

T.C
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ TASARIMI I DERSİ



ATIKSU ARITMA ÇAMURLARINDAN ENERJİ ÜRETİMİ

BİTİRME TEZİ

TEZ YÖNETİCİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Fatma EKMEKYAPAR TORUN

HAZIRLAYAN

16*****12 E*** M****

ERZURUM 2021

HER HAKKI SAKLIDIR

İçindekiler

TEŞEKKÜR	4
ÖZET	5
ABSTRACT	6
TABLO LİSTESİ	7
ŞEKİL LİSTESİ	8
1. GİRİŞ	9
2. KURAMSAL BİLGİLER	11
2.1. Arıtma Çamurunun Tanımı ve Türleri	11
2.2 Arıtma Çamuru Kaynakları	11
2.2.1 Birincil Arıtma Çamuru	13
2.2.2 İkincil Arıtma Çamuru	15
2.2.3 Kimyasal Arıtma Çamuru	15
2.3 Arıtma Çamurunun Bileşimi	16
2.3.1 Katı madde içeriği.....	16
2.3.2 Organik Madde İçeriği.....	16
2.3.3 Azot ve fosfor İçeriği	17
2.3.4 Kalsiyum içeriği	17
2.3.5 Patojenler.....	17
2.4 Arıtma Çamuru Bertaraf Yöntemleri	18
2.4.1 Çamur Yoğunlaştırma	18
2.4.2 Çamur Susuzlaştırma	19
2.4.3 Çamur Kurutma.....	20
2.4.4 Arıtma Çamuruna Uygulanan Yakma Prosesi	22
2.4.5 Arıtma Çamurlarını Gazlaştırma	23
2.5 Türkiye'de Arıtma Çamurunun Durumu ve Üretim Potansiyeli	24
2.6 Arıtma Çamurundan Enerji Üretim Uygulamaları.....	26
2.6.1 Yakma	27
2.6.2 Gazlaştırma.....	27
2.6.3 Piroliz	27
2.7 Atık Yönetimi ve Arıtma Çamurları	28
2.8 Atık Oluşumunun Önlenmesi /Azaltılması	30

3. METARYAL ve YÖNTEMLER.....	31
4. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	33
KAYNAKÇA.....	Error! Bookmark not defined. 34

TEŐEKKÖR

Çalıőmam sırasında bilimsel katkılarıyla bana yardımcı olarak bilgi birikimlerini benden esirgemeyen ayrıca bu zorlu pandemi sürecinde oldukça anlayıőlı ve öğrencinin yanında olan bir tutum sergileyen tez danıőmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatma EKMEKYAPAR TORUN'a en içten dileklerle teşekkür ve saygılarımı sunarım.

ÖZET

Günümüzde evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde yıllık tonlarca arıtma çamuru oluşmaktadır. Arıtma çamurları, içeriğinde bulunan ağır metaller, patojen bakteriler, virüsler ve toksik kimyasallar sebebiyle ikincil çevresel kirliliklere yol açma potansiyeline sahiptir. Bundan dolayı atıksu arıtma çamurlarının sürdürülebilir çevre yönetiminde verimli ve faydalı bir biçimde kullanılabilmesi ve değerlendirilmesi için yeni bertaraf yöntemlerine yönelmek akılcı bir seçenek olacaktır. Bu bakış açısı araştırmacıları, arıtma çamurunun oldukça yüksek ısı değerinden dolayı enerji üretimi uygulamalarında kullanımını ön plana almaya yöneltmiştir. Bu çalışma, ülkemizde mevcut atıksu arıtma tesislerinin durumunu, bu tesislerden oluşan çamurların üretim potansiyelini, nihai bertaraf tekniklerinin ve alternatif enerji uygulamalarının bir özetini sunmaktadır.

ABSTRACT

Today, tons of sewage sludge is formed annually in domestic and industrial wastewater treatment plants. Treatment sludges have the potential to cause secondary environmental pollution due to heavy metals, pathogenic bacteria, viruses and toxic chemicals. Therefore, it would be a rational option to turn to new disposal methods in order to use and evaluate wastewater treatment sludge efficiently and beneficially in sustainable environmental management. This point of view has led researchers to prioritize the use of sewage sludge in energy generation applications due to its very high thermal value. This study presents a summary of current wastewater treatment facilities in our country, the production potential of sludge from these facilities, final disposal techniques and alternative energy applications.

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Çamurun organik içeriğinin karşılaştırılması	13
--	----

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları	10
Şekil 2.2 Ön çökeltme işlemi içeren örnek arıtma tesisi akım şeması	11
Şekil 2.3 Biyolojik arıtma işlemi olarak aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi	12

1. GİRİŞ

Artan nüfus, hızla gelişmekte olan teknoloji ve endüstriyel faaliyetlere bağlı olarak atık üretiminde de ciddi bir artış söz konusudur. Bu atıklar; çevre ve insan sağlığı açısından tehlike oluşturma riski bulunmaktadır.

Sanayi devriminden günümüze kadar gelişen endüstri, kaynakların bilinçsiz kullanımı ve sürdürülebilirlik ilkesinin göz ardı edilmesi sonucu günümüzde birçok çevresel ortamın kirlenmesine sebep olmuştur.

Gelişmekte olan ülkelerde, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi amacıyla bir atık yönetim bilincinin oluşturulması gerekmektedir. Atık yönetimi; azalmakta olan enerji, hammadde gibi tabii kaynakların maksimum verimi sağlayacak şekilde kullanılmasını, az atıklı üretimin desteklenmesini, atıkların geri kazanımını ve yeniden kullanımını, hava, su, toprak ve canlılara zarar vermeden bertarafının gerçekleştirilmesini amaçlayan toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf işlemlerinin tümüdür.

Tehlikeli atıkların, uygun bir şekilde kontrol altına alınması ve diğer atıklardan ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Atıklar düzenli depolamaya gönderilmeden önce hacimsel olarak indirgenmelerini sağlamak ve yapılarındaki organik bileşenleri enerji üretimi için değerlendirmek amacıyla termal yöntemler kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar, tüm dünyada uygulamada kullanılan başlıca termal yöntemler:

- Yakma
- Piroliz
- Gazifikasyon

Termal yöntemler içinde ilk uygulanan yakma yöntemi, atıkların yakılması ile enerji eldesi ve hacimsel olarak azalmalarını sağlamasına karşın proses sonucunda zararlı emisyonlar ve sızıntı problemi oluşturan katı atıklar meydana gelmektedir.

Bu tez çalışmasında; ülkemizde oluşan katı atıklar içinde gerek miktar ve gerekse çevresel ortamlarda yarattığı etkiler açısından önemli bir paya sahip olan tehlikeli ve tehlikesiz

nitelikteki endüstriyel arıtma çamurlarının, düzenli depolama alanlarına gönderilmeden önce miktarını minimize ederken enerji elde etmek amacıyla tercih edilebilecek termal yöntemlerden biri olan gazifikasyon teknolojisi ile enerji verimliliğinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Arıtma Çamurunun Tanımı ve Türleri

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. 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.

Arıtma çamurlarının önemli bir kısmının su olması nedeniyle kapladıkları hacim oldukça fazladır. Özellikle biyolojik arıtma işleminden oluşan arıtma çamurlarının organik madde içeriği çok yüksek ve katı madde yüzdesi de düşük olduğu için bu tip çamurlar bozunma ve kokuşma eğilimindedir.

Çamurlar fiziksel yapılarına göre, mikrobiyolojik karakteri, besin maddesi (nutrient), su verme özelliği ve metal içeriğine göre değerlendirilmelidir. Evsel nitelikli atık suların 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 endüstri için oluşacak çamurun özellikleri ayrı ayrı belirlenmelidir.

2.2. Arıtma Çamuru Kaynakları

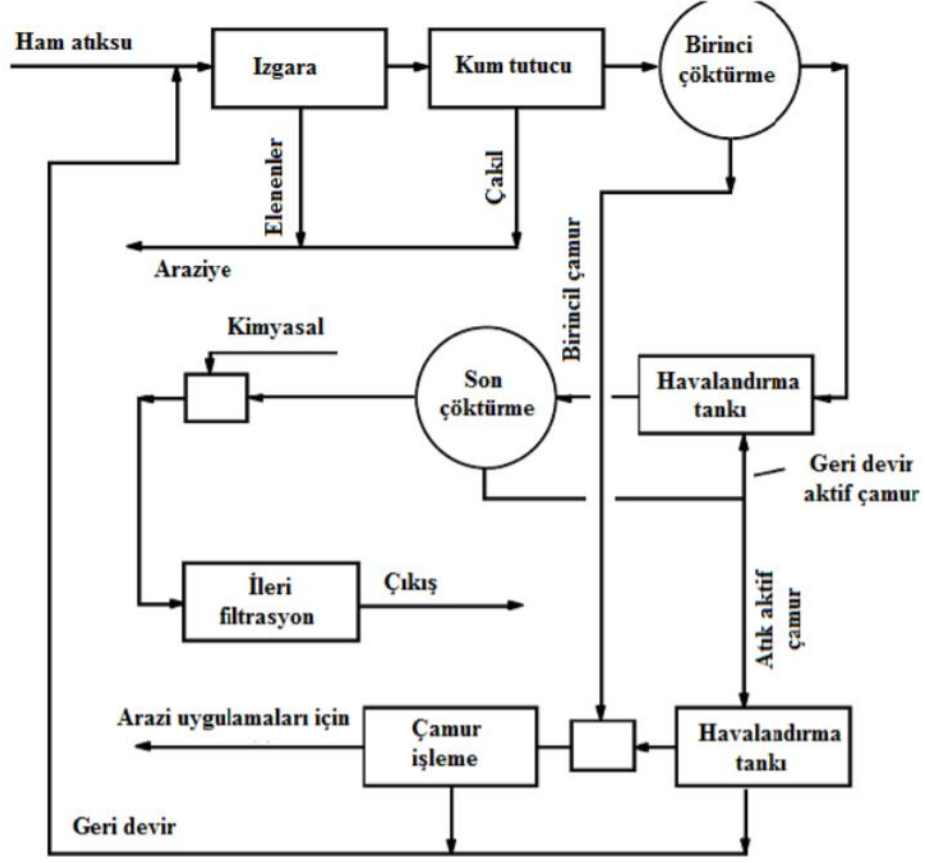
Arıtma çamurları çıkış kaynaklarına göre üç başlıkta incelenebilir:

- Yerel yönetimlerce işletilen atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan evsel arıtma çamurları; sadece evsel atıksu veya evsel, endüstriyel ve yağmur sularının arıtıldığı kentsel atıksu arıtma tesisleri,
- Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları; sanayi kaynaklı proses sularının arıtımından kaynaklı çamurlardır.

- 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 proseslerindeki 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 yanısıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır. Bu çamurlar, çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma prosesleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan alum çamurları gibi arıtımın tipine ve amacına bağlı olarak da sınıflandırılabilir.

Birincil, biyolojik ve kimyasal arıtma sistemlerine sahip olan bir arıtma tesisinde oluşan katı türleri ve kaynakları Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

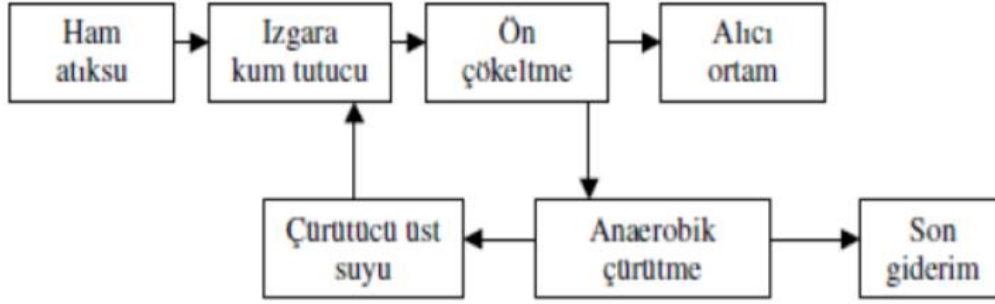


Şekil 2.1. Atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları

Arıtma çamuru genellikle birincil, ikincil (veya biyolojik) ve kimyasal olarak sınıflandırılabilir. Çamur; dışkı maddeleri, fiberler, kum, gıda atıkları, biyolojik floklar, organik kimyasal bileşikler ve inorganikler (ağır metaller ve iz mineraller) gibi çökelen katılar içerir ve uçucu katı veya patojen azaltımı için biyolojik veya kimyasal olarak arıtılmadığı zaman ham çamur olarak adlandırılır. Arıtma çamuru arıtıldığı zaman oluşan biyokatılar; aerobik parçalanma (mezofilik ve termofilik), anaerobik parçalanma (mezofilik ve termofilik), alkali stabilizasyonu, kompost, ve termal kurutma gibi tabii tutuldukları işlemlere göre sınıflandırılabilir. Arıtılmış çamur sadece birincil, ikincil, kimyasal veya bunların ikisinin ya da üçünün karışımı formunda olabilir.

2.2.1. Birincil arıtma çamuru

Birçok atıksu arıtma tesisi ham atıksudan çökelebilen katıyı uzaklaştırmak için fiziksel bir proses olan birinci çöktürme (ön çöktürme) kullanır. Ön çöktürmenin temel prensibi çökebilir haldeki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılmasıdır. Şekil 2.2’de ön çöktürme işlemini içeren bir tesise ait örnek arıtma tesisi akım şeması verilmiştir.



Şekil 2.2. Ön çökeltme işlemi içeren örnek arıtma tesisi akım şeması

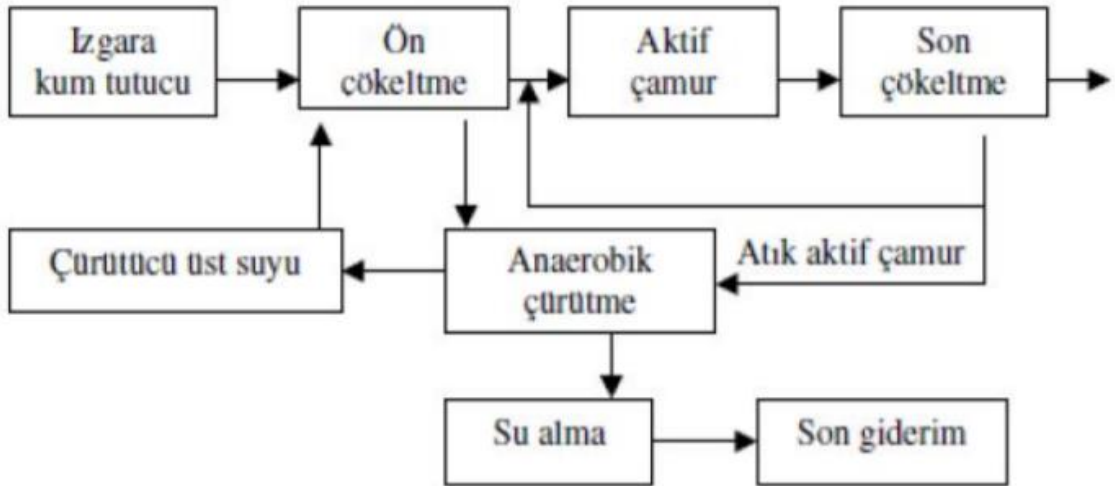
Ön çökeltme sistemlerinde oksijen gereksinimi olan maddelerin giderilmesi esas değildir, ancak BOİ5'nin bir kısmı çökebilen katı maddeler ile birlikte giderilir. Kendiliğinden çökebilir nitelikli ve esas olarak inorganik karakterdeki katı maddeler ızgara, kum tutucular ve ön çökeltme havuzlarında tutulurlar. Özellikle ızgaralarda tutulan kaba nitelikte çökebilen katı maddeler evsel katı atık niteliğinde olduğundan herhangi bir işleme gerek duyulmadan kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılırlar. Çökeltme havuzu tabanında toplanan maddeler ise “ham ön çökeltme çamuru” olarak isimlendirilir. Bu çamurların organik madde içeriği % 60-80 arasındadır ve su içeriği ise oldukça yüksektir. Bu çamur genellikle çürütülür ve “çürük ön çökeltme çamuru” olarak bilinir. Su içeriği çok yüksek olan bu çamurun kararlılaştırılmasında genellikle anaerobik çürütme yöntemi kullanılmaktadır. Çürütücülerde oluşan üst sıvı arıtma tesisi basına geri döndürülür. Çürütücü üst suyu, yüksek katı madde derişimine sahiptir ve bu katı maddelerin arıtma sistemi girişine geri döndürülmesi bazı işletme sorunlarına neden olabilir. Anaerobik çürütme ile uçucu katı maddelerin % 50'si giderilir, koku azaltılır ve önemli oranda hastalık yapıcı organizmaların giderimi sağlanır. Çürümüş çamur doğrudan araziye verilebilir, kurutma yataklarında suyu alınabilir veya mekanik olarak suyu alındıktan sonra son giderim yapılır.

Birinci çökeltme ünitesini içeren konvansiyonel aktif çamur tesisinde, birincil çamurun katı içeriğinin kuru ağırlığı toplam çamurun yaklaşık %50'si kadardır. Ham birincil çamurda toplam katı konsantrasyonu % 2 ile 7 aralığında değişebilir. Birincil çamurlar kimyasal ve biyolojik çamurlarla kıyaslandığında daha hızlı susuzlaştırılabilir. Ancak birincil çamurlar oldukça kolay çürüyebilir ve arıtılmadan depolanırsa istenmeyen kötü kokulara neden olabilir.

2.2.2. İkincil arıtma çamuru (Biyolojik)

İkincil arıtma çamurları çözünebilir nitelikteki organik maddelerin biyolojik oksidasyonunun yani BOİ5 gideriminin yapıldığı ikincil arıtmada oluşan çamurlardır. İkincil arıtmada BOİ5 biyolojik proseslerle giderilir ancak fiziksel ve kimyasal arıtma işlemleri de bu amaç için kullanılabilir. Biyolojik sistemlerde aktif ajanlar mikroorganizmalardır ve lagünler, aktif çamur ve damlatmalı filtre veya membran biyoreaktör prosesleri gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır.

Aktif çamur prosesi, ham atıksuyun mikroorganizma içeren geri devir çamuruyla karıştığı askıda kültür sisteminde mikroorganizmalardan oluşan, önemli miktarda enerji gerektiren ve büyük miktarda organik çamur üreten biyolojik bir prosesdir. Proses, çözülmüş ve askıda organik kirleticilerin arıtılmış sulardan ayrılabilen biokütle ve gazlara dönüşümünü içermektedir. Çamur biyokütlesi, son çökeltme havuzlarında ayrılabilen karışık mikroorganizma karışımından oluşmaktadır. Son zamanlarda aktif çamur prosesinde fazla çamurun üretimi, aerobik atıksu arıtımında karşılaşılan en ciddi problemlerden biridir. Fazla çamurun arıtım maliyeti, tesisin toplam işletme maliyetinin %25-65'ini oluşturabilmektedir. Aşağıda verilen şekil 2.3'de aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisine değinilmiştir.



Şekil 2.3. Biyolojik arıtma işlemi olarak aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi

2.2.3. Kimyasal arıtma çamuru

Kimyasal maddeler atıksu arıtımında özellikle endüstriyel atıksu arıtımında çöktürme ve sertlik giderme için veya bazı durumlarda kolloidal/askıda katı maddelerin

uzaklaştırılmasını iyileştirmek için yoğun olarak kullanılır. Tüm bu durumlarda kimyasal çamur meydana gelir. Atıksudan bir maddenin giderimine tipik bir örnek olarak fosforun kimyasal çöktürülmesi verilebilir. Fosfor giderimi için kullanılan kimyasallar kireç, alum, demir (II) klorür, demir (III) klorür, demir (II) sülfat ve demir (III) sülfattır. Bazı arıtma tesisleri biyolojik prosese kimyasal maddeler ilave eder. Bu nedenle, kimyasal çökeltile biyolojik çamur ile karıştırılır. Çoğu tesislerde ikincil çıkışa kimyasallar uygulanır ve kimyasal çökeltileleri uzaklaştırmak için üçüncü çöktürme veya filtre kullanılır. Bazı kimyasallar pH ve alkalitenin düşmesi gibi istenmeyen etkiler yaratabilir ki bu durum bu parametrelerin ayarlanması için alkali kimyasalların ilavesini gerektirebilir.

2.3. Arıtma Çamurunun Bileşimi

Arıtma çamurları, kirletici yanısıra tarımsal değere sahip bileşikleri içermektedir. Tarımsal değeri olanlar organik maddeler, azot, fosfor ve potasyum ile birlikte az miktarda kalsiyum, sülfür ve magnezyum, kirleticiler ise, ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenlerdir.

2.3.1. Katı madde içeriği

Çamurun katı ve sulu kısımları arasındaki oran, katı madde konsantrasyonu olarak tanımlanır ve mg/l veya % katı madde olarak belirtilir. Örneğin özgül ağırlığı 1 olan bir çamur için; 10000 mg/l katı madde konsantrasyonu, % 1 oranında katı maddeyi ifade eder. Askıda 35 ve çözülmüş katı maddelerin toplamı toplam katı maddeler olarak tanımlanmaktadır. Konsantre atıklar ve özellikle endüstriyel çamurlar için mg/l olarak yapılan hesap yüzdeye çevrilemez.

2.3.2. Organik madde içeriği

Çamurdaki organik içerik çoğunlukla hidrokarbonlar, aminoasitler, küçük proteinler ve yağlar gibi çözülmüş maddelerden oluşmaktadır. Evsel özellikteki arıtma çamurlarının organik içeriği çamura uygulanan şartlandırma ve arıtma yöntemlerine göre değişmekle birlikte genellikle kuru bazda %50 den fazladır. Aşağıdaki Şekil 2.4'de evsel arıtma çamurlarının organik içeriği evsel atıklar ve hayvansal gübreler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.1. Çamurun organik içeriğinin karşılaştırılması

	Organik Madde İçeriği % kuru madde
Evsel Çamur	
Aerobik çürütme	60 – 70
Anaerobik çürütme	40 – 50
Termal Yöntemler	< 40
Kireçle Arıtma	< 40
Kompost	50 – 85
Evsel kompost	40 – 60
Tarım atık v.b. kompost	30 – 60
Hayvansal gübre	45 – 85

2.3.3. Azot ve fosfor içeriği

Avrupa Birliği ülkelerinde yapılan incelemelerde, arıtma çamuru içerisindeki azotun 0.02-80 gr/kg kuru madde ve fosforun 0.01-90 gr/kg kuru madde aralığında değiştiği belirlenmiştir. Çamur için uygulanan arıtma işlemleri, özellikle çamurun azot ve fosfor içeriğini etkilemektedir. Örneğin, çamurun sulu kısmında bulunan amonyağın büyük bir kısmı, susuzlaştırma ve çürütme adımları sırasında giderilmektedir. Çizelge 2.5’de, arıtma çamurunun içerdiği azot ve fosfor, hayvansal gübre ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

2.3.4. Kalsiyum içeriği

Arıtma çamuruna kireç ilavesi çamurun stabilizasyonu için uygulanmaktadır. Uygun seviyede bir stabilizasyon elde etmek için, kuru maddenin %30’ u oranında kireç ilavesi tavsiye edilmektedir. Saha çalışmaları, kireçle stabilize edilmiş çamurun toprağın geçirgenliğine, yapısına ve pH’ına olumlu etki ettiği belirlenmiştir.

2.3.5. Patojenler

Çamurdaki patojenlerin varlığı nüfusun gelişmişlik seviyesi ve bölgedeki endüstri tipleri ile ilgilidir. Arıtma çamurunda, virüsler, bakteriler, protozoalar ve helmintler gibi patojen çeşitleri bulunmaktadır ve miktarları zamanla değişmektedir. Ham ön çökeltme çamuru çok sayıda ve değişik türde organizma içerir. Patojen organizma konsantrasyonu oldukça yüksektir. Aktif çamurda çok çeşitli organizmalar vardır. Çürümüş çamurda organizma türleri çürütme yöntemine bağlıdır. Çürütme işlemi ile patojenik mikroorganizmalar

büyük oranda yok edilirler. Bresters ve ark. (1997) tarafından, çamurda bulunan su giderici enzimleri ile çamurların su verme kapasitesi arasında bir ilişki olduğu açıklanmış ve su verme özellikleri iyi olmayan çamurlara enzimler ilave edilerek su verme özelliklerinin geliştirilebileceği belirtilmiştir.

2.4. Arıtma Çamurlarının Bertaraf Yöntemleri

Evsel ve endüstriyel arıtma tesislerinden çıkan atık çamurların nihai bertarafa verilmeden önce mutlaka arıtılması gerekmektedir. Arıtma tesisleri dizayn edilirken çamur sorunu önceden dikkate alınıp en uygun arıtma metodu seçilmeli ve çıkan çamur da tehlikeli atık özelliği taşıyıp taşımadığı dikkate alınarak bertaraf edilmelidir. Ön çöktürme, kimyasal çöktürme ve biyolojik çöktürme sistemlerinde biriken çamurların atıksu arıtma tesisinden alınması ve uygun tekniklerle zararsız hale getirilerek uzaklaştırılması gerekmektedir. Atıksu tesisinin üniteleri ve boyutlandırılması seçilirken meydana gelen çamurların nasıl bertaraf edileceği konusu mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Atıksu arıtma tesislerinde meydana gelen çamurun arıtılması ve depolanması için uygulanacak yöntemler ham atıksuyun karakterizasyonuna, uygulanan arıtma prosesine, kullanılan kimyasallara, yönetmeliklere ve diğer pek çok koşullara bağlıdır. Ayrıca, çamur bertaraf sisteminin maliyeti ve işletme giderleri atıksu arıtma tesisinin işletme giderlerine yakın hatta daha fazla olabilmektedir. Özellikle arıtma çamurları, tehlikeli atık sınıfına giren tesislerde bu atıkların normal atıklarla karıştırılmadan özel yollarla bertaraf edilmesi gerekmektedir. Çamur bertaraf yöntemleri şunlardır:

- Yoğunlaştırma
- Susuzlaştırma
- Kurutma
- Yakma
- Gazlaştırma

2.4.1. Çamur yoğunlaştırma

Arıtma tesislerinde üretilen çamur yüksek oranda su içermektedir. Çamurun hacmini azaltmak ve sonraki arıtma kademelerinin maliyetini azaltmak için yoğunlaştırılmalıdır. Çamur yoğunlaştırma prosesinin projelendirmesinde; çamurun tipi, yoğunlaştırılacak

çamurun konsantrasyonu, stabilitesi, kimyasal arıtma ihtiyacı, konsantre çamurun pompalanması, ilk yatırım ve işletme maliyeti, kesikli veya sürekli bir sistem olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Yoğunlaştırma da özellikle graviteli (ağırlıklı) çökeltme iyi sonuçlar vermektedir. Birincil çamurlar için etkili olan graviteli yoğunlaştırma, en yaygın olarak kullanılan yoğunlaştırma metotlarından biridir. Birincil çamur % 3-5'e kadar yoğunlaştırılmaktadır. Yoğunlaştırma havuzundan çamur çekimi arttıkça katı madde bekleme süresi düşmekte ve çekilen çamurdaki katı madde konsantrasyonu düşmektedir. Uzun katı madde bekleme süresi 47 nedeniyle gaz oluşmakta, oluşan bu gaz katı maddelerin yüzmesine ve çıkış suyunda katı madde kaçaklarına neden olmaktadır. Arıtma tesislerinin çökeltim havuzlarında çökeltilen çamurların katı madde içerikleri düşük (%0,6–2 katı madde) olduğundan, bu oranı artırmak ve çamur hacmini azaltmak için yoğunlaştırma işlemi uygulanır. Bu işlemlerle çamurların katı madde içerikleri %5–12 katı maddeye çıkarılır. Yoğunlaştırma sonucunda katı madde konsantrasyonu 25 kat artabilir. Çamur yoğunlaştırma işlemleri çözünmüş havalı flotasyon sistemleriyle de sağlanabilir. Bilhassa fazla aktif çamur ve kaba floklu kimyasal çamurlar flotasyonla daha kolay yoğunlaşabilmektedir. Ayrıca yoğunlaştırıcı santrifüjler, mikro elekler veya elek tamburları kullanılarak mekanik olarak yoğunlaşma sağlanması da mümkündür.

2.4.2. Çamur susuzlaştırma

Arıtma tesisinizden çıkan çamurun kolayca uzaklaştırılabilmesi için sıvı halinden çıkıp katı hale dönmesi gerekmektedir. Bu nedenle çamuru, içerdiği su miktarının azaltılması için değişik işlemlere tabi tutmanız gerekir. Arıtma çamurları genellikle yoğunlaştırma işlemi sonrasında susuzlaştırma işlemine tabi tutulurlar. Susuzlaştırıcı olarak seçilecek olan ünitenin verimli olmasına dikkat edilmelidir. Filtre presler kesikli çalışmasına rağmen arıtma çamurlarının suyunun giderilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu sistemle diğer yöntemlere göre daha fazla katı madde oranına sahip olmanız mümkündür. Filtre pres otomatik mikroprosesör sistemli olduğu için eleman ihtiyacına gerek yoktur. Arıtma çamurlarının polielektrolitlerle şartlandırılması sonucu büyük yumakların elde edilebilmesi sürekli tarzda basınçlı filtrasyon için belt filtre preslerin geliştirilmesine yol açmıştır. Belt preslerin filtre preslerin hemen ardından gelen bir kullanım yaygınlığına ulaşmalarının başlıca nedenleri şunlardır:

- Kullanım kolaylığı ve filtrasyonun gözle takibi imkanı
- Yatırım giderlerinin filtre preslerden düşük olması

- Prosesin ve filtrasyon kayışlarının yıkanmasının sürekli oluşu
- Mekanik tasarımın basitliği
- Kuru madde içeriği filtre pres keki kadar yüksek olmamakla birlikte katı olarak taşınabilir çamur keki elde edilmesi.

Santrifüjler ile çamur susuzlaştırmanın avantajlarından bazıları şunlardır;

- Sürekli çalışma,
- Kokuyu minimize edecek şekilde kapalı çalışma,
- Çamurun homojen olması koşuluyla işletme işgücü ihtiyacının azlığı.

Buna karşılık bu sistemin bazı dezavantajları da mevcuttur;

- Gürültü,
- Enerji sarfiyatının yüksek oluşu,
- Personel ihtiyacı,
- Hızlı aşınma.

Mekanik su giderme tekniklerinin en eskisi olan vakum filtrasyonu bugün çok sınırlı bir uygulamaya sahiptir. Vakum filtrasyonunun çok sınırlı bir uygulamaya sahip olmasının nedenlerinin başında vakum yaratmak için enerji kullanımının azlığı ve şartlandırma için kimyasal madde ihtiyacının yüksek oluşudur. Kurutma yatakları, yüksek işçilik giderleri, geniş arazi kullanımı ve performansın hava şartlarına bağlı olması nedeniyle pek fazla kullanılmamaktadır. Çamur susuzlaştırma prosesleri santrifüjler, belt filtre presler ve basınçlı filtre presler gibi mekanik prosesleri içerdiği gibi kurutma yatakları ve kurutma lagünleri gibi doğal prosesleri de içermektedir.

2.4.3. Çamur kurutma

Çamur tasfiyesi, arıtma tesisleri bünyesindeki en karmaşık işlemlerden birisidir. Atıksu arıtımında otaya çıkan çamur miktarı, atıksuyun %1, ila %6'sı gibi düşük bir yüzdesini teşkil etmekle beraber, çamur tasfiye (arıtma) ünitelerinin yatırım bedeli toplam sistem maliyetinin %30-40' ı işletme maliyeti ise bütün işletme maliyetinin %50'si kadardır. Bu yüzden en uygun çamur tasfiye metodunun seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Çamurun

nihai uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak bakımından katı madde muhtevasının artırılması veya su muhtevasının azaltılması yani suyunun alınması gerekmektedir. Çamurun suyunun alınması ile aşağıdaki faydalar sağlanır.

- Çamurun su muhtevası azaldığında hacmi de azalacağından nihai uzaklaştırma sahasına nakil masrafı azalır.
- Kürek, kepçe nakil bandı, traktör gibi vasıtalarla taşınabildiğinden sıvı haldeki çamura göre daha kolay nakledilebilir.
- Yakma veya enerji geri kazanımı bahis mevzuu olduğu zaman, su muhtevası azaldığından yakılması daha da kolaylaşır.
- Çamurun tamamen kokusuz olmasını ve ayrışmamasını temin eder.
- Çamurun nihai olarak araziye serilme durumunda, yeraltına sızma sonucu yer altı suyunun kirlenmesi önlenir.

Çamur suyunun alınması, vakum, pres, yatay band filtre, burgulu pres, santrifüj gibi usullerle veya kurutma yatakları ve çamur lagünleriyle sağlanabilir. Vakum, pres ve yatay bant filtre gibi sistemler, makine ve teçhizat gerektiren, yetişmiş elemana ihtiyaç gösteren, aynı zamanda yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksek olan sistemlerdir.

Kurutma yatakları ise inşa ve işletme kolaylığı ile nisbeten düşük yatırım ve işletme maliyetleri sebebiyle diğerlerine göre tercih edilmektedir. Bunların tek mahzurlu tarafı fazla alana ihtiyaç göstermeleridir. İklim şartlarının uygun olduğu hallerde bu mahzur ortadan kalkmaktadır.

Aktif çamur ve damlatmalı filtre tasfiye tesislerinden çıkan çamurlar çürütüldükten sonra çamur kurutma yataklarına verilebilir. Aktif çamur tesislerinde çürütme öncesi tercihen çamur yoğunlaştırma uygulanmaktadır. Aktif çamurun tadil edilmiş şekillerinden biri olan uzun havalandırılmalı sistemde uzun bekletme süresi sebebiyle çamurlar stabilize olduğundan yoğunlaştırmayı müteakip çamurlar doğrudan çamur kurutma yataklarına verilebilir.

2.4.4. Arıtma çamurlarına uygulanan yakma prosesi

Günümüzde, arıtma çamurlarının en son işleme (bertaraf) yöntemi olarak uygulanan yakma yöntemi Avrupa'da arıtma çamurlarının toplam kütlelerinin yaklaşık % 15 kadarına uygulanmaktadır. Bu uygulamada arıtma çamurları ya tek başlarına, ya da diğer atıklarla birlikte yakılmaktadır.

Arıtma çamurlarının doğrudan zirai amaçlı olarak kullanılması veya düzenli depolama sahalarına gönderilerek bertaraf edilmesi giderek artan yasal kontrollere tabi olmaktadır. Bu nedenle, .yakma sistemlerindeki yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına, yakma kriterlerinin sıklığına, emisyon gazlarının işlenmesi ile ilgili maliyetlerin artmasına ve uçucu küllerle yanma ürünü olarak ortaya çıkan küllerin bertarafı işlemlerinin zorlaşmasına rağmen, arıtma çamurlarının yakılarak bertaraf yönteminin giderek daha fazla kullanılacağı beklenmektedir.

Arıtma çamurlarının yakılması işlemi ya doğrudan bu atıkları yakmak üzere kurulmuş olan yakma tesislerinde ya da diğer evsel atıkların da yakıldığı yakma tesislerinde gerçekleştirilebilir. Arıtma çamurlarını diğer atıklarla birlikte yakan tesislerde, arıtma çamurlarındaki organik maddenin yakılmasından kaynaklanan sınırlamalara uyum gösterilir. Arıtma çamurlarının yakılmasında çamurun katı madde içeriği %30-50 aralığında olması tercih edilir. Eğer çamurun katı madde içeriği %20-30 arasında olursa ilave yakıt kullanılması gerekmektedir.

Ön kurutma işlemi yapıldıktan sonra, arıtma çamurları, yüksek kalorifik değere sahip oldukları için, çimento fırınları içinde de yakılabilir. Bu durumda çamur içindeki kirleticiler de klinker içinde stabilize edilmiş olur. Bu da kirli çamurların işlenmesi için ilginç bir yöntemdir. Ekonomik açıdan durum değerlendirilmesi yapıldığında, bu uygulamaların zirai amaçlı olarak kullanılmayan veya diğer evsel atıklarla birlikte yakılamayan çamurlar için düşünülmesi gerektiği anlaşılır.

Arıtma çamuru yakmak için kurulmuş özel yakma tesisleri uzun yıllardır işletilmektedir. Döner fırınlar ve klasik veya pirolitik tipli fırınlar günümüzde giderek yerlerinin akışkan yataklı sistemlere terk etmektedirler. Bunun nedeni akışkan yataklı sistemlerin işletilmelerinin daha kolay olmasıdır.

Akışkan yataklı sistem, içi ısı tuğlası (refractory material) ile kaplanmış dikey bir yakma odasına sahiptir. Yatağın altında yüksek sıcaklığa getirilen bir kum tabakası vardır. Bu kum içinden yüksek sıcaklıkta hava geçirilerek akışkan halinde tutulur. Bertaraf edilecek arıtma çamurları bu kum yatağının ya içine ya da üzerine bırakılır. Akışkan yatak içindeki gaz, oluşan yanma ürünlerinin tam olarak parçalanması için 850 °C dereceye kadar ısıtılmalıdır. Mekanik olarak kurutulan arıtma çamurlarının yakma enerjisi verilmeden tam olarak yakılmaları mümkün değildir.

2.4.5. Arıtma çamurlarını gazlaştırma prosesi

Arıtma çamurları sadece ülkemizin değil tüm dünyanın önemli çevre problemleri arasında yer almaktadır. Arıtma çamurlarını sadece kurutmak, yakmak veya havasız ortamda çürütmek geçici bertaraf yöntemleri olarak düşünülebilir. Arıtma çamuru bertarafının en uygun yolu kurutma ve gazlaştırma teknolojilerinin kombine şekilde uygulanmasıdır. Arıtma çamurları; kurutulduktan sonra gazlaştırma ile hem bertaraf etmek hem de elektrik ve ısı enerjisi geri kazanımı sağlanabilmektedir. Gazlaştırmadan elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı ile çamur kurutmak mümkündür. Gazlaştırma prosesleri yukarıdaki bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır. Kurutma ve gazlaştırma işleminden sonra arıtma çamurundan geriye sadece kül kalmaktadır.

Arıtma çamurları; oluşturdukları çevresel sorunlar dolayısıyla bu atıkların içerdikleri zararlı maddeler sadece insan sağlığına değil, diğer canlılara da zarar vermekte ve yayıldıkları ortamlara da sorun oluşturmaktadır. Kurutma işlemi maliyetlidir ve kuru çamur bu hali ile yine bir problem olarak elimizde kalmaktadır. Özellikle pahalı bir enerji olan doğal gaz ile kurutma işlemi gerçekleştirmek ise müesseselere büyük mali zorunluluklar ortaya çıkarmaktadır. Maliyetler ve çevre kısıtlamaları nedeni ile arıtma çamurları kurutma ve gazlaştırma entegre tesisleri ile bertaraf edilmelidir.

Arıtma çamurlarının çevre kriterlerine en uygun şekilde bertaraf edilmesi ve elde edilen syngazdan enerji üretilmesi konusunda geliştirilmiş çevresel ve teknolojik olarak en uygun ve en ekonomik sistem çamurun önce kurutulması ve kuru çamurun da gazlaştırılarak yok edilmesidir. Tıpkı diğer katı atıklar da olduğu gibi arıtma çamurları uygun gazlaştırıcılarda bertaraf edilebilir. Arıtma çamurları kurutulduktan sonra gazlaştırma yöntemi ile hem çamurları bertaraf etmek hem de elektrik ve ısı enerjisi elde etmek mümkündür. Gazlaştırmadan elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı ile çamur

kurutmak mümkündür. Yakma işlemine göre hem daha çevre dostu hem de enerji üretimi bakımından daha verimli olan gazlaştırma işlemi gazlaştırma teknolojileri ile yapılmaktadır. Günümüzde arıtma çamurlarının, katı atıkların ve arıtma çamurlarının gazlaştırılması yoluyla elektriğe ve ısıya dönüştürülmesi hem yüksek verimli enerji elde etmek hem de çevre problemleri yaratmaması nedeni ile tercih edilmektedir.

Kurutulmuş arıtma çamurları kimyasal içerik ve ısıl değer kapasiteleri olarak kıymetli orta kalite katı yakıt seviyesindedirler. Özellikle ısıl kapasite değerleri ve kül erime sıcaklıkları birbirlerine yakın bu tür katı atık ve yakıtlar birlikte gazlaştırmaya uygundur.

Organik atık sınıfına giren başta arıtma çamuru ve biyokütle atıkları olmak üzere benzeri katı atıklar daha çevreci ve daha ekonomik olan gazlaştırma teknolojisi ile değerlendirilebilir. Gazlaştırma teknolojisi ile üretilen syngaz, şehir gazına çok benzerdir ve elektrik/ısı enerjisi ve/veya kimyasal maddeler, gübre yapımı için kullanılabilir. Katı yakıt esaslı elektrik enerjisi üretim teknolojisi çevresel olarak en uygun hava emisyonlarına, katı atık ve atık su değerlerine sahiptir. Arıtma çamuru ve benzer katı atıkları gazlaştırmak için öncelikle uygun tane boyutuna getirmek gerekmektedir. Katı atıkları gazlaştırma işlemi birkaç basamakta oluşur. Katı atıktaki suyun uzaklaştırılması ise ön hazırlık işlemleri sırasında yapılır. Genellikle % 10-15 su içeren katı atık gazlaştırıcı içerisinde suyunu buhar fazına geçirir. Bu kuruma işleminden sonra piroliz, indirgenme, yanma, gazlaştırma ve benzeri reaksiyonlara uğrar. İçerisinde %75'den daha fazla su bulunan arıtma çamuru önce kurutulur, zira termokimyasal dönüşümle gazlaştırma için uygun değildir.

2.5. Türkiye’de Arıtma Çamurunun Durumu ve Üretim Potansiyeli

Günümüzde evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde yıllık tonlarca arıtma çamuru oluşmaktadır. Arıtma çamurları, içeriğinde bulunan ağır metaller, patojen bakteriler, virüsler ve toksik kimyasallar sebebiyle ikincil çevresel kirliliklere yol açma potansiyeline sahiptir. Bundan dolayı atıksu arıtma çamurlarının sürdürülebilir çevre yönetiminde verimli ve faydalı bir biçimde kullanılabilmesi ve değerlendirilmesi için yeni bertaraf yöntemlerine yönelmek akılcı bir seçenek olacaktır. Bu bakış açısı

araştırmacıları, arıtma çamurunun oldukça yüksek ısıl değerinden dolayı enerji üretimi uygulamalarında kullanımını ön plana almaya yöneltmiştir.

Arıtma amuru evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerindeki işlemler sonrasında oluşan atık bir materyaldir. Günümüzde, şehirleşme ve endüstriyel gelişimin yanı sıra atıksu arıtımı için daha iyi standartlara ulaşmak amacı ile birlikte çevresel gereklilikler ve yasal sınırlamalar nedeniyle üretimi hızlı bir şekilde artmaktadır ve artmaya devam edecektir. Atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurun miktarı ve içeriği atıksuyun bileşimine, arıtma tekniğine ve türüne bağlı olarak değişmektedir. Tesise giren atıksu bileşimindeki değişimlerden ve arıtma proseslerindeki değişimlerden dolayı üretilen çamurun içeriği aynı tesis içinde yıllık, mevsimlik ve hatta günlük olarak bile değişebilmektedir. Arıtma amurunun içeriği 5 grup bileşenle karakterize edilebilir: Toksik olmayan organik karbon bileşikleri, azot, fosfor içeren bileşikler; toksik kirleticiler; patojenler ve diğer mikrobiyolojik kirleticiler; silikat, alüminat, kalsiyum gibi inorganik bileşikler ve magnezyum içeren bileşikler ve son olarak %1-95 arasında değişen su. Arıtma amurunun hem evsel hem de endüstriyel tesisler için günlük hane başına ortalama üretim miktarı 40-60 g arasında değişmektedir ve bu üretim yüksek miktarlara ulaşması beklenmektedir. Mevcut ve tahmini durumları için üretim miktarları göz önüne alındığında uygun bir arıtma çamuru bertaraf stratejisi belirlemek oldukça önemli bir gereklilik olmaktadır. Çünkü, arıtma çamuru çoğunlukla evre ve insan sağlığı için potansiyel zarar teşkil edebilecek Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg ve As gibi ağır metaller, PCBS (poliklorlanmış bifeniller), PAHS (polisiklik aromatik hidrokarbonlar), dioksin, pestisit, linear alkali sülfonatlar, fenoller gibi kimyasallar, kriptosporidium, Giardia, helmint yumurtaları ve virüs gibi patojenleri ihtiva etmektedir. Biyolojik arıtmada sonrasında oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamur, ham atıksu içerisindeki organik maddelerin bir bileşimi halinde farklı bir yapıda bozunma ve kokma eğilimindedir. Bu sebeplerden dolayı sürdürülebilir bir arıtma çamuru yönetimi için çamurun, nihai bertarafı ve yeniden kullanımını öncesi bazı işleme süreçlerinden geçirilmesi gereklidir. Bu işleme süreçleri, ham arıtma çamurundan işlenmiş arıtma çamurunun oluşumuna kadar farklı aşamalarda gerçekleştirilmektedir. İlk olarak ham arıtma çamuru, öğütme, kum giderme gibi uygulamaların yapıldığı n işlemlerden geçirilir. Daha sonra çamurun yapısındaki suyun büyük çoğunluğunun uzaklaştırılması için yoğunlaştırma işlemleri uygulanır. Bunu takiben çamurun organik içeriğinin biyolojik veya kimyasal yolla pasif hale getirilmesi için stabilizasyon işlemleri uygulanır. Kararlı hale gelen artıma çamuru

yapısındaki az miktarda kalan suyun daha kolay alınabilmesi için katı kısmı şartlandırma işlemine tabi tutulur. Son olarak yapıdaki suyun tamamen uzaklaştırılması için çamur flokları belt filtreler, filtre presler veya santrifüjler yardımı ile işlenir. Arıtma çamuru ayrıca bu aşamadan sonra nihai kullanım alanına göre pastörizasyon yöntemi ile dezenfeksiyona tabi tutulabilir veya çeşitli kurutma sistemlerinden nem içeriği minimum olacak şekilde kuru madde oranı artırılabilir. Şimdiye kadar bu ön işleme proseslerini takiben arıtma çamurunun değerlendirilmesi ve bertarafı için geliştirilen işlemler iki ana kategoride sınıflandırılabilir: Geleneksel bertaraf veya yeniden kullanım ve alternatif enerji uygulamaları. Geleneksel bertaraf metotları; gübre olarak tarımsal kullanım, kompostlaştırma, düzenli depolama sahalarına gömme, denize boşaltma, park, bahçe, eski taş ve maden ocakları gibi açık alanlara serme şeklinde sıralanabilir. Günümüzde Avrupa Birliği ülkeleri tarafından oluşturulan sıkı yasalar deniz yaşamını korumak için denize dökme işlemini, doğal su yolların veya yeraltı sularını kirletme potansiyeli nedeniyle araziye sermeyi ve sınırlı depolama alanı, artan arazi fiyatları, sızıntı suları ve kontrol edilemeyen metan gibi gazlar nedeniyle düzenli depolama sahalarına gömme işlemini yasaklamıştır. Bu nedenle Avrupa Birliği'nde kontrollü tarımsal kullanım dışındaki geleneksel uygulamaların hepsi uygulamadan kaldırılmıştır. Uygun bir arıtma ve bertaraf işlemi olmadan bütün bu geleneksel metotlar çevrede ikincil kirlilik problemlerine sebep olabilirler. Bu sebeple arıtma çamurunun enerji uygulamalarında değerlendirilmesi gündeme gelmiş ve arıtma çamuru; biyogaz üretimi, yakma, gazlaştırma, piroliz/karbonizasyon, yaş oksidasyon ve süper kritik su oksidasyonu gibi yeni teknolojiler aracılığı ile enerji üretiminde yenilenebilir bir hammadde olarak kullanılmıştır. Arıtma çamuru bir çeşit biyokütle kaynağıdır ve ısıl değeri katı kuru halde 9-29 MJ/Kg değişmekle birlikte yaklaşık olarak kömürünkine eşittir.

2.6. Arıtma Çamurundan Enerji Üretim Uygulamaları

Enerji üretimi uygulamalarının temel hedefi, gittikçe daha kapsamlı hale gelen düzenleme ve standartları karşılayabilmek için çamur bünyesindeki enerjinin açığa çıkarılmasının yanı sıra çamurun zararlı çevresel etkilerinin ve kapladığı hacmin minimum düzeye indirilmesidir. Anaerobik çürütme ile biyogaz üretimi dışında, diğer bütün ısıl metotlar çamurun organik içeriğini ortadan kaldırıp bertaraf edilecek yan ürün olarak sadece kül veya kömürün kalmasını sağlar. Bununla birlikte bazı termal yöntemlerle ilgili olarak

yüksek sıcaklıklara ulaşmak için fazla miktarda enerji ihtiyacı, yüksek kurulum maliyeti ve geniş ölçekli bir atık gaz temizleme sistemine ihtiyaç gibi önemli noktalar vardır.

2.6.1. Yakma

Atıksu arıtma çamurları genellikle evsel atıklarla birlikte doğrudan yakılırken, dolaylı yakma işleminde tek başına yakıt olarak kullanılmakta veya çimento üretim fabrikaları gibi tesislerde başka bir yakıtla birlikte hammadde olarak değerlendirilmektedir. Fueloil, doğal gaz gibi yakıtların kullanım miktarını azaltmak için ek ısı kaynağı sağlamak amacı ile tek başına yakma (mono-combustion/incineration) ve birlikte yakma (co-combustion/incineration) en çok kullanılan teknolojilerdir. Çok katlı ve akışkan yataklı fırınlar ise bu tekniklerden çok başvurulan ve gittikçe kullanım alanı artan fırınlardır.

2.6.2. Gazlaştırma

Arıtma çamurlarının çevre ile ilgili mevzuatlara uygun bir şekilde bertaraf edilmesi ve elde edilen yüksek ısı değerindeki sentez gazından (syngas) enerji üretilmesine kullanılması için teknolojik olarak en uygun ve en ekonomik sistem kurutma ve gazlaştırmanın aynı proseste birlikte bulunduğu entegre sistemlerdir[26]. Arıtma çamurları kurutulmasını takiben gazlaştırma ile çamurları bertaraf etmek ve aynı zamanda da tesis içinde elektrik ve ısı enerjisi elde etmek mümkündür. Gazlandırmadan elde edilen bu ısı enerjisinin belli bir miktarını ise çamurun kurutma işleminde kullanmak mümkündür. Yakma işlemine göre hem daha çevre dostu hem de enerji üretimi bakımından daha verimli olan gazlaştırma işlemi son dönemde oldukça önemi artan bir uygulama haline gelmiştir.

2.6.3. Piroliz

Piroliz; biyokütle, polimer veya katı organik atıklar gibi maddelerin oksijensiz ortamda genellikle 300-650°C aralığında belirli bekleme sürelerinde termokimyasal olarak bozundurulması işlemidir. Bu süreç sırasında büyük kompleks hidrokarbon zincirleri kısmen küçük ve basit yapılara kırılarak gaz, sıvı ve char olmak üzere üç temel ürüne dönüşür. Sıvı ürün genelde biyo-yağ olarak adlandırılır ve katran, ağır hidrokarbonlar ve sudan oluşur. Bu ürünlerin miktarları operasyon koşullarına göre belirlenir ve sıvı ürünün amaçlandığı durumlarda yüksek ısıtma hızları ve kısa buhar bekletme süreleri tercih edilir. Biyo-yağ polimerik karbonhidrat ve lignin parçaları ile birlikte 400'den fazla yüksek derecede oksijenlenmiş bileşikler içermektedir. Biyo-yağın içerisinde en çok

bulunan kimyasallar su, asetik asit, metanol, siklopentanon, metoksifenol, aseton, furfural, fenol, formik asit, levoglikosan, guaiakoldur. Biyoyağ kimyasal, enerji ve yakıt üretimi için potansiyel bir kaynaktır.

2.7. Atık Yönetimi ve Arıtma Çamurları

Atık yönetimi; atığın kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemleri içeren bir yönetim biçimidir.

Toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi ekonomik anlamda büyük yük olan ve toplum sağlığı açısından önemli olduğu kadar, aynı zamanda, uygun şekilde değerlendirilemediği takdirde kaybolan ekonomik bir değer de olan atıkların yönetiminde, toplanmasından bertarafına kadarki süreçte gerçekleştirilecek tüm hizmetlerin maliyet ve sorumluluğu yerel yönetimlere düşmektedir. Her geçen gün artan katı atık miktarı karşısında zorlaşan katı atık yönetimi konusunda çözüm üretmek zorunda kalan yerel yönetimler çareyi özel sektör ile işbirliğinde bulmaktadırlar.

Atık sorununun ortadan kalkmasında tek bir yöntem yeterli değildir. Alternatif yöntemlerin kombinasyonu ile başarılı bir atık yönetiminin sağlanacağı artık kabul edilmiştir. Bu nedenle uluslararası düzeyde kabul gören “Entegre Atık Yönetimi” anlayışı benimsenmiştir. Verimli bir entegre atık yönetimi, aşağıdaki niteliklere sahip olmalıdır:

- Bütüncül bir sistem olmalıdır: Entegre atık yönetimi bir yerleşim merkezinde oluşan atığın bileşimini oluşturan bütün maddeleri ve üretim kaynaklarını ihtiva edecek şekilde planlanmalıdır.
- Ekonomik değer oluşturabilmelidir: Katı atık sisteminden sağlanabilecek ekonomik değerler, geri kazanılabilir malzeme, kompost ve elde edilebilecek biyogaz (düzenli depolama ve anaerobik kompost) ve benzeri kaynaklı girdilerdir. Bunlardan temin edilecek gelir, piyasa şartları ve yapılacak yatırımın maliyeti ile yakından ilgilidir. Bu sebeple planlama aşamasında ekonomik analizin çok iyi yapılması gereklidir.
- Esnek olmalıdır: Entegre atık yönetim sistemi, çevresel, mekansal ve atık özelliklerinde zamana bağlı olarak meydana gelebilecek çeşitli değişikliklere uyum sağlayabilecek esneklikte olmalıdır.

- Bölgesel planlama yapılmalıdır: Planlamanın verimli olması, toplanacak atık miktarına bağlıdır. Atık oluşum miktarı ise öncelikle nüfusa bağlıdır. Bu sebeple Büyükşehirler dışındaki yerleşim alanlarında bölgesel planlamalar yapılmalıdır. Bazı araştırmacılar entegre bir yönetime bağlı nüfusun 500.000 kişiden az olmamasını tavsiye etmektedir.
- Ulusal çevre sektörü oluşmalıdır: Yukarıda açıklana süreç ile eş zamanlı olarak, mahalli idareler, kamu ve özel sektörün tüm birikimlerinin sinerjisiyle, geometrik büyüyen dinamik bir çevre sektörü oluşturulmalıdır. Çevre koruma konusunda her türlü makine ekipman, mühendislik-müşavirlik ve taahhüt hizmetlerinin kurumsallaşması önem arz etmektedir.

2.8. Atık Oluşumunun Önlenmesi / Azaltımı

Atık minimizasyonu daha az atık veya tehlikeli atık oluşmasını sağlayacak metotların ve ürünlerin kullanılmasının sağlanması ile atıkların olduğu yerde ayrılmasını içeren işlemlerdir.

Atık önleme ya da oluşumunu en aza indirme, kaynak ve teknolojilerin en uygun şekilde kullanılması ve maksimum kontrolün uygulanması ile sağlanabilir. Bu çerçevede miktar olarak veya toksisite açısından tehlikeli düzeyde atık üreten ürünler yerine daha az atık üreten ikame maddelerin üretimine geçilmesi özendirilmeli ve teşvik edilmelidir. Bu amaçla harçlar ve vergiler, depozit sistemi gibi mekanizmalar uygulanmalıdır.

Avrupa Atık Mevzuatında kabul edilen geri kazanım işlemleri de şunlardır:

- Enerji üretimi amacıyla başlıca yakıt olarak veya başka şekillerde kullanma,
- Solvent (çözücü) ıslahı/yeniden üretimi,
- Solvent olarak kullanılmayan organik maddelerin ıslahı/ geri dönüşümü (Kompost ve diğer biyolojik dönüşüm süreçleri dahil),
- Metallerin ve metal bileşiklerinin ıslahı/geri dönüşümü,
- Diğer anorganik maddelerin ıslahı/geri dönüşümü,
- Asitlerin veya bazların yeniden üretimi,
- Kirliliğin azaltılması için kullanılan parçaların (bileşenlerin) geri kazanımı,

- Katalizör parçalarının (bileşenlerinin) geri kazanımı,
- Kullanılmış yağların yeniden rafine edilmesi veya diğer tekrar kullanımları,
- Ekolojik iyileştirme veya tarımcılık yararına sonuç verecek arazi ıslahı,
- Atıkların stoklanması (atığın üretildiği alan içinde geçici depolama, toplama hariç).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Arıtma çamurunun içeriği

Arıtma çamurlarının %1-95 arasında su içerebildiği gibi, toksik olmayan organik karbon bileşikleri, azot, fosfor içeren bileşikler; toksik kirleticiler; patojenler ve diğer mikrobiyolojik kirleticiler; kalsiyum, alüminat, silikat gibi inorganik bileşikler ve magnezyum içeren bileşikler içerebilmektedir.

3.1.2. Arıtma çamurunun temel yapısı

Arıtma çamurlarının yapısı, arıtılan sudaki temel kirletici yüklere ve tesiste uygulanan teknik koşullara bağlıdır. Atıksu arıtımı, suda bulunabilecek kirleticiler üzerine yoğunlaşmaktadır ve bu nedenle arıtma çamurları askıda veya çözünmüş çok geniş çeşitlilikte maddeler içermektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanı sıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Gazifikasyon

Arıtma çamurlarının çevre ile ilgili mevzuatlara uygun bir şekilde bertaraf edilmesi ve elde edilen yüksek ısı değerindeki sentez gazından (syngas) enerji üretilmesine kullanılması için teknolojik olarak en uygun ve en ekonomik sistem kurutma ve gazlaştırmanın aynı proseste birlikte bulunduğu entegre sistemlerdir. Arıtma çamurları kurutulmasını takiben gazlaştırma ile çamurları bertaraf etmek ve aynı zamanda da tesis içinde elektrik ve ısı enerjisi elde etmek mümkündür. Gazlaştırmadan elde edilen bu ısı enerjisinin belli bir miktarını ise çamurun kurutma işleminde kullanmak mümkündür. Yakma işlemine göre hem daha çevre dostu hem de enerji üretimi bakımından daha verimli olan gazlaştırma işlemi son dönemde oldukça önemi artan bir uygulama haline gelmiştir. Teorik olarak %5-%30 arası nem içeriğine sahip olan bütün organik atıklar gazlaştırılabilir fakat hepsi başarılı bir gazlaşmaya uğrayamaz. Gazlaştırılan atığın nem içeriği, uçucu madde oranı ve karbon içeriğinin yanında yüzey, boyut ve şekil özellikleri

de gazlaştırmada etkilidir. Gazlaştırmada üretilen gazların enerji içeriği atığın türü, reaktör tipi gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Gazlaştırma uygulamasında karbon içeren bileşikler buharla heterojen bir reaksiyona girer ve sonuçta karbonmonoksit ile hidrojene meydana gelir. Bu yöntemle organik atıklardan sentez gazı adı verilen buhar, hidrojen, karbondioksit, oksijen, az miktarda metan ve diğer kısa zincirli hidrokarbonların karışımından oluşan tümüyle gaz halindeki ürünler elde edilir. Gazlaştırma işleminin önemli avantajlarını řu şekilde sıralanabilir; dioksinler oluşmaz, elde edilen ürün karbon çevirimi yüksek kaliteli bir üründür, azot konsantrasyonu 30 mg/Nm³ 'n altına düşer, gazlaştırıcının atmosferik basınç koşullarına göre kuruluş maliyeti düşüktür, kontrol edilmesi kolaydır, katıların türbülanslı hareketi sıcaklığın sabit olmasını sağlar, ürün iyileştirilmesine fazla ihtiyaç olmaz. Evsel ve endüstriyel atıklarında kullanıldığı gibi arıtma çamurunun da gazlaştırılması için de kullanılabilir elektrik ve ısı enerjisi üretilen evre dostu gazlaştırma tesisleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlara en güzel rnekler İtalya, İsviçre, Japonya, Almanya, A.B.D. gibi ülkelerde kullanılan sistemlerdir. British Gas Lurgi (BGL) Katı Atık Gazlaştırma Schwarze Pumpe-SVZ Tesisi, Almanya ve Sabit Yatak Katı Atık Gazlaştırıcısı PRME Enerji Sitemleri, Arkansas, ABD en önemli örneklerdendir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemizde de sayıları her geçen gün artan atıksu arıtma tesislerinden açığa çıkan arıtma çamurlarının miktarı önemli boyutlara ulaşmıştır. Hedeflenen atık hiyerarşisinde düzenli depolamaların hiyerarşiden kaldırılacağı göz önünde bulundurularak yakma ile karşılaştırıldığında karbon ayak izinin düşürülmesinde de üstünlük sağlayan yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan gazlaştırma tesislerinin ülkemizde yaygınlaştırılması olumlu katkıları olacaktır.

KAYNAKLAR

Resmi Gazete (2008) 07.07.2008 Tarih ve 26927 Sayılı Resmi Gazete, Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik

Resmi Gazete (2004) 31.12.2004 Tarih ve 25687 Sayılı Resmi Gazete, Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik.

Keskinler B, Hız H, Kara S, Dizge N (2011). Tekirdağ İli Arıtma Çamurlarının Karakterizasyonunun ve Uygun Bertaraf Yöntemlerinin Belirlenmesi Projesi (2011)

Ayol, A., 2010. Atıksu arıtma çamurlarının susuzlaştırılması, pp. 66-70. 2. Atık teknolojileri sempozyumu ve sergisi, Kasım 4-5, 2010, İstanbul.

Azman, H.E., 2005. Eysel Atıksuların Arıtılmasında Arıtma Verimi-Enerji İlişkisinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 87 s.

https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/bolum_8-20191127123158.pdf

<https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/cevre-aktuel/cevre-izinleri/151-stabilize-aritma-camuru-kullanim-zni>

<https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/ek4-20191127123641.pdf>

<http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc80.htm>

[https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/gturan/69492/Ar%C4%B1tma%20%C3%87a murlar%C4%B1n%C4%B1n%20Stabilizasyonu%20\(4.%20Hafta\).pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/gturan/69492/Ar%C4%B1tma%20%C3%87a murlar%C4%B1n%C4%B1n%20Stabilizasyonu%20(4.%20Hafta).pdf)

<https://www.cevreportal.com/aritma-camuru-nedir>