

**ATIKLARIN GAZİFİKASYONUNU YAPAN BİR
TESİSTE; ENDÜSTRİYEL ARITMA
ÇAMURLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Yıldırım Beyazıt KAR
Yüksek Lisans Tezi**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE**

2014

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIKLARIN GAZİFİKASYONUNU YAPAN BİR TESİSTE; ENDÜSTRİYEL
ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YILDIRIM BEYAZİT KAR

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ. DR. GÜNAY YILDIZ TÖRE

TEKİRDAĞ-2014

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE danışmanlığında, Yıldırım Beyazıt KAR tarafından hazırlanan “Atıkların Gazifikasyonunu Yapan Bir Tesiste, Endüstriyel Arıtma Çamurlarının Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

İmza:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tuba ÖZTÜRK

İmza:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Uğur AKYOL

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma, Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Proje No: NKUBAP. 00.17.YL.12.06

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIKLARIN GAZİFİKASYONUNU YAPAN BİR TESİSTE; ENDÜSTRİYEL ARITMA ÇAMURLARININ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yıldırım Beyazıt KAR

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

Dünyada hızla artan nüfus, gelişmekte olan teknoloji ve endüstriyel faaliyetlere paralel olarak ciddi bir atık üretimi söz konusudur. Atık yönetimi; azalmakta olan enerji, hammadde gibi tabii kaynakların maksimum verimi sağlayacak şekilde kullanılmasını, az atıklı üretimin desteklenmesini, atıkların geri kazanımını ve yeniden kullanımını, hava, su, toprak ve canlılara zarar vermeden bertarafının gerçekleştirilmesini amaçlayan toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf işlemlerinin tümüdür.

Atıkların, uygun bir şekilde kontrol altına alınması ve diğer atıklardan ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Atıklar düzenli depolamaya gönderilmeden önce hacimsel olarak indirgenmelerini sağlamak ve yapılarındaki organik bileşenleri enerji üretimi için değerlendirmek amacıyla termal yöntemler kullanılmaktadır. Günümüzde gazlaştırma teknolojisi ile atık bertaraf etme ve enerji eldesi önemli bir konu haline gelmiştir. Sentetik gaz ısı değerine sahiptir. Enerji, kimyasal madde ya da yakıt üretiminde kullanılabilir. Enerji, kimyasal madde ya da yakıt üretiminde kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında, Trakya bölgesinde faaliyet gösteren Tekstil, Süt ve Süt ürünleri, Bitkisel ve Bitkisel olmayan yağ, Cam ve Metal sektörlerinde faaliyet gösteren endüstrilerin kaynağına bağlı olarak (fiziksel, kimyasal, biyolojik, vb.) atık su arıtma tesisi susuzlaştırma ünitesi çıkışından alınacak arıtma çamuru numunelerinin nem, kül ve ısı değer parametrelerinin ölçümleri yapılmış ve gazifikasyon verimliliği açısından önemli olan parametreler bazında en uygun besleme kombinasyonları tanımlanmıştır. Ardından, bu kombinasyonların gazifikasyonu sonucu oluşan çar(char) ve siklon tozu atıklarında da nem, kül ve ısı değer parametrelerinin ölçümü yapılarak enerji verimliliği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gazifikasyon, enerji verimliliği, arıtma çamuru, çar(char), siklon tozu

2014, 94 Sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF A GASIFICATION PLANT USING INDUSTRIAL SLUDGE

Yıldırım Beyazıt KAR

NAMIK KEMAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

In recent years, a significant amount of waste is produced in parallel with the increase of population in the world and developments in technology and industry. Waste management includes the procedures of collection, transportation, recovery and disposal of waste materials which aims decreasing usage of natural sources like energy, raw material with maximum efficiency, the supporting of minimum waste production, the recovery and reuse of waste materials, the disposal of the waste materials without any damage to air, water, earth and living organisms.

Wastes are required to be controlled in proper conditions and assessed individually from other waste materials. These materials are required to be reduced by volume before landfilling. Also, these materials have the potential to be used in energy production because of their organic contents. Therefore, thermal disposal methods of waste materials are commonly used.

In this thesis study, humidity, ash and calorific values of treatment sludge samples, taken from wastewater treatment plant dewatering units of textile, dairy, vegetable and nonvegetable oil, glass and metal industries in Trakya Area, have been measured and the most proper feeding combinations, on the basis of significant parameters in terms of gasification yields, have been identified. In addition, the same measurements have been performed on the char and cyclone dust samples occurred as a result of gasification and energy yields of the combinations have been determined.

Key words: Gasification, energy efficiency, industrial sludge, char, cyclone powder
2014, 94 pages

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖNSÖZ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Arıtma Çamurunun Tanımı, Türleri Kaynakları.....	3
2.1.1. Arıtma çamuru tanımı ve türleri	3
2.1.2. Arıtma çamuru kaynakları	4
2.1.2.1. Birincil arıtma çamuru	6
2.1.2.2. İkincil arıtma çamuru.....	7
2.1.2.3. Kimyasal arıtma çamuru.....	9
2.2. Atık Yönetimi ve Arıtma Çamurları.....	13
2.2.1. Atık oluşumunun önlenmesi / azaltımı	16
2.2.2. Atık azaltma ve geri kazanım uygulamaları	16
2.2.3. Atıkların toplanması ve taşınması	17
2.2.4. Atıkların geçici ve ara depolanması	18
2.2.5. Tehlikeli atık arıtımı	19
2.2.5.1. Fiziksel arıtma	19
2.2.5.2. Kimyasal arıtma.....	19
2.2.5.3. Biyolojik arıtma.....	19
2.2.6. Nihai atık bertarafı.....	20
2.2.6.1. Ön işlem gerektirmeyen atıkların uzaklaştırılması.....	21
2.2.6.2. Ön işlem gerektiren atıkların uzaklaştırılması (Termal yöntemler)	23
2.2.7. Uluslararası mevzuat	25
2.2.7.1. US EPA RCRA Yönetmeliği.....	26
2.2.7.2. Avrupa Birliği (EU/AB)	26
2.2.8. Ulusal atık mevzuat	28

2.2.8.1. Çevre kanunu	28
2.2.8.2. Katı atıkların kontrolü yönetmeliği	29
2.2.8.3. Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği	30
2.2.8.4. Atık yönetimi genel esaslarına ilişkin yönetmelik	31
2.2.8.5. Atıkların yakılmasına ilişkin yönetmelik	32
2.2.8.6. Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik	34
2.3. Arıtma Çamurunun Bileşimi	34
2.3.1. Katı madde içeriği	34
2.3.2. Organik madde içeriği	35
2.3.3. Azot ve fosfor içeriği	36
2.3.4. Kalsiyum içeriği	38
2.3.5. Ağır metal içeriği	38
2.3.6. Organik kirleticiler	39
2.3.7. Patojenler	40
2.3.8. Çamurun ısı değeri	41
2.4. Arıtma Çamurunun Bertaraf Yöntemleri	41
2.4.1. Çamur yoğunlaştırma	46
2.4.2. Çamur susuzlaştırma	47
2.4.3. Çamur kurutma	48
2.4.3.1. Çamur kurutmanın önemi	48
2.4.3.2. Kurutma ve kurutucular	49
2.4.3.3. Çamurun kurutmanın avantajları ve dezavantajları	54
2.4.4. Arıtma çamurlarına uygulanan yakma prosesi	54
2.4.5. Arıtma çamurlarından gazlaştırma prosesi ile enerji eldesi	56
2.4.5.1. Gazlaştırma teknolojisinin diğer termal yöntemlerle karşılaştırılması	58
2.5. Enerji Üretiminde Alternatif Yöntemler	59
2.5.1. Artan enerji ihtiyacına genel bakış	59
2.5.2. Enerji üretiminde kullanılan doğal kaynaklar	60
2.5.3. Enerji üretiminde termal alternatifler: Gazlaştırma ile enerji üretimi	61
2.5.3.1. Gazlaştırma prosesi	61
2.5.3.2. Gazlaştırma prosesinde meydana gelen reaksiyonlar	62
2.5.3.3. Gazlaştırıcı tipleri	62

3. MATERYAL VE YÖNTEM	70
3.1. Materyal.....	70
3.1.1. Çalışma alanının tanıtımı	70
3.2. Yöntem	72
3.2.1. Amaç ve deneysel çalışma kapsamı	72
3.2.2. Numune alma ve karakterizasyon.....	72
3.2.2.1. Numune alma.....	72
3.2.3. Kullanılan cihazlar ve yöntemler.....	72
3.2.3.1 Nem analizi ve kurutma.....	72
3.2.3.2. Numunelerin öğütülmesi ve numune alma.....	73
3.2.3.3. Kül analizi	73
3.2.3.4. Isıl değer tayini	73
3.2.3.5. Arıtma çamuru kombinasyonlarının oluşturulması	73
3.2.3.6. Çar(char) ve siklon tozu ölçümleri	74
3.2.3.7. Enerji verimliliği hesabı	74
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	76
4.1. Sektörel Bazda Arıtma Çamurlarının Karakterizasyon Sonuçları	76
4.2. Çar(char) Örneklerinin Karakterizasyon Sonuçları	79
4.3. Siklon Tozu Örneklerinin Karakterizasyon Sonuçları.....	80
4.4. Gazlaştırıcının Verimi	80
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
6. KAYNAKLAR.....	84
EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ	94

Çizelge 2.1. Atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları (Keskinler ve ark. 2011)	10
Çizelge 2.2. Depolama ile bertaraf etme yöntemleri ile bertaraf edilen atık miktarları (Pichtel 2005)	21
Çizelge 2.3. Termal işlemler ile bertaraf edilen atık miktarları (Pichtel 2005)	21
Çizelge 2.4. Geri kazanım metodları ve atık bertaraf miktarları (Pichtel 2005)	21
Çizelge 2.5. Diğer bertaraf yöntemleri ve atık miktarları (Pichtel 2005).....	21
Çizelge 2.6. Termal bertaraf yöntemleri, tipik reaksiyon koşullar ve ürünler (ECIPPC 2006)	23
Çizelge 2.7. Çamur katı madde konsantrasyonları(Filibeli 1998)	35
Çizelge 2.8. Çamurun organik içeriğinin karşılaştırılması (Keskinler ve ark. 2011).....	36
Çizelge 2.9. Arıtma çamurlarındaki azot ve fosfor içeriğinin karşılaştırılması (Keskinler ve ark. 2011)	37
Çizelge 2.10. Çamur numunelerinin azot içeriğine arıtmanın etkisi (Keskinler ve ark. 2011)	37
Çizelge 2.11. Arıtma çamurlarındaki fosfor içeriğine arıtma proseslerinin etkisi (Keskinler ve ark. 2011)	38
Çizelge 2.12. Arıtma çamurundaki ağır metal konsantrasyonları (Keskinler ve ark. 2011)	39
Çizelge 2.13. Arıtma çamuru uygulanmış topraklarda organik kirletici gruplar (Keskinler ve ark. 2011).....	40
Çizelge 2.14. Çamur işleme ve bertaraf yöntemleri(Filibeli 1998).....	45
Çizelge 2.15. Çamur ve diğer atıkların kalori değerleri (Keskinler ve ark. 2011)	55
Çizelge 2.16. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri, tarihsel gelişimi ve uygulanabilirlikleri (Tolay 2010)	57
Çizelge 2.17. Gazlaştırma ile yakma arasındaki belirgin farklılıklar (ORR ve ark. 2000)	58
Çizelge 2.18. Birincil enerjinin 1997- 2007 yılları arasındaki değişimi	60
Çizelge 4.1. Arıtma çamurlarının kurutma öncesi nem ölçümü ile kurutma sonrası nem, kül ve ısı değer ölçümleri	76
Çizelge 4.2. Birinci kombinasyonu oluşturan numunelerin nem, kül ve ısı değerleri	77
Çizelge 4.3. İkinci kombinasyonu oluşturan numunelerin nem, kül ve ısı değerleri	78
Çizelge 4.4. Üçüncü kombinasyonu oluşturan numunelerin nem, kül ve ısı değerleri	78

Çizelge 4.5. Dördüncü kombinasyonu oluşturan numunelerin nem, kül ve ısı değerleri	79
Çizelge 4.6. Kombinasyonların nem kül ve ısı değerleri	79
Çizelge 4.7. Oluşan çar atıklarının kül ve ısı değerleri	80
Çizelge 4.8. Oluşan siklon tozlarının kül ve ısı değerleri.....	80
Çizelge 4.9. Reaktörlere beslenen çamur kombinasyonu ve çar(char) günlük miktarları.....	81
Çizelge 4.10. Beslenen atık ve çar(char) örneklerine ait ortalama ısı değerler	81
Çizelge 4.11. Gazlaştırıcı verimleri	82
Çizelge A.1. Cam sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları.....	89
Çizelge A.2. Metal sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları.....	90
Çizelge A.3. Süt üretimi sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları.	91
Çizelge A.4. Yağ üretimi sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları	92
Çizelge A.5. Tekstil sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları	93

Şekil 2.1. Atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları (Keskinler ve ark. 2011)	5
Şekil 2.2. Ön arıtma sistemine örnek akım şeması(Keskinler ve ark. 2011).....	6
Şekil 2.3. Biyolojik arıtma işlemi olarak aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi (Keskinler ve ark. 2011).....	8
Şekil 2.4. Damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi (Keskinler ve ark. 2011).....	8
Şekil 2.5. Tehlikeli atık yönetimi (Misra 2005)	15
Şekil 2.6. Arıtma çamuru bertarafında uygulanan prosesler ve fonksiyonları (Anonim 2013a)	43
Şekil 2.7. Çamur işleme ve bertarafı akım diyagramı (Filibeli 1998).....	44
Şekil 2.8. Kesikli dolaylı çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011).....	50
Şekil 2.9. Sürekli dolaylı çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011).....	50
Şekil 2.10. Davul tipi çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011).....	52
Şekil 2.11. Akışkan yataklı çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011)	52
Şekil 2.12. Bantlı çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011).....	53
Şekil 2.13. Yukarı akışlı gazlaştırıcı örneği (Turare 2011).....	63
Şekil 2.14. Aşağı akışlı gazlaştırıcı örneği (Turare 2011).....	64
Şekil 2.15. Çapraz akışlı gazlaştırıcı örneği (Turare 2011).....	65
Şekil 2.16. Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcı örneği (İritaş 2010).....	66
Şekil 2.17. Lurgi sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcı örneği (Güzel 2011).....	67
Şekil 2.18. Üstten ateşlemeli sürüklemeli yatak gazlaştırıcı örneği (Güzel 2011).....	68
Şekil 2.19. Plazma gazlaştırıcı örneği (Güzel 2011)	69
Şekil 3.1. Gazifikasyon verimliliği ile ilgili deneysel çalışmaların yürütüldüğü tesise ait iş akış şeması	70
Şekil 3.2. Gazifikasyon verimliliği ile ilgili deneysel çalışmaların yürütüldüğü tesise ait kurutma ünitesi	71
Şekil 3.3. Gazifikasyon verimliliği ile ilgili deneysel çalışmaların yürütüldüğü tesise ait gazlaştırıcı.....	72
Şekil 3.4. Verim hesaplaması için varsayılan gazlaştırıcı ve siklon sistemi (Güzel 2011)	74

SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ

BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TOK	: Toplam Organik Karbon
SMP	: Çözünmüş mikrobiyal ürünler
AKM	: Askıda Katı Madde
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: The American Society for Testing and Materials
EC	: European Council
EEC	: European Energy Community
EPA	: Environmental Protection Agency
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TAKY	: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
ADDDY	: Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
AYGEİY	: Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol

ÖNSÖZ

Çalışmalarında bana deneyim ve destekleri ile yol gösteren, manevi desteğini üzerimden eksik etmeyen danışman hocam Sn. Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE'ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. İş hayatıma başladıktan sonra mesai saatlerimin bir kısmını da eğitimim için kullanmama izin veren, ayrıca firmanın her türlü imkanından yararlanmama olanak tanıyan Ekolojik Enerji A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sn. Ömer SALMAN'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamda ihtiyacım olan verilerin tedarik sürecinde desteklerini esirgemeyen sevgili çalışma arkadaşım Elif GÜZEL ve Genel Müdürüm Sn. Arif PARALI'ya ayrı ayrı teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım süresince kendileri ile fazla zaman geçiremediğim sevgili kızım Simay ve eşim İlkey'a her zaman yanımda oldukları için çok teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışması; Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Biriminin "Atıkların Gazifikasyonunu Yapan Bir Tesiste; Endüstriyel Arıtma Çamurlarının Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi" isimli proje desteği ile tamamlanmış olup Namık Kemal Üniversitesi bilimsel araştırma projeleri komisyonunca NKUBAP.00.17.YL.12.06 numaralı proje olarak değerlendirilmiştir.

Şubat 2014

Yıldırım Beyazıt KAR
Kimyager

1. GİRİŞ

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

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

Gelişmekte olan ülkelerde, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi amacıyla bir atık yönetim bilincinin oluşturulması gerekmektedir. Atık yönetimi; azalmakta olan enerji, hammadde gibi tabii kaynakların maksimum verimi sağlayacak şekilde kullanılmasını, az atıklı üretimin desteklenmesini, atıkların geri kazanımını ve yeniden kullanımını, hava, su, toprak ve canlılara zarar vermeden bertarafının gerçekleştirilmesini amaçlayan toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf işlemlerinin tümüdür (Güzel 2011).

Atıkların, tekniğine uygun bir şekilde bertaraf veya geri dönüşümünün sağlanmadığı durumlarda; toprağın, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesine; depolama sahalarında oluşan gaz ise içindeki yüksek metan oranı sebebiyle hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu nedenle, üretim faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıkların toplum ve çevre açısından bir tehlike olmaktan çıkıp, ekonomik bir girdiye dönüşmesini sağlamak Türkiye ve dünyanın öncelikli bir politikasıdır ve sürdürülebilir kalkınmanın temellerinden birinin bu husus olduğu bilinmektedir.

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

- Yakma
- Piroliz
- Gazifikasyon

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

Bu nedenle, günümüzde gazlaştırma teknolojisi ile atık bertaraf etme ve enerji eldesi önemli bir konu haline gelmiştir. Gazlaştırma prosesi, atıklardaki organik bileşenlerin az miktarda oksijenle reaksiyonu ile bozunarak, çoğunlukla CO ve H₂ 'den oluşan sentetik gaz ve kül (çar(char)) oluşturur. Sentetik gaz ısı değere sahiptir. Enerji, kimyasal madde ya da yakıt üretiminde kullanılabilir. Oluşan çar(char) da ısı değere sahip olup içeriğinde organi/inorganik bileşenler bulunmaktadır (Güzel 2011).

Bu tez çalışmasında; ülkemizde oluşan katı atıklar içinde gerek miktar ve gerekse çevresel ortamlarda yarattığı etkiler açısından önemli bir paya sahip olan tehlikeli ve tehlikesiz nitelikteki endüstriyel arıtma çamurlarının, düzenli depolama alanlarına gönderilmeden önce miktarını minimize ederken enerji elde etmek amacıyla tercih edilebilecek termal yöntemlerden biri olan gazifikasyon teknolojisi ile enerji verimliliğinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Arıtma Çamurunun Tanımı, Türleri ve Kaynakları

2.1.1. Arıtma çamurunun tanımı ve türleri

Arıtma Çamuru; su ve atıksu arıtımıyla oluşan, sahip olduğu özelliklerden dolayı aynı zamanda kendisinin de ön işlemlerden geçirilerek zararsız hale getirilmesi gereken, aksi durumda kaynağında olduğu haliyle çevreye verildiğinde çevrede zarara yol açabilecek katı ve sıvı karışımlardan oluşan maddedir. Başka bir deyişle atık su arıtımı sonucunda oluşan ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak ağırlıkça %0,25 ile %12 katı madde içeren sıvı-katı karışımı atıklar arıtma çamuru olarak isimlendirilmektedir.

Arıtılan atık suyun niteliğine ve uygulanan arıtma işlemlerine bağlı olarak arıtma çamurlarının özellikleri değişmektedir. Genel olarak arıtma çamurları, sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, %0,25 ile %12 arasında katı madde içeren atıklardır. Atıksu arıtma tesislerinden oluşan çamurlar, genel olarak stabilizasyon işlemlerinden önce yaklaşık %50-70 C, %6,5-7,3 H, %21-24 O, %15-18 N, %1-1,5 P ve %0-2,4 S içerebilmektedir (Anonim 2013).

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

Çamurlar fiziksel yapılarına göre, mikrobiyolojik karakteri, besin maddesi (nutrient), su verme özelliği ve metal içeriğine göre değerlendirilmelidir. Evsel nitelikli atık suların arıtıldığı arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının özellikleri birbirine benzemekle beraber, endüstriyel kaynaklı arıtma çamurlarının özellikleri endüstriyel sektör ve alt sektörler bazında büyük farklılıklar göstermektedir. Her endüstri için oluşacak çamurun özellikleri ayrı ayrı belirlenmelidir.

Mekanik, biyolojik ve kimyasal arıtma metotları sırasında meydana gelen çamur, gerek çevre problemleri nedeniyle ve gerekse de insan sağlığı için tehdit oluşturması açısından bir takım ön işlemlere tabi tutulmalıdır. Çamur için yapılacak ön işlemlerin amacı; hacmini azaltmak, çamuru stabilize etmek, suyu gidermek ve patojen organizmaları öldürmektir. Bilindiği gibi atık sular hem evlerde kullanım sonucu hem de sanayi kaynaklı su kullanımı sonrası meydana gelir. Bu nedenle, atık su karakterizasyonu evsel, ticari ve endüstriyel kullanıma bağlı olarak değişiklikler gösterebilir. Atık sularda mevcut organik ve inorganik kirleticilerin değişik fiziksel, fizikokimyasal ve biyolojik metotlar kullanılarak

arıtılması sırasında meydana gelen çamur, hem miktar hem de özellik bakımından bir arıtma tesisinden diğer arıtma tesisine farklılık gösterebilmektedir.

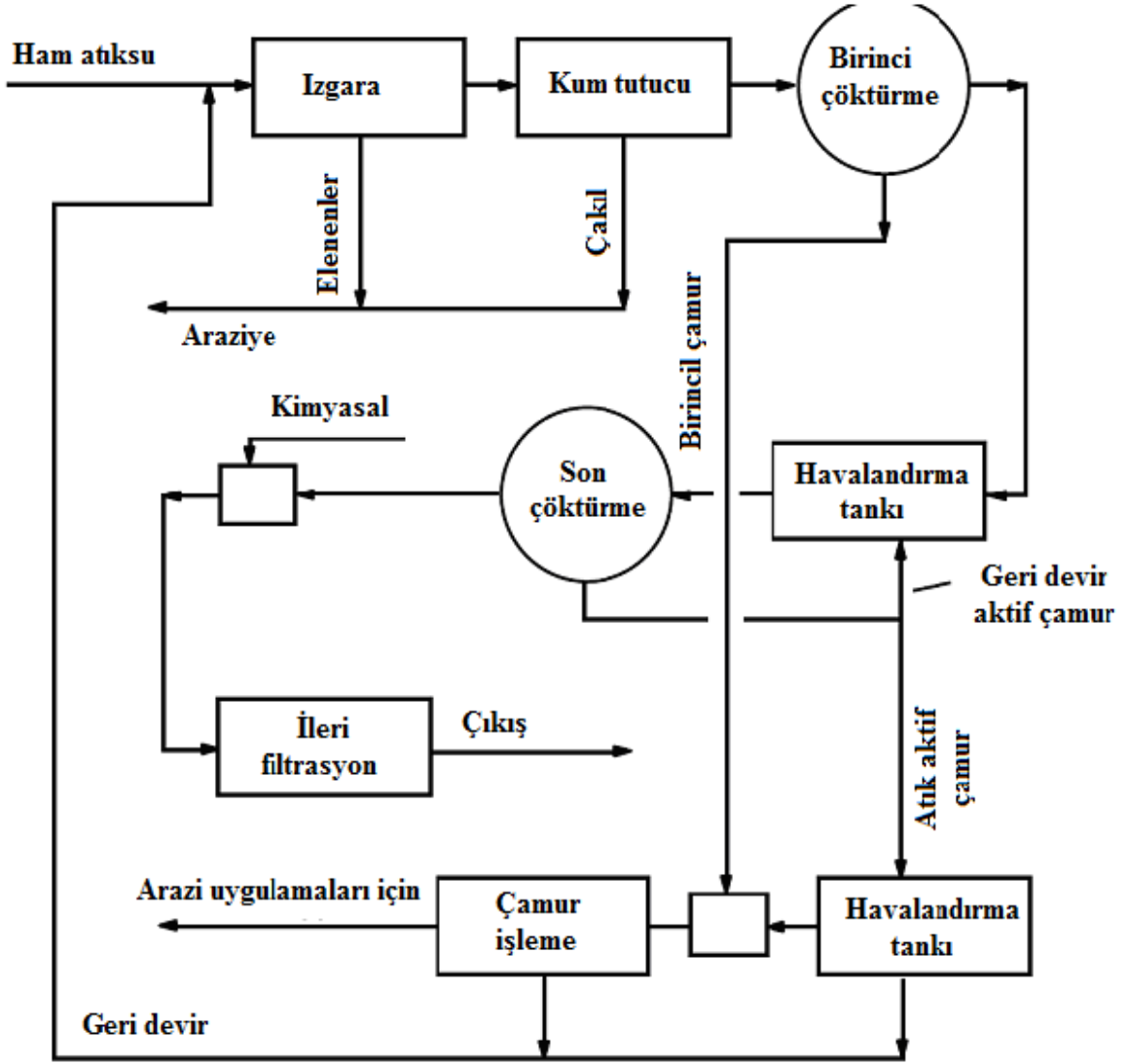
2.1.2. Arıtma çamuru kaynakları

Arıtma çamurları çıkış kaynaklarına göre üç başlıkta incelenebilir:

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

Atıksu arıtma tesislerinde üretilen çamurun miktarı ve özellikleri atıksuyun bileşimine, kullanılan atıksu arıtımının tipine ve çamura uygulanan bertaraf yöntemine bağlıdır. Tesise giren atıksu bileşimindeki değişimlerden ve arıtma proseslerindeki değişimlerden dolayı üretilen çamurun özellikleri aynı tesis içinde bile yıllık, mevsimlik ve hatta günlük olarak değişebilmektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanısıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır. Bu çamurlar, çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma prosesleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan alum çamurları gibi arıtımın tipine ve amacına bağlı olarak da sınıflandırılabilir (Keskinler ve ark. 2011).

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



Şekil 2.1. Atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları (Keskinler ve ark. 2011)

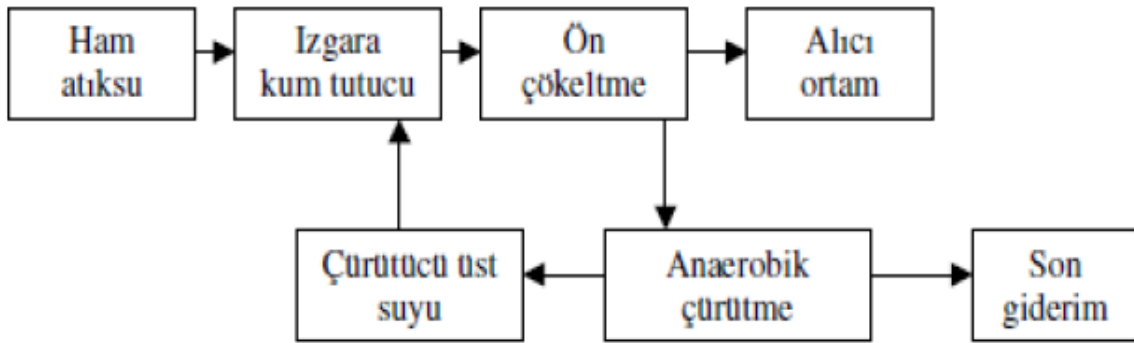
Arıtma çamuru genellikle birincil, ikincil (veya biyolojik) ve kimyasal olarak sınıflandırılabilir. Çamur; dışkı maddeleri, fiberler, kum, gıda atıkları, biyolojik floklar, organik kimyasal bileşikler ve inorganikler (ağır metaller ve iz mineraller) gibi çökelen katılar içerir ve uçucu katı veya patojen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

Arıtma çamurlarının sınıflandırılmasında kullanılan parametreler arasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler bulunmakta olup;

- **Fiziksel parametreler**, arıtma çamuru hakkındaki işlenebilirlik bilgilerini vermektedir;
- **Kimyasal parametreler**, çamurun içinde bulunan besinlerin (nutrient) ve toksik/tehlikeli maddelerin varlığını ve dolayısıyla tarım için kullanılıp kullanılmayacağını belirler;
- **Biyolojik parametreler**, çamur içindeki mikrobik faaliyetleri ve organik madde/patojenlerin varlığı ve böylelikle çamurun emniyetli bir şekilde kullanılıp kullanılmayacağını belirler (Keskinler ve ark. 2011).

2.1.2.1. Birincil arıtma çamuru

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



Şekil 2.2. Ön çökeltme işlemi içeren örnek arıtma tesisi akım şeması (Keskinler ve ark. 2011)

Ön çökeltme sistemlerinde oksijen gereksinimi olan maddelerin giderilmesi esas değildir, ancak BOI_5 'nin bir kısmı çökebilir katı maddeler ile birlikte giderilir. Kendiliğinden çökebilir nitelikli ve esas olarak inorganik karakterdeki katı maddeler ızgara, kum tutucular ve ön çökeltme havuzlarında tutulurlar. Özellikle ızgaralarda tutulan kaba nitelikte çökebilir katı maddeler evsel katı atık niteliğinde olduğundan herhangi bir işleme gerek duyulmadan kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılırlar. Çökeltme havuzu tabanında toplanan maddeler ise “ham ön çökeltme çamuru” olarak isimlendirilir. Bu çamurların organik madde içeriği % 60-80 arasındadır ve su içeriği ise oldukça yüksektir. Bu çamur genellikle çürütülür ve “çürük ön çökeltme çamuru” olarak bilinir. Su içeriği çok yüksek olan bu çamurun kararlaştırılmasında genellikle anaerobik çürütme yöntemi kullanılmaktadır. Çürütücülerde oluşan üst sıvı arıtma

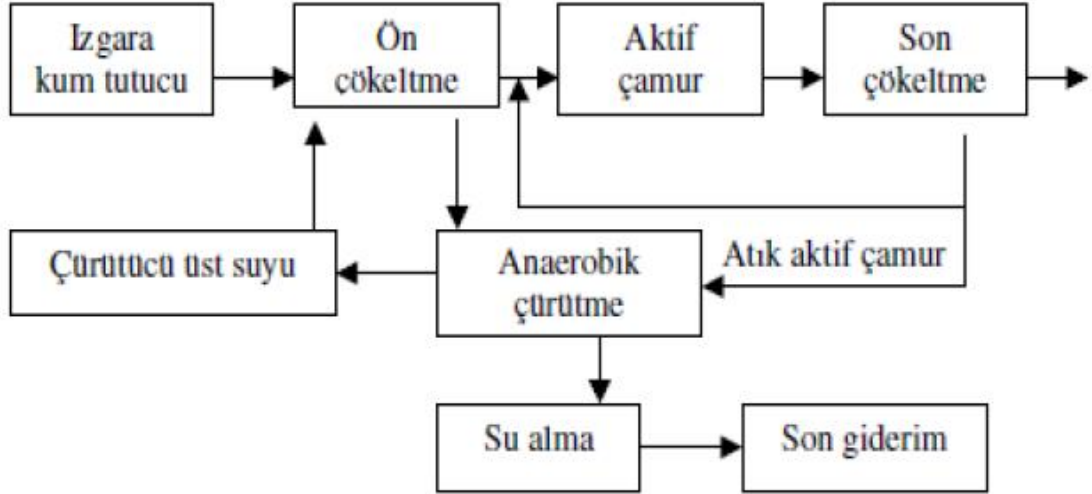
tesisi basına geri döndürülür. Çürütücü üst suyu, yüksek katı madde derişimine sahiptir ve bu katı maddelerin arıtma sistemi girişine geri döndürülmesi bazı işletme sorunlarına neden olabilir. Anaerobik çürütme ile uçucu katı maddelerin % 50'si giderilir, koku azaltılır ve önemli oranda hastalık yapıcı organizmaların giderimi sağlanır. Çürümüş çamur doğrudan araziye verilebilir, kurutma yataklarında suyu alınabilir veya mekanik olarak suyu alındıktan sonra son giderim yapılır.

Birinci çökeltme ünitesini içeren konvansiyonel aktif çamur tesisinde, birincil çamurun katı içeriğinin kuru ağırlığı toplam çamurun yaklaşık %50'si kadardır. Ham birincil çamurda toplam katı konsantrasyonu % 2 ile 7 aralığında değişebilir. Birincil çamurlar kimyasal ve biyolojik çamurlarla kıyaslandığında daha hızlı susuzlaştırılabilir. Ancak birincil çamurlar oldukça kolay çürüyebilir ve arıtılmadan depolanırsa istenmeyen kötü kokulara neden olabilir (Keskinler ve ark. 2011).

2.1.2.2. İkincil arıtma çamuru (Biyolojik)

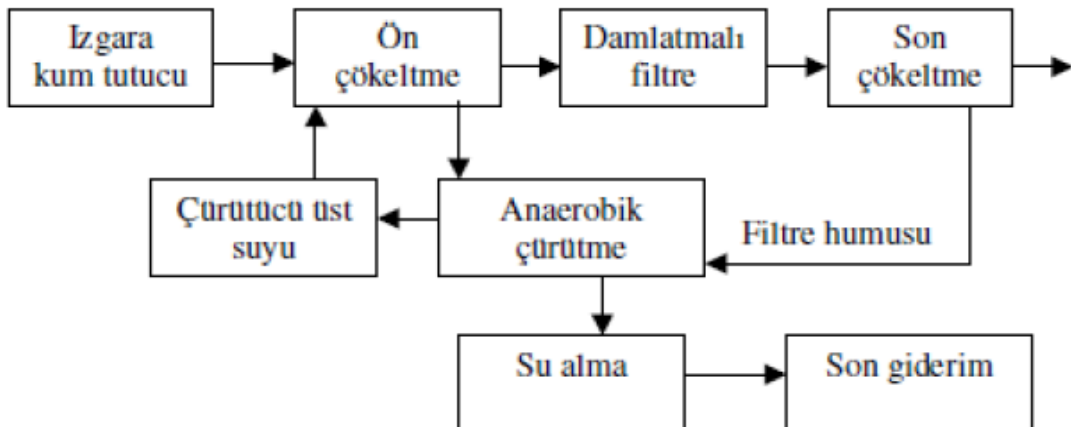
İkincil arıtma çamurları çözünebilir nitelikteki organik maddelerin biyolojik oksidasyonunun yani BOI_5 gideriminin yapıldığı ikincil arıtmada oluşan çamurlardır. İkincil arıtmada BOI_5 biyolojik proseslerle giderilir ancak fiziksel ve kimyasal arıtma işlemleri de bu amaç için kullanılabilir. Biyolojik sistemlerde aktif ajanlar mikroorganizmalardır ve lagünler, aktif çamur ve damlatmalı filtre veya membran biyoreaktör prosesleri gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır.

En yaygın kullanılan ikincil arıtma prosesi aktif çamur sistemi olup biyolojik arıtma işlemi olarak aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi akım seması Şekil 2.3' te verilmektedir. Aktif çamur prosesi, ham atıksuyun mikroorganizma içeren geri devir çamuruyla karıştığı askıda kültür sisteminde mikroorganizmalardan oluşan, önemli miktarda enerji gerektiren ve büyük miktarda organik çamur üreten biyolojik bir prostir. Proses, çözülmüş ve askıda organik kirleticilerin arıtılmış sulardan ayrılabilen biokütleye ve gazlara dönüşümünü içermektedir. Çamur biyokütlesi, son çökeltme havuzlarında ayrılabilen karışık mikroorganizma karışımından oluşmaktadır. Son zamanlarda aktif çamur prosesinde fazla çamurun üretimi, aerobik atıksu arıtımında karşılaşılan en ciddi problemlerden biridir. Fazla çamurun arıtım maliyeti, tesisin toplam işletme maliyetinin %25-65'ini oluşturabilmektedir (Keskinler ve ark. 2011).



Şekil 2.3. Biyolojik arıtma işlemi olarak aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi (Keskinler ve ark. 2011)

Damlatmalı filtreler de yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma yöntemidir. Biyolojik arıtma işlemi olarak damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisine ait akım seması Şekil 2.4 'de verilmektedir. Filtre yataklarından kopan katı partiküller son çökeltme havuzunda arıtılmış sudan ayrılır. Bu çamur filtre humusu olarak bilinir ve miktarı azdır. Filtre humusu ve atık aktif çamur genellikle ham ön çökeltme çamuru ile karıştırılır ve anaerobik çürütücülerde çürütülür. Sonuç materyal karışık çürük çamur olarak isimlendirilir ve son ıslah öncesi suyunun alınması gerekir. Anaerobik çürütücüye alternatif olarak, atık aktif çamur aerobik olarak da çürütülür. Atık aktif çamur ayrı bir tank içine alınır ve birkaç gün süre ile havalandırılır. Böylece çamur içindeki uçucu katı maddeler biyolojik olarak stabilize olur. Sonuçta oluşan çamur aerobik çürük çamur adını alır.



Şekil 2.4. Damlatmalı filtre sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma tesisi (Keskinler ve ark. 2011)

Aktif çamur ve damlatmalı filtre çamurları sırasıyla %0,4-1,5 ve %1-4 aralığında katı konsantrasyonu içerir. Zayıf biyolojik flokların doğasından dolayı biyolojik çamurların yoğunlaştırılması ve susuzlaştırılması birincil çamurlara göre çok daha zordur.

2.1.2.3. Kimyasal arıtma çamuru

Kimyasal maddeler atıksu artımında özellikle endüstriyel atıksu arıtımında çöktürme ve sertlik giderme için veya bazı durumlarda koloidal/askıda katı maddelerin uzaklaştırılmasını iyileştirmek için yoğun olarak kullanılır. Tüm bu durumlarda kimyasal çamur meydana gelir. Atıksudan bir maddenin giderimine tipik bir örnek olarak fosforun kimyasal çöktürülmesi verilebilir. Fosfor giderimi için kullanılan kimyasallar kireç, alum, demir (II) klorür, demir (III) klorür, demir (II) sülfat ve demir (III) sülfattır. Bazı arıtma tesisleri biyolojik prosese kimyasal maddeler ilave eder. Bu nedenle, kimyasal çökelti biyolojik çamur ile karıştırılır. Çoğu tesislerde ikincil çıkışa kimyasallar uygulanır ve kimyasal çökelti uzaklaştırmak için üçüncü çöktürme veya filtre kullanılır. Bazı kimyasallar pH ve alkalitenin düşmesi gibi istenmeyen etkiler yaratabilir ki bu durum bu parametrelerin ayarlanması için alkali kimyasalların ilavesini gerektirebilir (Keskinler ve ark. 2011).

Klasik atıksu arıtma tesislerindeki katı madde ve çamur kaynakları toplu halde Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları (Keskinler ve ark. 2011)

Uygulanan Arıtma Prosesi	Katı Madde ve Çamur Tipi	Açıklama
Izgara	Kaba katı maddeler	Izgara çubukları arasında tutulabilecek büyüklükteki bütün organik ve inorganik maddeleri kapsar. Organik madde içeriği atıksu toplama sistemi türü ve mevsimlere göre değişir. Izgarada tutulan maddeler ya öğütücüde parçalanarak ızgaradan sonraki arıtma birimlerine iletilir ya da varillerde depolanarak uygun bir şekilde giderilir. Küçük ve orta büyüklükteki atıksu arıtma tesisleri için bunların deponiye gönderilmesi daha ekonomiktir. Tutulan madde miktarı, atıksu toplama sisteminin çeşidine, coğrafik konuma, iklim koşullarına ve ızgaranın çeşidine bağlı olarak ortalama 30 mL/m ³ 'tür.
Kum Tutucu	Kum ve köpük	Yüksek hızlarda çökebilin inorganik katı maddelerden oluşur. Tutulan kum niceliği atıksu toplama sisteminin çeşidine, iklim koşuluna, zemin özelliklerine, kanalizasyon sisteminin durumuna, atıksuyu toplanan endüstri tesisinin çeşidine ve mutfak öğütücülerinin kullanılıp kullanılmamasına bağlıdır. Arıtma tesisinde tutulan kum miktarı 5 ile 200 mL/m ³ arasında değişmekte olup ortalama olarak 30 mL/m ³ ,tür. Kum genelde deponide gömme, yıkama sonrası araziye yayma veya çamur ile birlikte yakma yöntemleri ile giderilmektedir.
Yağ Tutucu	Köpük, yağ ve gres	Köpük, ön ve son çökeltme havuzu yüzeyinden sıyrılan yüzebilir nitelikli maddelerden oluşur. Gres, bitkisel ve mineral yağlar, hayvansal yağlar, sabun, yiyecek atıkları, meyve ve sebze atıkları, saç, kağıt, paçavra içerebilir. Köpüğün özgül ağırlığı 1,0'den küçüktür, genellikle 0,95 civarındadır. Evsel atıksu arıtma süreçlerinde oluşan köpük miktarı ortalama 8 mL/m ³ tür. Ön ve son çökeltme havuzlarının yüzeyinden sıyrılan köpük genellikle bir köpük yoğunlaştırma tankına veya uygun bir şekilde giderilmesi için varillere pompalanır. Arıtım ve giderilme yöntemleri, tesis içi gömme, deponide depolama, yakma ve çürütme olarak sıralanabilir.

Ön Çökeltme	Ön çökeltme çamuru	Ön çökeltme çamurları genellikle gri-kahve renkli, kötü kokuludur. Ham ön çökeltme çamurunun katı madde içeriği % 4-8'dir. Akaçlama özelliği zayıftır ve kurutma yataklarında zor akaçlanır. Ancak mekanik olarak suyunu almak olasıdır.
Kimyasal Çöktürme	Kimyasal çamurlar	Metal tuzlarının kimyasal çökmesi sonucu oluşan çamurlar genellikle koyu renklidir. Kireç çamurları gri-kahverengidir. Kimyasal çamurların hissedilebilir bir kokusu olmakla birlikte ön çökeltme çamuru kötü değildir. Kimyasal çamur sümüksü yapıdadır, demir ve alüminyum hidratlar çamura jelatinimsi yapı verirler. Çamur tank içinde uzun süre kalırsa, ön çökeltme çamuruna benzer şekilde fakat daha yavaş bozunmaya baslar. Önemli miktarlarda gaz çıkışı olabilir, uzun depolama süresine bağlı olarak çamur yoğunluğu artar.
Biyolojik Arıtma (Aktif çamur, damlatmalı filtre)	Süspanse katı maddeler ve son çökeltme çamuru	Aktif çamur genellikle kahverengi, yumaksı görünümündedir. Rengi koyuysa septik koşullar başlamış demektir. Renk açıksa yeterince havalanmamış olabilir. İyi koşullardaki çamur, toprak kokusundadır. Hızla septik olma eğilimindedir ve istenmeyen kokular yayabilir. Tek basına veya ön çökeltme çamuru ile karıştırılarak çürütülebilir. Damlatmalı filtre humusu, yumaklı yapıda, taze olduğu zaman kokusuzdur. % 0,5-1,5 arasında katı madde içerir, rengi sarıdan siyaha değişir. Genellikle diğer çamurlara göre daha yavaş bozunur. Filtre humusunda kurtçuklar fazla ise kısa sürede zararsız hale gelir. Damlatmalı filtre çamuru kolayca çürür.

Çamur İşleme Prosesleri	Aerobik çürümüş çamur	Rengi açık kahverengiden koyu kahveye doğru değişir ve yumaksı görünümündedir. Aerobik çürümüş çamurun kokusu rahatsız edici değildir, küf kokusu ile tanınır. İyi çürümüş aerobik çamur kurutma yataklarında kolayca suyunu verir.
	Anaerobik çürümüş çamur	Anaerobik çürümüş çamurun rengi koyu kahverengiden siyaha doğrudur ve önemli miktarda gaz içerir. Tamamen çürüdüğünde rahatsız edici değildir, kokusu belirsizdir, yanık lastik ve sıcak katran kokusu hissedilir. Kurutma yataklarında suyunu almak daha kolaydır, mekanik olarak suyunu gidermek zordur. Kum yatak üzerine ince bir tabaka halinde serildiğinde, katı maddeler geride temiz bir su bırakarak çıkan gaz ile birlikte kum yatak üzerine taşınır. Çamur kururken gaz açığa çıkar, bahçe toprağı kokusunda çok kırılğan bir yüzey oluşur.
Çamur İşleme Prosesleri	Kompostlanmış çamur	Kompostlanmış çamurun rengi koyu kahverengi ile siyah arasındadır, fakat kompostlaştırma işlemi sırasında eski kompost ve odun talaşı kullanılmışsa, rengi değişebilir. İyi kompostlanmış çamurun kokusu rahatsız edici değildir, bahçe çeşidi toprak şartlandırıcısı olarak ticari amaçlı kullanılabilir.
	Septik tank çamuru	Septik tank çamurları siyah renklidir. Çamur uzun depolamaya rağmen iyi çürümemiş ise hidrojen sülfür ve diğer gaz çıkışlarından dolayı kokusu rahatsız edicidir. İnce tabakalar halinde serilirse, kurutma yataklarında kurutulabilir, fakat iyi çürütülmemişse akaçlanırken hissedilebilir koku beklenir.

2.2. Atık Yönetimi ve Arıtma Çamurları

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

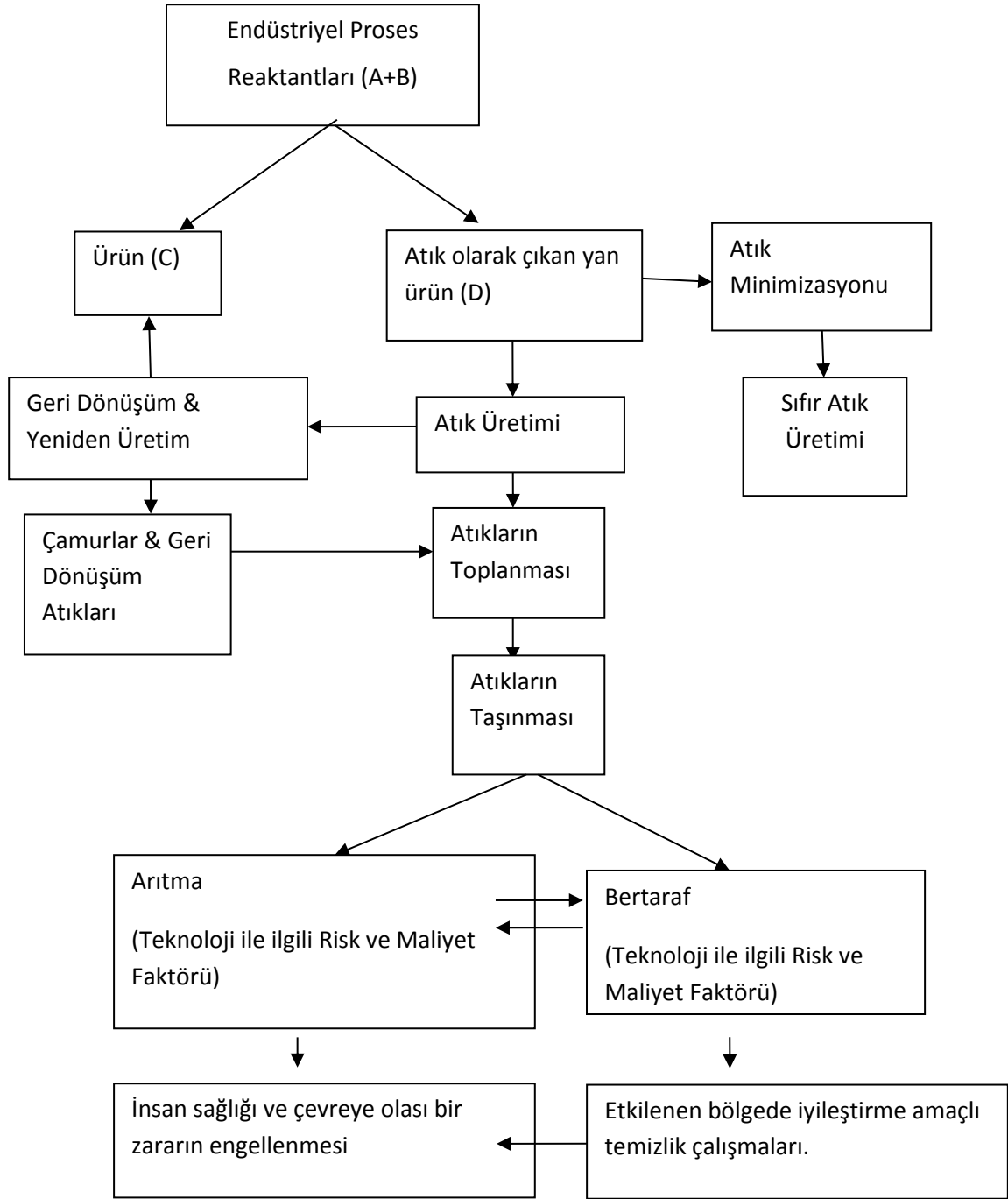
Toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi ekonomik anlamda büyük yük olan ve toplum sağlığı açısından önemli olduğu kadar, aynı zamanda, uygun şekilde değerlendirilemediği takdirde kaybolan ekonomik bir değer de olan atıkların yönetiminde, toplanmasından bertarafına kadarki süreçte gerçekleştirilecek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

Tehlikeli atıkların yönetimi de acil dikkat gerektiren hususlardan biridir. Tehlikeli atık yönetim planı, atıkların güvenli, verimli ve ekonomik bir şekilde toplanmasını, taşınmasını, arıtılmasını ve bertaraf edilmesini kapsamaktadır. Atığın kontrol ve arıtımından önce, tehlikeli niteliği taşıyan bileşenlerinin de bilinmesi gerekmektedir (Misra ve Pandey 2005).

Atık sorununun ortadan kalkmasında tek bir yöntem yeterli değildir. Alternatif yöntemlerin kombinasyonu ile başarılı bir atık yönetiminin sağlanacağı artık kabul edilmiştir. Bu nedenle uluslararası düzeyde kabul gören “Entegre Atık Yönetimi” anlayışı benimsenmiştir. Verimli bir entegre atık yönetimi, aşağıdaki niteliklere sahip olmalıdır (Anonim 2008).

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

- Bölgesel planlama yapılmalıdır: Planlamanın verimli olması, toplanacak atık miktarına bağlıdır. Atık oluşum miktarı ise öncelikle nüfusa bağlıdır. Bu sebeple Büyükşehirler dışındaki yerleşim alanlarında bölgesel planlamalar yapılmalıdır. Bazı araştırmacılar entegre bir yönetime bağlı nüfusun 500.000 kişiden az olmamasını tavsiye etmektedir.
- Ulusal çevre sektörü oluşmalıdır: Yukarıda açıklana süreç ile eş zamanlı olarak, mahalli idareler, kamu ve özel sektörün tüm birikimlerinin sinerjisiyle, geometrik büyüyen dinamik bir çevre sektörü oluşturulmalıdır. Çevre koruma konusunda her türlü makine ekipman, mühendislik-müşavirlik ve taahhüt hizmetlerinin kurumsallaşması önem arz etmektedir (Güzel 2011).



Şekil 2.5. Tehlikeli atık yönetimi (Misra ve Pandey 2005)

Şekil 2.5’de, arıtma ve bertaraf yöntemleri, atıkların oluşumlarından taşınmalarına kadarki aşamaları içeren tehlikeli atık yönetimi yer almaktadır.

2.2.1. Atık oluşumunun önlenmesi / azaltımı

Atık minimizasyonu daha az atık veya tehlikeli atık oluşmasını sağlayacak metotların ve ürünlerin kullanılmasının sağlanması ile atıkların oluştuğu yerde ayrılmasını içeren işlemlerdir (Bağdatlı 2011).

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

2.2.2. Atık azaltma ve geri kazanım uygulamaları

Atık yönetimindeki en etkili yöntemlerden biri de prosesler de atık olarak ortaya çıkan tehlikeli atıkların yan ürün olarak farklı ya da aynı tesislerde değerlendirilmesi üzere geri kazanımıdır. Çoğu tehlikeli ve zararlı madde problemi erken dönemlerde atık indirmeye ve atık azaltımı ile önlenir. Atık azaltımı arıtma işlemlerini de içerir. Kaynaklar atıkla mücadeleyi 4R ile tanımlar (Küçükgül 2008):

- Atıkların Azaltımı (Reduction)
 - Atıkların Tekrar Kullanımı (Reuse)
 - Atıkların Geri Kazanımı (Recovery)
 - Atıkların Geri Dönüşümü (Recycle)
- Tekrar Kullanım (Reuse): Atıkların toplama ve temizleme dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan aynı şekli ile ekonomik ömrü dolana kadar defalarca kullanılmasıdır. Örneğin; cam şişelerin içerisindeki maddelerin tüketilmesinden sonra temizlenip aynı veya farklı amaçlar için tekrar kullanılmasıdır (Anonim 2013a).
- Geri Dönüşüm (Recycling): Atıkların fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirildikten sonra ikincil hammadde olarak üretim sürecine sokulmasıdır. Örneğin; kırık cam şişelerinin eritilerek hammadde haline getirilmesi, zımpara kağıdı üretiminde kullanılması, atık plastiklerden tekrar plastik mamuller elde edilmesidir (Anonim 2013a).
- Geri Kazanım (Recovery): Geri dönüşüm ve tekrar kullanımı kapsayan üst kavramdır. Atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşimlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesidir. Örneğin; yakma, piroliz, kompostlaştırma gibi işlemler geri dönüşüm ve tekrar

kullanım kapsamına girmemekle beraber, geri kazanım kapsamında anılırlar. Geri kazanım çok yönlü ekonomik, yönetsel ve teknolojik faaliyetleri kapsar. Geri kazanımın hedefleri şu şekilde özetlenebilir (Anonim 2013).

- **Kaynak Koruma:** Atıkların ikincil hammadde olarak devreye sokulup, birincil hammaddelerin tüketim hızını azaltmak.
- **Çevre Koruma:** Özellikle yoğun nüfusa sahip metropol bölgelerinde giderek azalan düzenli depolama alanlarının ve düzensiz olarak çevreye saçılan atıkların doğa üzerinde yarattığı baskıyı en aza indirmek.
- **Enerji Kazanımı:** Atık maddelerin enerji içeriğinin kullanılması ile yenilenemez enerji kaynaklarının tüketim hızını azaltmak.

Düzenli bir geri kazanma aşağıdaki ortamlarda yapılabilir;

- Kaynakta
- Transfer istasyonunda
- İmha sahasında

Avrupa Atık Mevzuatında kabul edilen geri kazanım işlemleri de şunlardır (Tenikler 2007):

- Enerji üretimi amacıyla başlıca yakıt olarak veya başka şekillerde kullanma,
- Solvent (çözücü) ıslahı/yeniden üretimi,
- Solvent olarak kullanılmayan organik maddelerin ıslahı/ geri dönüşümü (Kompost ve diğer biyolojik dönüşüm süreçleri dahil),
- Metallerin ve metal bileşiklerinin ıslahı/geri dönüşümü,
- Diğer anorganik maddelerin ıslahı/geri dönüşümü,
- Asitlerin veya bazların yeniden üretimi,
- Kirliliğin azaltılması için kullanılan parçaların (bileşenlerin) geri kazanımı,
- Katalizör parçalarının (bileşenlerinin) geri kazanımı,
- Kullanılmış yağların yeniden rafine edilmesi veya diğer tekrar kullanımları,
- Ekolojik iyileştirme veya tarımcılık yararına sonuç verecek arazi ıslahı,
- Atıkların stoklanması (atığın üretildiği alan içinde geçici depolama, toplama hariç).

2.2.3. Atıkların toplanması ve taşınması

Tehlikeli atıklar, özellikleri itibarı ile diğer atıklardan ayrı taşınmalıdır. Eğer diğer atıklarla karışmış olmaları söz konusu ise, atıkların tamamı Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre muamele görmelidir. Ancak, atıkları başlangıçta mümkün olduğunca ayrıştırmak işletilmesi açısından daha ekonomiktir.

Tehlikeli atıkların taşınması, uygun ekipman ve konuyla ilgili eğitimli kişiler tarafından yapılmalıdır. Tehlikeli atıkların toplanması ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda yer almaktadır (Anonim 2012):

- Atıkların ambalajlanması, etiketlenmesi ve taşınması süreci, yönetmeliklere uygun ve uluslararası düzeyde kabul gören standartlara dayalı gerçekleşmelidir.
- Taşınması gereken atığın özelliklerine uygun olarak tasarlanmış ve imal edilmiş tank ve konteynerler kullanılmalıdır,
- Eğer farklı bir çeşit konteyner kullanılıyorsa, atıkla uyumlu ve yeterli güvenilirliğe sahip koşullarda olmalıdır,
- Tehlikeli atıkları içeren tank ve konteynerlar için, içerdikleri atıkların bileşim ya da tehlike unsuru içerip içermediğini belirten etiketler kullanılmalıdır.
- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan lisans almış kişi ve kuruluşlarca tehlikeli atıkların taşınması mümkündür. İlgili araçlarda, atık taşıma formlarının bulunması zorunludur.

2.2.4. Atıkların geçici ve ara depolanması

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde, atıkların üreticisi tarafından tesis içinde, ancak tesis içinde uygun yer bulunmaması durumunda üreticiye ait uygun bir alanda ara depolama, geri kazanım ve nihai bertaraf tesislerine ulaştırılmadan ya da tesiste tekrar kullanmadan önce güvenli bir şekilde depolanması "Geçici Depolama"; bu yönetmeliğin beşinci bölümünde tanımlanan, atıkların geri kazanım ve nihai bertaraf tesislerine ulaştırılmadan önce atık miktarı yeterli kapasiteye ulaşıncaya kadar güvenli bir şekilde depolanması "Ara Depolama" olarak tanımlanmıştır. Ara depolarda atık bekleme süresi bir yılı aşmaz. Ancak, bu süreç Bakanlık izni ile uzatılabilir. Ara depolama ve işleme tesislerinde (Resmi Gazete 2005):

- Giriş, depolama ve çalışma kısımları,
- Yangın söndürme sistemleri,
- Boruların, hazne ve kapların temizlenmesi için temizleme sistemleri,
- Taşan ve dökülen atıkların toplanması için yeterli absorban, nötralizan bulunur.

Atıkların tesis içinde taşınması sürecinde, atıkların katı ya da sıvı formda olmasına göre yapılarına uygun konteynır ve taşıma şekilleri işletmeler tarafından belirlenir. Ayrıca, bu kapların üzerinde içerdiği atığın çeşidi, kaynağı, miktarı ve depolama tarihi ile ilgili bilgiler mutlaka yazılır (Resmi Gazete 2005).

2.2.5. Tehlikeli atık arıtımı

2.2.5.1 Fiziksel arıtma

Atıklara faz ayrımı ve solidifikasyon işlemleri uygulanarak atıkların inert bir forma getirilmesi amaçlanır. Genellikle, atık hacminin azaltılması için tercih edilir. Başlıca faz arıtım yöntemleri (Erbay 2009):

- Lagünleme,
- Çamur kurutma yatakları,
- Uzun ömürlü depolama tanklarıdır.

Arıtım uygulanacak tehlikeli atık için madde hali (katı, sıvı), yoğunluk, çözünürlük, kararsızlık, erime ve kaynama noktası gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerin bilinmesi gerekmektedir.

2.2.5.2 Kimyasal arıtma

Kimyasal yöntemler ile atığın daha zararsız hale gelmesi amaçlanır. Başlıca uygulanan yöntemler (Erbay 2009):

- Asit - baz nötralizasyonu,
- Kimyasal çöktürme,
- Kimyasal flokülasyon,
- Kimyasal yükseltgenme – indirgenme,
- Kimyasal ayırma ve süzme,
- İyon değişimi,
- Stabilizasyon.

2.2.5.3 Biyolojik arıtma

Gıda ve toprak (çimen, bahçe artıkları vs.) artıkları gibi organik maddelerin biyolojik bozulmasını kapsayan bir yöntemdir. Bu yöntemin; topraga besleyici maddeler kazandırması, yararlı toprak organizmalarını artırması, depolama alanları dışındaki organik atıkların geri kazanılması, belirli bitkisel hastalıkları önlemesi, gübre ve pestisitlere olan ihtiyacı azaltması,

toprak erozyonunu engellemesi, kirlilik problemine çözüm getirmesi ve doğal kaynakları koruması gibi birçok yararı söz konusudur (Yılmaz ve Bozkurt 2010).

2.2.6. Nihai tehlikeli atık bertarafı

Tehlikeli atık oluşumunun önlenmesi, minimizasyonu, geri kazanımı ve yeniden kullanımı mümkün olmadığı takdirde, atıkların karakteristikleri göz önünde bulundurularak uygun bir yöntem ile bertaraf edilmesi gerekir. Örneğin pestisid atıkları ve PCB'ler (Poliklorlu bifeniller) gibi tehlikeli atıklar en uygun olarak yüksek ısılarda yakılarak bertaraf edilirken, daha az tehlikeli atıklar için depolama yöntemi kullanılabilir (Tenikler 2007). TAKY Ek-2'de, tehlikeli atıkların nihai bertarafı için uygun olan yöntemler belirtilmiştir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır (Resmi Gazete 2005):

- (D3), Derine enjeksiyon (Örneğin: Pompalanabilir atıkların kuyulara, tuz kayalarına veya doğal olarak bulunan boşluklara enjeksiyonu ve benzeri),
- (D4), Yüzey doldurma (Örneğin: Sıvı ya da çamur atıkların kovuklara, havuzlara ve lagünlere doldurulması ve benzeri),
- (D5), Özel mühendislik gerektiren toprağın altında veya üstünde düzenli depolama (Çevreden ve her biri ayrı olarak izole edilmiş ve örtülmüş hücresel depolama ve benzeri),
- (D8), (D3) ile (D12) arasına verilen işlemlerden herhangi biri ile bertaraf edilen nihai bileşiklere veya karışımlara uygulanan ve bu ekin başka bir yerinde ifade edilmeyen Biyolojik işlemler,
- (D9), (D3) ile (D12) arasına verilen işlemlerden herhangi biri ile bertaraf edilen nihai bileşiklere veya karışımlara uygulanan ve bu ekin başka bir yerinde ifade edilmeyen Fiziksel-kimyasal işlemler (Örneğin: buharlaştırma, kurutma, kalsinasyon ve benzeri),
- (D10), Yakma,
- (D12), Sürekli depolama (Bir madende konteynerlerin yerleştirilmesi ve benzeri),
- (D15), (D3) ile (D12) arasında belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutuluncaya kadar atığı üretildiği alan içinde geçici depolama (Ara depolama tesisleri ve toplama işlemi hariç).

EPA'nın 2001'de yayınladığı verilere göre, Tehlikeli Atık Yönetimi'nin % 69'unu depolama ile bertaraf etme işlemi oluşturmaktadır. Depolama ile bertaraf kapsamında uygulanan yöntemler ve bertaraf edilen atık miktarı Çizelge 2.2'de yer almaktadır.

Çizelge 2.2. Depolama ile bertaraf etme yöntemleri ve bertaraf edilen atık miktarları (Pichtel 2005)

Yöntem	Miktar (Ton)
Derin kuyulara ya da yer altına enjeksiyon	16 milyon
Düzenli Depolama	1,4 milyon
Yüzeyle Doldurma	705 bin
Toprak Arıtımı, Uygulama ve Tarım	30 bin

Termal İşlemler, atık bertarafı'nın %11'ini oluşturmaktadır. Bu yöntemlerin sınıflandırılması ve atık miktarları Çizelge 2.3 'de yer almaktadır (Pichtel 2005).

Çizelge 2.3. Termal işlemler ve bertaraf edilen atık miktarları (Pichtel 2005)

Yöntem	Miktar (Ton)
Enerji Geri Kazanımı	1,5 milyon
Yakma	1,5 milyon

Geri Kazanım Uygulamaları, atık yönetiminin %10'unu oluşturmaktadır. En yaygın kullanılan yöntemler ve atık miktarları Çizelge 2.4'te yer almaktadır (Pichtel 2005).

Çizelge 2.4. Geri kazanım metodları ve atık bertaraf miktarları (Pichtel 2005)

Yöntem	Miktar (Ton)
Yakıt Harmanlama	1,1 milyon
Metallerin Geri Kazanımı (Tekrar kullanım için)	720 bin
Solvent Geri Kazanımı	368 bin
Diğer Geri Kazanımlar	152 bin

Geriye kalan %11'lik kısmı da diğer arıtma ve bertaraf etme yöntemleri oluşturmaktadır. Bu yöntemler ve atık miktarları Çizelge 2.5'te yer almaktadır (Pichtel 2005).

Çizelge 2.5. Diğer bertaraf yöntemleri ve atık miktarları (Pichtel 2005)

Yöntem	Miktar (Ton)
Diğer Bertaraf Yöntemleri	1,4 milyon
Stabilizasyon	1,3 milyon
Çamur Arıtma	48 bin

2.2.6.1. Ön işlem gerektirmeyen tehlikeli atıkların uzaklaştırılması

Tehlikeli atıklar, herhangi bir fiziksel ya da kimyasal arıtma işlemine tutulamayacak durumda olduğunda ya da arıtmadan geçtikten sonra da yine buldukları ortamdan güvenle uzaklaştırılabilmeleri için kullanılan yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

- **Tehlikeli atıkların derine enjeksiyon;** Derine enjeksiyon yöntemi genellikle sıvı formdaki tehlikeli atıklar için uygulanan bir yöntemdir. Ancak, kontrol ve takip zorluğundan dolayı pahalı bir yöntemdir ve her ülkede bu uygulamaya izin verilmemektedir. Bu atıklar genellikle doğal salamura-tuzlu su atıkları olup petrol çıkarım işlemlerinden, tuz yatağı çözeltilerinden ve madenlerden kaynaklanırlar. Tükenmiş-eskimiş atıklar da derin katmanlardaki kireçli kayalarda (karstik) çevresel riski olmadan kolaylıkla nötralize edilirler (Erbay 2009).
- **Tehlikeli atıkların deniz diplerine boşaltma;** Bu yöntemle uzaklaştırmada amaç tehlikeli atığın su ile seyrelmesini sağlamaktır. Bu yöntemde, atığın boşaltıldığı yerin karaya olan uzaklığı önemli bir faktördür. Ayrıca, atığın döküleceği denizin ulusal ve uluslar arası düzeyde anlaşmalara bağlı olup olmadığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü, tehlikeli atıkların yapılarında barındırdıkları mikrokirleticiler için yetki belgesi gerektiren düzenlemeler söz konusudur (Erbay 2009).
- **Tehlikeli atıkların yer altı katmanlarına depolama;** Bazı tehlikeli atık çeşitlerinin doğrudan düzenli depolamaya gönderilmesi ekonomik ve çevresel açıdan sorunlara sebep olabilir. Bu nedenle atıkların, daha önceden incelenmiş ve artık işlem görmeyen, terk edilmiş kömür ve tuz madenlerinde depolanması uzaklaştırma yöntemleri adı altında açıklanmıştır. Kömür ocaklarında metan gazı sıkışma riski vardır. Ancak tuz madenlerinde böyle bir risk söz konusu değildir. Tuz madenleri nem çekme ve absorplama özellikleri açısından sıvı ve gaz atıkların kristalleşmelerine yardımcı olurlar (Erbay 2009).
- **Tehlikeli atıkların düzenli depolanması;** Tehlikeli atıklar, geri kazanım, arıtma ya da bertaraf etme işlemlerine uygun olmadıklarında; zararsız hale getirilmeleri, oluşturabilecekleri riskleri kontrol edebilmek amacıyla çevreden izole edilmeleri amacıyla kullanılan en yaygın yöntem düzenli depolamadır. Düzenli depolama, termal işlem ile bertaraf edilen atıklardan kalan atıkların depolanması için de kullanılmaktadır (Tenikler 2007). Düzenli depolama, sızdırmazlığın sağlandığı ve gaz kontrolünün yapıldığı alanlara atıkların kademeli olarak gömülmesi işlemidir. Depolama işlemleri sırasında alınan önlemlerin yeterli olduğu ve atığın özelliği sebebi ile depolama işleminde çevrenin olumsuz yönde etkilenmeyeceğinin ispat edilmesi hallerinde atıklar depolanabilir veya bu amaçla depo tesisi kurulmasına izin verilebilir. Depo tesisine gidecek olan atıkların %65'inden fazla su içermesi yasaktır. Tehlikeli atıklar ve evsel atıklar ayrı işleme tabi tutularak depolanır (Babacan 2008).

Endüstriyel atıkları için yönetmeliklerde üç tip atık depolama alanı tanımlanmıştır (Resmi Gazete 2010):

- **Inert atık depolama alanları:** Inert atık depolama alanlarında sadece inert atıklar depolanabilir.
- **Tehlikesiz atık depolama alanları:** Evsel atıklar, tehlikesiz atık depolama alanlarında depolanabilir.
- **Tehlikeli atık depolama alanları;** ADDİY kapsamında analizi yaptırılan ve analiz sonuçları yönetmelik ile belirlenen sınır değerleri geçmeyen tehlikeli atıkların depolandığı alanlardır.

AB Düzenli Depolama Direktifi, 2010 yılı için 1995 yılında oluşan biyolojik olarak ayrışabilir atıkların % 75'inin, 2013 yılı için % 50'sinin ve 2020 için % 35'inin düzenli depolamaya kabul edilmesini öngörmektedir. Türkiye'nin 2015 yılında % 75'lik hedefe ulaşması beklenirken, %50'lik hedefe en erken 2020 yılında ulaşılabileceği tahmin edilmektedir (Öztürk 2010).

2.2.6.2 Ön işlem gerektiren tehlikeli atıkların uzaklaştırılması (Termal yöntemler)

Tehlikeli atıkların termal yöntemlerle bertaraf edilmesi, yüksek sıcaklıkta atıkların enerjiye ve yan ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Termal yöntemlerle bertaraf işleminde amaç, hem atıkların hacimsel olarak ciddi anlamda indirgenmesi hem de yapılarında var olan enerji potansiyelinin değerlendirilmesini sağlamaktır. Bu amaçla yakma, piroliz ya da gazlaştırma yöntemleri kullanılmaktadır (Saltabaş ve Soysal 2010).

Yakma, piroliz ve gazifikasyon yöntemlerinin temel nitelikleri Çizelge 2.6'de verilmiştir (Anonim 2006).

Çizelge 2.6. Termal bertaraf yöntemleri tipik reaksiyon koşulları ve ürünler (Anonim 2006)

	Yakma	Piroliz	Gazifikasyon
Reaksiyon Sıcaklığı (°C)	800 – 1450	250 – 700	500 – 1600
Yanma Odası Basıncı (bar)	1	1	1–45
Ortam	Hava	İnert – Azot	O ₂ .H ₂ O
Stokiyometrik Hava Oranı	> 1	0	< 1
Gaz Halindeki Ürünler	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
Katı Haldeki Ürünler	Kül, Cüruf	Kül, Kömür	Cüruf, Kül
Sıvı Haldeki Ürünler		Piroliz Yağı, Su	

- **Tehlikeli atıkların yakılması:** Yakma, genel olarak tehlikeli atıkların yapısında bulunan organik bileşenlerin yüksek sıcaklıklarda ve oksijence zengin ortamdaki termal bozunmasıdır. Atıkların heterojen yapılarından dolayı yakma işlemi daha karmaşıktır. Yakma sonucunda oluşan gaz ve kül artık yanmayacak niteliktedir; oluşan gazlar, enerji geri kazanımlı ya da hava kirlilik limitleri göz önünde bulundurularak etkin bir şekilde temizlendikten sonra doğrudan atmosfere verilebilir, kalan kül ve cüruf ise düzenli depolamaya gönderilir (Erbay 2009).

Yakma prosesinde, giren atığın %15-20'sini taban külü oluştururken %5'ini de uçucu kül oluşturmaktadır (Saltabaş ve Soysal 2010).

Günümüzde, döner fırınlar, akışkan yataklar ve ızgara yakıcılar yakma işlemi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ekipmanlardan ızgara fırınlar en az esnekliğe sahip olanlardır. Bununla birlikte, diğerlerine kıyasla daha düşük maliyetli olup partikül boyutu ve yüksek verim dikkate alındığında genellikle küçük ve orta ölçekli atık bertaraf tesisleri için daha uygundur (Tao ve Zhao 2010).

Atıkların klasik yakma ile bertarafı sonucunda, tehlikeli emisyonlar ile kirletici zehirli ağır metaller, dioksinler, furanlar ve uçucu organik bileşikler gibi zararlı proses kalıntıları da oluşmaktadır. Bu nedenle, bu uygulama için ciddi yasal kısıtlama ve denetlemeler söz konusudur.

Yakma yönteminin avantajları aşağıda yer almaktadır (Candar 2011):

- Yüksek sıcaklık sonucu patolojik atıkların imha edilmesi,
- İnfektif atıkların tamamen yok edilmesi sağlanır,
- İşlenmiş atık tanınmaz kül haline gelir,
- Organik atıklar inorganik hale getirilir,
- Geride çok az atık kalır,
- Devamlı beslemeli ve yüksek sirkülasyonlu ünitelerde büyük miktarlar işlenebilir.

Yakma yönteminin dezavantajları aşağıda yer almaktadır (Candar 2011):

- Sulu atıklar ile klorlanmış ve yüksek oranda metal içeren atıklar için uygun değildir,
- HCl ve dioksin gibi gaz emisyonları sebebi ile hava için kirletici unsurlar oluşturmaktadır.
- Yüksek ısı ile çalışılması gerektiğinden pahalı bir yöntemdir.

Son yıllarda, gazlaştırma ve gazlaştırma, piroliz ve klasik yakma kombinasyonundan oluşan yeni uygulamalarla daha verimli ve çevre dostu termal atık bertaraf yöntemleri

uygulanmaya başlanmıştır (Kwak ve ark. 2006).

- **Tehlikeli atıkların pirolizi;** Piroliz, klasik yakma yerine alternatif bir yöntem olup oksijen yerine inert bir gaz atmosferinde atıkların daha küçük moleküllere ve yanıcı gazlara dönüşmesini içeren termokimyasal bir bozunma prosesidir (Tao ve Zhao 2010a).

Proses sonucunda metan, kompleks hidrokarbonlar, hidrojen ve karbonmonoksit gibi yanıcı gazlar, sıvılar ve katı maddeler oluşur (Anonim 2009) . Piroliz ile bozunan atıktan oluşan sıvı ve gazlar, yakıt olarak veya kimyasal madde üretimi için değerlendirilebilmektedir. Atıkların yapısındaki inorganiklerin bir kısmı değişmeden kalır ve organik kısımdan bağımsız hale gelir. Böylece, bu inorganik maddelerin diğer plastikler için dolgu maddesi gibi amaçlarla tekrar kullanımı mümkün olabilir ya da minimum atık miktarı haline geldikleri için düzenli depolamaya gönderilebilirler. Araştırmalarda, daha hafif ve değerli yağların elde edilebilmesi için termal proses yerine katalitik pirolizin tercih edilmesinin daha avantajlı olduğu görülmüştür; katalitik piroliz, reaksiyon sıcaklığını düşürüp, parçalanma reaksiyonlarını hızlandırmaktadır. Bu da daha kısa proses süreçlerinin ve reaksiyon seçiciliğinin değerli ürünler yönünde olmasını sağlamaktadır (Marco ve Caballero 2009).

Tehlikeli atıkların gazlaştırılması; Gazlaştırma, organik bileşenlerin oksijence fakir bir ortamda ısı etkisiyle fiziksel ve kimyasal olarak bozunmasıdır. Oluşan ürünler katı madde çar(char), kül, cüruf ve sentetik gazdır. Sentez gazının başlıca bileşenleri, karbonmonoksit (CO), hidrojen (H₂), metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), etan (C₂H₆), su (H₂O) ve azottur (İritiş 2010). Sentez gaz ısı değerine sahiptir ve tekrar yakılarak enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Proseste normal hava kullanıldığında oluşan sentetik gaz, doğal gazın ısı değerinin % 25'ine; oksijence zengin hava kullanıldığında ise % 40'ına denk bir ısı değerine sahiptir. Üretilen gaz öncelikle kirleticilerinden temizlendikten sonra buhar kazanlarında, gaz motorlarında ve gaz türbinlerinde elektrik, ısı ve güç üretmek için kullanılabilen gibi çeşitli kimyasalların ve sıvı yakıt üretiminde kullanılabilir (Anonim 2009).

2.2.7. Uluslararası atık mevzuatı

Katı atıkların bertaraf yöntemlerinin geliştirilmesi amacıyla Katı Atık Bertaraf Hareketi (SWDA, Solid Waste Disposal Act) 1965 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yürürlüğe girmiştir (Anonim 1994).

2.2.7.1. US EPA RCRA yönetmeliği

SWDA'nın hedefleri, 1976'da Kaynak Koruma ve Geri Kazanım Hareketi (RCRA, Resource Conservation and Recovery Act) ve 1984'te Tehlikeli ve Katı Atık İyileştirme Hareketi, (HSWA, Hazardous and Solid Waste Amendments) tarafından genişletilmiştir ve tüm bu etkinliklerin tamamı RCRA olarak ifade edilmiştir. RCRA, tehlikeli atıklar ile ilgili oluşturulan ilk resmi düzenlemedir ve tehlikeli atıkların üretimi, taşınması, arıtımı, depolanması ve bertaraf edilmesi konusunda insan sağlığı ve çevrenin korunmasını sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. EPA, RCRA'yı geliştirmek amacıyla yasal bir program oluşturmuştur. Böylece, binlerce üretici, taşıyıcı, arıtma, depolama ve bertaraf etme tesisi ile ilgili düzenleme oluşması sağlandı. EPA, pek çok eyalete yasal RCRA programına tam uyumlu olmak şartıyla, kendi RCRA programlarını uygulamaları konusunda garanti vermiştir. RCRA programı, atıkların uygun şekilde tanımlanabilmesi için analiz edilmesi üzerinde durmuştur. Atık analizi, atıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerini, atığa ait bir örneğin fiziksel ve kimyasal analizinin yapılması ya da atığın oluşum süreci ile ilgili bilgilerin değerlendirilmesini kapsar (Anonim 1994).

RCRA, Karada Bertaraf Kısıtlamaları (The Land Disposal Restrictions, LDR) ile ilgili bir düzenleme oluşturmuştur. Buna göre, arıtım ya da bertarafı için EPA tarafından oluşturulan standartların bulunduğu atıklara kısıtlanmış atık (restricted waste) denilmektedir. Yasaklı atıkları (Prohibited waste) ise, kısıtlanmış atıklardan karada bertaraf edilmesi uygun olmayan atıklardır (Anonim 1994).

2.2.7.2. Avrupa Birliği (EU/AB)

Avrupa Birliği'nin çevre politikası hedefleri (Anonim 2013b):

- Çevrenin korunması, kollarılması ve çevre kalitesinin yükseltilmesi,
- Doğanın ve doğal kaynakların, ekolojik dengeye zarar verecek şekilde işletilmelerinden sakınılması ve bunların akılcı bir şekilde yönetilmelerinin temin edilmesi,
- İnsan sağlığının korunması,
- Kalkınmaya, kalite gereksinimleriyle uyum içinde, özellikle de çalışma şartlarının ve yaşam çevresinin geliştirilmesine yön verilmesi,
- Kent planlaması ve toprak kullanımında çevresel etkilerin daha fazla dikkate alınmasının sağlanması,
- Topluluğun dışındaki devletler, özellikle de uluslararası örgütlerle küresel çevre problemlerine ortak çözümler aranması.

Avrupa Birliği çevre politikası ilkeleri (Anonim 2013b):

- **Bütünleyicilik ilkesi:** Çevrenin korunmasının birliğin diğer politikalarının içine entegre edilmesi ilkesi, topluluk tarafından yürütülecek faaliyetlerin temellerinden birini oluşturmaktadır. Avrupa Topluluđu Antlaşması'nın 6.maddesinde, çevre korunmasının gereklerinin sürdürülebilir gelişmenin teşvik edilebilmesi için diğer Topluluk politika ve faaliyetlerine eklenmesi gerekmektedir.
- **Yüksek seviyede koruma ilkesi:** Bu ilke, yaşama yetkileri dahilinde başta Avrupa Komisyonu, Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Konseyi olmak üzere Topluluğun tüm kurumlarını bağlamaktadır. Bütün kurumlar, Topluluğun farklı bölgelerindeki çevre koşullarını da hesaba katarak yüksek seviyede çevre korumasını amaç edinmelidir.
- **İhtiyat ilkesi:** Belli bir hareketin çevre açısından olumsuz ve zararlı sonuçlar doğuracağı hakkında ciddi bir şüphe mevcutsa, bilimsel kanıtın ortaya çıkmasına kadar beklemekten ve çok geç olmadan önlem alınması anlamına gelmektedir.
- **Önleme ilkesi:** Bu ilke, zararın tam olarak ortaya çıkmasından önce gerekli önlemlerin alınması gereğinin altını çizmektedir.
- **Kaynakta önleme ilkesi:** Topluluk çevre politikası, çevresel zararın, öncelikle kaynağında önlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Topluluk mevzuatı bu ilkeyi, özellikle emisyon standartlarının çevre kalite ölçütlerini aştığı su ve atık sektörüne uygulamaktadır. Atık sektöründe, örneğin, atık nakillerinin sınırlandırılması amacıyla, atığın mümkün olduğunca üretim yerine yakın bir yerde yok edilmesi gerekmektedir.
- **Kirleten öder ilkesi:** Bu ilke, Topluluk çevre politikasının temel taşıdır. Kirletenlere, sebep oldukları kirlilik ile mücadelenin bedelinin ödettirilmesi, onları kirliliği azaltmaya ve daha az kirleten ürün ve teknolojiler bulmaya teşvik etmektedir. Bu ilke, kirleticilerin uyması gereken çevre standartları koyularak da uygulanabilmektedir.

Tehlikeli atıklar ile ilgili başlıca AB direktifleri şunlardır (Tenikler 2007):

- Atık Çerçeve Direktifi (75/442 EEC)
- Tehlikeli Atık Direktifi (91/689 EEC)
- Atıkların Yakılması Direktifi (2000/76 EC)
- Düzenli Depolama Direktifi (99/31 EC)
- Avrupa Atık Katalođu (EWC 2002)

2.2.8. Ulusal Atık Mevzuatı

1974 yılında Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) Müsteşarlığı altında bir danışma kurulu şeklinde örgütlenen çevre korumacı yaklaşım, 1978 yılında Başbakanlığa bağlı bir çevre örgütüne dönüştürülmüştür. 1991 yılında Çevre Bakanlığı'nın kurulması ile bakanlık düzeyinde bir örgütlenme sağlamıştır.

2.2.8.1 Çevre Kanunu

11.08.1983 tarihli, 18132 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmış; son değişiklikler 26.04.2006 yılında yapılmıştır. Bu Kanunun amacı, bütün canlıların ortak varlığı olan çevrenin, sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda korunmasını sağlamaktır (Resmi Gazete 1983).

Kanunun İlkeleri;

Çevrenin korunmasına, iyileştirilmesine ve kirliliğinin önlenmesine ilişkin genel ilkeler şunlardır:

- Başta idare, meslek odaları, birlikler ve sivil toplum kuruluşları olmak üzere herkes, çevrenin korunması ve kirliliğin önlenmesi ile görevli olup bu konuda alınacak tedbirlere ve belirlenen esaslara uymakla yükümlüdürler.
- Çevrenin korunması, çevrenin bozulmasının önlenmesi ve kirliliğin giderilmesi alanlarındaki her türlü faaliyette; Bakanlık ve yerel yönetimler, gerekli hallerde meslek odaları, birlikler ve sivil toplum kuruluşları ile işbirliği yaparlar.
- Arazi ve kaynak kullanım kararlarını veren ve proje değerlendirmesi yapan yetkili kuruluşlar, karar alma süreçlerinde sürdürülebilir kalkınma ilkesini gözetirler.
- Yapılacak ekonomik faaliyetlerin faydası ile doğal kaynaklar üzerindeki etkisi sürdürülebilir kalkınma ilkesi çerçevesinde uzun dönemli olarak değerlendirilir.
- Çevre politikalarının oluşmasında katılım hakkı esastır. Bakanlık ve yerel yönetimler; meslek odaları, birlikler, sivil toplum kuruluşları ve vatandaşların çevre hakkını kullanacakları katılım ortamını yaratmakla yükümlüdür.
- Her türlü faaliyet sırasında doğal kaynakların ve enerjinin verimli bir şekilde kullanılması amacıyla atık oluşumunu kaynağında azaltan ve atıkların geri kazanılmasını sağlayan çevre ile uyumlu teknolojilerin kullanılması esastır.
- Kirlenme ve bozulmanın önlenmesi, sınırlandırılması, giderilmesi ve çevrenin

iyileştirilmesi için yapılan harcamalar kirleten veya bozulmaya neden olan tarafından karşılanır. Kirletenin kirlenmeyi veya bozulmayı durdurmak, gidermek veya azaltmak için gerekli önlemleri almaması veya bu önlemlerin yetkili makamlarca doğrudan alınması nedeniyle kamu kurum ve kuruluşlarınca yapılan gerekli harcamalar 6183 sayılı Amme Alacaklarının Tahsil Usulü Hakkında Kanun hükümlerine göre kirletenden tahsil edilir.

- Çevrenin korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve giderilmesi için uyulması zorunlu standartlar ile vergi, harç, katılma payı, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve temiz teknolojilerin teşviki, emisyon ücreti ve kirletme bedeli alınması, karbon ticareti gibi piyasaya dayalı mekanizmalar ile ekonomik araçlar ve teşvikler kullanılır.
- Bölgesel ve küresel çevre sorunlarının çözümüne yönelik olarak taraf olduğumuz uluslararası anlaşmalar sonucu ortaya çıkan ulusal hak ve yükümlülüklerin yerine getirilmesi için gerekli teknik, idarî, malî ve hukukî düzenlemeler Bakanlığın koordinasyonunda yapılır. Gerçek ve tüzel kişiler, bu düzenlemeler sonucu ortaya çıkabilecek maliyetleri karşılamakla yükümlüdür.
- Çevrenin korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve çevre sorunlarının çözümüne yönelik gerekli teknik, idarî, malî ve hukukî düzenlemeler Bakanlığın koordinasyonunda yapılır. 2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu kapsamındaki konular Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından yürütülür (Resmi Gazete 1983).

2.2.8.2 Katı atıkların kontrolü yönetmeliği

14.03.1991 tarihli, 20814 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmış; en son 05.04.2005 tarihli ve 25777 sayılı Resmi Gazetede hakkında değişik yapılmıştır. Tehlikeli atıkların, katı atıklardan ayrı bertaraf edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Amacı; her türlü atık ve artığın çevreye zarar verecek şekilde, doğrudan veya dolaylı bir biçimde alıcı ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan tüketim maddelerinin idaresini belli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta kalıcı etki gösteren kirleticilerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve geliştirilmesidir (Resmi Gazete 2005a).

Bu Yönetmelik, meskun bölgelerde evlerden atılan evsel katı atıkların, park, bahçe ve yeşil alanlardan atılan bitki atıklarının, iri katı atıkların, zararlı atık olmamakla birlikte evsel

katı atık özelliklerine sahip sanayi ve ticarethane atıklarının, evsel su arıtma tesislerinden elde edilen (atılan) arıtma çamurlarının ve zararlı atık sınıfına girmeyen sanayi arıtma tesisi çamurlarının toplanması, taşınması, geri kazanılması, değerlendirilmesi, bertaraf edilmesi ve zararsız hale getirilmesine ilişkin esasları kapsar.

Özel ve/veya resmi kuruluşlarca ve gerçek kişilerce üretilip çeşidi, özelliği ve miktarı itibarı ile insan sağlığına zarar veren, su, hava ve toprağı kirleten, yanıcı ve patlayıcı madde ihtiva eden, hastalık mikrobu taşıyabilen zararlı ve tehlikeli atıklar hakkında bu yönetmelik hükümleri uygulanmaz (Resmi Gazete 2005a).

2.2.8.3 Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliğı

14.03.2005 tarihli ve 25755 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmış olup, en son değişiklik 30.10.2010 tarihli ve 27339 sayılı Resmi Gazete yayımlanan değişiklikler ile uygulanmaktadır. Bu Yönetmeliğın amacı, tehlikeli atıkların, üretiminden nihai bertarafına kadar (Resmi Gazete 2005);

- İnsan sağlığına ve çevreye zarar verecek şekilde doğrudan veya dolaylı biçimde alıcı ortama verilmesinin önlenmesine,
- Üretimini ve taşınmasının kontrolünün sağlanmasına, İthalinin yasaklanmasına ve ihracatının kontrolüne,
- Yönetiminde gerekli teknik ve idari standartların sağlanmasına, Üretimini kaynağında en aza indirilmesine,
- Üretimini kaçınılmaz olduğı durumlarda, üretildiğı yere en yakın mesafede bertaraf edilmesine,
- Yeterli bertaraf tesisi kurulması ve bu tesislerin çevresel bakımdan sağlıklı bir şekilde kontrolüne,
- Çevreyle uyumlu yönetimini sağlanmasına, yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi için hukuki ve teknik esasları kapsar.
- Yerli ve yabancı bayraklı gemilerin ve diğeri deniz araçlarının normal faaliyetlerinden kaynaklanan atıkların liman kabul tesislerine veya atık toplayıcı gemilere boşaltılması bu Yönetmelik kapsamı dışındadır.

Bu Yönetmelik 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 8, 11 ve 12. maddesi ile 15/5/1994 tarihli ve 21935 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Tehlikeli Atıkların Sınırlar

Ötesi Taşınımının ve Bertarafının Kontrolüne İlişkin Basel Sözleşmesinin üçüncü maddesine dayanılarak hazırlanmıştır (Resmi Gazete 2005).

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde kaldırılan eklerin bir kısmı Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik'te yer almaktadır. Ayrıca, Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik de termal işlemler ile atık bertarafında göz önünde bulundurulması gereken bir yönetmeliktir.

2.2.8.4. Atık yönetimi genel esaslarına ilişkin yönetmelik

Bu yönetmeliğin amacı; atıkların oluşumlarından bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetimlerinin sağlanmasına yönelik genel esasların belirlenmesidir.

Bu Yönetmelik, 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 11, 12 ve 13 üncü maddeleri ile 1/5/2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunun 9 uncu maddesine dayanılarak hazırlanmıştır.

Atık yönetimine ilişkin genel ilkeler şunlardır;

a) Atık üretiminin ve atığın zararlılığının,

1) Doğal kaynakların olabildiğince az kullanıldığı temiz teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması,

2) Üretim, kullanım veya bertaraf aşamalarında çevreye zarar vermeyecek veya en az zarar verecek şekilde tasarlanan ürünlerin pazarlama ve teknik gelişiminin sağlanması,

3) Geri kazanım sonrasında geriye kalan tehlikeli maddelerin nihai bertarafı için uygun tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanması, suretiyle önlenmesi ve azaltılması esastır.

b) Atık üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda geri dönüşüm, tekrar kullanım ve ikincil hammadde elde etme amaçlı diğer işlemler ile atığın geri kazanılması veya enerji kaynağı olarak kullanılması esastır.

c) Atıkların ayrılması, toplanması, taşınması, geri kazanılması ve bertarafı sırasında su, hava, toprak, bitki ve hayvanlar için risk yaratmayacak, gürültü, titreşim ve koku yoluyla rahatsızlığa neden olmayacak, doğal çevrenin olumsuz etkilenmesini önleyecek ve böylece çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek yöntem ve işlemlerin kullanılması esastır.

ç) Farklı türdeki atıkların kaynağında ayrı toplanması esastır.

d) Atıklar, ilgili valilikten taşıma lisansı almış kişi, kurum veya kuruluşlar tarafından taşınır. Ancak mevzuatta lisans alma zorunluluğu getirilen atık türleri dışında belediyelerce

veya belediyelerin denetiminde taşınan atıklar, evsel ve tehlikesiz atıklar ile ambalaj atığı taşıma işlemleri için taşıma lisansı alınması zorunlu değildir.

e) Atıklar, birinci fıkranın (c) bendinde belirtilen şartlara uyulmak kaydıyla üretildikleri yerde geri kazanılabilir veya bertaraf edilebilir. Bunun yapılmaması halinde atığın sahibi, atıklarının, bir atık taşıyıcısı tarafından taşınarak EK-II A'da veya EK-II B'de belirtilen işlemleri yapan ve bu amaçla Bakanlıktan lisans almış bir tesis tarafından geri kazanılmasını veya bertarafını sağlamakla yükümlüdür.

f) Atıkların en yakın ve en uygun olan tesiste, uygun yöntem ve teknolojiler kullanılarak bertaraf edilmesi esastır.

g) Atıkların, lisanslı geri kazanım ve bertaraf tesisleri dışında yetkisiz kişi, kurum ve kuruluşlar tarafından toplanması, geri kazanılması ve bertaraf edilmesi yasaktır.

ğ) Her türlü faaliyet sırasında doğal kaynakların ve enerjinin verimli kullanılması amacıyla, atık oluşumunu kaynağında azaltan ve atıkların geri kazanılmasını sağlayan çevre ile uyumlu teknolojilerin kullanılması esastır.

h) Atıkların üretiminden ve yönetiminden sorumlu kişi, kurum ve kuruluşlar, atık yönetiminin her aşamasında atıkların çevre ve insan sağlığına zarar vermesini önleyecek tedbirleri almakla yükümlüdür.

ı) Atıkların yarattığı çevresel kirlenme ve bozulmadan doğan zararlardan dolayı atığın sahipleri, taşıyıcıları, geri kazanımcıları ve bertaraf edicileri müteselsilen kusur şartı aranmaksızın sorumludurlar. Adı geçen sorumluların bu faaliyetler sonucu meydana gelen zararlardan dolayı genel hükümlere göre de tazminat sorumluluğu saklıdır. Atıkların yönetiminden sorumlu kişilerin çevresel zararı durdurmak, gidermek ve azaltmak için gerekli önlemleri almaması veya bu önlemlerin yetkili makamlarca doğrudan alınması nedeniyle kamu kurum ve kuruluşlarınca yapılan ve/veya yapılması gereken harcamalar, 21/7/1953 tarihli ve 6183 sayılı Amme Alacaklarının Tahsil Usulü Hakkında Kanun hükümlerine göre atıkların yönetiminden sorumlu olanlardan tahsil edilir (Resmi Gazete 2008).

2.2.8.5 Atıkların yakılmasına ilişkin yönetmelik

06.10.2010 tarih ve 27721 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Bu Yönetmelik, 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 8 inci, 11 inci ve 12 nci maddeleri ile 1/5/2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunun 9 uncu maddesine dayanılarak hazırlanmıştır.

Bu Yönetmeliğin amacı, atıkların yakılmasının çevre üzerine olabilecek olumsuz etkilerini, özellikle hava, toprak, yüzey suları ve yeraltı sularında emisyonlar sonucu oluşan

kirliliği ve insan sağlığı için ortaya çıkabilecek riskleri uygulanabilir yöntemlerle önlemek ve sınırlandırmaktır.

Bu Yönetmelik, atık yakma ve beraber yakma tesisleri için gerekli asgari şartları kapsar. Ancak, aşağıda belirtilen atıkları bertaraf eden yakma ve beraber yakma tesisleri bu Yönetmeliğin kapsamı dışındadır;

- a) Tarım ve ormancılık kaynaklı bitkisel atıklar,
- b) Isı geri kazanımı maksadıyla tesisin kendi bünyesinde yakılan gıda sanayi kaynaklı bitkisel atıklar,
- c) Ham kâğıt hamuru ve kâğıt üretiminden kaynaklanan ısı geri kazanımının yapıldığı lifli bitkisel veya organik atıklar,
- ç) Özellikle inşaat ve yıkım atıklarından çıkan halojenli organik bileşiklerin kullanıldığı tahta atıklar,
- d) Cam şişeler vb. yerlerde kullanılan mantar tıplar,
- e) Radyoaktif atıklar,
- f) Hayvan kadavraları ve hayvan atıkları,
- g) Petrol ve gaz kaynaklarının aranmasından, işletilmesinden kaynaklanan ve tesis içinde yakılan atıklar.

Ayrıca, yakma işlemini iyileştirmek amacı ile araştırma, geliştirme, test amaçlı kullanılan ve yılda 50 tondan az atık bertaraf eden pilot tesisler, bu Yönetmeliğin kapsamı dışındadır.

Yönetmeliğe göre yakma tesisi; atık kabul birimi, geçici depolama birimi, ön işlem birimi, atık besleme ve hava besleme sistemleri, kazan, baca gazı arıtım sistemleri, yakma sonucu oluşan kalıntıların düzenli depolanması ve atıksuların arıtılması için tesis içinde yer alan birimler, baca, yakma işlemlerini kontrol etmek ve yakma şartlarını izlemek ve kaydetmek için kullanılan ölçüm cihazları ve sistemler de dahil olmak üzere tesiste yer alan bütün birimleri kapsayan, ortaya çıkan yanma ısını geri kazanabilen veya kazanamayan, atıkların oksitlenme yoluyla yakılması, piroliz, gazlaştırma veya plazma işlemleri gibi diğer termal bertaraf işlemleri de dahil olmak üzere termal yolla bertarafına yönelik her türlü sistemi, ifade etmektedir (Resmi Gazete 2010a).

2.2.8.6. Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik

Bu Yönetmeliğin amacı; atıkların düzenli depolama yöntemi ile bertarafı sürecinde;

a) Oluşabilecek sızıntı sularının ve depo gazlarının toprak, hava, yeraltı suları ve yüzeysel suların üzerindeki olumsuz etkilerinin asgari düzeye indirilerek çevre kirliliğinin önlenmesine,

b) Atıkların türüne göre uygun depo tabanı teknik tasarımlarının yapılması ve düzenli depolama tesislerinin inşa edilmesine,

c) Düzenli depolama tesislerine atık kabulü işlemlerine,

ç) Düzenli depolama tesislerinin işletilmesi, kapatılması ile kapatma sonrası kontrol ve bakım süreçlerine,

d) İşletme, kapatma ve kapatma sonrası bakım süreçlerinde sera etkisi de dâhil olmak üzere çevre ve insan sağlığı açısından risk teşkil edebilecek olumsuzlukların önlenmesine,

e) Mevcut düzenli depolama tesislerinin ıslahı, kapatılması ve kapatma sonrası bakım süreçlerine

ilişkin teknik ve idari hususlar ile uyulması gereken genel kuralları belirlemektir.

Bu Yönetmelik; 9/8/1983 tarihli ve 2872 sayılı Çevre Kanununun 8, 11 ve 12 nci maddeleri ile 1/5/2003 tarihli ve 4856 sayılı Çevre ve Orman Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanunun 9 uncu maddesine dayanılarak hazırlanmıştır.

Düzenli depolama tesisleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

a) I. sınıf düzenli depolama tesisi: Tehlikeli atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.

b) II. sınıf düzenli depolama tesisi: Belediye atıkları ile tehlikesiz atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis.

c) III. sınıf düzenli depolama tesisi: İnert atıkların depolanması için gereken altyapıya sahip tesis (Resmi Gazete 2010).

2.3. Arıtma Çamurunun Bileşimi

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

2.3.1. Katı madde içeriği

Çamurun katı ve sulu kısımları arasındaki oran, katı madde konsantrasyonu olarak tanımlanır ve mg/l veya % katı madde olarak belirtilir. Örneğin özgül ağırlığı 1 olan bir çamur için; 10000 mg/l katı madde konsantrasyonu, % 1 oranında katı maddeyi ifade eder. Askıda

ve çözülmüş katı maddelerin toplamı toplam katı maddeler olarak tanımlanmaktadır. Konsantre atıklar ve özellikle endüstriyel çamurlar için mg/l olarak yapılan hesap yüzdeye çevrilemez (Filibeli 1998).Çeşitli arıtma işlemlerinde beklenen çamurların genel özellikleri Çizelge 2.7’ de verilmektedir.

Çizelge 2.7. Çamur katı madde konsantrasyonları (Filibeli 1998)

Uygulanan arıtma işlemi veya süreci	Çamur katı madde derişimi % kuru madde	
	aralık	tipik
1.Ön çökeltme tankı		
ön çökeltme çamuru	4,0-10,0	5,0
siklona gönderilen ön çökeltme çamuru	0,5-3,0	1,5
ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur	3,0-8,0	4,0
ön çökeltme çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4,0-10,0	5,0
fosfor giderimi için demir eklemeli ön çökeltme çamuru	0,5-3,0	2,0
fosfor giderimi için kireç eklemeli ön çökeltme çamuru (düşük dozda)	2,0-8,0	4,0
fosfor giderimi için kireç eklemeli ön çökeltme çamuru (yüksek dozda)	4,0-16,0	10,0
köpük	3,0-10,0	5,0
2.Son çökeltme havuzu		
-Atık aktif çamur		
ön çökeltme havuzu olan	0,5-1,5	0,8
ön çökeltme havuzu olmayan	0,8-2,5	1,3
-Saf oksijenli aktif çamur		
ön çökeltme havuzu olan	1,3-3,0	2,0
ön çökeltme havuzu olmayan	1,4-4,0	2,5
-damlatmalı filtre humusu	1,0-3,0	1,5
-dönen biyodisk sistemi	1,0-3,	1,5
3.Gravite yoğunlaştırıcı		
yalnızca ön çökeltme çamuru	5,0-10,0	8,0
ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur	2,0-8,0	4,0
ön çökeltme çamuru ve damlatmalı filtre humusu	4,0-9,0	5,0
4.Çözülmüş havalı yoğunlaştırma		
yalnızca atık aktif çamur		
-kimyasal madde eklenmesi ile	4,0-6,0	5,0
-kimyasal madde eklenmesi olmadan	3,0-5,0	4,0
5.Santrifüj yoğunlaştırıcı		
yalnızca atık aktif çamur	4,0-8,0	5,0
6.Graviteli bant yoğunlaştırıcı		
kimyasal madde eklenmesi ile yalnızca atık aktif çamur	3,0-6,0	5,0
7.Anaerobik çürütücü		
yalnızca ön çökeltme çamuru	5,0-10,0	7,0
ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur	2,5-7,0	3,5
ön çökeltme çamuru ve damlatmalı filtre humusu	3,0-8,0	4,0
8.Aerobik çürütücü		
yalnızca ön çökeltme çamuru	2,5-7,0	3,5
ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur	2,5-7,0	3,5
ön çökeltme çamuru ve damlatmalı filtre humusu	1,5-4,0	2,5
yalnızca atık aktif çamur	0,8-2,5	1,3

2.3.2. Organik madde içeriği

Çamurdaki organik içerik çoğunlukla hidrokarbonlar, aminoasitler, küçük proteinler ve yağlar gibi çözülmüş maddelerden oluşmaktadır. Evsel özellikteki arıtma çamurlarının organik içeriği çamura uygulanan şartlandırma ve arıtma yöntemlerine göre değişmekle birlikte genellikle kuru bazda %50 den fazladır. Aşağıdaki Çizelge 2.8’de evsel arıtma çamurlarının organik içeriği evsel atıklar ve hayvansal gübreler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.8. Çamurun organik içeriğinin karşılaştırılması (Keskinler ve ark. 2011)

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

Evsel arıtma çamurlarının organik içeriğinin hayvansal gübrelere yakın değerlere sahip olmasına karşın, Avrupa Birliği ülkelerinde tarımsal kullanımda toprağa ilave edilecek organik madde oranı 5 ton/hektar ve 10 ton kuru madde/hektar ile sınırlandırılarak toprağın fiziksel özelliklerine minimum etki oluşturacak çamur miktarı belirlenmiştir. Bununla birlikte, uygulanan bu limit değerler ile tarımsal kullanımda dikkate değer bir fayda elde edilememiş ancak arazi ıslahı amacıyla ilave edilen çamurlar ile daha önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Arıtma çamurunun organik içeriğinin hızla mineralize olması sonucu topraktaki kirletici ve nitrat miktarlarında bir artış meydana gelmiş, ancak özel uygulamalar ile organik maddelerin daha yavaş mineralize olması sağlanarak yer altı sularına sızma ile tehlike oluşturacak azotun potansiyel riski azaltılmıştır. Kompostun mineralizasyon hızının kompostun tipine bağlı olduğu, toprağa kompostun uygulanmasını izleyen birkaç yıl mineralizasyonun devam ettiği ve bu olayın kompostun yapısından kaynaklandığı belirtilmiştir (Keskinler ve ark. 2011).

2.3.3. Azot ve fosfor içeriği

Avrupa Birliği ülkelerinde yapılan incelemelerde, arıtma çamuru içerisindeki azotun 0.02-80 gr/kg kuru madde ve fosforun 0.01-90 gr/kg kuru madde aralığında değiştiği belirlenmiştir. Çamur için uygulanan arıtma işlemleri, özellikle çamurun azot ve fosfor içeriğini etkilemektedir. Örneğin, çamurun sulu kısmında bulunan amonyağın büyük bir kısmı, susuzlaştırma ve çürütme adımları sırasında giderilmektedir. Çizelge 2.9’ da, arıtma çamurunun içerdiği azot ve fosfor, hayvansal gübre ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Keskinler ve ark. 2011).

Çizelge 2.9. Arıtma çamurlarındaki azot ve fosfor içeriğinin karşılaştırılması (Keskinler ve ark. 2011)

	Toplam N % kuru madde	NH₄-N % kuru madde	P % kuru madde
Evsel Çamur			0.9 – 5.2
Sulu	1 – 7	2 – 70	
Yarı-sulu	2 – 5	< 10	
Katı	1 – 3.5	< 10	
Kompost	1.5 – 3	10 – 20	0.2 – 1.5
Evsel Kompost	0.96		0.39
Tarım atık v.b. kompost	1.0 – 2.4		0.04 – 0.44
Ot, saman v.b.	2.2 – 4.4	10	0.61 – 1.61
Gübre	4 – 7	50 – 70	0.91 – 3.3

Azot çoğunlukla çamurda organik bileşikler halinde ve az da olsa amonyak formunda bulunur. Bitkilerin yalnızca mineral azotu kullanmaları nedeniyle, arıtma çamurunun tarımsal değeri mineralize olacak organik azotun miktarı ile orantılıdır. Çizelge 2.10 de çamurlardaki azot miktarı verilmiştir (Keskinler ve ark. 2011).

Çizelge 2.10. Çamur numunelerinin azot içeriğine arıtmanın etkisi (Keskinler ve ark. 2011)

Çamur Tipi	Toplam N % kuru madde	NH₄ – N % kuru madde
Sulu çamur		
Aerobik çürütme, yerçekimi ile yoğunlaştırma	5 – 7	5 – 10
Aerobik çürütme, mekanik yoğunlaştırma	4 – 7	2 – 8
Anaerobik çürütme	1 – 7	20 – 70
Lagünlerde yoğunlaştırma	1 – 2	
Yarı-katı çamur		
Aerobik çürütme, mekanik yoğunlaştırma	3 – 5.5	<5
Anaerobik çürütme, mekanik yoğunlaştırma	1.5 – 3	<5
Kireçle arıtma	3.4 – 5	<10
Katı Çamur		
Aerobik çürütme, kireçle arıtma (filtrepres)	2.5	<10
Kompostlaştırma	1.5 – 3	10 – 20
Aerobik, kurutma yataklarında susuzlaştırma	2 – 3.5	<10
Anaerobik, kurutma yataklarında susuzlaştırma	1.5 – 2.5	<10
Kuru çamur	3.5 – 6	10 – 15

Görüldüğü gibi, çamur içerisindeki azot oranı, % 4 ile 60 gibi geniş bir aralık içerisinde değişmekte ve kompost çamur < anaerobik çürütülmüş çamur < aerobik çürütülmüş çamur şeklinde değişim göstermektedir. Fosfor, bitkilerin büyümesi, hücre duvarlarının yapısı ve kök sisteminin gelişimi için kullandıkları temel bileşenlerdendir. Çamurdaki fosfor

çoğunlukla mineral formda bulunur ve çamur tipine bağlı olarak toplam fosforun %30-98' i mineral fosfor olabilir. Azot için olduğu gibi, çamur içindeki fosforun miktarı da uygulanan arıtma yöntemine bağlı ve toplam fosforun oranından bağımsızdır. Fosfor bileşiminin değişimi Çizelge 2.11'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.11. Arıtma çamurlarındaki fosfor içeriğine arıtma proseslerinin etkisi (Keskinler ve ark. 2011)

Arıtma tipi	P₂O₅ , % kuru madde	P, % kuru madde
Sulu Çamur ; Anaerobik Çürütme	4.9 – 6.9	2.1 – 3
Aerobik Çürütme	2.5 – 12.65	1.1 – 5.5
Birincil çamur; kireçle işlem	2.5 - 12	1.1 – 5.2

Arıtma çamurunda, azot ve fosfora ek olarak tarımsal uygulamalarda bitkilerin gelişimi ve büyümesini destekleyen potasyum, sülfür, magnezyum, sodyum ve oligo-elementler de (bor, kobalt, selenyum, iyot gibi) bulunmaktadır.

2.3.4. Kalsiyum içeriği

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

2.3.5. Ağır metal içeriği

Arıtma çamurundaki çok sayıda ağır metaller bulunmaktadır. Ağır metaller, bitkilerin yaşaması, büyümesi ve mikroorganizmaların gelişimi için olumsuz etkilere sahiptir ve canlı, insan ve çevrede birikmektedir. Çizelge 2.12'de, arıtma çamurlarında bulunan ağır metaller ve sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.12. Arıtma çamurundaki ağır metal konsantrasyonları (Keskinler ve ark. 2011)

	Ağır Metal Konsantrasyonları mg/kg kuru madde	AB Direktifi, 86/278/EEC mg/kg kuru madde
Cd	0.4 – 3.8	20 – 40
Cr	16 – 275	1000 – 1750
Cu	39 – 641	1000 – 1750
Hg	0.3 – 3	16 – 25
Ni	9 – 90	300 – 400
Pb	13 – 221	750 – 1200
Zn	142 – 2000	2500 – 4000

2.3.6. Organik kirleticiler

Aşağıda verilen organik kirleticiler çamurda önemli miktarlarda bulunurken, bunlar dışındaki organikler iz miktardadır. Bu bileşikler ;

- PAH ; polisiklik aromatik hidrokarbonlar
- PCB ; poliklorlanmış bifeniller
- PCDD/F ; poliklordibenzodioxinler/furanlar
- AOX ; adsorplanabilir halojenli organikler
- LAS ; lineer alkil benzen sülfonatlar
- NPE ; nonilfenol ve nonil fenol etoksilatlar
- DEHP ; 2 – etileksil ftalat

Arıtma çamuru ve arıtma çamuru uygulanmış topraklarda bulunan organik kirletici gruplarının özellikleri, bulunuşu, dağılımı ve transferi ile ilgili detaylı bilgiler Çizelge 2.13’de verilmiştir.

Çizelge 2.13. Arıtma çamuru uygulanmış topraklarda organik kirletici gruplar (Keskinler ve ark. 2011)

Bileşik grup	Fiziko-kimyasal özellikler	Çamurdaki konsantrasyonu	Parçalanma	Sızma kapasitesi	Bitkilerce emilim	Hayvanlara geçişi
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	Suda çözülebilir/yavaşta uçucudur	1-10 mg/kg	10 yıl	-	Çok az yaprakta Absorpsiyon	Mutlak olarak hızlı metabolize olur, birikmez
Firalik asit esterleri	Genelde lipofilik, hidrofilik ve uçamayan	Yüksek 1-100 mg/kg	Hızlı yarı ömrü<50 gün	-	Sadece kökte tutunma, -	Çok sınırlı
Lineer alikbenzen sulfonat	Lipofilik	Çok yüksek 50-15000mg/kg	Aerobik ortamda çok hızlı	-	-	-
Alkilfenoller	Lipofilik	100-3000 mg/kg	Hızlı<10 gün	-	Çok az	Çok az
Poliklorlu bifeniller(PCB)	Kompleks, >düşük çözünürlük	1-20 mg/kg	Çok dayanıklı Yarı ömrü birkaç yıl toprak tarafından güçlü emilim	-	Kökte tutunma, çok az yaprak absorpsiyonu, kökte minimum emilime ve geçiş	Sütle bulunabilir Çok uzun yarı ömrü
Poliklorlu dibenzo dioksinler ve furanlar	Suda düşük çözünürlük, yüksek lipofilik ve yarı uçucu	Çok düşük <çok az µg/g	Çok dayanıklı yarı ömrü bir kaç yıl toprak tarafından güçlü emilim	-	Kökte tutunma, çok az yaprak absorpsiyonu, kökte minimum emilime ve geçiş	Sütle bulunabilir Çok uzun yarı ömrü
Organoklorlu pestisitler	Çeşitli lipofilik, hidrofilik, yarı uçucu	Çok düşük <çok az µg/kg	Düşük> 1 yıl Uçabilir	-	Biriki kökte tutunma, düşük hareket, yaprak absorpsiyon	Çeşitli topraklarda dayanıklı
Monosiklik aromatikler	Suda çözünebilir ve uçucu	<1-10 mg/kg	Hızlı	Yüksek	Düşük dayanama sınırlı	Hızlı metabolize olur
Klorlu benzenler	Suda çözünebilir/ lipofiklere uçucu	<0.1-50 mg/kg	Uçuculukta düşük mol ağırlığı kayıpları	Düşük ten daha yüksek	Metabolize olabilir	Dayanıklı bileşikler için önemli
Kısa zincirli alifatik hidrokarbonlar	Suda çözünebilir/ düşük uçuculuk	0-5 mg/kg	Uçuculukta düşük mol ağırlığı kayıpları	Yüksek	Yaprak absorpsiyon	Düşük
Aromatik ve alkil aminler	Suda çözünebilir/ düşük uçuculuk	0-1 mg/kg	Yavaş	Yüksek	Olabilir	Düşük
Fenol	Çeşitli, lipofilik, yüksek çözünürlük, uçucu	0-5 mg/kg	Hızlı	Yavaştan biraz hızlı	Yaprak absorpsiyon	-

PCDD/F ile ilgili veriler, Avrupa Birliği Dioksin dağılımı ve sağlık etkileri raporundan alınmıştır. Raporda, üye ülkelerde oldukça benzer olarak ortalama dioksin konsantrasyonlarının 15–40 ng I-TEQ/kg kuru madde aralığında değiştiği görülmektedir. Çamurdaki diğer organik kirletici konsantrasyonlarına ait mevcut veriler, bunlar hakkında bir değerlendirme yapmak için yeterli değildir (Keskinler ve ark. 2011).

2.3.7. Patojenler

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

Çürümüş çamurda organizma türleri çürütme yöntemine bağlıdır. Çürütme işlemi ile patojenik mikroorganizmalar büyük oranda yok edilirler. Bresters ve ark. (1997) tarafından, çamurda bulunan su giderici enzimleri ile çamurların su verme kapasitesi arasında bir ilişki olduğu açıklanmış ve su verme özellikleri iyi olmayan çamurlara enzimler ilave edilerek su verme özelliklerinin geliştirilebileceği belirtilmiştir.

2.3.8. Çamurun ısı değeri

Çamurun ısı değeri, çamur tipine ve içeriğindeki uçucu katı madde miktarına bağlıdır. Arıtılmamış ön çökeltme çamurunun ısı değeri, özellikle önemli miktarda yağ ve gres içeriyorsa çok yüksektir. Mutfak öğütücülerinin kullanıldığı yerlerde, çamurun uçucu madde içeriği ve dolayısıyla ısı muhtevası yüksek olacaktır. Çürümüş çamur ham çamurdan daha düşük ısı değerine sahiptir. Çamurlarda ısı değeri, kalorimetre deneyi ile belirlenir. Ayrıca, farklı tiplerde ve filtrasyon öncesi ilave edilen koagülant madde miktarlarının da dikkate alındığı ampirik bağıntılar geliştirilmiştir (Güzel 2011):

$$Q = a \cdot [(P_v \cdot 100) / (100 - P_c) - b] \cdot (100 - P_c) / 100 \quad (2.1)$$

Bu bağıntıda;

Q = ısı değeri, kJ/kg kuru madde

a = katsayı (ön çökeltme çamurları, arıtılmamış veya çürütülmemiş çamur için 131, taze atık aktif çamur için 107)

b = katsayı (ön çökeltme çamuru için 10, aktif çamur için 5)

P_v = çamurdaki uçucu katı madde yüzdesi

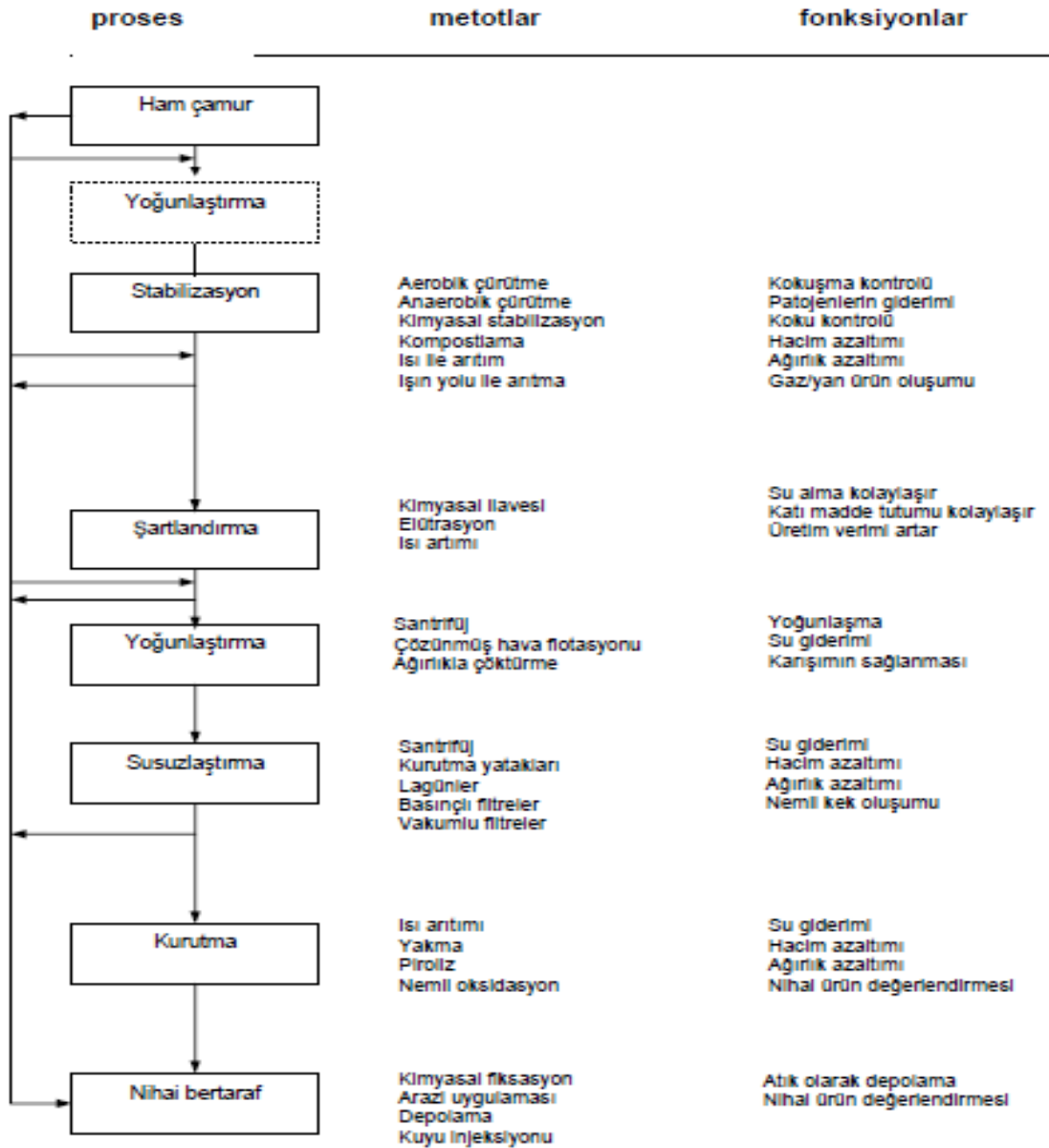
P_c = çamura ilave edilen koagülant madde yüzdesi

2.4. Arıtma Çamurlarının Bertaraf Yöntemleri

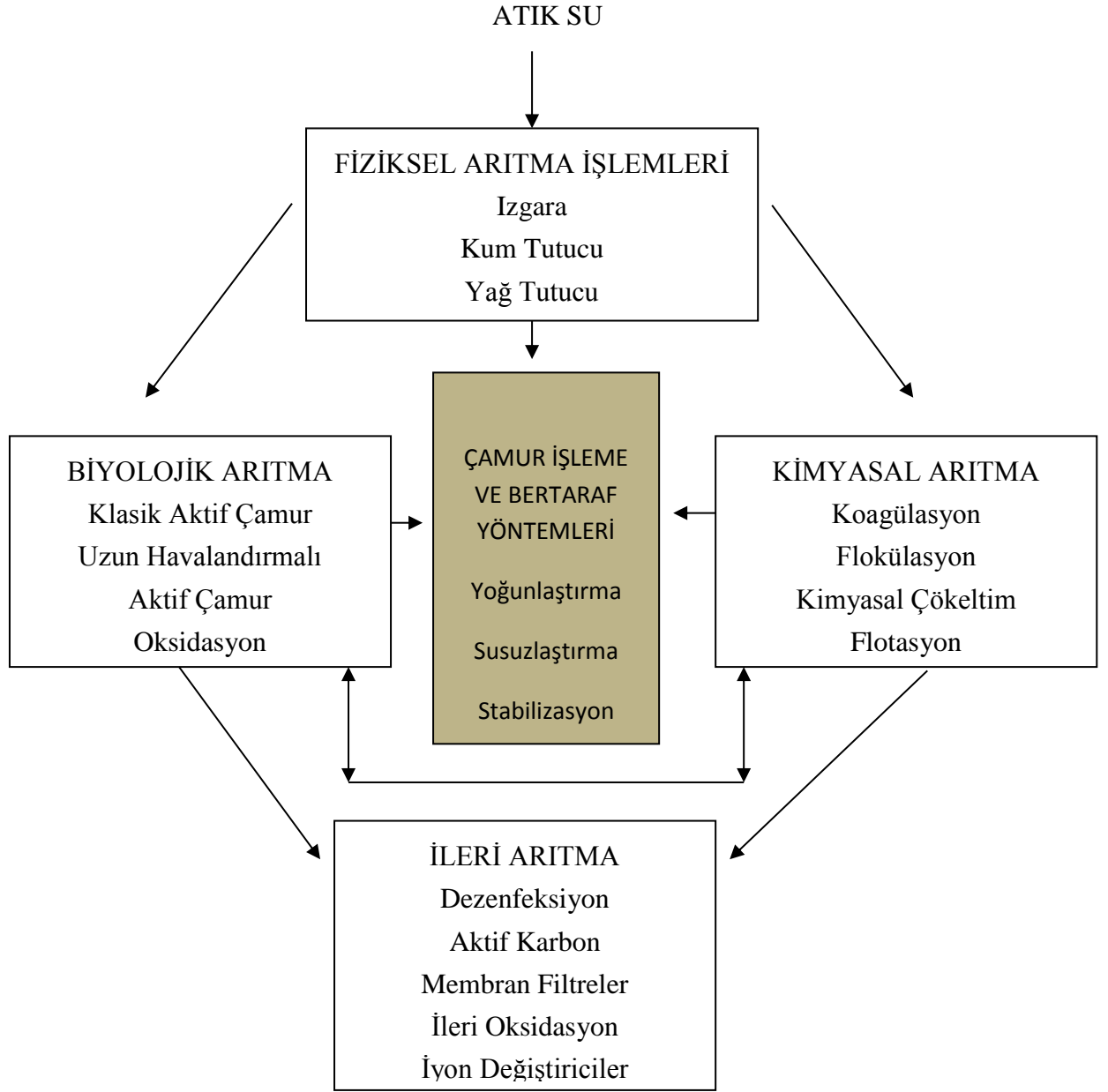
Evsel ve endüstriyel arıtma tesislerinden çıkan atık çamurların nihai bertarafa verilmeden önce mutlaka arıtılması gerekmektedir. Arıtma tesisleri dizayn edilirken çamur sorunu önceden dikkate alınıp en uygun arıtma metodu seçilmeli ve çıkan çamur da tehlikeli atık özelliği taşıyıp taşımadığı dikkate alınarak bertaraf edilmelidir.

Ön çöktürme, kimyasal çöktürme ve biyolojik çöktürme sistemlerinde biriken çamurların atıksu arıtma tesisinden alınması ve uygun tekniklerle zararsız hale getirilerek uzaklaştırılması gerekmektedir. Atıksu tesisinin üniteleri ve boyutlandırılması seçilirken meydana gelen çamurların nasıl bertaraf edileceği konusu mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Atıksu arıtma tesislerinde meydana gelen çamurun arıtılması ve depolanması için uygulanacak yöntemler ham atıksuyun karakterizasyonuna, uygulanan arıtma prosesine, kullanılan kimyasallara, yönetmeliklere ve diğer pek çok koşullara bağlıdır.

Ayrıca, çamur bertaraf sisteminin maliyeti ve işletme giderleri atıksu arıtma tesisinin işletme giderlerine yakın hatta daha fazla olabilmektedir. Özellikle arıtma çamurları, tehlikeli atık sınıfına giren tesislerde bu atıkların normal atıklarla karıştırılmadan özel yollarla bertaraf edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.6’da arıtma çamurlarının bertarafında uygulanan prosesler ile bu proseslerde uygulanan metotlar ve fonksiyonları gösterilmiştir. Şekil 2.7’de ise arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertarafı için genelleştirilmiş akım şeması verilmiştir. Şekil 2.7’den görüldüğü üzere çamur işlenmesi ve bertarafı için çeşitli kombinasyonlar oluşturmak mümkün olmakla beraber pratikte bu akım şemaları biyolojik yöntemlerin uygulanması ve uygulanmaması hallerine göre iki gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.6. Arıtma çamuru bertarafında uygulanan prosesler ve fonksiyonları (Anonim 2013a)



Şekil 2.7. Çamur işleme ve bertarafı akım diyagramı (Filibeli 1998)

Çizelge 2.14' de çamur işleme ve bertaraf yöntemleri özetlenmiştir.

Çizelge 2.14. Çamur işleme ve bertaraf yöntemleri (Filibeli 1998)

Çamur İşleme Ve Bertaraf Yöntemleri	
Birim işlemler, birim prosesler veya arıtma yöntemleri	Fonksiyonu
Ön arıtma işlemleri Çamurun öğütülmesi Çamur kumsuzlaştırma Çamurların karıştırılması Çamur depolama	İrilik azaltma Kum giderme Karıştırma Depolama
Yoğunlaştırma Graviteli yoğunlaştırma Flotasyon yoğunlaştırma Santrifüjleme Graviteli bant yoğunlaştırma Dönen tambur yoğunlaştırma	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma
Stabilizasyon Klor oksidasyonu Kireç stabilizasyonu Isıl işlem Anaerobik çürütme Aerobik çürütme Kompostlaştırma	Stabilizasyon Stabilizasyon Stabilizasyon Stabilizasyon, kütle azaltılması Stabilizasyon, kütle azaltılması Stabilizasyon, ürün geri kazanımı
Şartlandırma Kimyasal şartlandırma Isıl işlem Elütrasyon	Çamur şartlandırma Çamur şartlandırma Çamur şartlandırma
Dezenfeksiyon Pastorizasyon Uzun süreli depolama	Dezenfeksiyon Dezenfeksiyon
Çamurun suyunu alma Vakum filtre Santrifüj Pres filtre Yatay bant filtre Kurutma yatakları Lagünler	Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Hacim azaltma Depolama, Hacim azaltma

Çizelge 2.14. Çamur işleme ve bertaraf yöntemleri (Filibeli 1998) (Devamı)

Kurutma Flaş kurutucu Püskürtmeli kurutma Döner kurutucu Çok gözlü fırınlar	Ağırlık azaltma, hacim azaltma Ağırlık azaltma, hacim azaltma Ağırlık azaltma, hacim azaltma Ağırlık azaltma, hacim azaltma
Isıl işlem Çok gözlü fırın Akışkan yataklı fırın Katı atıklarla birlikte yakma Yaş oksidasyon	Hacim azaltma, kaynak geri kazanımı Hacim azaltma Hacim azaltma Stabilizasyon, hacim azaltma
Nihai bertaraf Arazi doldurma Arazi iyileştirme Tarımsal amaçlı kullanım Dağıtım ve pazarlama Kimyasal sabitleme (Solidifikasyon) Düzenli depolama Lagünleme	Nihai bertaraf Yararlı kullanım Yararlı kullanım Yararlı kullanım Yararlı kullanım, nihai bertaraf Nihai bertaraf Hacim azaltma, nihai bertaraf

Bu bölümde anlatılan çamur bertaraf yöntemleri şunlardır;

- Yoğunlaştırma
- Susuzlaştırma
- Kurutma
- Yakma
- Gazlaştırma

2.4.1. Çamur yoğunlaştırma

Arıtma tesislerinde üretilen çamur yüksek oranda su içermektedir. Çamurun hacmini azaltmak ve sonraki arıtma kademelerinin maliyetini azaltmak için yoğunlaştırılmalıdır. Çamur yoğunlaştırma prosesinin projelendirmesinde; çamurun tipi, yoğunlaştırılacak çamurun konsantrasyonu, stabilitesi, kimyasal arıtma ihtiyacı, konsantre çamurun pompalanması, ilk yatırım ve işletme maliyeti, kesikli veya sürekli bir sistem olup olmadığı dikkate alınmalıdır. Yoğunlaştırma da özellikle graviteli (ağırlıklı) çökeltme iyi sonuçlar vermektedir.

Birincil çamurlar için etkili olan graviteli yoğunlaştırma, en yaygın olarak kullanılan yoğunlaştırma metotlarından biridir. Birincil çamur % 3-5'e kadar yoğunlaştırılmaktadır. Yoğunlaştırma havuzundan çamur çekimi arttıkça katı madde bekleme süresi düşmekte ve çekilen çamurdaki katı madde konsantrasyonu düşmektedir. Uzun katı madde bekleme süresi

nedeniyle gaz oluşmakta, oluşan bu gaz katı maddelerin yüzmesine ve çıkış suyunda katı madde kaçaklarına neden olmaktadır. Arıtma tesislerinin çökeltim havuzlarında çökeltilen çamurların katı madde içerikleri düşük (%0,6–2 katı madde) olduğundan, bu oranı artırmak ve çamur hacmini azaltmak için yoğunlaştırma işlemi uygulanır. Bu işlemlerle çamurların katı madde içerikleri %5–12 katı maddeye çıkarılır. Yoğunlaştırma sonucunda katı madde konsantrasyonu 25 kat artabilir. Çamur yoğunlaştırma işlemleri çözünmüş havalı flotasyon sistemleriyle de sağlanabilir. Bilhassa fazla aktif çamur ve kaba floklu kimyasal çamurlar flotasyonla daha kolay yoğunlaşabilmektedir. Ayrıca yoğunlaştırıcı santrifüjler, mikro elekler veya elek tamburları kullanılarak mekanik olarak yoğunlaşma sağlanması da mümkündür (Keskinler ve ark. 2011).

2.4.2. Çamur susuzlaştırma

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

- Kullanım kolaylığı ve filtrasyonun gözle takibi imkanı
- Yatırım giderlerinin filtre preslerden düşük olması
- Prosesin ve filtrasyon kayışlarının yıkanmasının sürekli oluşu
- Mekanik tasarımın basitliği
- Kuru madde içeriği filtre pres keki kadar yüksek olmamakla birlikte katı olarak taşınabilir çamur keki elde edilmesi.

Santrifüjler ile çamur susuzlaştırmanın avantajlarından bazıları şunlardır;

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

Buna karşılık bu sistemin bazı dezavantajları da mevcuttur;

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

Mekanik su giderme tekniklerinin en eskisi olan vakum filtrasyonu bugün çok sınırlı bir uygulamaya sahiptir. Vakum filtrasyonunun çok sınırlı bir uygulamaya sahip olmasının nedenlerinin başında vakum yaratmak için enerji kullanımının azlığı ve şartlandırma için kimyasal madde ihtiyacının yüksek oluşudur. Kurutma yatakları, yüksek işçilik giderleri, geniş arazi kullanımı ve performansın hava şartlarına bağlı olması nedeniyle pek fazla kullanılmamaktadır.

Çamur susuzlaştırma prosesleri santrifüjler, belt filtre presler ve basınçlı filtre presler gibi mekanik prosesleri içerdiği gibi kurutma yatakları ve kurutma lagünleri gibi doğal prosesleri de içermektedir.

2.4.3. Çamur kurutma

2.4.3.1. Çamur kurutmanın önemi

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

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

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

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

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

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

2.4.3.2. Kurutma ve kurutucular

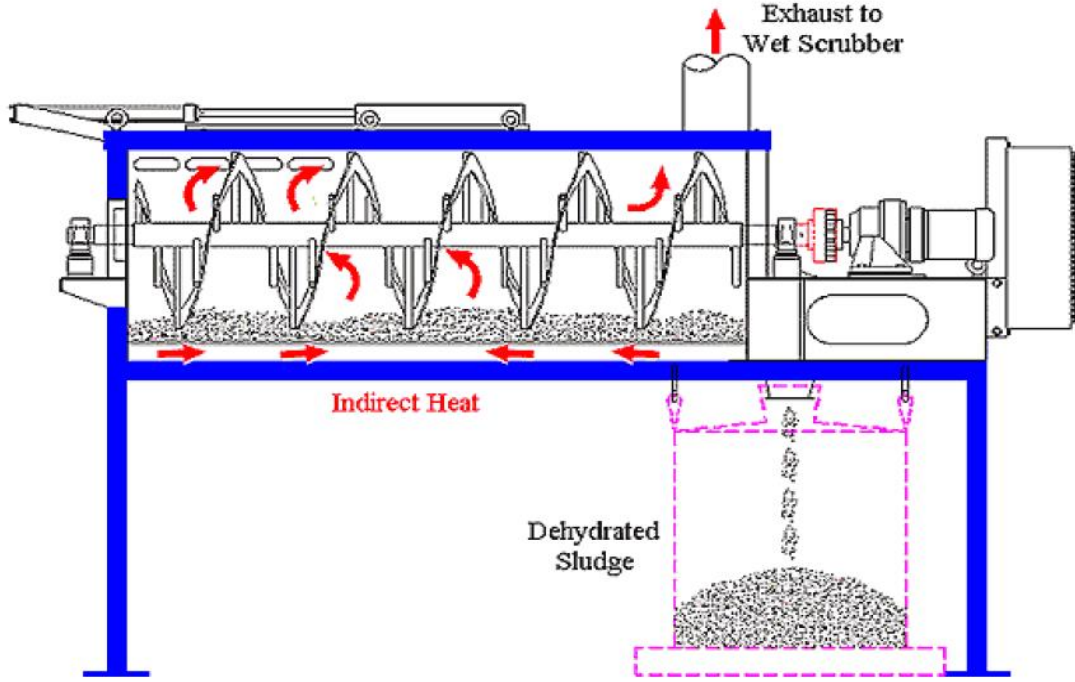
Değişik kurutma metotları ve teknolojileri arasında en belirgin olanı direk (direct) ve dolaylı (indirect) metotlardır. Direk kurutucularda, madde (arıtma çamuru) ile buharlaşma sağlayan ve aynı anda su buharını sistemden çıkaran ısıtılmış gaz arasında direk temas vardır.

- **Dolaylı (Indirect) kurutucular:** Dolaylı kurutucularda, kurutulacak maddeye, dolaylı olarak, bir ısı transfer yüzeyi aracılığı ile ısı iletilir. Bu sistemde ısı aracı (ör: buhar, termal yağ) arıtma çamuru ile direk temasta değildir. Oluşan su buharının taşınması için küçük bir hava akımı kullanılabilir. Fakat genel olarak dolaylı kurutucularda hiç hava kullanılmamaktadır, bu, koku giderme masrafını en aza indirirken ısı yalıtımını en üst seviyede tutmaktadır. Şekil 2.8. ve 2.9'da dolaylı çamur kurutucular için kesikli ve sürekli sistemlerde çalışan çamur kurutucular gösterilmiştir.

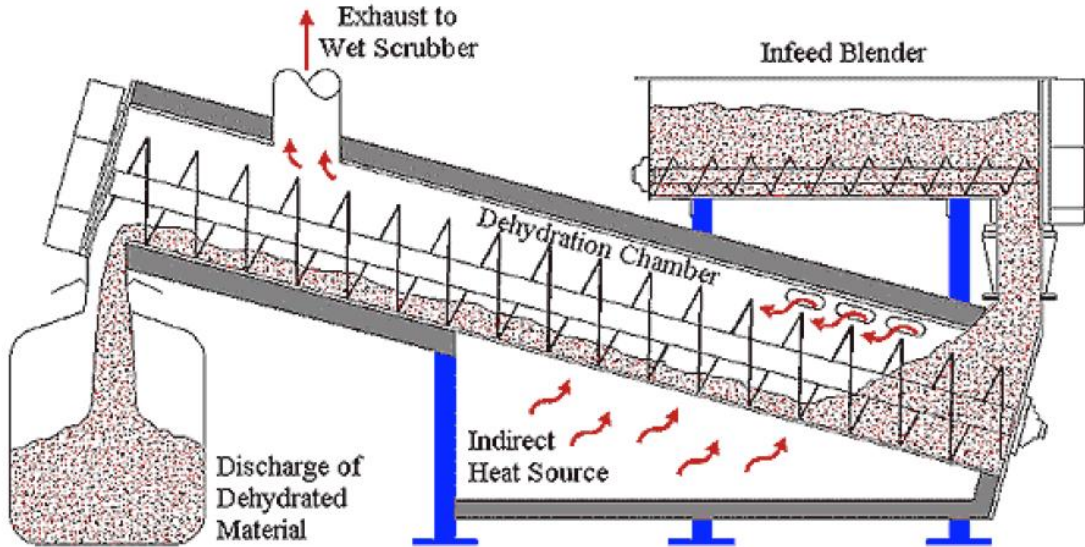
Dolaylı kurutucular arasında sıkça kullanılan sistemlerden biri disk kurutucularıdır.

Disk kurutucular yavaş, döner (rotating) ekipmanlardır. Bu ekipmanların yapısı basit ve işletilmeleri de kolaydır.

Ekipmanın hareketsiz kısmı (stator) kurutulacak maddeyi içine alan neredeyse silindirik, yatay bir davuldan (drum) oluşmaktadır. Davulun içinde, davula bağlı olan ve karıştırıcı görevini yapan sıyrıcı çubuklar mevcuttur. Hareketsiz kısmın (stator) üst tarafında, toz ayırıcı ve kaçak buhar toplayıcı bir açıklık bulunur. Kurutucu genel olarak düşük bir alçak basınç ile çalıştırılır.



Şekil 2.8. Kesikli dolaylı çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011)



Şekil 2.9. Sürekli dolaylı çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011)

Ekipmanın hareketli kısmı (rotor) paralel biçimde sıralanmış, yatay bir şafta kaynaklanmış içi boş disklerden oluşmaktadır. Buhar veya başka ısıtıcı maddeler bu içi boş disklerin içinde dolaşmaktadır. Bu disklerin üzerine karıştırıcılar (agitator) kaynaklanmıştır. Ekipmanın işletmesi açısından küçük bir hav akımının olması avantaj yaratsa da, kurutma işlemi tamamen havasız da rahatlıkla sürdürülebilir. Az havasız veya tamamen havasız işleme toz ayrıştırma ve koku azaltma maliyetlerini en aza indirmektedir.

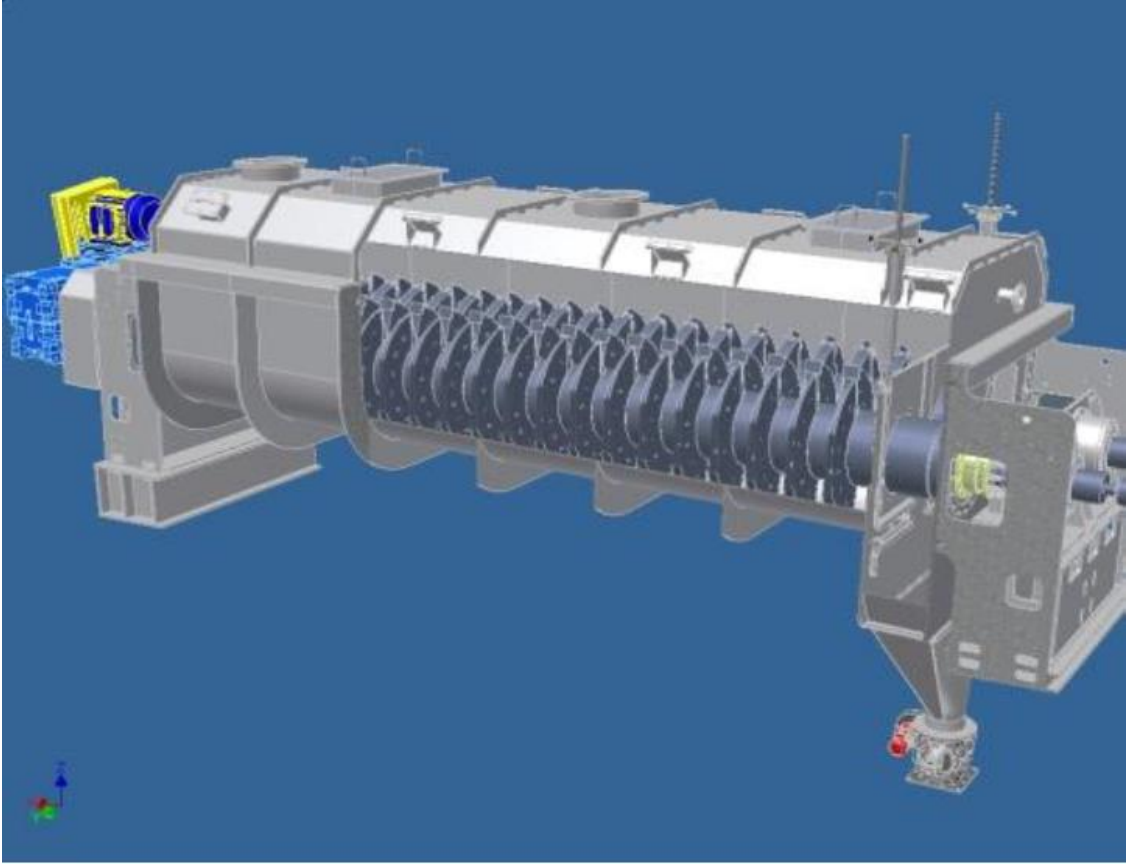
Yüksek verimlilikte ısı transferini sürekli kılmak için ısı transfer yüzeyini (diskleri) sürekli temiz tutmak gerekmektedir. Arıtma çamurunun yapışkan özelliği disklerin temizliği için olumsuz bir faktördür.

Disk kurutucularının yapışkan özellikli maddeleri işleyebilmesi için genelde aşağıdaki özelliklere sahip olmaları gerekmektedir:

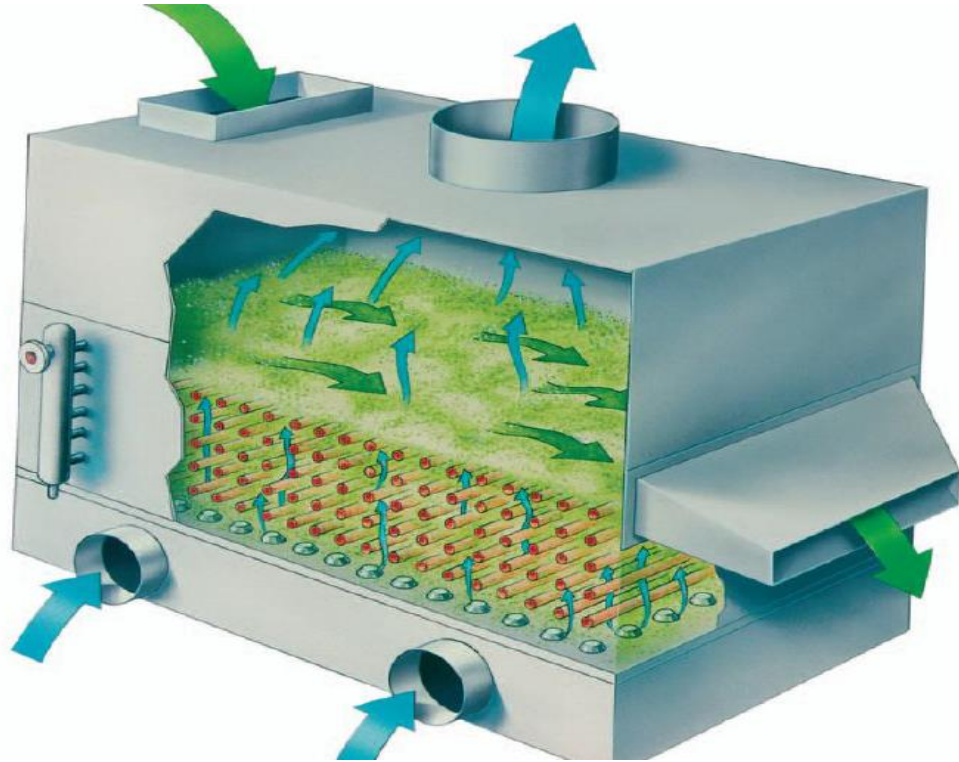
- Isı transfer yüzeyinin kendini temizleme özelliği: disklerin kurutulacak madde içerisinde hafif sürtünme ile dönmesi
- Aynı anda karıştırıcı ve sıyırıcıların faaliyetleri ve yüksek ısı transferi kurutucu içinden geçen maddenin yapışmadan ve tıkanıklık taratmadan geçmesini sağlamaktadır.

- **Direkt (Direct) kurutucular;** Direkt kurutucularda, kurutmak için kullanılan gazın ısısı, arıtma çamuruna direkt olarak (doğrudan) aktarılmaktadır. Bu işlem gaz ve arıtma çamuru maddesinin arasında yoğun bir temas olmasını gerektirmektedir. Direkt kurutucular arasında en sık kullanılan ekipman döner davul kurutucuları ve akışkan yataklı kurutuculardır. Bu tip çamur kurutucular için örnek grafikler Şekil 2.10, 2.11 ve 2.12’de verilmiştir.

Döner davul kurutucularında arıtma çamuru davulun bir ucundan konulmaktadır. Dönme faaliyeti ve davulun içyapısından dolayı arıtma çamuru davulun öbür ucuna ulaşmakta ve aynı anda sıcak gazlarla çok yoğun temasa geçmektedir. Son ürün %90 kuru katı oranına sahip granül arıtma çamurudur. Davul içerisinde tıkanmayı engellemek için döner davul sistemine giren arıtma çamurunun kuru katı oranı %65’ten fazla olmalıdır. Bu kıvama ulaşmak için yeni (ıslak) arıtma çamurunun daha önce kurutulmuş arıtma çamuruyla karıştırılması gerekmektedir.



Şekil 2.10. Davul tipi çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011)



Şekil 2.11. Akışkan yataklı çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011)



Şekil 2.12. Bantlı çamur kurutucu (Keskinler ve ark. 2011)

Akışkan yataklı kurutucularda yoğun temas sıcak gazların yükselmesi ile sağlanmaktadır. Yükselen gazlar arıtma çamurunu kurutana kadar çalkalayarak taşır. Arıtma çamurunun türüne göre kurutulmuş arıtma çamuru % 90 dan fazla kuru katı oranına sahip, tozdan arınmış, granüller haline dönüşür. Emisyon gazı içerisinde bulunan toz gaz akımı içerisinde taşınır, siklonlarla ayrıştırıldıktan sonra kurutulmuş arık çamuru ile karıştırılarak tekrar kurutucuya verilir. Akışkan yatak sistemine ısı alışverişini sağlayan teçhizatın eklenmesi direkt ve dolaylı kurutma sistemlerinden oluşan bir karma kurutma ekipmanı yaratır.

Gaz ve arıtma çamuru arasında oluşan yoğun temas ve iyi ısı transferi sonucunda direk kurutucuların spesifik performansları dolaylı kurutuculardan daha iyidir. Buna ek bir avantaj olarak direk kurutucular mekanik tasarım olarak daha basittirler.

Öte yandan direk kurutucuların aşağıdakiler gibi dezavantajları vardır:

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

Gazların sisteme tekrar devir daim (sirküle) edilmesi mümkün olsa da bu çok daha karmaşık kurutma ekipman tasarımı gerektirmekte ve böylelikle direkt kurutucuların avantajlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Her iki sistem yaygın olarak kullanılsa da direk ve dolaylı kurutma teknolojileri arasındaki seçim arıtma çamuru karakteristiklerine ve çeşitli yerel faktörlerle yakından ilişkilidir.

2.4.3.3. Kurutmanın avantajları ve dezavantajları

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

Granül üretme işlemini içeren kurutma tesisleri diğer metotların çoğuna göre daha fazla mali yatırım gerektirmekte olsa da, öte yandan kurutma, arıtma çamurunun hacminde büyük miktarlarda azalmaya neden olmakta ve depolanabilen ve hijyenik bir ürün üretmektedir. Hacimdeki büyük azalmadan dolayı kuru arıtma çamuru nakliye, işleme ve depolama maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Öteki metotlarla karşılaştırıldığında arıtma çamurunun kuru halde olmasının en büyük avantajı ise son ürünü en uygun zamanda belli bazı alanlara pazarlayabilme olasılığıdır:

- Tarım ve ormancılıkta gübre olarak kullanılması.
- Çimento tesislerinde, enerji tesislerinde ve yakma tesislerinde enerji olarak kullanılması
- Üst toprak peyzajı, dolgu ve düzenli depolama için kullanılması

Isı ile kurutulmuş arıtma çamurunun hijyenizasyon ve önemli ölçüde hacim azaltma işleminden geçirilmiş olması çoğu uygulama için büyük önem kazanmaktadır.

2.4.4. Arıtma çamurlarına uygulanan yakma prosesi

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

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

Arıtma çamurlarının yakılması işlemi ya doğrudan bu atıkları yakmak üzere kurulmuş olan yakma tesislerinde ya da diğer evsel atıkların da yakıldığı yakma tesislerinde gerçekleştirilebilir. Arıtma çamurlarını diğer atıklarla birlikte yakan tesislerde, arıtma çamurlarındaki organik maddenin yakılmasından kaynaklanan sınırlamalara uyum gösterilir. Arıtma çamurlarının yakılmasında çamurun katı madde içeriği %30-50 aralığında olması tercih edilir. Eğer çamurun katı madde içeriği %20-30 arasında olursa ilave yakıt kullanılması gerekmektedir. Çizelge 2.15’de arıtma çamurlarının ve diğer atıkların kalorifik değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.15. Çamur ve diğer atıkların kalori değerleri (Keskinler ve ark. 2011)

Çamur tipi	Kuru Katılar	
	MJ/kg	Btu/lb
Birincil Çamur	20-28	8600-12000
Aktif çamur	16-22	6900-9500
Çürütülmüş çamur	10-15	4300-6500
Yağ ve kum	39	16800
Izgara atıkları	21	9000

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

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

Akışkan yataklı sistem, içi ısı tuğlası (refractory material) ile kaplanmış dikey bir yakma odasına sahiptir. Yatağın altında yüksek sıcaklığa getirilen bir kum tabakası vardır. Bu kum içinden yüksek sıcaklıkta hava geçirilerek akışkan halinde tutulur. Bertaraf edilecek arıtma çamurları bu kum yatağının ya içine ya da üzerine bırakılır.

Akışkan yatak içindeki gaz, oluşan yanma ürünlerinin tam olarak parçalanması için 850 °C dereceye kadar ısıtılmalıdır. Mekanik olarak kurutulan arıtma çamurlarının yakma enerjisi verilmeden tam olarak yakılmaları mümkün değildir (Keskinler ve ark. 2011).

2.4.5. Arıtma çamurlarını gazlaştırma prosesi

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

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

Arıtma çamurlarının çevre kriterlerine en uygun şekilde bertaraf edilmesi ve elde edilen syngazdan enerji üretilmesi konusunda geliştirilmiş çevresel ve teknolojik olarak en uygun ve en ekonomik sistem çamurun önce kurutulması ve kuru çamurun da gazlaştırılarak yok edilmesidir. Tıpkı diğer katı atıklar da olduğu gibi arıtma çamurları uygun gazlaştırıcılarda bertaraf edilebilir. Arıtma çamurları kurutulduktan sonra gazlaştırma yöntemi ile hem çamurları bertaraf etmek hem de elektrik ve ısı enerjisi elde etmek mümkündür. Gazlaştırmadan elde edilen ısı enerjisinin bir kısmı ile çamur kurutmak mümkündür. Yakma işlemine göre hem daha çevre dostu hem de enerji üretimi bakımından daha verimli olan gazlaştırma işlemi gazlaştırma teknolojileri ile yapılmaktadır. Günümüzde arıtma çamurlarının, katı atıkların ve arıtma çamurlarının gazlaştırılması yoluyla elektriğe ve ısıya dönüştürülmesi hem yüksek verimli enerji elde etmek hem de çevre problemleri yaratmaması nedeni ile tercih edilmektedir. Çizelge 2.16 tarihsel gelişimi ile arıtma çamurlarının bertarafı konusunda yapılan teknolojik gelişmeler görülmektedir. Çizelge 2.16'de de gözlendiği gibi

kurutma ve gazlaştırma en ekonomik ve çevreye en uygun yöntem olarak kabul edilmektedir (Tolay 2010).

Çizelge 2.16. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri tarihsel gelişimi ve uygulanabilirlikleri (Tolay 2010)

YIL	PROSES	Uygulama Alanı	İlk Yatırım	İşletme Gideri	Ekonomik mi?	Çevreye Etkisi	Uygulama
1960 Öncesi	İlkel Kurutma	Landfill	Düşük	Düşük	Evet	Kötü	Uygun Değil
1960	Anaerobik + Susuzlaştırma	Tarım	Yüksek	Yüksek	Hayır	Kötü	Uygun Değil
1970	Susuzlaştırma + Kompost	Tarım	Yüksek	Yüksek	Hayır	Kötü	Uygun Değil
1980	Yakma	Enerji	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Kesin Hayır	İyi Değil	Uygun Değil
1990	Isısal Katılaştırma	İnşaat	Düşük	Yüksek	Hayır	Nötr	Uygun Değil
2000	Kurutma + Yakma	Çimento	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Kesin Hayı	İyi Değil	Uygun Değil
2010	Kurutma + Gazlaştırma	Enerji + Kimya	Yüksek	Düşük	Evet	Yok	En Uygun

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

Organik atık sınıfına giren başta arıtma çamuru ve biyokütle atıkları olmak üzere benzeri katı atıklar daha çevreci ve daha ekonomik olan gazlaştırma teknolojisi ile değerlendirilebilir. Gazlaştırma teknolojisi ile üretilen syngaz, şehir gazına çok benzerdir ve elektrik/ısı enerjisi ve/veya kimyasal maddeler, gübre yapımı için kullanılabilir. Katı yakıt esaslı elektrik enerjisi üretim teknolojisi çevresel olarak en uygun hava emisyonlarına, katı atık ve atık su değerlerine sahiptir. Arıtma çamuru ve benzer katı atıkları gazlaştırmak için öncelikle uygun tane boyutuna getirmek gerekmektedir. Katı atıkları gazlaştırma işlemi birkaç basamakta oluşur. Katı atıktaki suyun uzaklaştırılması ise ön hazırlık işlemleri sırasında yapılır. Genellikle %10-15 su içeren katı atık gazlaştırıcı içerisinde suyunu buhar fazına geçirir. Bu kuruma işleminden sonra piroliz, indirgenme, yanma, gazlaştırma ve benzeri reaksiyonlara uğrar. İçerisinde %75'den daha fazla su bulunan arıtma çamuru önce kurutulur, zira termokimyasal dönüşümle gazlaştırma için uygun değildir (Tolay 2010).

2.4.5.1. Gazlaştırma teknolojisinin diğer termal yöntemlerle karşılaştırılması

Gazlaştırma ile klasik yakma teknolojisi arasındaki en temel fark gazlaştırmada oksijenin gerekli stokiyometrik değerinden az olması iken yakma da fazla olmasıdır. Yakma prosesinde organik bileşenler oksidasyon yoluyla parçalanır; gazlaştırma ve piroliz de maddeler ısı parçalanma yoluyla parçalanırlar. Bu nedenle, yakma sonucunda yakma gazları oluşurken, gazlaştırmada yanabilen gazlar oluşmaktadır (İritaş 2010).

Yakma ve gazlaştırma teknolojilerini karşılaştırmak amacıyla, bu teknolojilerde kullanılan alt sistemler dört grupta incelenebilir:

- 1) Yakıt hazırlama ve besleme
- 2) Yakma ve gazlaştırma
- 3) Yakma gazı temizleme ve sentez gazını temizleme
- 4) Kalıntı ve kül/cüruf depolama.

Çizelge 2.17’de prosesler arasındaki en belirgin farklılıklar özetlenmiştir (Orr ve Maxwell 2000)

Çizelge 2.17. Gazlaştırma ve yakma arasındaki belirgin farklılıklar (Orr ve Maxwell 2000)

Termal İşlemler	Klasik Yakma	Gazlaştırma
Proses Özellikleri	Yakıtın CO ₂ ve H ₂ O’ya maksimum dönüşümünü sağlamak üzere tasarlanmıştır.	Yakıtın CO ve H ₂ ’ye maksimum dönüşümünü sağlamak üzere tasarlanmıştır.
	Yüksek miktarda hava/oksijen kullanımı	Kısıtlı miktarda hava/oksijen kullanımı
	Oldukça yükseltgeyici ortam	İndirgeyici ortam
	Kül ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda çalıştırılır. Yakıttaki mineral madde, taban ve uçucu küle dönüşür.	Kül ergime sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda çalışılır. Mineral maddeler camsı cürufa ve ince toz maddeye dönüşür (Çar(char)).
Gaz Temizleme	Atmosferik basınçta temizleme	Yüksek basınçta temizleme
	Temizlenen gaz atmosfere verilir.	Sentetik gaz kimyasal madde ya da enerji üretimi için arıtılır, atık gaz (yakma gazı) da arıtmadan sonra atmosfere verilir.
	Atık beslemedeki kükürt, SO _x ’e dönüşür ve atık gazla ayrılır.	Atık beslemedeki kükürt H ₂ S’e dönüşür, katı formda elementel kükürt ya da sülfirik asit yan ürünü olarak geri kazanılır

Atık ve Kül/Cüruf Takibi	Taban ve uçucu kül, tehlikeli atık olarak toplanır, arıtılır ve bertaraf edilir.	Reaktör modeline bağlı olarak çar(char) ve kül oluşur. Çar(char), belli bir ısı değere sahip inorganik maddelerce zengin bir katı olup tekrar termal işlem görebilir. Oluşan cüruf sızıntı problemi oluşturmayan tehlikesiz bir maddedir ve yapı malzemesinde kullanılmaya uygundur.
--------------------------	--	--

2.5. Enerji Üretiminde Alternatif Yöntemler

2.5.1. Artan enerji ihtiyacına genel bakış

Enerji sektörü, ülkelerin kalkınma politikaları içinde hayati taşıyan stratejik bir alan niteliğindedir. Artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda gelişen duyarlılık, dünya enerji talebindeki artışa karşın tükenme eğilimine girmiş olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmelerin artan talebi karşılayacak ticari olgunluktan henüz uzak oluşu, ülkelerin enerji güvenliği konusundaki kaygılarını her geçen gün daha da artırmaktadır.

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) tarafından yapılan projeksiyonlar, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi durumunda dünya birincil enerji talebinin 2007-2030 yılları arasında %40 oranında artacağına işaret etmektedir. Referans senaryo olarak adlandırılan ve yıllık ortalama %1,5 düzeyinde talep artışına karşılık gelen bu durumda dünya birincil enerji talebi 2007 yılındaki 12 milyar ton petrol eşdeğeri (tep) düzeyinden 2030 yılında 16,8 milyar tep düzeyine ulaşacaktır.

2008 yılında ülkemizin toplam birincil enerji tüketimi 106,3 milyon tep, üretimi ise 29,2 milyon tep olarak gerçekleşmiştir. Enerji arzında %32'lik pay ile doğalgaz ilk sırayı alırken, doğalgazı %29,9 ile petrol, %29,5 ile kömür izlemiş, %8,6'lık bölüm ise hidrolik dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır. Yapılan projeksiyonlara göre birincil enerji tüketimimizin, referans senaryo çerçevesinde, 2020 yılına kadar olan dönemde de yıllık ortalama %4 oranında artması beklenmektedir (Anonim 2013c)

1997 ile 2002 yılları arasında talep edilen enerji, üretilen enerji ve ithal edilen enerji verileri Çizelge 2.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.18. Birincil enerjinin 1997 – 2007 yılları arasındaki değişimi (Anonim 2013c)

	Talep (Milyon TEP)	Üretim (Milyon TEP)	%	İthal (Milyon TEP)	%
1995	63,1	26,3	42	38,6	58
2000	81,2	27,6	34	53,6	66
2001	75,8	26,2	34	49,7	66
2002	78,3	24,6	31	53,7	69
2007	107,6	27,4	25	75	75

Çizelge 2.18'den de anlaşılacağı üzere Birincil enerji tüketimindeki artışlara rağmen yerli üretimde aynı oranda bir artışın olmaması ithalata bağımlılık oranı giderek artırmaktadır. Enerjide dışa bağımlılık bu denli yüksek olunca enerji ithalatına ödenen tutarlarda artmakta ve 1996-2006 döneminde on yıl içinde 5,9 milyar dolardan 4,85 kat artışla 28,6 milyar dolara ulaşmaktadır(Anonim 2013c)

Enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması amacıyla 02.05.2007 Tarih ve 26510 Sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Enerji Verimliliği Kanunu çıkarılmıştır.

Dünya genelinde iklim değişikliği ile mücadelede düşük karbon ekonomilerine geçişin hızlandığı bir dönemde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yanı sıra atıkların enerji olarak değerlendirilmesi önem taşımaktadır (Anonim 2013c).

2.5.2. Enerji üretiminde kullanılan doğal kaynaklar

Enerjinin elde edilmesinde tabiattaki enerji çeşitleri kullanılır. Bu kaynaklar değişik dönüşümler sonucu elektrik enerjisine çevrilir. Kaynakların bazıları ise doğrudan kullanılır.

- *Hidrolik Kaynaklar*; Akarsulardaki suların barajlarda toplanılarak yüksekte aşağıya düşürülmesi ile türbin çarkları döndürülür ve türbin shaft miline akuple bağlı olan jeneratör çıkışından elektrik enerjisi elde edilir. Bu tür sistemlere hidroelektrik santral denir.
- *Nükleer Kaynaklar*; Atomun çekirdeğinin kontrollü bir şekilde parçalanması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretimi yapılan sistemlerdir. Bu sistemle çalışan santrallere nükleer elektrik santrali denir.
- *Termik Kaynaklar*; Kömür, petrol ve ürünleri, doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtların yakılması sonucunda ortaya çıkan ısıdan elde edilen basınçlı sıcak su buharının, buhar

türbinini döndürmesi ile, türbin shaft miline akuple bağlı olan jeneratör çıkışından elektrik enerjisi üretilir. Bu tür elektrik enerji üretimi yapan sistemlere termik elektrik santrali denir.

- *Rüzgar Enerjisi*; Rüzgar alan açık arazilerde, rüzgarın etkisiyle rüzgar türbinlerinde elde edilen mekanik enerjialternatör yardımıyla elektrik enerjisine dönüşür. Bu sistemle çalışan santrallere rüzgar santrali denir.
- *Güneş Enerjisi*; Güneşin ısı ve ışık enerjisinden faydalanılarak elektrik enerjisi elde edilir.
- *Jeotermal Enerji*; Yeraltından çıkan sıcak su buharı ya da gazlardan yararlanılarak yapılan elektrik enerjisi üretim sistemidir.
- *Gelgit Enerjisi*; Ayn hareketlerine göre deniz suları yerçekiminin etkisiyle alçalıp yükselir. Deniz yüksekliğinde sular bir havuzda toplanır. Aynı hidroelektrik santrallerde olduğu gibi elektrik enerjisi üretilir (Anonim 2013c).

2.5.3. Enerji eldesinde termal alternatifler: Gazlaştırma ile enerji eldesi

Gazlaştırma, organik bileşenlerin oksijence fakir bir ortamda ısı etkisiyle fiziksel ve kimyasal olarak bozunmasıdır. Oluşan ürünler katı madde çar(char), kül, cüruf ve sentetik gazdır. Sentez gazının başlıca bileşenleri, karbonmonoksit (CO), hidrojen (H₂), metan (CH₄), karbondioksit (CO₂), etan (C₂H₆), su (H₂O) ve azottur (İritaş 2010). Sentetik gaz ısı değerine sahiptir ve tekrar yakılarak enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Proseste normal hava kullanıldığında oluşan sentetik gaz, doğal gazın ısı değerinin % 25'ine; oksijence zengin hava kullanıldığında ise % 40'ına denk bir ısı değerine sahiptir. Üretilen gaz öncelikle kirleticilerinden temizlendikten sonra buhar kazanlarında, gaz motorlarında ve gaz türbinlerinde elektrik, ısı ve güç üretmek için kullanılabilir gibi çeşitli kimyasalların ve sıvı yakıt üretiminde kullanılabilir (Anonim 2009).

2.5.3.1 Gazlaştırma prosesi

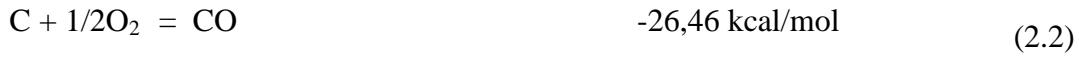
Gazlaştırma 800 ile 1800 °C arasında gerçekleşir. Ancak asıl gazlaştırma sıcaklığı, yakıt türü (kömür, biyokütle, atık) ile oluşan külün yumuşama ve ergime sıcaklıklarına bağlıdır. Gazlaştırıcı sistemler genel olarak, yakıt hazırlama, gazlaştırma, gaz temizleme ve değerlendirme birimlerinden oluşur. Gazlaştırma işleminin başlangıcı, atığın yapısındaki organiklerin bir kısmının yakılarak enerji açığa çıkması, gazlaştırıcıdaki suyun buhar fazına geçmesi, uçucu bileşenlerin açığa çıkması ve sıcaklıkların gazlaştırma için yükselmesi sağlanır. Daha sonra yakıt, gazlaştırıcı içinde yüksek sıcaklığın sağlanmasıyla oksidasyon için

hazır hale gelmiş olur. Kurutma bölgesinde karbonlaşmış halde olan yakıt oksidasyon bölgesinde karbonun tamamen yanması ve sadece külün kalması amaçlanır (İrirtaş 2010).

2.5.3.2 Gazlaştırma prosesinde meydana gelen reaksiyonlar

Gazlaştırma sürecinde, atık yapısındaki organik bileşenlerin reaksiyonları aşağıdaki gibidir (İrirtaş 2010) :

Yanma reaksiyonları:



Boudouard reaksiyonu:



Su-Gaz reaksiyonu:



Metanlaştırma reaksiyonu:



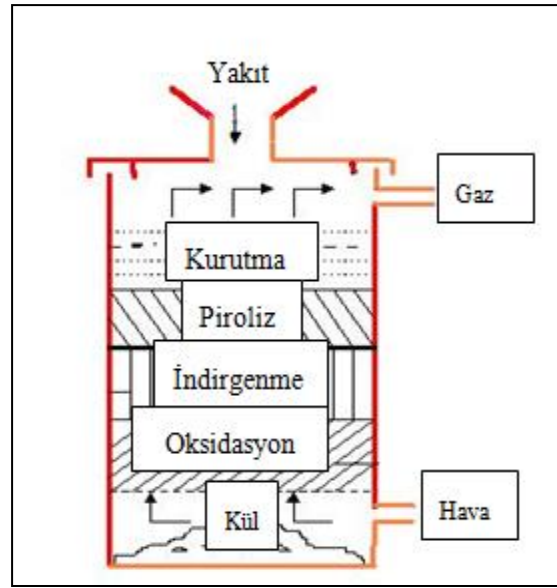
2.5.3.3. Gazlaştırıcı tipleri

Gazlaştırıcıların tasarımında en önemli kısım gazlaştırıcıya verilecek havanın gönderiliş biçimi ve yeridir. Gazlaştırıcıların sınıflandırılması da bu tasarıma dayalıdır. Başlıca gazlaştırıcı türleri aşağıdaki alt bölümlerde tanıtılmıştır (Okutan ve ark. 2010).

Sabit yataklı (fixed bed) gazlaştırıcı; Genellikle, yakıtın yer çekimi etkisiyle reaktöre beslendiği ve oksitleyici ajanın ters yönde aktığı reaktör tipidir. Bu reaktörde gerçekleşen gazlaştırma prosesinin oksijen gereksinimi azdır ancak, piroliz ürünleri sentez gazında da bulunmaktadır. Oksidasyon sıcaklıkları çok yüksek olmasına rağmen, sentez gazı düşük sıcaklıkta çıkmaktadır. Bu reaktörde büyük ebatlardaki besleme işlenebilir (Higman 2007). Yukarı Akışlı (Updraft) ve Aşağı Akışlı (Downdraft) olmak üzere iki çeşittir.

Yukarı akışlı (updraft) gazlaştırıcı; Yukarı akışlı gazlaştırıcıda gazlaştırıcıda hava akışı, yakıt akışına ters olarak ve gaz üreticinin mümkün olduğu kadar alt kısmından

sağlanmıştır. Üretilen gaz ise gazlaştırıcının üst kısmından alınmaktadır. Şekil 2.13’de yukarı akışlı gazlaştırıcı görülmektedir. Yukarı akışlı gazlaştırıcılar, sıcak gazların yakıt kolonundan geçerek oldukça düşük sıcaklıkta gazlaştırıcıyı terk ettiklerinden yüksek verime sahiptirler. Gaz tarafından verilen duyulur ısı yakıtı kurutmak ve ön ısıtmak için kullanılmaktadır. Piroliz ve kurutma bölgesinde meydana gelen ürünler ise; su, katran ve yağ buharları olup bunlar oksitlenme bölgesine geçmezler. Bu nedenle bu gazlaştırıcılarda yüksek uçucu maddeye sahip yakıtların gazlaştırılması yapıyorsa, üretilen gaz yüksek oranda katran içerecektir. Gaz kalitesini artırmak ve sıcaklığı külün ergime noktasının altında tutmak için bir çok üretici nemli hava kullanmaktadır. En önemli tasarım parametreleri ise şunlardır: Hava yüklemesinin yöntemi, gaz çıkışının pozisyonu, ızgaranın tipi ve boyutu, nemli hava girişi için ortalama buharlaşan su miktarı, ateş kutusu içi, beklenen özgül gazlaştırma oranı, yakıt yatağının yüksekliğidir (Olgun ve ark. 1999).

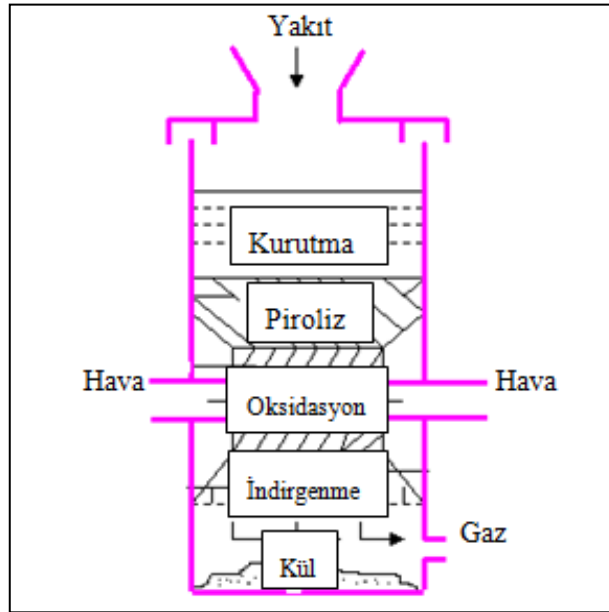


Şekil 2.13. Yukarı akışlı gazlaştırıcı örneği (Turare 2011)

Aşağı akışlı (downdraft) gazlaştırıcı; Yukarı akışlı gazlaştırıcılarda, üretilen gaz yüksek oranda katran içerdiğinden içten yanmalı motorlarda kullanılması zordur. Bu problemi ortadan kaldırmak için Aşağı akışlı gazlaştırıcılar geliştirilmiştir. Bu tipte gönderilen hava, yakıtla aynı yönde yani aşağıya doğrudur ve gaz da gazlaştırıcının alt kısmından dışarı alınmaktadır. Şekil 2.14’de bu tip bir gazlaştırıcı görülmektedir. Bu tasarımının temel düşüncesi şu şekildedir:

Piroliz bölgesinde açığa çıkan katran, yağlar ve buharlar yüksek sıcaklığa sahip değildir. Bunlar, gaz çıkışından geçmek için kısmi yanma bölgesinden de geçmek zorundadırlar. Burada yüksek sıcaklıktan geçerken parçalanarak gaza dönüşürler. Böylece gaz karışımının içerisinde çok düşük oranda katran kalır. En önemli tasarım parametreleri ise; yanma bölgesinin tasarımı, hava gönderilmesi, ızgara tasarımı, boğaz tasarımıdır. Aşağı akışlı tipteki bir gazlaştırıcının hava giriş kısmının üzerinde daraltılmış dikdörtgen bir kesit vardır. Buna boğaz adı verilir ve bu boğaz sıcak karbona homojen bir kalınlık sağlayarak piroliz gazlarının geçişine izin verir. Bu nedenle tasarımda önemli bir parametre olmaktadır. Bu gazlaştırıcılar; yüksek kül oranına, yüksek nem oranına veya yüksek cürufa sahip yakıtların gazlaştırılmasına uygun değildir (Olgun ve ark. 1999).

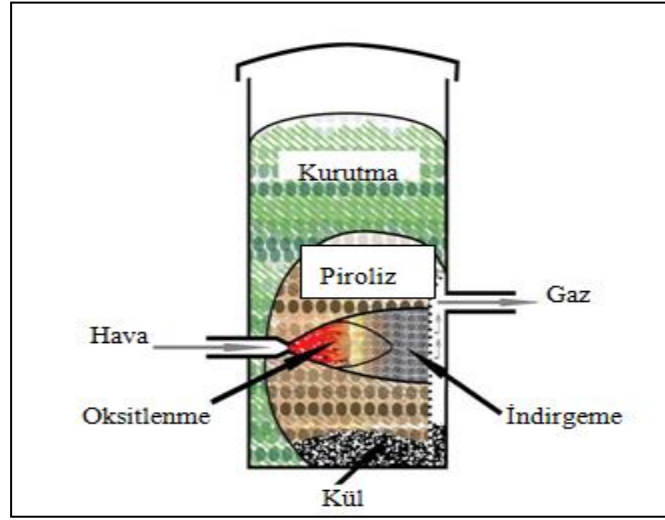
Nem oranının %20 'yi geçmesi durumunda bu sistem için bu yakıtın kullanılması uygun olmayacaktır. Eğer yakıtın kül oranı yüksekse bu durumda ızgaranın döner olması gerekecektir. Bu gazlaştırıcı için önerilen en yüksek kül oranı %5 civarındır. İlave buhar veya suyun sisteme verilmesi aşağı akışlı gazlaştırıcılarda çok kullanılmaz. Hidrojen üretimi için yakıt ve havadaki nem yeterli olmaktadır.



Şekil 2.14. Aşağı akışlı gazlaştırıcı örneği (Turare 2011)

Çapraz akışlı (crossdraft) gazlaştırıcı; Çapraz akışlı gazlaştırıcı, en basit ve hafif gazlaştırıcı tipidir. Bu gazlaştırıcılarda, hava yüksek hızla gazlaştırıcıya girer, gerekli sirkülasyonu sağladıktan sonra yakıtı doğru hareket eder. Bu da küçük hacimlerde yüksek

sıcaklıklara ulaşılmasını, düşük katran içerikli gazın oluşmasını sağlar. Ancak, yüksek sıcaklıklarda külün ergimesi sonucu yapışma ve tıkanmaların olması söz konusu olduğu için bu reaktörlerde düşük kül içeriği olan yakıtlar tercih edilmelidir. Yukarı ve Aşağı akışlı gazlaştırıcılara karşı fazla tercih edilmezler. Şekil 2.15'te örnek bir çapraz akışlı gazlaştırıcı görülmektedir. Bu tip gazlaştırıcıların en büyük dezavantajları ise; gaz çıkış sıcaklığının yüksek olması, yüksek gaz hızı, CO₂ indirgemesinin zayıf olmasıdır. Crossdraft gazlaştırıcılarda gaz çıkışı da diğer tiplerden farklıdır (Olgun ve ark. 1999).

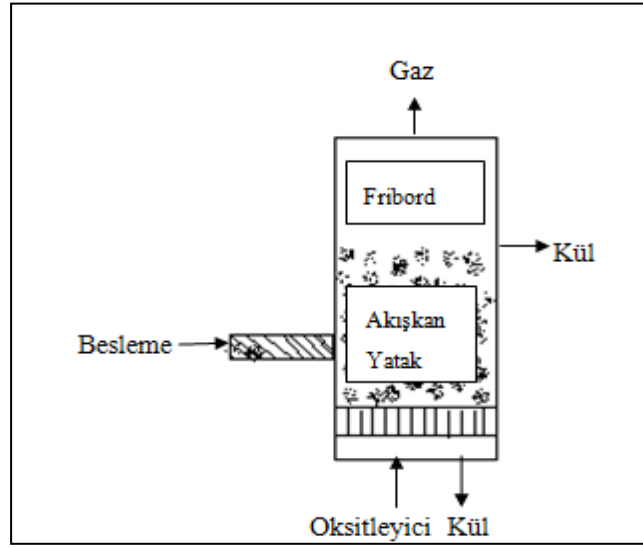


Şekil 2.15. Çapraz akışlı gazlaştırıcı örneği (Turare 2011)

Akışkan yataklı (Fluidized bed) gazlaştırıcı: Akışkan yatak gazlaştırma proseslerinde, oksitleyicinin hem reaktant olma hem de yatağın akışkanlaştırılmasını sağlamak üzere iki fonksiyonu vardır. Modern gazlaştırma sistemlerinde oksitleyici olarak oksijen/su buharı karışımları kullanılmaktadır. Ancak, enerji üretimi söz konusu ise hava da kullanılabilir. Bu tip gazlaştırıcılarda, partikül boyutu akışı sağlayan gazın kaldırabileceği durumda olmalıdır. Bu partiküllerin çoğunluğunu kül ve inert maddeler oluşturmaktadır. Bu nedenle kül ergime sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda çalışılmamalıdır.

Tipik akışkan yatak gazlaştırıcıları işletme sıcaklıkları kömür için 950-1100°C ve biyokütle için 800-950°C'dir (Higman ve Burgt 2007). Akışkan yataklı gazlaştırıcılar uzun dayanma süresi kadar daha iyi bir karışım sağlanabilmesi, optimum kinetik, partikül/gaz etkileşimi ve ısı transferi bakımından avantajlara sahiptir. Akışkan yataklı gazlaştırıcılar kabarcıklı ve sirkülasyonlu gazlaştırıcılar olmak üzere ikiye ayrılabilirler.

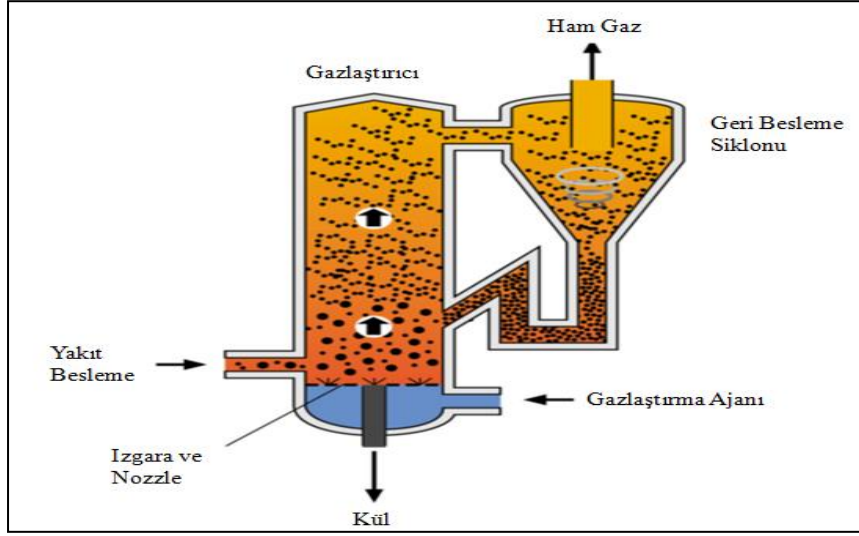
➤ **Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcılar;** Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcılar, iyi bir sıcaklık kontrolü, yüksek dönüşüm oranı, iyi bir ayırma potansiyeli, katalitik işlemlerin mümkün olması, hammadde miktarı ve nem içeriğine ve partikül boyutlandırılmasına toleranslı gazlaştırıcılardır (Turare 2011). Bu gazlaştırıcılarda oluşan gazın katran içeriği yukarı ve aşağı akışlı gazlaştırıcılar arasındadır. Şekil 2.16’da tipik bir kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcısı yer almaktadır (İrirtaş 2010).



Şekil 2.16. Kabarcıklı akışkan yatak gazlaştırıcı örneği (İrirtaş 2010)

➤ **Sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcılar;** Sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcılar, özellikleri bakımından pek çok avantaj sağlamaktadır. Isıl gücü 10 MW'dan yüksek yakıt üretimi için daha uygundur. Bu gazlaştırıcılar daha fazla sirkülasyon hızı sağladıkları için klasik akışkan yataklara göre daha verimlidir.

Bu tipte, biyokütle ya da atık gibi karakterizasyonu kompleks olan yakıtların kullanılmasında bir kısıtlama yoktur. Çünkü, beslemenin boyutu ve şekli bu tipte çok etkili değildir. Sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırma sistemi ile ilgili alternatif sunan iki firma Envirotherm and Foster Wheeler'dır (Higman ve Burgt 2007). Lurgi tarafından tasarlanan Envirotherm'e ait gazlaştırıcı modeli Şekil 2.17'da verilmiştir.



Şekil 2.17. Lurgi sirkülasyonlu akışkan yatak gazlaştırıcı örneği (Güzel 2011)

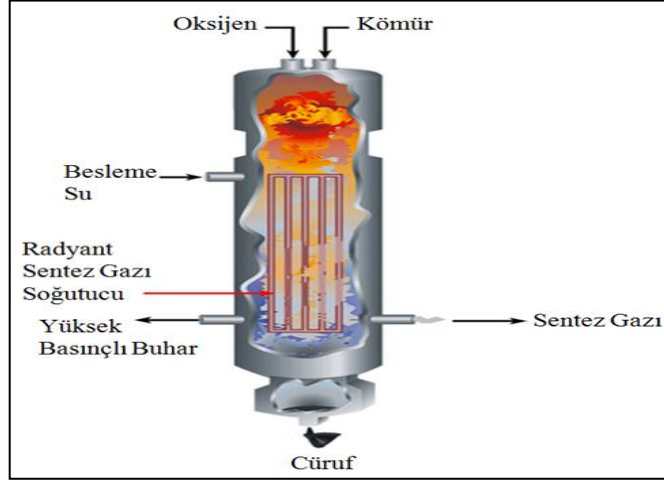
Şekil 2.17’de görüldüğü gibi Lurgi Sirkülasyonlu Akışkan Yatak sistemi, reaktör, entegre geri besleme siklonu ve iletili boru hattından oluşmaktadır. Sistemde yüksek gaz akış hızı (5-8 m/sn) ile büyük partiküllerin çoğunluğunun reaktörün üst kısmından sürüklenmeleri sağlanır. Gazdan ayrılan partiküller siklondan reaktöre tekrar beslenir. Genellikle gazlaştırma ajanı olarak kullanılan hava, birincil olarak ızgara üzerindeki püskürtücülerden (nozzle), ikincil olarak yakıtın beslendiği noktanın üzerindeki bir noktadan reaktöre verilir (Higman ve Burgt 2007).

- **Sürüklemeli yatak (Entrained bed);** Bu reaktörlerde genellikle yakıt ile oksitleyici akım aynı yönde beslenir. Yakıt olarak genellikle kömürün uygun olduğu bir gazlaştırıcıdır. Yakıtın reaktör içinde bulunma süresi oldukça kısadır. Kütle aktarımı ve gaz taşınım veriminin artırılması için besleme 100 μm ’den daha küçük boyuta öğütülür.

Kısa temas süresi ve yüksek sıcaklıklar reaksiyon veriminin de yüksek olmasını sağlamaktadır. Yüksek sıcaklık ile aynı zamanda yağ ve katranlarda parçalanması ve oluşan sentetik gazın metan bileşeni düşük olduğu için, en kaliteli sentetik gaz bu gazlaştırıcılardan elde edilmektedir. Bu nedenle, bu tip gazlaştırıcılar kül ergime sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda işletilmektedir.

Prosesin yüksek sıcaklıkta gerçekleşmesi yüksek oksijen ihtiyacını da oluşturmaktadır. Bu tip gazlaştırıcılar besleme ile ilgili teknik bir kısıtlama getirmez ancak beslemenin nem ve kül özelliklerinin yüksek olması diğer proseslerin o besleme için daha ekonomik olma

ihtimalini de ortaya çıkarır (Higman ve Burgt 2007). Şekil 2.18’da tipik bir sürüklemeli yatak gazlaştırıcı örneği verilmiştir.



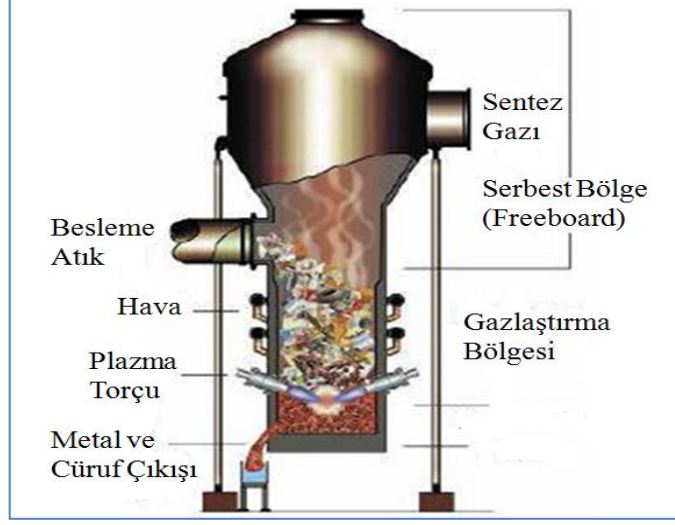
Şekil 2.18. Üstten ateşlemeli sürüklemeli yatak gazlaştırıcı örneği (Güzel 2011)

Plazma gazlaştırıcılar: Plazma gazlaştırma, çevre dostu ve ileri teknoloji ile gerçekleştirilmektedir. Bu gazlaştırıcılarda atıklar oksijence fakir ortamda, yakma olmaksızın çok yüksek sıcaklıklarda bozunarak küçük moleküllere dönüşürler. Klasik yakma ile karşılaştırıldığında oluşturduğu cüruf ve hava emisyon değerleri çok düşüktür. Klasik gazlaştırıcıların da çalışma sıcaklığı 400-850 °C arasındadır. Bu gazlaştırıcılara kısmi yakıcılar da denebilir ve bu sistemlerde yakıtın bir kısmı proses başlangıcı için gerekli ısı ihtiyacını karşılamak için yakılır (Mountouris ve ark. 2008). Plazma gazlaştırıcıda, proses için gerekli enerji dış bir kaynaktan sağlanır, yakıtın çok az kısmı yanar. Böylece, karbon bileşenlerinin büyük bir çoğunluğu sentetik gaza dönüşür.

Yüksek sıcaklıktan dolayı, tüm yağ, katran ve çar(char)lar da parçalanır. Elde edilen sentetik gaz daha temizdir ve gazlaştırıcıda taban külü kalmaz (Güzel 2011). Şekil 2.19’da örnek bir plazma gazlaştırıcı verilmiştir.

Atık ya da diğer yakıtlar 2000°C plazma sıcaklığına sahip gazlaştırıcıya beslenirler. Plazmaya temas eden atıkların sıcaklığı 2000°C’nin üstüne çıkar; atıklar hidrojen, karbon monoksit, karbon dioksit, su buharı ve metan gibi küçük molküllere dönüşürler. Bu gazlar sürekli olarak reaktörden gaz soğutma ve temizleme ekipmanlarına beslenirler. Oluşan kül ve diğer inorganik maddeler eriyerek sıvı kompleks bir silikat formunda reaktörün altına akarlar. Oluşan sıvı silikat eritilmiş form, daha sonra su ile soğutma haznesine alınarak toksik olmayan, sızıntı problemi oluşturmayan katı bir silikata dönüşür. Erimeyen metallerin çoğunluğu buharlaşmıştır, gaz soğutma ünitesinde yoğunlaşarak tekrar küçük taneli metal

formları oluştururlar. Oluşan sentetik gaz orta dereceli ısıl değere sahiptir ve enerji üretim santrallerinde kullanılabilirler (Güzel 2011).



Şekil 2.19. Plazma gazlaştırıcı örneği (Güzel 2011)

Tesiste gazlaştırma prosesi sonucu oluşan sentez gazı kullanılarak kurutma gerçekleştiren çamur kurutma ünitesi yer almaktadır. Sentez gazı ile kurutma yapılması; doğal gaz kullanılarak yapılan kurutmalara göre maliyet açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Tesiste kullanılan çamur kurutma ünitesine ait resim Şekil 3.2’de yer almaktadır. 500 Kg/ Saat kurutma kapasitesine sahip kurutma ünitesine beslenen yaklaşık % 60 – 70 nem oranına sahip arıtma çamuru kurutma sonrası % 10 – 15 nem oranında granül – toz yapıda kuru çamura dönüşmektedir.



Şekil 3.2. Gazifikasyon verimliliği ile ilgili deneysel çalışmaların yürütüldüğü tesise ait çamur kurutma ünitesi

Deneysel çalışmalarda, tesiste buluna aşağı akışlı gazlaştırıcılara beslenen çamur kombinasyonunun, gazlaştırma prosesi sonucu enerji verimliliği değerlendirilmiştir. Tesiste 1 ton / saat gazlaştırma kapasitesine sahip aşağı akışlı gazlaştırıcı, gaz temizleme üniteleri (scruber, elektrositatik filtre), 1 MW / saat’e kadar elektrik üretebilen Janbacher marka gaz motoru bulunmaktadır. Olası acil durumlar için sentez gazının yakılmasına olanak sağlayan yakma bacasına bypass hattı bulunmaktadır. Tesiste gazlaştırıcı pilot tesise ait resim Şekil 3.3’ de yer almaktadır.



Şekil 3.3. Gazifikasyon verimliliği ile ilgili deneysel çalışmaların yürütüldüğü tesise ait gazlaştırıcı pilot tesis

3.2. Yöntem

3.2.1 Amaç ve deneysel çalışma kapsamı

Bu çalışmada, farklı kombinasyonlardan oluşan endüstriyel arıtma çamurlarının gazlaştırılması, gazlaştırma prosesi sonucu katı atık olarak oluşan çar(char) ve reaktör siklonlarından alınan tozların enerji verimliliğine esas oluşturacak parametreler bazında karakterizasyonuna yönelik araştırmalar yapılmıştır.

3.2.2. Numune alma ve karakterizasyon

3.2.2.1. Numune alma

Bu tez çalışmasında incelenen numuneler, bölgede faaliyet gösteren tekstil, süt ve süt ürünleri, bitkisel ve bitkisel olmayan yağ, cam ve metal olmak üzere beş farklı sektörde faaliyet gösteren endüstrilerin yer aldığı her sektörden üç farklı işletmeden alınmıştır.

Karakterizasyon çalışmaları kapsamında numunelerin ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına göre ısı değer, nem ve kül tayinleri yapılmıştır.

3.2.3 Kullanılan cihazlar ve yöntemler

Numuneler, beş farklı sektörden toplanan arıtma çamurlarından oluşturulan kombinasyonların nemleri uzaklaştırıldıktan sonra öğütülerek homojen hale getirilmesi ile elde edilmiştir.

3.2.3.1 Nem analizi ve kurutma

ASTM D-3173 standardına göre, seçilen günlerde, periyodik olarak toplanan numuneler $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat tutulur. THERMO 3608-6CE marka etüv kullanılarak gerçekleştirilen deneyde, M_1 ve M_2 numunelerin ilk ve son ağırlıkları olmak üzere, nem miktarı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\% \text{ Nem} = [(M_1 - M_2) / M_1] * 100 \quad (3.1)$$

3.2.3.2 Numunelerin öğütülmesi ve numune alma

Numunelerin nem tayini yapıldıktan sonra, homojen hale getirilmesi amacıyla, çamur örnekleri için 1 mm trapez perforasyonu türü elekler kullanılarak öğütülmüştür. Öğütülen numunelerden, homojen bir dağılım sağlanması amacıyla TS EN 932-1 yönteminde yer alan çeyrekleme yöntemi ile analiz numuneleri hazırlanmıştır.

3.2.3.3 Kül analizi

Bu analiz, Protherm PLF 12017 marka kül fırınında yapılmıştır. ASTM D3174 - 04(2010) yöntemine göre, nemi uzaklaştırılmış olan numune, porselen krozede tartılır. İki saat 750 °C’de bekletilir ve sonrasında desikatörde soğutulur. Tekrar tartım yapıldıktan sonra kül miktarı hesaplanır .

$$\% \text{ Kül} = [(A-B)/C]*100 \quad (3.2)$$

A: Kroze ve içinde kalan kül kalıntı (gr) ağırlığı,

B : Boş kroze ağırlığı (gr),

C : Başlangıç numune ağırlığı (gr).

3.2.3.4 Isıl değer tayini

Reaktöre beslenen çamur kombinasyonunun ısı değerlerinin tayinleri karakterizasyonları açısından önemli bir analizdir. ASTM D 5468-95 yöntemine göre atıkların ısı değer tayinleri yapılmıştır. Bu amaçla, LECO AC 500 markalı adiyabatik bomba kalorimetre cihazı ile atıkların kuru baz üst ısı değerleri kcal/kg olarak tayin edilmiştir. Buna göre, maksimum 0,95 gr numune tartılarak kalorimetre krozesine yerleştirilir. Yaklaşık 8 dakika süren analiz sonucunda atığın kuru bazda üst ısı değeri ölçülmüş olur.

3.2.3.5. Arıtma çamuru kombinasyonlarının oluşturulması

Gazifikasyon sistemlerinde, atık kombinasyonlarının oluşturulmasının sebebi; düşük kalorifik değere ve aynı zamanda yüksek kül değerine sahip atıkları termal prosese beslemeden önce ısı değerinin artırılarak enerji elde veriminin yükseltilmesidir. Kül içeriği ve ısı değer gazlaştırma sistemlerinin verimini gösteren önemli parametreler arasında yer almaktadır. Gazlaştırıcı reaktöre beslenen atık, organik bileşenler açısından zengin ve inorganik bileşenleri az oranda içeriyorsa reaksiyon sonunda oluşan kalıntı yani kül miktarı da az olacaktır. Bu nedenle uygulamada, gazlaştırıcı sistemden yüksek enerji eldesinde reaktöre beslenen atığın büyük bir kısmının sentez gazına dönüşüp az miktarda kül bırakması hedeflenir. Bu noktadan hareketle, bu çalışmada incelenen endüstriyel arıtma çamurlarının kül içeriği ve ısı değer parametreleri bazında karakterizasyon değerleri dikkate alınarak

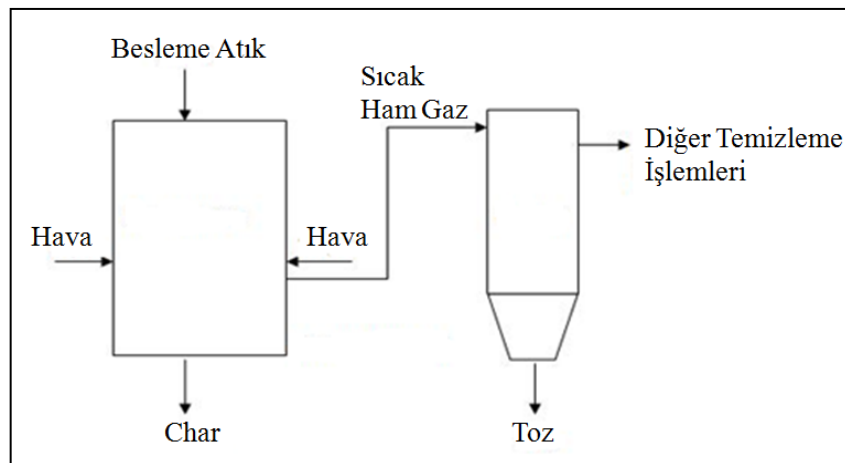
maksimum enerjinin elde edilebileceği besleme kombinasyonuna karar verilmiştir. Buna göre, çalışmada 4 farklı kombinasyona karar verilmiş olup, birinci kombinasyonda ısıl değeri yüksek olan çamurlar, ikinci kombinasyonda gazlaştırıcı veriminin en düşük olduğu durumu gözlemlemek amacıyla düşük ısıl değer yüksek kül oranına sahip olan çamurlar, üçüncü kombinasyonda incelenen arıtma çamurları ile gazlaştırıcıdan elde edilebilecek ortalama enerji verimini tespit etmek amacıyla her bir sektörden ortalama ısıl değere sahip arıtma çamurları, dördüncü kombinasyonda ise ısıl değer ve kül oranlarına bakılmaksızın, tüm sektörlerden oluşan arıtma çamurları bazında bir kombinasyon hazırlanmıştır.

3.2.3.6. Çar(char) ve siklon tozu ölçümleri

Gazlaştırma reaktörüne beslenen farklı kombinasyondaki arıtma çamuru numunelerinin gazifikasyonu sonucu reaktörün alt kısmında oluşan çar(char) atığı ile sentez gazının içinden geçirildiği siklon filtrelerde (reaktöre ait siklondan günde ortalama 20 kg siklon tozu alınmaktadır) tutulan siklon tozlarından 500 gr'lık numuneler, reaktörün soğuması beklendikten sonra bir naylon poşet içerisine alınarak herhangi bir ön işleme tabii tutulmadan kül ve ısıl değer parametreleri bazında karakterizasyonları yapılmış ve enerji verim hesabında bu değerler dikkate alınarak incelenen arıtma çamuru kombinasyonun gazifikasyon verimliliği açısından değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.2.3.7. Enerji verimliliği hesabı

Gazlaştırıcının yaklaşık verimi; besleme, çar(char) ve siklon tozlarının önceden tayin edilmiş ısıl değerlerinden yararlanılarak ve gazlaştırıcılar ile ilgili enerji denkliği dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır;



Şekil 3.4. Verim hesaplaması için varsayılan gazlaştırıcı ve siklon sistemi(Güzel 2011)

Şekil 3.4’de, atıklar gazlaştırıcının üst kısmından beslenmektedir. Böylece, sisteme atıklar ile bir enerji girdisi olmaktadır. Gazlaştırıcıdan çıkan ham gaz ve çar(char) enerji çıktılarının toplamı teorik olarak sistemdeki kayıplar ihmal edildiğinde, bu girdiye eşittir. Ancak, ham gazın siklonda partiküllerden temizlenmesi sırasında bir miktar toz yine gazdan ayrılarak ısı değerini etkilediği için gazlaştırıcı ve siklon bütün bir proses olarak düşünülmüştür. Buna göre, prosesin girdisi atıklar; çıktıları ise çar(char), siklon tozları ve ham gazdır. Atık, çar(char) ve siklon tozlarının ısı değerleri deneysel çalışmalar kapsamında belirlenmektedir.

$$W_{\text{Atık}} * H_{\text{Atık}} = W_{\text{Çar(char)}} * H_{\text{Çar(char)}} + W_{\text{SiklonTozu}} * H_{\text{SiklonTozu}} + H_{\text{HamGaz}} \quad (3.3)$$

Bu denkleme göre,

$W_{\text{Atık}}$: Saatte beslenen atık miktarı (kg)

$H_{\text{Atık}}$: Beslenen atığın ısı değeri (kcal/kg)

$W_{\text{Çar(char)}}$: Saatte çekilen çar(char) miktarı (kg)

$H_{\text{Çar(char)}}$: Çar(char) ısı değeri (kcal/kg)

$W_{\text{SiklonTozu}}$: Saatte toplanan siklon toz miktarı (kg)

$H_{\text{SiklonTozu}}$:Siklon tozu ısı değeri (kcal/kg)

H_{HamGaz} : Ham gaz ısı değeri (kcal)

$$\text{Verim (\%)} = (\text{Oluşan Ham Gaz Isıl Değer (kcal)}) / (\text{Gazlaştırıcı Enerji Girdisi (kcal)}) * 100 \quad (3.4)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Sektörel Bazda Arıtma Çamurlarının Karakterizasyon Sonuçları

Reaktöre besleme kombinasyonu oluşturulacak farklı sektörlere ait arıtma çamurlarına ait kurutma öncesi nem değerleri ile kurutma sonrası ölçülen nem, kül ve ısı değer ölçümleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Arıtma çamurlarının kurutma öncesi nem ölçümü ile kurutma sonrası nem, kül ve ısı değer ölçümleri

Firma	Kurutma Öncesi	Kurutma Sonrası		
	Nem (%)	Nem (%)	Kül (%)	Isıl Değer (kcal /kg)
Tekstil 1 (SKKY* Tablo 10.4) Biyolojik arıtma çamuru (Aktif Çamur Sistemi)	54,3	14,8	1,5	3094
Tekstil 2(SKKY* Tablo 10.4) Biyolojik arıtma çamuru (Aktif Çamur Sistemi)	51,6	13,9	1,4	2946
Tekstil 3(SKKY* Tablo 10.4) Biyolojik arıtma çamuru Aktif Çamur Sistemi)	65,8	15,9	2,4	3999
Yağ 1 (SKKY* Tablo 5.4) Biyolojik arıtma çamuru (Aktif Çamur Sistemi)	58	16,1	11,2	11631
Yağ 2 (SKKY* Tablo 5.4) Biyolojik arıtma çamuru Aktif Çamur Sistemi)	67,4	17,2	9,7	13028
Yağ 3 (SKKY* Tablo 5.4) Biyolojik arıtma çamuru Aktif Çamur Sistemi)	50,4	15,8	7	10209
Metal 1 (SKKY* Tablo 15.3) Kimyasal arıtma çamuru	45,4	15,4	38	2084
Metal 2 (SKKY* Tablo 15.3) Kimyasal arıtma çamuru	37	15,1	45,2	1455
Metal 3(SKKY* Tablo 15.3) Kimyasal arıtma çamuru	62,8	18,1	30,3	802
Süt 1 (SKKY* Tablo 5.3) Biyolojik arıtma çamuru Aktif Çamur Sistemi)	44,3	15,3	13,6	7820
Süt 2 (SKKY* Tablo 5.3) Biyolojik arıtma çamuru Aktif Çamur Sistemi)	75,8	18,9	10,3	3303
Süt 3 (SKKY* Tablo 5.3) Biyolojik arıtma çamuru Aktif Çamur Sistemi)	73,2	19,1	4,7	4366
Cam 1 (SKKY* Tablo 8) Kimyasal arıtma çamuru	64,2	17,6	34,3	1656
Cam 2 (SKKY* Tablo 8) Kimyasal arıtma çamuru	51,4	14,8	21	1492
Cam 3 (SKKY* Tablo 8) Kimyasal arıtma çamuru	52,6	14,1	19,2	802

*SKKY: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği

Bu çizelgede kurutma öncesi nem değerlerine bakıldığında, numuneleri alınan süt sektörü arıtma çamurlarının nem ortalaması %64 ile en yüksek değerde olmasına karşın, metal sektörü arıtma çamurlarının nem ortalaması %48,4 ile diğer sektörler ile karşılaştırıldığında en düşük değere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Öte yandan kurutulmuş arıtma çamurlarının nem değerlerinin birbirlerine yakın ortalama değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Metal ve cam sektörlerine ait arıtma çamurlarının yüksek kül değerlerine sahip olduğu aynı zamanda da düşük ısı değerlerine sahip olduğu da ölçümlerden anlaşılmaktadır. Bu duruma karşın yağ sektörü arıtma çamurları diğer sektörler ile karşılaştırıldığında yaklaşık 2 kat yüksek ısı değerine ve düşük kül değerine sahip olduğu da tespit edilmiştir.

Reaktöre beslenen çamur kombinasyonunu oluşturan kurutulmuş çamurların nem, kül ve ısı değer sonuçlarını Çizelge 4.2’de yer almaktadır. Bu çamurlar, gazlaştırıcılar için en yüksek verimi sağlayacak şekilde karıştırılarak reaktöre beslenmiştir. İlk kombinasyonda yüksek kalorifik değer, düşük kül ve nem değerine sahip çamurlar karıştırılmış ve oluşan kombinasyonun nem, kül ve kalorifik değeri ölçülmüştür. İlk kombinasyonu oluşturulan çamur numuneleri 1:1 oranında karıştırılmıştır. Kombinasyon oluşturulan numuneler Çizelge 4.2.’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Birinci kombinasyonu oluşturan numunelerin nem, kül ve ısı değerleri

Firma	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal /kg)
Tekstil 3	15,9	2,4	3999
Yağ 2	17,2	9,7	13028
Süt 1	15,3	13,6	7820

İkinci kombinasyonda kalorifik değeri düşük, kül oranı yüksek çamur kombinasyonu oluşturulmuştur. Kombinasyon 1:1:1 oranında oluşturulmuştur. Çizelge 4.3 ‘de bu kombinasyona ait değerler yer almaktadır.

Çizelge 4.3. İkinci kombinasyonu oluşturan numunelerin nem, kül ve ısı değerleri

Firma	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal /kg)
Tekstil 2	13,6	1,4	2946
Metal 1	15,4	38	2084
Cam 2	14,8	21	1492

Üçüncü kombinasyonda her bir sektörden alınan numuneler 1:1:1 oranında karıştırılarak kombinasyon oluşturulmuştur. Oluşturulan kombinasyona ait değerler Çizelge 4.4’de yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Üçüncü kombinasyonu oluşturan numunelerin nem, kül ve ısı değerleri

Firma	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal /kg)
Tekstil 1	14,8	1,5	3094
Metal 2	15,1	45,2	1455
Cam 1	17,6	34,3	1656
Süt 2	18,9	10,3	3303
Yağ 1	16,1	11,2	11631

Son kombinasyonda tüm numuneler 1:1 oranında karıştırılarak çamur kombinasyonu oluşturulmuştur. Çizelge 4.5’de tüm numunelerin karışımından oluşan kombinasyona ait değerler yer almaktadır.

Çizelge 4.5. Dördüncü Kombinasyonu oluşturan numunelerin nem, kül ve ısı değerleri

Firma	Nem (%)	Kül (%)	Isıl Değer (kcal /kg)
Tekstil 1	14,8	1,5	3094
Tekstil 2	13,9	1,4	2946
Tekstil 3	15,9	2,4	3999
Yağ 1	16,1	11,2	11631
Yağ 2	17,2	9,7	13028
Yağ 3	15,8	7	10209
Metal 1	15,4	38	2084
Metal 2	15,1	45,2	1455
Metal 3	18,1	30,3	802
Süt 1	15,3	13,6	7820
Süt 2	18,9	10,3	3303
Süt 3	19,1	4,7	4366
Cam 1	17,6	34,3	1656
Cam 2	14,8	21	1492
Cam 3	14,1	19,2	802

Oluşturulan kombinasyonların nem, kül ve ısı değerleri yeniden ölçülmüş ve Çizelge 4.6’da veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. Kombinasyonların nem, kül ve ısı değerleri

Kombinasyon	Nem (%)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal /kg)
Kombinasyon 1	16,5	8,9	8170
Kombinasyon 2	14,9	22	2080
Kombinasyon 3	17	23	4120
Kombinasyon 4	16,5	17,6	4510

4.2. Çar(char) Atıklarının Karakterizasyon Sonuçları

Çizelge 4.6’da belirtilen çamur kombinasyonları gazlaştırıcı reaktöre beslenmiş ve oluşan çar(char) atıklarının nem, kül ve ısı değerleri ölçülmüştür. Çizelge 4.7’da gazlaştırıcıya beslenen çamur kombinasyonlarının reaktöre beslenmesinden sonra oluşan çar numunelerinin kül ve ısı değer verilerini göstermektedir.

Çizelge 4.7. Oluşan çar (char) atıklarının kül ve ısıl değerleri

Reaktöre Beslenen Atık Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
Kombinasyon 1	87,86	3508,8
Kombinasyon 2	76,40	833,8
Kombinasyon 3	73,42	2485,5
Kombinasyon 4	77,48	2373,0

Çizelge 4.7'deki değerlere göre, en yüksek kül ve ısıl değerlerin 1. kombinasyonun gazlaştırılması sonucu açığa çıkan çar(char) numunesinde elde edilirken, en düşük kül 3. kombinasyonda ve en düşük ısıl değer ise 2. kombinasyonda elde edilmiştir.

4.3. Siklon Tozu Örneklerinin Karakterizasyon Sonuçları

Siklon tozları, ham gaz ile sürüklenerek reaktörden çıkan tozlardır. Yanıcılığı olmayan, minimum düzeyde ısıl değere sahip olmaları beklenmektedir. Ancak, bununla birlikte hiç termal bozunmaya uğramamış beslemeye ait toz formda atıkların sürüklenmesi de mümkün olmaktadır. Çizelge 4.8'de gazlaştırıcıya beslenen çamur kombinasyonları sonrasında reaktörün siklonlarında oluşan tozların kül ve ısıl değer verileri yer almaktadır.

Çizelge 4.8. Siklon tozlarının kül ve ısıl değerleri

Numune Adı	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)
Kombinasyon 1	75,42	1107,0
Kombinasyon 2	73,20	1017,0
Kombinasyon 3	87,67	610,0
Kombinasyon 4	81,94	883,7

Çizelge 4.8'deki değerlere göre, en yüksek kül değeri 3. Kombinasyonda elde edilirken en yüksek ısıl değer ise 1. Kombinasyonun gazlaştırılması sonucu açığa çıkan siklon tozu numunesinde elde edilmiştir.

4.4. Gazlaştırıcı Verimi

Gazlaştırıcı verimi, gazlaştırıcıya atıkların beslenmesi ile verilen enerji girdisinin ne kadarının sentez gazı olarak geri kazanıldığını ifade etmektedir. Proses çıktıları çar(char) ve siklon tozlarının ısıl değerleri de göz önünde bulundurularak yapılacak bir enerji denkliği ile teorik olarak gazlaştırma verimi hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, çar(char) ve siklon tozu dışındaki

tüm enerji çıktısının sentez gazında bulunduğu kabul edilmiştir. Reaktörlere beslenen çamur kombinasyonu ve çar(char) günlük miktarları Çizelge 4.9'da yer almaktadır.

Çizelge 4.9. Reaktörlere beslenen çamur kombinasyonu ve çar(char) günlük miktarları

Numune	Çamur (kg / gün)	Çar(char) (kg/gün)
Kombinasyon 1	7000	500
Kombinasyon 2	6780	500
Kombinasyon 3	5200	420
Kombinasyon 4	5850	475

Çizelge 4.10. Beslenen atık ve çar(char) örneklerine ait ortalama ısıl değerler

Numune Adı	Besleme			Çar(char)	
	Nem (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Kül (%)	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	Kül (%)
Kombinasyon 1	16,5	8170	8,9	87,86	3508,8
Kombinasyon 2	14,9	2080	22	76,40	833,8
Kombinasyon 3	17	4120	23	73,42	2485,5
Kombinasyon 4	16,5	4510	17,6	77,48	2373,0

Çizelge 4.10 daha önceden belirlenmiş olan besleme ve çar(char) numunlerinin analiz sonuçları özetlenmiştir. Beslenen atıkların nem değerleri birbirine yakın ve gazlaştırma için uygundur. Numunelerin farklı günlerde alınmış olması, farklı formülasyonların hazırlanmasından ötürü herbirine özgü kül ve ısıl değer belirlenmesine neden olmuştur. Çar(char) numunlerinin analiz sonuçları da, girdilere bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Çizelge 4.9'da verilen günlük toplam çamur kombinasyonu ve çar(char) miktarları 24 saate bölünerek 1 saatlik miktarları ile hesaplamalar yapılmıştır. Saatte ortalama 1000 m³ ham gaz üretildiği kabul edilerek, birinci kombinasyon için ortalama değerleri kullanılarak oluşan gazın ısıl değerinin hesaplaması aşağıdaki gibidir:

$$(7000 \text{ kg} / 24 \text{ Saat}) \times (8170 \text{ kcal/kg}) = (500 \text{ kg}/24 \text{ Saat}) \times (3508,8 \text{ kcal/kg}) + (20 \text{ kg}/24 \text{ Saat}) \times (1107 \text{ kcal/kg}) + H_{\text{HamGaz}}$$

1 saatte oluşan ham gazın ısıl değeri;

$$H_{\text{HamGaz}} = 2.308.894,17 \text{ kcal}$$

1 saatte oluşan 1000 m³ gaz için ısı değer yaklaşık olarak;

$$H_{\text{HamGaz}} = 2.308,9 \text{ kcal/m}^3$$

Oluşan ham gazın ısı değeri ne kadar yüksek ise, gazlaştırma verimi o kadar yüksektir. Bu değer aşağıda hesaplanmıştır:

$$\text{Verim (\%)} = (2308894) / [(7000 \text{ kg}/24 \text{ Saat}) \times (8170 \text{ kcal/kg})] \times 100$$

$$\text{Verim (\%)} = \% 96,9$$

Buna göre tüm numuneler için aynı hesaplama tekrar edildiğinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Gazlaştırıcı verimleri

Numune	Giren Enerji (kcal)	Çıkan Çar(char) (kcal)	Çıkan Siklon (kcal)	Çıkan Ham gaz (kcal)	Çıkan Ham gaz (kcal/m ³)	Verim (%)
Kombinasyon 1	2.382.916,67	73.100	922,50	2.308.894,17	2.308,9	96,9
Kombinasyon 2	587.600,00	17.370,83	847,50	1.384.798	1.384,8	93,8
Kombinasyon 3	892.666,67	43.496,25	508,30	918.888,2	918,88	95,07
Kombinasyon 4	1.099.312,5	46.965,63	736,42	1.152.062	1.152,06	95,66

Çizelge 4.11'de, numunelerin toplandıkları günlere özgü gazlaştırıcı verimi ve sentetik gaz ısı değeri sonuçları yer almaktadır. Buna göre, en yüksek verim; birinci kombinasyonun reaktöre beslenmesi ile sağlanmış olduğu belirlenmiştir. En düşük verimin ise ikinci çamur kombinasyonunun olduğu tespit edilmiştir. Gazlaştırmada, sisteme giren atık içeriğindeki organik bileşenlerin minimum kayıp ile ham gazla sistemden ayrılıp değerlendirilmesi amaçlanır. Ancak, oluşan gazın niteliği doğal gaza eşit olmasa da belirli bir ısı değere sahip olması avantaj yaratacaktır. Normal şartlarda sentez gazının ısı değerinin 1000-2600 kcal/m³ arasında olması beklenir (Güzel 2011) . Bu nedenle genel olarak hem 1000 kcal/m³'ün üstünde ısı değeri olan hem de çar(char) ve siklon tozları açısından enerji kayıplarının az olduğu koşullarda reaktörlerin daha verimli olduğu kabul edilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel arıtma çamurlarının gazlaştırma prosesi ile enerji verimliliğinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Reaktöre beslenen arıtma çamurlarının gazlaştırma ünitesine beslenmeden önce en uygun kombinasyonun oluşturulması amacıyla nem, kül ve ısı değer tayinleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda ısı değeri yüksek olan maddelerde düşük kül oranı gözlenmiştir. Ancak, heterojen maddelerle çalışıldığı için bazı numunelerin analizinde yüksek ısı değeri, yüksek kül oranı ya da düşük ısı değeri, düşük kül oranı gibi sonuçlarla da karşılaşmıştır. Arıtma çamurlarının ısı değerleri 800-13.000 kcal/kg arasına iken çar(char) örneklerinin ısı değerleri 800-3500 kcal/kg ve siklon tozlarının ise 500-900 kcal/kg arasında değiştiği görülmüştür. Çar(char) numuneleri ısı değere sahip oldukları için düzenli depolamaya gönderilmeden önce tekrar termal bir proseste işlenmesi mümkündür.
- Beslenen atıkların ve gazlaştırma prosesi sonucu oluşan çar(char) ve siklon tozlarının miktarları ve ısı değerleri bilgilerinden yararlanılarak teorik reaktör verimleri hesaplanmıştır. Reaktör verimi, reaktöre enerji girdisinin minimum kayıpla ham gaza dönüşmesi doğrultusunda hesaplanmıştır.
- Sonuçlara göre kalorifik değeri yüksek ve kül oranı düşük arıtma çamurlarından oluşturulan çamur kombinasyonun diğer kombinasyonlara göre enerji veriminin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bölgede oluşan arıtma çamurlarının özellikle tekstil ve gıda sektöründen oluştuğu göz önünde bulundurulduğunda arıtma çamurlarının düzenli depolama tesislerinde bertarafı öncesi hem miktarının azaltılması hem de bünyesinde var olan enerjinin geri kazanılması açısından gazlaştırıcıların kullanımının yaygınlaştırılmasının gereği önem kazanmaktadır. Ayrıca gazlaştırma tesislerinde çamur kurutma ünitelerinde sentez gazının kullanılması da göz önünde bulundurulduğunda ayrıca yakıt tüketilmemesi maliyetlerin düşürülmesi açısından çevreci bir yaklaşımdır.
- Ülkemizde de sayıları her geçen gün artan atıksu arıtma tesislerinden açığa çıkan arıtma çamurlarının miktarı önemli boyutlara ulaşmıştır. Hedeflenen atık hiyerarşisinde düzenli depolamaların hiyerarşiden kaldırılacağı göz önünde bulundurularak yakma ile karşılaştırıldığında karbon ayak izinin düşürülmesinde de üstünlük sağlayan yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan gazlaştırma tesislerinin ülkemizde yaygınlaştırılması olumlu katkıları olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Anonim (1994) United States Environmental Protection Agency, Waste Analysis At Facilities That Generate, Treat, Store and Dispose of Hazardous Wastes, A Guidance Manual, Solid Waste and Emergency Response, United States of America,1994
- Anonim (2006). “Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration”, European Commission Integrated Pollution Prevention and Control, Brüksel, 2006.
- Anonim (2008). www.cygm.gov.tr/CYGM/Files/EylemPlan/atikeylemlani.pdf Erişim Tarihi: 16.02.2013
- Anonim (2009). The Blue Environmental Defense League, Waste Gasification. Impacts on the Environment and Public Health, Amerika Birleşik Devletleri,2009.
- Anonim (2011) International Finance Corporation, Environmental, Health and Safety Guidelines for Waste Management Facilities, Amerika Birleşik Devletleri, 2011. [http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_WasteManagement/\\$FILE/Final+-+Waste+Management+Facilities.pdf](http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/gui_EHSGuidelines2007_WasteManagement/$FILE/Final+-+Waste+Management+Facilities.pdf) Erişim Tarihi: 03.12.2012
- Anonim (2013). www.lenntech.com/library/sludge/components/sludgecomponents.htm Erişim Tarihi: 10.02.2013
- Anonim (2013a) <http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc119.htm> Erişim Tarihi: 21.02.2013
- Anonim (2013b) <http://www.ikv.org.tr/pdfs/4f3a608d.pdf>, Erişim Tarihi 23.02.2013
- Anonim (2013c) T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerji&bn=215&hn=12&nm=384&id=384> , Erişim Tarihi 13.02.2013
- Babacan AK (2008). Türkiye’de sanayiden kaynaklanan tehlikeli atıkların yönetiminin iyileştirilmesi, Çevre ve Orman Bakanlığı <http://www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/life/taske/04.pdf> Erişim Tarihi 24.12.2012
- Bağdatlı Y (2011). Tıbbi ve tehlikeli madde yönetimi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, İstanbul. <http://www.ctf.edu.tr/ctfhemhzmd/Sempozyum%201.%20G%C3%BCn/3.%20OTURUM/Ya%C5%9Far%20Ba%C4%9Fdatl%C4%B1%20-%2011-YENİ%C4%B0%20ATIK%20Y%C3%96NET%C4%B0M%C4%B0.pdf> Erişim Tarihi18.02.2013

- Candar G (2011). Atık Yönetimi Uygulamasında Adım Adım. 3. Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Kongresi, Samsun. <http://www.das.org.tr/kitap2003/11.htm> Erişim Tarihi: 17.11.2012
- Erbay M (2009). Kayseri şehri tehlikeli atık potansiyelinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Güzel E (2011). Endüstriyel Atıkların Gazlaştırılması Ve Gazlaştırma Prosesi Katı Çıktılarının (Çar(char), Siklon Tozu Ve Klinker) Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Higman C, Burgt M (2007). Gasification, Gulf Professional Publishing, United States of America.
- İritaş Ö (2010). Atık gazlaştırma yöntemi ile enerji eldesi ve atık gazlaştırmanın çevresel değerlendirmesi, Uzmanlık Tezi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Keskinler B, Hız H, Kara S, Dizge N (2011). Tekirdağ İli Arıtma Çamurlarının Karakterizasyonunun ve Uygun Bertaraf Yöntemlerinin Belirlenmesi Projesi (2011)
- Küçükgül EY (2008). Tehlikeli Atık Yönetimi, Tehlikeli Atıkların Niteliği, Bertaraf Teknikleri ve Yakma, DEÜ İZİSYÖM Farkındalık Toplantısı-7, İzmir, 12 Mart. http://www.deu.edu.tr/UploadedFiles/Birimler/14153/Enver_Yaser_Kucukgul.ppt Erişim Tarihi: 16.02.2012
- Kwak T, MakenS, Lee S, Park J, Min B, Yoo YD (2006). Environmental aspects of gasification of Korean municipal solid waste in a pilot plant. Fuel, 85, 2012–2017.
- Marco I, Caballero BM (2009). Pyrolysis of the rejects of a waste packaging separation and classification plant, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 85, 384–391.
- Misra V, Pandey SD (2005). Hazardous waste, impact on health and environment for development of better waste management strategies in future in India, Environment International, 31, 417– 431.
- Mountouris A., Voutsas E, Tassios D (2008). Plasma gasification of sewage sludge: Process development and energy optimization. Energy Conversion and Management, 49, 2264–2271.

Okutan H, Akkaş B, Bayar K (2010). Orman biyokütlelerinin gazlaştırılması 0.5 MW'lık elektrik üretimi, Orman Biyokütlesi ve Biyoenerji Çalıştay, Kastamonu, 25-26 Şubat 2010.

<http://web.ogm.gov.tr/diger/iklim/Dokumanlar/Biyoenerji%20%C3%87al%C4%B1%C5%9Ftay%C4%B1/CalistaySunumlari/Hasancan%20Okutan-2010.pdf>, Erişim Tarihi 20.02.2013

Olgun H, Doğru M, Howarth CR (1999). IV. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi bildiriler kitabı, II.Cilt, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İzmir.

Orr D, Maxwell D (2000). A comparison of gasification and incineration of hazardous wastes, final report, Radian International LLC, United States of America.

Öztürk İ (2010). Atık sektörü mevcut durum değerlendirmesi raporu 2.taslak Türkiye'nin iklim değişikliği ulusal eylem planı'nın geliştirilmesi projesi, T. C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

http://iklim.cob.gov.tr/iklim/Files/Atik_Sektoru_Mevcut_Durum_Degerlendirmesi_Raporu.pdf Erişim Tarihi: 19.02.2013

Pichtel J (2005). Waste management practices, municipal, hazardous and industrial, CRC Press, Amerika Birleşik Devletleri.

Resmi Gazete (1983) 11.08 1983 Tarih ve 18132 Sayılı Resmi Gazete, Çevre Kanunu

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

Resmi Gazete (2005). 14 Mart 2005 Tarih ve 25755 Sayılı Resmi Gazete, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği.

Resmi Gazete (2005a) 05.04.2005 Tarih ve 25777 Sayılı Resmi Gazete, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği.

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

Resmi Gazete (2010). 26 Mart 2010 Tarih ve 27533 Sayılı Resmi Gazete, Atıkların Düzenli Depolanmasına İlişkin Yönetmelik.

Resmi Gazete (2010a) 06.10.2010 Tarih ve 27721 Sayılı Resmi Gazete, Atıkların Yakılmasına İlişin Yönetmelik.

- Saltabaş F, Soysal Y (2010). Evsel atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul'a uygulanabilirliği, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3, 109-116.
- Tao L, Zhao G (2010). Combustion characteristics of particles of hazardous solid waste mixtures in a fixed bed, *Journal of Hazardous Materials*, 181, 305–314.
- Tao L, Zhao G (2010). TG–FTIR characterization of pyrolysis of waste mixtures of paint and tar slag, *Journal of Hazardous Materials*, 175, 754–761.
- Tenikler G. (2007). Türkiye’de tehlikeli atık yönetimi ve Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırmalı bir analiz, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Tolay M (2010) İTÜ XII. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 16-18 Haziran 2010
- Turare C (2011). Biomass gasification technology and utilization, University of Flensburg, Germany. <http://cturare.tripod.com/gas.htm> Erişim Tarihi 24.04.2011.
- Yılmaz A, Bozkurt Y (2010). Türkiye’de kentsel katı atık yönetimi ve uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (KÜKAB) örneği, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15, 1-4.

EKLER

EK A : Reaktöre Beslenen Arıtma Çamurlarının ADDDY Ek 2 Analiz Sonuçları

Çizelge A.1. Cam sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları

Parametre	Birim	Cam -1 Analiz Sonuçları	Cam -2 Analiz Sonuçları	Cam -3 Analiz Sonuçları
Arsenik (As)	(mg /L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Baryum (Ba)	(mg /L)	0,0017	0,0021	0,0032
Kadmiyum(Cd)	(mg /L)	0,001	0,0023	0,0019
Toplam Krom (Cr)	(mg /L)	0,029	0,036	0,041
Bakır (Cu)	(mg /L)	<0,01	<0,01	<0,01
Civa (Hg)	(mg /L)	<0,0002	<0,0002	<0,0009
Molibden (Mo)	(mg /L)	<0,001	<0,001	<0,021
Nikel (Ni)	(mg /L)	0,004	0,004	0,036
Kurşun (Pb)	(mg /L)	0,0016	0,0016	0,0023
Antimon (Sb)	(mg /L)	0,014	0,014	0,019
Selenyum (Se)	(mg /L)	<0,001	<0,001	<0,001
Çinko (Zn)	(mg /L)	0,065	0,065	0,098
Florür	(mg /L)	1,7	2,1	2,1
Klorür	(mg /L)	19	24	21
Sülfat	(mg /L)	37	56	44
Fenol İndeksi	(mg /L)	<0,03	<0,03	<0,03
* Çözünmüş Organik Karbon (DOC)	(mg /L)	51	42	28,4
* Toplam Organik Karbon (TOC)	%	3,6	3,1	2,1
* Toplam Çözünen Katı (TÇK)	(mg /L)	195	211	181
* BTEX (Benzen,Toluen,Etil Benzen, Ksilen)	(mg /kg)	<0,25	<0,25	<0,25
Mineral Yağ (C10-C40'a kadar)	(mg /kg)	670	548	549
* PCBs(Toplam)	(mg /kg)	<0,1	<0,1	<0,1
pH		9,81	8,17	8,67
Nem	%	58,2	47	45,8
LOİ (Yanma Kaybı)	%	57	68	62

Çizelge A.2. Metal sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları

Parametre	Birim	Metal-1 Analiz Sonuçları	Metal-2 Analiz Sonuçları	Metal-3 Analiz Sonuçları
Arsenik (As)	(mg /L)	<0,01	<0.0005	<0,01
Baryum (Ba)	(mg /L)	0,71	0.06	0,1
Kadmiyum(Cd)	(mg /L)	<0,001	<0.0005	0,031
Toplam Krom (Cr)	(mg /L)	0,017	<0.001	0,144
Bakır (Cu)	(mg /L)	0,003	<0.01	11,2
Civa (Hg)	(mg /L)	<0,0001	<0.0002	<0,0008
Molibden (Mo)	(mg /L)	<0,007	<0.001	<0,007
Nikel (Ni)	(mg /L)	<0,003	0.002	9,1
Kurşun (Pb)	(mg /L)	<0,015	<0.0005	5,6
Antimon (Sb)	(mg /L)	<0,006	<0.005	0,022
Selenyum (Se)	(mg /L)	<0,01	<0.001	<0,01
Çinko (Zn)	(mg /L)	<0,001	0.016	55
Florür	(mg /L)	1,2	0.9	0,53
Klorür	(mg /L)	201	65	2485
Sülfat	(mg /L)	12	851	1119
Fenol İndeksi	(mg /L)	0,054	0.04	0,07
* Çözünmüş Organik Karbon (DOC)	(mg /L)	6	38	15
* Toplam Organik Karbon (TOC)	%	2,7	1.6	0,9
* Toplam Çözünen Katı (TÇK)	(mg /L)	662	1508	6318
* BTEX (Benzen,Toluen,Etil Benzen, Ksilen)	(mg /kg)	0,062	<0.25	<0,02
Mineral Yağ (C10-C40'a kadar)	(mg /kg)	<95	<100	<95
* PCBs(Toplam)	(mg /kg)	<0,003	<0.1	<0,03
pH		8,93	6.64	2,96
Nem	%	47	32	57
LOİ (Yanma Kaybı)	%	58	43	64

Çizelge A.3. Süt üretimi sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları

Parametre	Birim	Süt-1 Analiz Sonuçları	Süt-2 Analiz Sonuçları	Süt-3 Analiz Sonuçları
Arsenik (As)	(mg /L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Baryum (Ba)	(mg /L)	0,007	0,008	0,005
Kadmiyum(Cd)	(mg /L)	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Toplam Krom (Cr)	(mg /L)	<0,001	<0,001	<0,001
Bakır (Cu)	(mg /L)	<0,01	<0,01	<0,01
Civa (Hg)	(mg /L)	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Molibden (Mo)	(mg /L)	0,023	0,016	0,019
Nikel (Ni)	(mg /L)	0,002	0,004	0,001
Kurşun (Pb)	(mg /L)	0,037	0,049	0,031
Antimon (Sb)	(mg /L)	<0,005	<0,005	<0,005
Selenyum (Se)	(mg /L)	<0,001	<0,001	<0,001
Çinko (Zn)	(mg /L)	0,09	0,12	0,23
Florür	(mg /L)	0,92	0,19	0,34
Klorür	(mg /L)	61	39	69
Sülfat	(mg /L)	46	57	35
Fenol İndeksi	(mg /L)	<0,03	<0,03	<0,03
* Çözünmüş Organik Karbon (DOC)	(mg /L)	908	756	812
* Toplam Organik Karbon (TOC)	%	18,8	14,5	16,9
* Toplam Çözünen Katı (TÇK)	(mg /L)	4116	2457	2369
* BTEX (Benzen,Toluen,Etil Benzen, Ksilen)	(mg /kg)	<0,25	<0,25	<0,25
Mineral Yağ (C10-C40'a kadar)	(mg /kg)	835	920	1017
* PCBs(Toplam)	(mg /kg)	<0,1	<0,1	<0,1
pH		8,6	8,9	8,5
Nem	%	53	78	75
LOİ (Yanma Kaybı)	%	85	89	94

Çizelge A.4. Yağ üretimi sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları

Parametre	Birim	Yağ - 1 Analiz Sonuçları	Yağ - 2 Analiz Sonuçları	Yağ - 3 Analiz Sonuçları
Arsenik (As)	(mg /L)	0,015	0,037	<0,05
Baryum (Ba)	(mg /L)	0,063	0,054	<2
Kadmiyum(Cd)	(mg /L)	<0,0006	<0,0006	0,015
Toplam Krom (Cr)	(mg /L)	<0,002	<0,002	0,053
Bakır (Cu)	(mg /L)	0,832	0,04	<0,2
Civa (Hg)	(mg /L)	0,003	0,0008	<0,001
Molibden (Mo)	(mg /L)	0,005	0,018	<0,05
Nikel (Ni)	(mg /L)	0,015	0,296	0,081
Kurşun (Pb)	(mg /L)	<0,01	<0,01	<0,05
Antimon (Sb)	(mg /L)	<0,002	<0,002	0,0006
Selenyum (Se)	(mg /L)	<0,002	<0,002	<0,01
Çinko (Zn)	(mg /L)	0,107	0,063	45
Florür	(mg /L)	<0,1	1,27	6,35
Klorür	(mg /L)	35,4	479,3	349
Sülfat	(mg /L)	458,8	263	184
Fenol İndeksi	(mg /L)	<0,002	<0,002	15
* Çözülmüş Organik Karbon (DOC)	(mg /L)	828	946	980
* Toplam Organik Karbon (TOC)	%	19,7	24,8	21,2
* Toplam Çözünen Katı (TÇK)	(mg /L)	1096	960	686
* BTEX (Benzen,Toluen,Etil Benzen, Ksilen)	(mg /kg)	<2	<2	<0,25
Mineral Yağ (C10-C40'a kadar)	(mg /kg)	1356,9	1371,5	49521
* PCBs(Toplam)	(mg /kg)		3,2	<0,1
pH				4,05
Nem	%	61	69	54
LOİ (Yanma Kaybı)	%	87	91	95

Çizelge A.5. Tekstil sektöründen alınan numunlerin ADDDY Ek 2 analiz sonuçları

Parametre	Birim	Tekstil-1 Analiz Sonuçları	Tekstil-2 Analiz Sonuçları	Tekstil-3 Analiz Sonuçları
Arsenik (As)	(mg /L)	<0,05	0.0009	0,002
Baryum (Ba)	(mg /L)	0,37	0.01	<0,002
Kadmiyum(Cd)	(mg /L)	<0,05	<0.0005	0,0003
Toplam Krom (Cr)	(mg /L)	<0,05	0.004	0,34
Bakır (Cu)	(mg /L)	<0,05	<0.01	<0,01
Civa (Hg)	(mg /L)	<0,02	<0.0002	0,0005
Molibden (Mo)	(mg /L)	<0,05	0.002	<0,001
Nikel (Ni)	(mg /L)	<0,05	<0.001	0,99
Kurşun (Pb)	(mg /L)	<0,05	<0.0005	<0,001
Antimon (Sb)	(mg /L)	0,068	<0.005	<0,003
Selenyum (Se)	(mg /L)	<0,05	<0.001	<0,002
Çinko (Zn)	(mg /L)	0,177	<0.015	1,6
Florür	(mg /L)	0,475	1.1	2,9
Klorür	(mg /L)	14	107,2	122
Sülfat	(mg /L)	111	437.5	11
Fenol İndeksi	(mg /L)	0,226	<0.02	0,14
* Çözünmüş Organik Karbon (DOC)	(mg /L)	119	311	713
* Toplam Organik Karbon (TOC)	%	6,1	4.8	10,6
* Toplam Çözünen Katı (TÇK)	(mg /L)	954	3075	9342
* BTEX (Benzen,Toluen,Etil Benzen, Ksilen)	(mg /kg)	<0,25	<0.1	<0,005
Mineral Yağ (C10-C40'a kadar)	(mg /kg)	1102	681	777
* PCBs(Toplam)	(mg /kg)	<0,1	<0.1	<0,003
pH		7,04		
Nem	%	60,3	57,3	69
LOİ (Yanma Kaybı)	%	98	94	97

ÖZGEÇMİŞ

Yıldırım Beyazıt KAR 1982 yılında İskenderun'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İskenderun'da tamamlamıştır. 2005 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümünden mezun olmuştur. Özel bir firmada bölge müdürü olarak çalışmaktadır.