarım ve Kontrol Esasları, Ankara: TMMOB Yayınları.
- Dumlu, L., 2011. Evsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurları İle Termokimyasal Ön Arıtım Uygulanmış Lignoselülozik Atıkların Birlikte Anaerobik Parçalanabilirliğinin

Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Duyuşen, G.E., Akıncı, G. ve Gök, G., 2016. Deri Arıtma Çamuru Kompostu İlavesiyle Gerçekleştirilen Çim Yetiştiriciliğinde Cr Cu Zn ve Ni Metallerinin Kimyasal Dağılımı Ve Bitkiye Transferi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(3), Doi: 10.17341/gummfd.93335 (Yayın No: 3255307).

Erden G. ve Filibeli A., 2009. Improving Anaerobic Biodegradability of Biological Sludges by Fenton Pre-Treatment: Effects on Single Stage and Two-Stage Anaerobic Digestion, Desalination, 251 (1-3), 58-63.

Ekşi, A., 2007. Atıksu Arıtma Tesislerinden Elde Edilen Çamurlar Kullanılarak Yetiştirilen Triticum Aestivum L. ve Beta Vulgaris L.'te Ağır Metal Taşınımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, ÇŞB, 2015.

Ferrasse, J.H., Arlabosse, P. ve Lecomte, D., 2002. Heat, Momentum, and Mass Transfer Measurements in Indirect Agitated Sludge Dryer, Drying Technology, 20: 4, 749–769.

Filibeli, A. ve Erden-Kaynak, G., 2005. Şartlandırma İşleminin Arıtma tesisi Çamurlarının Su Verme Kapasitesi Üzerine Etkileri” İzmir: I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu.

Filibeli, A. ve Erden-Kaynak, G., 2006. Arıtma Çamuru Miktarının Azaltılması ve Özelliklerinin İyileştirilmesi Amacıyla Yapılan Ön İşlemler, İTÜ Dergisi, 16 (1-3): 3-12.

Filibeli, A., 2009. Arıtma Çamurlarının Genel Özellikleri, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi ve Çevre Görevlisi Eğitici Eğitim Programı Notları, Ankara.

Filibeli, A., 2013. Arıtma Çamurlarının İşlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir.

Flaga, A., 2007. Sludge Drying, Institute of Heat Engineering and Air Protection, Cracow University of Technology, Warszawa 24, 31-155 Krakow, Poland.

Fuzhou, L. ve Wei, Z., 2011. Combustion of Sewage Sludge as Alternative Fuel for Cement Industry. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 26(3), 556-560.

- Fytily, D. ve Zabaniotou, A., 2008. Utilization of Sewage Sludge in EU Application of Old and New Methods – A Review, Department of Chemical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, U. Box. 455, 54124 Thessaloniki, Greece, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 116-140.
- Fonda, K.D. ve Lynch, E., 2009. Going for the Green in Thermal Drying: Evaluation of Innovative New Technologies and Industry Trends, Residuals and Bio Solids, WEF.
- Gascó, G. ve Lobo, M.C., 2007. Composition of a Spanish Sewage Sludge and Effects on Treated Soil and Olive Trees, Waste Management, 27, 1494-1500.
- Ghazy, M.R., Dockhorn, T. ve Dichtl, N., 2011. Economic and Environmental Assessment of Sewage Sludge Treatment Processes Application in Egypt, 15th International Water Technology Conference, IWTC-15.
- Gray, N.F., 2004. Biology of Wastewater Treatment, Second Edition, 465-466.
- Gönüllü, M.T., 2004. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Horttanainen, M., Kaikko, J., Bergman, R., Pasila-Lehtinen, M. ve Nerg, J., 2009. Performance Analysis of Power Generating Sludge Combustion Plant and Comparison Against Other Sludge Treatment Technologies. Applied Thermal Engineering, 30, 110–118.
- Hospido, A., Teresa, M. ve Feijo G., 2008, A Comparison of Municipal Wastewater Treatment Plants for Big Centres of Population in Galicia, Int J LCA 13 (1) 57-64.
- İleri, R., 2000. Çevre Biyoteknolojisi, Adapazarı, Değişim Yayınları.
- İşgenç, M.F. ve Kınay, E.H., 2005. Türkiye’de Arıtma Çamurları, İzmir: I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu.
- Kalderis, D., Aivalioti, M. ve Gidakos, E., 2010. Options for Sustainable Sewage Sludge Management in Small Wastewater Treatment Plants on Islands: The Case of Crete, Department of Natural Resources and the Environment, Branch of Chania, Technological and Educational Institute of Crete, Romanou 3, Chania, Crete, Greece.
- Kar, Y.B., 2014. Atıkların Gazifikasyonunu Yapan Bir Tesiste; Endüstriyel Arıtma Çamurlarının Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisleri Anabilim Dalı, Tekirdağ.

- Kaya, A., 2008. Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kocaer, F.O., 2000, Farklı Endüstriyel ve Evsel Atıksulardan Kaynaklanan Arıtma  amurlarının Bitki Besin Elementleri Düzeylerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- K le, M.M., 2012. Ankara  rneklemi üzerinde İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Yönetimine Etkisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sosyal  evre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara.
- Kurt, M., Aksoy, A., ve Sanin, F.D., 2015. Evaluation of Solar Sludge Drying Alternatives by Costs and Area Requirements. Water Research, 82, 47-57.
- Kurt, M., Aksoy, A., ve Sanin, F.D., 2016. Arıtma  amurlarının Kurutulmasında Sera Tipi Kurutucular ve G neş Panellerinin Birlikte Kullanımının Maliyetler Bazında İncelenmesi, TMMOB,  evre Mühendisleri Odası,  evre Bilim ve Teknoloji, 1, 2, 106-124.
- Laak, R., 1986. Wastewater Engineering Design for Un-sewered Areas, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, USA, 111-118 p.
- Lederer, J. ve Rechberger, H., 2010. Comparative Goal-Oriented Assessment of Conventional and Alternative Sewage Sludge Treatment Options, Vienna University of Technology, Institute for Water Quality, Resource and Waste Management, Karlsplatz 13/226, A-1040 Vienna/Austria, Waste Management, 30(2010), 1043–1056.
- Lee, H. ve Bae, S., 2009. Combustion Kinetics of Sewage Sludge and Combustible Wastes, Journal of Material Cycles Waste Management, 11, 203–207. Department of Environmental Engineering, Changwon National University, Korea.
- Lee, C.H. ve Liu, J.C., 2001. Sludge Dewaterability and Floc Structure in Dual Polymer Conditioning. Advances in Environmental Research V.
- Lee, D.J. ve Liu, J.C., 2004. Route to Synthesize The Sludge Management Processes, Water Sci and Technol, v.49, n. 10, 259-266.
- Lin, Y., Zhou, S., Li, F. ve Lin, Y., 2012. Utilization of Municipal Sewage Sludge as Additives for the Production of Eco-Cement, South China University of Technology, Guangzhou, PR China, Journal of Hazardous Materials, 213-214 (2012), 457-465.

- Liu, H., Liu, P., Hu, H., Zhang, Q., Wu, Z., Yang, J. ve Yao, H., 2014. Combined Effects of Fenton Peroxidation and Cao Conditioning on Sewage Sludge Thermal Drying, *Chemosphere* 117 (2014) 559–566, ELSEVIER.
- Mathioudakis, V.L., Kapagiannidis, A.G., Athanasoulia, E., Diamantis, V.I., Melidis, P. ve Aivasidis, A., 2009. Extended Dewatering of Sewage Sludge in Solar Drying Plants, *Laboratory of Wastewater Management and Treatment Technologies, Department of Environmental Engineering, Democritus University of Thrace, Vas. Sofias 12, 67100, Xanthi, Greece.*
- Muhcu, A., 2012. Arıtma tesisi Atık Çamurlarının Anaerobik Kontakt Reaktör İle Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Muslu, Y., 1996. Atıksuların Arıtılması, İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Yayınları.
- Müller, J.A., Winter, A. ve Strükmann, G., 2004. Investigation and Assessment of Sludge Pre-Treatment Processes, *Water Science and Technology*, Vol 49, No: 10 pp 97–104.
- Okur, B. ve Delibacak, S., 1996. Prina, Cibre, Karasu ve Çöp Gübresi Gibi Doğal Atıkların Toprağın Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri, Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı Bildiri Kitabı, Mersin: Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu.
- Onaka, T., (2000) Sewage Can Make Portland Cement: A New Technology for Ultimate Reuse of Sewage Sludge, *Water Science and Technology*, IWA Publishing, 41(8),93–98.
- Öbek, E., Tatar, Ş.Y., Hasar, H., Arslan, E.I. ve İpek, U., 2004. Kentsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamurlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Değerlendirilmesi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 31-38.
- Özcan, M., Öztürk, S. ve Yıldırım, M., 2011. Türkiye'nin Farklı Kaynak Tiplerine Göre Biyogaz Potansiyellerinin Belirlenmesi, IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, s. 243-247, Kocaeli.
- Özdemir, S., Köseoğlu, G. ve Dede, Ö.H., 2005. Arıtma Çamurlarının Süs Bitkisi Toprağı Hazırlanmasında Kullanımı, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart, İzmir.
- Öztürk, İ., Timur, H. ve Koşkan, U., 2005. Atıksu Arıtımının Esasları, İstanbul: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları.

- Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O. ve Altınbaş, M., 2014. Atıksu Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı El Kitabı, Türkiye Belediyeler Birliği (TBB), Ankara.
- Peregina, C., Rudolph, V., Lecomte, D. ve Arlabosse, P., 2008. Immersion Frying for The Thermal Drying of Sewage Sludge: an Economic Assessment. *Environ. Management*, 86, 246– 261.
- Park, S.W. ve Jang, C.H., 2011. Characteristics of Carbonized Sludge for Co-Combustion in Pulverized Coal-Power Plants, Department of Environmental Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Republic of Korea, *Waste Management*, 31, 523-529.
- Rhyner, C.R., Schwartz, L.J., Wenger, R.B. ve Kohrell, M.G., 1995. *Waste Management and Resource Recovery*, CRC Press, Inc., Florida, USA, 199-361 p.
- Ritterbusch, S. ve Bux, M., 2012. Solar Drying of Sludge - Recent Experiences in Large Installations. 3. European Conference on Sludge Management, September 6-7, Leon, İspanya.
- Roberts, J.S., 1999. Understanding the heat and mass transfer of hygroscopic porous materials, Ph.D. Thesis, The State University of New Jersey, Food Science, New Brunswick, New Jersey.
- Roxburgh, R., Sieger, R., Johnson, B., Rabinowitz, B., Goodwin, S., Crawford, G. ve Daigger, G., 2006. Sludge Minimization Technologies-Doing More to Get Less, *WEFTEC 06*.
- Rovira, J., Mari, M., Nadal, M., Sschuhmacher, M. ve Domingo, J., 2011. Use of Sewage Sludge as Secondary Fuel in a Cement Plant: Human Health Risks, *University Rovira Virgili, Environment International*, 37, 105-111, Catalonia, Spain.
- Rubio - Loza, L.A. ve Noyola, A., 2010. Two-Phase (Acidogenic/Methanogenic) Anaerobic Thermophilic/Mesophilic Digestion System for Producing Class a Biosolids from Municipal Sludge, *Bioresource Technology*, 101, 2, 576-585.
- Sanin, F.D., 2007. Atıksu Çamurlarının Arıtımı ve Uzaklaştırılması, Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Salihoğlu, N.K., 2007. Atıksu Arıtma Çamurlarının Susuzlaştırılması ve Stabilizasyonunda Kaplı Kurutma Yataklarının Kullanımı, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Salihoğlu, N.K., Pınarlı, V. ve Salihoğlu, G., 2007. Solar Drying in Sludge Management in Türkiye, Faculty of Engineering and Architecture,

- Environmental Engineering Department, Uludag University, Bursa, Turkey
Renewable Energy, 32, 1661–1675.
- Scharenberg, U.M. ve Pöppke, M., 2010. Large Scale Solar Sludge Drying in Managua/Nicaragua. Water and Waste. 26-27.
- Siyasal, H., 2007. Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesislerinde Oluşan Çamurların Çökelme Özellikleri ve Susuzlaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Speece, R.E., 1996. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Archae Press. United States of America.
- Spellman, F.R., 1997. Wastewater Biosolids to Compost, Techonomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA, 243 p.
- Spinosa, L. ve Vesilind, P.A., 2001. Sludge into Biosolids Processing, Disposal and Utilization, London: IWA Publishing.
- Tarhan, S., Ergüneş, G. ve Tekelioğlu, O., 2007. Tarımsal Ürünler İçin Güneş Enerjili Kurutucuların Tasarım ve İşletme Esasları, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 99: 26-32.
- Taşatar, B., 1997. Endüstriyel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Bazı Toprak Özelliklerine Etkileri” Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Ankara.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2011. Aile ve Tüketici Hizmetleri, Çevre Hizmetleri, Arıtma Çamurları (850CK0101), MEGEP, Ankara.
- T.C. Resmi Gazete, Mevzuat Yönetmelik; Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete Tarihi: 26.03.2017 ve Resmi Gazete Sayısı: 27533.
- T.C. Resmi Gazete, Mevzuat Tebliği; Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği, Resmi Gazete Tarihi: 26.06.2014 ve Resmi Gazete Sayısı: 29036.
- T.C. Resmi Gazete, Mevzuat Yönetmelik; Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete Tarihi 03.08.2010 ve Resmi Gazete Sayısı: 27661.
- T.C. Resmi Gazete, Mevzuat Mülga Yönetmelik; Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete Tarihi 14.03.1991 ve Resmi Gazete Sayısı: 20814.
- T.C. Resmi Gazete, Mevzuat Yönetmelik; Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, 2004), Resmi Gazete Tarihi: 31.12.2004 ve Resmi Gazete Sayısı: 25687.

- Tchobanoglous, G. ve Burton, F.L., 1991. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse, Metcalf and Eddy Inc., USA, 765 – 927 p.
- Tezcan, E., 2007. Adapazarı Karaman Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Timur, H. ve Altınbaş, U., 1997. Treatability Studies and Determination of Kinetic Parameters for a High-Strength Opium Production Wastewater. Environmental Technology, Volume: 18.
- Toprak, H., 2000. Aktif Çamur Sürecinin İşletilmesi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Toprak, H., 2011. Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2016 Yıllara Göre İl Nüfusu, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi.
- Uçar, G., 1997. Şehir İçmesuyu Arıtma Tesislerinde Çamur Atıklarının Değerlendirme Yollarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Uzun, P. ve Bilgili, U., 2011. Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları, U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 25 (2): 135-146.
- Valderrama, C., Granados, R., Cortina, J.L., Gasol, C.M., Guillem, M. ve Josa, A., 2013. Comparative LCS of Sewage Sludge Valorisation as Both Fuel and Raw Material Substitute in Clinker Production, Journal of Cleaner Production, in Press.
- Werle, S. ve Wilk, R.K., 2010. A Review of Methods for the Thermal Utilization of Sewage Sludge: The Polish Perspective, Renewable Energy, 35, 1914–1919.
- Wzorek, M., 2012. Characterization of the Properties of Alternative Fuels Containing Sewage Sludge. Department of Process Engineering, Opole University of Technology, ul. Mikołajczyka 5, 45–271 Opole - Poland, Fuel Processing Technology, 104, 80-89.
- Yamahata, Y., Izawa, H., ve Hasama, K., 1985. Experimental Study on Application of Paddle Dryers for Sludge Cake Drying, Chiba Laboratory, Mitsui Engineering and Shipbuilding Co., Ltd. Ichihara, JAPAN.
- Yaman, K., 2009a. Arpa Üretiminde Kentsel Arıtma Çamuru Kullanımının Ekonomik Sonuçları: Ankara İli Örneği. II. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 04-06 Kasım 2009, İzmir, 137-143.

- Yaman, K., 2009b. Kentsel Arıtma Çamurunun Tarımda Kullanımı Konusundaki Türkiye, AB ve ABD Yasal Düzenlemelerin Karşılaştırmalı Analizi, Katı Atık ve Çevre Dergisi, Sayı 75, 18- 26. (Katı Atık Yönetimi Kongresi, 27-29 Mayıs 2009 Eskişehir).
- Yeşil, E., 2011. Atık Çamur Dezentegrasyon Yöntemlerinin Çamur Minimizasyonu Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldız, Ş., Yılma, E., ve Ölmez, E., 2009. Evsel Nitelikli Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri, Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yıldız, Ş. ve Demir, A., 2010. Biyokatıların Aerobik Stabilizasyonu, Organik Atıklardan Kompost ve Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, ORAK 2010, Bildiriler Kitabı, İstanbul.
- Van Arsdel, W.B., Copley, M.J. ve Morgan, A.I., 2006. Food dehydration Vol. II. Products and Technology, Starch - Stärke,, 17 (3), 104.
- Vesilind, P.A., 1979. Treatment and Disposal of Wastewater Sludges, Ann Arbor Sciences, Michigan, USA, 265-289, 1-37p.
- Vranitzky, R. ve Lahnsteiner, J., 2005. Sewage sludge disintegration using ozone - A method of enhancing the anaerobic stabilization of sewage sludge, VA TECH WABAH, R&D Process Engineering, Siemensstrasse 89, A- 1211 Vienna, Austria.
- Zabanitou, A., ve Theofilou, C., 2008. Green Energy at Cement Kiln in Cyprus - Use of Sewage Sludge as a Conventional Fuel Substitute, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 531- 541.
- Zhao, L., Gu, W.-M., He, P.-J. ve Shao, L.-M., 2010. Effect of Air-Flow Rate and Turning Frequency on Bio-Drying of Dewatered Sludge, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, 1239 Siping Road, Shanghai 200092, PR China.
- URL-1 <<http://www.csb.gov.tr/gm/cygm/index.php?Sayfa=haberdetay&Id=95633>>, alındığı tarih: 06.09.2017. (Alıcı Ortam Kriterleri Bazında Deşarj Standartlarını Belirleme Ve Uygulama Yöntemlerinin Geliştirilmesi Projesi).
- URL-2<<http://www.suvecevre.com/?pid=22250>>, alındığı tarih: 22.04.2017. (Yıldız, S. ve Değirmenci, M. “Sivas Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Bertarafı Uygulamaları).

URL-3<<http://www.aski.gov.tr/tr/Icerik.aspx?detay=821&id=817>>, alındığı tarih: 19.09.2017 (Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi).

URL-4<http://www.cografyaharita.com/turkiye_mulki_idare_haritalari.html>, alındığı tarih: 03.09.2017 (Ankara İli Haritası).

URL-5<<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>>, alındığı tarih: 01.04.2018 (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Haritası).

URL-6<<http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/ANKARA-REPA.pdf>>, alındığı tarih: 01.04.2018 (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Ankara İli Rüzgâr Hız Dağılımı Haritası).



EKLER

EK A: AAT amur ve çıkış atıksuyu yıl boyunca elde edilen analiz değerleri.



Çizelge A.1: AAT çamur ve çıkış atıksuyu elde edilen analiz değerleri.

Arıtma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Ocak 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	3,68	3,79	25,1	-
	3,57	3,84	23,3	-
	3,61	3,80	25,7	-
Organik Madde Miktarı (%)	63,2	44,9	44,8	-
	64,6	47,6	47,7	-
	66,3	45,8	46,7	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	36,8	55,1	55,2	-
	35,4	52,4	52,3	-
	33,7	54,2	53,3	-
pH Değerleri	7,63	7,54	8,30	8,08
	8,09	7,61	7,63	7,95
	7,83	7,38	7,89	7,91
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1425
	-	-	-	1345
	-	-	-	1325
Şubat 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	3,48	3,98	24,3	-
	3,36	4,04	27,6	-
	3,51	4,04	26,4	-
Organik Madde Miktarı (%)	68,4	46,2	40,7	-
	61,7	48,4	44,0	-
	66,1	47,3	40,4	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	31,6	43,8	59,3	-
	38,3	51,6	56,0	-
	33,9	52,7	59,6	-
pH Değerleri	7,91	7,21	7,87	8,00
	7,88	7,09	8,34	8,11
	8,03	7,24	8,66	8,10
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1300
	-	-	-	1450
	-	-	-	1390

Çizelge A.1 (devam): AAT çamur ve çıkış atıksuyu elde edilen analiz değerleri.

Aritma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Mart 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	3,55	3,78	25,7	-
	3,70	4,17	27,3	-
	3,67	3,93	27,7	-
Organik Madde Miktarı (%)	69,4	49,1	46,1	-
	68,6	49,8	41,7	-
	66,6	49,3	37,3	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	30,6	50,9	58,0	-
	31,4	50,2	58,3	-
	33,4	50,7	58,6	-
pH Değerleri	7,86	7,02	8,31	8,01
	8,07	7,20	8,27	8,06
	7,89	7,68	8,68	8,05
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1320
	-	-	-	1280
	-	-	-	1135
Nisan 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	4,34	3,18	30,1	-
	4,35	3,10	27,9	-
	4,30	3,05	26,6	-
Organik Madde Miktarı (%)	62,0	44,1	44,3	-
	64,9	41,8	42,0	-
	64,5	41,6	40,9	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	38,0	55,9	55,7	-
	35,1	58,2	58,0	-
	35,5	58,4	59,1	-
pH Değerleri	7,55	7,55	8,08	8,02
	7,85	7,73	8,23	8,11
	7,40	7,25	8,20	7,87
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1104
	-	-	-	1157
	-	-	-	1156

Çizelge A.1 (devam): AAT çamur ve çıkış atıksuyu elde edilen analiz değerleri.

Aritma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Mayıs 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	3,64	3,03	27,0	-
	3,81	3,08	26,0	-
	4,16	3,01	29,8	-
Organik Madde Miktarı (%)	61,1	43,3	44,0	-
	63,0	44,8	45,1	-
	58,6	42,7	42,3	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	38,9	56,7	56,0	-
	37,0	55,2	54,9	-
	41,4	57,3	57,7	-
pH Değerleri	7,57	7,32	8,19	8,08
	7,38	7,07	7,62	8,16
	7,85	7,03	8,43	8,21
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1103
	-	-	-	1207
	-	-	-	1101
Haziran 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	4,44	3,07	27,6	-
	4,21	3,00	28,8	-
	4,46	3,39	30,0	-
Organik Madde Miktarı (%)	77,9	54,1	55,1	-
	79,2	55,3	59,1	-
	73,3	49,9	52,9	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	22,1	45,9	44,9	-
	20,8	44,7	40,9	-
	26,7	50,1	47,1	-
pH Değerleri	8,01	7,68	8,17	7,52
	8,08	7,81	8,32	7,88
	8,12	7,70	8,38	7,52
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1215
	-	-	-	1515
	-	-	-	1368

Çizelge A.1 (devam): AAT çamur ve çıkış atıksuyu elde edilen analiz değerleri.

Aritma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Temmuz 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	3,21	3,22	24,4	-
	2,91	3,18	27,6	-
	3,09	3,17	25,4	-
Organik Madde Miktarı (%)	58,5	44,4	47,0	-
	60,8	45,8	52,7	-
	60,4	49,0	49,4	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	41,5	55,6	53,0	-
	39,2	35,8	47,3	-
	39,6	51,0	50,6	-
pH Değerleri	8,63	7,88	8,11	7,88
	8,71	7,91	8,67	7,83
	8,55	7,64	8,21	7,84
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1102
	-	-	-	991
	-	-	-	1213
Ağustos 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	2,91	3,08	26,1	-
	3,05	2,65	28,8	-
	3,43	3,63	23,4	-
Organik Madde Miktarı (%)	66,7	40,8	43,7	-
	62,7	39,0	41,6	-
	64,1	44,7	45,8	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	33,3	59,2	56,3	-
	37,3	61,0	58,4	-
	35,9	55,3	54,2	-
pH Değerleri	7,51	7,09	8,26	7,55
	7,57	7,06	8,70	8,00
	8,47	8,17	8,81	8,03
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1191
	-	-	-	1003
	-	-	-	1363

Çizelge A.1 (devam): AAT çamur ve çıkış atıksuyu elde edilen analiz değerleri.

Aritma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Eylül 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	2,61	2,89	27,7	-
	3,05	3,09	28,0	-
	3,01	3,08	28,9	-
Organik Madde Miktarı (%)	60,1	49,3	51,7	-
	73,0	62,0	63,3	-
	65,8	58,8	59,3	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	39,9	50,7	48,3	-
	27,0	38,0	36,7	-
	34,2	41,2	40,7	-
pH Değerleri	7,77	7,32	8,49	7,77
	7,99	7,11	8,38	7,90
	8,15	7,68	8,60	8,21
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1001
	-	-	-	996
	-	-	-	1027
Ekim 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	3,11	2,74	29,1	-
	4,14	3,23	28,3	-
	4,09	3,06	29,3	-
Organik Madde Miktarı (%)	58,6	49,4	49,0	-
	71,1	47,4	47,3	-
	70,1	51,1	51,0	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	41,4	39,4	51,0	-
	28,9	52,6	52,7	-
	29,9	48,9	49,0	-
pH Değerleri	7,63	7,17	7,82	7,66
	8,18	7,69	8,63	8,21
	8,22	7,79	8,75	8,19
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1232
	-	-	-	1387
	-	-	-	1011

Çizelge A.1 (devam): AAT çamur ve çıkış atıksuyu elde edilen analiz değerleri.

Aritma Çamuru Tipleri	Ham Çamur (ön + fazla çamur)	Özümlenmiş Çamur	Susuzlaştırılmış Çamur	Çıkış Atıksuyu
Kasım 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	4,10	2,13	23,8	-
	4,35	3,08	26,1	-
	3,97	2,29	26,9	-
Organik Madde Miktarı (%)	71,5	50,6	50,0	-
	69,8	47,7	45,9	-
	72,9	58,0	56,8	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	28,5	49,4	50,0	-
	30,2	52,3	54,1	-
	27,1	42,0	43,2	-
pH Değerleri	7,81	7,13	7,82	7,50
	7,79	7,11	7,97	7,98
	8,85	7,39	8,36	8,16
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1110
	-	-	-	1412
	-	-	-	1393
Aralık 2017				
Kuru Madde Oranları (% KM)	4,01	2,66	26,6	-
	4,50	2,60	27,5	-
	4,54	2,87	26,3	-
Organik Madde Miktarı (%)	66,9	57,0	53,4	-
	63,3	51,8	51,6	-
	71,4	54,1	54,0	-
İnorganik Madde Miktarı (%)	33,2	43,0	43,4	-
	36,7	48,2	48,4	-
	28,6	45,9	46,0	-
pH Değerleri	8,32	7,75	8,57	8,22
	8,10	7,47	8,81	8,00
	7,73	7,19	7,97	7,90
Elektriksel İletkenlik	-	-	-	1250
	-	-	-	1182
	-	-	-	1318

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Türkay DÜZGÜN
Doğum Tarihi ve Yeri : 06.06.1988- ERZURUM
E-posta adresi : turkay.duzgun@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum)

Lisans : Selçuk ÜNİVERSİTESİ
Yüksek Lisans : Aksaray ÜNİVERSİTESİ
Doktora : -