T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SUSUZLAŞTIRILMIŞ ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİSİNDEN FAYDALANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE NİHAİ BERTARAFI

Hazırlayan
Emin ERKEKKARDEŞ

Danışman
Doç. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR

Yüksek Lisans Tezi

Şubat 2014
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SUSUZLAŞTIRILMIŞ ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİSİNDEN FAYDALANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE NİHAİ BERTARAFI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Emin ERKEKKARDEŞ

Danışman
Doç. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2013-4493 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Şubat 2014
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı : Emin ERKEKKARDEŞ

İmza: 

YÖNERGEYE UYGUNLUK

"Susuzlaştırılmış Arıtma Çamurlarının Enerjisinden Faydalanılabilirliğinin Araştırılması ve Nihai Bertarafı" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan	Danışman
Emin ERKEKKARDEŞ	Doç. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR
İmza	İmza

Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Hüseyin YAPICI

Doç. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR danışmanlığında **Emin ERKEKKARDEŞ** tarafından hazırlanan "**Susuzlaştırılmış Arıtma Çamurlarının Enerjisinden Faydalanılabilirliğinin Araştırılması ve Nihai Bertarafı**" adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

07/02/2014

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR .....

Üye : Prof. Dr. Hüseyin YAPICI .....

Üye : Doç. Dr. Gamze GENÇ .....

ONAY :
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 11/02/2014 tarih ve 2014/08-11... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.....4../02../2014.

Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım süresince gerekli imkanları sağlayarak, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim süresince bana emeği geçen Erciyes Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan kıymetli hocalarıma, ayrıca çalışmalarım sırasında sağladıkları imkan ve yardımları için Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'ne ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FYL-2013-4493) teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımda bana yardımcı olan KASKİ Atıksu Arıtma Tesisi Laboratuvarında görev yapan Kimyager Fatih DOĞAN'a, modelleme çalışmalarımda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Kimya Mühendisi Fatih Fırat'a, yabancı kaynak araştırmalarımda destek veren İngilizce Öğretmeni İbrahim BULUT'a teşekkür ederim.

Hayatta desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve hep yanımda olan çok kıymetli annem Güler ve babam İbrahim ERKEKKARDEŞ'e, bilgi ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan sevgili eşim Kimya Mühendisi Funda ERKEKKARDEŞ'e ve hayatımın anlamı olan kızlarım Büşra ve Zeynep ERKEKKARDEŞ'e sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Emin ERKEKKARDEŞ

Kayseri, Şubat 2014

SUSUZLAŞTIRILMIŞ ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİSİNDEN FAYDALANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE NİHAİ BERTARAFI

Emin ERKEKKARDEŞ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2014

Danışman: Doç. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR

ÖZET

Tez çalışmamızda, susuzlaştırılmış atıksu arıtma çamurlarının bertarafı ve enerjisinden yararlanılması incelenmiştir. Susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının farklı bileşenler eşliğindeki yüzde toplam katı-kuru madde oranlarının değişimini incelemek amacıyla yapılan deneysel çalışmada, Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Atıksu Arıtma Tesisi'nde oluşan susuzlaştırılmış arıtma çamuru kekleri kullanılmıştır. Arıtma çamuru kekleri ile, farklı oranlarda karıştırılmak üzere zeolit, bims, talaş ve kireçten oluşan dört farklı malzemenin arıtma çamuru susuzlaştırılmasına etkisi incelenmiştir. Yüzde toplam katı-kuru madde oranlarının değişimini belirlemek için 7'şer günlük periyotlarda ölçümler yapılmıştır. Susuzlaştırılmış arıtma çamurunun kuruluk oranını artırmak amacı ile zeolit kullanımı tüm karışım oranlarında en iyi kuruluk sonucunu vermiştir. Susuzlaştırılmış arıtma çamuruna eklenen malzemenin yüzde olarak çamura karıştırılma oranı ve bekleme süresi arttıkça, elde edilen kuruluk oranının da yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca susuzlaştırımış arıtma çamuruna karıştırılan malzemenin cinsine ve karıştırma oranına bağlı olarak, artan bekleme sürelerinde, bu çamurların araziye uygulama işlemlerinde yada dolgu malzemesi olarak kullanılırken uygulamada kolaylık sağlayacak bir yapıya dönüştükleri görülmüştür.

Susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının enerjisinden yararlanmak amacıyla Aspen Plus programı kullanılarak, günde ortalama 250 ton ve %20 toplam katı-kuru madde içerecek şekilde oluşan susuzlaştırılmış arıtma çamuru kekleri için entegre bir gazlaştırma prosesi simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre bu çamur keklerinden 1.89 MW elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arıtma Çamuru, Susuzlaştırılmış Arıtma Çamuru, Arıtma Çamuru Enerji Potansiyeli, Arıtma Çamuru Gazlaştırma.

RESEARCH OF UTILIZABLING DEWATERED SEWAGE SLUDGE ENERGY AND ULTIMATE DISPOSAL

Emin ERKEKKARDEŞ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, February 2014

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nesrin KAYATAŞ DEMİR

ABSTRACT

In our thesis, ultimate disposal of dewatered sewage sludge and utilizing its energy is studied. In the experimental study, in order to examine the change in the rates of the percent total solid-dry materials accompanied with the dewatered sewage sludge in different components, the dewatered sewage sludge cakes composed in Kayseri Water and Sewerage Administration Waste Water Plant is used. With the dewatered sewage sludge cakes, the effects of four different materials composed of zeolite, sawdust, pumice and lime mixed with different rates is examined. In order to determine the changes of percent total solid-dry matter rate, the measurements are made for 7 days periods. To increase the rate of dryness of dewatered sewage sludge, the use of zeolite gives the best result in every mixture rates. It is determined that, the more the percentage of mixing the sludge and the waiting time material added to the dewatered sewage sludge, the higher the rate of the dryness percentage gets. Besides, depending on the rates of mixture and the type of the dewatered sewage sludge, in increasing waiting time, it is seen that, when the application process to the land or filling materials are used, they are transformed into a structure that provides convenince.

In order to utilizing the energy of the dewatered sewage sludge, by using the Aspen Plus programme, an integrated gasification process is simulated for daily average 250 tons and % 20 total solid-dry material containing the dewatered sewage sludge cakes. According to the results of the simulation, it is estimated that, 1.89 MW electric energy can be produced from these sludge cakes.

Key Words: Sewage Sludge, Dewatered Sewage Sludge, The Energy Potential of Sewage Sludge, The Gasification of Sewage Sludge.

İÇİNDEKİLER

SUSUZLAŞTIRILMIŞ ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİSİNDEN FAYDALANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE NİHAİ BERTARAFI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI ii
KABUL VE ONAY SAYFASI iii
ÖNSÖZ iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR VE SİMGELER xi
TABLOLAR LİSTESİ xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ xv
GİRİŞ 1

1.BÖLÜM
GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1.Temel Kavramlar 2
1.2.Literatür Araştırması 5

2.BÖLÜM
ARITMA ÇAMURU GENEL ÖZELLİKLERİ, STABİLİZASYON VE BERTARAF YÖNTEMLERİ

2.1. Arıtma Çamuru Genel Tanımı 11
2.2.Arıtma Çamurlarının Sınıflandırılması 13
2.2.1. Ön Çökeltme Çamurları 14
2.2.2. Kimyasal Çamurlar 14
2.2.3. Biyolojik Çamurlar 14
2.2.4.Alüm Çamuru 15
2.3.Arıtma Çamurunun Özellikleri 15
2.3.1. Arıtma Çamurunun Fiziksel Özellikleri 16

2.3.1.1.Arıtma Çamurunun Özgül Ağırlığı.....16
2.3.1.2. Arıtma Çamurunun Katı Madde İçeriği.....16
2.3.1.3. Arıtma Çamurunun Partikül Tipi ve Boyut Dağılımı.....17
2.3.1.4. Arıtma Çamurunun Su Dağılımı.....17
2.3.1.5. Arıtma Çamurunun Çökelebilme Özelliği.....18
2.3.1.6. Arıtma Çamurunun Akışkanlık Özelliği.....18
2.3.2.Arıtma Çamurunun Kimyasal Özellikleri.....18
2.3.2.1.Arıtma Çamurunun Azot ve Fosfor İçeriği 19
2.3.2.2.Arıtma Çamurunun Alkalinitesi 20
2.3.2.3.Arıtma Çamurunun Ağır Metal İçeriği 20
2.3.2.4. Arıtma Çamurunun Isıl Değeri 21
2.3.3.Arıtma Çamurunun Biyolojik Özellikleri.....22
2.4.Arıtma Çamurunun Stabilizasyon ve Bertaraf Yöntemleri.....22
2.4.1.Arıtma Çamuru Şartlandırma 22
2.4.2.Arıtma Çamurunun Yoğunlaştırılması.....23
2.4.3.Arıtma Çamurunun Dezentegrasyonu.....23
2.4.4.Arıtma Çamuru Dezenfeksiyonu 24
2.4.5.Arıtma Çamurun Kireç İle Stabilizasyonu.....24
2.4.6.Arıtma Çamuru Anaerobik (havasız) Çürütme.....25
2.4.7.Arıtma Çamuru Aerobik (havalı) Çürütme 26
2.4.8.Arıtma Çamuru Kurutma.....27
2.4.9.Arıtma Çamuru Susuzlaştırma.....28
2.4.9.1.Arıtma Çamuru Doğal Susuzlaştırma Yöntemleri ..28
2.4.9.1.1.Arıtma Çamuru Kurutma Yatakları.....29
2.4.9.1.2.Arıtma Çamuru Lagünleri.....29
2.4.9.2. Arıtma Çamuru Mekanik Susuzlaştırma Yöntemleri 30
2.4.9.2.1. Arıtma Çamuru Bant Pres Kullanılarak Susuzlaştırılması 30
2.4.9.2.2. Arıtma Çamuru Filtre Pres Kullanılarak Susuzlaştırılması 30

2.4.9.2.3. Arıtma Çamuru Santrifüj Kullanılarak Susuzlaştırılması 31
2.4.9.2.4. Arıtma Çamuru Vakum Filtre Kullanılarak Susuzlaştırılması 31
2.4.10.Arıtma Çamurunun Arazide Kullanılması, Gübre ve Besin Değeri 32
2.4.11.Arıtma Çamuru Düzenli Depolama 34
2.4.12.Arıtma Çamuru Termal Bertarafı 34
2.4.12.1.Yakma.....35
2.4.12.2.Gazlaştırma 38
2.4.12.2.1.Gazlaştırıcı Türleri.....40
2.4.12.2.1.1.Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar.....41
2.4.12.2.1.2.Akışkan Yataklı Gazlaştırıcılar 43
2.4.12.2.2.Gazlaştırma ve Yakma Teknolojilerinin Karşılaştırılması.....45
2.4.12.3. Piroliz 46

3.BÖLÜM
SUSUZLAŞTIRILMIŞ ARITMA ÇAMURLARININ TOPLAM KATI-KURU MADDE DEĞİŞİMLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ
3.1.Materyal ve Metod 48
3.2.Deneysel Bulgular ve Gözlemler 49
3.3.Deneysel Çalışmanın Değerlendirilmesi 62

4.BÖLÜM
SUSUZLAŞTIRILMIŞ ARITMA ÇAMURLARI İÇİN GAZLAŞTIRMA PROSESİ SİMÜLASYONU VE ENERJİ POTANSİYELİNİN HESAPLANMASI
4.1.Giriş.....64
4.2.Gazlaştırma Prosesi Modellemesi 65
4.2.1.KASKİ AAT SAÇ Entegre Gazlaştırma Prosesi.....68
4.3.Modelleme Çalışmasının Değerlendirilmesi 73

5.BÖLÜM

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Sonuç ve Öneriler 75

KAYNAKLAR 79

ÖZGEÇMİŞ 86

KISALTMALAR VE SİMGELER

Sembol	Anlamı
atm	Atmosfer
dk	Dakika
g	Gram
J	Joule
kg	Kilogram
kcal	Kilo kalori
kN	Kilo newton
kWh	Kilo watt saat
l	Litre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
MJ	Mega Joule
MW	Mega watt
ml	Mili litre
Nm	Normal metreküp
pH	Çözeltinin asitlik veya bazlık derecesi
^0C	Santigrad derece
AAT	Atıksu arıtma tesisi
AB	Avrupa Birliği

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÇ	Arıtma çamuru
AKM	Askıda katı madde
B	Bims
BS	Bekleme Süresi
K	Kireç
KASKİ	Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi
KM	Katı madde
PAHs	Polisiklik aromatik hidrokarbonlar
PCBs	Poliklorlu befiniller
SAÇ	Susuzlaştırılmış arıtma çamuru
SÇ	Ortalama %20 toplam katı-kuru madde içeriğine sahip susuzlaştırılmış arıtma çamuru
T	Talaş
TEP	Ton eşdeğer petrol
TKM	Toplam katı-kuru madde
UTKM	Uçabilen toplam katı madde
Z	Zeolit

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Ülkelere göre kişi başına arıtma çamuru miktarları [40]..... 13
Tablo 2.2. Çeşitli arıtma işlemlerindeki çamur KM konsantrasyonları [32]..... 16
Tablo 2.3. Farklı arıtma çamurlarının kimyasal bileşimleri [32] 19
Tablo 2.4. Evsel nitelikli arıtma çamurlarındaki ağır metal içerikleri [45]..... 20
Tablo 2.5. Farklı arıtma çamurlarının ortalama ısıl değerleri [32] 21
Tablo 2.6. Türkiye'deki farklı bölgelere ait kurutulmuş arıtma çamurlarının analiz sonuçları [48] 21
Tablo 2.7. Farklı atıklardan elde edilen biyogaz özellikleri [56] 26
Tablo 2.8. Gübre ile stabilize arıtma çamurunun karşılaştırılması [32]..... 32
Tablo 2.9. Arıtma çamuru besleyici seviyeleri [46] 33
Tablo 2.10. Arıtma çamuru termal bertaraf yöntemleri tipik reaksiyon koşulları ve ürünler [61]..... 35
Tablo 2.11. Gazlaştırma proseslerinde meydana gelen temel kimyasal reaksiyonlar [55,68]..... 39
Tablo 2.12. Gazlaştırma ve yakma teknolojilerinin karşılaştırılması [48]..... 45
Tablo 2.13. Farklı sıcaklıklarda piroliz gazı bileşimleri [39]..... 47
Tablo 3.1. SÇ ve SÇ'nin %15 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numunelerin yüzde TKM oranları 49
Tablo 3.2. SÇ'nin %25 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numunelerin yüzde TKM oranları 53
Tablo 3.3. SÇ'nin %35 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin yüzde TKM oranları..... 57
Tablo 3.4. SÇ'nin %15 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numunelerinin TKM oranına etkisi..... 60
Tablo 3.5. SÇ'nin %25 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numunelerinin TKM oranına etkisi..... 61

Tablo 3.6. SÇ'nin %35 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numuneleri TKM oranına etkisi 61
Tablo 4.1. Susuzlaştırılmış arıtma çamurunun kuru bazda analiz sonuçları (T.C Sağlık Bakanlığı Kayseri İl Halk Sağlığı Laboratuvarı)..... 66
Tablo 4.2. Susuzlaştırılmış arıtma çamuru kuru bazda elementel analiz sonuçları (Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Merkezi) 66
Tablo 4.3. Susuzlaştırılmış arıtma çamuru kül analiz sonuçları (Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Merkezi) 67
Tablo 4.4. Elde edilen sentez gazın kompozisyonu 71
Tablo 4.5. Vitrifiye malzeme kompozisyonu 71
Tablo 4.6. Buhar üretimi sonrası atmosfere salınan egzoz gazı emisyon değerleri..72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir ton KM içeren AÇ'nun farklı işlem düzeylerindeki miktarları [46] 17
Şekil 2.2. Sabit yataklı yukarı akışlı gazlaştırıcı [66] 42
Şekil 2.3. Sabit yataklı gazlaştırıcı tipleri [66] 43
Şekil 2.4. Sirkülasyonlu akışkan yataklı gazlaştırıcı [66] 44
Şekil 2.5. Kabarcıklı (a) ve sirkülasyonlu (b) akışkan yataklı gazlaştırıcı [66] 45
Şekil 3.1. SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 50
Şekil 3.2. %15 T+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 50
Şekil 3.3. %15 Z+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 51
Şekil 3.4. %15 Z+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 51
Şekil 3.5. %15 B+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 51
Şekil 3.6. %15 B+%85 SÇ numunesinin homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 52
Şekil 3.7. %15 K+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 52
Şekil 3.8. %15 K+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 52
Şekil 3.9. %25 T+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 54
Şekil 3.10. %25 T+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 54
Şekil 3.11. %25 Z+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 54

Şekil 3.12. %25 Z+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 55
Şekil 3.13. %25 B+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 55
Şekil 3.14. %25 B+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 55
Şekil 3.15. %25 K+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 56
Şekil 3.16. %25 K+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 56
Şekil 3.17. %35 T+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 57
Şekil 3.18. %35 T+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 58
Şekil 3.19. %35 Z+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 58
Şekil 3.20. %35 Z+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 58
Şekil 3.21. %35 B+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 59
Şekil 3.22. %35 B+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 59
Şekil 3.23. %35 K+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi. 59
Şekil 3.24. %35 K+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi. 60
Şekil 4.1. KASKİ AAT SAÇ entegre gazlaştırma prosesi akış diyagramı 69

GİRİŞ

Türkiye enerji gereksinimlerini karşılama bakımından değerlendirildiğinde büyük ölçüde dışa bağımlı bir ülke konumundadır. Bu bağımlılık, gelişmekte olan ülkeler içinde yer alan Türkiye için önemli bir dezavantaj teşkil etmektedir. Ülkemizde yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanımına yönelik yapılan bilimsel ve sonuç odaklı araştırmaların sayılarının artırılıp gerekli teşvikler ile enerji anlamında dışa olan bağımlılığımızı azaltarak ekonomik kalkınmamıza katkıda bulunmamız gerekmektedir.

Ülkemizde, çevre bilinci ve duyarlılığının artmasının bir sonucu olarak ve doğanın kirlenmesini yavaşlatmak amacı ile çalıştırılan atıksu arıtma tesislerinin sayısı hızla artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak da atıksu arıtma proseslerinde oluşan arıtma çamurlarının miktarı önemli ölçüde fazlalaşmaktadır. Çevresel ve ekonomik anlamda bu arıtma çamurlarının stabilizasyonu, bertarafı ve enerji elde etmek amacı ile geri kazanımı önemli bir mühendislik çalışma alanını oluşturmaktadır.

Tez çalışmasında, tüm dünyada ve ülkemizde önemli bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkan arıtma çamurlarının genel özellikleri, stabilizasyon ve bertaraf yöntemleri hakkında bilgi verilecektir. Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi (AAT)'nde atıksuların arıtılması sonucu oluşan susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının enerji potansiyeli, bilgisayar programı kullanılarak simüle edilip hesaplanarak çevresel ve ekonomik kazanımları ortaya konulacaktır. Deneysel çalışmalarda ise, susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının zeolit, bims, talaş ve kireç gibi farklı bileşenler ile farklı oranlarda karıştırıldıklarında kuruluklarının nasıl değiştiği belirlenecek olup deneysel çalışma süresince belirlenen periyotlarda çamur numunelerinin fotoğrafları çekilip kayıt altına alınarak, bu çamurların fiziksel değişimleri ortaya konulacaktır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Temel Kavramlar

İnsan yaşamının temel ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan en önemli unsurların başında enerji gelmektedir. Kişi başına tüketilen enerji miktarına bakılarak, bir ülkenin gelişmişlik düzeyi hakkında fikir sahibi olmak mümkündür. Dünya nüfusundaki sürekli artış ve sanayileşmedeki gelişmeler nedeni ile enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil yakıtlar olarak adlandırılan petrol, kömür ve doğalgaz tarafından sağlanmaktadır [1]. İstatiksel veriler göz önüne alınarak yapılan öngörülere göre, 2030 yılında dünya nüfusunun 1.3 milyar artarak 8.3 milyar seviyelerine geleceği tahmin edilmektedir. Dünya nüfusundaki bu artış, 1.3 milyar insana daha enerji arzı sağlanması gerekliliğini ortaya koymaktadır [2]. Sürekli artan enerji ihtiyacının, tükenebilir enerji kaynakları ile karşılanamayacağı ve alternatif kaynaklar bulunmadığı taktirde enerji açığının oluşarak yakın bir gelecekte büyük enerji problemlerinin yaşanacağı kabul edilmektedir [1]. Dünya petrol rezervlerine 40 yıl, doğal gaz rezervlerine 60 yıl ve kömür rezervlerine 250 yıl ömür biçilmektedir. Buna ilave olarak fosil yakıtların tüketilmesi ile açığa çıkan gazların sera etkisi nedeni ile küresel ısınmaya ve asit yağmurlarına sebep olması önemli bir çevresel sorun teşkil etmektedir [3]. Gelişmişliğin en önemli göstergelerinden biri olan enerji tüketimi, enerjinin üretiminden verimliliğine, iletiminden tüketimine kadar bir çok alanda çevre ile iç içedir. Özellikle son yirmi yılda, çevre kirliliği ve etkileri somut bir şekilde görünür hale gelmiş ve enerji ile ilgili atılan adımlarda çevresel faktörlerin göz önüne alınmasının gerekliliği ön plana çıkmıştır [4].

Fosil yakıtların hızla tükenmeleri ve bu yakıtların kullanımından kaynaklı, çevreyi tehdit eden kirletici eksoz emisyonları nedeniyle tüm dünyada ve ülkemizde

yenilenebilir ve çevreye daha az zarar veren alternatif enerji kaynakları arayışları önem kazanmıştır. Kullanılmak istenen yeni enerji kaynaklarının, fosil yakıtlara göre daha temiz emisyonlara sahip, yenilenebilir ve ekonomik olması çok önem arz etmektedir. Bu temel parametreler dikkate alındığında Dünya Enerji Konseyi raporlarının öngörüsüne göre; alternatif enerji kaynakları arasında en önemli payı biyokütle almaktadır [1]. Dünya enerji ihtiyacının %79'u kömür, petrol ve doğal gaz gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarından, %18'i ise alternatif enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Alternatif enerji kaynakları içerisinde en büyük pay %12.9 ile biyokütle'ye ait iken, hidrojenin payı %3, güneş enerjisinin payı ise %1.3'dür [5]. Ülkemizde elektrik üretimi için kullanılan temel kaynaklar doğalgaz, kömür ve yenilenebilir enerjidir. Ülkemizde elektrik enerjisinin yüzde 41'lik kısmı doğalgazdan, yüzde 33'lük kısmı yenilenebilir enerjiden ve yüzde 25'lik kısmı ise kömürden elde edilmektedir. Ülkemiz birincil enerji talebi 2012 yılında 119.5 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Birincil enerji talebi içerisinde doğal gazın %32, kömürün %31, petrolün %26, hidrolik enerjinin %4 ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının ise %7 oranında paya sahip oldukları belirlenmiştir. 2012 yılında elektrik tüketimimiz 242 milyar kWh değerine ulaşmış olup, ülkemizde elektrik üretiminin %41.3'ü doğal gazdan, 29.2'u hidrolikten, %24.2'si kömürden ve %5.4'ü ise diğer kaynaklardan sağlanmaktadır [2]. Dünya Enerji Konseyi'nin raporlarında 2025 yılında alternatif enerjinin doğrudan yakıt kullanımındaki payının %25, küresel elektrik üretimindeki payının ise %60'lar seviyesinde olabilecegi belirtilmektedir. Yapılan araştırmalar ve yayınlanan raporlar dikkate alındığında, gelecekte yenilenemeyen enerji kaynaklarının yerini alternatif enerji kaynaklarının alacağı görülmektedir [5].

Enerji kaynakları, birincil ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere iki ana grup altında sınıflandırılabilir. Birincil enerji kaynakları; kömür, petrol, doğal gaz, biyokütle, güneş, rüzgar, su gücü gibi doğada bulundukları haliyle doğrudan kullanılabilen kaynaklardır. Bu kaynaklar kullanılarak elde edilen elektrik enerjisi gibi kaynaklar ise ikincil enerji kaynakları olarak isimlendirilmektedir. Enerji kaynakları tarihsel gelişimlerine göre sınıflandırılacak olursa; geleneksel (konvansiyonel) ve alternatif enerji kaynakları olarak iki grup altında sınıflandırılabilir. Konvansiyonel enerji kaynakları olarak kömür, doğal gaz ve petrolü sayabileceğimiz gibi yeni ve alternatif enerji kaynakları olarak da

nükleer, hidrojen, güneş, rüzgar, hidrolik güç, jeotermal, biyokütle, dalga/gel-git enerjilerini örnek gösterebiliriz [6].

Dünyada yaşanan hızlı büyüme ve sanayileşmeye bağlı olarak karşılaşılan çevresel sorunların da buyutları artmaktadır. Doğanın kirlenmesini yavaşlatmak için alınan tedbirler arasında, atıksu arıtma tesislerinin sayılarının artırılıp verimli bir şekilde işletilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu tesislerde proses gereği arıtma çamurları meydana gelmektedir. Oluşan bu arıtma çamurları, uygun şartlar sağlandığında ve uygun teknolojiler kullanıldığında önemli bir enerji potansiyeline sahip biyokütle olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yaşayan mikroorganizmalardan üretilen, temelini karbonhidrat bileşiklerinin oluşturduğu, kısa sürede yenilenebilen özelliğine sahip, bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler biyokütle olarak tanımlanmaktadır. Biyokütle kaynaklı üretilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak isimlendirilmektedir. Biyokütle kaynakları, enerji üretmek amacıyla doğrudan yada farklı teknolojiler kullanılarak çeşitli dönüşüm süreçlerinden geçtikten sonra alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmakta ve katı, sıvı ve gaz ürünlere dönüştürülerek enerji üretimi ile çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılabilmektedir [7].

Biyokütle enerjisi, birincil ve ikincil biyokütle enerjisi olarak sınıflandırılmaktadır. Doğrudan yada bir dönüştürme işlemi sonrasında, enerji üretim amacıyla kullanılabilen ve oldukça hızlı büyüyen bütün bitkiler birincil biyokütle enerjisi olarak kabul edilir. İkincil biyokütle enerjisi ise; insan yada hayvansal kaynaklı, özünü değiştirebilen birtakım tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerde ilk kullanımdan sonraki kalıntı yada artıkların tamamıdır. Gübreler, arıtma tesisleri çamurları, tarımsal atıklar ve orman atıkları gibi kalıntılar ikincil biyokütle enerjisi örneklerindendir. Hidroelektrikten sonra yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde dünyada elektrik enerjisi üretmekte kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı biyokütle enerjisidir [8]. Özellikle Orta ve Kuzey Avrupa ülkeleri biyoenerji kullanımında lider durumdadır. Finlandiya, toplam enerji ihtiyacının %22'sini, İsveç %18'ini, Avusturya %14'ünü biyokütle santrallerinden karşılayan ilk üç ülkedir [9].

1.2. Literatür Araştırması

Pinto ve ark. [10] yaptıkları çalışmada, laboratuar ölçekli akışkan yataklı bir reaktörde biyokütle gazlaştırması işlemini incelemişlerdir. Biyokütlenin bu sistemde gazlaştırılması esnasında; gazlaştırma sıcaklığı, gazlaştırmada yalnız hava, yalnız buhar ve hava-buhar karışımlarının birlikte kullanılmasının gazlaştırmaya olan etkilerini araştırmışlardır. Gazlaştırma sıcaklığının artması ile H_2 konsantrasyonunun arttığı fakat diğer hidrokarbon konsantrasyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. O_2 konsantrasyonunun artışı ile birlikte, hidrokarbon ve katran içeriğinde azalma belirlenmiştir.

Petersen ve ark. [11] yaptıkları çalışmada, arıtma çamurlarının gazlaştırılması için en uygun şartları belirlemek amacı ile pilot ölçekli dolaşımlı akışkan yataklı bir reaktörde deneysel incelemeler yapmışlardır. Arıtma çamuru (AÇ) gazlaştırmasına, sıcaklık, hava oranı ve besleme yüksekliği gibi parametrelerin etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Gazlaştırma proseslerinde, hava fazlalık oranının gazlaştırma ile elde edilecek gaz bileşimi üzerindeki en yüksek etkiye sahip olduğu ve gazlaştırma için en uygun hava fazlalık oranının 0.3 olduğu sonucuna ulaşmışlardır

Mountouris ve ark. [12] yaptıkları çalışmada, katı atıkların bertarafı ve enerji kazanımı için plazma teknolojisinin uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Bu amaçla bilgisayar programı kullanarak oluşturdukları denge modeli ile; nem içeriği, gazlaştırma sıcaklığı, O_2 miktarı gibi parametrelerin plazma gazlaştırma işlemi üzerine olan etkilerini enerji ve ekserji analizleri yaparak incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda katı atık bertarafı ve enerji kazanımı için, plazma teknolojisinin uygulanabilir ve çevresel anlamda da birçok üstünlüklerinin olduğu tespit edilmiştir.

Kanchanapiya ve ark. [13], hazırladıkları laboratuvar ölçekli pilot bir gazlaştırma proesi ile, susuzlaştırılmış arıtma çamuru (SAÇ)'nin gazlaştırılması sonucu elde edilen uçucu kül ve cüruf (slag) özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca baca gazındaki bileşenlerin kimyasal analizlerini, termodinamik bir program kullanılarak simüle etmişlerdir. Cürufun ana bileşenlerinin Al, Fe, Ca, P ve Si olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanında az miktarda da olsa Na, K, Mg, Cu ve Zn gibi elementlerin cüruf bileşiminde mevcut olduğunu görmüşlerdir. Sıcaklık yükseldikçe Fe ve Al konsantrasyonunun Zn

dan daha yüksek olduğu yani Zn'nin düşük ısılarda Fe ve Al den daha iyi çöktüğünü tespit edilmiştir. 400-760ºC aralığında baca gazı bileşenleri simüle edildiğinde; gaz fazındaki çoğu bileşenin klorlu bileşikler halinde, katı fazdaki bileşenlerin ise oksit, sülfat, ve fosfat bileşenleri şeklinde bulunduğu tespit etmişlerdir.

Mountouris ve ark. [14] yaptıkları çalışmada, plazma gazlaştırma teknolojisi kullanarak arıtma çamurlarının bertarafı ve enerjisinden yararlanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla bilgisayar programı kullanarak, plazma gazlaştırma teknolojisi ve AÇ kurutma proseslerinin birlikte kullanıldığı entegre bir sistem modellemesi yapmışlardır. Plazma gazlaştırma teknolojisi kullanılarak katı atık bertarafı ve enerji kazanımı sağlanabileceğini ve bu teknolojinin çevresel açıdan uygun bir yöntem olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. Bu entegre yöntem kullanılarak günlük 250 ton kapasiteli ve %68 nem içeriğine sahip arıtma çamurlarının kurutulabileceği ve aynı zamanda da 2.85 MW'lık elektrik enerjisi elde edilebileceğini tespit etmişlerdir.

Manya ve ark. [15] yaptıkları çalışmada, kurutulmuş arıtma çamurlarının, laboratuar ölçekli akışkan yataklı bir gazlaştırıcıda gazlaştırılması işlemini ve enerji elde edilmesinde en uygun operasyonel şartları araştırmışlardır. Çalışmalarında özellikle, kullanılan hava oranı, yatak yüksekliği ve havada kalma süresinin gazlaştırmaya olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, yatak yüksekliğindeki artışın kurutulmuş arıtma çamuru gazlaştırma verimliliğini artırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Nikoo ve ark. [16] yaptıkları çalışmada, biyokütlenin akışkan yataklı bir reaktörde gazlaştırılması işlemini Apsen Plus yazılımı kullanarak yaptıkları proses simülasyonu ile incelemişlerdir. Gazlaştırma işleminde ısı ve kütle dengesi, sıcaklık ve biyokütle/buhar oranının gazlaştırmaya olan etkileri, gaz yakıt bileşenleri, hidrojen verimi, biyokütle karbon dönüşümü gibi parametreleri araştırmışlardır. Biyokütlenin akışkan yatakta gazlaştırılması işlemi ile yüksek miktarda hidrojen üretimi elde edilebileceği ve verimliliğin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Minutillo ve ark. [17] yaptıkları çalışmada, oluşturdukları termokimyasal bir model aracılığı ile, plazma gazlaştırma ajanı olarak hava kullanıldığında, gazlaştırma işlemi

sonucu elde edilen gazın bileşimi ve gazlaştırma reaktörünün optimum çalışma şartlarını araştırmışlardır.

Karamarkovic ve ark. [18] yaptıkları çalışmada, bir denge modeli kullanılarak, farklı nem içeriğine sahip biyokütlelerin 1-10 bar çalışma basıncı ve 900-1300K sıcaklık aralığında gazlaştırılması işlemini incelemişlerdir.

Nipattummakul ve ark. [19] yaptıkları çalışmada, AÇ örneklerinin, buhar kullanılarak 700-800-900-1000ºC'de gazlaştırılırken gazlaştırma sıcaklığı ve buhar kullanımının gazlaştırmaya olan etkilerini, elde edilecek gaz üretimine etkilerini, hidrojen üretim potansiyeline etkilerini ve enerji kazanımına olan etkilerini araştırmışlardır. AÇ gazlaştırmasının, kağıt, yiyecek atıkları ve plastik atıkları gibi örneklerin gazlaştırılmasına kıyasla daha yavaş gerçekleştiği sonucuna ulaşmışlardır. Reaktör sıcaklığının artmasının oluşan H_2 konsantrasyonunu artırdığı tespit edilmiştir. AÇ'nin buhar ile birlikte gazlaştırılası işlemi ile oluşan H_2 miktarının, hava gazlaştırma işlemi ile elde edilen H_2 miktarının yaklaşık üç katı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Farklı sıcaklıklarda uygulanan gazlaştırma işlemlerinin verimlilikleri değerlendirildiğinde, arıtma çamurlarının gazlaştırılmasında, gazlaştırma sıcaklığı olarak 800ºC ve üzerindeki sıcaklıkların uygulanmasının gerekliliğine dikkat çekmişlerdir.

Li-ping ve ark. [20] yaptıkları çalışmada, çürütülmüş ve çürütülmemiş arıtma çamurlarının nem içeriğinin, 800ºC'de hava gazlaştırma prosesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. AÇ'nin nem içeriğinin artmasının; katran oluşumu ve elde edilen gaz kalitesini artırarak, CO_2, CH_4, ve H_2 konsantrasyonlarının fazlalaşmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

Bhavanam ve Sastry [21], biyokütle gazlaştırmasında aşağı yönlü hava akışlı sabit yataklı reaktör sisteminin avantajlarını ve gazlaştırma işleminde; gazlaştırma sıcaklığı, nem gibi parametrelerin elde edilen gazın bileşimine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, kendi hazırladıkları sabit yataklı bir reaktör kullanmışlardır. Düşük kalorifik değerli biyokütle gazlaştırmasında en verimli teknolojinin sabit yataklı gazlaştırıcılar olduğu ve bu sistemlerin düşük kapasiteli enerji üretimleri ve ısıl uygulamalarda kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Gazlaştırma prosesleri ile

biyokütlenin etkin bir şekilde kullanımının sağlandığı, enerji kazanımı yapılabileceği ve bu teknolojinin çevreyi koruyan bir teknoloji olduğu belirtilmiştir.

Valmundsson ve ark. [22] yaptıkları çalışmada, katı atıkların bertarafı ve enerji kazanımı için plazma gazlaştırma teknolojisini incelemişlerdir. Bu amaçla Aspen Plus programı kullanarak oluşturdukları bir denge modeli ile farklı örneklerin gazlaştırılması prosesini simüle etmişlerdir. Gazlaştırma işlemi sonucu elde edilen gaz özelliklerini ve gazlaştırma verimlerini birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Gazlaştırma işleminde buhar kullanıldığında, en yüksek verimliliğin %46.4 olduğu tespit edilmiştir. Aynı gazlaştırma verimliliğin, plazma gazlaştırma teknolojisi ile gazlaştırma ajanı olarak buhar ve hava karışımı kullanıldığında %69 oranına yükseldiği belirlenmiştir. En yüksek gazlaştırma verimliliğine, karbon dönüşümünü tamamen sağlayabilmek için reaktöre O_2 eklendiğinde ulaşıldığı görülmüştür.

Chen ve ark. [23] yaptıkları çalışmada, apsen plus programı kullanarak simüle ettikleri yukarı yönlü sabit yataklı bir reaktörde farklı tipteki evsel atıkların hava ile gazlaştırılması prosesini incelemişlerdir. Özellikle gazlaştırma sıcaklığı ve hava denklik oranının gazlaştırmaya olan etkilerini araştırmışlardır. Oluşturdukları bu model, kurutma, piroliz, gazlaştırma ve yanma bölümlerinden meydana gelmektedir. Gazlaştırma bölümüne, yanma bölümünden gelen baca gazlarının ısısının verilmesinin verimliliği ve elde edilen sentez gazının alt ısıl değerini artırdığı sonucuna varmışlardır. Bununla birlikte, gazlaştırma sıcaklığındaki artışın, karbon dönüşüm oranını fazlalaştırdığını tespit etmişlerdir.

Lombardi ve ark. [24] yaptıkları çalışmada, atık yönetimi için iki alternatif termal yöntem olan yüksek sıcaklıkta gazlaştırma ve plazma gazlaştırma yöntemlerini simüle ederek, bu yöntemlerin enerji geri kazanım performanslarını incelemiş ve karşılaştırmışlardır. Fakat bu proseslerde buhar kullanımı ile birlikte enerji performanslarının artırılabileceğini belirtmişlerdir. Plazma gazlaştırma proseslerinin enerji kazanım performanslarının daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu yöntemler ile geleneksel gazlaştırma yöntemlerine kıyasla iki kat daha fazla enerji elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Sonuç olarak plazma gazlaştırma teknolojisinin enerji kazanımı açısından çok verimli bir proses olduğunu belirtmişlerdir.

Zhang ve ark. [25] yaptıkları çalışmada, evsel nitelikli katı atıkları plazma gazlaştırma reaktöründe hava-buhar kullanarak gazlaştırma işlemine tabi tutmuşlardır. Farklı çalışma koşullarının gazlaştırma prosesi üzerine etkilerini incelemek için, çok fazlı bir denge modeli oluşturarak bir plazma gazlaştırma prosesi simüle etmişlerdir. Çalışma sonucunda, yüksek sıcaklığın ve buhar kullanımının gaz verimliliğini artırdığı sonucuna varmışlardır. Çalışmalarında ayrıca, plazma gazlaştırma proseslerinde hava ve buhar besleme oranları için en uygun durumlar incelenmiştir. Yüksek gazlaştırma sıcaklıkları sonucu elde edilen gazın alt ısıl değerinin fazlalaştığını tespit etmişlerdir.

Zhang ve ark. [26] yaptıkları çalışmada, hazırladıkları pilot ölçekli yukarı yönlü hareketli yataklı plazma gazlaştırma reaktörü kullanarak, katı belediye atıklarının bertarafını ve bu bertaraf teknolojisini etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Bu teknoloji kullanılarak elde edilen gazın 6-7 MJ/Nm^3 gibi yüksek alt ısıl değere sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Plazma gazlaştırma reaktörüne, yüksek sıcaklıkta buhar ilavesinin gazlaştırma ile üretilecek gaz miktarını ve gazın alt ısıl değerini aşırı derecede artırdığını tespit etmişlerdir. Hava-buhar gazlaştırması ile elde edilen verimliliğin, hava gazlaştırmasına oranla daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır.

Azzone ve ark. [27], biyokütle termokimyasal gazlaştırma işlemi için aşağı yönlü hava akışlı bir gazlaştırma modeli simülasyonu hazırlamışlardır. Bu modelin bir kimyasal denge durumunda gerçekleştiğini kabul etmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ile, gazlaştırma işlemlerinde elde edilebilecek sentez gazının miktarı, gazın bileşenleri ve içeriği gibi temel konular hakkında tahminde bulunulabileceğini belirtmişlerdir.

Nilsson ve ark. [28] yaptıkları çalışmada, hazırladıkları laboratuvar ölçekli akışkan yataklı bir gazlaştırma prosesi ile biyokütle gazlaştırılması işlemini incelemişlerdir. Bu deneysel çalışmadan elde ettikleri verileri kullanarak üç aşamalı entegre bir modelleme oluşturmuşlar ve kurutulmuş arıtma çamurlarının gazlaştırılması işlemini gerçekleştirmişlerdir. Tek aşamalı ve üç aşamalı gazlaştırma sistemlerinin karşılaştırılmasını yapmışlardır. Üç aşamalı gazlaştırma sistemin ürettiği gazın içindeki katran içeriğinin tek aşamalı gazlaştırma sisteminin ürettiği gazın içindeki katran içeriğine göre oldukça düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Arena [29], katı atık gazlaştırmada kullanılan teknoloji türlerini, bu teknolojilerin proses aşamalarını, çalışma koşullarını, kullanılan reaktör tiplerini, uygulanan sistemlerin çevreye olan etkilerini ve performanslarını karşılaştırmıştır.

Werle [30], arıtma çamurları kaynaklı olarak elde edilen sentez gazından enerji üretimi prosesini modellemiştir. AÇ bertarafı ve enerji kazanımı sağlaması bakımından alternatif olabilecek bu teknolojinin maliyet açısından avantajlarına ve gelecek için uygulanabilir bir gazlaştırma teknolojisi olduğu konularına değinmiştir. Arıtma çamuru gazlaştırmasından elde edilen gazın kullanımı ile %90 oranında NO emisyonlarının azaltılabileceğini belirtmiştir. AÇ gazlaştırması için en uygun yeniden yanma sıcaklığının 1200K olduğunu tespit etmiştir.

Janajreh ve ark. [31] yaptıkları çalışmada, atık gazlaştırmada kullanılan plazma gazlaştırma teknolojisi ile geleneksel hava gazlaştırma teknolojilerinin, oluşturulan model ile simüle edilerek karşılaştırılmasını yapmışlardır. Yaptıkları karşılaştırmalarda; elde edilen ürün, gaz bileşenleri, elde edilen gazın alt ve üst ısıl değerleri, proses verimliliği gibi parametreleri dikkate almışlardır. Yüksek kalorifik değere sahip atıkların gazlaştırılarak bertarafında plazma gazı olarak yüksek sıcaklıkta buhar kullanımının uygun olacağını belirtmişlerdir. Gazlaştırma proseslerinde yüksek nem içeriğinin düşük işlem verimliliğine neden olduğunu tespit etmişlerdir.

2. BÖLÜM

ARITMA ÇAMURU GENEL ÖZELLİKLERİ, STABİLİZASYON VE BERTARAF YÖNTEMLERİ

2.1. Arıtma Çamuru Genel Tanımı

Evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuların fiziksel, kimyasal yada biyolojik yöntemlerle farklı teknolojiler kullanılarak arıtılmalarına bağlı olarak ortaya çıkan ve ağırlıkça %0.25-12 katı madde (KM) içeren, sıvı veya yarı katı, kokulu atıklar ham arıtma çamuru olarak isimlendirilmektedir [32].

Ham çamurlar stabilize edilerek, ekolojik yönden kullanıma uygun hale getirildikten sonra işlenmiş arıtma çamuru veya kısaca arıtma çamuru olarak tanımlanır. Başta Amerika Birleşik Devletleri (ABD) olmak üzere İngiltere ve bazı Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde biyokatı, arıtma çamuru terimi ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır [33]. Arıtma çamurlarının içeriğinde kirlilik oluşturan maddeler; askıda katı madde (AKM)'ler, çökebilen katı maddeler ve çözünmüş katı maddelerdir. Arıtma çamurları uygun bir şekilde uzaklaştırılıp zararsız hale dönüştürülemezse arıtma süreci tam olarak nihai amacına ulaşmamış olur [34]. Arıtma çamurları bünyelerinde, organik madde, azot, fosfor, potasyum ve kalsiyum gibi yararlı bileşenleri içerdiği gibi ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler gibi zararlı bileşenleride bünyelerinde bulundurabilirler [35].

Arıtma çamurlarının içeriğinin önemli bir kısmının su olması nedeni ile çok büyük hacimler kaplamaktadırlar. Özellikle biyolojik atıksu arıtma işlemi sonucu oluşan arıtma çamurlarının organik madde içeriği çok yüksek olduğu için bu tip çamurlar bozunma ve kokuşma eğilimindedir. Bu özelliklerinden dolayı arıtma çamurlarının işlenmesi ve nihai bertarafı, çevresel ve ekonomik anlamda değerlendirildiğinde çok

önem taşımaktadır [36]. Oluşan bu arıtma çamurları içerdiği patojen ve toksik bileşenler sebebi ile önemli çevre sorunlarına sebep olmakta ve aynı zamanda da önemli depolama ve uzaklaştırma problemleri yaratmaktadır [32].

Arıtma çamurları; besin elementleri ve eser elementler gibi birçok yararlı bileşiklerin yanında, organik kirleticileri, mikroorganizmaları ve parazit yumurtalarını da bünyelerinde bulundurmaktadırlar [37]. Klasik bir evsel nitelikli atıksu arıtma tesisinde bir günde çıkan çamur miktarı kişi başına ortalama 0.15-0.20 kg'dır. 2010 yılı verilerine göre ülkemizde atıksu arıtma tesisi ile hizmet verilen belediye nüfusu 38050717 olduğuna göre Türkiye'de oluşan yıllık arıtma çamuru miktarının yaklaşık 2.08-2.78 milyon ton aralığında olduğu hesaplanabilir [38]. Ayrıca, ülkemizde belediyeler tarafından işletilen arıtma tesislerinde yılda ortalama 600 milyom m^3 atıksu arıtıldığı dikkate alındığında, yılda oluşan arıtma çamuru miktarının kuru bazda 500000 ton olduğu tahmin edilmektedir [39]. Bu çamurların büyük bir kısmı katı atık depolama sahalarında yada arazide depolanmak sureti ile bertaraf edilmektedir. AÇ, meydana geldiği sektörün çeşidine göre içeriğinde; organik bileşikler, asitler, alkaliler, metal tuzları, fenoller, oksitleyiciler, boyalar, sülfatlar, hidrokarbonlar, yağlar, Fe, Cu, Al, Hg, Cd, As, Co, Pb, Cr, organik fosfor ve azot gibi maddeleri içerebilmektedir [37].

Evsel nitelikli arıtma çamurları, uygulanan teknolojiye bağlı olmakla birlikte kuru bazda %50 oranında organik madde içeriğine sahiptirler [39]. Ülkemizde evsel ve endüstriyel atık suların arıtılması sonucu meydana gelen arıtma çamurlarının nihai bertarafı, çevresel ve ekonomik anlamda bakıldığında henüz tam olarak istenilen biçimde yapılamamaktadır. Meydana gelen bu arıtma çamurlarının genellikle, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma işlemlerinden sonra belediyelerin belirledikleri depolama sahalarına gönderildiği veya yerleşim bölgelerinin dışında boş arazilere kaçak olarak döküldükleri belirtilmektedir [33]. Tablo 2.1'de bazı dünya ülkelerinde kişi başına oluşan arıtma çamurlarının miktarları görülmektedir.

Tablo 2.1. Ülkelere göre kişi başına arıtma çamuru miktarları [40].

Ülke	Çamur Miktarı (grKM/kişi.gün)
Danimarka	72
Almanya	72
Amerika Birleşik Devletleri	79
İspanya	67
İngiltere	63
Fransa	42
Avusturya	39
Türkiye	33

2.2. Arıtma Çamurlarının Sınıflandırılması

Arıtma çamurları, çıkış kaynaklarına göre üç grupta sınıflandırılabilir;

- Yerel yönetimlerce işletilen atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları; sadece evsel atıksu veya evsel, endüstriyel ve yağmur sularının arıtıldığı atıksu arıtma tesisleri arıtma çamurları
- Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları
- İçme suyu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları

Arıtma çamurları, atıksu arıtımında uygulanan teknolojinin şekline ve arıtma amacına göre dört grupta sınıflandırılabilir;

- Çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları
- Kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar
- Biyolojik arıtma prosesleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar
- İçme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan alüm çamurları [39].

2.2.1. Ön Çökeltme Çamurları

Ön çökeltme havuzları tabanında toplanan maddeler, ön çökeltim çamuru olarak isimlendirilir. Bu çamur genellikle çürütülür ve çürütülmüş ön çökeltim çamuru ismini alır. Anaerobik çürütme ile %50 uçucu madde giderimi sağlanır, koku azaltılır ve önemli oranda patojen giderimi sağlanmış olur [34]. Ön çökeltme çamurlarının su içerikleri oldukça yüksek olup, organik madde muhtevası bakımından incelendiğinde %60 ile %80 arasında organik içeriğe sahip oldukları bilinmektedir. Ön çökeltme çamurları genellikle gri-kahve renkli ve kötü bir kokuya sahiptirler [41]. Ön çökeltme tanklarının işletme verimlerine bağlı olarak, bu çamurlar %2-8 oranında KM içeriğine sahiptirler [42].

2.2.2. Kimyasal Çamurlar

Kimyasal arıtma prosesleri sonucunda meydana gelen, kullanılan kimyasal maddenin miktarına ve özelliklerine bağlı olarak farklı özellikler taşıyabilen, çözünmüş madde ve/veya kolloidal madde konsantrasyonuna göre miktarları değişebilen bir çamur tipidir [34]. Kimyasal çamurlar yapışkanımsı bir yapıya sahiptirler, demir ve alüminyum hidratlar çamura jelatinimsi bir özellik katarlar. Bu çamurlar genellikle koyu renklidirler ve çok miktarda demir içerdiklerinden yüzeyleri kırmızımsıdır [41].

2.2.3. Biyolojik Çamurlar

Biyolojik çamurlar, biyolojik atıksu arıtımında, çözünmüş organik maddelerin bakteri bünyesinde tutularak canlı hücrelere yani biyokütleye dönüştürülerek son çökeltme havuzlarında çöktürülmesi sonucu elde edilen çamur tipidir. Biyolojik çamurların su içeriği ve organik madde konsantrasyonları oldukça yüksektir ve genellikle koyu renklidirler [41]. %0.5-2 oranında KM içeriğine sahiptirler. Bu tip çamurların yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılması, ön çökeltme çamurlarına kıyasla daha zordur [42].

2.2.4. Alüm Çamuru

İçme suyu arıtımında koagülant madde olarak alüm kullanılması sonucu oluşan çamur tipidir. Oluşan alüm çamurları, kanalizasyona veya doğal ortamlara deşarj edilerek bertaraf edilir. Susuzlaştırılmadan önce ortalama %1-2 KM içermektedirler. Alüm çamurları, yüksek mikroorganizma içeriğine sahip olmalarına karşın genellikle kötü koku oluşturmazlar. Alüm çamurlarının katı madde içeriklerinin %20-40'ı organik maddeler, geri kalan kısmı ise silit ve inorganik maddelerden oluşur [43].

2.3. Arıtma Çamurunun Özellikleri

Atıksu arıtma tesislerinde meydana gelen arıtma çamurlarının işlenmesi ve çevreye en az zarar verecek şekilde bertarafı yada yeniden değerlendirilmesinde en önemli konu oluşan arıtma çamurlarının özelliklerinin bilinmesi ve mevcut şartlar değerlendirilerek en uygun yöntemin seçilmesidir. Arıtma çamurlarının özellikleri, çamur kaynağına ve uygulanan arıtma teknolojisine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [41].

Arıtma çamurları, bünyelerinde potansiyel zararlı maddeleri içerebildiği gibi yararlı ve değerlendirilebilir maddeleri de içermektedir. Arıtma çamurlarının kompozisyonu, genel olarak beş grup bileşen ile karakterize edilir.

1. Toksik olmayan organik karbon bileşikleri,

2. Toksik kirleticiler;

- Konsantrasyonları 1-1000 ppm arasında değişen, Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg ve As gibi ağır metaller,

- PCB_S, PAH_S, dioksin, pestisit, linear alkali sülfonatlar, fenoller,

3. Patojenler ve diğer mikrobiyolojik kirleticiler,

4. Silikat, alüminat, kalsiyum gibi organik bileşikler ve magnezyum içeren bileşikler,

5. %1-95 oranında değişebilen su [44].

2.3.1. Arıtma Çamurunun Fiziksel Özellikleri

Su ve atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının bazı fiziksel özellikleri aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

2.3.1.1. Arıtma Çamurunun Özgül Ağırlığı

Birim hacimdeki arıtma çamuru ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına olan oranı, arıtma çamurunun özgül ağırlığı olarak ifade edilir. Arıtma çamurlarının özgül ağırlıkları genelde 1g/cm^3 olup suyun özgül ağırlığına eşittir [32].

2.3.1.2. Arıtma Çamurunun Katı Madde İçeriği

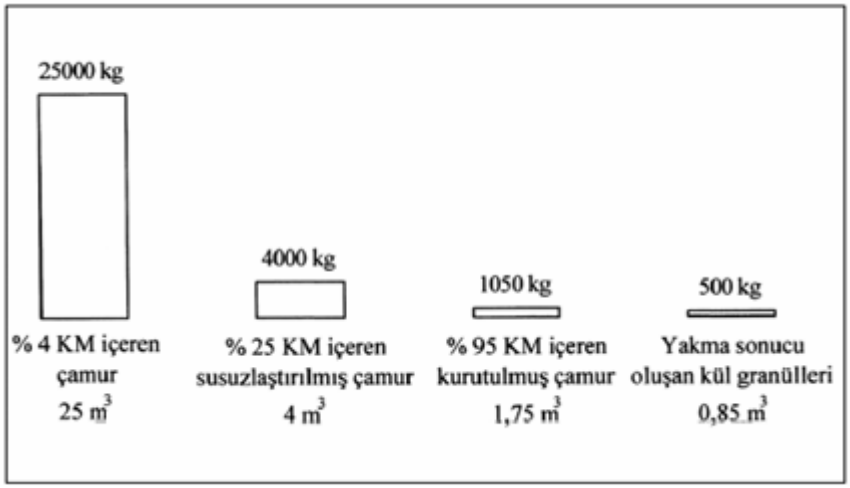
Arıtma çamurunun katı ve sulu kısımları arasındaki ilişkiyi ifade etmekte kullanılan KM içeriği kavramı; birim hacme düşen ağırlık olarak tanımlanır ve mg/L veya % KM olarak ifade edilir. Tablo 2.2'de uygulanan arıtma işlemlerine göre elde edilen çamurların KM konsantrasyonları görülmektedir.

Tablo 2.2. Çeşitli arıtma işlemlerindeki çamur KM konsantrasyonları [32].

Uygulanan Arıtma İşlemi	Çamur KM Konsantrasyonu (%)
Ön Çökeltim Tankı	0.5-16
Son Çökeltim Tankı	0.5-4
Gravite Yoğunlaştırıcı	2-10
Flotasyon Yoğunlaştırıcı	3-8
Santrifüj Yoğunlaştırıcı	4-8
Aerobik Çürütücü	2.5-10
Anaerobik Çürütücü	0.8-7

Çamur içindeki toplam katı-kuru madde (TKM), askıda, çökebilen ve çözünmüş KM olmak üzere üç farklı şekilde bulunur [45]. Mekanik olarak su giderme işlemi

uygulanmamış olan ham arıtma çamurunun KM oranı yaklaşık %2 seviyelerindedir. Arıtma çamuru çürütüldüğünde KM oranı %6 seviyelerine yükselmektedir. Çamur çürütme işlemi öncesinde yada sonrasında arıtma çamurları mekanik su giderme işlemine tabi tutulursa çamurun katı madde oranı %25 seviyelerine ulaşır. Termal çamur kurutma ile ise arıtma çamurlarının KM oranları %95'e kadar yükseltilebilmektedir. Şekil 2.1'de bir ton KM içeren arıtma çamurunun farklı işlem düzeylerindeki miktarları görülmektedir [46].



Şekil 2.1. Bir ton KM içeren AÇ'nun farklı işlem düzeylerindeki miktarları [46].

2.3.1.3. Arıtma Çamurunun Partikül Tipi ve Boyut Dağılımı

AÇ içindeki tanecikler hem şekil hem de boyut bakımından değişkenlik arz edebilirler. Bu değişkenlikten dolayı, arıtma çamurlarının tanecik boyutlarına göre karakterize edilmeleri oldukça zordur. Arıtma çamurlarının partikül çeşidi ise doğrudan çamur susuzlaştırma tekniğine bağlıdır. Arıtma çamurları büyük partiküllerden meydana geliyor ise susuzlaştırılmaları zorlaşmaktadır [45].

2.3.1.4. Arıtma Çamurunun Su Dağılımı

AÇ bünyesindeki suyun çamur partiküllerine nasıl bağlandığı çamur karakteristiğinin belirlenmesi bakımından önemli özelliklerden biridir. Arıtma çamurları bünyesindeki sular; serbest su (çamur partiküllerine bağlı olmayan sudur, yerçekimli yoğunlaştırma ile uzaklaştırılabilir), flok suyu (floklara hapsolmuş sudur, mekanik susuzlaştırma ile,

floklar sıkıştırılarak uzaklaştırılabilir), kapiler su (kapiler kuvvetler ile partiküllere bağlı olan sudur, düşük basınçlarda mekanik olarak uzaklaştırılamaz) ve kimyasal bağlı su (partiküllere kimyasal olarak bağlı olan sudur, kimyasal yada termal yolla uzaklaştırılabilir) olmak üzere dört grupta sınıflandırılabilir [45].

2.3.1.5. Arıtma Çamurunun Çökelebilme Özelliği

Arıtma çamurları çökelme hızları, çamur içeriğindeki KM derişimine bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte aynı KM derişimindeki farklı çamurların çökelme hızları da farklı olabilmektedir [45]. AÇ'nin çökebilme özelliğini ifade edebilmek amacı ile çamur hacim indeksi kullanılır. 1 gr KM'nin 30 dk'lık süre sonunda çökelmesi ile kapladığı hacim, çamur hacim indeksi olarak isimlendirilir ve mL/g şeklinde ifade edilir [36]. Çamur hacim indeksi 100'den büyük olan çamurlar çökelmesi zor çamur grubuna girmektedir. Çamur hacmi indeksi ile çamurun topaklanma ve çökelme özellikleri arasında ters bir ilişki vardır. Yani çamur hacmi indeksi ne kadar düşük ise topaklanma ve çökelme özellikleri o derecede iyidir [47].

2.3.1.6. Arıtma Çamurunun Akışkanlık Özelliği

Arıtma çamurlarının akışkanlık özelliklerinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan parametre viskozitedir. Viskozite; bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Arıtma çamurlarının akışkanlık özellikleri; çamurun KM konsantrasyonu, KM partikül boyutu ve sıvı yoğunluğu gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Çamur işleme süreçlerinin tasarımı, uygun ünite seçimi ve işletilmesi, çamur iletim hatları ve pompa seçimleri, çamurun depolanması ve tarımsal amaçlı kullanımında arıtma çamurlarının akışkanlık özelliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir [36].

2.3.2.Arıtma Çamurunun Kimyasal Özellikleri

Su ve atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının kimyasal özellikleri çıkış kaynakları ile doğrudan ilişkili olduğundan kimyasal içerikleri hakkında bir genelleme yapabilmek oldukça zordur. Fakat içme suyu arıtımından kaynaklı çamurların ve evsel nitelikli atıksuların arıtımından kaynaklı çamurların kimyasal içerikleri hakkında

ortalama değerler verebilmek mümkündür. Tablo 2.3.'de farklı arıtma çamurlarının kimyasal bileşimleri görülmektedir.

Tablo 2.3. Farklı arıtma çamurlarının kimyasal bileşimleri [32].

Parametre	**Arıtma Çamuru Cinsi**		
	Ön Çökeltim Çamuru	**Çürütülmüş Ön Çökeltim Çamuru**	**Aktif Çamur**
pH	5-6.5	6.5-7.5	6.5-7.5
TKM (%)	3-8	5-10	0.5-1
Toplam Uçucu Katı Madde*	60-90	30-60	60-80
Yağ-Gres (çözünen)*	6-35	5-20	5-12
Protein*	20-30	15-20	32-41
Azot (N)*	1.5-4	1.6-6	2.4-7
Fosfor (P)*	0.8-2.8	1.4-4	2-7
Potasyum (K)*	0-1	0-3	0.2-0.5
Selüloz*	8-15	8-15	5-10
Demir (sülfit olmayan)	2-4	3-8	-
Silisyum (Si)*	15-20	10-20	-
Ağır Metaller (mg/kg)**			
Cd	16	76	-
Cr	110	160	-
Cu	200	340	-
Pb	500	-	-
Ni	46	63	-
Zn	620	930	-

*KM'nin yüzdesi olarak

**Genelde endüstri kaynaklı tehlikeli katyonlar

2.3.2.1. Arıtma Çamurunun Azot ve Fosfor İçeriği

Fosfor, arıtma çamurlarında; ortafosfat, polifosfat ve organik bağlı fosfat olmak üzere üç farklı şekilde bulunur. Biyokütlenin fosfor miktarı %2-3 arasında olmakla beraber, fosfor bakımından zayıf atıksu kaynaklı biyokütlelerde bu değer %1'den az olabilmektedir. Atıksuyun fosfor bakımından zengin olması durumunda ise fosfor

miktarı %7'lere kadar artabilmektedir. Azot ise arıtma çamurlarında; partikül azot, çözünmüş organik azot, NH_4^+, NH_3, NO_2, NO_3 şeklinde bulunmaktadır [45].

2.3.2.2.Arıtma Çamurunun Alkalinitesi

AÇ şartlandırma ve stabilizasyon proseslerinde takip edilmesi gereken önemli bir özelliktir. Anaerobik çürütücü çamurlarının alkalinitesi 1000-2000 mg/L seviyelerindedir [45].

2.3.2.3.Arıtma Çamurunun Ağır Metal İçeriği

Arıtma çamurlarının içerdiği ağır metal konsantrasyonları, çamurun nihai bertarafı açısından çok önemlidir. Tarım topraklarında gübre amaçlı yada diğer arazi uygulamalarında kullanılacak olan arıtma çamurlarının, ağır metal içerikleri bir çok ülkede yönetmeliklerce belirlenen sınır değerler ile kontrol edilmektedir. Tablo 2.4'de evsel nitelikli arıtma çamurlarının ağır metal içerikleri görülmektedir.

Tablo 2.4. Evsel nitelikli arıtma çamurlarındaki ağır metal içerikleri [45].

Ağır Metal	**Kuru Çamur (mg/kg)**	
	Aralık	**Ortalama**
Arsenik	1.1-230	10
Kadmiyum	1-3410	10
Krom	10-99000	500
Kobalt	11.3-2490	30
Bakır	84-17000	800
Demir	1000-154000	17000
Kurşun	13-26000	500
Manganez	32-9870	260
Civa	0.6-56	6
Molibden	0.1-214	4
Nikel	2-53000	80
Selenyum	1.7-17.2	5
Kalay	2.6-329	14
Çinko	101-49000	1700

2.3.2.4. Arıtma Çamurunun Isıl Değeri

AÇ'nun türüne, toplam organik karbon ve uçucu KM içeriğine göre çamurun ısıl değeri değişiklik gösterir. Genellikle ham çamurun ısıl değeri 4180 kcal/kg KM iken çürütülmüş çamurda bu değer 2500 kcal/kg KM olabilmektedir. AÇ'nin ısıl değeri bazı düşük kaliteli kömürlerin ısıl değerlerine eşdeğerdir. Tablo 2.5'de farklı arıtma çamurlarının yaklaşık ısıl değerleri görülmektedir [32].

Tablo 2.5. Farklı arıtma çamurlarının ortalama ısıl değerleri [32].

Çamur Cinsi	Ortalama Isıl Değer (kcal/kg KM)
Ham Ön Çökeltim Çamuru	6080
Aktif Çamur	4970
Biyolojik Filtre Çamuru	4700
Ön Çökeltim Çamuru (kimyasal madde ilaveli)	3880
Anaerobik Çürütülmüş Çamur	3040

Tablo 2.6'da Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınan arıtma çamurlarının elementel analizleri ve kalorifik değerleri görülmektedir [48].

Tablo 2.6. Türkiye'deki farklı bölgelere ait kurutulmuş arıtma çamurlarının analiz sonuçları [48].

Parametre	Numune 1	Numune 2	Numune 3
Nem (%)	6.0	5.0	4.5
Uçucu madde (%)	60	61	60.59
Sabit karbon (%)	8.08	9.56	4.40
Kül (%)	25.92	24.44	30.51
H (%)	5.43	5.27	5
C (%)	40.22	38.03	41.94
N (%)	6.94	6.56	3.48
O (%)	20.44	24.64	17.53
S (%)	1.05	1.06	1.54
Alt ısıl değer (kcak/kg)	3680	3470	3980

2.3.3. Arıtma Çamurunun Biyolojik Özellikleri

Arıtma çamurları biyolojik olarak değerlendirildiğinde, organizmaların sınıflandırılması ve hastalık yapan organizmaların varlığı çok büyük önem arz etmektedir. Arıtma çamurlarının sayılamayacak kadar çok kaynağı vardır. Çamur bünyesine her bir kaynaktan gelen besin ile değişik organizmaların çamur bünyesinde yer alabileceği dikkate alındığında AÇ içeriğinde patojen organizmaların üremeleri kaçınılmazdır. Fakat bu organizmaların AÇ'nin elde edildiği atıksu kaynağına göre, türünün ve miktarının çok farklılık göstermesi sebebi ile arıtma çamurlarının biyolojik özellikleri hakkında bir genelleme yapabilmek oldukça zordur [32].

2.4. Arıtma Çamurunun Stabilizasyon ve Bertaraf Yöntemleri

Arıtma çamurları; bünyelerinde bulunan patojenleri azaltmak yada yok etmek, istenmeyen kokularını ortadan kaldırmak ve organik bozunmaların engellenmesi amacı ile bir takım çamur işleme ve stabilizasyon işlemlerine tabi tutulmaktadırlar [49].

Mikroorganizmaların AÇ'de aktif kalmaları durumunda patojenlerin varlığını sürdürmesi, koku oluşması ve bozunmanın meydana gelmesi gibi sıkıntılar çamur uzaklaştırılmasında sorun oluşturur ve bu nedenle arıtma çamurlarının uçucu bileşenlerinin stabilizasyonu şarttır [50]. Arıtma çamurları stabilizasyonu, özellikle çamur hacmini azaltma ve AÇ'den biyogaz elde edilmesinde son derece önemlidir [51].

2.4.1. Arıtma Çamuru Şartlandırma

AÇ bünyesindeki suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir prosestir. Yaygın olarak uygulanan iki önemli şartlandırma yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan ilki kimyasal şartlandırmadır. Kimyasal şartlandırmada çamur susuzlaştırmak amacı ile özel kimyasallar kullanılır. Kimyasal şartlandırma uygulanan proseslerde susuzlaştırma verimleri yüksektir. Kimyasal şartlandırmada, çamur özelliklerine bağlı değişmekle birlikte, giren çamurda %90-99 oranında su azalması sağlanarak nem içeriği %65-85 seviyelerine getirilebilir. Bir diğer AÇ şartlandırmada kullanılan yöntem ise ısıl işlemdir. Isıl işlem prosesi kullanılarak arıtma çamurları şartlandırılırken, 2760 kN/m^2 gibi yüksek basınç altında arıtma çamurları 260ºC'ye kadar yaklaşık 30 dk süre ile

ısıtılır. Bu yöntemde kimyasal kullanılmaz. AÇ'nin, yüksek sıcaklık ve basınç altında tutulması ile bağlı suyun çamurdan ayrılarak pıhtılaşıp yumaklanması sağlanır [51]. Isıl işlemde arıtma çamurlarının stabilizasyonu ve dezenfeksiyonu bir arada sağlanır. Ancak bu yöntem, ilk yatırım maliyetinin yüksekliği, tesis işletiminde uzman personel gerekliliği ve çok yoğun koku oluşumu nedenlerinden dolayı diğer yöntemler ile stabilize olması zor arıtma çamurları dışında pek tercih edilmemektedir [52].

2.4.2. Arıtma Çamurunun Yoğunlaştırılması

Atıksu arıtma tesislerinde, arıtma çamurlarının KM miktarını artırarak yüksek KM içeriğine sahip AÇ elde etmek ve hacim azalması sağlamak amacı ile farklı yöntemler kullanılarak arıtma çamurları yoğunlaştırma işlemine tabi tutulur. %1 KM içeren AÇ'nin KM içeriği yoğunlaştırma işlemi ile %5'e yükseltildiğinde, başlangıçta %100 hacme sahip olan AÇ, yoğunlaştırma işleminden sonra başlangıçtaki hacminin %20'sine sahip olmaktadır. Çamur yoğunlaştırma işlemi, çamur bertaraf tesislerinin boyutlarının küçülmesini ve maliyetlerinin azalmasını sağlamada olumlu etkiler sağlamaktadır. Uygulanan başlıca AÇ yoğunlaştırıcı tipleri; yerçekimli, çözünmüş hava yüzdürmeli, santrifüjlü, bantlı ve döner elekli yoğunlaştırıcılardır [47].

2.4.3.Arıtma Çamurunun Dezentegrasyonu

Arıtma çamurlarının anaerobik çürümesini hızlandırmak, anaerobik çürütme ile elde edilen biyogazın kalitesini iyileştirmek ve arıtma çamurlarının stabilizasyon derecesini artırmak amacı ile çamura uygulanan ön arıtım işlemi çamur dezentegrasyonu olarak isimlendirilmektedir. Dezentegrasyon işleminde çamura uygulanan gerilmeler sayesinde AÇ'nin flok yapısı bozulmakta, mikroorganizma hücre duvarları parçalanmakta, hücre içindeki organik çamur bileşenleri sıvı faza geçirilmektedir. Dezentegrasyon uygulanmış arıtma çamurları bünyesindeki katıların organik madde muhtevası en aza indirildiği için daha az miktarda ve daha stabil AÇ elde edilebilmektedir. AÇ içindeki organik maddenin yüksek derecede parçalanmış olması anaerobik çürütme ile elde edilecek biyogaz miktarını artırmaktadır [53].

2.4.4. Arıtma Çamuru Dezenfeksiyonu

Aerobik veya anaerobik olarak çürütülmüş arıtma çamurlarının dezenfeksiyonu için pastörizasyon ve uzun süreli depolama tercih edilmektedir. Suyu alınmış aerobik veya anaerobik çürümüş çamurların dezenfeksiyonunda ise kompostlama ve uzun süreli depolama yaygın olarak tercih edilmektedir. Pastörizasyon işlemi ile arıtma çamurları dezenfekte edilirken, yaş çamur 70ºC'de 30 dk süre ile pastörize edilerek parazit yumurtaların ve kistlerin aktif olmayan hale gelmesi sağlanmaktadır [51].

2.4.5. Arıtma Çamurun Kireç İle Stabilizasyonu

Kireç kullanımı, arıtma çamurlarını stabil hale getirirken aynı zamanda da çamurun su verme özelliğini de iyileştirmektedir. Kireç ilavesi ile arıtma çamurları stabilize edilirken, çamur pH'ı 12 ve daha üstüne gelecek şekilde arıtma çamurlarına kireç ilavesi yapılır. pH'ın artırılması, çamur içindeki mikroorganizmalar için uygun olmayan şartlar meydana getirirken, çamurun ayrışmasını önler, koku giderimi sağlar ve olası sağlık risklerini ortadan kaldırmış olur. Bu yöntem ile çamur stabilizasyonunda, sönmüş ya da sönmemiş kireç kullanılabilir.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 1{,}140 \text{ kJ/kg CaO} \qquad (2.1)$$

Sönmemiş kireç, kendi ağırlığının %32'si kadar suyu bünyesine alarak sönmüş kireç formuna dönüşür. Ekzotermik olarak gerçekleşen bu reaksiyon ile önemli ölçüde kurutma etkisi görülmekte ve sıcaklık yükselmektedir. Kireç stabilizasyonu ile, arıtma çamurları içindeki bir çok bakteri ve virüslerin önemli ölçüde giderildiği, yapılan bilimsel araştırma sonuçları ile desteklenmektedir [49]. Kireç ilavesi ile elde edilen yüksek pH değerine sahip ortamlar, mikroorganizmaların canlı kalmasına uygun değildir. Bazı durumlarda uçucu kül, çimento tozu, karpit kireci de, kireç yerine kullanılmaktadır [47]. Maliyeti oldukça düşük olan kireç stabilizasyonu ile, susuzlaştırılması kolay bir AÇ elde edilir. Fakat elde edilen çamur kireç ilavesi nedeni ile kararlı olmayıp büyük hacim kaplamaktadır [50].

2.4.6. Arıtma Çamuru Anaerobik (havasız) Çürütme

Anaerobik çürütme yöntemi, çamur stabilizasyonunda en yaygın olarak kullanılan bir stabilizasyon yöntemidir [52]. Genel olarak değerlendirildiğinde anaerobik çürütme, AÇ içindeki organik maddelerin, oksijensiz ortamda bozunmaları işlemidir. Çamur içindeki organik maddeler, oksijensiz ortamda önce organik asitlere ve daha sonrasında ise oluşan organik asitler, metan ve karbondioksite dönüşerek biyogaz elde edilir [49].

Organik çamurların oksijensiz ortamda parçalanmaları üç aşamada meydana gelmektedir. Bu aşamaların ilki olan hidroliz aşamasında; çözünmemiş formdaki kompleks organik maddeler, hücre dışı enzimler aracılığı ile daha basit formdaki organik maddelere dönüştürülür. İkinci aşama olan asit üretimi aşamasında ise, karbonhidrat, yağ ve proteinlerden meydana gelmiş olan organik maddeler asit bakterileri aracılığı ile uçucu yağ asitlerine dönüştürülürler. Üçüncü ve son aşama olan metan üretimi aşamasında ise; metan bakterileri, asit üretimi aşamasının son ürünü olan asetik asidin parçalanması veya CO_2 ile H_2'nin sentezi yoluyla metan ve CO_2 üretiminin sağlandığı aşamadır [54].

Anaerobik çürütme proseslerinde meydana gelen reaksiyonlar şu şekilde gerçekleşmektedir.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 \quad (2.2)$$

$$2C_2H_5OH + 2CO_2 \rightarrow CH_4 + 2CH_3COOH \quad (2.3)$$

$$2CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2 \quad (2.4)$$

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (2.5)$$

Bu proseslerde, asetik asit ve hidrojen dönüşümünü gerçekleştiren bakterilerin büyüme hızları çok yavaştır. Büyüme hızının yavaş olması, organik atıkların anaerobik bozunma hızını sınırlayan faktör olarak düşünülmektedir. Atık stabilizasyonu, karbondioksit ve metan oluşumu ile sağlanmaktadır [55].

Anaerobik çamur çürütme işleminde, arıtma çamurları oksijensiz olarak kapalı bir tankta yaklaşık 20 gün süre ile bekletilir. 20 günlük bekleme süresi içinde tank sıcaklığı çok önemlidir. Çalışılan tank sıcaklığına göre anaerobik çamur çürütme işlemi farklı isimler almaktadır. Tank sıcaklığı 20ºC'nin altında ise soğuk, 20-40ºC aralığında ise mezofilik, 40-50ºC arasında ise termofilik çürütme olarak isimlendirilir [51]. Metan bakterileri, ortam koşullarına karşı çok hassastırlar ve pH, sıcaklık değişimleri ile ağır metal ve deterjan varlıklarından çok etkilenirler [52]. Bu durumlara bağlı olarak da üretilen biyogazın miktarı ve kalitesi değişim gösterebilmektedir. AÇ bu yöntem ile stabilize edilirken aynı zamanda da uygun teknolojiler kullanılarak, çamurun anaerobik çürütülmesi sonucu elde edilen biyogaz ile elektrik enerjisi üretmek de mümkündür [49]. Çamur çürütme sonucu elde edilen biyogazın içeriği %60-70 CH_4, %25-30 CO_2 ve az miktarda H_2, N_2, H_2S ile diğer gaz karışımlarından oluşmaktadır. Elde edilen biyogazın ısıl değeri, 21.000-25.000 kJ/m^3 ve yoğunluğu ise havanın yoğunluğunun %86'sı kadardır [47]. Tablo 2.7'de farklı atıklardan elde edilen biyogazların özellikleri verilmektedir [56].

Tablo 2.7. Farklı atıklardan elde edilen biyogaz özellikleri [56].

Biyogaz Bileşimi	**Biyogaz Kaynağı**		
	Tarımsal Biyokütle	**Arıtma Çamuru**	**Çöp Deponisi**
CH_4 (%)	60-70	55-65	45-55
CO_2 (%)	30-40	45-35	30-40
N (%)	<1	<1	5-15
H_2S (ppm)	10-2000	10-40	50-300

2.4.7. Arıtma Çamuru Aerobik (havalı) Çürütme

Arıtma çamurlarının yeterli oksijen eşliğinde biyolojik stabilizasyonu için kullanılan çamur stabilizasyon yöntemidir. Aerobik olarak, arıtma çamurlarının stabilize edildiği proseslerde; sıcaklık, bekleme süresi, oksijen miktarı, karıştırma ve ortam pH'ı gibi

parametrelerin kontrol altında tutulması çok önemlidir [49]. Aerobik çamur stabilizasyonunda; organik çamur, bir havalandırma tankında 10-12 gün süre ile havalandırılır ve bu sayede organik çamurun oksijenli bir ortamda çürümesi sağlanır. Uzun havalandırmalı aktif çamur sistemlerinde ise aerobik çamur çürütme işlemi; oluşan çamur havalandırma tanklarında çürütülebilecek bir süre (yaklaşık 20-30 gün) bekletilerek gerçekleştirilir [51].

Aerobik çamur stabilizasyonunun, anaerobik çamur stabilizasyonuna göre bazı avantajlarını şu şekilde özetlemek mümkündür.

- Aerobik çamur stabilizasyou ile sağlanan organik madde bozunması, anaerobik çürütme ile sağlanan organik madde bozunmasına yakındır.

- Aerobik çamur stabilizasyou ile elde edilen biyokatı içeriğindeki organik azot daha çok nitrat formundadır, bu özelliğinden dolayı gübreleme değeri daha yüksektir.

2.4.8. Arıtma Çamuru Kurutma

AÇ bünyesindeki suyun buharlaştırılarak KM konsantrasyonunun artırıldığı çamur stabilizasyon yöntemidir. Çamur kurutma teknolojileri arasında, çamur kurutmaya ek olarak, çamur içindeki patojen gideriminin de sağlandığı termal kurutma yöntemleri son yıllarda önem kazanmıştır. Termal kurutma ile AÇ nem içeriği %10 veya daha alt seviyelere çekilebilmektedir [49]. Arıtma çamurlarına uygulanan susuzlaştırma işlemleri ile çamur bünyesindeki suyun tamamının uzaklaştırılması mümkün olmamaktadır. Çamur yoğunlaştırma işlemleri ile çamur içindeki serbest su uzaklaştırılırken çamurdaki kuru madde oranı %10 seviyelerine, mekanik susuzlaştırma yöntemleri ile de arıtma çamuru içindeki bağlı ve kapiler su uzaklaştırılarak çamurun kuru madde içeriği %30-40 seviyelerine çıkartılabilmektedir. Çamur içinde halen mevcut bulunan hücre ve kimyasal bağlı su ise ancak termal kurutma teknolojileri uygulanarak çamurdan uzaklaştırılabilmektedir [57]. Arıtma çamurların kurutulması ile önemli ölçüde hacim azalması sağlanacak ve sıvı haldeki arıtma çamurlarına göre uzaklaştırılmasında daha az nakliye maliyeti oluşacak olup sıvı haldeki arıtma çamurlarına göre daha kolay nakledilebileceklerdir. Ayrıca AÇ yakma prosesleri göz önüne alındığında, kurutulmuş

arıtma çamurlarının daha kolay yanması sağlanacak ve kalorifik değeri artacaktır. Bu önemli avantajlara ilave olarak kurutma işlemi ile çamurun tamamen kokusuz olması sağlanabileceği gibi arazi uygulamalarında arıtma çamurlarının su içeriğinden kaynaklı sızma sonucu oluşabilecek yer altı sularının kirlenmesinin de önüne geçilecektir [51]. Arıtma çamurları kurutulurken farklı tipte kurutma teknolojileri kullanılmaktadır. Bu kurutma teknolojileri; termal kurutma teknolojileri (disk tipi kurutucular, ince filmli kurutucular, ince filmli ve disk tipi ortak kurutucular, dönen borulu kurutucular), konveksiyon tipi kurutma teknolojileri (tambur tipli, akışkan yataklı, bantlı kurutucular) ve solar kurutma teknolojileridir [47].

2.4.9. Arıtma Çamuru Susuzlaştırma

AÇ susuzlaştırma; arıtma çamurlarının su içeriklerinin azaltılarak, kapladıkları hacimleri daha düşük seviyelere çekebilmek ve bu sayede arıtma çamurlarının transferlerinden kaynaklanan maliyetleri minimize etmek amacı ile uygulanan fiziksel bir işlemdir [52]. AÇ susuzlaştırma işlemi ile elde edilen çamur kekleri, daha kolay bir şekilde taşınabilir, çamura yakma işlemi uygulanacak ise AÇ'nin ısıl değerinde artış sağlanmış olur, nem giderimi sağlandığı için arıtma çamurlarının koku problemini azaltılır ve arıtma çamurlarının nihai uzaklaştırılmasında düzenli depolama yöntemi seçilecek ise, kullanılan depolama sahalarında oluşan sızıntı suyu miktarı azaltılmış olur [47]. Arıtma çamurlarının transfer edileceği yer bakımından arazi sorunu bulunmayan küçük arıtma tesislerinde çamurun susuzlaştırma işlemi doğal su alma yöntemleri ile sağlanırken, arazi sıkıntısı bulunan büyük işletmelerde, mekanik susuzlaştırma yöntemleri tercih edilerek arıtma çamurlarının susuzlaştırılmaları sağlanmaktadır [52].

2.4.9.1. Arıtma Çamuru Doğal Susuzlaştırma Yöntemleri

Doğal susuzlaştırma yöntemi olarak kurutma yatakları ve çamur lagünleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşırı koku problemi nedeni ile doğal susuzlaştırma yatakları ve çamur lagünlerine sadece aerobik, anaerobik veya kimyasal olarak stabilize edilmiş arıtma çamurları verilebilirken stabilize edilmemiş organik içerikli arıtma çamurları verilemez [58].

2.4.9.1.1. Arıtma Çamuru Kurutma Yatakları

Düşük yatırım ve işletme maliyeti, işletim kolaylığı, susuzlaştırma verimlerinin yüksek olması gibi sebeplerden dolayı özellikle aerobik olarak stabilize olmuş arıtma çamurlarının susuzlaştırılması amacı ile kurutma yatakları kullanılmaktadır [52]. Kullanılacak kurutma yatakları için gerekli olan alan, iklime ve buharlaşmaya bağlı olarak değişmektedir. Kurutma yataklarının alan ihtiyaçları belirlenirken yatağa yılda kaç defa çamur serileceği önceden belirlenmelidir. Anaerobik olarak çürümüş arıtma çamurlarının kurutma yataklarına yılda serilebilme sayıları Türkiye genelinde iklim şartları değerlendirildiğinde 3-24 arasında değişebilmektedir [47]. Kurutma yatakları kullanımında genelde kum yataklı (klasik tip) kurutma yatakları tercih edilmektedir. Bu tip kurutma yatakları; taban drenajı olan, kum filtre malzemelerden oluşan sığ havuzlar şeklindedirler. Bu yataklara arıtma çamurları 15-30 cm kalınlıkta serilip kurumaya bırakılırlar. Kuruma süreleri iklim şartlarına bağlı olarak bir kaç hafta ile bir kaç ay arasında değişebilmektedir. Kum yataklı kurutma yataklarına alternatif diğer kurutma yatakları ise; kapalı tip kurutma yatakları, sentetik malzemeli kurutma yatakları ve vakumlu kurutma yatakları olarak sıralanmaktadır [52].

2.4.9.1.2. Arıtma Çamuru Lagünleri

Çamur lagünleri, alt kısımlarında çöken KM'lerin toplanıp sıkıştığı, organik maddelerin uzun süreler sonunda daha fazla bozunmaya uğradığı ve gelen yeni akımla yer değiştiren nispeten durulmuş suyun dışarı transfer edildiği sistemlerdir. Çamur lagünlerinde koku problemi yok denecek kadar azdır. Çamur lagünleri için yer seçimlerinde, yer altı suyu kirlenme riskine karşı tedbirler alınıp, lagüne yüzey sularının girmesi önlenmelidir [47]. Çamur lagünlerinin verimleri iklim şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Çamur lagünleri özellikle yüksek buharlaşma hızına sahip bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Lagünlerin çevrim süreleri bir kaç ay ile bir kaç yıl arasında olup genelde arıtma çamurları 18 ay süre ile lagünlere beslenmekte ve daha sonra 6 ay süre ile dinlenmeye bırakılmaktadır [52].

2.4.9.2. Arıtma Çamuru Mekanik Susuzlaştırma Yöntemleri

Arıtma çamurlarının bünyelerindeki suyu uzaklaştırmak amacı ile vakum filtrasyonu, plakalı pres filtreler, bantlı pres filtreler ve santrifüjler gibi mekanik susuzlaştırma yöntemleri kullanılmaktadır [52].

2.4.9.2.1. Arıtma Çamuru Bant Pres Kullanılarak Susuzlaştırılması

Kimyasal olarak şartlandırılmış arıtma çamurlarının hareketli bant üzerine yayılıp merdaneler arasından geçirilerek sıkıştırılması prensibine göre çalışan mekanik susuzlaştırma sistemleridir. Bu sistemlerde; arıtma çamurları sıkıştırılmadan önce, çamur içindeki suyun geçişine izin veren bant üzerinde bir süre bekletilerek çamurdaki suyun belli bir kısmının yerçekimi etkisi ile AÇ'den ayrılması sağlanır. Daha sonra kalan kısım merdaneler arasından geçirilerek AÇ içindeki kalan suyun bir kısmının daha arıtma çamurundan ayrılması sağlanmış olur. Susuzlaştırılmış arıtma çamurları, kek halinde taşıyıcı bant sistemi ile uzaklaştırılır. Bant preslere beslenen AÇ karakteristiğine bağlı olarak genelde %20 KM içeren susuzlaştırılmış arıtma çamur kekleri elde etmek mümkündür [59]. Bu sistemler kullanılarak uygulanan arıtma çamuru susuzlaştırmanın, kesintisiz çalıştırılabilme ve düşük enerji maliyetleri gibi üstünlükleri vardır. En önemli dezavantajları ise, kullanılan filtre bezlerinin ekonomik ömürlerinin kısalığı ve verimlerinin çamur özelliklerine göre değişkenlik gösterebilmesidir [47].

2.4.9.2.2. Arıtma Çamuru Filtre Pres Kullanılarak Susuzlaştırılması

AÇ susuzlaştırmada yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem ise filtre preslerdir. Filtre presler; sıralı olarak yerleştirilmiş, arasından su sızmasına engel olunacak derecede sıkıştırılabilen ve içine filtre bezi yerleştirilmiş içi boşluklu plakalardan oluşurlar. AÇ plakaların içine yüksek basınçta beslenir, bir taraftan çamur suyunun filtre bezinden geçip ayrılması sağlanırken diğer taraftan da AÇ'nin plakalar arasında kek formunda susuzlaştırılması sağlanır. Günümüzde filtre preslerde kullanılan plakalar; kullanım ve temizleme kolaylığı, korozyon gibi etkenler düşünülerek plastik esaslı malzemelerden imal edilmektedir. Kullanılan plaka boyutları 60cm x 60cm ile 120cm x 120cm arasında

değişebilmektedir. Filtre preslerde basma basıncı, filtre pres türüne bağlı olarak 7-15 atm arasında değişebilmektedir [59].

2.4.9.2.3. Arıtma Çamuru Santrifüj Kullanılarak Susuzlaştırılması

Özellikle son yıllarda kullanımı artan bir mekanik susuzlaştırma yöntemlerinden biri de santrifüjlerdir. Arıtma çamurları santrifüj içerisinde hızlı bir şekilde döndürülürken merkezkaç kuvvetinin de etkisi ile çamur bünyesindeki katı maddeler ekipmanın dış yüzeye doğru hareket ederken, sulu kısım ise santrifüj ekipmanının ortasında toplanır ve bu ayrışma ile birlikte çamur susuzlaştırması gerçekleştirilmiş olur. Santrifüj kullanarak arıtma çamurları susuzlaştırma yönteminin avantajları; koku problemi en aza indirilmiş olur, hızlı devreye girip çıkılabilir, montaj ve işletme kolaylığı vardır, elde edilecek çamurun kuruluk yüzdesi ayarlanabilir, ilk yatırım maliyeti düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları ise; sürekli bakım gerekliliği, giriş çamurunda kum gidermenin şart olması, tecrübeli personel ihtiyacı, çıkan çamur suyunda yüksek AKM probleminin olmasıdır [59]. Bu sistemler kullanılarak elde edilen susuzlaştırılmış arıtma çamur keklerinin KM konsantrasyonları %20-25 aralığında değişebilmektedir. Sistemde kullanılan şartlandırıcı polimer miktarı, beslenen AÇ'nin KM yüzdesi başına %3-10 aralığında değişmektedir [47].

2.4.9.2.4. Arıtma Çamuru Vakum Filtre Kullanılarak Susuzlaştırılması

Vakum filtreleri, çamur içinde dönen bir tamburdan ve üzerinde bulunan filtre bezinden oluşur. Tambur içinden vakum uygulanarak çamurun tambur etrafındaki filtre beze tutunması sağlanır. Tamburun rotasyonel dönüşü ile, çamur dışına çıkan tambur yüzeyinde vakum devam ettiği için susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Oluşan çamur kekleri, tambur yüzeyinden sıyrılarak yada uygulanan vakum kesilerek dışarı atılır. Verimlilik bakımından diğer susuzlaştırma yöntemlerine kıyasla düşük verime sahip olması son yıllarda vakum filtrelerin kullanımını azaltmıştır. Vakum filtrelerde genelde, paslanmaz çelik veya plastik esaslı kumaş örtü malzemesi kullanılır. Vakum filtrasyonunu etkileyen faktörler; çamur özelliği, çamurun şartlandırma özellikleri, filtre cinsi, tamburun batma derinliği ve uygulanan vakum derecesi olarak sıralanabilir [59]. Vakum filtrelerin yüzey alanları 5-60 m^2 arasında değişebilir. Normal şartlar altında,

birim m^2 filtre yüzey alanı başına 69 kN/m^2 vakum altında 0.5 m^3/dk hava debisine ihtiyaç duyulmaktadır [47].

2.4.10. Arıtma Çamurunun Arazide Kullanılması, Gübre ve Besin Değeri

Birçok ülkede arıtma çamurları gübre olarak halen kullanılmaktadır. Evsel nitelikli atıksu arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamurları potasyum ve sodyum içeriği bakımından uygunsa tarımsal amaçlı gübre olarak kullanılabilir. Bunun yanı sıra endüstriyel nitelikli arıtma çamurları, zehirli bileşikler ve ağır metalleri bünyelerinde bulundurabileceklerinden tarımsal amaçlı gübre olarak kullanımları uygun olmayabilir. Suni gübrelerde potasyum ve sodyumun yanı sıra azot ve fosfat bileşikleri de bulunmaktadır. Arıtma çamurlarının bünyelerindeki sodyum, potasyum, azot ve fosfat gibi elementlerin gübre amaçlı kullanıma uygunluğu ve uygulanacak toprak özellikleri de dikkate alınarak bu çamurların ticari gübre olarak kullanılıp kullanılmayacağına karar verilebilir [35]. Amerika'da arıtma çamurlarının %33'lük kısmı kullanılmaktadır ve bu oranın %67'si tarım alanlarında kullanılmaktadır. Avrupa ülkelerinde ise elde edilen arıtma çamurlarının %36'lık gibi önemli bir kısmı tarım alanlarında kullanılmaktadır. Tarım alanlarına AÇ uygulaması ile sadece toprak yapısında iyileşme sağlanmış olmayıp aynı zamanda da toprağın değerli bitki besin elementlerince zenginleşmesi de sağlanmış olur. Arıtma çamurlarının toprak özelliklerine ve bitki gelişimine olan olumlu etkileri göz önüne alındığında arıtma çamurlarının değerlendirilmesinde tarımsal amaçlı kullanım seçeneği cazip bir uygulama olarak kabul edilebilmektedir [60]. Tablo 2.8'de tarımsal amaçlı gübre ile stabilize arıtma çamurunun nutrient içerikleri bakımından karşılaştırılması görülmektedir [32].

Tablo 2.8. Gübre ile stabilize arıtma çamurunun karşılaştırılması [32].

Karşılaştırılan Unsurlar	**(%)***		
	Azot (N)	**Fosfor (P)**	**Potasyum (K)**
Tarımsal Amaçlı Gübre	5	10	10
Stabilize Arıtma Çamuru	3.3	2.3	0.3

*Konsantrasyonlar, toprak ve ürün ihtiyaçlarına göre farklı olabilir.

Arıtma çamurları protein içeriklerinden dolayı besin kaynağı olarak kullanılabilmektedirler. Aktif çamurun protein miktarı %35 seviyelerinde olduğu için uygun teknolojiler kullanılarak hayvan yemi olarak değerlendirilebilir [32]. Ancak arıtma çamurlarının sağlık yönünden elverişli hale getirilerek yem olarak kullanılabilirliğinin maliyeti çok yüksek olduğu için, arıtma çamurlarının hayvan yemi amaçlı kullanımı tercih edilmemektedir [45].

Arıtma çamurları, toprağın ihtiyacı olan fosfor, potasyum, azot ve çeşitli organik maddeleri bünyelerinde bulundurdukları için dünyanın çeşitli ülkelerinde uygun şartlar sağlandığında toprak iyileştirici madde olarak kullanılabilmektedir. Arıtma çamurlarının arazide kullanımı için gerekli yasal şartların biliniyor olması ve uygulama maliyetlerinin düşüklüğü, arıtma çamurları bertarafında araziye uygulama yönteminin öne çıkan avantajları arasındadır. Bununla beraber arıtma çamurlarının bertarafında arazide kullanım yöntemi tercih edildiğinde, uygulamadaki sıkı yasal düzenlemeler, azot bileşiklerinin ve toksik maddelerin yer altı ve yer üstü sularına geçme riski, koku problemi gibi dezavantajlar ile de karşılaşılmaktadır [54]. Organik gübre ve toprak düzenleyici olarak tarım alanlarında uygun şartları sağlayan arıtma çamurlarının kullanımı, ekonomik kazanç sağlaması ile birlikte çevresel anlamda sorun teşkil eden arıtma çamurlarının bertarafında yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir [37]. Tablo 2.9'da AÇ içeriğinde bulunan besleyici seviyeleri kuru madde yüzdesi olarak belirtilmiştir [46].

Tablo 2.9. Arıtma çamuru besleyici seviyeleri [46].

Besleyici	**Kuru Madde İçinde Bulunan %**
Toplam azot	3.90
NH_4^+ formundaki azot	0.65
NO_3^- formundaki azot	0.05
Fosfor	2.5
Potasyum	0.4
Sodyum	0.57
Kalsiyum	4.9
Demir	1.3

Son yıllarda yapılan araştırma sonuçları, AÇ'nin özellik ve kaynağına bağlı olarak, AÇ uygulanan tarım arazilerinde zamanla ağır metal birikiminin arttığı ve bu maddelerin bitkilerce alınarak insanlara transfer edilmesine yol açtığını göstermiştir. Olası riskler sebebiyle, arıtma çamurlarının tarım arazilerinde doğrudan kullanımı yerine, orman yetiştirme ve ıslah amaçlı kullanımı kabul görmektedir [38].

2.4.11. Arıtma Çamuru Düzenli Depolama

KM içeriği %15 ve üstünde olan arıtma çamurlarının arazide depolanmaları uygundur. Arıtma çamurları depolama sahalarına serildikten sonra üzerlerinin bir toprak tabakası ile örtülerek gömülmeleri gerekmektedir. KM içeriği %3'den küçük olan arıtma çamurları ancak, katı atıklarla birlikte arazide depolanabilirler. Çamur depolama alanlarında genellikle arıtma çamurları doğal zemin üzerine serilir. Araziye çamur depolama; tümsek, tabakalı depolama ve seddeli depolama olarak üç farklı şekilde yapılabilir. Arıtma çamurlarının düzenli depolama yöntemi kullanılarak bertaraf edilmesinde, diğer çamur bertaraf yöntemlerine kıyasla bu yöntemin maliyetinin düşük olması, arıtma çamurlarının düzenli depolanarak bertarafını yaygınlaştırmıştır [54]. Ancak bu yöntem tercih edildiğinde, metan ve karbondioksit gibi sera gazlarının açığa çıkması, dağıtım araçlarından kaynaklanan gürültü ve toz oluşumu, arazi yapısı ve bitki örtüsünün bozulması [38], çamur sahalarındaki kayma problemi, koku ve sinek oluşumu, uygulamadaki sıkı yasal düzenlemeler, depolama alanları için uygun yer bulunması ve gerekli alan temini gibi olumsuzluklarla da karşılaşılabilmektedir [54]. Karşılaşılan bu gibi olumsuzluklardan dolayı bazı ülkeler arıtma çamurlarının araziye boşaltılarak depolanması ile ilgili farklı yasal kısıtlamalar getirmişlerdir. Örneğin İsveç ve Avusturya, arıtma çamurları dahil olmak üzere hiçbir atığın araziye boşaltılmasına izin vermemekte, Fransa kuru madde oranını %30 olarak sınırlamakta ve İtalya ise yalnızca toksik madde içermeyen arıtma çamurlarının araziye boşaltılmasına izin vermektedir [38].

2.4.12. Arıtma Çamuru Termal Bertarafı

Diğer atıklarda olduğu gibi arıtma çamurları içinde uygulanan termal bertaraf yöntemleri, atıkların yüksek sıcaklıkta enerji ve farklı yan ürünlere dönüştürülmesi

işlemidir. Termal bertaraf yöntemleri atığın miktarını ve hacmini azaltmak amacı ile uygulanmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak yapılan bertaraf işlemlerinde, atıkların depolanması için gereken alan ihtiyacı azaltılırken aynı zamanda da enerji geri kazanımları sağlanabilmektedir. Termal bertaraf yöntemlerini üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Uygulanan bu yöntemler; yakma, piroliz ve gazlaştırma yöntemleridir. Tablo 2.10'da uygulanan termal bertaraf yöntemleri için tipik reaksiyon koşulları ve elde edilen ürünler gösterilmiştir [61].

Tablo 2.10. Arıtma çamuru termal bertaraf yöntemleri tipik reaksiyon koşulları ve ürünler [61].

Parametreler	**Uygulanan Termal Bertaraf Yöntemleri**		
	Yakma	**Piroliz**	**Gazifikasyon**
Reaksiyon sıcaklığı (ºC)	800-1450	250-700	500-1600
Yanma odası basıncı (bar)	1	1	1-45
Ortam	Hava	İnert-azot	O_2, H_2O
Stokiyometrik hava oranı	> 1	0	<1
Gaz haldeki ürünler	CO_2, H_2O, O_2, N_2	CO, H_2, H_2O, N_2	CO_2, CO, H_2, CH_4, H_2O, N_2
Katı haldeki ürünler	Kül, cüruf	Kül, kömür	Kül, cüruf
Sıvı haldeki ürünler		Piroliz yağı, su	

2.4.12.1. Yakma

Yakma proseslerinin ana amacı; yakıt yardımı ile ısı açığa çıkarmak ve tüm uçucu katıları parçalarken yanma verimini maksimumda tutarak olası ısı kayıplarını minimize etmektir. Yakma sistemleri, kurutma ve yanma aşamalarından oluşan oksidasyon prosesleridir [62]. Arıtma çamurları, tek başına yakılabileceği gibi, kömürle çalışan termik santrallerde, katı atık yakma tesislerinde evsel katı atıklarla birlikte ve çimento fabrikalarında ek yakıt olarak farklı malzemeler ile birlikte de yakılabilmektedir [32].

Arıtma çamur keklerinin kuruluk oranı %50'nin altına düşürülmediği takdirde yakma proseslerinde kullanımı uygun değildir. Arıtma çamurları yakma proseslerinde, ilk olarak çamur sıcaklığı 100ºC'ye yükseltilir, AÇ'nin içerdiği su buharlaştırılır, su buharı ve hava sıcaklığı artırılır en son olarak da kurumuş çamur sıcaklığının, yanabilir maddelerin ateşleme noktasına kadar yükseltilmesi işlemleri gerçekleştirilir [62]. Kimyasal olarak yanma olayını, atığa oksijen eşliğinde 850ºC'nin üzerinde bir ısı uygulayarak atığın CO_2, H_2O ve %30'luk bir kısmının da hiç yanmadan katı halde kalan ve taban külü olarak bilinen malzemelere dönüştürülmesi şeklinde özetlemek mümkündür [63]. Temel yanma reaksiyonları şu şekilde gerçekleşmektedir [55].

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 \quad (2.6)$$

$$H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O \quad (2.7)$$

$$S + O_2 \rightarrow SO_2 \quad (2.8)$$

$$N + O_2 \rightarrow NO_2 \quad (2.9)$$

Avrupada oluşan arıtma çamurlarının yaklaşık %15'lik kısmı yakılarak bertaraf edilirken Türkiye'nin de içinde bulunduğu birçok ülkede arıtma çamurlarının yakılarak bertaraf edilmesi yöntemi en son tercih edilen bertaraf yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Uygulanan yakma teknolojisi ve çamur karakteristiğine bağlı olarak arıtma çamurları tek başlarına yakılabildiği gibi farklı atıklarla birliktede yakılarak bertaraf edilebilmektedir. Arıtma çamurlarının yakılarak bertarafı için gerekli olan teknolojinin yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Fakat arıtma çamurlarının, düzenli depolanarak bertarafı ve arazide kullanımı ile ilgili yasal düzenleme ve kontrollerin artırılmasına ek olarak çevresel etkiler ile birlikte enerji geri kazanımları da dikkate alındığında çamur bertarafında yakma teknolojilerine geçiş hızla artmaktadır. Çamur yakma teknolojileri arasında, işletim kolaylığı nedeni ile günümüzde akışkan yataklı sistemlerin kullanımı tercih edilmektedir. Bu sistemler, içleri ısıya dayanıklı tuğladan oluşan dikey bir yakma odasına sahiptirler. Yatağın tabanında içinden yüksek sıcaklıkta hava geçirilerek ısıtılıp akışkan halde tutulan bir kum tabakası mevcuttur. Arıtma çamurları bu kum yatağa bırakılır. Akışkan yatak içindeki gaz, meydana gelen yanma ürünlerini tam olarak

parçalayabilmek amacı ile 850ºC'ye kadar ısıtılır. Yanma odasından çıkan sıcak gazların ısıl enerjilerinden yararlanmak için ısı geri kazanım üniteleri kullanılır [54].

Arıtma çamurlarının yakılarak bertarafı ve enerji geri kazanımı proseslerinde, uygulanan teknoloji türü ve AÇ'nin özeliklerine bağlı olarak, giren atığın kalorifik değerinin %70'i ile %80'i oranında enerji geri kazanımı ve değerlendirme imkanı bulunmaktadır. Geriye kalan %30-40'lık oran ise; cüruf ısısı, yakılamayan malzeme ve baca gazı ısı kayıpları olarak yitirilmektedir. Yakma proseslerine giren arıtma çamurlarının kalorifik değerleri 8000 kJ/kg ham atık olarak alındığında, 1.67 kWh/kg giren atık seviyelerinde enerji kazanımı sağlanmaktadır [64]. Ayrıca yakma yöntemi ile atık bertarafında, atığın hacimce %80-90 ve ağırlıkça %75-80 oranında azalma sağlanabilmektedir. Yakma tesislerinde oluşan ve miktar bakımından en fazla olan atık taban külüdür. Uygulanan yakma teknolojisine bağlı olarak değişmekle birlikte, giren atığın ağırlıkça ortalama %15-20'si oranında taban külü oluşabilmektedir. Ayrıca ısı geri kazanım ve baca gazı temizleme sistemlerinde ise yine giren atığın yaklaşık %5'i oranında uçucu kül oluşmaktadır [61]. Arıtma çamurları yakılarak bertaraf edilirken uygulanan teknolojilerin sağladığı avantajları: çamur hacminde azalma, proseste meydana gelen yan ürünlerin asfalt dolgu malzemesi, beton ve tuğla üretimi gibi alanlarda yeniden kullanılabilir olması, bilinen ve uygulanan teknolojiler olması, sistemin kapalı olması ve yüksek sıcaklıklar nedeni ile koku problemini ortadan kaldırması, gerekli alan ihtiyacının azlığı ve toksik kimyasalları tamamen yok edebilme olarak sıralamak mümkündür. Bununla beraber sistemin dezavantajları olarak: yatırım ve işletme maliyetlerinin fazlalığı, düşük ısıl değere sahip çamur bertarafında ilave enerji gereksiniminin olması olarak sıralamak mümkündür [54]. Ayrıca yakma teknolojileri kullanılarak uygulanan AÇ bertarafında meydana gelen emisyonlar önemli bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle dioksin ve furan gibi baca gazı emisyonlarının kontrolü zor ve arıtım maliyetleri yüksektir [63].

2.4.12.2. Gazlaştırma

Gazlaştırma genel anlamı ile, bileşiminde karbon içeren katı yada sıvı bir malzemenin gazlaştırma ajanı ile yanabilir özelliğe sahip gaz ürünlere termokimyasal olarak dönüştürülmesi işlemidir [63]. Gazlaştırma proseslerinde gazlaştırılacak maddenin, nem, uçucu madde ve karbon oranları ile parçacık boyutu ve şekli, enerji içeriği, kül miktarı gibi parametrelerin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Örneğin karbon içeriği yüksek olan bir yakıtın gazlaştırılması sonucu elde edilecek gazın katran içeriği düşük olacaktır çünkü karbon miktarının yüksek olması, yakıttaki katran oluşumuna neden olan uçucu madde miktarının azlığına işaret edecektir [65]. Bu termokimyasal dönüşüm sonucunda üretilen gaz; karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen, metan, su ve azot ile birlikte kömür parçacıkları, kül ve katran gibi artıkları da bünyesinde bulundurmaktadır. Üretilen gaz temizlendikten sonra ısı ve güç üretiminde kullanılmaktadır [66]. Gazlaştırıcılarda üretilen yanabilir gazlarda, homojen bir karışım bulunmamakla birlikte zamana bağlı olarak gazlaştırma proseslerinde üretilen gazın fiziksel ve kimyasal özellikleri (bileşimi, enerji miktarı, kirliliği) değişebilmektedir [65]. Gazlaştırıcılarda elde edilen sentetik gazın, yüksek hidrojen içeriği nedeni ile uygun ayırma yöntemleri kullanılarak hidrojen üretiminde de kullanılabilmesi mümkündür [48]. Gazlaştırma teknolojileri 1995 yılından itibaren pek çok ülkede yaygın şekilde kullanılmaya başlamış olup hızlı gelişimini günümüzde de sürdürmektedir. 28 ülkede ticari olarak çalıştırılan 117 gazlaştırma tesisinde 450 adet gazlaştırıcı bulunmaktadır. Kurulu gücü toplamda 45000 MW olan bu gazlaştırma tesislerinde %49 oranında kömür, %36 oranında petrol koku ve %15 oranında ise biyokütle gazlaştırılması yapılmaktadır [67].

Arıtma çamurlarını kuruttuktan sonra, gazlaştırma yöntemi kullanılarak çamur bertarafı sağlarken aynı zamanda da elektrik ve ısı enerjisi elde etmek de mümkündür. Arıtma çamurlarının gazlaştırma teknolojisi kullanılarak bertarafında özellikle Japonya'da önemli tesisler bulunmaktadır. Gazlaştırma prosesleri, yakma proseslerine kıyasla hem daha çevre dostu hem de enerji üretimi bakımından daha verimlidir [48]. Ayrıca gazlaştırma prosesleri CO_2, SO_2, NOx emisyonları açısından da çok daha avantajlıdır. Mevcut kükürt çoğunlukla, SO_2'ye nazaran daha kolay şekilde giderilebilen H_2S şekline dönüşür ve gazlaştırma sırasında NOx, dioksin ve furan problemleri oluşmaz [67].

Uygulama kolaylığı ve ekonomik oluşu gibi öne çıkan diğer avantajları sebebi ile günümüzde arıtma çamurları ve diğer katı atıkların bertarafında gazlaştırma prosesleri en uygun yöntem olarak tercih edilmektedir [48]. Tablo 2.11'de gazlaştırma proseslerinde meydana gelen temel kimyasal reaksiyonlar gösterilmektedir [55,68].

Tablo 2.11. Gazlaştırma proseslerinde meydana gelen temel kimyasal reaksiyonlar [55,68].

Kimyasal Reaksiyon Denklemi	**Reaksiyon Türü**	**Reaksiyon Entalpisi (kj/mol)**
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	Ekzotermik	-393.5
$C + ½\ O_2 \rightarrow CO$	Ekzotermik	-110.6
$H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$	Ekzotermik	-280
$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$	Endotermik	+131
$C + CO_2 \rightarrow 2CO$	Endotermik	+172
$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$	Ekzotermik	-75
$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	Ekzotermik	-41
$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$	Ekzotermik	-201.9
$CO + ½\ O_2 \rightarrow CO_2$	Ekzotermik	-251

Gazlaştırma prosesleri; kurutma, oksidasyon, piroliz, karbonlaşma ve gazlaştırma indirgenme aşamalarından oluşmaktadır [69].

Gazlaştırma proseslerinin ilk aşaması, yakıt özelliği taşıyan AÇ gibi biyokütlelerin bünyelerinde mevcut bulunan nem içeriğinin buharlaştırılarak uzaklaştırılması ve yakıtın kurutulduğu kurutma aşamasıdır. Gazlaştırma işlemine tabi tutulacak biyokütlenin nem içeriği ideal olarak %5-35 aralığında olmalıdır [63]. İçeriğinde %35'den daha fazla su bulunduran biyokütlenin termokimyasal dönüşüm sonucu

elektrik üretimi için uygun olmadığı bilinmektedir [69]. Kurutularak ideal nem içeriğine getirilen biyokütlenin, 700ºC'nin üzerinde ısıtılarak gazlaştırılmasıyla, kimyasal yapısının değişmesi ve hızlı bir şekilde gazlaşması sağlanır [63].

Gazlaştırma proseslerinin bir diğer aşaması oksidasyon aşamasıdır. Bu aşamada, biyokütle bünyesindeki organik moleküller olan karbon ve hidrojen, oksijen ile tepkimeye girip okside olarak CO_2 ve H_2O ya dönüşürler ve ısı enerjisi açığa çıkarırlar. Ayrıca oksidasyon aşamasında, yanmayan inorganiklerin, minerallerinde bulunduğu kül açığa çıkmaktadır [69].

Gazlaştırma proseslerinin bir diğer aşaması ise piroliz yani distilasyon aşamasıdır. Organik maddelerin oksijensiz ortamda 500-600ºC'ye kadar ısıtılarak termal parçalanmasının sağlandığı bu aşamada; gaz bileşenleri, uçucu yoğuşabilir maddeler, mangal kömürü ve kül açığa çıkmaktadır [69].

Gazlaştırma proseslerinin karbonlaşma aşamasında; 150-500ºC gibi sıcaklık aralığında, organik maddeler havasız ortamda kimyasal parçalanmaya uğrarlar. Karbonlaştırma işlemi sonucunda açığa çıkan gaz bileşenleri, %50 CO_2, %35 CO, %10 CH_4, %5 diğer hidrokarbonlar ve H_2 den oluşmaktadır. Elde edilen bu gaz karışımının ısıl değeri ortalama olarak 8.9 MJ/m^3'tür [69].

Gazlaştırma proseslerinin gazlaştırma aşamasında ise, kullanılan biyokütlenin nem içeriğinin %30'u geçmemesine dikkat edilmelidir. Nem oranı arttıkça elde edilen gazın kalorifik değeri düşerken, CO ve CO_2 miktarı da hacimsel olarak artmaktadır. Gazlaştırıcı içindeki kor halinde bulunan maddeye su buharı püskürtüldüğünde su gazı elde edilmiş olur. Elde edilen bu gazın kalorifik değeri ise 10 $MJ/m^{3'}$tür [66].

2.4.12.2.1. Gazlaştırıcı Türleri

Gazlaştırma, gazlaştırıcı olarak isimlendirilen sistemlerde katı atıkların hava yada oksijen, buhar yada bunların farklı karışımları ile temasının sağlandığı bir reaktör içinde gerçekleşmektedir [48]. Gazlaştırma reaktörünün özelliğine göre sabit yataklı, akışkan yataklı ve entegre yataklı gazlaştırıcılar kullanılmaktadır [69].

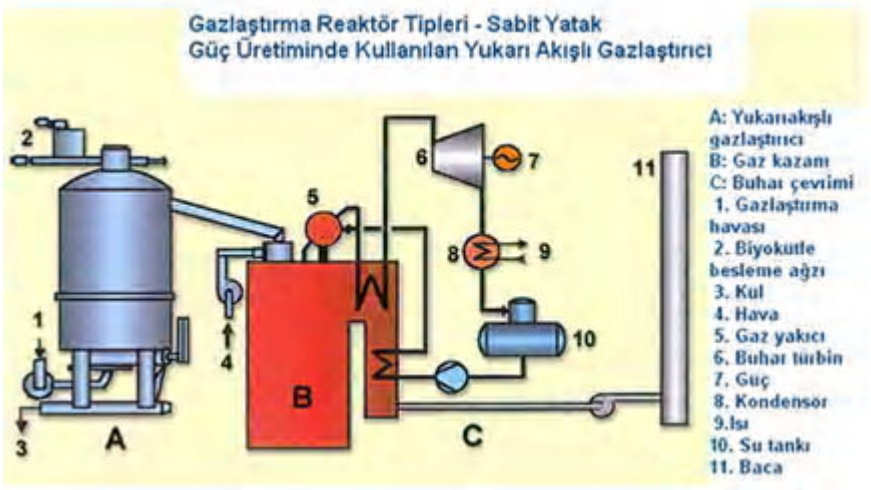
2.4.12.2.1.1. Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar

Bu tip gazlaştırıcıların tasarımları basittir ve işletme kolaylığı sağladıkları için kolay çalıştırılabilirler. Küçük ve orta ölçekli güç ve termal enerji kullanımları için tercih edilmektedirler. Sabit yataklı gazlaştırıcıların, çalışma sıcaklıklarını her bölgede sabit tutamama ve reaksiyon bölgesindeki gaz fazını yeterli oranda karıştıramama gibi olumsuz özellikleri vardır. Bu sistemlerin kullanılması ile elde edilecek gaz miktarı, önceden tahmin edilemediği için büyük ölçekli kullanımlar için tercih edilen bir gazlaştırıcı modeli değildir [66].

Hava ve yakıt girişi yönüne göre, sabit yataklı gazlaştırıcıların dört farklı tipi mevcuttur. Bunlardan ilki olan aşağı akışlı gazlaştırıcılarda; yakıt girişi yukardan olup hava akışı ise yakıt akışına ters olarak mümkün olduğunca gaz üreticinin alt kısmından sisteme giriş yapmaktadır. Üretilen gaz ise gazlaştırıcının üst kısmından alınır ve kalitesi genellikle iyidir [65]. 1MW ve daha az elektrik kapasiteli sistemler için uygundur. Üretilen gaz, reaktörün alt kısmından çıkış yapar, biyokütle ile gaz arasındaki ısı transferi çok düşük olduğu için gaz çıkış sıcaklığı oldukça yüksektir. Bu sistemlerde iyi bir gazlaştırma verimi elde edebilmek için biyokütlenin %20-25'nin altında bir nem içeriğine getirilmesi gerekmektedir. Aşağı yönlü gazlaştırıcılar kullanılarak üretilen gazın içinde çok az miktarda katran bulunmaktadır fakat elde edilen gaz yüksek oranda toz ve kül içermektedir. Elde edilen gaz, gazlaştırıcıyı 700ºC gibi yüksek bir sıcaklıkta terk etmektedir. Bu tip gazlaştırıcılar kullanılarak elde edilen gazın içten yanmalı motorlarda kullanılabilmesi için yukarı akışlı gazlaştırıcılarda elde edilen gazlara kıyasla daha az gaz temizleme işlemine tabi tutulması gerekmektedir [66,68,69].

Bir diğer sabit yataklı gazlaştırıcı tipi ise yukarı akışlı gazlaştırıcılardır. Bu gazlaştırıcılarda yakıt üstten verilirken, hava akımı aşağıdan yukarı doğru verilir. Yakıt, aşağı doğru inerken kurur, pirolize uğrar, gazlaşır ve yanar. Bu gazlaştırıcı tipinin öne çıkan avantajları, tasarımlarının basitliği ve yüksek gazlaştırma verimi elde edilebilmesidir. Bu sistemlerde hiçbir ön kurutma işlemine gerek olmaksızın gazlaştırma yapılabilir. Ayrıca bu tip gazlaştırıcılarda, küçük boyutlardaki yakıt parçacıklarıyla da çalışabilir. Büyük elektrik kapasiteli sistemler için tercihen kullanılan gazlaştırıcılardır. Bu tip gazlaştırıcılarda elde edilen gazın çıkış sıcaklığı yaklaşık 400ºC

gibi düşük bir sıcaklıkta olduğu için hidrokarbonlar bakımından zengin olup yüksek katran içeriğine sahiptir. Bu gazlaştırıcılar; boyutları, biçimleri ve biyokütle parçacıklarının nem içerikleri bakımından aşağı akışlı gazlaştırıcılara oranla daha esnektirler. Yüksek kül ve nem içerikli daha az kaliteli gaz elde edilmesine olanak sağlarlar. Elde edilen gaz %10-20 oranında uçucu yağlar (katran) içerdiğinden motorlar ve türbinler için kullanımı uygun değildir. İçten yanmalı motor uygulamalarında kullanılabilmesi için elde edilen gazın temizlenmesi gerekmektedir. Şekil 2.2'de sabit yataklı yukarı akışlı bir gazlaştırıcı görülmektedir [66,68,69].

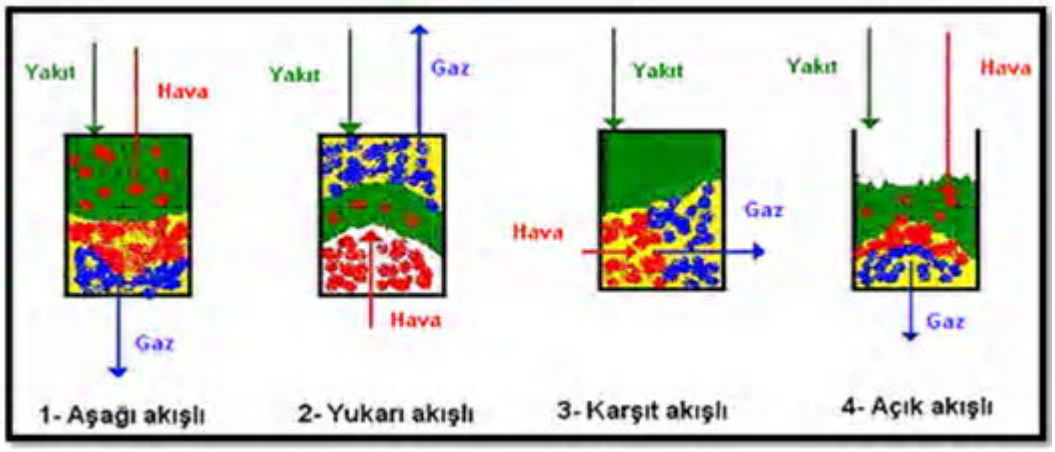


Şekil 2.2. Sabit yataklı yukarı akışlı gazlaştırıcı [66].

Bir diğer sabit yataklı gazlaştırıcı tipi ise karşıt akışlı gazlaştırıcılardır. Bu tip gazlaştırıcı sistemleri, odun kömürü gazlaştırılması amacı ile tasarlanmıştır. Karşıt akışlı gazlaştırıcılarda yakıt aşağı doğru inerken hava yan taraftan verilir, oluşan gazlar ise karşı tarafta aynı seviyeden çekilir. Gaz çıkış sıcaklıkları 800-900ºC aralığındadır. Meydana gelen kül, gazlaştırıcının alt kısmından alınır. Bu tip gazlaştırıcılar, düşük katran içerikli yakıtlar için uygundur [66].

Sabit yataklı gazlaştırıcı tiplerinin sonuncusu ise açık akışlı gazlaştırıcılardır. Açık akışlı gazlaştırıcılar, özellikle pirinç kabuğu gibi düşük yoğunluğa sahip maddelerin gazlaştırılması için tasarlanmıştır. Düşük yoğunluk sebebi ile, yakıtın geçişinde tıkama

yada akışı engelleme durumunu ortadan kaldırmak için darboğaz yapılmaz. Döner ızgaralar gibi özel ekipmanlar, külün uzaklaştırılması ve yakıtın karıştırılması için sisteme ilave edilebilir. Gazlaştırıcının üstü açıktır ve hava buradan sisteme verilir alt kısımda külün giderildiği bir su havuzu bulunmaktadır. Şekil 2.3'de sabit yataklı gazlaştırıcı tipleri görülmektedir [66].



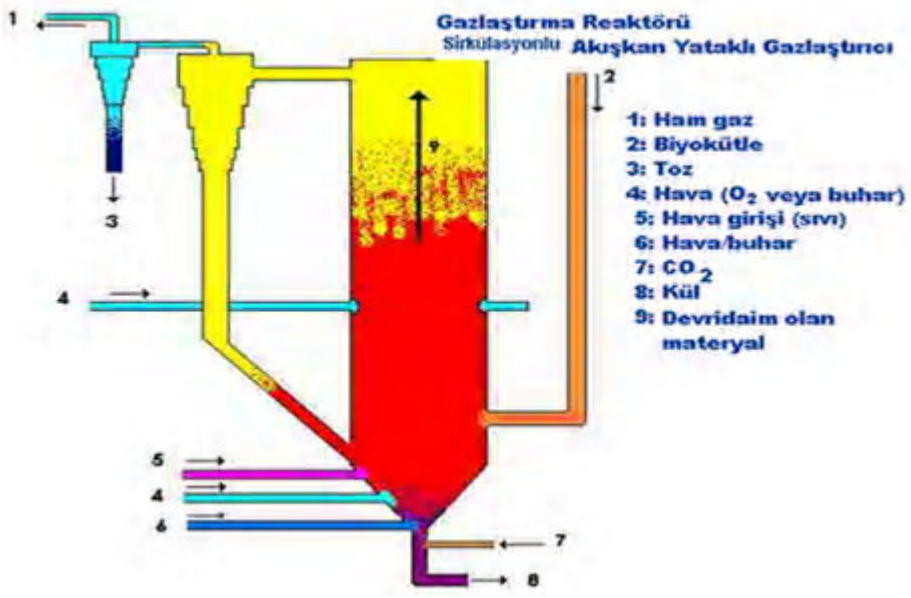
Şekil 2.3. Sabit yataklı gazlaştırıcı tipleri [66].

2.4.12.2.1.2. Akışkan Yataklı Gazlaştırıcılar

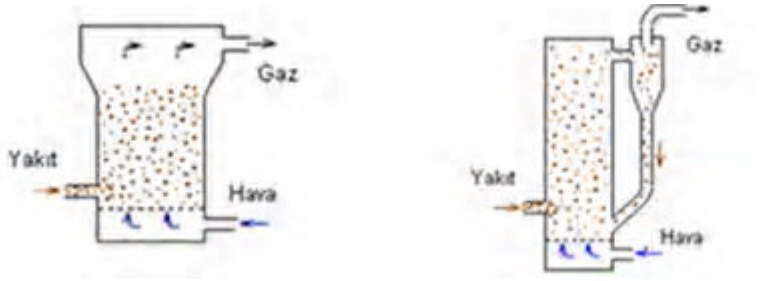
Bu tip gazlaştırıcılarda kullanılan yatağın iç yüzeyleri silika veya seramik gibi hareketsiz granül parçacıklarla kaplıdır. Gazlaştırılacak malzemenin gazlaştırma yatağına girişi alt kısımdan sağlanmaktadır. Yakıtın alttan verilen yüksek hızlı hava yardımı ile ısıtılmış yatağa itilmesi sağlanır. Yatak sıcaklığı, kullanılan yakıtın kısmi yanması yada gazlaşması için yeterli olacak şekilde ayarlanır. Yatağın her bölgesinde piroliz ve yanarak dönüşüm işlemi gerçekleşir. Kullanılacak yakıt parçacıkları 10 cm' den küçük ve nem içeriği %65'den fazla olmamalıdır. Akışkan yataklı gazlaştırıcılarda elde edilen gaz düşük miktarda katran içerir. Eğer gazlaştırıcı basınçlı ise üretilen gaz, gaz türbinlerinde elektrik üretimi amacı ile kullanıma uygundur. Bu sistemlerde kapasitenin üst limiti yoktur. Gazlaştırma proseslerinde genellikle atmosferik basınçtaki hava kullanılır. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar, kabarcıklı ve sirkülasyonlu gazlaştırıcılar olarak iki farklı tipte kullanılmaktadır [69].

Kabarcıklı akışkan yataklı gazlaştırıcılarda, yatağı oluşturan katı parçacıkların yükselmesi için gazın hızı yeterince yüksek olmalıdır. Bu sayede yatak genişler ve bir sıvı gibi kabarcıklanır. Gaza göre büyük kütleli olan kum, yatak sıcaklığını dengede tutmaya yarar. Bu tip gazlaştırıcılar; iyi bir sıcaklık kontrolü sağlanan, yüksek dönüşüm oranı sunan, hammadde miktarı ve nem içeriğine ayrıca partikül boyutlandırılmasına karşı esnek çalışma aralığı imkanı veren gazlaştırıcılardır [66].

Bir diğer akışkan yataklı gazlaştırıcı tipi ise sirkülasyonlu (dolaşımlı) gazlaştırıcılardır. Bu tip gazlaştırıcılar ısıl gücü 10MW'dan yüksek yakıt üretimi için daha uygundurlar. Gazlaştırma sonucunda yüksek kalitede gaz üretmek mümkündür. Bu gazlaştırıcıların en önemli avantajı, farklı bileşim ve nem içeriğine sahip hammaddeleri işleme kabiliyetlerinin olmasıdır. Yüksek alkali içerikli yakıtlar, parçacıkların yatak içinde topaklanmasına sebep olur ve bunun sonucunda sistem akışkan özelliğini yitirir [66,69]. Şekil 2.4 ve 2.5'de akışkan yataklı gazlaştırıcı tipleri görülmektedir [66].



Şekil 2.4. Sirkülasyonlu akışkan yataklı gazlaştırıcı [66].



(a) (b)

Şekil 2.5. Kabarcıklı (a) ve sirkülasyonlu (b) akışkan yataklı gazlaştırıcı [66].

2.4.12.2.2.Gazlaştırma ve Yakma Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Gazlaştırma prosesleri sonucu oluşan baca gazlarının hacminin az oluşu, yakma teknolojileri ile kıyaslandığında gazlaştırma yöntemi ile atık bertarafının öne çıkan üstünlükleridir. Gazlaştırma prosesleri sonucunda elde edilen gaz ürünün kalorifik değeri, anaerobik çürütme ile elde edilen biyogazın kalorifik değerinden yüksek olup yanma verimleri daha fazladır. Gazlaştırma prosesinde elde edilen yan ürünler genellikle inert ve tehlikesiz olup stabilizasyon yada dolgu malzemesi olarak farklı alanlarda yeniden kullanılabilir özelliklere sahiptir. Uygulanan gazlaştırma teknolojisi ve proses şartlarına bağlı olmakla birlikte sisteme giren malzemenin %80'i gazlaştırılabilmektedir [63]. Tablo 2.12'de gazlaştırma ve yakma teknolojilerinin kısa bir karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 2.12. Gazlaştırma ve yakma teknolojilerinin karşılaştırılması [48].

Gazlaştırma	Yakma
Syngaz üretimi esnasındaki emisyon değerleri yasal sınırların altındadır	Emisyon değerleri yüksektir
Kükürt H_2S'e dönüştürülür	Kükürt SO_2'ye dönüştürülür
Kükürt tutma, fiziksel yada kimyasal işlemlerle gerçekleşir	Kükürt tutma, baca gazı temizleyicileri yada kazana kireç taşı ilavesi ile sağlanır.
Azot, syngaz içindeki NH_3 izlerine dönüştürülür	Azot, syngaz içindeki NOx'e dönüştürülür

Tablo 2.12. Devamı

Gazlaştırma	Yakma
NOx kontrolü mevcut durumda gerekli değildir.	NOx kontrolü gereklidir.
Karbon, syngaz içindeki CO'e dönüştürülür	Karbon, CO_2'ye dönüştürülür.
CO_2 kontrolü, konsantre akımdan ön yanma ile giderim ile sağlanır	CO_2 kontrolü, konsantre akımdan son yanma ile giderim ile sağlanır
Katı atık, buhar çevrimi ve proses gereksinimleri için belirli miktarda su ihtiyacı vardır	Buhar çevrimi soğutma suyu için çok daha fazla su ihtiyacı vardır
İlk yatırım maliyetleri yakma yöntemlerine kıyasla daha yüksektir fakat uzun vadede daha verimlidir	İlk yatırım maliyetleri gazlaştırma yöntemlerine kıyasla daha düşüktür fakat uzun vadede verimi düşüktür

2.4.12.3. Piroliz

Organik maddelerin tamamen oksijensiz ortamda, 300-700ºC gibi yüksek sıcaklıklarda bozunması işlemi piroliz olarak isimlendirilmektedir. Piroliz proseslerinde, dönen fırın, ısıtılmış tüp ve yüzey temaslı olmak üzere üç farklı türde reaktör kullanılmaktadır [63]. Piroliz prosesi sonucunda elde edilen ürünleri şu şekilde özetlemek mümkündür; kullanılan atığın organik içeriğine bağlı olarak, bileşiminde hidrojen, metan, karbon monoksit, karbon dioksit ve diğer gaz karışımlarından oluşan bir gaz ürün elde edilir. Elde edilen bu gaz ürün ile birlikte, bileşiminde asetik asit, aseton, metanol ve kompleks hidrokarbonları içeren bir katran veya yağ akımından meydana gelen sıvı bir ürün elde edilir. Ayrıca saf karbon ve kullanılan atığın içeriğinde bulunan sert materyallerden oluşan kömürleşmiş bir katı elde edilir [55]. Piroliz proseslerinde gerçekleşen ana kimyasal reaksiyon denklem 2.10'da verilmiştir ve $(C_6H_8O)_x$, oluşan sıvı katranı göstermektedir [39].

$$X(C_6H_{10}O_5) \rightarrow 8H_2O + (C_6H_8O)_x + 2CO + 2CO_2 + CH_4 + H_2 + 7C \quad (2.10)$$

Ürün olarak elde edilen piroliz yağı, enerji potansiyeli bakımından ham petrolün enerji potansiyelinin yaklaşık yarısı oranında enerjiye sahiptir ve ısı yada güç üretiminde kullanılabilir. İstenilen son ürünün, katı, sıvı yada gaz ürün olmasına bağlı olarak piroliz prosesinin yavaş yada hızlı gerçekleştirilmesi mümkündür. Yavaş piroliz proseslerinde uçucu bileşenlerin enerjisi boşa harcanırken hızlı piroliz proseslerinde hammadde oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak gaz karışımı, kömür granülü ve biyo sıvıya dönüştürülür. Düşük sıcaklıklı piroliz proseslerinde çalışma sıcaklıkları 450-600 ºC aralığında iken, yüksek sıcaklıklı piroliz proseslerinde 850-1000ºC aralığındadır. Piroliz sonucu elde edilen biyo yağ, hafif yada ağır fuel oil olarak kullanılabilir [63]. Pirolitik yağların enerji miktarı yaklaşık olarak 20933 kJ/kg seviyelerindedir [55]. Piroliz gazları ise, gaz türbinlerinde yada gaz motorlarında yakılarak elektrik enerjisi eldesinde kullanılabilir [63]. En uygun gazlaştırma şartlarında elde edilen piroliz gazının enerjisi ise 2607 kJ/m^3 seviyelerindedir [55]. Bununla birlikte, piroliz ürünlerinin hidrojene dönüştürülme olanağı da vardır [63]. Tablo 2.13'de farklı piroliz sıcaklıklarında meydana gelen piroliz gazlarının bileşimi gösterilmektedir [39].

Tablo 2.13. Farklı sıcaklıklarda piroliz gazı bileşimleri [39].

Gaz bileşimi (%)	**Sıcaklık (ºC)**			
	620	670	760	830
H_2	2.5	2.59	3.2	4.62
CO_2	24.4	18.32	15.39	7.25
CO	28.63	34.62	43.43	66.17
Hidrokarbonlar	33.54	36.04	31.12	16.45

3. BÖLÜM

SUSUZLAŞTIRILMIŞ ARITMA ÇAMURLARININ TOPLAM KATI-KURU MADDE DEĞİŞİMLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

3.1. Materyal ve Metod

Susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının farklı bileşenler eşliğindeki yüzde TKM oranlarının değişimini incelemek amacıyla yapılan deneysel çalışmada, KASKİ AAT'de oluşan SAÇ kekleri kullanılmıştır. AÇ kekleri ile, farklı oranlarda karıştırılmak üzere zeolit (Z), bims (B), talaş (T) ve kireçten (K) oluşan dört farklı malzemenin arıtma çamurlarının susuzlaştırılmasına olan etkileri incelenmiştir.

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında, KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinden ortalama %20 TKM içeriğine sahip olarak elde edilen AÇ keklerinin, hiçbir işleme tabi tutulmadan kendiliğinden kurumaya bırakıldığında, yüzde TKM oranının değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Sonrasında ise aynı SAÇ kekinin Z, B, T ve K olmak üzere dört farklı malzeme ile kütlesel olarak %15-25-35 oranlarında karıştırılması sonucu elde edilen çamur örnekleri kurumaya bırakıldığında, yüzde TKM oranlarının değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan beş farklı SAÇ numunesi için her birinde 8'er adet olmak üzere toplamda 40 farklı deney seti hazırlanmıştır. Deney setlerindeki çamur numunelerin toplam ağırlığı 1500 g olarak ayarlanmıştır. Bu numuneler, sadece üst kısımlarından doğal hava sirkülasyonunun sağlandığı plastik deney kaplarına, yükseklikleri 10-13 cm olacak şekilde yerleştirilmiş ve kurumaya bırakılmıştır. Kuruma periyodu boyunca ortam sıcaklığının 21-30ºC arasında değiştiği yapılan ölçümler ile tespit edilmiştir. Yüzde TKM oranlarının değişimini belirlemek için 7'şer günlük periyotlarla ölçümler yapılmıştır. Her bir ölçümden önce numunelerin

karıştırılıp homojen hale gelmeleri sağlanmıştır. Çamur numunelerinin kuruma periyodu boyunca, görsel olarak yapılarındaki değişimleri izleyebilmek amacı ile her ölçüm periyodunda, örneklerin homojenleştirme işlemi öncesi ve sonrasındaki fotoğrafları çekilerek kaydedilmiştir. Yüzde TKM oranlarını hesaplayabilmek için boş bir porselen kroze hassas terazide tartılarak tartım sonucu M1 (g) kaydedilmiştir. Bu porselen krozenin hassas terazide sıfırlaması yapıldıktan sonra içerisine, karıştırılarak homojen hale getirilmiş çamur numunesinden yaklaşık 10-11 g örnek alınmış ve alınan örnek miktarı M2 (g) kaydedilmiştir. Porselen kroze içindeki bu örnek 103ºC'de 580 dk etüvde bekletilmiştir. Bekleme süresi sonunda etüvden çıkarılarak soğumaya bırakılan krozeler, soğuduktan sonra yeniden hassas terazide tartılarak tartım sonuçları M3 (g) kaydedilmiştir. Bu deneysel veriler kullanılarak, her bir çamur numunesinin yüzde TKM oranları denklem 3.1'deki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ TKM} = ((M3-M1)/M2)*100 \quad (3.1)$$

3.2. Deneysel Bulgular ve Gözlemler

KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinden alınan ve ortalama %20 TKM içeriğine sahip SAÇ'nun (SÇ) ve SÇ'un %15 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin yedi haftalık bekleme süresine göre yüzde TKM oranları Tablo 3.1'de görülmektedir.

Tablo 3.1. SÇ ve SÇ'nin %15 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numunelerin yüzde TKM oranları.

Bekleme Süresi (gün)	**SÇ**	**%15T+%85SÇ**	**%15Z+%85SÇ**	**%15B+%85SÇ**	**%15K+%85SÇ**
0	19.14	31.64	31.14	30.42	30.62
7	20.25	31.94	33.77	32.94	32.14
14	21.20	34.03	35.13	34.86	34.33
21	22.76	36.45	36.99	37.24	35.23
28	24.13	38.63	42.28	40.97	39.07
35	26.24	41.03	48.15	44.99	40.40
42	28.49	43.11	49.62	46.18	44.73
49	31.25	45.90	51.24	48.57	46.36

Tablo 3.1'deki sonuçlar incelendiğinde, KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinden elde edilen SAÇ'nin, Z, B, T ve K ile %15 oranında karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin, yedi hafta sonunda ulaşabildiği TKM oranları karşılaştırıldığında en yüksek TKM oranına %51.24 olarak zeolit ile ulaşıldığı görülmüştür.

SÇ ve SÇ'nin %15 oranında T, Z, B ve K ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin farklı bekleme sürelerinde, homojenleştirme işlemi öncesi ve sonrasındaki görünümleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.1. SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.2. %15 T+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.3. %15 Z+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-28	BS-49

Şekil 3.4. %15 Z+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.5. %15 B+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



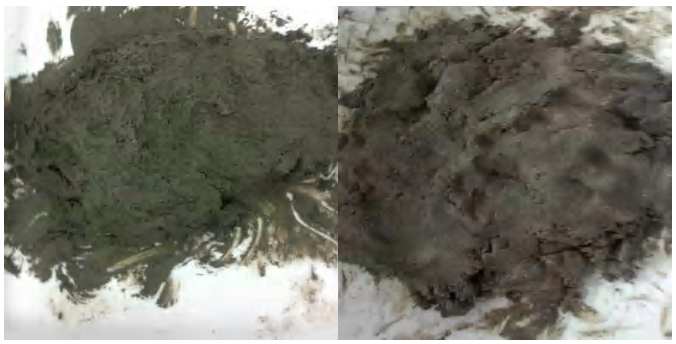
BS-28	BS-49

Şekil 3.6. %15 B+%85 SÇ numunesinin homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.7. %15 K+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-28	BS-49

Şekil 3.8. %15 K+%85 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.

SÇ'nin %25 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin yedi haftalık bekleme süresine göre yüzde TKM oranları Tablo 3.2'de görülmektedir.

Tablo 3.2. SÇ'nin %25 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numunelerin yüzde TKM oranları.

Bekleme Süresi (gün)	%25T+%75SÇ	%25Z+%75SÇ	%25B+%75SÇ	%25K+%75SÇ
0	38.52	40.82	39.40	40.62
7	41.84	47.01	45.24	42.79
14	42.15	60.78	46.18	44.33
21	43.49	69.09	53.63	45.23
28	45.07	76.45	57.49	49.07
35	46.04	90.42	67.80	50.40
42	47.79	94.01	75.85	54.73
49	50.59	95.83	83.17	56.36

Tablo 3.2'deki sonuçlar incelendiğinde, KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinden elde edilen SAÇ'nun, Z, B, T ve K ile %25 oranında karıştırması sonucu elde edilen çamur numunelerinin, yedi hafta sonunda ulaşabildiği TKM oranları karşılaştırıldığında en yüksek TKM oranına %95.83 ile zeolit kullanıldığında ulaşıldığı görülmüştür.

SÇ'nin %25 oranında T, Z, B ve K ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin farklı bekleme sürelerinde, homojenleştirme işlemi öncesi ve sonrasındaki görünümleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.9. %25 T+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



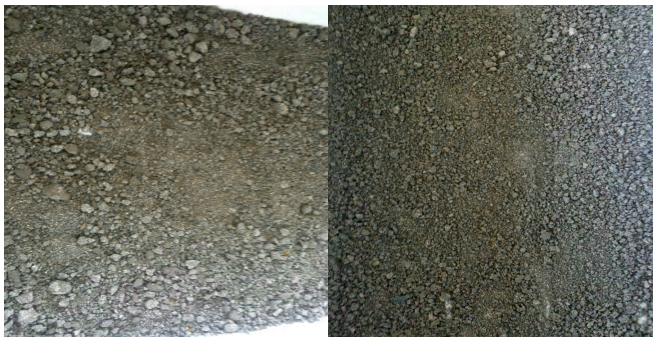
BS-28	BS-49

Şekil 3.10. %25 T+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.11. %25 Z+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-28	BS-49

Şekil 3.12. %25 Z+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.13. %25 B+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-28	BS-49

Şekil 3.14. %25 B+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.15. %25 K+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-28	BS-49

Şekil 3.16. %25 K+%75 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.

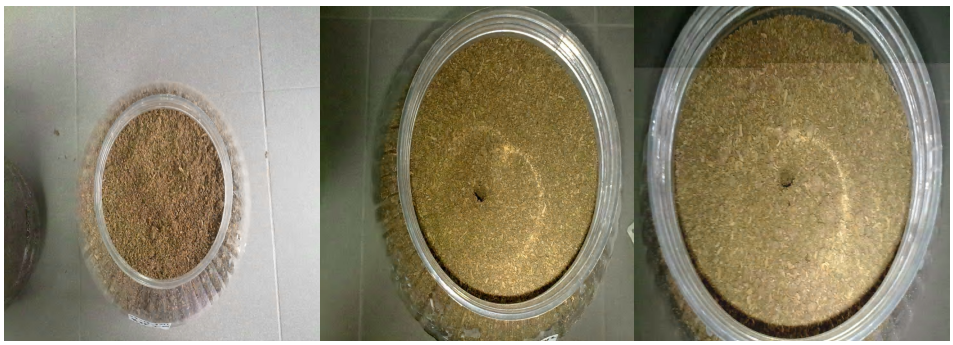
SÇ'nin %35 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin yedi haftalık bekleme süresine göre yüzde TKM oranları Tablo 3.3'de görülmektedir.

Tablo 3.3. SÇ'nin %35 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin yüzde TKM oranları.

Bekleme Süresi (gün)	**%35T+%65SÇ**	**%35Z+%65SÇ**	**%35B+%65SÇ**	**%35K+%65SÇ**
0	47.12	48.41	47.56	46.85
7	49.89	56.14	54.74	52.40
14	51.24	70.58	61.63	53.91
21	52.34	82.46	68.96	58.09
28	52.93	87.65	75.77	63.48
35	54.02	94.91	81.31	65.84
42	55.71	96.73	86.10	67.30
49	56.78	97.41	90.15	70.12

Tablo 3.3'deki sonuçlar incelendiğinde, KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinden elde edilen SAÇ'nin, Z, B, T ve K ile %35 oranında karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin, yedi hafta sonunda ulaşabildiği TKM oranları karşılaştırıldığında en yüksek TKM oranına %97.41 ile zeolit kullanılarak ulaşıldığı görülmüştür.

SÇ'nin %35 oranında T, Z, B ve K ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin farklı bekleme sürelerinde, homojenleştirme işlemi öncesi ve sonrasındaki görünümleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.17. %35 T+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



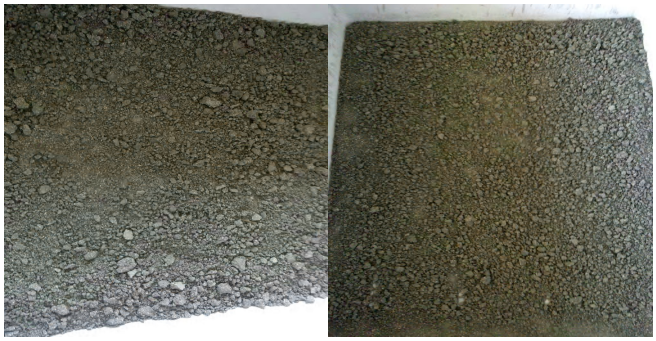
BS-28	BS-49

Şekil 3.18. %35 T+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.19. %35 Z+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-28	BS-49

Şekil 3.20. %35 Z+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.21. %35 B+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-28	BS-49

Şekil 3.22. %35 B+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.



BS-0	BS-28	BS-49

Şekil 3.23. %35 K+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirilmeden önceki görsel değişimi.



BS-28	BS-49

Şekil 3.24. %35 K+%65 SÇ numunesinin farklı bekleme sürelerine göre homojenleştirildikten sonraki görsel değişimi.

KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinden elde edilen SAÇ'nin ve bu çamurların %15 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin yedi haftalık bekleme süresi sonunda başlangıç TKM oranlarına ilave olarak sağlanan yüzde TKM oranları Tablo 3.4'de görülmektedir.

Tablo 3.4. SÇ'nin %15 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numunelerinin TKM oranına etkisi.

Parametreler	**%15T+%85SÇ**	**%15Z+%85SÇ**	**%15B+%85SÇ**	**%15K+%85SÇ**
7 Hafta Sonundaki TKM(%)	45.9	51.24	48.57	46.36
Sağlanan ilave TKM (%)	26.76	32.10	29.43	27.22

Not: Katkı yapılan SAÇ'nin TKM oranı %19.14

Tablo 3.4'den en fazla TKM oranının, %15 Z+%85 SÇ şeklinde hazırlanan çamur numunesine ait olduğu ve sağlanan bu ilave TKM oranının % 33.24 olduğu görülmüştür.

SÇ ve bu çamurların %25 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin yedi haftalık bekleme süresi sonunda başlangıç TKM oranlarına ilave olarak sağlanan yüzde TKM oranları Tablo 3.5'de görülmektedir.

Tablo 3.5. SÇ'nin %25 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numunelerinin TKM oranına etkisi.

Parametreler	**%25T+%75SÇ**	**%25Z+%75SÇ**	**%25B+%75SÇ**	**%25K+%75SÇ**
7 Hafta Sonundaki TKM(%)	50.59	95.83	83.17	56.36
Sağlanan ilave TKM (%)	32.5	76.75	63.99	38.36

Not: Katkı yapılan SAÇ'nin TKM oranı %19.14

Sonuçlardan en fazla TKM oranının, %25 Z+%75 SÇ şeklinde hazırlanan çamur numunesine ait olduğu ve sağlanan bu ilave TKM oranının % 76.75 olduğu görülmüştür.

SÇ ve bu çamurların %35 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen çamur numunelerinin yedi haftalık bekleme süresi sonunda başlangıç TKM oranlarına ilave olarak sağlanan yüzde TKM oranları Tablo 3.6'da görülmektedir.

Tablo 3.6. SÇ'nin %35 oranında farklı maddeler ile karıştırılması sonucu elde edilen numuneleri TKM oranına etkisi.

Parametreler	**%35T+%65SÇ**	**%35Z+%65SÇ**	**%35B+%65SÇ**	**%35K+%65SÇ**
7 Hafta Sonundaki TKM(%)	56.78	97.41	90.15	70.12
Sağlanan ilave TKM (%)	38.69	78.33	72.06	52.12

Not: Katkı yapılan SAÇ'nin TKM oranı %19.14

Tablo 3.6'daki sonuçlar incelendiğinde, en fazla TKM oranının, %35 Z+%65 SÇ şeklinde hazırlanan çamur numunesine ait olduğu ve sağlanan bu ilave TKM oranının % 78.33 olduğu görülmüştür.

3.3. Deneysel Çalışmanın Değerlendirilmesi

KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinden elde edilen SAÇ kullanılarak yapılan deneysel çalışmada, susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının hiçbir katkı malzemesi kullanmadan ve bu arıtma çamuruna %15-25-35 oranlarında Z, B, T ve K ilavesi yapıldığında elde edilen çamur numunelerinin, yüzde TKM oranlarının değişimi incelenmiştir. Ayrıca yedi haftalık kuruma periyodu boyunca bu arıtma çamurlarının görsel değişimleri de detaylı olarak verilmiştir.

SAÇ'nin başlangıç kuruluğuna, eklenen tüm katı malzemelerinin farklı oranlarda da olsa ilave bir kuruluk sağladığı ve kurumayı hızlandırdığı görülmüştür. Z, T, B ve K kullanılarak %15-25-35 oranlarında hazırlanan tüm çamur numunelerinde, 7 haftalık bekleme süresince en iyi kuruluk oranına Z ile ulaşıldığı görülmüştür. SAÇ'ye eklenen malzemenin yüzde olarak çamura karıştırılma oranı ve BS arttıkça elde edilen kuruluk oranının da yükseldiği fakat bu yükselişin eklenen ilave malzemenin çamura karıştırılma oranı ile orantılı olarak bir artış sağlamadığı görülmüştür. Örneğin arıtma çamuruna %25 Z ilavesi ile 7 hafta sonunda, AÇ'nin başlangıç TKM oranına göre %76.75 ilave bir kuruluk sağlanırken, aynı çamura %35 oranında Z ilave edildiğinde AÇ'nin başlangıç TKM oranına ilave olarak sağlanan kuruluğun %78.33 olduğu görülmüştür. Yani çamura %25 Z ilavesi ile %35 Z ilavesinin sağladığı kuruluk 7 hafta sonunda neredeyse aynı olup eğer Z kullanımı tercih edilecek ise Z'yi %25 oranında kullanarak aynı sonuca ulaşılabileceği görülmüştür.

Hazırlanan çamur numunelerinin hepsi görsel olarak bir bütün halinde incelendiğinde, kurumanın, çamur numunelerinin üst yüzeylerinden başladığı ve BS arttıkça çamur içindeki mevcut suyun uzaklaşmasına bağlı olarak çamur hacimlerinde gözlemlenebilir bir azalmanın meydana geldiği görülmüştür. Kurumanın etkisi ile, çamur yüzeylerinden tabana doğru giderek sertleşen ve kalınlaşan bir tabaka oluşmakta ve bu tabakanın kalınlığı ile sertliği, çamur numuneleri hazırlanırken kullanılan malzemenin cinsine göre farklılık göstermektedir. Örneğin, en sert tabaka kireç ilavesi ile hazırlanan numunelerde meydana gelirken en yumuşak tabaka ise talaş ilavesi ile hazırlanan numunelerde meydana gelmiştir. Talaş ilavesi ile hazırlanan numunelerde, toplam numune miktarı diğer numuneler ile aynı (1500 g) olmasına rağmen talaşın yoğunluğu

ve fiziksel yapısına bağlı olarak başlangıçta, deney kabı içerisindeki numune hacminin, diğer numunelerin başlangıç hacimlerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. SAÇ'ye farklı malzemelerin değişik oranlarda karıştırılması işleminin kuruluğa sağladığı ilave katkıdan dolayı, SAÇ'nin BS ve çamura eklenen malzemenin yüzde miktarı arttıkça, elde edilen çamur numunelerinin karıştırılarak homojen hale getirilme işleminin kolaylaştığı görülmüştür. Çamur numunelerinin homojenleştirme işleminden sonraki yapısal formları dikkate alındığında, SAÇ'ye karıştırılan malzemenin cinsine ve karıştırma oranına bağlı olarak, artan bekleme sürelerinde, bu çamurların araziye uygulamalarında yada dolgu malzemesi olarak kullanılırken uygulamada kolaylık sağlayacak bir yapıya dönüştükleri görülmüştür.

4. BÖLÜM

SUSUZLAŞTIRILMIŞ ARITMA ÇAMURLARI İÇİN GAZLAŞTIRMA PROSESİ SİMÜLASYONU VE ENERJİ POTANSİYELİNİN HESAPLANMASI

4.1. Giriş

Atıksu arıtma tesisleri susuzlaştırma ünitelerinde meydana gelen ve ortalama %20-25 TKM içeriğine sahip susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının çevresel ve ekonomik anlamda en uygun şekilde bertaraf edilip değerlendirilmesi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çok önemli bir mühendislik çalışma alanını oluşturmaktadır. Bu arıtma çamurlarının, uygun teknolojiler kullanılarak çevreye en az zarar verecek özellik ve miktarlara ulaştırılması sağlanırken aynı zamanda da organik içeriklerinden kaynaklı enerji potansiyellerinden de faydalanmak mümkündür. Konu ile ilgili yapılan son çalışmalar, gazlaştırma teknolojilerinin, arıtma çamurlarının nihai bertarafı ve enerji geri kazanımı konusunda diğer yöntemlere kıyasla birçok üstün özelliklerinin bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Arıtma çamurlarının gazlaştırılarak bertaraf edilmesi ve enerji potansiyelinin ortaya konulması amacı ile Aspen Plus programı kullanılarak yapılan modelleme çalışmasında, KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinde, miktar olarak günde ortalama 250 ton ve %20 TKM içeriğine sahip olarak meydana gelen susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının bertarafı ve enerjisinden yararlanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırmanın deneysel kısmında yapılan analizler için, KASKİ AAT Laboratuvar'ı olanaklarından yararlanılmıştır. Söz konusu arıtma çamurunun simülasyonunda gerekli olan analizler ise, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında T.C Sağlık Bakanlığı

Kayseri İl Halk Sağlığı Laboratuvar Müdürlüğü'nde ve Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Uygulamaları Merkezi'nde yaptırılmıştır. Aspen Plus programı kullanılarak kurutma, gazlaştırma, gaz temizleme, yakma ve elektrik üretimi aşamalarını içinde bulunduran entegre bir gazlaştırma prosesi simüle edilmiştir. Modellemede KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinden ortalama %20 TKM içeriğine sahip olarak elde edilen susuzlaştırılmış arıtma çamurları kullanılmıştır. Gazlaştırma prosesinin çalışma şartları için seçilen temel parametreler ise konu ile ilgili daha önceden yapılmış araştırmalarda ortaya konulan en uygun çalışma koşulları dikkate alınarak seçilmiştir.

4.2. Gazlaştırma Prosesi Modellemesi

SAÇ bertarafı ve enerji geri kazanımını amacı ile modellemesi yapılan gazlaştırma prosesi; kurutma, gazlaştırma, gaz temizleme, yakma ve enerji üretimi aşamalarından oluşmaktadır. Kullanılacak AÇ'nin yüksek başlangıç nem içeriğine sahip olması, tasarlanan entegre gazlaştırma prosesinde gazlaştırma işleminin verimli bir şekilde sağlanabilmesi için kurutma bölümü ve gazlaştırmadan elde edilen sentez gazının kalitesini yükseltmek, aynı zamanda da elde edilecek enerji miktarında bir artış sağlamak amacı ile gaz temizleme sistemini de bulundurmaktadır.

Susuzlaştırılmış arıtma çamurları için entegre gazlaştırma prosesi simülasyonu tasarlayabilmek için öncelikle; gazlaştırılması planlanan susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının içeriğinin bilinmesi ve gazlaştırma prosesi için optimum çalışma koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında gazlaştırma prosesinde, çalışma basıncı olarak 1 atm, gazlaştırma sıcaklığı olarak 1350ºC ve gazlaştırma reaktörüne yapılan beslemenin nem oranı %20 olarak seçilmiştir.

KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesi çıkışından alınan SAÇ numunelerinin (numune 1 için TKM= %20.16 ve numune 2 için TKM= %19.64) analiz sonuçları Tablo 4.1 ve tablo 4.2'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Susuzlaştırılmış arıtma çamurunun kuru bazda analiz sonuçları (T.C Sağlık Bakanlığı Kayseri İl Halk Sağlığı Laboratuvarı)

Parametre	**Sonuç**	
	Numune 1	**Numune 2**
Toplam Kükürt (%)	0.65	0.64
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	3348	3319
Uçucu Madde (%)	66.46	66.53
Toplam Nem (%)	6.59	6.78
Kül (%)	29.64	29.20

Tablo 4.2. Susuzlaştırılmış arıtma çamuru kuru bazda elementel analiz sonuçları (Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Merkezi)

Parametre	**Sonuç (%)**	
	Numune 1	**Numune 2**
Karbon	35.089	35.584
Hidrojen	4.7817	4.9481
Oksijen	27.205	27.651
Azot	4.5705	5.5354
Kükürt	0.15716	0.11674
Kül	27.75	26.84

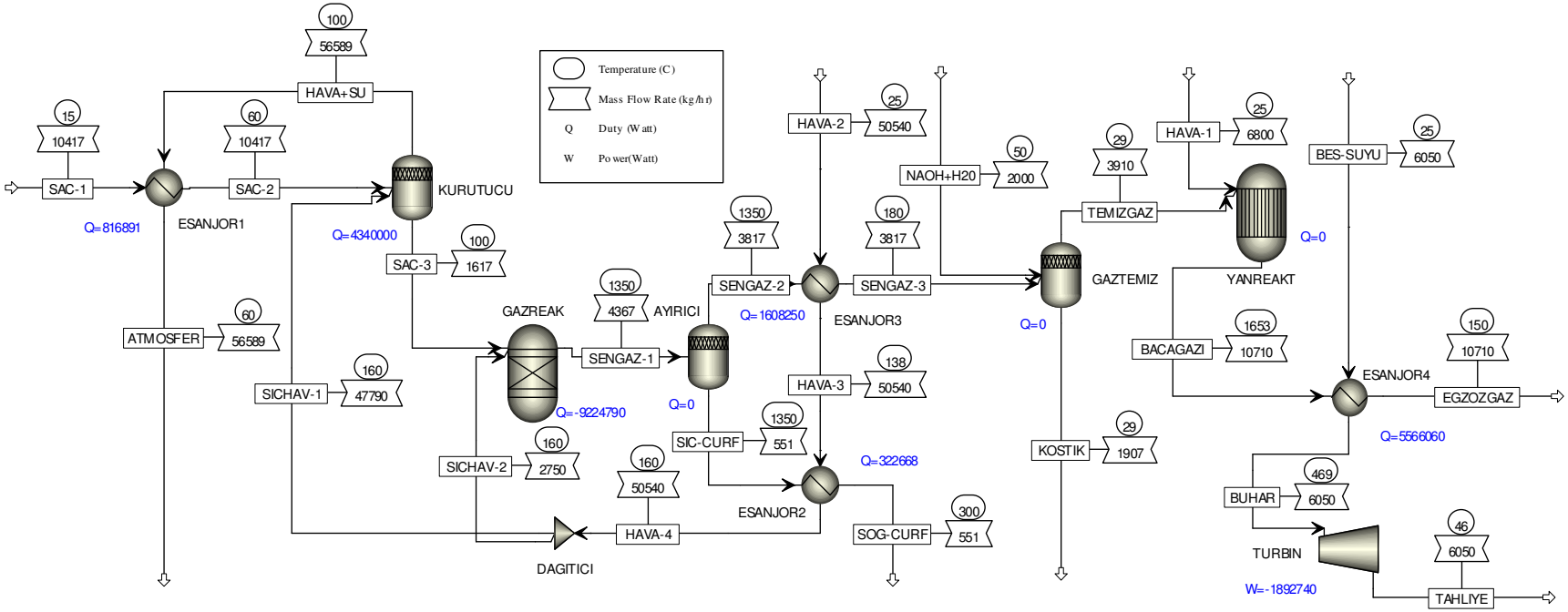
Tablo 4.3'de SAÇ numunelerinin kül içeriğini gösteren analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.3. Susuzlaştırılmış arıtma çamuru kül analiz sonuçları (Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Merkezi)

Parametre	**Sonuç (%)**	
	Numune 1	**Numune 2**
CaO	26.5637	24.8052
SiO_2	29.9459	27.5384
Fe_2O_3	8.6014	9.1549
P_2O_5	12.0667	15.5173
SO_3	2.0790	1.4346
Al_2O_3	9.4619	8.5958
K_2O	3.4735	4.2201
MgO	3.5219	3.8430
TiO_2	0.8710	0.8288
ZnO	0.6786	0.8164
Na_2O	1.5313	1.7398
Cl	0.2372	0.2330
ZrO_2	0.0132	0.3797
BaO	0.1262	0.1379
Cr_2O_3	0.1585	0.1585
CuO	0.1098	0.1255
SrO	0.1014	0.0817
MnO	0.0918	0.0667
NiO	0.0663	0.1124
PbO	0.0768	0.0881
CdO	0.0312	0.0133
Br	0.0184	0.0226
Rb_2O	0.0092	0.0110
Y_2O_3	0.0026	0.0030

4.2.1. KASKİ AAT SAÇ Entegre Gazlaştırma Prosesi

Yaklaşık %80 nem içeriğine sahip ve ortalama 250 ton/gün olacak şekilde meydana gelen KASKİ AAT SAÇ için Aspen Plus programı kullanılarak oluşturulan kurutma, gazlaştırma, gaz temizleme, yakma ve enerji üretimi aşamalarını da içinde bulunduran entegre gazlaştırma prosesi akış diyagramı Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. KASKİ AAT SAÇ entegre gazlaştırma prosesi akış diyagramı

Simüle edilen bu entegre gazlaştırma prosesi için, çalışma basıncı 1 atm ve gazlaştırma sıcaklığı olarak ise 1350ºC seçilmiştir. Gazlaştırma prosesleri için kullanılan hava miktarı, gazlaştırılacak malzemenin nem içeriği ve gazlaştırma sıcaklığı çok büyük önem arz etmektedir. KASKİ AAT susuzlaştırma ünitesinden alınan %79.84 nem içeriğine sahip SAÇ 15ºC'de (çamur sıcaklığı mevsimsel olarak değişebilmektedir, çamur besleme sıcaklığının artması kurutmada harcanacak enerji miktarını azaltacaktır) ve saatte 10.417 kg olacak şekilde sisteme beslenmektedir. Bu çamur, kurutucu çıkışındaki sıcak hava ve uzaklaştırılan su karışımından oluşan 100ºC'deki akım ile karşılaştırılarak ön ısıtma ile 60ºC sıcaklıkta kurutucuya gönderilmektedir. AÇ burada, gazlaştırma işlemi sonrasında elde edilen sentez gazının soğutulması ile ısıtılan hava ve ilave elektrik kullanımı ile %19.84 su içerecek şekilde kurutulmaktadır. Gazlaştırma reaksiyonları su gerektiren bir reaksiyon olduğu için, AÇ içinde belli miktarda su bulunması gerekmektedir. Gazlaştırılacak malzeme içindeki suyun, tamamına yakınının uzaklaştırıldıktan sonra gazlaştırıcıya besleme yapılması durumunda, gazlaştırılacak malzeme içindeki karbonun bir kısmının reaksiyona girmeden cüruf (vitrifiye malzeme) içinde uzaklaşması problemleri yaşandığı için yakıtın tam kurutulması tercih edilmemektedir. Bu nedenle AÇ, kurutucuda özellikle tam kurutulmayıp yaklaşık %20 nem içerecek şekilde kurutulmuştur. Kurutucudan 100ºC ve %19.84 su içeriğine sahip şekilde çıkan AÇ, gazlaştırma reaktörüne beslenmektedir. Gazlaştırma reaktörü olarak Gibbs Faz Reaktörü seçilmiştir. Gazlaştırma reaktöründe sıcak hava ve elektrik enerjisi kullanılarak 1350ºC'de gazlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Gazlaştırma işlemi sonrasında reaktörün üst kısmından 1350ºC'de sentez gazı ve alt kısmından ise yine 1350ºC'de 551 kg/saat cüruf (vitrifiye malzeme) oluşumu sağlanmıştır. Tablo 4.4'de gazlaştırma işlemi ile elde edilen sentez gazının kompozisyonu ve Tablo 4.5'de elde edilen vitrifiye malzemenin içeriği gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Elde edilen sentez gazın kompozisyonu.

Kompozisyon	**SENGAZ-3 (%)**
H_2O	-
CO	39.58
CH_4	3.23
H_2	0.13
N_2	56.94

Tablo 4.5. Vitrifiye malzeme kompozisyonu

Kompozisyon	**Vitrifiye (SOG-CURF)**	
	Birim (%)	**Birim (kg/saat)**
C	0.017	0.091
CaO	28.27	155.66
SiO_2	31.85	175.33
Fe_2O_3	09.15	50.40
P_2O_5	12.84	70.71
Al	10.06	55.37
K_2O	3.70	20.35
TiO_2	0.93	5.10
ZnO	0.70	3.84
Na_2O	1.63	8.97
Cr_2O_3	0.170	0.93
CuO	0.116	0.64
SrO	0.107	0.59
MnO	0.098	0.54
NiO	0.071	0.39
Pb	0.038	0.21
Cd	0.033	0.18

Kullanılan eşanjörler yardımı ile, gazlaştırma reaktörü çıkışında elde edilen sentez gazı ve vitrifiye malzeme soğutularak, gazlaştırma reaktörüne ve kurutucuya beslenen havanın ısıtılması sağlanmıştır. Bu sayede hava ısıtmada kullanılacak enerji miktarı

azaltılmıştır. 180ºC'ye soğutulmuş sentez gazı, içerdiği kükürdün tutulması ve gazın temizlenmesi amacı ile NaOH çözeltisi kullanılarak gaz temizleme sisteminde yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Kostik yıkaması ile gaz temizliği yapan endüstriyel sistemlerde, temizlenecek gaz içinde molar bazda ne kadar H_2S varsa en az o kadar da molar bazda NaOH kullanılması gerekmektedir.

Kostik yıkamasından sonra temizlenen sentez gazı yanma reaktörüne gönderilmektedir. Bu sistemde yanma fırını, Stociemetrik Reaktör olarak seçilmiştir. Sentez gazının, baca gazında %2.15 O_2 olacak şekilde fazla hava kullanılarak yanması sağlanmaktadır. Yanma sonucu 1653ºC'de baca gazı elde edilmiştir. Elde edilen baca gazının sıcaklığı buhar üretimi için kullanılmıştır. Buhar üretiminde kullanılan baca gazının sıcaklığı en fazla, baca gazı içindeki suyun kondens (yoğuşma) olma sıcaklığına kadar düşürülebilir. Daha fazla düşürüldüğünde, baca gazı içindeki suyun kondens olarak ekipmanlara zarar verme problemi yaşanmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda baca gazı sıcaklığının 100-200ºC aralığına kadar düşürülmesi tercih edilmektedir. Bu veriler dikkate alındığında, hazırlanan entegre azlaştırma prosesinde baca gazı sıcaklığının 150ºC'ye düşürülmesi uygun görülmüş ve kullanılması gereken 25ºC'deki besleme suyunun miktarı, 1653ºC'deki baca gazı sıcaklığını 150ºC'ye düşürebilmek için gerekli olacak miktarda ayarlanmıştır. Sonuçta saatte 6050 kg ve 469ºC'de doygun buhar üretimi sağlanmıştır. Tablo 4.6'da buhar üretiminden sonra atmosfere salınan egzoz gazının emisyon değerleri görülmektedir.

Tablo 4.6. Buhar üretimi sonrası atmosfere salınan egzoz gazı emisyon değerleri

Kompozisyon	**Birim (%)**	**Birim (kg/saat)**
H_2O	3.52	376.83
CO_2	25.3	2709.62
O_2	2.15	230.12
N_2	68.98	7388.12

Bu emisyon değerleri incelendiğinde, entegre gazlaştırma proseslerinin çevresel anlamda, çamur bertarafında kullanılan doğrudan yakma gibi yöntemlere göre önemli üstünlüklerinin olduğu görülmektedir.

Baca gazının ısısı kullanılarak elde edilen yüksek basınçlı doygun buhar, buhar türbinine gönderilmiştir. Türbinden sonra elektrik üretimi için kullanılması gereken jeneratörün, buhar türbininde elde edilen gücün tamamını elektrik enerjisine çevirdiği kabul edilerek 1.89 MW elektrik üretimi sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Tasarlanan bu gazlaştırma prosesinde, kurutma ünitesi ve gazlaştırma reaktöründe sisteme dışarıdan enerji verilmesi gerekirken buhar türbininde üretilen elektrik ile sistemden enerji kazanımı sağlanmaktadır. KASKİ AAT SAÇ entegre gazlaştırma prosesi bir bütün olarak enerji kazanımı anlamında değerlendirilecek olursa; AÇ'yi kurutmada harcanan enerji ve kurutulmuş AÇ'yi gazlaştırma reaktöründe gazlaştırırken harcanan enerjilerin toplamının, buhar türbininde üretilen enerjiden daha düşük olması bu sistemin enerji anlamında verimli bir proses olacağının somut bir göstergesi olacaktır. Gazlaştırma reaktöründe, gazlaştırma için kullanılması gereken ilave elektrik enerjisi hesaba katılmasa bile, sırf AÇ'yi yaklaşık %20 nem içeriğine kurutabilmek için harcamamız gereken enerjinin yaklaşık 5.1MW olduğu fakat buna karşılık üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık 1.89 MW olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar dikkate alındığında gazlaştırma teknolojisinin, KASKİ AAT SAÇ (ortalama %80 nem içerikli) bertarafı için çevresel anlamda uygun fakat, enerji kazanımı anlamında ise ilave enerji gereksiniminden dolayı karlı bir proses olmadığı görülmektedir.

4.3. Modelleme Çalışmasının Değerlendirilmesi

Kurutma, gazlaştırma, gaz temizleme, yakma ve enerji üretimi aşamalarını bünyesinde bulunduran entegre gazlaştırma teknolojisinin, sağladığı çevresel kazanımlar ve düşük emisyon değerleri nedeni ile SAÇ bertarafı için tercih edilmesi gereken bir teknoloji olduğu açıkça görülmektedir. Modelleme çalışmasında kullanılan SAÇ numunesinin kuru bazdaki analiz sonuçları dikkate alındığında, alt ısıl değeri baz alınarak yapılan hesaplamayla enerji potansiyeli 8.18 MW olarak hesaplanmıştır. Simülasyonu yapılan entegre gazlaştırma prosesi ile 8.18 MW enerji potansiyeli bulunan SAÇ'nin enerjisinin 1.89 MW'lık kısmından faydalanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak sadece kurutma bölümünde harcanması gereken 5.1 MW'lık enerji dikkate alındığında ilave enerji gereksiniminden dolayı bu prosesin, enerji anlamında verimli bir proses olmadığı görülmektedir. Bu prosesi ekonomik anlamda da karlı bir proses haline dönüştürebilmek

için, AÇ'nin sisteme daha kuru olarak beslenmesini sağlamak yada çamurun çürütme işlemine tabi tutulmadan daha yüksek kalorifik değere sahip iken kullanmak gerekmektedir. Bu noktada tezin deneysel ve modelleme kısımları birlikte düşünülecek olursa; KASKİ AAT susuzlaştırılma ünitesinden elde edilen SAÇ keklerinin tasarlanan entegre gazlaştırma prosesi ile bertarafını sağlarken net enerji kazanımı sağlayabilmek için; bu çamur keklerinin talaş gibi malzemeler ile karıştırılıp bir yandan kuruluk oranlarının artması sağlanırken aynı zamanda da elde edilen yeni karışımın kalorifik değerinde de bir artış sağlayarak, bu şekilde kullanımı tercih edilebilir.

5. BÖLÜM

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Sonuç ve Öneriler

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının miktarları, nüfus artışı ve sanayileşmeyle birlikte her geçen gün fazlalaşmaktadır. Örneğin sadece Kayseri'de günde ortalama 250 ton susuzlaştırılmış arıtma çamuru meydana gelmektedir. Bu çamurun yaklaşık %80'lik bir kısmı su ve geri kalan %20'lik kısmı ise katı maddelerden oluşmaktadır. Ülkemizde bu çamurların büyük bir kısmı depolama alanlarında toplanmaktadır. Depolama alanlarındaki yer sıkıntısı ve süzüntü suyunun yer altı kaynaklara karışma tehlikesi, kötü koku ve sinek oluşumu gibi öne çıkan olumsuz çevresel etkilerinden dolayı bu arıtma çamurlarının çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi konusu büyük önem arz etmektedir. Bununla birlikte, susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının bünyelerindeki organik içeriklerinden kaynaklanan enerji potansiyellerinin, uygun teknolojiler kullanılarak alternatif enerji kaynağı şeklinde kullanılması ekonomik anlamda çok büyük önem taşımaktadır.

Susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının kuruluk oranları ne kadar çok artırılabilir ise; hacimsel anlamda ilk hacimlerine oranla önemli bir azalma sağlanacak, çamur daha stabil hale gelecek, kokuşma-bozuşma problemleri azaltılmış olacak, araziye uygulamada sağladığı kolaylık artacak, enerji geri kazanımı açısından değerlendirildiğinde ise kalorifik değerinde bir yükselme sağlanmış olacaktır.

Yapılan deneysel çalışma ile, susuzlaştırılmış arıtma çamuru keklerinin hiçbir katkı malzemesi eklenmemiş hali ile 7 hafta sonunda, %19.14 başlangıç toplam katı-kuru madde oranından, ancak %31.25 toplam katı-kuru madde oranına erişebilecekleri

belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçtan yola çıkılarak, atıksu arıtma tesisinden çıktığı hali ile depolama sahalarına gönderilen susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının toplam katı-kuru madde oranlarının zamanla çok fazla değişiklik göstermeyeceği, bünyelerindeki yüksek nem içeriğinden dolayı sürekli bir bozuşma ve kokuşma eğiliminde olacakları söylenebilir. Bu çamur keklerinin bertarafında günümüzde yaygın olarak uygulanan depolama yönteminin tercih edilmesi, susuzlaştırılmış arıtma çamuru keklerinin içerdikleri %80 oranındaki sulu kısımları nedeni ile, depolandıkları bölgelerde uzun zamanlarda da olsa sularını sızıntı şeklinde toprağa bırakacaklarından yer altı su kaynaklarına karışarak kirlilik oluşturma tehlikesini de beraberinde getirmektedir. Susuzlaştırılmış arıtma çamurların çevreye olan olumsuz etkilerini en aza indirmede ve bu çamur keklerinin farklı amaçlarla kullanılabilmesinde uygulama kolaylığı sağlamada susuzlaştırılmış arıtma çamurunun kuruluk oranı çok büyük önem arz etmektedir.

Susuzlaştırılmış arıtma çamurunun kuruluk oranına, zeolit bims, talaş ve kireç gibi malzemelerin nasıl katkı sağladığını belirlemek amacı ile yapılan deneysel çalışmada, susuzlaştırılmış arıtma çamuruna eklenen tüm katı malzemelerinin ilave bir kuruluk sağladığı ve kurumayı hızlandırdığı görülmüştür. Zeolit, talaş, bims ve kirecin %15-25-35 oranlarında eklenmesi ile elde edilen tüm çamur numunelerinde, 7 haftalık bekleme süresi boyunca en iyi kuruluk oranına zeolit ilavesi ile ulaşıldığı görülmüştür. Zeolit'ten sonra en iyi kuruluk oranına sırası ile bims, kireç ve talaş ilave edildiğinde ulaşılmıştır. Susuzlaştırılmış arıtma çamurunun eklenen malzemenin miktarı ve bekleme süresi arttıkça, elde edilen kuruluk oranının da yükseldiği fakat bu yükselişin, eklenen ilave malzemenin çamura karıştırılma oranı ile orantılı bir şekilde artış göstermediği sonucuna ulaşılmıştır. Örneğin arıtma çamuruna %25 zeolit eklenmesi ile, arıtma çamurunun başlangıç toplam katı-kuru madde oranına göre %76.75 ilave bir kuruluk sağlanırken, aynı çamura %35 oranında zeolit eklendiğinde sağlanan ilave kuruluğun %78.33 olduğu belirlenmiştir. Yani çamura %25 zeolit ilavesi ile %35 zeolit ilavesinin sağladığı kuruluk 7 hafta sonunda neredeyse aynı olup eğer susuzlaştırılmış arıtma çamurunun kuruluğunu artırmak ve arazide kullanım gibi farklı amaçlar için kullanılabilirliğini artırmak amacı ile zeolit kullanımı tercih edilecek ise zeoliti %35 yerine %25 oranında kullanarak aynı sonuca ulaşılabileceği tespit edilmiştir.

Susuzlaştırılmış arıtma çamuruna eklenen malzeme oranı %15 iken, 7 hafta sonunda ulaşılan kuruluk oranları karşılaştırıldığında, bu oranların birbirlerine çok yakın olduğu görülmüş ve kullanılan malzeme cinsinin çamur kuruluğuna, diğer malzemelerden çok belirgin bir üstünlük sağlamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Susuzlaştırılmış arıtma çamuruna eklenen malzeme oranı %25'e çıkartıldığında, özellikle zeolit ve bims ilavesi ile hazırlanan numunelerin kuruluk oranlarının, talaş ve kireç ilavesi ile hazırlanan numunelerin kuruluk oranlarına kıyasla çok hızlı bir şekilde artış gösterdiği görülmüştür. Susuzlaştırılmış arıtma çamuruna eklenen malzeme oranının %35'e çıkarılması ile, çamur kuruluğunda, %25 malzeme ilavesinde elde edilen kuruluk sonuçlarına çok yakın değerler elde edildiği için, %25 oranının üzerinde bir malzeme ilavesinin gereksiz olacağı belirlenmiştir.

Deney sonuçları gözlemsel olarak değerlendirilecek olursa; kurumanın, çamur numunelerinin üst yüzeylerinden başladığı ve bekleme süresi arttıkça çamur içindeki mevcut suyun uzaklaşmasına bağlı olarak çamur hacimlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Kurumanın etkisi ile, çamur yüzeylerinden tabana doğru giderek sertleşen ve kalınlaşan bir tabaka oluşmakta ve bu tabakanın kalınlığı ile sertliği, çamur numuneleri hazırlanırken kullanılan malzemenin cinsine göre farklılık göstermektedir. Örneğin, en sert tabaka kireç ilavesi ile hazırlanan numunelerde meydana gelirken en yumuşak tabaka ise talaş ilavesi ile hazırlanan numunelerde meydana gelmiştir. Talaş ilavesi ile hazırlanan numunelerde, çalışmada kullanılan toplam numune miktarı diğer numuneler ile aynı olmasına rağmen, talaşın yoğunluğu ve fiziksel yapısına bağlı olarak talaşlı numunelerin deney kabı içerisindeki başlangıç hacimlerinin, diğer numunelerin başlangıç hacimlerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bekleme süresi ve çamura eklenen malzeme miktarı arttıkça, çamur numunelerinin homojen hale getirilme işleminin kolaylaştığı görülmüştür. Çamur numunelerinin homojenleştirme işleminden sonraki yapısal formları dikkate alındığında, susuzlaştırılmış arıtma çamuruna karıştırılan malzemenin cinsine ve karıştırma oranına bağlı olarak artan bekleme sürelerinde bu çamurların arazi uygulamaları ve dolgu malzemesi olarak kullanılmaya kolaylık sağlayacak bir yapıya dönüştükleri görülmüştür.

Deneysel çalışmada elde edilen veriler kullanılarak; susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının ulaşması istenilen bir kuruluk oranına, hangi malzeme ile hangi karışım oranında ve ne

kadar sürede gelebileceği hakkında rahatlıkla fikir yürütülebilir ve yöntem seçiminde en uygun tercihin yapılması sağlanabilir.

Susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının bertarafı sağlanırken aynı zamanda da enerjilerinden yararlanılabilirliğini ortaya koymak amacı ile yapılan modelleme çalışmasında; kurutma, gazlaştırma, gaz temizleme, yakma ve enerji üretimi aşamalarını bünyesinde bulunduran entegre bir gazlaştırma prosesi simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları dikkate alındığında, entegre gazlaştırma prosesinin, sağladığı çevresel kazanımlar ve düşük emisyon değerleri sebebi ile susuzlaştırılmış arıtma çamuru bertarafı için tercih edilmesi gereken, uygulanabilir bir teknoloji olduğu açıkça görülmektedir. Entegre gazlaştırma prosesi ile Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Atıksu Arıtma Tesisi susuzlaştırma ünitesinde, günde ortalama 250 ton ve yaklaşık %20 toplam katı-kuru içerecek şekilde meydana gelen susuzlaştırılmış arıtma çamurlarından 1.89 MW elektrik enerjisi üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Kullanılan susuzlaştırılmış arıtma çamurunun yüksek başlangıç nem oranı sebebi ile, susuzlaştırılmış arıtma çamurunun gazlaştırmaya uygun hale gelebilmesi için kurutulması gerektiği ve bu kurutmayı sağlayabilmek için kurutma bölümünde 5.1 MW ilave enerji gerektiği tespit edilmiştir. Kurutma bölümünde gereken ilave enerjinin, üreteceğimiz enerjiden daha fazla olması nedeni ile, Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi Atıksu Arıtma Tesisi susuzlaştırılmış arıtma çamurunun tek başına gazlaştırma prosesi kullanılarak gazlaştırılması ile enerji kazanımının sağlanamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Sistemde en fazla enerji, kurutma bölümünde harcanmaktadır. Bu prosesi ekonomik anlamda da karlı bir proses haline dönüştürebilmek için, arıtma çamurunun sisteme daha kuru olarak beslenmesini sağlamak yada çamurun çürütme işlemine tabi tutulmadan daha yüksek kalorifik değere sahip iken kullanmak gerekmektedir. Bu noktada tezin deneysel ve modelleme kısımları birlikte düşünülecek olursa; susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının, tasarlanan entegre gazlaştırma prosesi ile bertarafını sağlarken net enerji kazanımı da elde edebilmek için; bu çamur keklerinin talaş gibi malzemeler ile karıştırılıp bir yandan kuruluk oranlarının artması sağlanırken aynı zamanda da elde edilen yeni karışımın kalorifik değerinde de bir artış sağlanmış olacağı için, susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının bu şekilde kullanımı tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Soysal, C., 2008. Dizel Motorlarında Biyodizel - Dizel Yakıtı Karışımlarının Kullanılmasının Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 166 s.
2. Web Sayfası http://enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/2014_Plan_ve_Butce_Komisyonu_Konusmasi.pdf (Erişim tarihi: Aralık 2013).
3. Koç, M.Ü., 2002. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye'de Yaz ve Kış Klimasında Uygulama Alanlarının Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 96 s.
4. Bozkurt, A.U., 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 144 s.
5. Can, S., 2011. Alternatif Enerji Kaynakları Potansiyelinin Yönetilmesi: Çanakkale İli Örneği. Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale, 144 s.
6. Ablabekova, A., 2008. İktisadi Etkinlik Açısından Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Fosil Yakıtlar İle Karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 198 s.
7. Eroğlu, M., 2011. Enerji Çeşitliliği ve Gümüşhane İli Su Potansiyelinin Hidroelektrik Enerji Üretimi Yönünden İncelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane, 121 s.
8. Yamak, T., 2006. Türkiye'nin Alternatif Enerji Kaynakları Potansiyeli ve Ekonomik Analizleri. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 180 s.
9. Taşkıran, I., 2009. Yenilenebilir enerjide orman biyokütlesinin durumu ve orman genel müdürlüğünde biyoenerji konusunda yapılan çalışmalar, V. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Kayseri, 22 s.
10. Pinto, F., Franco, C., Andre, R.N., Tavares, C., Dias, M., Gulyurtlu, I., Cabrita, I., 2003. Effect of experimental conditions on co-gasification of coal,

biomass and plastics wastes with air/steam mixtures in a fluidized bed system, **Fuel, 82** : 1967–1976.

11. Petersen, I., Werther, J., 2005. Experimental investigation and modeling of gasification of sewage sludge in the circulating fluidized bed, **Chemical Engineering and Processing, 44** : 717–736.
12. Mountouris, A., Voutsas, E., Tassios, D., 2006. Solid waste plasma gasification: equilibrium model development and exergy analysis, **Energy Conversion and Management, 47** : 1723–1737.
13. Kanchanapiya, P., Sakano, T., Kanaoka, C., Mikuni, T., Nimoniya, Y., Zhang, L., Masui, M., Masami, F., 2006. Characteristics of slag, fly ash and deposited particles during melting of dewatered sewage sludge in a pilot plant, **Journal of Environmental Management, 79** : 163–172.
14. Mountouris, A., Voutsas, E., Tassios, D., 2008. Plasma gasification of sewage sludge: process development and energy optimization, **Energy Conversion and Management, 49** : 2264–2271.
15. Manya, J.J., Sanchez, J., Abrego, J., Gonzalo, A., Arauzo, J., 2006. Influence of gas residence time and air ratio on the air gasification of dried sewage sludge in a bubbling fluidised bed, **Fuel, 85** : 2027–2033.
16. Nikoo, M.B., Mahinpey, N., 2008. Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using apsen plus, **Biomass and Bioenergy, 32** : 1245–1254.
17. Minutillo, M., Perna, A., Di Pona, D., 2009. Modelling and performance analysis of an integrated plasma gasification combined cycle (IPGCC) power plant, **Energy Conversion and Management, 50** : 2837–2842.
18. Karamarkovic, R., Karamarkovic, V., 2010. Energy and exergy analysis of biomass gasification at different temperatures, **Energy, 35** : 537–549.
19. Nipattummakul, N., Ahmed, I., Kerdsuwan, S., Gupta, A., 2010. Hydrogen and syngas production from sewage sludge via steam gasification, **International Journal of Hydrogen Energy, 35** : 11738-11745.
20. Li-ping, X., Tao, L., Jian-dong, G., Xue-ning, F., Xia, W. Yuan-guang, J., Effect of moisture content in sewage sludge on air gasification, **J Fuel Chem Technol, 38**(5), 615-620.

21. Bahavanam, A., Sastry, R.C., 2011. Biomass gasification processes in downdraft fixed bed reactors: a review, **International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 2**, No. 6.
22. Valmundsson, A.S., Janajreh, I., 2011. Plasma gasification process modeling and energy recovery from solid waste, Proceedings of the ASME 2011 5th International Conference on Energy Sustainability, August 7-10, 2011, Washington, DC, USA.
23. Chen, C., Jin, Y.Q., Yan, J.H., Chi, J., 2013. Simulation of municipal solid waste gasification in two different types of fixed bed reactors, **Fuel, 103** : 58-63.
24. Lombardi, L., Carnevale, E., Corti, A., 2012. Analysis of energy recovery potential using innovative technologies of waste gasification, **Waste Management, 32** : 640–652.
25. Zhang, O., Dor, L., Biswas, A.K., Yang, W., Blasiak, W., 2013. Modeling of steam plasma gasification for municipal solid waste, **Fuel Processing Technology, 106** : 546-554.
26. Zhang, O., Dor, L., Fenigshtein, D., Yang, W., Blasiak, W., 2012. Gasification of municipal solid waste in the plasma gasification melting process, **Applied Energy, 90** : 106–112.
27. Azzone, E., Morini, M., Pinelli, M., 2012. Development of an equilibrium model for the simulation of thermochemical gasification and application to agricultural residues, **Renewable Energy, 46** : 248-254.
28. Nilsson, S., Gomez-Barea, A., Fuentes-Cano, D., Ollero, P., 2012. Gasification of biomass and waste in a staged fluidized bed gasifier: modeling and comparison with one-stage units, **Fuel, 97** : 730–740.
29. Arena, U., 2012. Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. a review, **Waste Management, 32** : 625–639.
30. Werle, S., 2012. Modeling of the reburning process using sewage sludge-derived syngas, **Waste Management, 32** : 753–758.
31. Janajreh, I., Raza, S.S., Valmundsson, A.S., 2013. Plasma gasification process modeling, simulation and comparison with conventional air gasification, **Energy Conversion and Management, 65** : 801–809.

32. Toraman, Ö.Y., 2002. Atıksu Atıtma Çamurunu Değerlendirme İmkanlarının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 172 s.

33. Göçmez, S., 2006. Menemen Ovası Topraklarında İzsu Kentsel arıtma Çamuru Uygulamalarının Mikrobiyal Aktivite ve Biyomas İle Bazı Fiziksel ve Kimyasal Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 224 s.

34. Dindar, E., 2008. Arıtma Çamuru Verilen Tarım Topraklarında Solucan Aktivitesinin Azot Formlarına ve Toprak Enzim Aktivitesine Etkisi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 139 s.

35. Disposal and Recycling Routes For Sewage Sludge, Scientific and Technical Sub-Component Report, Part 3, 23 October, 2001,sayfa 19.

36. Sultan, H., 2006. Çamurun Hamsudan Mekanik Olarak Ayrıştırma Sistemi Tasarımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 73 s.

37. Uzun, P., Bilgili, U., 2011. Arıtma çamurlarının tarımda kullanılma olanakları. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 25 (2) : 135-146.

38. Yaman, K., 2009. Arıtma Tesisi Çamurunun Tarımsal Amaçlı Kullanımında AB-Türkiye Politikalarının Karşılaştırılması. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 159 s.

39. Aydın, S., 2004. Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçlarla Kullanımının Araştırılması. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 112 s.

40. Sanin, F.D., 2012. Arıtma çamurlarının yönetimi ve yasal çerçeve. 2. Türk Alman GWP günü.

41. İşçi, S., 2006. Arıtma Çamurlarının Özellikleri ve Arazide Değerlendirme İmkanlarının Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 115 s.

42. Ünlü, A., Tunç, M.S., 2007. Elazığ kenti atıksu arıtma tesisi çamur işleme birimlerinin işletimlerinin değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi, 19(1), 53-60.

43. Coşkun, S., 2008. Evsel Atıksulardan Partikül Kirliliği Gideriminde Alüm Çamurunun Koagülant Olarak Kullanılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 80 s.
44. Hanay, Ö., 2008. Elektrokinetik İşlem İle Kentsel Arıtma Çamurundan Ağır Metallerin Giderimi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 136 s.
45. Tezcan, E., 2007. Adapazarı Karaman Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Giderimi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adapazarı, 116 s.
46. Ayvaz, Z., 2000. Atıksu arıtma çamurlarının değerlendirilmesi. Çev-Kor, 9 (35) : 3-12
47. Arıkan, O.A., Altınbaş, M., 2012. Çamur arıtma ve uzaklaştırma, Bölüm 10, s: 179-241. Atıksu arıtma tesisleri tasarım rehberi (Eds: İ. Koyuncu, İ. Öztürk, A.F. Aydın, K. Alp, O.A. Arıkan, G.H. İnsel, M. Altınbaş). T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
48. Web Sayfası http://www.dektmk.org.tr/upresimler/MTOLAY.pdf (Erişim tarihi: Ağustos 2013).
49. Akyarlı, A., Şahin, H., 2005. Arıtma çamurlarının bertarafında kireç kullanımı. I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, İzmir.
50. Öztürk, D.C., 2008. Biyolojik Arıtma Atık Çamurlarının Aerobik ve Anaerobik Stabilizasyonunun Değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 90 s.
51. Morgül, A., 2007. Çeşitli Sektörlere Ait Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Karakterizasyonu. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 63 s.
52. Tepe, M., 2005. Elazığ Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Suyu İle Arıtma Çamurundaki Parazit (helmit) Yumurta Düzeyleri. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 66 s.
53. Filibeli, A., Erden Kaynak, G., 2006. Arıtma Çamuru Miktarının Azaltılması ve Özelliklerinin İyileştirilmesi, **İtüdergisi/e**, Su Kirlenmesi Kontrolü, Cilt:16, Sayı:1-3, 3-12
54. Web sayfası http://www.istac.com.tr/cevre-ve-egitim/cevre-makaleleri.aspx Biyokatıların aerobik stabilizasyonu, (Erişim Tarihi: Kasım 2013).

55. Akpınar, N., 2006. Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 112 s.

56. Erdin, E., Şirin, G., Alten, A., 2002. Biyokütle Enerjisi ve Avrupa Birliği. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, Buca, İzmir.

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

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

59. Alpaslan, M.N., 2004. Arıtma Çamurlarının bertarafı, Bölüm 5, s: 1-37. Atıksu arıtma tesislerinin tasarım ve proje kontrol esasları (Eds: M.N. Alpaslan, D. Dölgen, M.F. İşgenç, H.İ. Kınay). TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İzmir.

60. Zorer Çelebi, Ş., Arvas, Ö., Şahar, A.K., Yılmaz, İ.H., 2011. Atıksu arıtma çamurunun yeşil alanlarda tesis gübresi olarak kullanılması. Harran üniversitesi ziraat fakültesi dergisi, 15 (3) : 1-8, 2011.

61. Saltabaş, F., Soysal, Y., Yıldız, Ş., Balahorli, V., 2009. Evsel katı atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul'a uygulanabilirliği. TÜRKAY 2009 Türkiye'de katı atık yönetimi sempozyumu, YTÜ, Haziran 15-17, 2009, İstanbul.

62. Demir, A., Yıldız, O., Akkaya, E., Güneş, G., Abamor, H.E., İstanbul'da atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının yönetimi, 2010. Atıksu arıtma çamurlarının susuzlaştırılması, pp. 24-27. 2. Atık teknolojileri sempozyumu ve sergisi, Kasım 4-5, 2010, İstanbul.

63. Tezcakar, M., Can, O., Atıktan enerji eldesinde termal bertaraf teknolojileri, 2010. Atıksu arıtma çamurlarının susuzlaştırılması, pp. 151-155. 2. Atık teknolojileri sempozyumu ve sergisi, Kasım 4-5, 2010, İstanbul.

64. Nurbay Özön, N., Kılıçaslan, İ., 2012. Kocaeli arıtma çamurlarının incelenmesi ve maliyeti ve dünyada arıtma çamurlarının yakarak bertarafı. 12. Uluslar arası yanma sempozyumu, Mayıs 24-26, 2012, Kocaeli.

65. Olgun, H., Doğru, M., Howarth, C.R., 1999. Katı atıkların enerji dönüşümünde kullanılması ve gazlaştırıcılar, pp. 835-853. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Kasım 1996, İzmir.

66. Web Sayfası http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyo_gazlastirme. (Erişim tarihi Aralık 2013)

67. Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Daradimos, G., Hirschfelder, H., Vostan, P., 2008. Temiz enerji üretimi için gazlaştırma teknolojisi, pp. 131-138, VII Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, 17-19 Aralık-2008, İstanbul.

68. Samy Sadaka, P.E., P.Eng. Gasification, Associate Scientist, Center for Sustainable Environmental Technologies Adjunct Assistant Professor, Department of Agricultural and Biosystems Engineering Iowa State University 1521 West F. Ave.

69. Web Sayfası http://www.vetenergy.com/tr/hizmetlerimiz/yenilenebilir-enerji kaynaklari/biyoenerji/gazlastirma (Erişim tarihi Aralık 2013)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Emin ERKEKKARDEŞ
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 17 Ekim 1979, Kayseri
Medeni Durumu: Evli
Tel: +90 352 697 42 67
Fax: +90 352 697 42 68
email: eminerkekkardes@hotmail.com
Yazışma Adresi: Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ)
Kayseri İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Ankara Yolu Boğazköprü Mevkii No:277 Kocasinan/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	--
Lisans	CÜ Mühendislik Fak. Kimya	2002
Lise	Kayseri Lisesi	1996

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2002-2003	Yataş-Süntaş A.Ş. (KAYSERİ)	Üretim Şefi
2003-2007	Bodur Holding Süngersan A.Ş. (BURSA)	Üretim Müdürü
2007-2008	Major Kimya (BURSA)	AR-GE Sorumlusu ve Satış Danışmanı
2008-2010	Petkim Petrokimya Holding A.Ş. (İZMİR)	İşletme Mühendisi
2010-Halen	KASKİ Atıksu Arıtma Tesisi (KAYSERİ)	Laboratuvar Sorumlusu

YABANCI DİL

İngilizce