

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**EVSEL ATIKSU ARITMA ÇAMURLARINDAN BİYOKURUTMA
YÖNTEMİ İLE YAKIT NİTELİKLİ ÜRÜN ELDE
EDİLMESİNDE HACİM ARTIRICI MALZEMELERİN
ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ**

UĞUR AKDEMİR

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EVSEL ATIKSU ARITMA ÇAMURLARINDAN BİYOKURUTMA
YÖNTEMİ İLE YAKIT NİTELİKLİ ÜRÜN ELDE
EDİLMESİNDE HACİM ARTIRICI MALZEMELERİN
ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

UĞUR AKDEMİR

Doç.Dr. Bilge ÖZBAY
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof.Dr. Nevim GENÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Doç.Dr. Aude ATEŞ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 21.01.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeyinin artmasıyla paralel bir şekilde enerji ihtiyaçlarında arttığı görülmektedir. Bu durum özellikle gelişmekte olan ülkeler için önemli bir ekonomik yük oluşturmakta ve karşılanamayan enerji açığı sebebiyle dışa bağımlılıklarının artmasına neden olmaktadır. Yaşanan enerji dar boğazları ülkeleri sürekli bir şekilde yeni alternatif enerji kaynakları aramaya itmektedir. Bu amaca yönelik olarak yüksek enerji potansiyeline sahip arıtma çamurlarının yakıt olarak kullanılması görüşü oldukça çevreci bir yaklaşımdır. Gerçekleştirilen bu çalışmada evsel arıtma tesisi çamurundan bio-kurutma yöntemi ile yakıt nitelikli ürün elde edilmesinde kullanılan hacim arttırıcı malzemelerin etkinliği elemental ve yaklaşık analizlerdeki değişimler çerçevesinde incelenmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarına katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta desteğini ve zamanını esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. Bilge ÖZBAY' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren hocam Doc. Dr İsmail ÖZBAY' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatım boyunca beni destekleyen annem, babam, abim ve kuzenim Metehan BAKIR' a sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen meslektaşım Tamer GÜZEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Aralık – 2020

Uğur AKDEMİR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	4
1.1. Arıtma Çamuru.....	4
1.2. Arıtma Çamurunun Bertaraf Yöntemleri.....	7
1.2.1. Kompostlaştırma	9
1.2.2. Termal bertaraf.....	11
1.2.3. Araziye uygulama	12
1.2.4. Düzenli depolama.....	14
1.2.5. Lagünler depolama.....	15
1.3. Çamur İşleme Yöntemleri	17
1.3.1. Çamur şartlandırma.....	18
1.3.2. Çamur şartlandırma.....	19
1.3.3. Çamur stabilizasyon	20
1.3.4. Çamur susuzlaştırma	22
1.4. Çamur Kurutma Yöntemleri.....	24
1.4.1. Çamur kurutma yatakları.....	24
1.4.2. Güneş enerjili kurutma.....	25
1.4.3. Termal kurutma.....	26
1.4.4. Biyo-kurutma	27
1.4.4.1. Biyo-kurutma prosesini etkileyen faktörler	29
1.4.4.1.1. Nem içeriği.....	29
1.4.4.1.2. Hava-akış debisi	30
1.4.4.1.3. Sıcaklık.....	30
1.4.4.1.4. Gözenek artırıcı (GA) madde	30
1.4.4.1.5. Karıştırma.....	30
1.4.4.2. Biyo-kurutma uygulanan atık türleri ve yapılan çalışmalar.....	31
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	36
2.1. Biyo Kurutma Materyallerinin Özellikleri	36
2.2. Deneysel Prosedür ve Kurulum.....	39
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	41
3.1. Dinamik Sıcaklık ve Kütle Kaybı Ölçümleri Sonuçları	41
3.2. Biyo-Kurutulmuş Örneklerin Elementel Bileşimindeki Farklılıklar	44
3.3. Biyo – Kurutulmuş Örneklerin Kalorifik Değerindeki Değişikleri.....	46
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	57
ÖZGEÇMİŞ	58



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	AB'nin seçilmiş ülkelerinde arıtma çamuru üretimi	5
Şekil 1.2.	Atık su arıtma tesisindeki arıtma çamuru arıtma işlemleri	17
Şekil 1.3.	Biyo-kurutma prosesinin basitleştirilmiş şematiği.....	29
Şekil 2.1.	Biyo-kurutma öncesi kullanılan gözenek arttırıcı malzemelerin (talaş (a), saman (b)) ve arıtma çamurunun (c) görünümü.....	38
Şekil 2.2.	Biyoreaktörün şeması.....	39
Şekil 3.1.	Biyo kurutma kurutma sırasındaki sıcaklık değişimleri	41
Şekil 3.2.	Biyo kurutma işleminde kütle değişimleri.....	42
Şekil 3.3.	Test edilen deneylerde nem ve uçucu maddenin azalması	43
Şekil 3.4.	Örneklerin biyo-kurutma işlemi öncesi ve sonrası kalorifik değerleri.....	46

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Kompostlaştırma işleminin avantaj ve dezavantajı.....	10
Tablo 1.2.	Çamur şartlandırma yöntemleri ve amaçları.....	18
Tablo 1.3.	Yoğunlaştırma yöntemleri avantaj-dezavantajları	19
Tablo 1.4.	Çamur stabilizasyon yöntemleri avantaj ve dezavantajları.....	21
Tablo 1.5.	Çamur susuzlaştırma yöntemleri ve özellikleri	23
Tablo 1.6.	Çamur kurutma yatakları avantaj ve dezavantajları	25
Tablo 1.7.	Termal kurutma yöntemleri	26
Tablo 1.8.	Arıtma çamuru biyo-kurutma yöntemiyle ilgili yapılan çalışmalar.....	31
Tablo 2.1.	Kanalizasyon çamurunun karakterizasyonu	36
Tablo.2.2.	Kullanılan hacim artırıcı maddelerin özellikleri.....	37
Tablo 2.3.	Kullanılan hacim artırıcı maddelerin özellikleri.....	40
Tablo 3.1.	Yaklaşık analiz sonuçları	44
Tablo 3.2.	Elemental analiz sonuçları	45
Tablo 3.3.	Tam analiz sonuçları	46
Tablo 3.4.	Atık kaynaklı yakıtın ekonomik nitelikleri için sınıflar	47
Tablo 3.5.	Bio-kurutulmuş malzemelerin sınıflandırması	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: Karbon
C/N	: Karbon/Azot
CH ₄	: Metan
Cl	: Klor
CO ₂	: Karbon dioksit
H	: Hidrojen
H ₂ O	: Su
H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
H ₂ S	: Hidrojen sülfür
H ₂ SO ₄	: Hidrojen sülfat
Hg	: Civa
HNO ₃	: Nitrik asit
K	: Potasyum
N	: Azot
NH ₃	: Amonyum
S	: Kükürt

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ATY	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
EPA	: Environmental Protection Agency(Çevre Koruma Ajansı)
GA	: Gözenek Arttırıcı Madde
KTY	: Katı Atıktan Türetilmiş Yakıt
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

EVSEL ATIKSU ARITMA ÇAMURLARINDAN BİYOKURUTMA YÖNTEMİ İLE YAKIT NİTELİKLİ ÜRÜN ELDE EDİLMESİNDE HACİM ARTIRICI MALZEMELERİN ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Gelişmiş ve gelişmekte olan toplumlarda kentin kanalizasyon sularının arıtımı oluşan çamurların yönetimi önemli çevre sorunlarından biri olmaktadır. Yüksek enerji potansiyeline sahip evsel atıksu arıtma çamurlarının yönetiminde atıktan türetilmiş yakıt üretiminde hammadde olarak kullanılmalarının sağlanması hem bu atıkların bertarafı hem de enerji sorununa bir çözüm sunabilmektedir. Ancak arıtma tesislerinden çıkan susuzlaştırılmış çamurların yakıt niteliği kazanılması için nem içeriklerinin düşürülmesi ve böylelikle kalorifik değerlerinin artırılması gerekmektedir. Bu amaçla yaygın olarak uygulanan ısı işlem ve geleneksel kurutucular ısı üretmek için yakıt veya elektrik kullandığından pahalı olmaktadır. Biyo-kurutma, genellikle hızlandırılmış kurutma koşulları altında atıktan türetilmiş bir yakıt üretmek için kullanılan ve organik içerik bozunmasını en aza indiren yeni bir teknolojidir. Farklı biyomalzemelerin biyolojik olarak kurutulması ve çalışma koşullarının etkileri konusunda yeterli sayıda araştırma olmasına rağmen, biyolojik olarak kurutulmuş malzemelerin elemental ve proksimet özellikleri hakkında bilgi yüzeysel düzeyde kaldığı görülmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, biyolojik kurutma işleminin biyolojik olarak kurutulmuş malzemenin elemental ve proksimet özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu amaçla, biyokütlenin (evsel atıksu arıtma çamuru) ve hacim artırıcı maddelerin (saman ve talaş) farklı bileşimlerini içeren altı deneme hazırlanmıştır. Talaş içeren denemeler, daha iyi gözeneklilik koşulları nedeniyle daha yüksek uçucu madde giderimi sağlamıştır. Öte yandan, saman içerikli denemelerin, daha yüksek biyolojik kurutma indeksleri dikkate alındığında daha iyi ATY kalitesi sağladığı belirlenmiştir. Kalorifik değerin korunmasını sağlayan proses sırasında karbon içeriğindeki azalma kabul edilebilir düzeyde kalmıştır. Ayrıca, biyolojik olarak kurutulmuş malzemelerin yakıt kalitesi, ilgili Avrupa standartlarına göre sınıflandırılmıştır. % 20 saman içeren Deneme 5, nem içeriği parametresi dikkate alınarak yapılan sınıflandırmaya göre 1. Sınıf ürün sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Alternatif Enerji Kaynağı, Arıtma Çamuru, Biyo Kurutma, Hacim Artırıcı Madde, Uçucu Madde.

INVESTIGATING EFFICIENCY OF THE BULKING AGENTS IN PRODUCTION OF REFUSED DERIVED FUEL FROM SEWAGE SLUDGE BY BIO-DRYING METHOD

ABSTRACT

As the population increases day by day, the amount of waste thrown into the nature increases. Heat treatment and conventional dryers, which are commonly applied for this purpose, are expensive as they use fuel or electricity to generate heat. As a developing drying technology, bio-drying is especially preferred in waste-derived fuel production plants for the partial stabilization and drying of urban waste. Biodrying is an emerging technology generally utilized to produce a refuse-derived fuel under conditions of accelerated drying and minimized the organic content degradation. Although there are sufficient number of researches on biodrying of different biomaterials and impacts of operational conditions, knowledge about ultimate and proximate characteristics of the biodried materials are superficial. The major aim of the present study was to investigate the impact of biodrying process on the ultimate and proximate properties of the biodried material. With this aim, six trials were prepared containing different compositions of the biomass (sewage sludge) and bulking agents (straw and sawdust). Trials containing sawdust have provided higher volatile matter removal due to better porosity conditions. On the other hand, trials with straw content are thought to provide better RDF quality considering higher biodrying indexes. Decrease in carbon content remained at acceptable level during the process ensuring the protection of calorific value. Furthermore, fuel quality of bio-dried materials were classified according to the relevant European standards. Trial 5 containing 20% straw has provided product of Class 1 considering moisture content parameter.

Keywords: Alternative Energy Sources, Treatment Sludge, Biodrying, Bulking Agent, Volatile Matter.

GİRİŞ

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte artan endüstrileşme, kentleşme ve ekonomik gelişme gibi insan faaliyetlerinin sonucu olarak kaynaklar dikkatsizce tüketilmekte ve bu tüketim sonucu olarak pek çok atık türleri oluşmaktadır. Ekonomik, sosyal ve nüfus yönünden gelişen ve küreselleşen dünyada sanayileşme ve kentleşmenin sonucu olarak atık miktarlarında artış gözlenmektedir. Ülkemizdeki atık yönetimi yönetmeliğinde atık; “Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyali” olarak ifade edilmektedir [1].

İnsanlar ihtiyaç duymadıkları maddeleri atma ve buldukları yerden uzaklaştırma eğilimindedir. Bununla birlikte, doğaya ne kadar zarar verdiklerini önemsememek ana sorunlardandır. Dünyadaki insan faaliyetlerinin artması sonucu ortaya çıkan atıklar doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı arttırmakta, çevre ve sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Endüstri ve teknolojiye hızlı gelişmeler sonucunda “Atık Yönetimi” kavramı ortaya çıkmıştır. Atık kaynaklarının çeşitliği ve sayıca fazlalığı ise “Entegre Atık Yönetimini” gerekli kılmaktadır. Entegre Atık Yönetimindeki temel prensip atık oluşumunun önlenmesi, oluşumu önlenemeyen atıkların kaynağında azaltılması ve mümkünse yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve geri kazanılması, değerlendirilemeyen atıkların ise çevre dostu yöntemlerle nihai bertarafının sağlanması şeklinde olmalıdır. Entegre atık yönetiminin ana bileşeni olan geri kazanım, çevre kirliliğinin azaltılması ve kaynakların korunması bakımından en çevreci yaklaşımdır [2].

Enerji, her zaman hayatın devamı için vazgeçilmez bir unsurdur. Günümüzde enerji ihtiyacının yaklaşık %80’lik büyük bir oranını fosil yakıtlar karşılamakta ancak tüm dünyada fosil yakıt rezervleri hızla tükenmektedir. Mevcut durum itibariyle petrolün 40, doğal gazın 62, kömürün ise 216 yıllık ömrü kaldığı öngörülmektedir. Ülkemizde enerji ihtiyacının yaklaşık %68 ‘i ithal edilmekte olup bu nedenden dolayı alternatif

enerji kaynaklarına geçiş yapılmadığı takdirde, önümüzdeki yıllarda bir enerji darboğazına girileceği kaçınılmaz olduğu aşikârdır [3].

Enerji ihtiyacı beraberinde birçok olumsuz çevresel faktörlerine neden olmaktadır. Kullanılan enerjinin büyük bir çoğunluğu yenilenemeyen enerji kaynakları olduğunda çevreye zarar verme potansiyeli oldukça fazladır. Hem yenilenemeyen enerji kaynaklarının tükenme noktasına gelmesi hem de çevreye verdikleri zararlardan dolayı çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynakları arayışına yöneltmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Gelişmiş ülkeler atıkların doğal kaynaklara ve çevreye verdikleri zararı önlemek amacıyla bertaraf yerine, enerji kaynağı olarak kullanma yoluna gitmişlerdir.

Son zamanlarda katı atık yönetiminde bir arıtma seçeneği olan yakma teknolojileri enerji geri kazanımı da sağlamaktadır. Sağladığı avantajlara bağlı olarak bu yöntem gerek akademik çevreler gerekse yüksek enerji ihtiyacı olan sanayi kuruluşları (çimento, enerji santralleri vb.) tarafından büyük ilgi görmektedir. Avrupa Birliği (AB) atık direktiflerine göre atık yakma, yakma tesislerinin enerji verimliliğine bağlı olarak ya bertaraf veya enerji geri kazanım teknolojisi olarak kategorize edilmektedir [4]. Yakma prosesinin tasarımı ve işletilmesindeki temel faktör kullanılacak atığın ısı özellikleridir (kalorifik veya ısı değeri). Biyo-bozunur atıkların, düşük alt ısı değerlerinden (3-6,7 MJ/kg) ve yüksek nem içeriklerinden (> % 70) dolayı enerji potansiyeli açısından değerlendirilmesi çok güçtür [5].

Atık su arıtma tesislerinde büyük miktarlarda çamur üretildiği için arıtma çamurunun çevre dostu yönetimi önemli araştırma konularından biri olmaktadır [1]. Çamurların bileşiminden kaynaklanabilecek potansiyel çevresel riskler, bertaraf teknolojilerinin doğrudan kullanımını engellemektedir. Bilindiği gibi arıtma çamurları patojen mikroorganizmalar, toksik ve tehlikeli maddeler içerebilmektedir [2]. Öte yandan bünyesinde önemli miktarlarda mikro besin (örneğin bakır, manganez, demir ve çinko) ve makro besinler (örneğin karbon, nitrojen ve fosfor) bulunabilmektedir [3]. Bu zengin bileşim, arıtma çamurlarının yönetiminde yeniden kullanım ve geri dönüşüm gibi alternatif çevre dostu yaklaşımların uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Elbette, çamurların yararlı yeniden kullanımından doğru bir karakterizasyon analizi ve tehlikeli unsurların uzaklaştırılması için uygun ön işlemlerin yapılması zorunludur.

Tartışmasız olarak susuzlaştırma, tüm çamur yönetimi seçenekleri için en önemli aşamalardan biridir. Hacimde azalma sağlayarak depolama ve nakliye maliyetlerinde önemli oranda kar elde edilmesine olanak sağlar [4]. Ayrıca, “atıktan enerji” yaklaşımına göre yakıt olarak kullanılabilirliğini artıran kurutma ile çamurun ısı değeri iyileştirilir [5]. Kurutulmuş arıtma çamurlarının belediye atık yakma fırınlarında ve çimento fırınlarında yakıt veya yardımcı yakıt olarak kullanıldığı ilgili literatürden iyi bilinmektedir [6]. İlave ısıya dayalı konvektif, kondüktif ve solar kurutma sistemleri çamurların geleneksel kurutulmasında kullanılmaktadır.

Günümüzde biyo-kurutma teknolojisi, mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak otomatik termal ısı üretimi sağlaması nedeniyle çamurların kurutulması için umut verici bir alternatif olarak görülmektedir [7]. Bu teknolojide organik maddelerin aerobik bozunmasından üretilen ısı, biyolojik atıklardan suyun uzaklaştırılması için kullanılmaktadır [1]. Süreç kompostlama teknolojisine benzer gibi görünse de, ayırt edici farklılıklar bulunmaktadır. Öncelikle, kompostlama işleminin çıktısı stabilize bir ürünken, biyolojik kurutma kısmen stabilize ürün sağlamaktadır. Biyo-kurutma işleminde biyokütlenin organik içeriğinin korunması ve yüksek enerji içeriğine sahip alternatif yakıtların elde edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, bu kısmen stabilize edilmiş ürünü elde etmek için gereken alıkonma süresi önemli ölçüde daha kısadır [8].

Biyo-kurutma uygulamalarında çıktı kalitesinin değerlendirilmesi için biyo-kurutma sürecinde organik içeriğin stabilitesi izlenmelidir. Elemental ve proksimet analizler, biyokütlenin ve ürünün özelliklerini belirlemek için kullanılan yararlı araçlardır. Bu çalışmanın amacı, biyo-kurutma işlemi sırasında biyokütlenin temel bileşimindeki değişiklikler hakkında ayrıntılı bilgi elde etmektir. Bu amaçla arıtma çamuru biyokütle olarak kullanılmış ve gözenekliliği iyileştirmek için önceden belirlenmiş oranlarda biyokütleyle iki farklı hacim arttırıcı (talaş ve saman) eklenmiştir. Tüm deneysel koşullar için toplu biyolojik kurutma testlerinden önce ve sonra örnekleri karakterize etmek için elemental, proksimet ve kalorifik değer analizleri gerçekleştirilmiştir. Elemental analiz sonuçları dikkate alınarak biyokurutulan örneklerin proses öncesi ve sonrası kimyasal formülleri ortaya konularak değişimler gözlemlenmiştir.

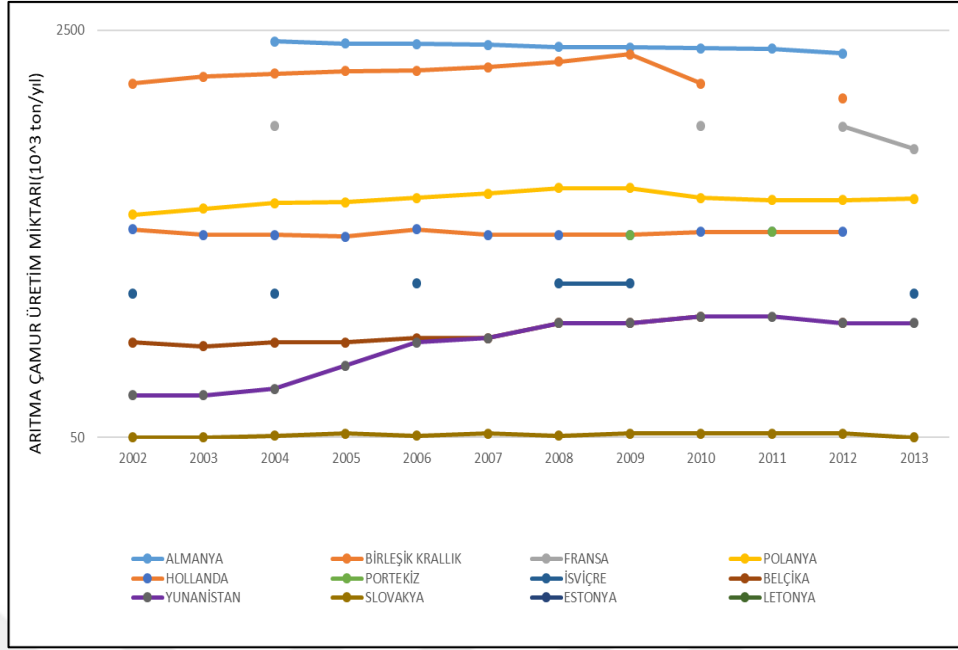
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Arıtma Çamuru

Dünya genelinde hızla artan kentselleşme ve sanayileşme sonucunda atık su hacminde önemli bir artış görülmektedir. Ülkeler, yasalar çerçevesinde atık suların toplum sağlığı açısından güvenilir bir biçimde deşarj edilmesi için bazı arıtma işlemlerine tabi tutulmalarını zorunlu hale getirmişlerdir. Atık su arıtma tesislerinde gerçekleştirilen işlemlerin bir yan ürünü olan arıtma çamuru, zararlı bileşenler de içerebilen (fermente olabilir ürünler, patojenik organizmalar, ağır metaller, PCB vb.) bir yapıdır. Bu bakımdan büyük hacimlerdeki atık su, gelişigüzel bertaraf edilmesi mümkün olmayan arıtma çamurlarını beraberinde getirmektedir.

5 Nisan 2005 tarihli ve 25777 sayılı Resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliğinde “Evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atık suların, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler sonucunda ortaya çıkan, suyu alınmış, kurutulmuş çamur” olarak arıtma çamuru, tanımlanmaktadır [9]. Başka bir ifadeyle de evsel veya endüstriyel atıksuların fiziksel, biyolojik ve kimyasal yöntemlerle arıtılması sonucu üretilen sıvı veya yarı katı maddelere, katı içeriği uygulanan arıtma yöntemine bağlı olarak değişen ve genel bir yaklaşım olarak kütlece % 0,25-12 katı madde içeren sulu karışımlara arıtma çamuru denilmektedir [10].

AB Raporuna [11] göre 2008 yılında 26 AB Üye Devletinde 10 milyon tondan fazla kuru katı (DS) arıtma çamuru üretilmiş ve bunun yaklaşık % 36'sı (3,7 milyon ton DS) tarımda geri dönüştürülmüştür. Örneğin, Baltık Denizi havzasının yakınında bulunan ülkelerde, üretilen kanalizasyon çamuru miktarı yılda yaklaşık 3,5 milyon ton kuru katı idi - bunun 2020 yılına kadar yaklaşık 4 milyon tona çıkması beklenmektedir. Şekil 1.1' de gösterildiği gibi [12], Almanya en yüksek çamur üreticisidir, onu Birleşik Krallık ve Fransa izlemektedir. İspanya ve İtalya gibi diğer ülkelere ek olarak, yılda 500.000 tondan fazla DM üretmektedirler. Bu 5 ülkenin, Avrupa kanalizasyon çamurunun yaklaşık % 75' ini oluşturduğu tahmin edilmektedir. Bu durum genellikle her ülkenin demografisini yansıtmaktadır [13].



Şekil 1.1. AB'nin seçilmiş ülkelerinde arıtma çamuru üretimi

Çamurun düzenli depolama alanına atılmasının sızıntı suyu üretimini ve doğrudan havaya salınan CO₂ emisyonlarını etkilediği bilinmektedir [14]. AB'de kanalizasyon çamuru yönetiminin ana yöntemleri: tarımsal kullanım ve yakmadır. AB'de üretilen toplam çamurun yaklaşık % 40'ının tarım amaçlı kullanılmasına rağmen, tek tek AB ülkeleri açısından toprakta yöneltilen arıtma çamuru miktarları çok farklılık göstermektedir. Bazı AB Üyeleri, SSD (Sewage sludge directive)'de bulunanlara göre kirleticiler için daha katı sınır değerleri benimserken, bazı ülkeler yönetmeliklerine yeni kirleticiler eklemiştir. Bazı Üye Devletler, çamuru tarım arazisine uyguladıktan sonra çevresel risk olarak göz önünde bulunduruyor ve hatta kullanımını yasaklamışken, diğerleri bunu yaygın olarak kullanıyor ve hala çamur yönetimini iyileştirmektedir. Belçika, Danimarka, İspanya, Fransa, İrlanda ve Birleşik Krallık'ta tarım için kullanılan çamur miktarı 2010 yılında % 50'den fazlaydı [11]. Ancak, diğer ülkelerde, örneğin Finlandiya ve Belçika'da < % 5 tarımsal amaçlar için kullanılmaktadır. Yunanistan, Hollanda, Romanya, Slovenya ve Slovakya'da çamur tarımda kullanılmamaktadır. Polonya'da, arıtma çamurlarının depolanmasında kademeli bir azalma ve termal dönüşümlerinde artış gözlenmiştir. Norveç ve İsviçre gibi AB üyesi olmayan ülkelerde, tarımda daha büyük miktarlarda çamur uygulanmaktadır. Direktife (1999) göre, Norveç'in biyolojik katıların % 60'ını tarım arazilerine geri dönüştürmek için resmi bir hedefi vardı, 2008'de biyo katıların % 80'i

tarım arazilerine veya yeşil alanlara geri dönüştürüldüğünden bu hedefine ulaşılmıştır. İsviçre ise bunun aksine, biyo katıların tarım arazilerinde kullanımını 2005 yılından beri yasaklamıştır [13].

Türkiye’de her yıl yaklaşık 1,38 milyon ton arıtma çamuru üretilmektedir [7]. TÜİK 2019 yılı verilerine göre, 83.154.997 nüfuslu ülkemizde 30 Büyükşehir Belediyesi, 1399 Belediye bulunmaktadır. Bu yerleşimlerde kanalizasyon hizmeti verilen nüfus oranı %91’dir. 2018 yılı itibariyle şebekeden alıcı ortama deşarj edilen 4.795.130 bin m³ atık suyun %88,35’i arıtılmaktadır. 2018 yılı TÜİK verileri hesaba katılarak atık su arıtma tesisleri ile hizmet verilen nüfusun toplam nüfusa oranı %79’dur. Kişi başı 60 g katı madde/gün miktarı kabul edilerek, evsel/kentsel kaynaklı günlük 3.361.008 ton arıtma çamuru üretildiği yılda ise 1.226.767.920 milyar ton arıtma çamuru üretildiği tahmin edilmektedir. Söz konusu bu arıtma çamurlarının çoğu belediyelerin işlettiği katı atık depolama sahalarına bertarafı kolay, ucuz bir yöntem olarak görüldüğü için gönderilmektedir. Evsel arıtma çamurunda bulunan zengin içerikli besi maddeleri, ısıl değeri vb. hususiyetleri göz önünde bulundurulduğunda faydalı kullanım alternatifleri olan bir ham maddedir [8]. Arıtma çamurlarının depolama sahalarına gönderilmeleri, hem alternatif hammadde olarak kullanılmalarının önüne geçmekte hem de zaten kısıtlı yere sahip olan depolama sahalarının kapasitelerinin erken dolmasına yol açmaktadır. Isıl ve besi değeri olan bu maddeyi doğru ve düzgün şekilde kullanarak ülke ekonomisine maksimum faydayı sağlamak gerekmektedir.

Atık su arıtımında karşılaşılan en büyük maliyet kalemi arıtım sonucu oluşan çamurların yönetimidir. Çamurun hacminin ve ağırlığının azaltılması; söz konusu atıkların toplanması, biriktirilmesi, geçici ve ara depolanması, taşınması ve nihai bertarafında ekonomik ve teknik açıdan olumlu etkiler sunmanın yanı sıra çamurun kurutulması ile başlangıç aşamasındaki nem içeriği %70 civarında azalış göstermekte bu da nakliye ve bertaraf maliyetlerinde düşüş görülmesine neden olmaktadır [15]. Her geçen gün arıtma çamurlarını kurutmak amacıyla çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek aynı zamanda düşük ekonomik maliyet ile çalışacak yeni sistemler üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bulunan yöntemlerle, atıkların deponi sahalarında gereksiz yer işgal etmeleri ya da yakma tesislerinde emisyonu sebep olarak küresel iklim değişikliğine neden olmamaları da amaçlanmaktadır.

Arıtma çamurunun hacimsel ve kütleli olarak azaltılması uygulanacak olan bertaraf sistemi çeşitliliği, maliyetlerde azalmaya sebep olması atığın doğru yönetimi bakımından kilit önem arz etmektedir. Arıtma çamurunun en etkin biçimde arıtılabilmesi için yönetim sistemi içinde değerlendirilip bütünsel bir yaklaşımla, düşük maliyetli alternatiflerle eş zamanlı olarak halk sağlığı ve çevre güvenliği unsurlarının da bir arada bulunduğu bir yapının kurulması gerekmektedir. Arıtma çamuru arıtım sistemlerinin seçimi ya da nihai bertarafında tarımda kullanım, yakma ya da depolama alternatifleri değerlendirilirken konu bir bütün olarak ele alınmalı, çamur özellikleri, ülke koşulları, ülkenin ekonomisi, bunun yanında da söz konusu bölgeye has koşullar değerlendirilerek seçimler yapılmalıdır [8]. Kuru evsel çamurlar içeriği itibariyle gübre olarak tarımda kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Ayrıca çamur kuruyunca kalorifik değeri arttığından dolayı iyi bir alternatif enerji kaynağı olarak da değerlendirilebilir.

Günümüzde, yüksek enerji tüketen çimento endüstrisinde arıtma çamuru alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Ancak bünyesindeki % 80 civarındaki su ihtivasi, arıtma çamurlarının yakılarak bertaraf edilmesindeki verimliliği azaltmaktadır. Bu nedenle nemin azaltılabilmesi için kurutma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Kurutma işlemi ile arıtma çamurunun kütle ve hacmi azaldığından, depolama, paketleme ve nakliyede oldukça kolaylık sağlanabilmektedir. Öte yandan, arıtma çamurunun bünyesindeki her bir ton suyun buharlaşması için kurutma tekniğine bağlı olarak 900-1300 kwh enerji gerekmektedir [16].

Arıtma çamurları yapılarına bağlı olarak uygulanan işlemlere göre değişiklik göstermektedir. Atıksu arıtma tesislerinde üretilen arıtma çamurları; çökebilir katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamuru, kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamur ve biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamur (aktif çamur) olarak sıralanabilir. Sıralanan çamurlardaki organik madde konsantrasyonları değişiklik göstermektedir. Yüksek organik madde konsantrasyonlu aktif çamur biyokütle kaynağı olarak kullanılabilir [11].

1.2. Arıtma Çamurunun Bertaraf Yöntemleri

İstatistiklere göre, dünyada sadece gelişmiş ülkelerin ürettiği çamur yılda 30 milyon tonu aşmaktadır ve bu sayı hala artmaktadır [17]. Dünya çapında üretilen büyük

miktarda çamur bulunmaktadır. Azot, fosfor ve potasyum gibi besin zengin organik madde elementlerinin yanı sıra çeşitli patojenler ve ağır metal elementleri de içerir. Düzgün bir şekilde bertaraf edilmezse, sadece kaynakları israf etmekle kalmayacak, aynı zamanda koku yayacak, mikropları yayacak ve su kaynaklarını kirletecek, insan yaşam çevresini ciddi şekilde kirletecek ve insan sağlığını tehlikeye atacaktır. Günümüzde, kanalizasyon çamurunu bertaraf etmenin ana yolları üç kategoriye ayrılabilir: düzenli depolama, tarımsal kullanım ve yakma [17]. Kaynak kullanımı, gelişmiş ülkelerde çamur arıtımı için ana fikirdir. Örneğin Japonya, yakma işleminden sonra inşaat malzemeleri için teknik olarak çamur kullanıyor. Avrupa'nın gelişmiş ülkelerinde, arazi kullanımı çamur için birincil bertaraf yöntemidir ve Amerika Birleşik Devletleri'nde, çamurun% 60'ı tarım arazisi gübresi olarak kullanılmak üzere biyo-katı oluşturmak için arıtılmaktadır. Çamur, yüksek miktarda organik madde içerir, bu da CH₄ bakımından zengin bir çöp gazı üretir ve CO₂'den daha fazla sera etkisine katkıda bulunur. Ayrıca, bir çöp sahası için ihtiyaç duyulan arazinin maliyeti, azalan kullanılabilirliği nedeniyle artmaktadır. Ayrıca, büyük miktarda arıtma çamurunun düzenli depolama alanlarına atılması, kaçınılmaz olarak depolama sahasının sıkışması, farklı yerleşim, yerel istikrarsızlık ve eğim istikrarsızlığı gibi bazı jeo-çevresel sorunlara yol açacaktır [18]. Şev stabilitesi, belirli şev yüksekliği ve şev açısı koşulları altında şev kaya ve zeminin stabilitesini ifade eder. Arıtma çamurunun ikinci bertaraf yöntemi, bol organik madde ve mahsuller için gübre olarak kullanılabilen büyük miktarda azot, fosfor ve potasyum nedeniyle tarımsal kullanımdır. Bununla birlikte, tarımda doğrudan kullanımı tartışmalıdır çünkü atık su arıtma tesislerindeki kirleticiler için bir lavabo olarak lağım çamuru, çevreyi ağır metaller ve tartışmanın odağı olan farmasötikler, parazitler ve patojenler gibi organik kirleticilerle kirletme olasılığına sahiptir ve arıtma çamurunun tarımda doğrudan uygulanmasını sınırlandırmaktadır [19].

Atıksulann arıtılmasında zor ve pahalı işlemlerden birisi, oluşan çamurlara uygulanan işlemler ve bertaraf yöntemleridir. Günümüzde birçok farklı çamur bertaraf /uzaklaştırma işlemleri mevcuttur. Başlıca yöntemler; kompostlaştırma, termal bertaraf, araziye uygulama, düzenli depolama ve lagünlerde depolamadır.

1.2.1. Kompostlaştırma

Son yıllarda, kimyasal gübrelere bir alternatif olarak organik atıkların geri dönüştürülmesine ve çevreye zarar vermeyen atık bertarafının teşvik edilmesine büyük önem verilmiştir. Kanalizasyon çamuru (SS) veya biyo-katı, belediye atık su arıtımından sonra kalan atık su arıtma tesislerinin bir yan ürünüdür.[20] SS'nin organik maddeler içerdiği düşünüldüğünde kompostlama için iyi bir adaydır ve tarımda gübre veya toprak ıslahı olarak kullanılabilir [21]. Tarım arazilerinde kullanılmak üzere organik katkı maddeleri elde etmek için SS'den kompost üretimi yaygın olarak kullanılmaktadır [22]. Kompostlama, arazi uygulaması ile takip edildiğinde, malzeme geri dönüşümünü aynı anda çamur bertarafı ile birleştirir ve bu nedenle SS'nin sürdürülebilir arıtımı ve nihai bertarafı için en verimli yollardan biri olarak kabul edilir [23]. SS kompostlama aynı zamanda çevreye yararlı kaynakları döndürür ve bitki büyümesini hızlandırmak, nem tutmayı iyileştirmek, topraktaki organik maddeyi artırmak ve erozyon kontrolünü iyileştirmek gibi bir dizi faydalı etkiye sahiptir [24]. Kompostlaştırma, mikroorganizmaların metabolizma için organik maddeyi kullandığı ve atıkların biyolojik olarak parçalanabilir fraksiyonunu kararlı hümik bileşenlere indirgediği biyolojik, aerobik bir süreçtir [25]. Kompostlama, mezofilik faz, termofilik veya stabilizasyon fazı ve son olarak soğutma veya olgunlaşma fazını içeren üç fazdan geçer. Bu süreçte, patojenler termofilik fazda üretilen ısı ile öldürülebilir. SS kompostunun tarımsal kullanım için uygulanabilirliği, ağır metal içeriği ile sınırlandırılabilir [26]. Çevrede doğal olarak bulunan ağır veya toksik metaller yeraltı suyu sızmasından atık suya girebilir. Atık sudaki diğer metal kaynakları, daha sonra atık su arıtma prosesleri yoluyla SS'ye aktarılan konut, ticari ve endüstriyel deşarjları içerir [27]. Ayrıca, iyi bir stabilizasyon ve olgunlaşma süreci olmadan SS kompostunun uygulanması, bitki ve toprak toksisitesine neden olabilir ve içerilebilecek fitotoksik veya patojenik maddelerin varlığı nedeniyle toprak mikroorganizmalarının metabolizması üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir [22]. Sonuç olarak, kompostlanmış SS'nin arazide uygulanmasından önce, bu tür kompost uygulamasının patojenler, ağır metaller veya organik kirleticiler yoluyla çevresel veya insan sağlığı sorunlarına yol açmamasını sağlamak için kompostlanmış materyallerin eksiksiz bir kalite izlemesi gereklidir [28]. Kompostlanmış SS'nin arazide uygulanmasından kaynaklanan potansiyel çevre ve sağlık risklerini önlemek ve en aza

indirmek için, kompost kalitesi için bir dizi standart önerilmiştir. ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA), ana parametreleri pH, elektriksel iletkenlik (EC), ağır metal içeriği, patojenler ve çimlenme indeksi (GI) olmak üzere kompostun kimyasal ve mikrobiyal kalitesi için en yaygın kullanılan standartları geliştirmiştir

Kompostlaştırma özellikle ABD'de olmak dünya çapında yaygın olarak kullanılan nihai çamur uzaklaştırma yöntemlerinden biridir [12]. En yaygın çamur işleme işlemlerinden olan düzenli depolama sahalarında, arıtma çamuru bertaraf seçeneği popülaritesini depolama sahası eksikliği sebebiyle yitirmiş ve kompostlaştırma seçeneği daha tercih edilir olmuştur. Kompostlaştırma yöntemi maliyet açısından düzenli depolamadan daha maliyetli bir yöntem olmasına karşın yakma işleminden daha az maliyetli bir procestir [13].

Kompostlaştırma işleminde çamurun organik içerik açısından zengin olan kısmının aerobik ortamda, sıcaklığın 70 °C' ye çıkartılması ile atığın biyolojik olarak parçalanması sağlanmaktadır [8]. Böylelikle atık hacmi, kütlesi ve nemi azalması gerçekleştirilmektedir [14].

Ülke genelinde topraklar organik madde içeriği bakımından fakirdir, bu durum bitki örtüsü ve ağaçlandırma işleminin gelişmemesine ve erozyona neden olmaktadır [8]. Arıtma çamurundan elde edilen kompostun toprak üzerinde kullanılması toprağın organik madde içeriğinin artmasına sebep olurken aynı zamanda çamur içeriğinde olması muhtemel ağır metaller, tehlikeli maddeler nedeniyle toprağın tuzluluk sorunu baş gösterebilir [29]. Kompostlaştırma işleminin avantaj ve dezavantajları Tablo 1.1' de verilmiştir.

Tablo 1.1. Kompostlaştıma işleminin avantaj ve dezavantajı

Avantaj	Dezavantajlar
<ul style="list-style-type: none">• Toprak yapısını, poroziteyi ve kütle yoğunluğunu geliştirir, bu yüzden daha iyi bitkilerin yetişmesine imkân tanır.• Ağır toprakların sızma kapasitesini artırır, yüzeysel akış ve erozyonu azaltır.• Kumlu topraklardaki su tutma kapasitesini artırır, su kaybını ve filtrelenmesini azaltır.	<ul style="list-style-type: none">• Organik materyallerin parçalanmasıyla oluşan hidrojen sülfür gibi sülfür içerikli bileşenlerden dolayı çok ağır kokular oluşabilir.• Prosesin tamamlanabilmesi için gereken süre çok daha uzundur

Tablo 1.1. (Devam) Kompostlaştırma işleminin avantaj ve dezavantajı

<ul style="list-style-type: none">• Toprağa çeşitli makro ve mikro nütrientler kazandırır.• Önemli miktarda organik madde sağlar.• Toprağın kation değişim kapasitesini artırarak bitkilerin kullanımı için gerekli olan nütrient tutma yeteneğini artırır.• Toprağa yararlı mikroorganizmalar sunar.• Toprak pH'nın stabilitesini artırır.• Bazı kirleticileri bağlayabilir veya parçalayabilir (EPA, 2001).	<ul style="list-style-type: none">• Kompost süresinin ve kurutma aşamasının uzun olmasında
--	--

1.2.2. Termal bertaraf

Arıtma çamurlarına uygulanan termal işlemler yakma, gazifikasyon, piroliz ve hidro termal yöntemler şeklinde uygulanabilmektedir. Arıtma çamurunun yakılması süreci, potansiyel olarak tehlikeli organik bileşiklerin büyük çoğunluğunun yanı sıra tüm parazitleri ve patojenik mikroorganizmaları tamamen etkisiz hale getirir [30]. Termal bertaraf yönteminde arıtma çamuru oksijenli ortamda yanıcı maddelerin tutuşturulmasıyla başlayan ekzotermik bir reaksiyonla yakılır. Oksijenli bir ortamda 420-500 °C sıcaklıkta susuzlaştırılmış arıtma çamurun tutuşmakta, 760-820 °C sıcaklıkta ise tam yanma gerçekleşerek organik maddeler giderilmektedir[14]. Son bertaraf yöntemi olan yakma, CO₂, H₂O, kül ve belirli bir miktar ısıdan oluşan duman gazları ile sonuçlanan biyo katıların ekzotermik oksidasyon işlemidir. Yakma, patojenlerin aynı anda yok edilmesi ile çamur hacmini% 90 oranında azaltır. Yakma işleminden kaynaklanan artık kül ve dip cürufu (orijinal çamurun ağırlıkça yaklaşık % 30'u) çöplüklere atılabilir veya inşaat malzemesi üretimi için kullanılabilir [31].

Yakma sistemi bir takım dezavantajlara da sahiptir bunlar; yakma ürünü olarak oluşan zararlı gazlar, uçucu küllerin iyi bir filtrasyondan geçirilememesi halinde ciddi zararlara sebebiyet verilebilecektir. İşletmesi çetrefilli ve maliyetlidir, organik madde içeriği yüksek olan çamurların yakılması sonucu kullanılabilir organik maddelerin boşa gitmesine yol açılacaktır. Yakma sonucu oluşan katı atıkların muhteviyatında tehlikeli maddeler olması halinde özel bertaraf işlemleri uygulanmalıdır [14].

Gazlaştırma, MSS'nin karbonlu içeriğinin, reaktif bir atmosferin (genellikle hava veya buhar) varlığında yanıcı bir gaza ve küle dönüştüğü termal süreçtir. Gazlaştırma, toplam yanma için gerekli oksijenin % 20 ila 40' ını kullanarak organik malzemeleri yanıcı gaza veya sentez gaza dönüştürür [32].

Piroliz, nispeten yüksek sıcaklıkta (300-1000 ° C) düşük oksijen veya anoksik koşullar altında bir termal ayrıştırma işlemidir ve piroliz gazı, biyo-yağ ve katı ürün gibi üç temel ürün, yani kömür sağlar [33].

Hidrotermal, yakma veya pirolize kıyasla belirli bir basınç ve nispeten daha düşük sıcaklık altında çalışan kapalı bir sistemde ıslak termokimyasal bir işlemdir. Ayrıca hidrotermal, belirli bir atmosfer gerektirmez. Ek olarak, hidrotermal reaksiyonlar ekzotermik süreçlerdir [34]. Tüm bu özellikler hidrotermal süreci daha enerji verimli hale getirir.

1.2.3. Araziye uygulama

Arazi uygulaması, düzenli depolama için iyi bir alternatif olarak kabul edilmektedir. Arıtma çamuru, bitki büyümesi için gerekli olan yüksek oranda organik madde ve bitki besin maddeleri içerir. Arıtma çamurundaki toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP), arazi uygulaması için besleyici değerini belirleyen ana faktörlerdir. Besin içeriği ne kadar yüksekse, besin değeri o kadar yüksektir. Farklı atık su arıtma tesislerinden alınan veya farklı işlemlerle işlenen farklı numunelerin besin içerikleri arasında bariz bir fark vardı. Arazi uygulaması, bitki büyümesini desteklemek ve yığın yoğunluğu, gözeneklilik ve su tutma kapasitesi gibi toprak özelliklerini iyileştirmek için bu besin maddelerinin geri dönüştürülmesini sağlar.

Cheng vd. [35], % 10–20 seviyelerinde kompostlanmış kanalizasyon çamurunun (CSS) eklenmesinin, toprağın ağır metal ve çözünür tuz içeriklerini önemli ölçüde etkilemeden çimen büyümesi için toprak besin tedarikini büyük ölçüde iyileştirebileceğini bulmuşlardır. P ve K, erken aşamada CSS'den hızlı bir şekilde salınırken, yavaş salınan N, uzun vadeli bir besin kaynağı olarak işlev gördü. A.M. Latore vd. arıtma çamurunun pirinç verimi, toprak verimliliği ve tahıl ve samanda ağır metal birikimi üzerindeki etkisini değerlendirmiştir [36]. Çamur uygulaması ile hem saman hem de tahıl verimi önemli ölçüde artmıştır. Çeltikte tane verimi, çamur

uygulamasına göre 40 t.ha⁻¹ çamur uygulamasında % 45 artmıştır. Çamur ayrıca, terk edilmiş maden alanlarında tesis kurulmasını iyileştirmek için bir toprak düzenleyici olarak da kullanılabilir. Toprağın restorasyonu ve rehabilitasyonu için arıtma çamurunun kullanılması, bu atıkların çevreye faydalı bir şekilde geri dönüştürülmesinin ana yöntemlerinden biridir [37], toprak pH'nın biraz değiştiğini, ancak toprak iletkenliğinin ve toprak organik C' nin kompost ilavesiyle arttığını belirtti. CSS ile % 2-5 (ağırlık / ağırlık) oranında değiştirilen maden toprağının özellikleri, önerilen üç bitki türünün (çavdar, domates ve ahıpa) büyümesi için uygundur. Arazi uygulaması, faydalı kaynağın geri dönüştürülmesi ve çevrenin korunması yoluyla dezavantajı avantaja çeviren, arıtma çamuru için olumlu ve verimli bir bertaraf yöntemi olarak kabul edilir [38].

Yüksek seviyelerde besin ve OM'lara ek olarak, kanalizasyon çamuru ayrıca PAH'lar [39], PCB'ler [40] ve poliklorlu naftalenler (PCN'ler) [41] gibi çok çeşitli ağır metaller ve KOK'lar içerir. Uygun olmayan arazi uygulaması çevresel risk oluşturabilir. Bu kirleticiler çevresel ortama aktarılabilir, bitkiler tarafından alınabilir ve daha sonra besin zinciri yoluyla insan vücuduna girebilir. Organizmalardaki kirleticiler toksik seviyelerde birikirse, organizmalar üzerinde bitki büyümesini geciktirme gibi olumsuz etkileri olacaktır. Yüksek tuzluluk, arıtma çamurunun arazi uygulamasını kısıtlayan başka bir sorundur. Arıtma çamurunda bulunan tuz, açıkça toprağın elektriksel iletkenliğini artırabilir ve besinler arasındaki dengeyi bozabilir. Bitkiler tarafından besin adsorpsiyonu daha sonra yerleşik hale gelir ve son olarak bitki kökleri zarar görür [42]. Yüksek tuzluluk ayrıca yeraltı sularının ve toprağın tuzlanmasına da yol açabilir. Pérez-Gimeno vd. [43], lağım çamuru kompostundan kaynaklanan su tuzluluğunu ve eser element kirliliğini değerlendirdi. CSS kullanımı, toprak rehabilitasyonunda potansiyel bir tuz kaynağı olarak kabul edildi. Arıtma çamurunun arazi uygulamasından kaynaklanabilecek olası çevre kirliliği kapsamlı bir şekilde ele alınmalıdır [38].

Araziye uygulama yöntemi arıtma çamurlarının çeşitli proseslerden geçirildikten sonra sınırları belirlenmiş ve geçirimsiz kontrollü bir alana üstten serilerek ya da yüzey altına verilmesidir. Evsel arıtma çamurları genellikle çeşitli nedenlerle bozulan tarlalara, otlaklara veya yanmış orman alanlarına uygulanmaktadır. Bu sayede çamur içindeki patojenler ve diğer zararlılar topraktaki mikroorganizmalar sayesinde giderilirken

çamurun nem içeriği azalır. Çamur içeriğindeki organikler alandaki böcek, mikroorganizmalar ve bitkiler tarafından bünyelerine alınıp biyo kütle haline getirilir. Arazide arıtma seçeneğinin gerçekleştirilebilmesi için 2010 yılında yayınlanan Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik'te belirlenen hususların sağlanması gerekmektedir. Arıtma çamurlarının yüksek organik içeriği sayesinde su tutma ve mineral tutuma özelliğini kaybetmiş deforme olmuş topraklarda kullanılması sayesinde toprak zenginleşir ve ıslah edilmiş.

Aazide uygulama yönteminin uygulanabilmesi için yeraltı su oranının en az 1m' den aşağıda olması, yakınında su kaynağı olabilecek unsurların olmaması şartları aranır.

1.2.4. Düzenli depolama

Arıtma çamurlarının düzenli depolanması son yıllarda tercih edilen bir süreç olmakla birlikte, son yıllarda çamurdan daha fazla fayda sağlayacak sistemler yenilikçi yaklaşımlarla uygulanmaktadır. Malta, Yunanistan, İzlanda gibi bazı ülkelerde ise oluşan arıtma çamurlarının tamamına yakınının düzenli depolamaya gönderilmesine devam edilmektedir [17].

Arıtma çamurlarının düzenli depolanması için kullanılan iki yöntem vardır. Birincisi sadece arıtma çamurlarının depolanmasını içeren yöntem diğ erinde ise düzenli depolama sahasında diğ er atıklarla beraber depolama seçeneğidir.

Çamurların diğ er atıklardan ayrı olarak depolanmasında kullanılan iki temel yöntem vardır, bunlardan ilki hendek yöntemidir. Hendek yönteminde, atığın katı içeriğine göre dar veya geniş hendekler açılarak başlangıç seviyesine kadar doldurulmasıdır. Bu yöntem sahadan maksimum fayda sağlar.

Atığın katı madde içeriği az ise dar hendekler, katı madde içeriği fazla ise geniş hendekler tercih edilir. Çamurun bileşenleri arasında çeşitli tehlikeli madde yoğunluğu varsa hendek ve alan tipi depolamada geçirimsiz taban uygulaması ve sızıntı suyu toplama sistemi de uygulanır. Diğ er tekdüze çamur depolama yöntemi ise alan tipi uygulamadır.

Doğal toprak çöküntülerine ya da müsait alanların üzerine stabilize olmuş çamurun yığılması esasına dayanır. Bu yöntem hendek kazılmasının uygun olmadığı yerlerde kullanılırken olumsuz tarafı ise ciddi alan kaplayarak toprak israfına sebep olur.

Atığın düzenli depolanması arıtma çamurundan maksimum fayda elde edilebilecek uygulamalar tercih edilemeyecekse kullanılır. Çünkü çamurun kirletici yükü ve depolama sahasında geniş alan ihtiyacı, bu yöntemi tercih edilen yöntemler sırasına göre geri itmektedir. Ama yine de bir takım avantajları var. Bunlar; toprağa uygulama yönteminden daha az yer gerektirir, depo gazının arttırması ve ekonomik olmasıdır.

1.2.5. Lagünler depolama

Geçici çamur lagünü, yerel çamur arıtma kapasitesinin üzerinde susuzlaştırılmış çamurun depolanmasına yönelik bir tesistir; genellikle kentsel çöplüklere kurulur. Çamur genellikle nihai bertarafı beklerken birkaç yıl boyunca saklanmalıdır. Çoğunlukla kanalizasyon arıtma tesisinin susuzlaştırılmış çamurundan gelen geçici çamur lagünündeki çamurun nem içeriği % 75-% 85'e kadar çıkmaktadır ve açık bir şekilde düzenli depolama veya tarım uygulamaları için çamur nem içeriğinin % 60'tan az olması gerektiğini şart koşmaktadır. Aynı zamanda, kuru çamurun birim kütlesi başına yüksek hacim nedeniyle, geçici çamur lagününde uzun süreli depolama, büyük depolama kaynakları gerektirir ve ikincil kirlilik riski oluşturur. Bu nedenle, ne tür bir bertaraf yöntemi seçilirse seçilsin, susuzlaştırma arıtımı, çamurun ulusal standartları karşılaması, çamur hacmini azaltması ve düzenli depolama kapasitesini artırması için su içeriğini azaltmalıdır [44].

Şu anda, hem yurtiçi hem de yurtdışındaki geçici çamur lagünlerinde belirli çamur arıtımı konusunda araştırma eksikliği vardır, ancak çamur depolama sahalarındaki çamur, geçici çamur lagünlerindeki çamurla benzerdir ve bu da bir referans noktası sağlayabilir. Çamur su içeriği ihtiyacının % 60'ın altında karşılanması için acil ihtiyaç nedeniyle, bazı bilim adamları çamurun yerinde kimyasal olarak şartlandırılmasını ve ardından vakumlu önyükleme ile susuzlaştırmayı önermişlerdir. Zhan vd. (2014), bir takip vakum pompası yeniden doldurma susuzlaştırma projesi için gerekli verileri sağlamak için bu sistemlerin konsolidasyon ve sıkıştırma, kesme dayanımı ve düzenli depolama sahasında, laboratuvarında ve sahada belediye çamurunun koni penetrasyonu gibi jeoteknik özelliklerini inceledi. Lin vd. (2014), tercihlili klorür şartlandırma ve

ardından vakumlu ön yükleme kullanarak bir çöp sahasında bir pilot test gerçekleştirmiştir. 68 gün sonra, çamurun ortalama konsolidasyonu %70,9 ve hacim azalması % 47,5 olmuştur. Zhan vd. (2015) pilot testini bir saha testine taşıdı. 114 günlük vakumlu ön yüklemeden sonra, çamur hacmi yaklaşık% 40 azaltıldı. Bu nedenle, geçici çamur lagününün susuzlaştırma ve yoğunlaştırma işlemi için yukarıdaki yönteme başvurulabilir, böylece çamur hacmini ve nem içeriğini verimli bir şekilde azaltabilir.

Susuzlaştırma ve yoğunlaştırma işleminin anahtarı derin susuzlaştırmadır. Çamurun kendi hidrofilik flok yapısı [45] ve kanalizasyon arıtımında yaygın olarak kullanılan poliakrilamidin sıkı adsorpsiyon kapasitesi [46] nedeniyle, geçici çamur lagünündeki çamur bir sorun olmakta ve mekanik susuzlaştırmayı yönlendirmektedir. Nispeten yaygın bir yöntem olan ve geçici çamur lagünlerinde çamur için uygun olan kimyasal şartlandırma, genellikle üç etkiye sahiptir: flokülasyon, iskelet oluşturma ve hücre bozulması. Flokülasyon, çamur partiküllerini bir kütle halinde floküle ederek çamur-su ayırma etkisini sağlar [46]. İskelet yapısı, çamur geçirgenliğini artırmak için çamurda oldukça geçirgen bir sert ağ yapısı oluşturur [47]. Hücre bozulması, hücre dışı polimerik maddeleri yok eder ve mikroorganizmaları öldürür, böylece dehidrasyonu zor olan bağlı su, serbest suya dönüştürülebilir [48].

Geçici çamur lagünü, yalnızca düşük gerilimli konsolidasyona izin veren saha kısıtlamaları nedeniyle vakumlu ön yükleme için daha uygundur. Bu arada, kanalizasyon arıtma tesisindeki çamurla karşılaştırıldığında, geçici çamur lagünündeki çamurdaki toplam bakteri miktarı, depolama süresinin artmasıyla sadece biraz değişir, ancak anaerobik çürütme reaksiyonu, çamurun organik içeriğinde bir azalmaya neden olur [49].

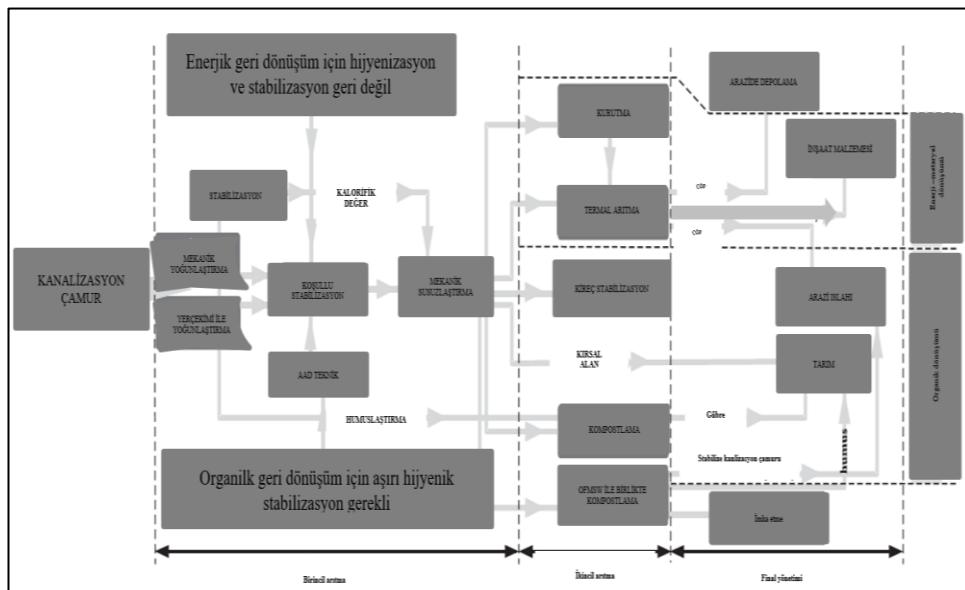
Lagünlerde depolama yöntemi geçirimsiz bir tabaka ile kaplanmış lagünlere ham ya da işlenmiş çamurun serilmesi şeklindedir. Üzeri açık olacağı için yağışlarda taşmayacak şekilde büyük olarak tasarlanmış olması gerekir. Koku probleminden dolayı yerleşim yerlerinden uzak inşa edilmesi gerekmektedir. Ekonomik bir yöntemdir.

1.3. Çamur İşleme Yöntemleri

Çamur arıtımının amacı, esasen, uzaklaştırılması gereken hacmi azaltmak ve çamurdaki kirleticileri nispeten etkisiz ve zararsız hale getirmektir. Çamur arıtma ve uzaklaştırma işlemleri, atıksu arıtma tesislerinin toplam maliyetinin büyük bir kısmını (%25-40) oluşturduğu düşünülecek olursa, bu tesislerin projelendirilmesinde ve ekonomik analizinde önemli bir rol oynadığı açıktır.

Tipik bir proses akışı şu şekilde özetlenmiştir. (Şekil 1.2) [50]

- Birincil yoğunlaştırma (yerçekimi, yüzdürme, drenaj, kayış, santrifüjler),
- Sıvı çamur stabilizasyonu (anaerobik çürütme, aerobik çürütme, kireç ilavesi),
- İkincil yoğunlaştırma (yerçekimi, yüzdürme, drenaj, kayış, santrifüjler),
- Şartlandırma (yıkama, kimyasal, termal),
- Susuzlaştırma (plaka presisi, kayış presisi, santrifüj, kurutma yatağı),
- Son işlem (kompostlama, kurutma, hat ilavesi, yakma, ıslak oksidasyon, piroliz, dezenfeksiyon),
- Depolama (sıvı çamur, kuru çamur, kompost, kül),
- Ulaşım (yol, boru hattı, deniz),
- Nihai gidecek yeri (depolama, tarım / bahçecilik, orman, arazi ıslahı, arazi inşaatı, diğer kullanımlar).



Şekil 1.2. Atık su arıtma tesisindeki arıtma çamuru arıtma işlemleri

1.3.1. Çamur şartlandırma

Şartlandırma çamurun içindeki katı madde ve sıvı maddelerin birbirinden ayrılma performansının artırılmasıdır. Sıvı fazın tamamen bileşikten ayrılmasına şartlandırma denir. Şartlandırma işlemi arıtma işlemlerinin önemli basamaklarından olan mekanik yoğunlaştırma ve çamur susuzlaştırma işlemlerinde önemli bir yere sahiptir.

İşlemi desteklemek performansı arttırmak için bir takım inorganik veya organik kimyasallar uçucu küller (çamur yakma fırınından çıkmış) ya da dondurma, ısıtma, eritme gibi bir takım fiziksel yöntemler kullanılabilir. Tam başarıya ulaşmak için yukarıda sayılan birkaç işlemin bir arada kullanılması gerekebilir. Örneğin ısıtma soğutma gibi fiziksel yöntemlere ek olarak kimyasal madde katkısı gerekmektedir. Çamur şartlandırma yöntemleri ve amaçları Tablo 1.2.'de verilmiştir [51].

Tablo 1.2. 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 muhtevasının arttırmak
İnorganik Kimyasal Madde İlavesi	Su Alma	Çamur keki katı madde muhtevasının arttırmak
Elutrasyon	Su Alma	Asidik özelliği olan kimyasal şartlandırıcı ihtiyacını azaltmak ve katı madde muhtevasını arttırmak
Isıl İşlem	Su Alma	Kimyasal madde kullanımını azaltmak veya tamamen kaldırmak ve çamur keki katı madde muhtevasını arttırmak; stabil çamur elde etmek
Kül İlavesi	Su Alma	Vakum filtrelerde kek ayırımını kolaylaştırmak, filtredeki basıncı ve filtre verimini arttırmak ve kimyasal madde kullanımını azaltmak

Her arıtma tesisi çamurunun geldiği kaynağa bağlı olarak kendine has birtakım özellikleri vardır (su içeriği, yüzey kimyası vb.). Bu farklı özellikler yüzünden

şartlandırma da etkilenecektir. Şartlandırmayı etkileyen faktörler; çamur pH ve alkalinitesi, partikül boyutu ve dağılımı, yüzey yükü ve hidrasyon derecesi, katı madde konsantrasyon, çamur kaynağı ve diğer fiziksel faktörlerdir.

1.3.2. Çamur şartlandırma

Çamur içeriğindeki suyun uçurulması ile hacminde yaşanan küçülmeye çamur yoğunlaştırma denir. Bu süreçteki çamur hala ciddi su içeriğine sahiptir ve akışkan kıvamdadır. Yoğunlaştırma işleminin birincil amacı hacim azalması sayesinde susuzlaştırma ve çürütme işlemleri daha verimli hale gelmesidir.

Graviteli yoğunlaştırıcı, çözülmüş hava yüzdürmeli yoğunlaştırıcı ve döner tamburlu yoğunlaştırıcı en sık kullanılan tiplerdendir. Yoğunlaştırma yöntemleri avantaj ve dezavantajları Tablo 1.3.' de verilmiştir.

Tablo 1.3. Yoğunlaştırma yöntemleri avantaj-dezavantajları

Yöntem	Avantaj	Dezavantajlar
Graviteli Yoğunlaştırma	<ul style="list-style-type: none"> • Uygulama Kolaylığı • Az Maliyet • Düşük kapasiteli tesisler için uygun • Hızlı çökelen çamurlar için uygun • Şartlandırma için kimyasal ilavesi gerekli değil 	<ul style="list-style-type: none"> • Geniş Alan İhtiyacı • Düzensiz ve az atık aktif çamur konsantrasyonu
Çözülmüş Hava Flotasyonu	<ul style="list-style-type: none"> • %3,5-5 arası katı konsantrasyonu ile Graviteli yoğunlaştırmadan daha başarılıdır • Graviteli yoğunlaştırıcıdan daha az alana ihtiyaç duyar • Kimyasal madde ilavesine ihtiyaç duyulmaz ya da az miktarda kimyasala ihtiyaç duyulur • Basit alet edevata ihtiyaç duyulur 	<ul style="list-style-type: none"> • Graviteli yoğunlaştırıcıya göre daha yüksek işletme maliyetline sahip • Yüksek güç ihtiyacı • Eğitimli (orta) operatöre ihtiyaç duyulur • Potansiyel koku problemi • Geniş yer ihtiyacı • Graviteli yoğunlaştırıcıya oranla nispeten ufak depolu • İlk kademe çamurları için uygun değil • Yüksek katı tutulma ihtiyacında ve çamur miktarının artışında polimer ekleme ihtiyacı duyulmaktadır

Tablo 1.3. (Devam) Yoğunlaştırma yöntemleri avantaj-dezavantajları

Santrifüjlü Yoğunlaştırma	<ul style="list-style-type: none"> • Atık aktif çamur yoğunlaştırılmasında etkili • Sistem etkinliğini denetleyebilme • Daha az temizlik ve koku sorunu • Daha az alan ihtiyacı 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek maliyetli • Fazla güç tüketimi • Eğitimli çalışan ihtiyacı • Karmaşık bakım materyallerine sahip • Katı tutuculuğunun artması için polimer takviyesi ihtiyacı
Banlı Yoğunlaştırıcı	<ul style="list-style-type: none"> • Atık aktif çamur yoğunlaştırılmasında etkili • Proses performansını kontrol edebilme • Yüksek katı tutma kapasitesi • Düşük yatırım maliyeti • Düşük güç tüketimi 	<ul style="list-style-type: none"> • Polimer takviyesine ihtiyaç • Temizlik ihtiyacı • Koku problemi • Eğitimli (orta) operatöre ihtiyaç duyulur • Bina ihtiyacı
Döner Tambur Yoğunlaştırıcı	<ul style="list-style-type: none"> • Atık aktif çamur yoğunlaştırılmasında etkili • Düşük güç tüketimi • Düşük alan ihtiyacı 	<ul style="list-style-type: none"> • Polimer takviyesine ihtiyaç ve kullanılan polimere karşı duyarlılık • Temizlik ihtiyacı • Koku problemi • Eğitimli (orta) operatöre ihtiyaç duyulur • Bina ihtiyacı

Seçilecek yoğunlaştırıcı sistem için;

- Katı madde konsantrasyonu ve besleme debisi,
- Kimyasal maddeli şartlandırma yapılacaksa kullanılan kimyasalın maliyeti
- Çözülmüş katı madde konsantrasyonu
- Çamur debisi ve katı madde konsantrasyonu en önemli kriterlerdir.

1.3.3. Çamur stabilizasyon

Stabilizasyon için birçok tanımlamalar olmasına rağmen kısaca, kötü bir koku yaratmadan çevreye zarar vermeden bertaraf edilebilen çamur, stabil çamur olarak tanımlanabilir. Arıtma tesislerinde katı maddelerin çökmesi sonucu oluşan çamurların katı içeriği düşük olduğundan, bu oranı arttırmak için çamur

yoğunlaştırma işlemi uygulanır. Çamur stabilizasyon yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Tablo 1.4. verilmiştir. Yoğunlaştırılan çamurun stabilizasyonu şu şekilde gerçekleştirilir:

- Kimyasal stabilizasyon: kimyasal madde ilavesi ile,
- Biyolojik stabilizasyon: aerobik (oksijenli), anaerobik (oksijensiz) çamur stabilizasyonu veya kompostlaştırma işlemi ile yapılır.

Tablo 1.4. Çamur stabilizasyon yöntemleri avantaj ve dezavantajları

Yöntem	Avantaj	Dezavantajlar
Aerobik Çamur Çürütme	<ul style="list-style-type: none"> • Oluşan çamurun susuzlaştırılma oranı yüksek • Uçucu katı madde (VSS) indirgenmesi anaerobik çürüme ile elde edilene yakındır. • Substrattaki BOİ konsantrasyonları oldukça düşüktür. • Kolayca bertaraf edilebilecek kokusuz, humusa benzer, biyolojik olarak stabil bir son ürün elde edilir. • Çamurun gübreleme değeri yüksektir. • İşletme problemleri azdır. • Yatırım maliyetleri düşüktür 	<ul style="list-style-type: none"> • Sisteme ait gerekli oksijeni sağlamak için yüksek güç gereksinimi • Metan gibi yararlı bir son ürünün elde edilmemesi
Kimyasal ile Stabilizasyon	<p>Ön Kireçleme:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Daha yaygın kullanım • Daha az kirece ihtiyaç var <p>Son Kireçleme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kuru kireç kullanılabilir, dolayısıyla suyu alınmış çamura su ilave edilmesine gerek yoktur • Kireçle son işlemlerden geçirilmiş çamurun suyunu almak gerekli değildir • Kireçle işlem görmüş çamurun suyunu almak için kullanılan ekipmanda çökelek ve bakımproblemleri azdır 	<ul style="list-style-type: none"> • pH'nın düşmesi durumunda çamurun kararsızlaşması ve biyolojik aktivitenin tekrar başlamasıdır. • Ekstra maliyet

Tablo 1.4. (Devam) Çamur stabilizasyon yöntemleri avantaj ve dezavantajları

<p>Anaerobik Çamur Çürütme</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Proses sonucu oluşan çamur kararlı, kokusuz, patojen içeriği az, arazide kullanılabilir bir son ürün. • Oluşan çamurun susuzlaştırılma oranı yüksek • Kolay işletim 	<ul style="list-style-type: none"> • Proje açılış maliyeti fazla • İşletmesi zor • Çıkış suyu kirlilik yükü fazla
<p>Isıl İşlem</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suyu alınmış çamurun katı madde muhtevası oksidasyon derecesine bağlı olarak %30 - %50 arasında değişebilir. • Isıl işlem sonrası çamurun kimyasal olarak şartlandırılmaya ihtiyacı yoktur. • Isıl işlemden geçmiş olan çamur stabilize olmuştur, içeriğindeki patojenlerin çoğu tahrip olmuştur. • Isıl işlemden sonra çamurun uçucu katı madde kısmının ısı değeri 28-30 kJ/g'dır. • Bu proses, çamur kompozisyonundaki değişimlere çok duyarlıdır. Uçucu katı maddelerin tam oksidasyonu yüksek basınçlarda ve yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mekanik ekipmana bağlı olarak ve korozyona karşı koruyucu materyal kullanımından dolayı ilk yatırım maliyeti çok yüksektir. • Yetişmiş personel ve düzenli bir bakım programı gerektirir. • Isıl işlem sırasında yüksek konsantrasyonlarda organik madde, amonyak azotu ve renk içeren atıksu akımları oluşur. • Hissedilir kokusu olan ve arıtılması gerekli gazlar oluşur. • Isıtıcılar, borular ve reaktördeki çökelek oluşumları nedeniyle, asitle veya yüksek basınçlı su jetleri ile yıkama yapmak gereklidir.

1.3.4. Çamur susuzlaştırma

Arıtma çamurlarının arıtımındaki en önemli adımlardan biriside Çamur Susuzlaştırma işlemidir. Stabilize çamurun nem içeriğini azaltmak için uygulanır.

Susuzlaştırma ile iki temel fayda elde edilir:

- Suyun çoğunu çamurdan çıkararak çamur hacminde büyük bir azalma meydana gelir.
- Akıcı haldeki sulu çamur, katı olarak taşınabilir bir çamur kekine dönüşür.

Arıtma çamurları genellikle yoğunlaştırma sonrasında susuzlaştırmaya tabi tutulur. Aerobik biyolojik arıtma çamurları, yoğunlaştırma öncesi veya sonrasında ayrıca stabilizasyon ve pastörizasyona da tabi tutulabilirler. Kolay süzölebilen bazı inorganik çamurlar dışında bütün arıtma çamurlarının süzölebilirliklerini arttırmak üzere şartlandırılmaları, susuzlaştırmanın çok önemli ve ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilir. Çamur susuzlaştırma yöntemleri ve özellikleri Tablo 1.5.' de verilmiştir.

Tablo 1.5. Çamur susuzlaştırma yöntemleri ve özellikleri

Yöntem	Özellikleri
Santrifuj ile susuzlaştırma	<ul style="list-style-type: none"> • Santrifuj ile susuzlaştırma merkezkaç kuvveti etkisiyle çamur içindeki suyun ayrılarak yoğun bir çamur kekine dönüşmesidir. • Santrifujden çıkan çamur %10-30 arasında katı madde içeriğine sahiptir.
Bant filtre ile susuzlaştırma	<ul style="list-style-type: none"> • Bant filtrede kesintisiz olarak çamur akışı bulunmakta ve sistem 3 ana kısım ile çalışmakta; kimyasal şartlandırma, yer çekimi etkisiyle drenaj işlemi ve susuzlaştırma amacıyla mekanik basınç uygulamasıdır. • Ayrıca susuzlaştırma esnasında açığa H₂S gibi gazların ortamdaki uzaklaştırılması için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.
Pres filtre ile susuzlaştırma	<ul style="list-style-type: none"> • Pres filtre ve bantlı filtre arasındaki en mühim fark daha suyun uzaklaştırılabilmesi için uygulanan basıncın artırılmasıdır. • Karmaşık teçhizat , ekstra insan gücü vb. dezavantajları vardır. • Avantajları ise yüksek katı madde konsantrasyonlu kek oluşur, kaliteli sızıntı suyu oluşmasıdır.
Burgu (vida) pres ile susuzlaştırma	<ul style="list-style-type: none"> • Bu tip susuzlaştırmada çamur vida tipli eklele kullanılır. • Yatay tipli olanda dışarıdan buhar verilerek kurutma yapılır. • Fakat eğimli olan daha sıklıkla kullanılır. • Vida tipli pres kolaya fırçalar vasıtasıyla temizlenir. Düşük enerji tüketimi vardır ve az yer kaplar. Düşük kapasitesi nedeniyle küçük yerleşim yerleri için kullanılabilir bir yöntemdir.

1.4. Çamur Kurutma Yöntemleri

1.4.1.Çamur kurutma yatakları

Kurutma yatağı, güneşte kurutma tekniklerinden biridir. Ancak bu yöntem, yalnızca yıl boyunca güneş radyasyonunun mevcut olduğu yerlerde çamur kurutması için uygun olabilir. Bu nedenle, Afrika ve Asya ülkelerindeki bazı araştırmacılar sadece bu tekniği araştırmışlardır [50]. Bununla birlikte, kentsel atık su arıtma tesislerinin yöneticileri, kanalizasyon çamurunun depolanmasında zorluklar buldular. Bunun nedeni, kanalizasyon çamuru üretiminin gelişmesi ve kurutma yataklarının kötü boyutlandırılması ve bakımındır. Bu nedenle, drenaj serası, bu sorunu çözmek ve kurutma yataklarının performansını iyileştirebilir. Bir kurutma yatağı üzerindeki filtrasyon ile güneşte kurutmayı birleştirmekten oluşur. Kurutma yatağını çevreleyen sera etkisi altında buharlaşmayı hızlandırarak çamurdan çıkan suyun akışı artar. Bu, sanitasyon alanında yenilikçi bir çözümdür. Bu nedenle, çamurun kurutulması için drenaj serasının uygulanmasının fizibilitesine ilişkin literatür azdır. Aslında, bazı araştırmacılar, Alzboon ve ark. [52] güneş enerjisinin (güneş kolektörü) kullanımını araştırmışlardır. Çalışma, değiştirilmiş kurutma yatağının, geleneksel kurutma yatağına kıyasla kurutma süresinde% 20'lik bir azalma ile sonuçlandığını göstermiştir. Ayrıca diğer araştırmacılar, seranın Türkiye [50], Çin [52], Yunanistan [53] ve Fas [54] gibi farklı ülkelerde çamur kurutma özelliklerine uygulanabilirliği üzerinde çalışmışlardır. Arıtma çamurunun güneş seralarında kurutulmasının kuruma eğrilerini belirlemişlerdir. Örneğin, Lei ve ark. [52], kurutma eğrilerinin herhangi bir normal şekle uymadığını belirtmişlerdir. Ancak Belloulid ve ark. [54] sadece düşen kuruma hızı periyodunun varlığını ortaya koymuştur. Yapılan çalışmalarda kurutma yatağı ve drenaj serasının kuruma eğrilerini incelenmiştir.

Çamur kurutma yatakları doğal susuzlaştırma yöntemlerinden olup, bilhassa çürütülmüş arıtma çamurlarının ve yoğunlaştırma yapılmamış uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemlerinden üretilen çamurlar üzerinde kullanılır. Bu proses sonucunda oluşan çamurlar arazilerde toprak şartlandırıcısı olarak kullanılabilirdiği gibi düzenli depolama sahalarına da gönderilebilirler. Çamur kurutma yataklarının avantaj ve dezavantajları Tablo 1.6. 'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Çamur kurutma yatakları avantaj ve dezavantajları

Yöntem	Avantaj	Dezavantajlar
Çamur Kurutma Yatakları	<ul style="list-style-type: none">• Düşük maliyet• İşletme kolaylığı• Proses sonucu üretilen çamurda yüksek katı madde miktarı	<ul style="list-style-type: none">• Yüksek alan ihtiyacı• İklim şartlarında olumsuz etkilenme• Çamur kekinin uzaklaştırılmasında insan gücü ihtiyacı• Kötü koku ve haşere problemi

1.4.2. Güneş enerjili kurutma

Çamur kurutma işleminde eğer hızlı bir şekilde sonuç alınması isteniyorsa mutlaka enerji sarfiyatı olacaktır. Bu enerjinin de yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması son yıllarda çalışan konulardandır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında doğrudan veya dolaylı en yüksek kapasiteye sahip olan cins güneş enerjili enerjidir[40].

Çamur kurutmada 3 değişik yolla kullanılabilir. Aşağıda bu yöntemler açıklanmıştır.

1. Çamur yatağına güneş ışınlarının direkt verilmesi (konvansiyonel çamur kurutma yataklarındaki uygulamaya benzer olarak)
2. Ayrıca güneş ışınlarına maruz çamurdaki ışınların yansıyıp kaçmasının önüne geçebilmek için yatağın üzerinin kapatılması
3. Güneş enerjili ışımanın kesilmeyerek akışın sürekli tutulması uygulamalarıdır. Böylece sera türevi kapalı ortamlar oluşturularak güneş enerjili kurutma işlemi yapılır. Bu işlemin maliyeti mekanik kurutma sistemlerine göre daha azdır[55].

Güneş enerjili kurutma prosesinde enerjinin asıl merkezi olan unsur güneş enerjili radyasyondur. Sistem güneş enerjili radyasyonun ana unsur olarak kullanılıp tasarlanmasıyla ve sıcaklık nem oranı gibi unsurların yıllık değişimlerinin sistem boyutlandırılmasına katkı sağlamasıyla kurgulanır. Bu sistemde patojenler daha az kireç ilavesi ve bekletme süresi ile giderilir.

1.4.3. Termal kurutma

Termal kurutma tipik olarak yüksek enerji tüketimi ve dolayısıyla maliyetlerle ilişkilendirilir ve bu nedenle çalışmalar termal kurutucuların iyileştirilmesine[56], termal kurutma işlemlerinin optimizasyonuna[40] ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına odaklanmıştır[57]. Ancak, çamurun kurutma performansını iyileştirmek için şartlandırıcıların kullanıldığı bildirilen sadece birkaç çalışma bulunmaktadır. Huron [58], kireç şartlandırmasının çamur kurutma kinetiği üzerinde olumlu bir etki sağladığını bildirmiştir. Deng[59], CaO ve ağır petrolün kanalizasyon çamurunun kuruma oranını iyileştirmede faydalı olabileceğini bulmuştur. Ayrıca, bu kimyasal şartlandırıcıların piyasaya sürülmesi çevre üzerinde önemli olumsuz etkiler oluşturabilir ve bu da çamur kurutmanın uygulanmasını engelleyebilir. [60]

Termal kurutma yöntemleri; ısının çamura verilme şekline göre konveksiyonlu (iletim), kondüksiyonlu (taşınım) ve ışınila (kızılötesi) kurutma olmak üzere 3' e ayrılır.

Tablo 1.7 Termal kurutma yöntemleri

Termal Kurutma Yöntemleri	Özellikleri
1- Konveksiyonlu Kurutma	<ul style="list-style-type: none">• Çamura sıcak gazların direkt girişiyle gerçekleşir.• En sık kullanılan yöntemdir.• Akışkan yataklı, direkt döner ve flaş kurutucular başlıca örnekleridir.• Sabit hızdaki kurutma evresinde kütle aktarımı; sulu yüzey alanına, havanın nem oranı (çamur üzeri-kurutucu hava), kurutma hızı ile orantılıdır.
2- Işınila Kurutma	<ul style="list-style-type: none">• Kurutma ışıma enerjisi vasıtasıyla gerçekleşirken genellikle kullanılan ekipmanlar; elektriksel direnç elemanları, gaz yakıtlı akkor refraktörler veya kızılötesi lambalardır.
3- Kondüksiyonlu Kurutma	<ul style="list-style-type: none">• Arıtma çamurunun sıcak yüzeylerle birleşmesi yoluyla gerçekleşir.• Eysel atık su arıtma tesis çamuru kurutulmasında; yatay paletli, burgulu, disk tpi ve dikey endirekt kurutucular kullanılır.

1.4.4. Biyo-kurutma

Biyo-kurutma, daha önce susuzlaştırılmış arıtma çamurunun kurutulmasına uygulanabilen, atmosfere ısı kaybına izin vermeyecek şekilde yapılması gereken, hermetik veya yarı hermetik reaktörlerde gerçekleşen bir işlemdir. Süreç, çamurda bulunan organik maddeyi ayrıştıran ve ısı açığa çıkaran biyolojik aktivite yoluyla aktive edilir. Biyolojik kurutma, matris içindeki sıcaklığı artırır, bu da açığa çıkan enerji nedeniyle çamur partiküllerinin parçalanmasına ve sonuç olarak daha yüksek seviyede enerji çıkarılmasını gerektiren ve yine de matriste mevcut kalan su fraksiyonlarının buharlaşmasına neden olur. Bu nedenle, çamur matrisi içindeki boş alanlar gereklidir ve susuzlaştırılmış çamura hacim artırıcı maddenin eklenmesi ve karıştırılmasıyla oluşturulur.

Hava enjeksiyonu, aerobik ayrıştırıcı mikroorganizmaların oksijen ile temasını kolaylaştırır, biyolojik aktiviteyi aktive eder ve püskürtülen havanın reaktörde giriş ve çıkış kanallarına sahip olması nedeniyle buharlaşan su konveksiyonla uzaklaştırılır. Dahası, biyolojik kurutma, işlemin sonunda matristen uçucu katıların (VS) nispeten düşük bir oranda uzaklaştırılmasını sağladığı için, biyolojik olarak kurutulmuş atığın ısıtma değeri göz önüne alındığında, enerji üretimi için çekici kabul edilen bir yöntemdir [70].

Biyo-kurutma, kentsel atıkları kurutmak ve kısmen stabilize etmek için mekanik-biyolojik arıtma tesislerinde kullanılan bir tür aerobik ayrıştırıcıdır. Biyo-kurutma ile biyolojik kütle içerisinde yüksek miktarlarda bulunan katı maddeden geri kazanılmış yüksek kaliteli yakıt üretilebilmektedir [18]. Biyo-kurutma sürecinde, işletim parametreleri, reaktör tasarımı ve sürecin (zaman) biyolojik olarak kurutulmuş çıktı kalitesindeki etkileri incelenmektedir.

Biyo-kurutma reaktörlerindeki atık, hava ve ısı yayılımı ile kurutulur. Yüksek hava akım oranları ve karıştırma ile etkin kurutma sağlanır. Biyo-kurutma süreci ve değiştirilen parametreler ile katı maddeden geri kazanılan yakıt son kullanıcılar için yenilenebilir bir enerji kaynağı oluşturur [69].

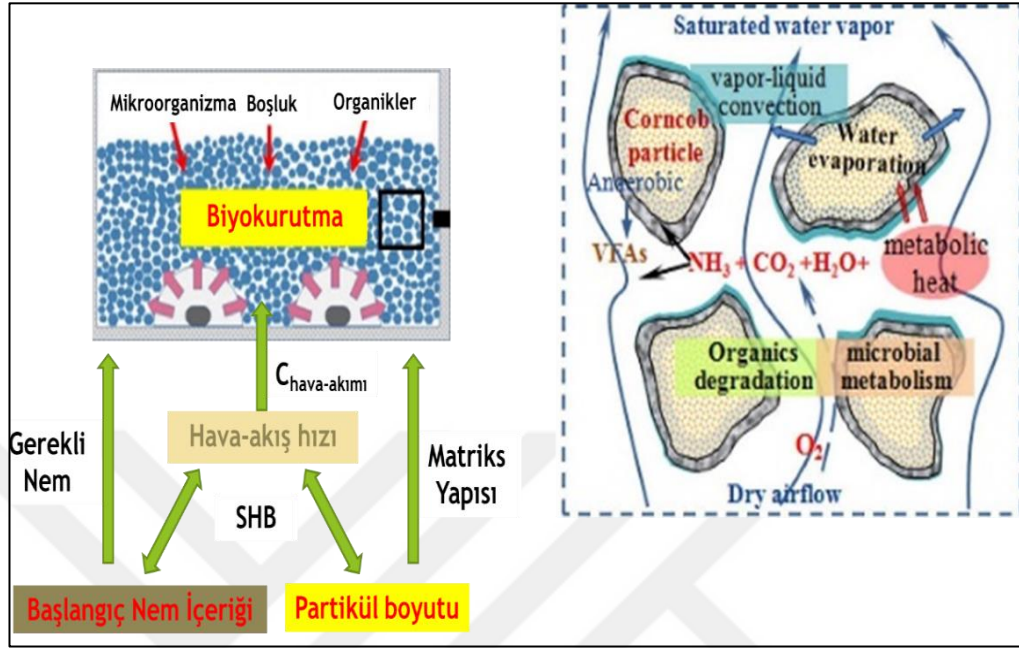
Bilindiği kadarıyla biodrying (Biyolojik kurutma) terimi ilk defa Jewell ve ark. (1984) tarafından çiftlik gübresinin kurutulması ile ilişkili çalışmalarından bahsederken ortaya atılmıştır [19].

Kompostlaştırma, biyolojik olarak parçalanabilir evsel atıkların geri dönüşümünde en önemli alternatiflerden birisidir. Bununla birlikte, söz konusu kompostlama işleminin çok uzun zaman alması, istenen kaliteli bir kompostun elde edilmesindeki zorluklar ve ortaya çıkan kompostun değerlendirilmesi sırasında karşılaşılan zorluklar, biyolojik olarak parçalanabilir atıkların bertarafında diğer alternatiflerin dikkate alınmasını ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda, atıkların yakıt olarak değerlendirilmesi önemli bir alternatif olarak görülmektedir. Atıkların yakılması, uygulamada yaygın bir yöntem olmakla birlikte, yakılacak atıkların belirli koşulları karşılaması beklenmektedir. Bu koşullar arasında en önemli parametre atığın enerji içeriğidir. Evsel katı atıklar, hem hacimsel azalım hem de enerji elde edilmesini sağlayacak şekilde ön arıtma ile iyileştirilebilir [20]. Ancak, evsel katı atıkların nem içeriğinin yüksek olması enerji üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Biyokurutma yöntemi; havalandırma ve ısı etkisi ile başta hacim ve nem azaltımı olmak üzere iyi bir ön işlem ve çözüm olarak kabul edilmektedir [65].

Biyo-kurutma, kompostlaştırmaya benzer bir süreç olup mümkün olan en düşük bekletme süresinde (7-15 gün) yüksek kaliteli kurutulmuş malzeme üretmek için gerçekleştirilen ön arıtım işlemidir [22].

Biyo-kurutma prosesinde yüksek su içeriğine sahip olan atıklardan su içeriğinin giderilmesi hedeflenmektedir. Kısa süreli bir proses olan biyo-kurutma prosesinde, düşük uçucu katı tüketimine sahip atıklardaki yüksek orandaki nemin buharlaşması için ekzotermik reaksiyonlardan faydalanılmaktadır [23]. Biyo-kurutma süresince nem içeriği; (1) su moleküllerinin buharlaştırılması (sıvı fazdan gaz faza değişim), (2) atıklardan buharlaşan suyun hava-akışı ile taşınması ve çıkan gazlarla giderilmesi şeklinde iki ana adımla azaltılmaktadır [24]. Ayrıca, biyo-kurutma, etkili bir hacim azaltma işlemine sahip olma eğilimindedir ve kısa süreli depolama, taşıma ve taşıma sırasında koku emisyonunun azaltılması gibi avantajlara sahiptir [71]. Kompostlama işleminde, uçucu katı maddelerin tüketimi ile substratın mineralize edilmesi istenirken, biyo-kurutma prosesinde, atık maddelerin kalorifik değerini korumak için biyolojik

bozunmanın azaltılması hedeflenmektedir [25]. Biyo-kurutma prosesinin basitleştirilmiş şematik diyagramı Şekil 1.3 'de gösterilmektedir [61].



Şekil 1.3. Biyo-kurutma prosesinin basitleştirilmiş şematiği

1.4.4.1. Biyo-kurutma prosesini etkileyen faktörler

Atığın fiziko-kimyasal özellikleri, başlangıç nem içeriği, hava-akış debisi, sıcaklık, gözenek artırıcı madde, çalkalama ve karıştırma faktörleri bağımsız olarak veya toplu olarak biyo-kurutma prosesini etkilemektedir. Biyo-kurutmayı etkileyen faktörler hakkında ayrıntılı açıklamalar aşağıda verilmiştir

1.4.4.1.1. Nem içeriği

Bir numunedeki yerçekimine karşı atıkta tutulan su miktarına atığın nem içeriği denir. Biyo-kurutma işleminde atıkların nem içeriği prosesin verimliliğini değerlendirmek için kritik parametrelerden birisidir. Biyolojik kurutma sırasında uçucu katı maddenin (UKM) tamamen ayrıştırılmış olmasından dolayı (bozunma etkisi) düşük nem koşullarının (su stresi) mikrobiyal faaliyetlerini ve hareketini engeller hatta durdurabilir Biyo-kurutma proseslerinde atıkların nem içeriğinin fazla olması oksijen taşınımını sınırlandırırken mikrobiyel aktiviteyi azaltır ve böylelikle biyo-kurutmayı engeller [64].

1.4.4.1.2.Hava-akış debisi

Hava-akış oranı hem matris sıcaklığını hem de kurutma verimliliğini doğrudan etkilediğinden dolayı biyo-kurutma işleminde proses kontrolü için hava-akış oranı temel işletme parametresi olduğu tespit edilmiştir. Biyo-kurutma işleminde yüksek hava-akımı ile daha fazla ağırlık kaybı olduğunu(% 40-57) düşük hava-akımında ise sızıntı suyuna neden olmaktadır [63].

1.4.4.1.3.Sıcaklık

Biyo-kurutma prosesinde sıcaklık parametresi su giderme oranını, biyolojik aktiviteyi ve enerji verimliliğini etkilediğinden dolayı önemli bir faktördür. Biyo-kurutma prosesinde hava-akımının günlük çevriminin sıcaklık farklılıklarını ortadan kaldırdığını ve homojen bir nihai ürün elde edilmesine yol açtığını ileri sürmüştür [68]. Hava-akış oranının artması atıklardan nem kaybına pozitif etki yaratmasına rağmen, sıcaklık ve kalorifik değerleri üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Margesin ve diğ. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, haftada iki kere döndürülen atık matrisinde 48 ± 5 °C sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Biyo-kurutma işlemi sırasında yüksek sıcaklıkların (>55 °C) nemin buhar haline dönüşmesini arttırdığını ve ayrıca daha fazla nemi dışarıya atmak için matristen geçecek hava-akımının buhar basıncına ulaşmasını kolaylaştırmaktadır [62].

1.4.4.1.4.Gözenek artırıcı (GA) madde

Başlangıç nem içeriğini ve serbest hava boşluğunu (Free Air Space, FAS) ayarlamak için gözenek artırıcı madde kullanılmak. Gözenek artırıcı madde biyo-kurutma prosesinde etkili olabilmesi için fiziksel yapısı ve biyolojik parçalanabilirliği dikkate alınmalıdır. Küçük partikül boyutundaki parçacıklar, matriste yeterli gözeneklilik ve iç homojen gözenek boyutu dağılımı sağladığından dolayı biyo-kurutma prosesinde tercih edilmektedir. Bu özellikler etkin su emme oranını arttırmaktadır. Ancak küçük parçacıklı GA maddeler, biyo-kurutma esnasında sıkışmaya neden olabilmekte ve bu da nem giderimi üzerinde olumsuz etkiye neden olabilmektedir [67].

1.4.4.1.5.Karıştırma

Mikrobiyal aktivite, karıştırma sıklığından etkilenmektedir. Karıştırma işlemi biyokurutma sırasında yüksek mikrobik aktiviteyi sürdürmek için önemli bir

faktördür. Mikroorganizmaların dağılmasını ve atık parçacıklarının fiziksel olarak parçalanmasını kolaylaştırır ve mikrobik büyüme için mevcut yüzeyin artmasını sağlar. Bunun dışında karıştırma, besin ve oksijen taşınmasını kolaylaştırır. Karışma işlemi, havalandırmayı artırmak için matris yapısı açılıp reaktöre giren yeni havaya daha fazla yüzey alanı sağlar ve böylece biyo-kurutma prosesinin hızlanmasına ve zamanla organik matrisin içeriğinin düşmesine neden olabilir [66].

1.4.4.2. Biyo-kurutma uygulanan atık türleri ve yapılan çalışmalar

Atıksu arıtma çamurlarına uygulanan biyo-kurutma yöntemi ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar Tablo 1.8’ de verilmiştir.

Tablo 1.8. Arıtma çamuru biyo-kurutma yöntemiyle ilgili yapılan çalışmalar

MAKALE İSMİ	YIL	DERGİ
1 Effect of air-flow rate and turning frequency on bio -drying of dewatered sludge	2010	Water Research
2 Moisture variation associated with water input and evaporation during sewage sludge bio-drying.	2012	Bioresource Technology
3 A new model of batch biodrying of sewage sludge, Part 1: Model development and simulations.	2017	Drying Tehnology
4 New insights into biodrying mechanism associated with tryptophan and tyrosine degradations during sewage sludge biodrying	2017	Bioresource Technology
5 Decomposition of lignocellulose and readily degradable carbohydrates during sewage sludge biodrying, insights of the potential role of microorganisms from a metagenomic analysis.	2018	Chemosphere
6 Characterization and Treatment of Emission Gas Condensate Generated from Biodrying of Sewage Sludge	2018	Enviromental Engineeing Science
7 Co-biodrying of sewage sludge and organic fraction of municipal solid waste: Role of mixing proportions. Waste Management	2018	Waste Management
8 Micropollutant biodegradation and the hygienization potential of biodrying as a pretreatment method prior to the application of sewage sludge in agriculturepretreatment method prior to the application of sewage sludge in agriculture	2019	Ecological Engineering
9 The biodrying process of sewage sludge – a review	2020	Drying Tehnology
10 Insights into characteristics of organic matter during co-biodrying of sewage sludge and kitchen waste under different aeration intensities	2020	Enviromental Technology &Innvation
11 Reduction of sludge by a biodrying process: Parameter optimization and mechanism.	2020	Chemosphere
12 Biodrying of dewatered secondary sludge: behavior of dynamic respiration index (DRI) and energy release under different operating conditions	2020	Journal Of Chemical Technology And Biotechnology
13 The Organic Degradation and Potential Microbial Function in a 15-Day Sewage Sludge Biodrying	2020	Compost Science &Utilization
14 Effect of temperature and bulking agents on deep bio-drying of high-solid anaerobically digested sludge	2020	Drying Tehnology

Tablo 1.8' de verilen arıtma çamurlarının biokurutulması ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalarda incelenen konular;

- Hava akış hızı ve döndürme işleminin etkisi
- Başlangıç nem içeriğinin etkisi ve değişimi
- Hacim arttırıcı malzemelerin etkinliği
- Uçucu katı ve çeşitli organik yapıların degradasyonu
- Mikrobiyal toplulukların gelişimi
- Biyokurutma model ve simülasyon çalışmaları
- Gaz emisyon oluşumları ve arıtımı
- Evsel çamurların farklı atıklarla (Kentsel atık, mutfak atık vb) birlikte biyokurutulması

Scholwin ve ark. (2003), organik substratın biyolojik kurutulması konusunda etkin süreç modelleme ve denetimi için atık matrislerinin fiziksel-mekanik özelliklerin önemini altını çizmişlerdir. Etkin biyolojik dönüştürmeyi etkileyebilecek olan ilgili parametreler; malzeme, dolgulu yatak ve akış şemaları ile ilgili olmak üzere üç sınıfta gruplandırılmıştır. Substratların kurutulması ile ilgili konuların anlaşılması geliştirilmiştir.

Vander Şheynst ve ark. (1997), başlangıç nem içeriği %45 ve %55 olan sentetik yiyecek atığının kurutulmasının gerçekleştirilen pilot ölçekli reaktörde sıcaklık ve nem profillerini araştırmışlardır. Azami sıcaklık farklılıklarının belirgin nem içeriği ile birlikte ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir. Sıcaklık farklılıklarının yüksek havalandırma oranlarında daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Adani ve ark. (2002), kapsamlı bir araştırmada parçalanmış/öğütülmüş kentsel katı atıkların ($\emptyset < 50$ mm) ince katı atıklar ile doldurulmuş statik, ısı yalıtımlı reaktörler kullanmışlardır. Test serileri hava akım oranının manuel olarak ayarlanması ile kontrol edilen orta katman matris sıcaklığının belirlenmiş olan noktasında yürütülmüştür. Etkin ve hızlı bir kurumanın yüksek hava akım oranlarında gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Rada ve ark. (2007), yüksek nem (%50 A/A) ve %50 organik madde içerikli suni kentsel katı atık ile test ölçekli deneylerinde hem su hem de uçucu katı maddeler (Volatile solids, UKM) kayıpları için benzer zaman eğrileri tespit edilmiştir. Çoğu kayıplar nem giderilmesi ile açıklanmaktadır (UKM ile yoğunlaşan nem arasındaki ağırlık kaybı oranı 1:7). Kurutmadaki kuruma oranının temel olarak hava akımı oranı ve çıkış hava sıcaklığı ile ilişkilendirilmiştir. Bunun da biyolojik faaliyetlere bağlı olduğu tespit edilmiştir.

Leonard ve ark. (2005), 33 faktörlü bir tasarım deneyi kullanarak bir mikro kurutucuda atık su çamurunun konvektif kuruması sırasında kuruma kinetiği üzerinde giriş hava sıcaklığının, yüzeysel hızın ve nemin etkilerini incelemişlerdir.

Bartha (2008), döner tambur biyolojik kurutma reaktörü için CO₂ içeriği %0,05-0,4 aralığında tutulacak şekilde hava tedarikinin kontrol edilmesini tercih etmiştir.

Roy ve ark. (2006), Selüloz ve kâğıt atıklarının biyolojik kurutulmasında daha yüksek hava akımı oranlarında daha yüksek kuruma oranları (birim zamanda giderilen nem miktarı) olduğunu tespit etmişlerdir. T çıkış ve Q hava eğrileri aynı meyili göstermiştir. Bu daha etkili bir kuruma için yüksek hava akım değerleri kullanmışken 45 °C'lik sıcaklıkta saatlik 0,023 m³'lük hava akımı ile en iyi kurutma sonuçlarını elde etmişlerdir.

Skourides ve ark. (2006), kentsel katı atıkların organik kısmını bir döner tamburda karıştırılmış ve biyolojik kurutulmasını araştırılmışlardır. Benzer bir şekilde sonuçlar azami kuruma oranının kullanılan en yüksek havalandırma oranında (120 m³sa⁻¹) gerçekleştiğini göstermiştir. Bu da kısa bekleme süresinde (<7 gün) başlangıçta %40 A/A iken %20 A/A ile sonuçlanmıştır.

Roy ve ark. (2006), yüksek nem değerine sahip posa ve kâğıt atıkların biyolojik kurutulması sırasında mikrobiyal büyüme dönemleri ile ilişkili olan üç ayrı kuruma safhası tespit etmişlerdir;

- (1) Mikroorganizmaların üstel artan kuruma oranı ile sonuçlanan ortama alışması,
- (2) Yetersiz besin varlığına dayalı olarak kurumanın üstel azalması
- (3) Q hava değerindeki dalgalanmalara dayalı sabit kuruma oranıdır.

Bu biyolojik kurumanın mikrobiyal faaliyete daha az bağımlı olduğu, giderek su stresine dayalı olarak engellendiğini bunu yerine atıkta yalnızca fiziksel sürece dönüştüğü anlamına geldiğini belirlemişlerdir.

Adani vd. (2002), karşılaştırmalı laboratuvar testlerinde yüksek hava akımı oranının en yüksek enerji içeriği (Energy content, EĞ) ile birlikte en hızlı KMGKY üretimini (150 saat) sağlandığını belirtmişlerdir. Daha düşük hava akım oranlarının kullanılması sonucunda sürecin tamamlanması 205 saatten fazla sürdüğü bunun nedenin ise organik maddelerin yeterli derecede biyolojik olarak ayrıştırılmamasından kaynaklandığı sonucunu çıkarmışlardır.

Ardeh ve ark.(2010), Çamurun kuru katı içeriğini ekonomik seviyelere çıkarmak ve biyokütle kazanında güvenli ve ekonomik bir yanma işlemi gerçekleşmesi için yeni bir sürekli biyo kurutma işlemi geliştirilmiştir. Çamur kurutma oranları, karışık çamur matrisinde üretilen metabolik biyoyısı ile geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, sürekli biyo kurutma reaktörünü sistematik olarak analiz etmektir. Değişken bir analiz gerçekleştirilerek, çıkış bağıl nem profilinin, biyolojik kurutma reaktöründeki anahtar değişken olduğu bulundu. Farklı çıkış bağıl nem profillerinin etkisi daha sonra biyolojik kurutma etkinliği endeksi kullanılarak değerlendirildi. Ekonomik kuru katı seviyesinin (>45 w/w) olduğu durumda, hava çıkışının bağıl nem profilini, reaktörün dört bölümünde% 85/85/96 / 96'da tutarak, en yüksek biyolojik kurutma verim endeksinin elde edilebildiğini bulmuşlardır.

Zhao ve ark.(2012), Çamur biyo-kurutma, suyun giderilmesi için bir havalandırma işlemidir. Kurutma işlemi, organik maddenin çamurdaki aerobik bozunmasından kaynaklanan biyo-ısınmayı kullanır. Bu çalışmada, kış mevsiminde 3 °C ile 9 °C arasındaki ortam sıcaklıklarında dört deneme yapılmıştır. İşlem sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişiklikler incelenmiş ve partikül boyutlarındaki hacim kazandırıcı maddelerin ve kontrollü matris sıcaklığının etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, sürecin kışın üç günlük bir gecikmeyle başlayabileceğini ve toplam sürenin sadece yedi gün olduğunu gösterdi. En düşük organik madde kaybına (% 12.2) sahip en yüksek su uzaklaştırma oranı (% 31.0), karışık parçacık büyüklüğünde bir kabarma maddesi ile daha düşük kontrollü bir matris sıcaklığında (43 ° C) elde edildi. Yaygın bir hacim kazandırıcı madde olarak, 2-5 mm'lik küçük bir tanecik boyutuna sahip olan

saman, organik maddenin bozunması için faydalı iken, suyun uzaklaştırılması üzerinde olumsuz bir etkisi olmuştur. Hacim maddesi olarak farklı tipte samanların (daha büyük partikül büyüklüğü 20–30 mm olan) kullanılması, organik madde bozulma oranının% 9.75 ve su uzaklaştırma oranının% 25.9 olduğu düşük performans göstermiştir. Daha yüksek kontrollü sıcaklık (53 °C) daha az havalandırma ile sonuçlandı ancak bozunma oranları% 16.8'e yükseldi. Düşük sıcaklıkların (43 °C) kullanılması, daha düşük su giderme oranı (% 29.2) ve nispeten daha düşük bir biyolojik bozunma oranı ile sonuçlandığını çıkarmışlardır.

Cai ve ark.(2013), Mekanik havalandırma, atık çamur biyo-kurutması için kritiktir ve havalandırmadan kaynaklanan gerçek su kaybı, havalandırma ile atık su biyo-kurutma kümesinden yerinde ölçümlere dayanarak su buharlaşması arasındaki ilişkinin araştırılmasıyla daha iyi anlaşılabilir. Bu çalışma, basınçlı hava hacminin bir lağım çamuru biyo-kurutma kümesinden su buharlaşması üzerindeki etkilerini araştırmak için yapılmıştır. Susuzlaştırılan atık su çamuru, biyo-kurutma için kontrol teknolojisi kullanılarak biyokurutuldu, bu sırada sıcaklık, yüzeysel hava hızı ve su buharlaşması ölçüldü ve hesaplandı. 4. Gün sonunda sonuçlar, en yüksek hava hızının ve suyun buharlaşmasının, termofilik faz ve ikinci sıcaklık arttırma fazında meydana geldiğini ve sırasıyla en yüksek $0.063 \pm 0.027 \text{ ms}^{-1}$ ve 28.9 kg ton^{-1} matris d⁻¹'in gözlemlendiğini göstermiştir. Havalandırma sırasındaki havanın üstündeki hava hızı, havalandırma olmadığından% 43-100 daha yüksekti ve hava hacmi ile su buharlaşması arasında 1 ila 15 gün arasında anlamlı bir korelasyon vardı. Günlük su buharlaştırma araçlarının sırası, termofilik faz> ikinci sıcaklık arttırıcı faz> sıcaklık arttırıcı faz> soğutma fazı idi. Cebri havalandırma hava sıcaklığını kontrol etti ve buharlaşmayı iyileştirdi, bu da atık su çamuru biyo-kurutma işlemi sırasında su kaybını etkileyen anahtar faktör haline geldiğini bulmuşlardır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada bio-kurutma yöntemi ile evsel nitelikli çamurdan yakıt nitelikli ürün elde edilmesi sırasında çamurun elemental ve proksimet analizleri ile kalorifik değerindeki değişimler incelenmiştir. Bu amaçla kesikli bio-kurutma testleri ve analitik analizler aşağıdaki alt bölümlerde tanımlanan prosedürlere göre gerçekleştirilmiştir.

2.1. Biyo Kurutma Materyallerinin Özellikleri

Çalışmada 169.000 kişilik nüfusa hizmet eden 40.000 m³/gün işletme debisine sahip atıksu arıtma tesisinden alınan evsel nitelikli arıtma çamuru biyo-kurutma malzemesi olarak kullanılmıştır. Arıtma tesisinden alınan arıtma çamurunun özellikleri Tablo 2.1.' de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kanalizasyon Çamurunun Karakterizasyonu

Elemental Analiz (kuru bazda) -%	
C	34.15
H	4.52
O	28.93
N	4.64
Kül İçeriği	27.76
Proksimet Analiz-%	
Nemli içeriği	77.97
Uçucu Madde (kuru bazda)	58.97
Kül (kuru bazda)	27.76
Sabit Karbon (kuru bazda)	13.27
Enerji içeriği	
Kalorifik Değer(kJ/kg)	3225
Ağır Metaller (mg / L)	
As	0.03
Cu	0.15
Hg	<0.001
Pb	0.07
Cd	0.002
Cr	0.33
Ni	0.12
Diğer parametreler	
pH	6.99
BTEX (mg/kg)	<0.25
PCBs (mg/kg)	<0.035

Tablodan da görüldüğü gibi kullanılan biyo kurutma malzemesi yüksek nem içeriğine (%78) sahiptir. Kabul edilebilir BTEX, PCB ve ağır metal konsantrasyonları düşük toksisiteyi göstermekte ve kurutulmuş biyokütlenin kullanılabilirliğine işaret etmektedir.

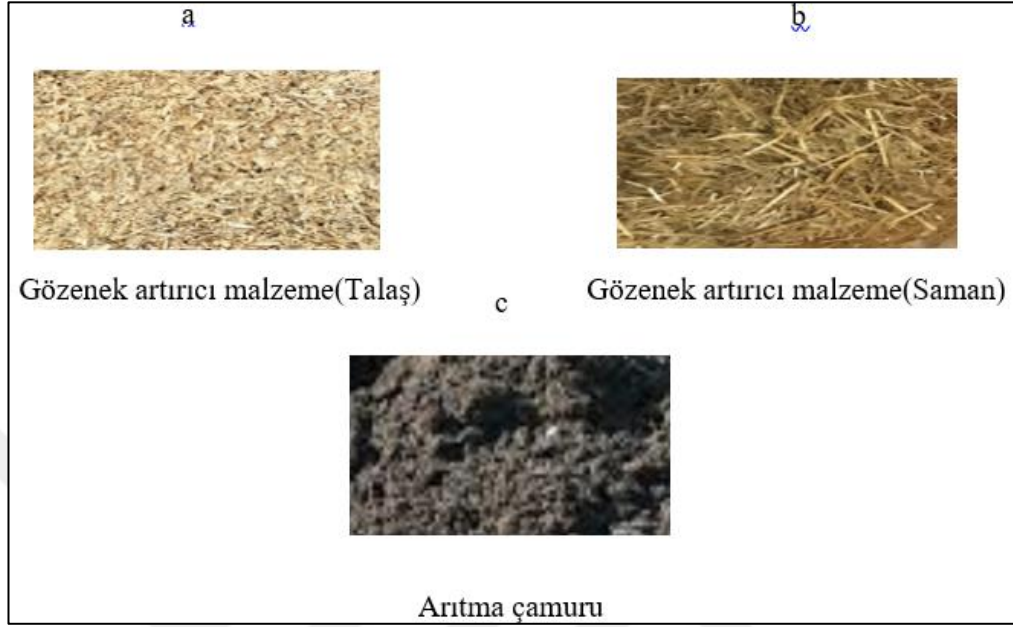
Biyo kurutma sırasında, gözenekliliği arttırmak için arıtma tesisi çamuruna önceden belirlenmiş oranlarda talaş ve saman ilave edilmiştir. Kullanılan hacim arttırıcı maddelerin özellikleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo.2.2. Kullanılan hacim arttırıcı maddelerin özellikleri

Parametre	Hacim arttırıcı madde	
	Talaş	Saman
Elemental Analiz (kuru bazda) -%		
C	47.19	43.21
H	5.94	5.52
O	2.13	0.28
N	44.27	45.36
Kül içeriği	0.47	5.63
Yakın Analiz-%		
Nemli İçeriği	7.35	7.07
Uçucu Madde (kuru bazda)	79.3	74.21
Kül (kuru Bazda)	0.47	5.63
Sabit Karbon (kuru bazda)	20.23	20.16
Enerji içeriği		
Kalorifik Değer(kJ/kg)	18610	17570

Çalışmada, ham ve biyo-kurutulmuş malzemelerin kalorifik değerleri IKA C-7000 model kalorimetre (IKA Laboratuar Ekipmanları, Werke Staufen, Almanya) cihazı kullanılarak ISO 1928 standardına göre belirlenmiştir. Elemental analizler Thermo Scientific Flash 2000 Elemental Analyzer (Thermo Fisher Scientific Inc., Bremen, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilirken, proksimet analizler ilgili ASTM yöntemlerine göre LECO TGA 701 cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Bio-kurutma işlemi öncesi kullanılan malzemelerin genel görünümü Şekil 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.1. Biyo-kurutma öncesi kullanılan gözenek arttırıcı malzemelerin (talaş (a), saman (b)) ve arıtma çamurunun (c) görünümü

Elde edilen biyo-kurutulmuş ürünün sınıflandırılmasında kullanılan biokütle içeriği proksimet analiz verilerinden yararlanılarak aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$\text{Biokütle İçeriği (\%)} = \frac{UM+SK}{AK} \times 100 \quad (2.1)$$

Burada

AK: atık kütlesi (alındığı gibi) (kg),

VM: uçucu madde kütlesi(kg)

FC: sabit karbon kütlesi (kg)

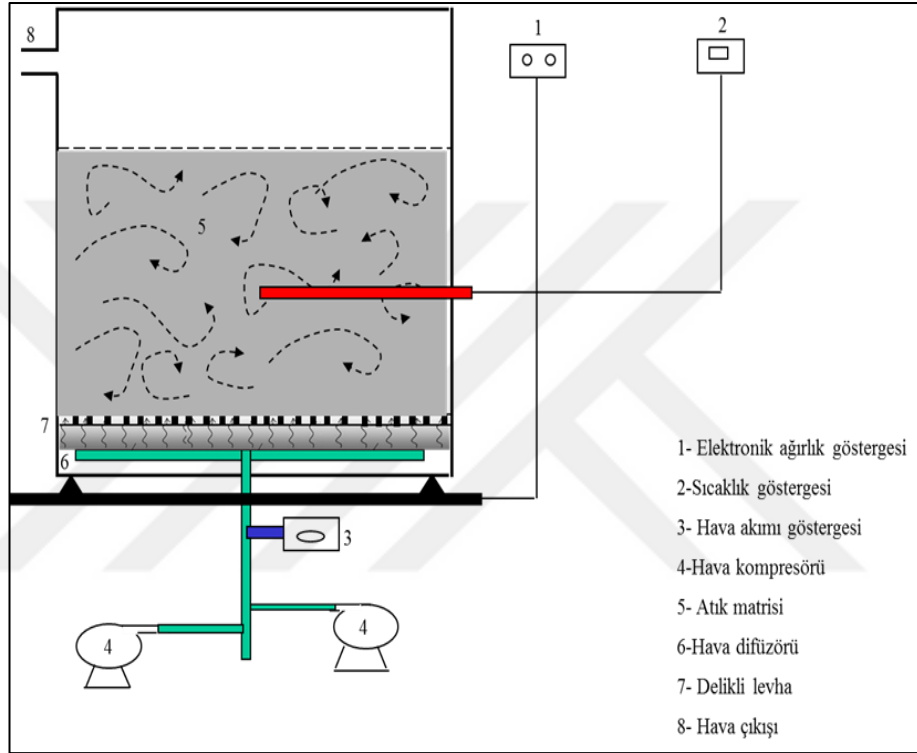
Ayrıca, biyolojik kurutma işleminin performansını incelemek için biyolojik kurutma indeksleri (I) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır [9]:

$$I_t = \frac{SK_t}{UK_t} \quad (2.2)$$

Denkleimde verilen I_t ; t anındaki biokurutma indeksini, SK_t ; t anındaki su kaybını, UK_t ise t anındaki uçucu katıdaki azalmayı ifade etmektedir.

2.2. Deneysel Prosedür ve Kurulum

Biyo kurutma işlemi, 0,8 m³ hacimli bir paslanmaz çelik reaktör kullanılarak gerçekleştirildi. Kullanılan reaktörün şeması Şekil 2.2.' de sunulmaktadır.



Şekil 2.2. Biyoreaktörün şeması

Reaktörde kütle kaybı, reaktörün altına yerleştirilen elektronik tartı ile ölçüldü ve (1) nolu gösterde ile takip edildi. Biyokütle içerikli karışımın proses süresince sıcaklığının değişimini gözlemlemek için bir termometre sensörü (2) kullanılmıştır. Atık matrisi, RTSvac model hava kompresörü (4) ile havalandırılmıştır ve EYS FTS84 model digital thermo air velocity transmitter (3) hava akış hızının izlenmesinde kullanılmıştır. Atık matrisi içinde uniform hava dağılımı sağlamak için reaktörün tabanında delikli bir paslanmaz çelik levha (7) yerleştirilmiştir. Reaktörün üst tarafında hava çıkışı için 2 cm çapında bir boru (8) yer almaktadır.

İlgili literatür incelendiğinde, biyo-kurutma araştırmalarında 0.76 ile 13.64 L / dak.kg (yb-yaş baz) aralığında değişen hava debilerinin uygulandığı görülmektedir. Daha

düşük hava akımı koşulları, yeterli biyolojik parçalanmayı sağlayabilir ancak hedeflenen nem giderimini sağlayamaz. Diğer yandan, artan hava akış hızları, nem gideriminin artması ve biyolojik bozunmanın yavaşlaması ile sonuçlanmıştır. Biyokurutma işlemi, tatmin edici nem giderimi ve yüksek enerji içeriğine sahip nihai ürün, yani atıktan türetilmiş yakıt elde etmek için yeterli sıcaklık ve hava akış oranlarını gerektirmektedir. Bununla birlikte, aşırı hava debisi, kaçınılmaz olarak işletme maliyetlerinin de artmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, talaş içeren denemeler için 1.11-1.18 L / dak.kg (yb) hava akış hızı ve saman içeren denemeler için 2.09-2.24 L / dak.kg (yb) hava akış hızı uygulanmıştır. Her ne kadar sabit bir difüzör ile havalandırma yapılsa da saman ve talaş içeren denemeler için not edilen farklı hava akış hızları, oluşturulan numune bileşimlerinin farklı fiziksel yapılarından kaynaklanmaktadır. Daha büyük parçacık boyutuna ve yüksek yoğunluğa sahip talaş içeriği atık matrisinde hava akımının engellenmesine neden olmaktadır.

Çalışmada altı farklı deneme, yedi günlük bir süre boyunca biyolojik olarak kurutulmaya tabi tutulmuştur. Denemelerin bileşimleri Tablo 2.3 'te açıklanmıştır.

Tablo 2.3. Kullanılan hacim arttırıcı maddelerin özellikleri

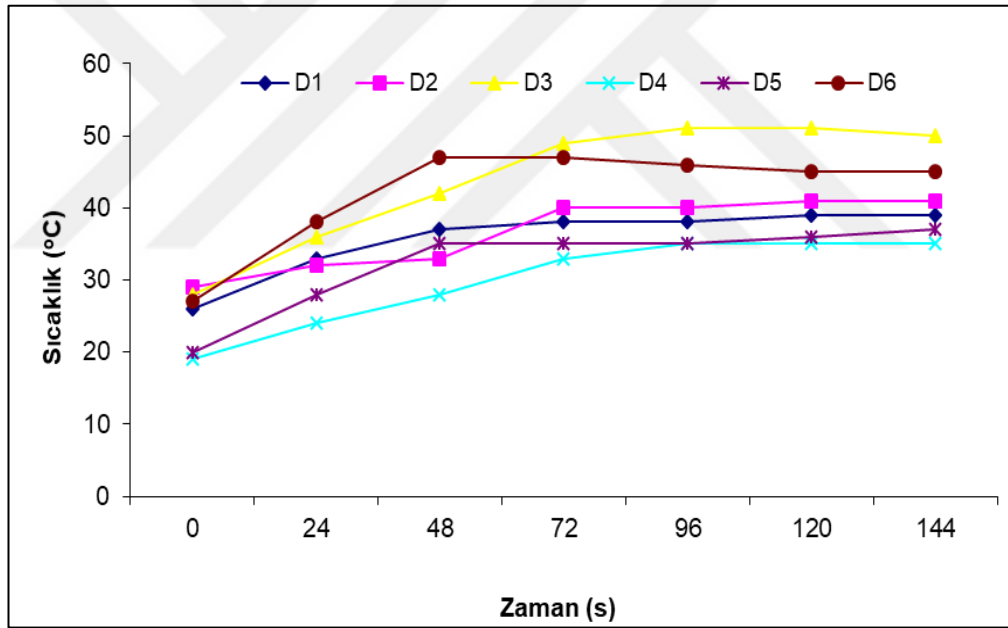
Deneme No	Örnek Kompozisyonları
D1	24 kg Çamur+ 4 kg Talaş
D2	24 kg Çamur + 6 kg Talaş
D3	24 kg Çamur + 8 kg Talaş
D4	24 kg Çamur + 4 kg Saman
D5	24 kg Çamur + 6 kg Saman
D6	24 kg Çamur + 8 kg Saman

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Dinamik Sıcaklık ve Kütle Kaybı Ölçümleri Sonuçları

Biyo kurutulan malzemenin sıcaklık ve kütlesindeki değişimler, test edilen tüm denemelerde proses süresince izlenmiştir.

İlgili literatürden de bilindiği gibi, sıcaklık bio-kurutma prosesinin ana ürünlerinden birisidir. Bu nedenle, süreçteki mikrobiyal aktiviteyi izlemesinde anahtar bir parametredir. Bu çalışma için ölçülen sıcaklık değişimleri Şekil 3.1.'de sunulmuştur.



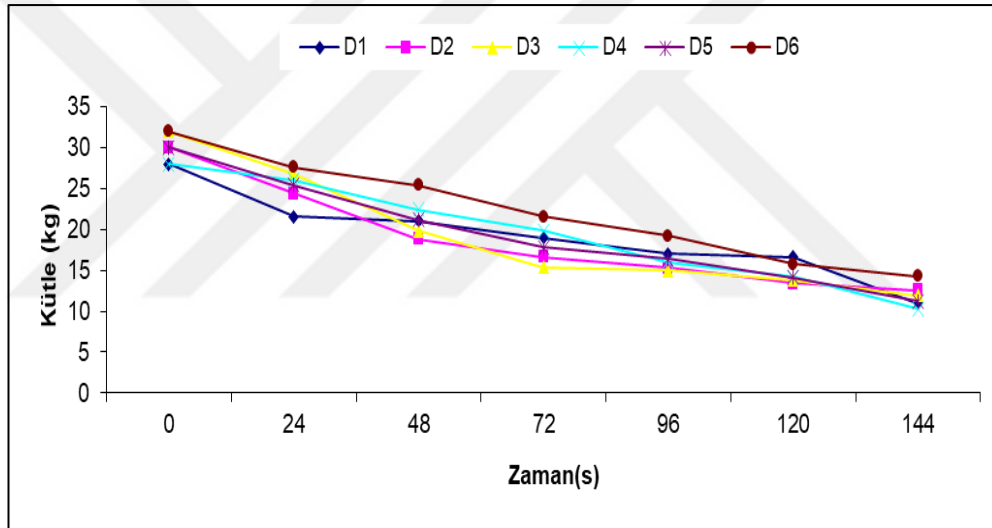
Şekil 3.1. Biyo kurutma kurutma sırasındaki sıcaklık değişimleri

İzlenen sıcaklık değerlerindeki değişiklikler, biyolojik kurutmanın birbirini izleyen iki adım içerdiğini göstermiştir. İlk aşamada, aerobik mikrobiyal aktiviteler sonucunda ani sıcaklık artışı gözlemlendi. Bu reaksiyonlar, aktif kompostlama aşamasındakilere oldukça benzer. Biyolojik bozunma reaksiyonlarına bağlı biyokütle kaybı, nem giderimi ile birlikte ortaya çıkmıştır. Bu ısınma süresi yaklaşık üç gün içinde tamamlanmıştır. Bir sonraki aşama, sabit sıcaklık koşulları ile karakterize edilen

kurutma aşamasıdır. Bu aşamada kütle kaybı, biyodegradasyon reaksiyonları yavaşlatıldığı için yalnızca nemin uzaklaştırılmasıyla açıklanabilir.

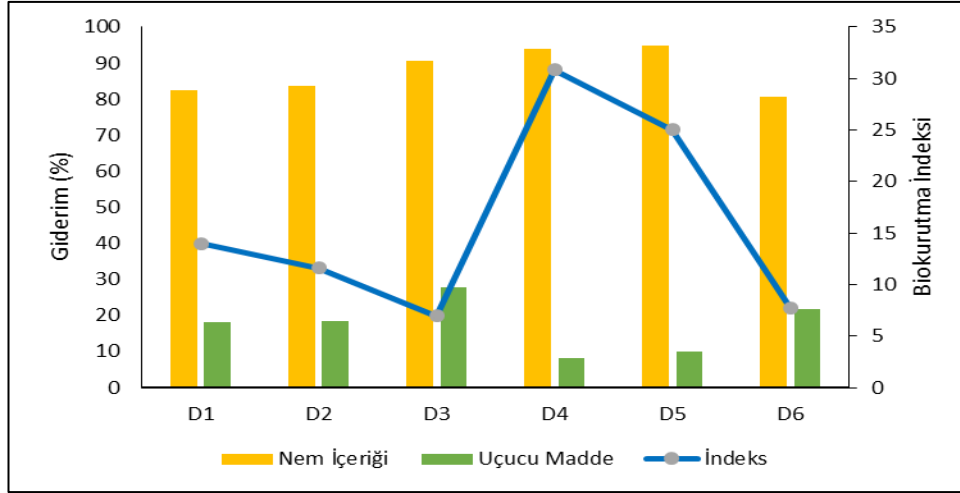
Şekilden açıkça görüldüğü gibi, mikrobiyal aktivitenin bir sonucu olarak test edilen tüm denemelerde sıcaklık artma eğilimindedir. Öte yandan, hacim oluşturuucu madde içeriği daha yüksek olan biyomateryal örnekler için (örneğin D3 ve D6) daha yüksek sıcaklık artışları (45-50 °C'ye kadar) kaydedildi. Bu, daha gözenekli atık matrisinde daha iyi havalandırma koşullarının bir sonucu olarak gelişmiş biyolojik bozunma ile açıklanabilir.

Biyomalzemenin kütlesindeki değişimler de tüm denemeler için saatlik olarak izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.2. Biyo kurutma işleminde kütle değişimleri

Biyo kurutma işlemi süresince gerçekleştirilen tüm denemelerde kayda değer oranda kütle kayıpları gerçekleşmiştir (Şekil 3.2). Kütle kayıplarının önemli bir kısmı ilk 3 gün içerisinde tamamlanmıştır. Proses süresince atık matrisinin kütlesindeki azalma iki ana mekanizmaya bağlı olabilir: (1) nemin hava akımı ile uzaklaştırılması ve (2) biyokütlenin mikrobiyal aktivite ile degradasyonudur. Test edilen tüm denemelerde % 55 -% 63 aralığında kütle kaybı kaydedildi. Bu sonuç, yeterli hacim ve kütle azalması için biyolojik olarak kurutma işleminin kullanılabilirliğini göstermektedir. Gerçekleştirilen çalışmada etkin mekanizmayı tanımlamak için tüm denemelerde toplam nem ve uçucu madde giderim oranların da belirlenmiştir. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3. Test edilen deneylerde nem ve uçucu maddenin azalması

Daha önce belirtildiği gibi, biyolojik kurutma işleminin ana amacı, minimum biyolojik bozunma oranıyla en yüksek nem giderme verimine ulaşmaktır. Bu nedenle biyokurutma indeksi, biyolojik kurutma işleminin performansının değerlendirilmesinde önemli bir parametre olarak düşünülebilir. Biyolojik olarak kurutulmuş malzeme ATY olarak kullanılacaksa yüksek biyo-kurutma indeksi talep edilirken, yapı malzemesi elde edilmesi durumunda bu indeksin daha düşük değerleri tercih edilir.

Çalışmada biyolojik kurutma indeksleri Denklem (2.1) 'e göre tüm biyo-kurutulmuş numuneler için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3.3 'te sunulmuştur. Talaş içeren denemelerin biyolojik kurutma indeksi 6.94 ila 13.99 arasında değişirken, bu indeks saman içerenler için 7.73 ila 30.85 arasında bulunmuştur. Hacim arttırıcı madde oranlarının artması, biyolojik kurutma indeksinin düşmesine neden olmuştur. Bu sonuç, daha gözenekli ortamdaki artan mikrobiyal aktivitenin uçucu malzemelerin uzaklaştırılmasında artmasından kaynaklanıyor olabilir.

Şekil 3.3 'ten görüldüğü gibi, daha yüksek hacim arttırıcı madde içerikleri, daha büyük gözeneklilik nedeniyle uçucu malzeme azalmasında artışa neden olur. Talaş içeren denemeler, saman içeren denemelere kıyasla uçucu malzemede daha yüksek azalma göstermiştir. Bu, talaşın sağladığı daha iyi gözeneklilik koşulları ile açıklanabilir. Biyo-kurutma işleminin etkinliğini arttırmak için hacim arttırıcı ajanların fiziksel özellikleri dikkatlice düşünülmelidir.

3.2. Biyo-Kurutulmuş Örneklerin Elementel Bileşimindeki Farklılıklar

Örneklerin temel bileşimindeki farklılıkları araştırmak için yaklaşık ve elemental analizler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yaklaşık analizler kapsamında, tüm denemeler için biyo-kurutma işleminden önce ve sonra nem içeriği, uçucu madde, kül içeriği ve sabit karbon parametreleri ölçülmüştür (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Yaklaşık analiz sonuçları

		Yaklaşık Analiz (%)			
		Nem İçeriği	Uçucu Madde (Kuru bazda)	Kül İçeriği (Kuru bazda)	Sabit Karbon (Kuru bazda)
D1	BÖ*	67.26	66.76	16.17	17.07
	BS**	30.04	62.24	18.39	19.38
D2	BÖ	63.93	69.42	13.79	16.79
	BS	24.80	65.00	15.80	19.20
D3	BÖ	60.46	71.47	11.83	16.70
	BS	15.30	64.43	14.72	20.85
D4	BÖ	65.33	71.04	17.26	11.70
	BS	11.00	69.37	18.27	12.36
D5	BÖ	63.76	66.26	16.34	17.40
	BS	9.00	63.91	17.46	18.63
D6	BÖ	60.64	74.13	14.98	10.89
	BS	26.20	69.22	17.80	12.98

*BÖ: Bio-kurutma öncesi

** BS: İşlemden sonra

Kül ve sabit karbonun kütle değerlerinde önemli bir azalma olmamasına rağmen, oransal değerdeki artışlar, uçucu madde içeriğindeki azalmaya bağlı olabilir. Uçucu maddede kütle kaybı, talaş ve saman içeren denemelerde sırasıyla % 18.14-27.90 ve % 8.07-21.70 aralığında değiştirilmiştir. Bu sonuç, daha düşük nem çıkarmanın, uçucu maddede daha yüksek kayıp için belirtildiğini gösterir.

Elemental kompozisyon hakkında daha ayrıntılı bilgi elde etmek için, kurutma işleminden önce ve sonra tüm biyo kurutulmuş numuneler için de elemental analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 3.2. Elemental analiz sonuçları

		Elemental Analiz (%)				
		C	H	N	O	Kül
D1	BÖ	38.51	4.88	3.49	36.98	16.14
	BS	32.23	3.68	3.64	41.22	19.23
D2	BÖ	40.90	5.26	3.33	36.72	13.79
	BS	32.45	4.29	3.82	43.64	15.80
D3	BÖ	41.94	5.38	3.22	37.63	11.83
	BS	28.75	3.23	3.16	50.04	14.82
D4	BÖ	35.20	4.62	2.61	40.31	17.26
	BS	31.62	3.77	2.52	43.72	18.38
D5	BÖ	39.68	4.99	2.40	36.60	16.34
	BS	35.52	4.20	2.35	40.56	17.37
D6	BÖ	39.70	5.11	2.15	38.06	14.98
	BS	28.90	0.79	1.90	50.50	17.91

Mikrobiyal aktivitenin bir sonucu olarak biyo-kurutma işlemi boyunca C ve N seviyeleri için azalma kaydedilmiştir. Mikroorganizmalar, enerji ve biyokütle sentezlemek için karbon kullanırken, azot ise sadece biyokütle sentezi için kullanılmaktadır. Bu durum, bio-kurutma işlemi süresince karbon değerlerinde görülen yüksek düşüşleri açıklamaktadır.

Biyo kurutma işleminin ana amacı, kurutma işlemi sırasında minimum organik fraksiyon kaybı ile sinerjik bir etki sağlayacak mikrobiyal aktivite ile ısı elde etmektir. Sürecin bu temel prensibi kalori değerinin korunmasını sağlar (Kaynak). Hacim artırıcı oranlarının% 20'den küçük olduğu denemelerde ortalama karbon kütle giderimi saman ve talaş için sırasıyla% 19 ve% 38 olarak gözlenmiştir. Bununla birlikte, hacim artırıcı oranı% 33'e yükseltildiğinde, karbon kütlelerinin uzaklaştırılması da önemli ölçüde artar (>% 50). Çalışmanın sonuçları, ürünün enerji içeriğini korumak için hacim artırıcı oranının% 20'yi geçmemesi gerektiğini göstermiştir.

Elemental analizlerin sonuçları kullanılarak atık matristeki organik içeriğin kimyasal formülleri de belirlenmiştir (Tablo 3.3).

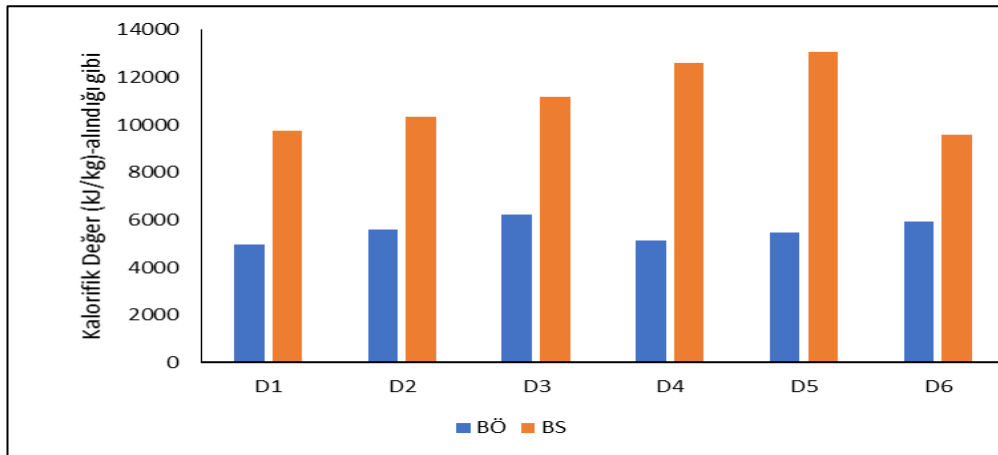
Tablo 3.3. Tam analiz sonuçları

	BÖ	BS
D1	$C_{12.87}H_{111.14}O_{55.05}N$	$C_{10.33}H_{32.50}O_{19.08}N$
D2	$C_{14.33}H_{104.91}O_{51.05}N$	$C_{9.91}H_{29.15}O_{16.71}N$
D3	$C_{15.20}H_{97.26}O_{47.16}N$	$C_{10.61}H_{23.20}O_{18.30}N$
D4	$C_{15.73}H_{137.09}O_{69.67}N$	$C_{14.64}H_{28.57}O_{18.99}N$
D5	$C_{19.29}H_{143.14}O_{70.36}N$	$C_{17.63}H_{31.57}O_{18.38}N$
D6	$C_{21.54}H_{144.74}O_{71.22}N$	$C_{17.75}H_{34.89}O_{37.79}N$

Elde edilen kimyasal formüller, yakma, piroliz, gazlaştırma, vb. gibi termal bertaraf işlemlerinin uygulanması için gerekli teorik hesaplamalar için bilgilendirici olabilir.

3.3. Biyo – Kurutulmuş Örneklerin Kalorifik Değerindeki Değişikleri

Biyo-kurutma işlemi, test edilen tüm denemelerin kalorifik değerinde önemli gelişmeler sağlamıştır. Şekil 3.4'te sunulan ilgili sonuçlar, artan kalorifik değerleri dikkate alarak sürecin etkinliğini açıkça kanıtlamaktadır.



Şekil 3.4. Örneklerin biyo-kurutma işlemi öncesi ve sonrası kalorifik değerleri

Kalorifik değer, ürünün yanma özelliğini tanımlayan temel bir parametredir ve hem uçucu katıların bozunmasından hem de nem içeriğinden etkilenir. Dolayısıyla, D4 ve D5'in enerji içeriklerinde daha yüksek artışlar belirtildi. Sonuçlar ayrıca, biyolojik olarak kurutulmuş çamurun ATY olarak kullanılması düşünülürse saman kullanımının fayda sağlayacağını göstermektedir.

Kalorifik değerin yanı sıra, elde edilen yakıtın ekonomik uygunluğunu nitelemek için kullanılan iki parametre vardır; biyokütle içeriği ve nem içeriği. Katı Geri Kazanılmış Yakıtı (SRF) tanımlayan Avrupa standartları, atıklardan türetilen katıları Tablo 3.4 'de verilen ekonomik özelliklere göre beş grupta sınıflandırır.

Daha önce belirtildiği gibi, çamurun biyo kurutulmasındaki ana amacı, yüksek kalorili yakıt elde etmektir. Bu bağlamda, elde edilen yakıtın ekonomik uygunluğunu nitelemek için kullanılan üç parametre vardır; biyokütle içeriği, nem içeriği ve kalorifik değerdir. Katı Atık Yakıt (SRF) 'yı tanımlayan Avrupa standartları, atıklardan elde edilen katıları Tablo 3.4. 'de (EN 15359: 2011) verilen ekonomik özelliklere göre beş grupta sınıflandırmaktadır:

Tablo 3.4. Atık kaynaklı yakıtın ekonomik nitelikleri için sınıflar

Sınıflandırma Özelliği	Birim	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Sınıf 5
Biokütle İçeriği (Islak bazlı)	% (Ortalama)	≥ 90	≥ 80	≥ 60	≥ 50	< 50
Net Kalorifik Değer (Islak Bazlı)	MJ/kg (Ortalama)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 6.5
Nem İçeriği	% wt/wt (Ortalama)	≤ 10	≤ 15	≤ 20	≤ 30	< 40

Çalışmada, biyolojik olarak kurutulmuş malzemelerin yakıt kalitesi, biyokütle içeriği, net kalorifik değer ve nem içeriği için Tablo 3.4'de verilen kriterlere göre sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.5'de özetlenmiştir.

Tablo 3.5. Bio-kurutulmuş Malzemelerin Sınıflandırması

	Biyokütle %	Sınıf	Net kalorifik değer MJ/kg	Sınıf	Nem içeriği %	Sınıf
D1	57.86	4	9.76	5	30.04	4
D2	63.32	3	10.35	4	24.8	4
D3	72.23	3	11.20	4	15.3	3
D4	72.74	3	12.60	4	11	2
D5	75.08	3	13.07	4	9	1
D6	60.67	3	9.58	5	26.2	4

Elde edilecek yakıtın ekonomik değerini ortaya koyan 3 önemli parametreden nem içeriği açısından talaş içeren örneklerde en fazla 3. Sınıf niteliğinde ürün elde edildiği görülmektedir. Bunun temel nedeni talaşın su tutma kapasitesinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Toplam kütlenin %20 düzeyinde saman ilave edilen D5 denemesinde ise 1. Sınıf kalitede nem içeriğine sahip ürün elde edilmiştir. Bu sonuçlar biyo kurutmada düşük nem içeriğine sahip ürün elde etmek için samanın talaştan daha etkin olacağını ortaya koymaktadır. Diğer ekonomik parametreler olan biokütle içeriği ve net kalorifik değer açısından ise 3. Ve 4. Sınıf kalitesinde bir ürün elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle elde edilen malzemenin doğrudan yakıt yerine yakma teknolojilerinde diğer yakıtlara katkı olarak değerlendirmeye elverişli olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, biyo-kurutma sırasında arıtma çamuru bazlı biyokütlenin nihai ve yakın özelliklerindeki değişiklikleri incelemektir. Seçilen hacim arttırıcılar (talaş ve saman), önceden belirlenmiş oranlarda arıtma çamuruna ilave edildi ve yedi günlük bir süre boyunca kesikli biyo-kurutma testleri yapıldı. Testler boyunca sıcaklık ve kütle değişimleri izlendi ve sıcaklık değerlerinin yaklaşık 96 saat sonra sabit hale geldiği, kütle değerlerindeki kayıpların ise dönem boyunca devam ettiği sonucuna varılabilir. Talaş içeren denemeler, daha gözenekli özellik nedeniyle uçucu organik madde içeriğinde daha önemli bir azalma göstermiştir. Bu nedenle, saman içerikli denemeler, biyolojik kurutmadan sonra daha yüksek kalorifik değerler sergilemiştir.

Biyolojik kurutmanın ana amacı atıktan türetilmiş yakıt elde etmek olduğundan, biyokütle içeriği, nem içeriği ve kalorifik değer parametreleri ayrı ayrı dikkate alınarak biyolojik olarak kurutulmuş numunelerin kalitesi değerlendirilmiştir. Ayrıca ilgili Avrupa standartlarına göre sınıflandırma yapılmıştır. Bu değerlendirmenin sonuçları, Sınıf 3 ve Sınıf 4'ün en yüksek ürününün sırasıyla biyokütle ve net kalorifik değer parametreleri dikkate alınarak elde edilebileceğini göstermektedir. Sınıf 1, biyolojik olarak kurutulmuş malzemeler nem içeriği dikkate alınarak sınıflandırıldığında elde edilebilir. Çalışmanın genel sonuçları, biyo-kurutulmuş malzemenin yakma uygulamalarında ikincil yakıt olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

Biyo – kurutma işlemi ile ilgili gelecekte yapılması gerekli çalışmalarla ilgili önerilerimiz aşağıda verilmiştir.

- Biyo – kurutulmuş malzemenin kalorifik değerini arttırmak ve nem içeriği düşürmek için gözenek arttırıcı maddenin çeşidi ve miktarı hususunda daha fazla araştırma veya inovasyon gerekmektedir. Kalitesi değerlendirilen biyo-kurutulmuş yakıt (KTY/SRF) çimento endüstrisinde ilave yakıt olarak kullanılabilir.
- Maliyet analizleri yapılarak bu tür çalışmaların endüstriyel bazda uygulanabilirliği araştırmalarının yapılması gerekmektedir.

- Farklı şekilde reaktörler dizaynedilerek reaktörün biyo-kurutmaya etkisi incelenmelidir.
- Farklı türde atıklar ve farklı türde hacim artırıcı malzemelerle yakıt nitelikli ürün elde etmek için ön işlem olarak biyo – kurutma prosesinin etkinliği incelenmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] Anonim, 2015. Atık Yönetimi Yönetmeliği, 02.04.2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete.
- [2] Turgut N., *Çevre Hukuku*, 415, Savaş Yayınevi, Ankara, 2001.
- [3] Utlu Z., 2023'e Enerji Köprüsü, *Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 2004, **4**, 167-188.
- [4] EC (European Commission), Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land, *Final Report, Part I*, 2008 <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part_i_report.pdf>, (Ziyaret tarihi: 30 Haziran 2018).
- [5] Cheng H. F., Zhang Y. G., Meng A. H., Li Q. H., Municipal Solid Waste Fueled Power Generation In China: A Case Study Of Waste-To-Energy In Changchun City, *Environmental Science And Technology*, 2007, **41**, 7509-7515.
- [6] Adani F., Baido D., Calaterra E., Genevini P., The Influence Of Biomass Temperature On Biostabilization – Biodrying Of Municipal Solid Waste, *Bioresource Technology*, 2002, **3**, 173-179.
- [7] Uzun P., Bilgili U., Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2011, **25**, 135-146.
- [8] Anonim, (2015). Evsel-Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi Final Raporu Erişim adresi: <https://cygm.csb.gov.tr/evsel-kentsel-aritma-camurlarinin-yonetimi-projesi-duyuru>, (Ziyaret Tarihi: 1 Temmuz 2017).
- [9] Jeris J. S., McCarty P., Biochemistry Of Methane Fermentation Using C14 Tracers, *Seventeenth Industrial Waste Conference*, West Lafayette, USA, 1-3 May 1962.
- [10] Pound B., Preston D., Biogas Production From Mixtures Of Cattle Slurry And Pressed Sugar Cane Stalk With And Without Urea, *Trop Anim Prod*, 1981, **6**, 11-21.
- [11] European Commission, Directive 2008/98/EC Of The European Parliament And Of The Council Of 19 November 2008 On Waste And Repealing Certain Directives 2008.

- [12] European Commission, 2015, Sewage Sludge Production And Disposal From Urban Wastewater, European Commission, 2015, Eurostat; <<http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf>> (Ziyaret tarihi: 20 Haziran 2018).
- [13] Kacprzak M., Sewage Sludge Disposal Strategies For Sustainable Development, *Environmental Research*, 2017, **156**, 39–46.
- [14] Barberio G., Et Al., Treatment And Disposal Of Sewage Sludge: Comparative Life Cycle Assessment On Italian Case Study Extended Abstract, *Journal of Environment Management*, 2013, **12**, 7–10.
- [15] Mawioo M., Rweyemamu A., Garcia A., Hooijmans., Brdjanovic., Evaluation Of A Microwave Based Reactor For The Treatment Of Blackwater Sludge, *Science Of The Total Environment*, 2016, **25**, 72–81.
- [16] Hebbar U.H., Ramesh M. N., Vishwanathan K. H., Development Of Combined Infrared And Hot Air Dryer For Vegetables, *Journal Of Food Engineering*, 2004, **65**, 557- 563.
- [17] Fonts I., Gea G., Azuara M., Et A., Sewage Sludge Pyrolysis For Liquid Production, *Renew Sustain Energy Review*, 2012, **16**(5), 2781–805.
- [18] Lo I., Zhou W., Lee K., Geotechnical Characterization Of Dewatered Sewage Sludge For Landfill, *Revue Canadienne De Géotechnique*, 2002, **39**(5), 1139–49.
- [19] Herzel H., Krüger O., Hermann L., Et Al., Sewage Sludge Ash—A Promising Secondary Phosphorus Source For Fertilizer Production, *Sci Total Environmental*, 2016, **542**(Pt B), 1136–43.
- [20] Kalderis D., Aivalioti M., Gidakos E., Options For Sustainable Sewage Sludge Management In Small Wastewater Treatment Plants On Islands, *The Case Of Crete Desalination*, 2010, **260**, 211–217.
- [21] Banegas V., Moreno J.L., Moreno, J.I., Garcia C., Leon G., Hernandez T., Composting Anaerobic and Aerobic Sewage Sludges Using Two Proportions Of Sawdust, *Waste Management*, 2007, **27**, 1317–1327.
- [22] Ayuso M., Pascual J. A., García C., Hernández T. Evaluation Of Urban Wastes For Agricultural Use, *Soil Science & Plant Nutrition*, 1996, **42**, 105–111.
- [23] Cai Q.Y., Mo C.H., Wu Q.T., Zeng Q.Y., Katsoyiannis A., Concentration And Speciation Of Heavy Metals In Six Different Sewage Sludge-Composts, *Journal Of Hazardous Materials*, 2007, **147**, 1063–1072.
- [24] Zbytniewski R., Buszewski B., Characterization Of Natural Organic Matter (NOM) Derived From Sewage Sludge Compost, *Bioresource Technology*, 2005, **96**, 471–478.

- [25] Grigatti M., Ciavatta C., Gessa C., Evolution Of Organic Matter From Sewage Sludge And Garden Trimming During Composting, *Bioresource Technology*, 2004, **91**, 163–169.
- [26] Yañez R., Alonso J.L., Díaz M.J., Influence Of Bulking Agent On Sewage Sludge Composting Process, *Bioresource Technology*, **100**, 2009, 5827–5833.
- [27] Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H. D., *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 4nd ed., Tata Mcgraw-Hill, Noida, 77–78, 2003
- [28] Cai Q.Y., Mo C.H., Wu Q.T., Zeng Q.Y., Katsoyiannis A., Férard J. F., Bioremediation Of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (Pahs)-Contaminated Sewage Sludge By Different Composting Processes, *Journal Of Hazardous Materials*, 2007, **142**, 535–542.
- [29] Halisdemir B., Aktif Çamur ve Portakal Posasının Biyogaz Üretim Verimler ve Bazı Ön İşlemlerin Biyogaz Üretim Verimine Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2009, 259966.
- [30] Meng X., A Review Of Phosphorus Recovery From Different Thermal Treatment Products Of Sewage Sludge, *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2019, **1**, 99–115.
- [31] Wu M.H., Lin C.L., Huang W.C., Et A., Characteristics Of Pervious Concrete Using Incineration Bottom Ash İn Place Of Sandstone Graded Material, *Constr Build Mater*, 2016, **111**, 618–24.
- [32] Samolada M.C., Zabaniotou A.A., Comparative Assessment Of Municipal Sewage Sludge Incineration, Gasification and Pyrolysis For A Sustainable Sludge To-Energy Management In Greece, *Waste Manag.*, 2014, **34**(2), 411–20.
- [33] Lehmann J., Joseph S., Biochar For Environmental Management Science, *Technol Implement*, 2015, **25**, 15801–11.
- [34] Xue X., Chen D., Song X., Et A., Hydrothermal And Pyrolysis Treatment For Sewage Sludge Choice From Product And From Energy Benefit, *Energy Proc.*, 2015, **66**, 301–4.
- [35] Cheng H.F., Xu W.P., Liu J.L., Zhao Q.J., He Y.Q., Chen G., Application Of Composted Sewage Sludge (CSS) As A Soil Amendment For Turfgrass Growth, *Ecol. Eng.*, 2007, **29**, 96–104.
- [36] Latore A.M., Kumar O., Singh S.K., Gupta A., Direct And Residual Effect Of Sewage Sludge On Yield, Heavy Metals Content And Soil Fertility Under Rice-Wheat System, *Ecol. Eng.*, 2014, **69**, 17–24.
- [37] Almendro-Candel M.B., Navarro Pedreño J., Jordán M.M., Gómez I., Meléndez-Pastor I., Use Of Municipal Waste Compost To Reclaim Limestone

- Quarries Mine Spoils As Soil Amendments, *Effects On Cd And Ni. J. Geochem. Explor.*, 2014, **144**, 263–366.
- [38] Hung C.V., Cam B.D., Mai P.T., Dzung B.Q., Heavy Metals And Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Municipal Sewage Sludge From A River In Highly Urbanized Metropolitan Area In Hanoi Vietnam: Levels Accumulation Pattern And Assessment Of Land Application, *Environ. Geochem. Health*, 2015, **37**, 133–146.
- [39] Zennegg M., Munoz M., Schmid P., Gerecke A.C., Temporal Trends Of Persistent Organic Pollutants In Digested Sewage Sludge, *Environ. Int.*, 2013, **60**, 202–208.
- [40] Zhang H.Y., Xiao K., Liu J.Y., Wang T., Liu G.R., Wang Y.W., Jiang G.B., Polychlorinated Naphthalenes In Sewage Sludge From Wastewater Treatment Plants In China, *Sci. Total Environ.*, 2014, **490**, 555–560.
- [41] Lag Brotons A.J., Soriano Disla J.M., Gómez I., Navarro Pedreño J., Saline Irrigation Effects On *Cynara Cardunculus* L. Plants Grown In Mediterranean Soils, *Hortscience*, 2013, **48**, 762–767.
- [42] Pérez Gimeno A., Navarro Pedreño J., Almendro Candel M.B., Gómez I., Manuel M., Jordán M.M., Environmental Consequences Of The Use Of Sewage Sludge Compost And Limestone Outcrop Residue For Soil Restoration: Salinity And Trace Elements Pollution, *J. Soils Sediments*, 2016, **16**, 1012–1021.
- [43] Subramanian S.B., Yan R.D., Tyagi R.Y., Extracellular Polymeric Substances (EPS) Producing Bacterial Strains Of Municipal Wastewater Sludge Isolation, Molecular Identification EPS Characterization And Performance For Sludge Settling And Dewatering, *Water Res.*, **44** (7): 2253–2266.
- [44] Lu L.H., Pan Z.D., Hao N., Peng W.Q., A Novel Acrylamidefree Flocculant And Its Application For Sludge Dewatering, *Water Res.*, 2014, **57**, 304–312.
- [45] Liu H., Yang J.K., Zhu N.R., Zhang H., Li Y., He S., Yang C.Z., Yao H., A Comprehensive Insight Into The Combined Effects Of Fenton's Reagent And Skeleton Builders On Sludge Deep Dewatering Performance, *J. Hazard. Mater*, 2013, **258**, 144–150.
- [46] Tokumura M., Sekine M., Yoshinari M., Znad H.T., Kawase Y., Photo-Fenton Process For Excess Sludge Disintegration, *Process Biochem*, 2007, **42**(4), 627–633.
- [47] Lukicheva I., Pagilla K., Tian G., Cox A., Granato T., Enhanced Stabilization Of Digested Sludge During Long-Term Storage In Anaerobic Lagoons, *Water Environ. Res*, 2014, **86** (4), 291–295.
- [48] Ahlem B., Dhaouadi H., Mhiri H., Comparison Between Two Solar Drying Techniques of Sewage Sludge: Draining Solar Drying and Drying Bed., *Waste and Biomass Valorization*, 2020, **20**, 12649-01293.

- [49] Joceline S.B., Koné M., Yacouba O., Arsène Y.H., Planted Sludge Drying Beds In Treatment Of Faecal Sludge From Ouagadougou: Case Of Two Local Plant Species, *Journal Water Resource. Protection*, 2016, **8**, 6
- [50] Huiliñir C., Leiva E., Stegmaier F., Castillo A., Cottet L., Montalvo S., Biodrying Of Dewatered Secondary Sludge: Behavior Of Dynamic Respiration Index (DRI) And Energy Release Under Different Operating Conditions, *Journal Of Chemical Technology & Biotechnology* volume, 2019 **95**, 94-101.
- [51] Al-Zboon K., Damsah R., Al-Harahsheh M., Solar Energy For Wastewater Treatment. In Solutions To Water Challenges In Mena Region. Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 2018, 37075
- [52] Salihoglu N.K., Pinarli V., Salihoglu G., Solar Drying İn Sludge Management In Turkey, *Renewable Energy*, 2007, **32**, 1661-175.
- [53] Lei Z., DezhenC., Jinlong X., Sewage Sludge Solar Drying Practise And Characteristic Study, *Presented At The Asia-Pacific Power And Energy Engineering Conference*, Wuhan, China, 12 May 2009.
- [54] Öztürk İ., Çallı B., Arıkan O., Altınbaş M., Atık Su Artıma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı (El Kitabı), Ankara: Türkiye Belediyeler Birliği, 2015.
- [55] Hung C.V., Cam B.D., Mai P.T., Dzung B.Q., Heavy Metals And Polycyclic Aromatic Hydrocarbons In Municipal Sewage Sludge From A River In Highly Urbanized Metropolitan Area In Hanoi, Vietnam: Levels, Accumulation Pattern And Assessment Of Land Application, *Environ. Geochem. Health*, 2015, **37**, 133–146.
- [56] Zhanguang Liu X., Tan Yixian W., Zou W., Zhang C., Effect Of Temperature And Bulking Agents On Deep Bio-Drying Of High-Solid Anaerobically Digested Sludge, *Drying Technology*, 2019, **119**, 1904-1914.
- [57] Pilnáček V., Innemanova P., Šereš M., Michalíkova S., Stránska Š., Wimmerova L., Cajthaml T., Micropollutant Biodegradation And The Hygienization Potential Of Biodrying As A Pretreatment Method Prior To The Application Of Sewage Sludge In Agriculture, *Ecological Engineering Volume* **127**, 2019, 212-219.
- [58] Pérez-Gimeno A., Navarro-Pedreño J., Almendro-Candel M.B., Gómez I., Manuel M., Jordán M.M., Environmental Consequences Of The Use Of Sewage Sludge Compost And Limestone Outcrop Residue For Soil Restoration: Salinity And Trace Elements Pollution, *J. Soils Sediments*, 2016, **16**, 1012–1021.
- [59] Yang-Yan W., Sheng-Wei Z., Ding G., Lu C., The Organic Degradation And Potential Microbial Function In A 15-Day Sewage Sludge, *Biodrying Pages*, 2020, **74**, 49-57.
- [60] Jayasinghea G.Y., Tokashiki Y., Arachchi I.D. L. , Arakaki M., Sewage Sludge Sugarcane Trash Based Compost And Synthetic Aggregates As Peat

- Substitutes In Containerized Media For Crop Production, *Journal Of Hazardous Materials*, 2010, **174** (1-3), 700-706.
- [61] Arıkan O.A., Öztürk İ., Arıtma Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Evsel Katı Atık İlavesinin Etkisi, *İTÜ Dergisi*, 2005, **4**, 15-24.
- [62] Zhao L., Mei Gu W., Jing P., He L., Shao M., Effect Of Air-Flow Rate And Turning Frequency On Bio-Drying Of Dewatered Sludge, *Water Research Volume*, 2010, **44**, 6144-6152.
- [63] Lu C., Ding G., Tong-Bin C., Hong-Tao L., Guo-Di Z., Qi-Wei Y., Moisture Variation Associated With Water Input And Evaporation During Sewage Sludge Bio-Drying, *Bioresource Technology Volume*, 2012, **117**, 13-19.
- [64] César H., Juan P., Daniel O., A New Model Of Batch Biodrying Of Sewage Sludge, Part 1: Model Development And Simulations, *Accepted Author Version Posted*, 2017, **35**, 651-665.
- [65] Lu C., Tong B., Sheng-Wei Z., Hong T., Guo-Di Z., Decomposition Of Lignocellulose And Readily Degradable Carbohydrates During Sewage Sludge Biodrying Insights Of The Potential Role Of Microorganisms From A Metagenomic Analysis, *Chemosphere Volume*, 2018, **201**, 127-136.
- [66] Hyungyong K., Zongdi H., Benqin Y., Sejik K., Gyutae K., Deokjin J., Characterization And Treatment Of Emission Gas Condensate Generated From Biodrying Of Sewage Sludge, 2018, **35**, 739-750.
- [67] Difang Z., Wenhai L., Jing Y., Guoxue L., Co-Biodrying Of Sewage Sludge And Organic Fraction Of Municipal Solid Waste: Role Of Mixing Proportions, *Waste Management Volume*, **77**, 2018, 333-340.
- [68] Renan Felicio D. R., Joao Sergio C., Xavier F., Cali L., The Biodrying Process Of Sewage Sludge, *A Review*, 2020, **38**, 1247-1260.
- [69] Difang Z., Zhicheng X., Guo Y., Nazmul H., Guoxue L., Wenhai L., Insights Into Characteristics Of Organic Matter During Co-Biodrying Of Sewage Sludge And Kitchen Waste Under Different Aeration Intensities, *Environmental Technology & Innovation Volume*, 2020, **20**, 101-117.
- [70] Bian B., Shen Y., Hu X., Tian G., Zhang L., Reduction Of Sludge By A Biodrying Process: Parameter Optimization And Mechanism, *Chemosphere*, 2020, **248**, 125970.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Akdemir U., Özbay İ., Özbay B., Evsel Atıksu Arıtma Çamurlarından Biyokurutma Yöntemi İle Yakıt Nitelikli Ürün Elde Edilmesinde Hacim Artırıcı Malzemelerin Etkinliğinin İncelenmesi, *13.Ulusal 1.Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi*, Kocaeli, 10-12 Ekim, 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Uğur AKDEMİR ilk, orta ve lise öğrenimini Kars'ta tamamladı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden 2015 yılında mezun oldu. 2018-2019 yıllar arasında İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi İş sağlığı ve güvenliği bölümünden tezsiz yüksek lisansını tamamladı. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Sn. Doç.Dr. Bilge ÖZBAY danışmanlığında yüksek lisans programına başladı. Scattolini Otomotiv şirketinde Kalite Mühendisi olarak kariyerini sürdürmekte.

