

**İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ**

**ATIKSU ARITMA TESİSİ ATIKLARININ BERTARAFI VE YENİDEN  
DEĞERLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ MEVCUT VE YENİ TEKNOLOJİK  
YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Serdar DİLEK**

**UZMANLIK TEZİ**

**EYLÜL 2015**



**İLBANK**  
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

**İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ**

**ATIKSU ARITMA TESİSİ ATIKLARININ BERTARAFI VE YENİDEN  
DEĞERLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ MEVCUT VE YENİ TEKNOLOJİK  
YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Serdar DİLEK**

**UZMANLIK TEZİ**

**Dr. F. Ebru YILDIZ**

**Prof. Dr. Özgür ANIL**

## **ETİK BEYAN**

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Serdar DİLEK



Atıksu Arıtma Tesisi Atıklarının Bertarafı ve Yeniden Değerlendirilmesi  
İle İlgili Mevcut ve Yeni Teknolojik Yöntemlerin Karşılaştırılması  
(Uzmanlık Tezi)

Serdar DİLEK

**İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ**

Eylül 2015

**ÖZET**

Son dönemlerde Türkiye’de faaliyet gösteren evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisi sayısı, nüfus artışına paralel olarak hızlı bir şekilde artma göstermekte ve bu artışa paralel olarak da yüksek miktarda arıtma çamuru oluşmaktadır. İçerisinde çözünmeyen kalıntı kısım olan ve ham çamur olarak isimlendirilen bu yan ürünün, alıcı ortama verilebilmesi için mutlaka stabilize edilmesi gerekmektedir. Atık çamurun hem stabilize edilmesi hem de nihai bertarafı ekonomik bir yük getirmekte ve yaklaşık olarak toplam atık su arıtma maliyetinin yarısını oluşturmaktadır. Bu sebeple atıksu arıtma çamurlarının işlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda; çamurun özellikleri, miktarı, kaynağı, arıtılma prosesi ile arıtma tesisinin lokasyonu ve çevresel özellikler gibi parametreler dikkate alınmak suretiyle maliyetlerin düşürülmesi gerekmektedir. Yeniden kullanım ve ekolojik dengenin korunması fikrinin yaygınlaşmaya başladığı günümüzde, arıtma çamurlarının minimizasyonu ve geri dönüşümü son derece önem kazanmaktadır. Bu kapsamda, klasik uzaklaştırma yöntemlerine ilaveten yeni teknolojik yöntemler kullanmak suretiyle çamurun nihai bertarafı konusunda çalışmalar artmaktadır. Bu çalışmada, arıtma çamurlarının özellikleri ve kaynakları üzerinde durularak atıksu arıtma tesislerinin fonksiyonel yapıları incelenmiş, atıksu arıtma çamurlarının çevreye zarar vermeyecek şekilde ekonomik bir biçimde bertarafı ve yeniden değerlendirilmesi konusunda Türkiye ve Dünya’daki mevcut ve yeni teknolojik uygulamalar ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler : Atıksu arıtma tesisi atıkları, Arıtma çamuru, Yeni teknolojik  
Sayfa Adedi : 126  
Tez Danışmanı (Kurum) : Dr. F. Ebru YILDIZ  
Tez Danışmanı (Üniversite) : Prof. Dr. Özgür ANIL

Reassessment of Disposal and Waste Water Treatment Plant Waste  
Comparing with The Existing and New Technological Methods  
(M.S. Thesis)

Serdar DİLEK

İLLER BANKASI A. Ş.  
September 2015

ABSTRACT

Municipal and industrial wastewater treatment plant in Turkey in recent years, an increasing rapidly with the increase in population and in parallel to this increase consists of high amounts of sludge. In which the residue and insoluble, called raw sludge by product that must be necessarily stabilized in order to give to the receiving environment. To stabilize the sludge and final disposal as well as in bringing an economic burden and constitute approximately half of the total waste water treatment costs. This is why in the processing of sludge and evaluation; Features slurry amount, source, location of the purification with treatment plant and process parameters such as environmental characteristics must be taken into account by reducing costs. Reuse and today it started to spread the idea of protecting the ecological balance minimization and recycling of sewage sludge is becoming extremely important. In this context, work on the final disposal of the sludge through the use of new technological methods in addition to conventional disposal methods is increasing. In this study, with emphasis on the characteristics and sources of sludge wastewater examined the functional structure of the treatment plants, waste water treatment sludge disposal to the economical one format will not harm the environment and again available in Turkey and the world on the evaluation and discussed new technological applications.

Key Words : Wastewater treatment plant waste, Sewage sludge, New technological methots  
Page Number : 126  
Supervisor (İnstitution) : Dr. F. Ebru YILDIZ  
Supervisor (University) : Prof. Dr. Özgür ANIL

## TEŞEKKÜR

Gerçekleştirilen bu çalışma sırasında değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yardımlarını ve vaktini hiçbir zaman esirgemeyen, içten ve pozitif yaklaşımları ile enerji veren danışmanlarım Sayın Prof. Dr. Özgür ANIL'a ve Sayın Dr. F. Ebru YILDIZ ile bitmez tükenmez bir sabırla beni destekleyen ve her konuda olduğu gibi çalışmalarım sırasında da yardımlarını benden esirgemeyen sevgili eşim Banu ve oğlum Bora'ya teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

|                                        | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------|--------------|
| ÖZET .....                             | iv           |
| ABSTRACT.....                          | v            |
| TEŞEKKÜR.....                          | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                      | vii          |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....              | xii          |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                | xiv          |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....               | xvi          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....           | xvii         |
| 1. GİRİŞ.....                          | 1            |
| 2. ATIKSU ARITMA TESİSLERİ.....        | 5            |
| 2.1. Fiziksel Arıtma Üniteleri .....   | 6            |
| 2.1.1. Kaba ızgaralar .....            | 6            |
| 2.1.2. İnce ızgaralar.....             | 7            |
| 2.1.3. Kum ve yağ tutucu üniteler..... | 8            |
| 2.1.4. Giriş terfi üniteleri.....      | 9            |
| 2.1.5. Dengeleme üniteleri .....       | 9            |
| 2.1.6. Ön çökeltme havuzları .....     | 10           |
| 2.2. Biyolojik Arıtma Üniteleri.....   | 11           |
| 2.2.1. Oksidasyon hendeği .....        | 11           |
| 2.2.2. Damlatmalı filtreler.....       | 12           |
| 2.2.3. Biyodisk .....                  | 13           |
| 2.2.4. Havalandırılmalı lagünler.....  | 14           |
| 2.2.5. Stabilizasyon havuzları .....   | 14           |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.6. Son çökeltme havuzu .....                                                      | 15 |
| 2.2.7. Anaerobik arıtım .....                                                         | 16 |
| 2.3. İleri Atıksu Arıtımı Üniteleri .....                                             | 17 |
| 2.4. Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alanlar) .....                                         | 17 |
| 2.5. Atıksu Arıtma Tesislerinde Kullanılan Prosesler .....                            | 18 |
| 2.5.1. Aktif çamur prosesi ve modifikasyonları.....                                   | 18 |
| 2.5.2. Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi .....                                  | 18 |
| 2.5.3. Birleşik karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve<br>denitrifikasyon prosesi ..... | 20 |
| 2.5.4. Biyolojik azot ve fosfor giderimi .....                                        | 21 |
| 2.5.5. Ardışık kesitli reaktörler (akr) .....                                         | 22 |
| 2.5.6. A <sup>2</sup> /O prosesi .....                                                | 22 |
| 2.5.7. Bardenpho prosesi (beş basamaklı) .....                                        | 23 |
| 2.5.8. Uct prosesi .....                                                              | 24 |
| 2.5.9. Vip prosesi .....                                                              | 24 |
| 2.5.10. Membran biyoreaktör prosesi (mbr) .....                                       | 25 |
| 2.6. Dezenfeksiyon Yöntemleri (Arıtma Son) .....                                      | 25 |
| 3. TÜRKİYE'DEKİ ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN DURUMU .....                               | 27 |
| 4. ATIKSU ARITMA ÇAMURLARI .....                                                      | 33 |
| 4.1. Atıksu Arıtma Tesisi Atıkları .....                                              | 33 |
| 4.2. Arıtma Çamuru ve Tanımı.....                                                     | 35 |
| 4.3. Arıtma Çamurlarının Kaynağı ve Özellikleri.....                                  | 36 |
| 4.3.1. Birincil arıtma çamuru (ön arıtma) .....                                       | 37 |
| 4.3.2. İkincil arıtma çamuru .....                                                    | 38 |

**Sayfa**

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.3. Üçüncül arıtma çamuru (ileri arıtma çamuru) .....                     | 40 |
| 4.4. Arıtma Çamurlarının Karakterizasyonu .....                              | 40 |
| 4.4.1. Çamurun fiziksel özellikleri.....                                     | 40 |
| 4.4.2. Çamurun kimyasal özellikleri .....                                    | 41 |
| 4.4.3. Çamurun biyolojik özellikleri .....                                   | 42 |
| 4.4.4. Çamurun ısı değeri .....                                              | 43 |
| 4.4.5. Çamurun gübre değeri .....                                            | 44 |
| 4.4.6. Çamur taneciklerinin elektriksel yükleri .....                        | 44 |
| 4.4.7. Çamurun ağır metal içeriği .....                                      | 44 |
| 4.4.8. Çamur su verme özellikleri .....                                      | 46 |
| 4.4.9. Çamur katı madde içeriği .....                                        | 47 |
| 4.5. Çamur İşleme Yöntemleri .....                                           | 47 |
| 4.5.1. Şartlandırma .....                                                    | 50 |
| 4.5.2. Yoğunlaştırma.....                                                    | 51 |
| 4.5.3. Susuzlaştırma .....                                                   | 52 |
| 4.5.4. Kurutma.....                                                          | 53 |
| 4.5.5. Stabilizasyon .....                                                   | 55 |
| 4.5.6. Dezenfeksiyon.....                                                    | 59 |
| 4.6. Atıksu Arıtımının Arıtma Çamuru Bileşimine Etkisi .....                 | 60 |
| 5. AVRUPA BİRLİĞİ İLE TÜRKİYE’DE<br>ARITMA ÇAMURU DURUMU .....               | 61 |
| 5.1. Avrupa Birliği’nde Arıtma Çamuru Durumu .....                           | 61 |
| 5.2. Türkiye’de Arıtma Çamuru Durumu .....                                   | 62 |
| 6. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAFI VE<br>YENİDEN DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ..... | 65 |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1. Nihai Bertaraf ve Yeniden Kazanım Yöntemleri.....                                                                    | 65 |
| 6.1.1. Düzenli depolama yöntemi .....                                                                                     | 65 |
| 6.1.2. Kompostlaştırma yöntemi .....                                                                                      | 67 |
| 6.1.3. Denize boşaltma yöntemi .....                                                                                      | 77 |
| 6.1.4. Termik yöntemler .....                                                                                             | 77 |
| 6.1.5. Arıtma çamurlarının kurutulması yöntemi.....                                                                       | 77 |
| 6.1.6. Arıtma çamurlarının yakarak giderilmesi .....                                                                      | 80 |
| 6.1.7. Arazide bertaraf yöntemleri .....                                                                                  | 83 |
| 6.1.8. Dağıtım ve pazarlama aracı olarak kullanılması.....                                                                | 86 |
| 6.1.9. Çamur lagünlerinde depolama yöntemi .....                                                                          | 86 |
| 6.1.10. Kimyasal sabitleme (stabilizasyon/solidifikasyon) yöntemi .....                                                   | 87 |
| 6.1.11. Arıtma çamurlarının bozulmuş alanlarda (kömür ve<br>maden yatakları, taş ocakları) ıslah amaçlı kullanılması..... | 88 |
| 6.1.12. Arıtma çamurlarından elektrik enerjisi elde edilmesi.....                                                         | 89 |
| 6.1.13. Arıtma çamurlarının çimento sektöründe değerlendirilmesi.....                                                     | 89 |
| 6.1.14. Arıtma çamurlarının tuğla üretiminde değerlendirilmesi .....                                                      | 90 |
| 6.1.15. Arıtma çamurlarının kömürlü santrallerde<br>ek yakıt olarak değerlendirilmesi.....                                | 90 |
| 6.1.16. Yol dolgu malzemesi olarak kullanılması .....                                                                     | 91 |
| 6.2. Arıtma Çamurlarının Bertarafı ve Geri Dönüşüm Yöntemlerinin<br>Dünya'daki Uygulamaları .....                         | 91 |
| 7. ARITMA ÇAMURUNUN DEĞERLENDİRİLMESİNDE<br>YENİ YÖNTEMLER.....                                                           | 93 |
| 7.1. Atık Çamur Küllerinin Değerlendirme Yöntemleri .....                                                                 | 93 |
| 7.2. Islak Oksidasyon .....                                                                                               | 93 |
| 7.3. Piroliz.....                                                                                                         | 96 |

**Sayfa**

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.4. Gazlaştırma.....                                                                            | 98  |
| 7.5. Arıtma Çamurlarından Biyogaz Yoluyla Enerji Elde Edilmesi.....                              | 99  |
| 7.6. Hidroliz .....                                                                              | 104 |
| 7.7. Hidrotermal Oksidasyon .....                                                                | 104 |
| 7.8. Mikrodalga-Yüksek Basınç İşlemi .....                                                       | 105 |
| 7.9. Vitrifikasyon .....                                                                         | 105 |
| 7.10. Arıtma Çamurları ile Organik Katı Atıkların Birlikte<br>Entegre Yönetimi (Biyometan) ..... | 105 |
| 7.11. Biyoreaktörler .....                                                                       | 109 |
| 7.12. Çamurun Mekanik Olarak Bertarafı .....                                                     | 110 |
| 7.13. Çamurun Minimizzasyonu için Kullanılan Yöntem ve Prosesler.....                            | 110 |
| 7.14. Ozonlama .....                                                                             | 110 |
| 7.15. Membran Biyoreaktörler (MBR) .....                                                         | 111 |
| 7.16. Kimyasal Ayrıştırıcılar.....                                                               | 112 |
| 7.17. OSA (Oxic-settling-Anaerobic) Prosesi .....                                                | 112 |
| 8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                       | 113 |
| KAYNAKLAR .....                                                                                  | 119 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                   | 126 |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                                                                        | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Çamur arıtma yöntemleri .....                                                                                                     | 6     |
| Çizelge 2.2. Klorlama, ozonlama ve uv'nin atıksu<br>dezenfeksiyonundaki üstün ve zayıf yönleri.....                                            | 26    |
| Çizelge 4.1. Klasik atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları.....                                                             | 34    |
| Çizelge 4.2. Çeşitli arıtma işlemleri sonucu oluşan<br>çamurların miktarları ve fiziksel özellikleri.....                                      | 41    |
| Çizelge 4.3. Ham, çürük ve aktif çamurun kimyasal yapısı .....                                                                                 | 42    |
| Çizelge 4.4. Çeşitli çamurların ısı değeri.....                                                                                                | 43    |
| Çizelge 4.5. Arıtma çamurları ile ticari gübrelerdeki<br>besin miktarlarının karşılaştırılması.....                                            | 44    |
| Çizelge 4.6. Arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metal değişimleri.....                                                                     | 45    |
| Çizelge 4.7. Tipik aktif çamurdaki suyun dağılımı.....                                                                                         | 46    |
| Çizelge 4.8. Karışık çürümüş çamurdaki suyun dağılımı .....                                                                                    | 46    |
| Çizelge 4.9. İçerdikleri su miktarına göre çamurların yapısı ve tanımı.....                                                                    | 46    |
| Çizelge 4.10. Çeşitli arıtma kademelerinde oluşan arıtma çamurlarının<br>tipik katı madde konsantrasyonları .....                              | 47    |
| Çizelge 4.11. Çamurun arıtma prosesleri.....                                                                                                   | 49    |
| Çizelge 4.12. Farklı şartlandırma proseslerinin karşılaştırılması.....                                                                         | 50    |
| Çizelge 4.13. Farklı yoğunlaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması .....                                                                       | 51    |
| Çizelge 5.1. Bölgesel bazda çamur miktarı .....                                                                                                | 63    |
| Çizelge 6.1. Dünya'da ve ülkemizde tarımsal amaçlı kullanılacak arıtma<br>çamurlarında müsaade edilen maksimum ağır metal değerleri.....       | 71    |
| Çizelge 6.2. Topraktaki ağır metal sınır değerleri .....                                                                                       | 71    |
| Çizelge 6.3. Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade<br>edilen maksimum ağır metal muhtevaları ağır sınır değerleri ..... | 72    |

| <b>Çizelge</b>                                                                                                                                                      | <b>Sayfa</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 6.4. Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri .....                  | 72           |
| Çizelge 6.5. Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurundaki dioksinlerin sınır değerleri .....                                                              | 72           |
| Çizelge 6.6. Toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarı .....                                                                                                | 72           |
| Çizelge 6.7. Arıtma çamurlarının ısı değeri.....                                                                                                                    | 83           |
| Çizelge 6.8. Arıtma çamuru yönetiminin Türkiye’deki mevcut durumu.....                                                                                              | 92           |
| Çizelge 6.9. Arıtma çamuru yönetiminin ülkeler bazında karşılaştırılması.....                                                                                       | 92           |
| Çizelge 7.1. Arıtma çamuru yanma gazlarının ıslak arıtılmasında elde edilen filtre kekinin bileşimi .....                                                           | 93           |
| Çizelge 7.2. Islak oksidasyonda oluşan ağır metallerin dağılımı.....                                                                                                | 95           |
| Çizelge 7.3. Farklı piroliz uygulamalarında elde edilen tipik ürünler .....                                                                                         | 97           |
| Çizelge 7.4. Biyogazın ortalama hacimsel bileşimi.....                                                                                                              | 100          |
| Çizelge 7.5. Çeşitli kaynaklardan elde edilecek biyogaz miktarları ve biyogazda bulunan metan miktarı.....                                                          | 101          |
| Çizelge 7.6. Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması .....                                                                                              | 101          |
| Çizelge 7.7. Mevcut durum ile biyogazlı tesisin maliyet karşılaştırılması .....                                                                                     | 103          |
| Çizelge 7.8. Kentsel atıksu arıtma tesisi ile entegrebiyometan tesisinin maliyet analizi.....                                                                       | 107          |
| Çizelge 7.9. Hollanda’da evsel atıksuların konvansiyonel denitrifikasyon prosesi ve Anammoxprosesi ile arıtımının karşılaştırılması (nüfus eşdeğeri 25 milyon)..... | 108          |
| Çizelge 8.1. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri tarihsel gelişimi ve uygulanabilirlikleri.....                                                                    | 117          |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                              | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Oksidasyon hendeği akım diyagramı.....                                                  | 11    |
| Şekil 2.2. Klasik aktif çamur sisteminin akım diyagramı.....                                       | 18    |
| Şekil 2.3. Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi diyagramı.....                                  | 19    |
| Şekil 2.4. Birleşik (tek çamurlu) sistem akım diyagramı .....                                      | 20    |
| Şekil 2.5. Ayrık (çok çamurlu) sistem akım diyagramı .....                                         | 20    |
| Şekil 2.6. Karbon, azot ve fosfor giderilmesinde ardışık kesikli reaktör.....                      | 22    |
| Şekil 2.7. A <sup>2</sup> /O prosesi akım şeması.....                                              | 23    |
| Şekil 2.8. Bardenpho prosesi akım şeması.....                                                      | 23    |
| Şekil 2.9. Uct prosesi akım şeması. ....                                                           | 24    |
| Şekil 2.10. Vip prosesi akım şeması .....                                                          | 24    |
| Şekil 3.1. Türkiye’deki atıksu arıtma tesisi sayısı .....                                          | 27    |
| Şekil 3.2. Türkiye’deki atıksu arıtma tesislerinin özelliklerine göre dağılımı.....                | 28    |
| Şekil 3.3. Türkiye’deki atıksu arıtma tesislerinin atıksu arıtma toplam kapasitesi.. .....         | 29    |
| Şekil 3.4. Türkiye’deki atıksu arıtma tesisleri toplam kapasitesi. ....                            | 29    |
| Şekil 3.5. Türkiye’deki atıksu arıtma tesislerinin özelliklerine<br>atıksu arıtma kapasitesi ..... | 30    |
| Şekil 3.6. Türkiye’deki atıksu arıtma tesisi hizmeti sunan belediye sayısı .....                   | 31    |
| Şekil 3.7. Türkiye’de mahalli idareler tarafından yapılan<br>toplam çevresel harcamalar.....       | 31    |
| Şekil 3.8. Stabilizasyon uygulamaları açısından arıtma tesisi durumu.....                          | 32    |
| Şekil 4.1. Ön arıtma sistemine örnek akım şeması. ....                                             | 38    |
| Şekil 4.2. Aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma şeması.....                          | 39    |
| Şekil 5.1. Avrupa birliği ülkelerinde arıtma çamuru üretimi. ....                                  | 61    |



| <b>Şekil</b>                                                                                            | <b>Sayfa</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 5.2. Avrupa birliği ülkelerinde arıtma çamuru üretimi.....                                        | 61           |
| Şekil 5.3. Türkiye’de yıllık oluşan arıtma çamur durumu. ....                                           | 62           |
| Şekil 5.4. Bölgesel bazda çamur miktarı. ....                                                           | 64           |
| Şekil 5.5. Türkiye ile Avrupa Birliği ülkelerindeki arıtma çamuru miktarlarının karşılaştırılması ..... | 64           |
| Şekil 6.1. Düzenli depolama alanında oluşan olaylar .....                                               | 66           |
| Şekil 6.2. Ton/km içeren atık çamurun farklı işlem düzeylerindeki miktarları. ....                      | 80           |
| Şekil 6.3. Çamurun yakılması prosesi.....                                                               | 82           |
| Şekil 6.4. Arazi serme işleminden sonra oluşabilecek kirlilikler.....                                   | 85           |
| Şekil 7.1. Islak oksidasyon akım şeması.....                                                            | 94           |
| Şekil 7.2. Piroliz akım şeması.....                                                                     | 97           |
| Şekil 7.3. Gazlaştırma akış şeması.....                                                                 | 98           |
| Şekil 7.4. Biyogaz proje akım şeması.....                                                               | 100          |
| Şekil 7.5. Kentsel atıksu arıtma ile entegre biyometan tesisi proses akım şeması.....                   | 107          |

## RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim                                                                                                     | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Resim 2.1. Ankara merkezi atıksu arıtma tesisi.....                                                       | 5     |
| Resim 2.2. Kaba ızgara. ....                                                                              | 7     |
| Resim 2.3. İnce ızgara. ....                                                                              | 7     |
| Resim 2.4. Kum ve yağ tutucu üniteler.....                                                                | 8     |
| Resim 2.5. Atıksu terfi üniteleri.....                                                                    | 9     |
| Resim 2.6. Atıksu arıtma dengeleme üniteleri.....                                                         | 9     |
| Resim 2.7. Atıksu arıtma ön çökeltme havuzu. ....                                                         | 10    |
| Resim 2.8. Atıksu arıtma muz mikserli havalandırma havuzu. ....                                           | 12    |
| Resim 2.9. Atıksu arıtma damlatmalı filtreler. ....                                                       | 13    |
| Resim 2.10. Atıksu arıtma biodiski.....                                                                   | 13    |
| Resim 2.11. Atıksu arıtma havalandırma lagünleri. ....                                                    | 14    |
| Resim 2.12. Atıksu arıtma yüzeysel havalandırıcılı havalandırma lagünleri. ....                           | 15    |
| Resim 2.13. Atıksu arıtma son çökeltme havuzları. ....                                                    | 16    |
| Resim 2.14. Atıksu arıtma çürütücü (digester) tanklar.....                                                | 16    |
| Resim 2.15. Atıksu arıtma havalandırma havuzu. ....                                                       | 19    |
| Resim 2.16. İstanbul paşaköy ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi. ....                                   | 21    |
| Resim 2.17. İzmir doğanbey-ürkmez atıksu arıtma tesisi<br>biyolojik azot ve fosfor giderim havuzları..... | 21    |
| Resim 2.18. Membran biyoreaktör prosesi. ....                                                             | 25    |
| Resim 7.1. Kocaeli 42 evler atıksu arıtma tesisi.....                                                     | 102   |
| Resim 7.2. İtü pilot biyometanizasyon sistemi. ....                                                       | 106   |
| Resim 7.3. a) Hollanda dokhaven aat, b) anammox reaktörü c) sharon reaktörü.....                          | 108   |

## KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Kısaltmalar  | Açıklamalar                        |
|--------------|------------------------------------|
| <b>AAT</b>   | Atıksu arıtma tesisi               |
| <b>AB</b>    | Avrupa Birliği                     |
| <b>ABD</b>   | Amerika Birleşik Devletleri        |
| <b>AKB</b>   | Akdeniz Bölgesi                    |
| <b>AKM</b>   | Atık katı madde                    |
| <b>AR-GE</b> | Araştırma ve geliştirme            |
| <b>BOİ</b>   | Biyolojik oksijen ihtiyacı         |
| <b>DAB</b>   | Doğu Anadolu Bölgesi               |
| <b>EB</b>    | Ege Bölgesi                        |
| <b>EBMT</b>  | Entegre biyometan tesisi           |
| <b>EDTA</b>  | Tetra asetik asit                  |
| <b>EN</b>    | Eşdeğer nüfus                      |
| <b>GAB</b>   | Güney Doğu Anadolu Bölgesi         |
| <b>İAB</b>   | İç Anadolu Bölgesi                 |
| <b>İTÜ</b>   | İstanbul Teknik Üniversitesi       |
| <b>KASKİ</b> | Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi |
| <b>KB</b>    | Karadeniz Bölgesi                  |
| <b>KOİ</b>   | Kimyasal oksijen ihtiyacı          |
| <b>KM</b>    | Katı madde                         |
| <b>MB</b>    | Marmara Bölgesi                    |
| <b>MBR</b>   | Membran biyoreaktör prosesi        |
| <b>MLSS</b>  | Mikroorganizma sayısı              |
| <b>OSA</b>   | Oksit çöktürmeli anaerobik         |
| <b>PH</b>    | Hidrojenin gücü                    |
| <b>PTE</b>   | Potansiyel toksit element          |
| <b>SUKAP</b> | Su ve kanalizasyon altyapı projesi |

**Kısaltmalar****Açıklamalar****SVİ**

Çamur hacim indeksi

**TAKM**

Toplam askıda katı madde

**TDS**

Toplam çözünmüş madde

**TOK**

Toplam organik katı

**UAKM**

Uçucu askıda katı madde

**UCT**

Cape Town Üniversitesi

**USEPA**

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

**UV**

Ultraviyole

**VİP**

Virginia Enstitüsü prosesi

## 1. GİRİŞ

Nüfus ile birlikte endüstrileşmenin de hızlı bir şekilde artması sonucunda oluşan atıksular ve türevleri, tabiatın özümleyebileceği miktarı aşmış ve alıcı ortam olan doğal yaşam alanlarını kirlenme tehlikesi ile karşı karşıya bırakmıştır. Akarsu, göl gibi doğal yaşam alanlarının kirlenmesinin önlenmesi için dünyada ve ülkemizde atıksu arıtma tesisleri kullanılmaya başlanmıştır. Atıksu arıtma tesislerindeki arıtma işlemi neticesinde, katı atık (ızgaralar ile kum tutucularda tutulan materyaller) ile birlikte arıtma çamuru açığa çıkmakta ve bu atıkların bertaraf edilmesi gerekmektedir. Özellikle atıksuların arıtımı sonucu ortaya çıkan ve biyoyakıt olarak da isimlendirilen arıtma çamurunun, sahip olduğu tehlike açısından nihai bertarafa verilmeden önce mutlaka işlenmesi gereklidir. Çünkü organik ve inorganik bazlı çözünmeyen kalıntılar içeren arıtma çamurlarının içindeki yüksek orandaki azot, fosfor vb. elementler toprağa veya yer altı sularına karışarak canlı yaşamı tehdit edebilmektedir. Dolayısıyla doğada var olan ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan bu durumun engellenmesi gerekmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinden, katı atık maddeler ve çamur olmak üzere iki farklı son ürün elde edilmektedir. Izgara ve kum tutuculardan çıkan atıklar katı atık deponi alanlarına gönderilir. Atıksu arıtma tesislerinden açığa çıkan arıtma çamurları ise çeşitli prosesler yardımıyla zararsız hale getirilmesi ve uygun bir şekilde uzaklaştırılması gerekir. Aksi takdirde arıtma süreci amacına ulaşmış sayılmaz. Bu yüzden arıtma tesislerinin tasarımı aşamasında çamur sorunu göz önünde tutulup en uygun arıtma metodu belirlenmeli ve arıtılmış çamurun içeriğine göre tehlikeli atık özelliği taşıyıp taşımadığı göz önüne alınmak suretiyle en uygun bertaraf yöntemi seçilmelidir.

Globalleşen dünyada, arıtma çamurlarının hem miktarının azaltılması hem de nihai bertarafı için birçok yöntem uygulanmakta ve bu nihai uzaklaştırma yöntemlerinin seçiminde, işletme maliyetleri ile ilk yatırım maliyetleri arasındaki fayda/zarar analizleri önemli rol oynamaktadır. Çünkü arıtma tesislerinde toplam yatırım maliyetinin yaklaşık % 50'sini açığa çıkan çamurun bertaraf edilmesi/uzaklaştırılması ile ilgili birimler oluşturmaktadır [1]. Bu finansal gerçek, çamur arıtımı ile çamurun bertarafı işleminin, atıksu arıtımı kadar dikkat edilmesi gereken önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, arıtma çamurları ile bunların nihai bertarafında kullanılacak

en uygun yöntemin belirlenmesi çalışmaları, yeni teknolojik yöntemlerin ortaya çıkması ile birlikte daha uzun yıllar devam edecektir. Ayrılacak finansal kaynaklara bağlı olarak yapılacak AR-GE çalışmalarında, seçilecek bertaraf yöntemi belirlenirken hem maliyet unsurları hem de çevre unsurları bir bütün olarak dikkate alınmalıdır.

Çamurun arıtılması ve uzaklaştırılması yöntemlerinin dünya genelindeki uygulamaları daha çok lokal çözüm odaklıdır. Yani seçilecek veya uygulamaya esas bertaraf yöntemi, o yerin karakteristik özelliklerine göre şekillenmektedir. Örneğin nüfus sayısı ve yapısı, coğrafi şartlar, iklim özellikleri, toprak yapısı, yerleşim merkezine uzaklığı, çamur miktarı, çamurun içeriği ve niteliği, çamurun kalitesi, yerel kültür özellikleri ve mevcut yasa veya yönetmelikler vb. kriterler nihai bertaraf yönteminin seçiminde yol gösterici olmaktadır. Dolayısıyla ön görülen yöntemin başarılı olabilmesi, bahsi geçen bu kriterlerin uygulanma süresi ile etkin bir şekilde uygulanabilirliğine bağlı olarak değişmektedir.

Günümüzde çevre bilincinin artması ve yenilenebilir enerji kavramının ortaya çıkması sonucunda, arıtma çamurunun nihai bertarafının bir adım ötesine geçilmiş; “geri dönüşüm, geri kazanım” fikri ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda açığa çıkan arıtma çamurlarının yeniden değerlendirilmesi hususunda dünya çapında uygulanan en yaygın yöntem yıllar itibari ile azalma gösterse de tarımsal alanlardaki kullanımdır. Fakat arıtma çamurları içindeki zararlı bileşenlerin sebep olduğu kirlenmelerden dolayı çamurun tarımsal alanlarda kullanımına Avrupa Birliği tarafından 2005 yılından itibaren sınırlandırmalar getirilmiştir. Bu nedenle arıtma çamurlarının, tarımsal alanlarda gübre malzemesi olarak yeniden kullanılması yönünde araştırmalar yapılmaktadır.

Çamurların hammadde olarak değerlendirilmesinde, yapı malzemesi, çimento hammaddesi olarak kullanımı ön plana çıkmaktadır. Arıtma çamurlarına herhangi bir kimyasal stabilizasyon işlemi uygulanmaksızın yapı ya da kaplama malzemesi olarak kullanımı, oluşacak emisyonlar nedeniyle kısıtlanmakta bu tür kullanımlar için çamurların kimyasal veya termal işlemlerden geçirilmesi ön koşul olarak getirilmektedir. Çünkü arıtma çamurlarının % 25-35 oranındaki karbon içeriği ile yakıt olarak kullanıma uygun olmasına rağmen, nem ve kül oranları yakıt olarak kullanımını sınırlandırmakta ancak uygun kurutma yöntemleri ve/veya uygun bir yakıt ile birlikte yakıldığında optimum koşullar sağlanabilmekte, yine de külün uzaklaştırılması ve gaz emisyonları çözüm

beklemektedir [2]. Çimento sanayinde ise döner fırınlarda ek yakıt olarak enerji sağlayan çamur, yanması sonucu oluşan kül ile klinker için katkı olmakta ve portland çimentosu üretiminde kullanım alanı bulmaktadır [2]. İçeriğindeki bileşenlerin oluşturduğu kompost yapı sayesinde atıksu arıtma çamurları yapı malzemesi olarak; beton içinde katkı maddesi, tuğla üretimi, agrega üretimi gibi değişik uygulamalarda kullanılabilir. Son zamanlarda, arıtma çamurlarının içeriğindeki organik maddelerin tek başına veya diğer yakıtlarla birlikte yakılması (co-combustion/firing) suretiyle enerji elde edilmesi büyük önem kazanmaktadır [1]. Ancak yakma işlemi sırasındaki enerji maliyetleri ile yapı malzemelerinin imalatları sırasında açığa çıkan küllerin ve gazların çevreye zarar vermeyecek şekilde ekonomik şekilde uzaklaştırılması problemi olumsuzluk ortaya çıkmaktadır.

Arıtma çamurunun bir yerde depolanması vb. yöntemlerle uzaklaştırılması yerine tekrar hayat döngüsü içinde kullanılması, bu olgunun hayata geçirilmesinin ilk basamağı olmuştur. Bu amacı gerçekleştirmek için uygun teknolojiler geliştirilerek, arıtma çamurunun sisteme entegrasyon edilmesine başlanmıştır. Başta ABD (Amerika Birleşik Devletleri) ve Japonya olmak üzere Fransa, Almanya ve İngiltere gibi gelişmiş Avrupa ülkelerinde arıtma çamurunun tekrar değerlendirilmesi konusunda, özellikle arıtma çamurundan biyogaz elde edilmesi başta olmak üzere hidroliz, hidrotermal oksidasyon, yağ oksidasyon, mikrodalga ve piroliz yöntemleri üzerinde önemli bilimsel çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmaların en önemlisi son yıllarda birçok ülkede uygulanan ve yenilenebilir enerji statüsünde kabul edilen biyogaz enerjisidir. Biyogaz ısı değeri yüksek bir enerji kaynağı olup organik maddelerden metan ve karbondioksit gazı elde etme işlemidir. Üretilen biyogaz genelde kombine ısı ve enerji santrallerinde (kojenerasyon), doğrudan lokal çapta kullanılabilen veya elektrik şebekesine verilebilen elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Yanma aşamasında ayrıca oluşan ısınnın da tesis yakınındaki binalar veya seraların ısıtılmasında, saman kurutulmasında, süt soğutulmasında veya ahırların iklimlendirilmesinde kullanımı mümkündür. İşletme ekonomisi açısından başarılı olabilmek için elde edilen her iki ürünün de (elektrik ve ısı) kapsamlı bir şekilde kullanılması büyük önem arz etmektedir [3]. Üstünde durulması gereken diğer bir önemli çalışma çamurların pirolizidir. Konuya ilişkin çalışmalar, arıtma çamurlarının pirolizi için ilgili optimum şartların belirlenmesi ve elde edilen ürünün kullanımının araştırılması

üzerine yoğunlaşmıştır [2]. Uygulanan termal işlemler sonucu kararlı bir yapı elde edilmekte, piroliz ürünü yüksek karbonlu madde aktif karbona benzer özellikler göstermektedir. Bu nedenle arıtma çamurlarının aktif karbon üretiminde kullanılması hususundaki çalışmalar önem kazanmaktadır [2].

Arıtma çamurunun bertarafı ve yeniden değerlendirilmesi hususunda yurt dışında birçok çalışma yapılmasına paralel olarak ülkemizde de hızla gelişen sanayi ve nüfus yoğunluğundaki artıştan dolayı bu konuyla ilgili çalışmalar son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Fakat ülkemizdeki arıtılmış çamurlarının minimize edilmesi işlemi genellikle düzenli depolama şeklinde olmakla beraber az sayıda da olsa tarımsal alanlarda kullanım şeklinde sınırlı kalmaktadır. Özel teşebbüs ve kamuya ait sanayi-turizm-endüstriyel arıtma tesisleri ile belediyelere ait evsel atıksu arıtma tesislerinde her yıl çok büyük miktarlarda arıtma çamuru açığa çıkmaktadır. Belediyelere ait bu tesislerin çoğu İller Bankası Genel Müdürlüğü'nün finansörlüğünde inşa edilmektedir. İller Bankası Genel Müdürlüğü'nün, Su ve Kanalizasyon Altyapı Projesi (SUKAP) kapsamında 2011-2014 yılları arasında atıksu tesisleri için tahsis ettiği finansman miktarı 3 755 298 000 TL'dir [4].

Yatırım finansmanlarının yüksek parasal değerlere ulaştığı son yıllarda, arıtma çamurunun mümkün olduğu kadar ekonomik yönden değerlendirilmesi ve katma değer getiren ürünlere dönüştürülmesi sürecinde, İller Bankası'nın misyonu gereği bu oluşumda vazgeçilmez bir unsur olarak yerini alması gerekmektedir.

Günümüzde atıksu arıtma çamurlarının gerek miktarının minimize edilmesi ile nihai bertarafı gerekse de yeniden değerlendirilmesi konusunda birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin değerlendirilmesi ve seçiminde, önceleri sadece yatırım ve işletme maliyeti kriterleri dikkate alınmaktayken özellikle son dönemlerde küresel ısınmadan dolayı ekolojik dengenin korunması ve son ürünün yenilenebilir enerji kapsamında kullanılıp kullanılamayacağı hususları, arıtma çamurlarının değerlendirilmesinde uygulanacak yöntemin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda, "Atıksu Arıtma Tesisi Atıklarının Bertarafı ve Yeniden Değerlendirilmesi ile İlgili Mevcut ve Yeni Teknolojik Yöntemlerin Karşılaştırılması" tez konusu kapsamında literatür taraması yapılarak İller Bankası'nın gelecek vizyonunu şekillendirmesi açısından, atıksu arıtma tesisi atıklarının değerlendirilmesi hususunda çözüm önerilerinin sunulması amaçlanmıştır.



## 2. ATIKSU ARITMA TESİSLERİ

Hem kentleşme oranının artması hem de hızlı sanayileşme sonucunda oluşan atıksu miktarındaki artış, doğal yaşam alanlarını yok olma tehlikesi ile baş başa bırakmıştır. Doğadaki ekolojik dengeyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan bu durumun önüne geçebilmek için atıksuları deniz, akarsu, göl gibi alıcı ortama deşarj etmeden önce arıtma zorunluluğu doğmuştur.



Resim 2.1. Ankara merkezi atıksu arıtma tesisi [5]

Şehirlerin sosyo-ekonomik gelişiminde belirleyiciliği bir unsur olan atıksu alt yapı sistemleri, kalkınmışlığın olmazsa olmaz şartlarından biri olan çevrenin korunması hususuna direkt olarak hizmet etmektedir. Büyükşehir Belediyeleri Su ve Kanalizasyon İdareleri büyük şehirlerde atıksu altyapı tesislerinin inşası-bakımı ve işletilmesinden sorumlu iken, belediye ve mücavir alan sınırları içinde ise bu görev belediyelere aittir.

Genel olarak bakıldığında atıksu arıtma tesislerinin yapılması ile işletilmesindeki ana hedefler, atıksudaki katı maddelerin uzaklaştırılması, biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin zararsız hale getirilerek içerilerindeki zehirli bileşikler, patojenik organizmaların ile insan sağlığına zarar verebilecek metallerin yok edilmek suretiyle uzaklaştırılmasıdır.

Bu işlemleri gerçekleştirmek için;

- Fiziksel arıtma yöntemleri,
- Biyolojik arıtma yöntemleri,
- Kimyasal arıtma yöntemleri kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1. Çamur arıtma yöntemleri [6]

| Fiziksel Arıtma   | Biyolojik Arıtma          | İleri Arıtım                  |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Izgara            | Aktif Çamur               | Nitrifikasyon+Denitrifikasyon |
| Elek              | Damlatmalı Filtre         | Yumaklaştırma+Çökeltme        |
| Kum ve Yağ Tutucu | Biyodiskler               | Filtrasyon                    |
| Filtreler         | Havalandırılmalı Lagünler | MBR                           |
| Çökeltme Havuzu   | Stabilizasyon Havuzları   | Karbon Adsorpsiyonu           |
| Dengeleme         | Anaerobik Arıtım          | İyon Değişirme                |

## 2.1. Fiziksel Arıtma Üniteleri

Kirlilik unsurunun fiziksel özelliklerine (maddenin boyutları, viskozitesi ve özgül ağırlığı vb.) bağlı olarak uygulanan arıtma yöntemleridir [7].

### 2.1.1. Kaba ızgaralar

Kaba ızgaralar koruyucu ekipman olduklarından ilk ünite olarak kullanılırlar [6]. Uzaklaştırılmadıkları takdirde, arıtma tesisinin ızgaradan sonraki ünitelerinde tıkanmalara yol açabilecek büyüklükte olan kaba organik ve inorganik maddelerin atıksudan ayrılması için kullanılırlar. Kaba ızgaralarda çubuklar arası genişlik 4 cm'nin üzerindedir ve yatayla 30-60° açı yapacak şekilde yerleştirilirler. Kaba ızgaralar genellikle manuel (el ile) olarak temizlenirler [7].



Resim 2.2. Kaba ızgara [7]

### 2.1.2. İnce ızgaralar

Ön arıtma aracı olarak da kullanılan ince ızgaralar, sahip olduğu temizleme mekanizmaları sayesinde sudaki katı maddelerin diğer ünitelere geçmesini engeller. Bu katı maddeler değişik zamanlarda el değmeden temizlenerek katı madde konteynerlerinde tesis edilerek uygun depolama alanlarına dökülür.

Izgaralarda tıkanmalardan dolayı yük kayıpları önemli mertebelere ulaşır. Bu nedenle ızgaraların periyodik olarak temizlenmesi gerekmektedir [6]. İnce ızgaralar manuel veya mekanik olarak temizlenebilmektedir. Mekanik temizlemeli ızgaralarda ızgara yüzeyinin zaman ayarlı otomatik çalışan temizleme mekanizmaları ile temizlenmesi yük kayıplarının istenilen düzeyde tutulmasını sağlayacaktır [6]. Çubuk ızgara tipinden başka, yay tipi, döner elek tipi, döner tambur tipi ince ızgara tipleri mevcuttur [7].



Resim 2.3. İnce ızgara [7]

### 2.1.3. Kum ve yağ tutucu üniteler

Temel amaç 0,2 mm'den büyük kum tanelerinin tutulmasıdır [7]. Atıksu arıtma tesisine gelen pıssu içerisinde mevcut bulunan ve kolayca çökebilme özelliğine sahip çakıl, kum vb. gibi maddeler, boruların tıkanmasına, pompaların zarar görmesine, çamur çürütme tankların ile çökeltme havuzlarında tıkanmalara neden olabileceğinden dolayı bu tür maddeler kum ve yağ tutucular aracılığı ile uzaklaştırılır. Kum tutucuda yatay hızın 0,3-0,4 m/sn olması temin edilmeli, organik katıların çökmesine izin verilmemelidir [7]. 0,2 mm'den daha büyük kum parçacıklarının arıtma tesisinin ileriki kademelerinde problem yarattığı bilinmektedir. Hareketli mekanik ekipmanın aşınmasını önlemek, boru ve kanallarda birikintileri engellemek ve kum birikiminden dolayı çamur çürütücünün temizlenme periyodunu azaltmak için santrifüj, ısı değıştirici ve yüksek basınçlı diyafram pompalardan önce kum tutucuların (kum ayırıcı) kullanılması şarttır. Kum tutucular genellikle ince ızgara ile çökeltme havuzu arasında kullanılırlar. Kum tutucuların, ızgara ve eleklerden sonra olması toplanan kumun temizlik ve bertarafını kolaylaştırır [6].



Resim 2.4. Kum ve yağ tutucu üniteler [7]

Tutulan kum miktarı kanalizasyon sisteminin yerine, durumuna, yolların buzlanmaya karşı ne sıklıkta kumlandığına, endüstriyel atıksu türüne, lavabo öğütücüsü kullanım oranına, yöredeki kumlu toprak miktarı gibi faktörlere bağılı olarak değışir [6]. Kumu sudan daha iyi ayırmak için havalandırmalı kum tutucu da kullanılabilir.



#### 2.1.4. Giriş terfi üniteleri

Giriş terfi üniteleri genel olarak, pıssu arıtma tesislerinde üniteler arasında hareket eden atıksuda oluşacak yük kaybını engelleyerek atıksuyu belirli bir kottan sisteme tekrar entegre olabilmelerini sağlayan pompa sistemleridir [7].



Resim 2.5. Atıksu terfi üniteleri [6]

#### 2.1.5. Dengeleme üniteleri

Bir arıtma tesisinde, gelen su miktarında ve kalitesinde zamana bağlı değişim varsa dengeleme ünitesi bulunur. Genelde pek kullanılmamasına rağmen arıtma sistemlerinde dengelemenin amacı atıksu karakteristiklerindeki değişiklikleri minimize ederek arıtım kademelerinde optimum şartları sağlamaktır [6].



Resim 2.6. Atıksu arıtma dengeleme üniteleri [5]

Dengeleme ünitesinin boyutu ve tipi atık suyun miktarı ve değişimi ile ilgilidir. Dengeleme tankı, atıksu debisindeki farklılıkları ve üretimden dolayı zaman zaman atılan veya istemeyerek dökülen bazı konsantre atıksu akımlarını biriktirebilecek boyutta dizayn edilir [6].

#### 2.1.6. Ön çökeltme havuzları

Kaba organik ve inorganik maddelerden çoğu ızgara ve kum tutucularda alıkonulduktan sonra, organik esaslı ve büyük ölçüde kirletici karakterde olan geriye kalmış askıdaki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılması gerekmektedir. Ön çökeltme havuzunun başlıca amacı atıksuyu; çamur ve çökelmiş atıksu olmak üzere iki temel bileşene ayırmaktır. Böylece bu iki bileşen ayrı ayrı arıtılabilir. Ön çökeltme havuzlarında askıdaki katı maddelerin % 50-70'i uzaklaştırılabilir. Çökeltme havuzları dikdörtgen ve dairesel biçimde olabilirler [7].



Resim 2.7. Atıksu arıtma ön çökeltme havuzu [5]

Ön çöktürme, hareketsiz şartlarda özel tasarımı yapılmış çöktürme tanklarında çökebilene ve yüzebilen katıların ayrılmasıdır. Ön çöktürme tanklarının üç ana fonksiyonu vardır:

- Çökeltme ile sıvıdan katıların (çamur) ayırma,
- Yüzdürme ile sıvıdan katıların (köpük, yağ, yüzen birikintiler) ayırma,
- Katıların yoğunlaştırma.

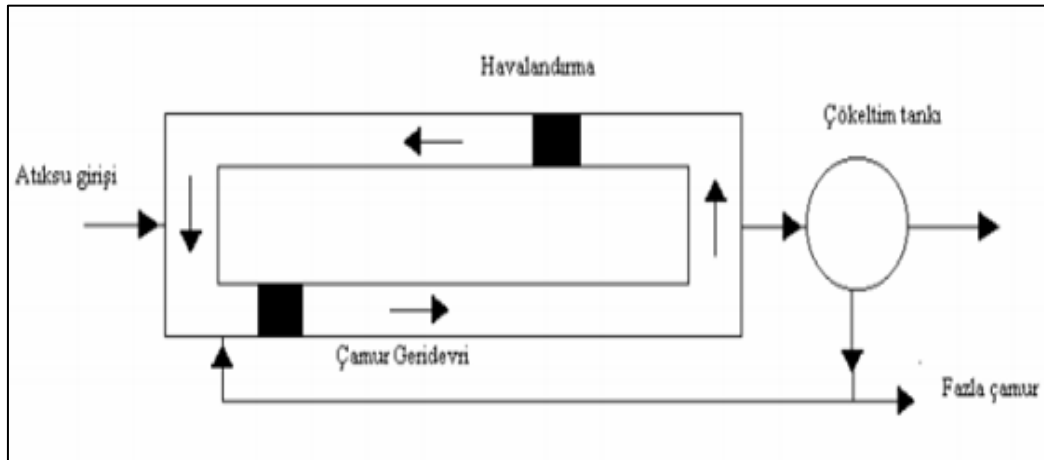
Bu fonksiyonlar, kullanılacak ekipmanlara, ilgili mühendisin kararı, mal sahibinin tercihi, yatırım ve işletme maliyeti gibi faktörlere bağlıdır [6].

## 2.2. Biyolojik Arıtma Üniteleri

Ön arıtma metotları ile uzaklaştırılamayan çözünmüş ve kolloidal organik maddelerin uzaklaştırıldığı arıtma basamağıdır. Çözünmüş ve kolloidal organik maddeler basit çökeltme metotları ile arıtilamayacağı için, bu maddelerin çökelebilen katılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Söz konusu dönüşüm bu maddeler ile mikroorganizmaları (bakteriyi) bir araya getirmekle gerçekleşir. Mikroorganizmalar çözünmüş ve kolloidal maddeler üzerinde beslenirken büyürler ve çoğalırlar, bu arada da çözünmüş ve kolloidal maddeleri de çökelebilen katılar haline dönüştürürler. İşte ikincil arıtım yöntemleri bu işlemleri gerçekleştiren biyolojik prosesler ve gerekmesi durumunda kullanılan son çökeltme tanklarını içerirler. Bu arıtma sisteminde ön arıtmadan geçirilmiş atıksu havalandırma tanklarına alınır. Bu tanklara dışarıdan oksijen verilerek (yüzeysel havalandırıcılar veya difüzör havalandırıcılar ile) aerobik mikroorganizmaların atıksu içindeki çözünmüş ve kolloidal organik maddeleri ayrıştırarak arıtım işlemini gerçekleştirmesi temin edilir [7].

### 2.2.1. Oksidasyon hendeği (havalandırma havuzu)

Oksidasyon hendekleri dairesel ya da oval şekilli hendekler olup mekanik yöntemlerle (rotor ya da yüzey havalandırıcı) havalandırılırlar. Izgaradan geçirilerek veya çökelttilerek katılardan arındırılmış atıksu hendek içinde 0,3-0,4 m/s yatay hızla hareket ederken havalandırılarak sistemdeki mikroorganizmalar tarafından arıtılır [6].



Şekil 2.1. Oksidasyon hendeği akım diyagramı [6]

Oksidasyon hendekleri genellikle uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi özelliğindedir. Hendek çıkışında diğer biyolojik sistemlerde olduğu gibi bulunan çökeltme tankı katıların çökmesini sağlar. Düşük atıksu debileri için uygun olup, diğer sistemlere kıyasla daha az teknoloji gerektiren ve fazla işletme becerisi gerektirmeyen sistemlerdir [6].



Resim 2.8. Atıksu arıtma muz mikserli havalandırma havuzu [7]

### 2.2.2. Damlatmalı filtreler

Damlatmalı filtreler üzerinde mikroorganizmaların biyofilm halinde büyüdüğü katı tanecikler içeren bir dolgulu sistemdir. Bu birim içinde 0,1-10 cm büyüklüğünde dolgu malzemesi (kırma taş, plastik, sert kömür, özel dolgu maddeleri vs.) bulunan bir tanktan oluşur. Bu tankın üzerine ilk arıtmaya (birinci kademe) tabi tutulmuş atıksu belirli bir debi ile verilir. Bu işlem genellikle tankın merkezi etrafında yavaşça hareket eden delikli bir borudan oluşan bir düzenekle (atıksu dağıtım sistemi) sağlanır. Bu şekilde filtreye verilen atıksu filtre dolgu malzemesinin üstünden süzülerek akmakta, bu arada, filtre yatağındaki boşlukların tamamı atıksu ile dolmadığından havalı şartlar devam etmektedir. Damlatmalı filtreden çıkan atıksu son çökeltme tankına verilir. Çökeltme tankı çıkışından belli oranda su damlatmalı filtreye, gerekli hidrolik yükü sağlamak üzere geri verilir [6].

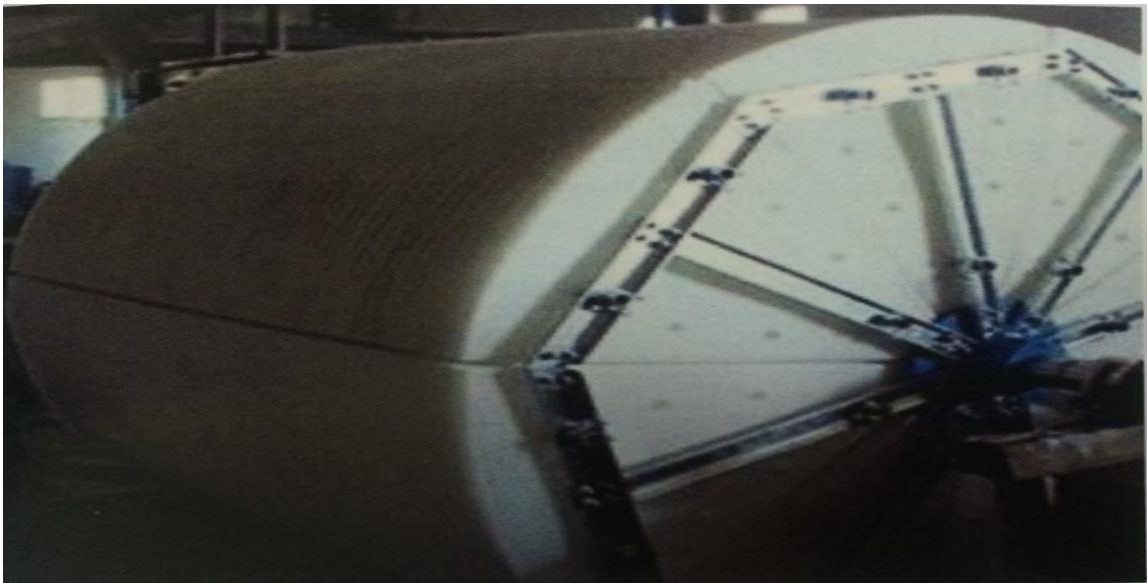




Resim 2.9. Atıksu arıtma damlatmalı filtreler [7]

### 2.2.3. Biyodisk

Döner biyodisk üniteleri daha çok küçük yerleşim merkezlerinin evsel atıksularının arıtımında kullanılmakla beraber, bazı durumlarda düşük devirli endüstriyel atıksulardan Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) giderilmesinde de kullanılabilir [6].



Resim 2.10. Atıksu arıtma biodiski [7]

#### 2.2.4. Havalandırmalı lagünler

Havalandırmalı lagünler, 2,5-5 metre derinliğinde toprak yapılar olup, havalandırma dubalar veya sabit kolonlar üzerine yerleştirilen mekanik havalandırıcılarla yapılır. Stabilizasyon havuzları ile kıyaslandığında % 10-20 daha küçük hacimlere sahiptirler. Bu arıtma sisteminin esas fonksiyonu atık dönüşümüdür [6].

Diğer askıda katı madde sistemlerinde olduğu gibi havalandırma ile oluşturulan türbülans sistemin içeriğini askıda tutmada sağlar. Hidrolik kalış süresine bağlı olarak havalandırmalı lagünden çıkan arıtılmış suyun yarısını hücre formundaki mikroorganizma oluşturur. Bu katıların çoğu deşarjdan önce çöktürülerek ortamdan uzaklaştırılır [6].



Resim 2.11. Atıksu arıtma havalandırma lagünleri [5]

#### 2.2.5. Stabilizasyon havuzları

Basit olmaları ve işletme kolaylığından dolayı atıksu arıtımında en basit arıtma sistemi stabilizasyon havuzlarıdır [6]. Temel prensip sisteme dışarıdan enerji vermeden (havalandırma yapmadan) doğal ortamda arıtımın gerçekleştirilmesidir [7]. Sistem ekipmansız çalışacağından dolayı, biyolojik aktivite yavaş işler [6].

Sistemin avantajları, aşırı derecede basit ve işleminin güvenilebilirliğinden kaynaklanmaktadır. Doğal arıtma neticesinde oluşan çamur miktarı diğer atıksu arıtma yöntemlerine kıyasla çok daha azdır ve oluşan çamur stabil halde olduğu için ayrıca bir çamur arıtım işlemine tabi tutmaya gerek yoktur [7].



Resim 2.12. Atıksu arıtma yüzeysel havalandırıcılı havalandırma lagünleri [7]

Bu nedenle uzun kalma zamanına ve dolayısı ile geniş arazilere ihtiyaç duyulmaktadır. İklim ve havuzun doğal şartları biyolojik aktiviteyi etkiler. Bu nedenle, arazinin bol ve ucuz, iklim şartlarının uygun olması stabilizasyon havuzlarının kullanımını artırır. Stabilizasyon havuzları, reaksiyon kinetikleri ve akım şekilleri yönünden reaktörlere benzemektedir. Arıtım verimi, BOİ giderimi ile birlikte mikroorganizma ve besin maddeleri (N ve P) arıtımında da istenilen şartları sağlayacak şekilde tasarlanabilir [6].

#### 2.2.6. Son çökeltme havuzu

Son çökeltme havuzunun tasarımının yanlış yapılması veya iyi işletilememesi sebebiyle çıkış suyu kalitesi düşük olabilir. İstenen arıtım derecesine ulaşabilmek, havalandırma tankında yeterli çamur konsantrasyonunu tutabilmek için son çökeltme tanklarından çamur geri dönüşü yapılmaktadır. Son çökeltme havuzlarından çıkış suyunda çamur kaçışını önlemek gerekir. Katılar çökeltme tankının tabanında çamur örtüsü oluştururlar. Büyük sistemler için çamur geri devri atıksu debisinin % 50-100'ü, küçük sistemlerde ise % 150'sidir [6].





Resim 2.13. Atıksu arıtma son çökeltme havuzları [5]

### 2.2.7. Anaerobik arıtım

Bu proses; moleküler oksijen yokluğunda organik ve inorganik maddelerin parçalanması işlemi olarak tanımlanabilir. Anaerobik çürüme işleminde, ön çökeltim çamurları ve biyolojik çamurlardaki organik maddeler, anaerobik koşullar altında biyolojik olarak  $\text{CH}_4$  ve  $\text{CO}_2$ 'e dönüşür. Çürüme işlemi hava girişinin önlendiği kapalı bir reaktörde gerçekleştirilir. Sürekli olarak veya ara ürün olarak oluşan çamur, çeşitli süreler içinde reaktörde alıkonulur. Stabilize olan çamur ise reaktörden sürekli olarak veya kesikli olarak çekilir. Anaerobik çürüme bir seri organizma grubu tarafından yürütülen bir biyolojik bozunma işlemidir [6].



Resim 2.14. Atıksu arıtma çürütücü (digestor) tanklar [5]

Çamur çürütme tankları genellikle dairesel olarak inşa edilebildiği gibi dikdörtgen kesitli veya yumurta kesitli olarak tasarlanabilir. En yaygın kullanılan tipler silindirik tanklardır. Tank muhtevasının üniform olarak karıştırılmasındaki zorluklardan dolayı

dikdörtgen kesitli tanklar nadiren kullanılırlar. Anaerobik çürütücülerde oluşan gaz, hacimsel olarak % 65-70 CH<sub>4</sub>, % 25-30 CO<sub>2</sub> ve küçük miktarlarda N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, su buharı ve diğer gazlardan meydana gelmektedir. Elde edilen metan gazının standart sıcaklık ve basınç altında net ısı değeri 35 800 kJ/m<sup>3</sup>'dür. Çürütücü gazı yaklaşık olarak % 65 oranında metan içerdiğinden, çürütücü gazın ısı değeri bu değerden daha düşüktür (yaklaşık olarak 22 400 kJ/m<sup>3</sup>) [6].

### 2.3. İleri Atıksu Arıtımı Üniteleri

Klasik arıtma sistemleri çıkışında arıtılmış atıksuda kalan Atık Katı Madde (AKM), çözünmüş madde, organik maddeler vb. gibi kirleticilerin de arıtımı ilave arıtma sistemlerini gerektirmekte olup bu sistemlere ileri arıtma sistemleri denmektedir [6].

### 2.4. Doğal Arıtma (Yapay Sulak Alanlar)

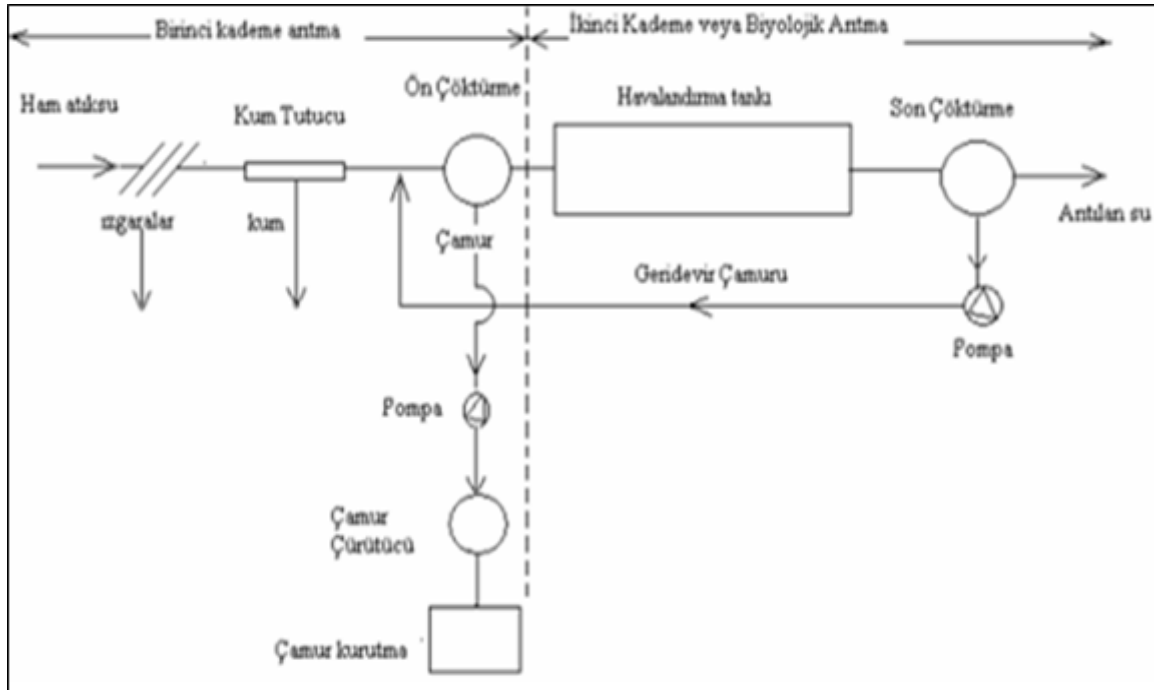
Son yıllarda evsel atık suların arıtılmasında kullanılan yöntemlerden birisi de “Doğal Arıtma” diğer bir adıyla “Yapay Sulak Alan” sistemleridir. Kirli suların arıtılması işleminde kullanılan bu sistemdeki amaç; bataklık ve sazlık alanların kirleticileri yok etme özelliği kullanmak suretiyle bunların yapay olarak inşa edilmesi esasına dayanır. Doğal sulak alanlar, ortamdaki güneş enerjisini kullanabilme ve kendi kendini yenileyebilme özelliğine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde yapay sulak alanlar, organik ve inorganik kirleticiler ile askıda katı maddeyi, toksik maddeleri, ağır metalleri ve hastalık yapıcı mikroorganizmaları yok ettiği için yüksek miktarda arıtım kapasitesine sahiptirler. Bu doğal arıtma sisteminin birinci kademesini mevcut fosseptik yapıları oluşturmaktadır. Fosseptik çıkış suları ile beslenen yapay sulak alanlarda yapılan arıtma sonucunda, kırsal yerleşim yerlerine ait atık sular alıcı ortamlara güvenle deşarj edilebilir değerlere ulaşmaktadır [8].

Doğal arıtmada genel olarak köklü, suya dayanıklı bitki türleri kullanılmaktadır. Doğal arıtmada kullanılan bitkiler, su akışına direnç göstererek, suyun içerisindeki askıda katı maddelerin çökmesini sağlarlar. Bitkiler bir yandan kendi gelişimleri için suyun içerisindeki besin maddelerini doğrudan alırken; diğer yandan da kök bölgelerine çözünmüş oksijen iletmek suretiyle bakteri faaliyeti için elverişli bir ortam yaratırlar [8].

## 2.5. Atıksu Arıtma Tesislerinde Kullanılan Prosesler

### 2.5.1. Aktif çamur prosesi ve modifikasyonları

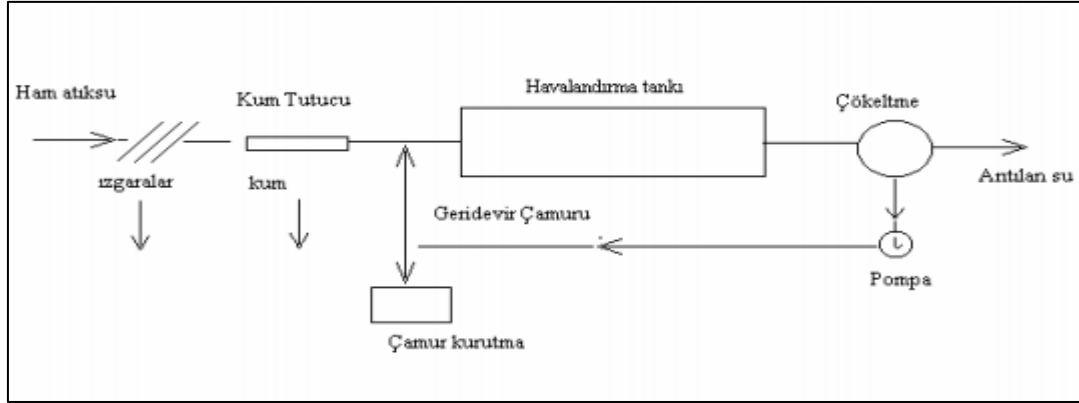
Aktif çamur prosesi, aerobik biyolojik arıtma metotları arasında geniş uygulama alanı bulmaktadır. Klasik bir aktif çamur sisteminin akım diyagramı Şekil 2.2’de gösterilmektedir [6].



Şekil 2.2. Klasik aktif çamur sisteminin akım diyagramı [6]

### 2.5.2. Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi

Uzun havalandırmalı aktif çamur süreci ya tam karışımli ya da piston akımlı reaktör olarak tasarımlanır. Tek farkı hidrolik alıkonma süresinin en az 18 saat olmasıdır. Bunun sonucunda mikroorganizmalar birbirleriyle rekabet ederler ve iç solunuma girerek kendi hücrelerini tüketirler. Bu durum çıkış suyu kalitesinin yükselmesine ve düşük çamur üretimine neden olur [9].



Şekil 2.3. Uzun havalandırmalı aktif çamur proses diyagramı [6]

Bununla birlikte, bu sürecin çıkış suyunda iğne uçlu yumaklara bol miktarda rastlanır. Arıtma verimi % 90'dan daha fazladır. Bu süreçlerde ön çökeltme havuzu genellikle uygulanmaz [9].

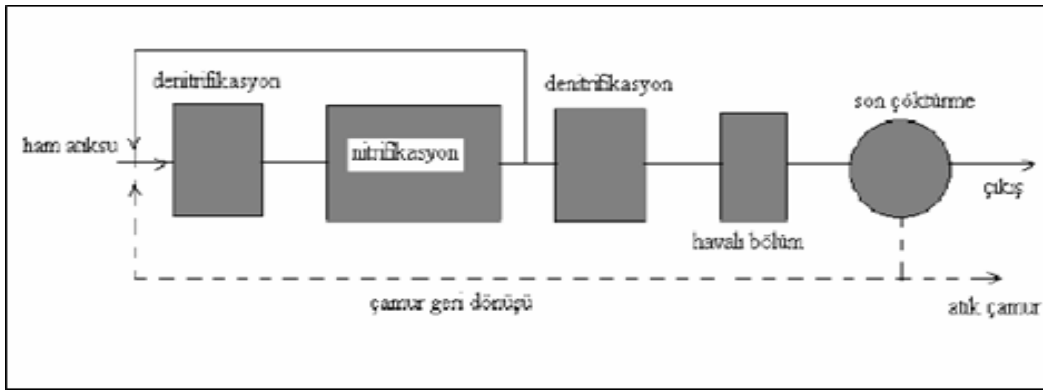


Resim 2.15. Atıksu arıtma havalandırma havuzu [7]

Küçük yerleşim bölgelerinin ve tatil sitelerinin atıksularının arıtılmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sistemin olumsuz yanları, yüksek oksijen gereksinimine sahip olması ve gerekli alıkonma süresinin sağlanması için büyük havuz hacmi gerektirmesidir. Bu süreçte, ham atıksu doğrudan havalandırma havuzuna alınır ve yüksek alıkonma süresince havalandırılır [9].

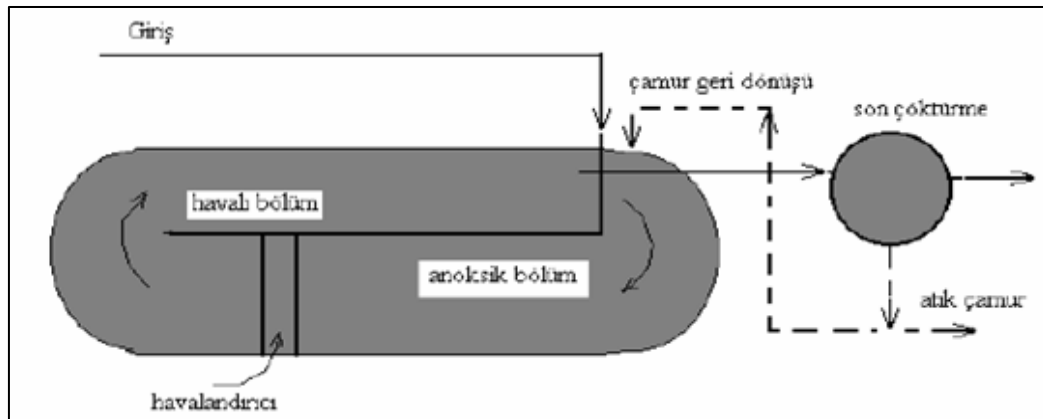
### 2.5.3. Birleşik karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon prosesi

Nitrifikasyon prosesleri, karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon reaksiyonlarının birlikte veya ayrı meydana gelmesine bağlı olarak sınıflandırılır. Karbon oksidasyonu ve nitrifikasyonun bir reaktör içinde meydana gelmesi durumunda sisteme birleşik (tek çamurlu) sistem denir [6].



Şekil 2.4. Birleşik (tek çamurlu) sistem akım diyagramı [6]

Ayrık (çok çamurlu) sistemde ise karbon oksidasyonu ve nitrifikasyon farklı reaktörlerde meydana gelir ve heterotofik ile ototofik mikroorganizmalar bir arada bulunmazlar [6].



Şekil 2.5. Ayrık (çok çamurlu) sistem akım diyagramı [6]



Maliyetinin yüksek oluşu dolayısıyla karbon oksidasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon tek sistem içinde gerçekleştirilir ve ara adım uygulanmaz. Bu proseslerin aşağıda belirtildiği gibi pek çok üstünlüğü vardır.

- Nitrifikasyon ve BOİ giderimi için gerekli olan oksijen kullanımını azdır,
- Denitrifikasyonun tamamlanması için gereken karbon kaynağı ilavesi gerekmemektedir,
- İlave çöktürme havuzuna ve çamur geri dönüşüne gerek duyulmamaktadır [6].

Bu sistemlerde, havalandırmanın sonunda arıtmadan artan karbonlu bileşikler denitrifikasyon basamağında kullanılmaktadır [6].



Resim 2.16. İstanbul paşaköy ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi [5]

#### 2.5.4. Biyolojik azot ve fosfor giderimi

Azot ve fosforun birlikte arıtımı için birçok biyolojik proses geliştirilmiştir. Bunların çoğu özel sistemler olup, azot ve fosfor giderimi için havalı, havasız ve anoksik bölümlerin bileşiminden oluşmuş aktif çamur prosesi formundadır. Bu proseslerin bazıları temelde fosfor giderimi için geliştirilmiş olup, daha sonra azot ve fosforun birlikte arıtılabileceği sistemlere dönüştürülmüştür [6].

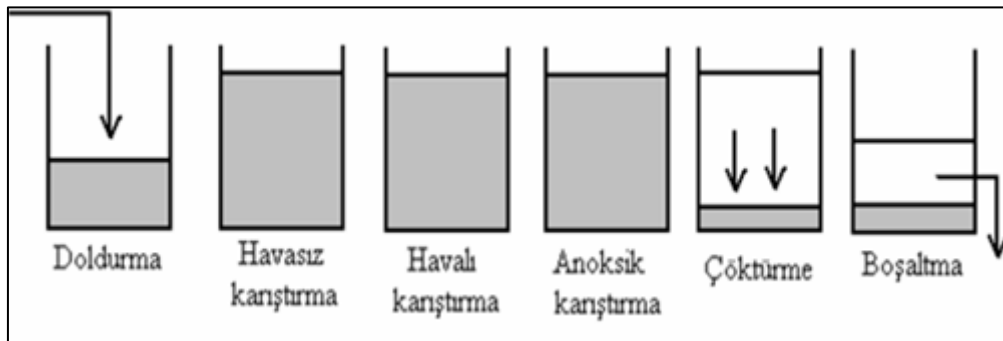


Resim 2.17. İzmir doğanbey-ürkmez ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi biyolojik azot ve fosfor giderim havuzları [5]

Son yıllarda kimyasal arıtmaya alternatif olarak birçok biyolojik fosfor giderim prosesleri geliştirilmiştir. Ortalama olarak, biyolojik arıtım esnasında atılan çamur ile birlikte fosforun giderimi de % 10 ile % 30 arasında değişmektedir [6].

#### 2.5.5. Ardışık kesikli reaktörler (akr)

Bu reaktörler, hem karbon oksidasyonu, hem de azot ve fosfor giderimi için kullanılırlar. Gerekli arıtma reaktörün işletme şartlarını değiştirerek gerektiğinde kimyasal ilavesi ile sağlanabilir. Fosfor, koagülant ilavesi ile veya biyolojik olarak giderilebilir. Bu sistemde reaksiyon zamanı 3 ile 24 saat arasında değişebilir. Havalı ve havasız reaksiyon süreleri değiştirilerek nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonları da aynı sistemde gerçekleştirilebilir [6].



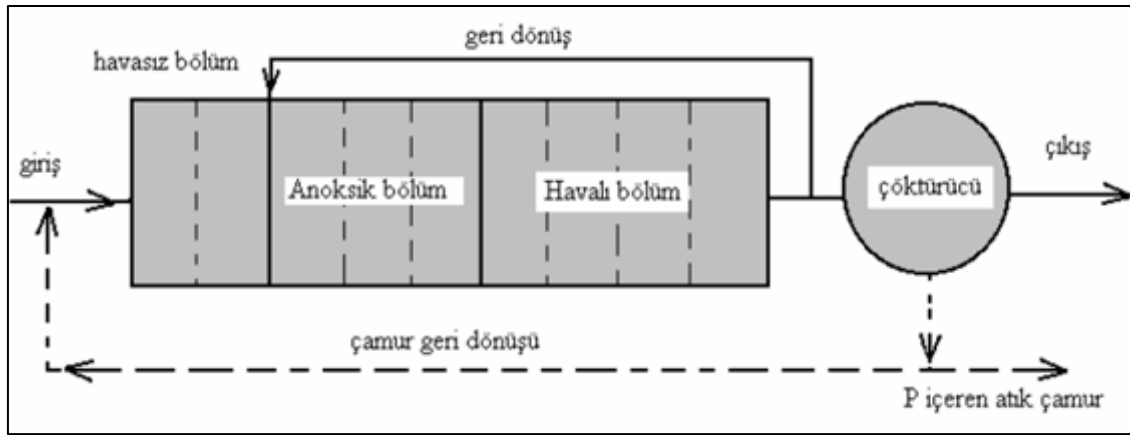
Şekil 2.6. Karbon, azot ve fosfor giderilmesinde ardışık kesikli reaktör [6]

Ortamın havalı ve havasız (veya anoksik) olması durumlarında sıvı fazdaki fosfat konsantrasyonunda sırasıyla artma ve azalma görülür. Anoksik şartlarda organizmalar

ortama fosfat verdiği için sıvı fazda fosfat konsantrasyonu yükselir. Havalı şartlarda ise fosfat organizmalar tarafından tutulduğundan sıvı fazdaki fosfat konsantrasyonu azalır [6].

### 2.5.6. A<sup>2</sup>/O prosesi

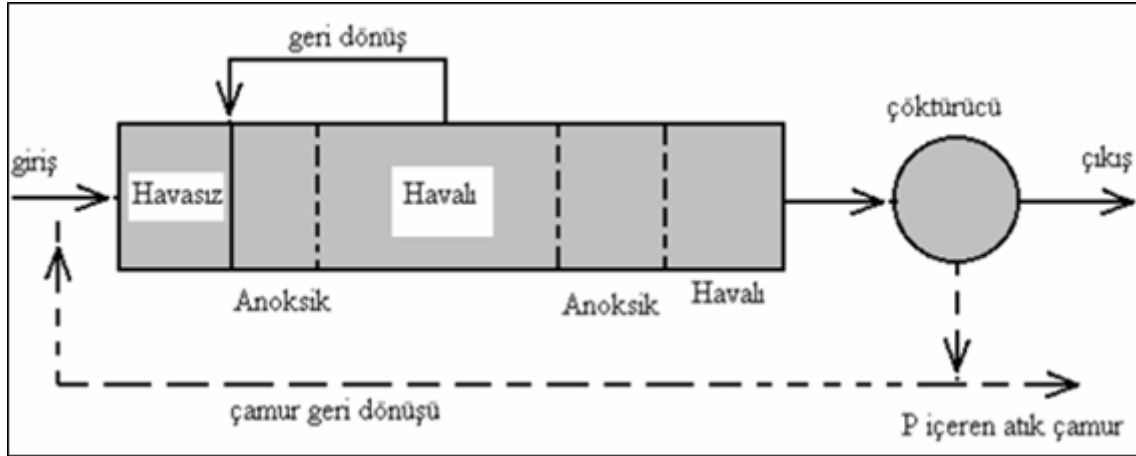
Anoksik bölümde çözülmüş oksijen düşüktür, ancak nitrit ve nitrat formundaki kimyasal bağlı oksijen havalı bölümden geri devirle sisteme verilmektedir. Çıkışta filtrasyon olmaksızın, 2 mg/l'den daha az fosfor konsantrasyonu olabilmektedir. Çıkış suyunun filtrasyonu ile fosfor konsantrasyonu 1,5 mg/l'den daha düşük olabilir [6].



Şekil 2.7. A<sup>2</sup>/O prosesi akım şeması [6]

### 2.5.7. Bardenpho prosesi (beş basamaklı)

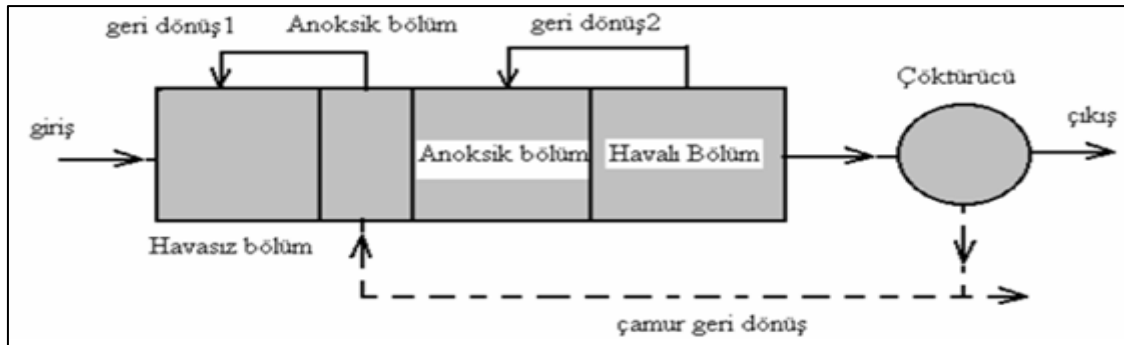
Azot gideriminde kullanılan Bardenpho prosesinin, azot ve fosfor giderimi için değiştirilmiş şeklidir. Fosfor giderimi amacıyla ortama beşinci basamak (havasız) konulmuştur. Beş basamaklı sistemde havalı, havasız ve anoksik bölümler fosfor, azot ve karbon gideriminde rol oynarlar. İkinci anoksik bölüm, havalı bölümde oluşan nitratı elektron alıcı, içsel organik karbonu ise elektron verici olarak kullanıp ilave denitrifikasyonu sağlar. Son havalı bölüm ise kalıntı azot gazını çözeltiden sıyırmak ve son çöktürücüde fosfor açığa çıkmasını en aza indirmek için kullanılır. Sıvı karışım birinci havalı bölümden anoksik bölüme geri beslenir. Uzun çamur kalma yaşında çalıştırıldığından dolayı (10-40 gün) karbon oksidasyon kapasitesi de yüksektir [6].



Şekil 2.8. Bardenpho prosesi akım şeması [6]

### 2.5.8. Uct prosesi

Cape Town Üniversitesi tarafından geliştirilen UCT prosesi, iki durum hariç  $A^2/O$  prosesine benzemektedir. Aktif çamur dönüşü havah bölüm yerine, anoksik bölüme geri döndürülür ve iç döngü ise anoksik bölümden havasız bölümedir. Aktif çamurun anoksik bölüme geri döndürülmesi ile nitrat havasız bölüme girmez, böylece havasız bölümde fosforun daha iyi açığa çıkması sağlanır. Anoksik bölümdeki karışım, önemli miktarda çözünmüş BOİ ve az miktarda nitrat içerir [6].

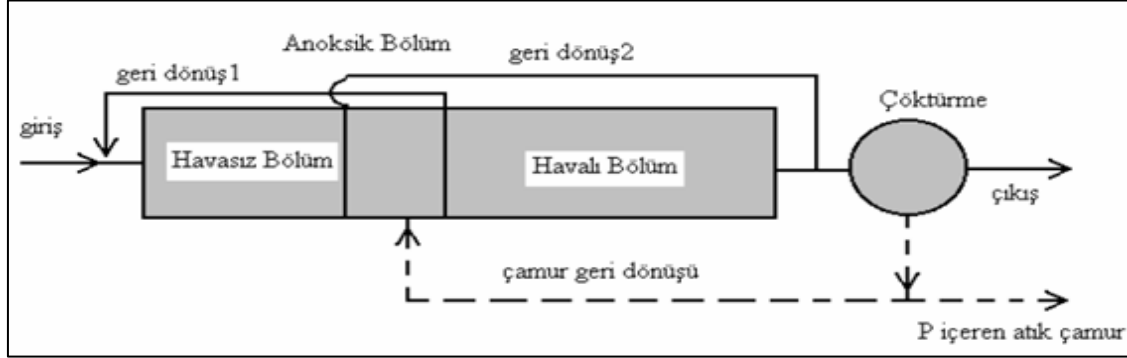


Şekil 2.9. Uct prosesi akım şeması [6]

### 2.5.9. Vip prosesi

VIP prosesi, geri döngüler hariç  $A^2/O$  ve UCT proseslerine benzer. Aktif çamur geri dönüşü, havah bölüm geri dönüşü ile birlikte anoksik bölüme verilir. Anoksik bölümün karışımı havasız bölüme geri beslenir. Deneysel verilere dayanarak, atıksudaki

organik maddenin bir kısmı havasız mekanizma tarafından stabilize olur, bu da prosesin oksijen ihtiyacını azaltır [6].



Şekil 2.10. Vip prosesi akım şeması [6]

### 2.5.10. Membran biyoreaktör prosesi (mbr)

Günümüzde artan nüfus karşısında gittikçe kirlenen dünyamızda, her geçen gün azalan kullanılabilir toprak, su ve hava, bilim adamlarını daha az yer kaplayan, çıkış suyu daha kaliteli olan ve ekonomik boyutta oldukça avantajlı arıtma prosesleri üzerinde araştırmalar yapmaya yoğunlaştırmıştır. Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında tüm dünyada uzun yıllardır biyolojik arıtma prosesi olarak yaygın şekilde “Aktif Çamur Prosesi” uygulanmakta olup, bu proseste geçen zaman içerisinde;

- Mevcut arıtma kapasitesinin artırılması ve azot, fosfor, tuzluluk giderimi gibi ileri arıtma teknolojilerine duyulan ihtiyaç,
- İlave arıtma üniteleri için alan gereksiniminin azaltılması ve çıkış suyu kalitesinin artırılarak geri kullanılması veya kıyıya deşarj olanağı,
- Arıtma çamuru miktarının düşürülmesi ve işletme-bakım kolaylığının artırılması.

gibi sebeplerden ötürü aktif çamur sistemini müteakiben son çökeltim havuzu yerine ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membran modülleri kullanılmaya başlanmış ve aktif çamur sisteminin biyoreaktör bölümüne membran entegre edilmesi suretiyle MBR prosesi uygulanmaya başlanılmıştır [10].



Resim 2.18. Membran biyoreaktör prosesi [7]

## 2.6. Dezenfeksiyon Yöntemleri (Arıtma Son)

Atıksuların özellikle sulama amaçlı olarak geri kazanılmasının planlandığı durumlarda, insanla temasın olabileceği alıcı ortamların olduğu durumlarda dezenfeksiyon gerekli görülebilir. Bu durumda;

- Klorla dezenfeksiyon,
- Ozon ile dezenfeksiyon,
- UV ile dezenfeksiyon yöntemlerinden biri kullanılır.

Klorlama, ozonlama ve UV ile dezenfeksiyonun, arıtılmış atıksu dezenfeksiyonundaki üstün ve zayıf yönleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir [11].

Çizelge 2.2. Klorlama, ozonlama ve uv’nin atıksu dezenfeksiyonundaki üstün ve zayıf yönleri [11]

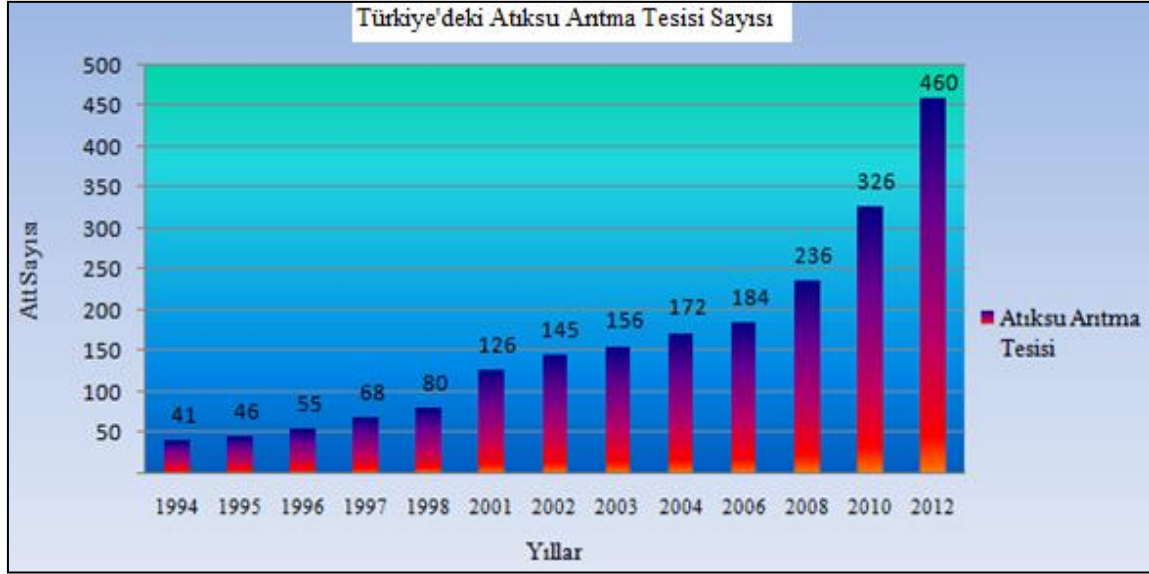
| Klorlama                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Üstünlükleri                                                                                                                                                                                             | Zayıf Yönleri                                                                                                                                                                                                                                                |
| Etkili bir dezenfektandır.<br>Çok iyi bilinen bir teknolojidir.<br>Bakiye klor kullanılabilir<br>Klor gazından daha emniyetli olan kalsiyum ve sodyum hipoklorit kullanılabilir<br>İlk yatırımı ucuzdur. | Tehlikeli bir kimyasaldır.<br>Dezenfeksiyon yan ürünü oluşur.<br>Atıksuyun TDS seviyesini bir miktar artırır.<br>Düşük dozajlarda, bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili değildir.<br>Diğer dezenfektanlara göre daha uzun temas süresi gerekir. |
| Ozonlama                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Üstünlükleri                                                                                                                                                                                             | Zayıf Yönleri                                                                                                                                                                                                                                                |
| Etkili bir dezenfektandır.                                                                                                                                                                               | Korozif ve toksiktir.                                                                                                                                                                                                                                        |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bazı virüs, spor, cysts ve oocysts türleri üzerinde klora göre daha etkilidir.<br>Klora göre daha kısa temas süresi gerekir.<br>Daha az alan kaplar.<br>Çözünmüş oksijeni artırır.                                                                                              | Düşük dozajlarda, bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili değildir.<br>Bakiye ozon etkisi yoktur.<br>İlk yatırım ve işletme maliyetleri yüksektir<br>Bakiye ozonun uzaklaştırılması gerekmektedir.            |
| UV                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                         |
| Üstünlükleri                                                                                                                                                                                                                                                                    | Zayıf yönleri                                                                                                                                                                                                           |
| Etkili bir dezenfektandır.<br>Kimyasal madde kullanılmamaktadır.<br>Bazı virüs, spor, cysts ve oocysts türleri üzerinde klora göre daha etkilidir.<br>Dezenfeksiyon yan ürün oluşumu yoktur.<br>TDS seviyesini artırmaz.<br>Güvenlidir.<br>Klorlamaya göre daha az alan kaplar. | Bakiye etkisi yoktur.<br>Hidrolik tasarım önemlidir.<br>Düşük dozajlarda, bazı virüs, spor ve cysts türleri üzerinde etkili değildir.<br>İlk yatırım maliyeti yüksektir.<br>UV lambalarının yüzeyi zamanla kapanabilir. |

### 3. TÜRKİYE’DEKİ ATIKSU ARITMA TESİSLERİNİN DURUMU

Nüfusun hızla artması beraberinde evsel ve endüstriyel atık probleminin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu atıkların çevresel etkilerinin minimize edilmesinde arıtma tesislerinin varlığının büyük bir önemi vardır. Yatırım maliyetinin yanı sıra işletme giderlerinin de yüksek olduğu bu tesislerin sayısı ülkemizde artan nüfusa paralel olarak hızlı bir şekilde artmaktadır.

1994 yılında 41 olan arıtma tesisi sayısı 2002 yılında 145 rakamına ulaşmış, 2012 verilerine göre ise bu sayı Türkiye’de 460 adet ulaşmıştır. Artan ihtiyaçlar karşısında sayısı sürekli artan çevre dostu bu tesisler uygun yerlere uygun sistemlerle kurularak işin uzmanı yetişmiş personele teslim edilmelidir. Akis takdirde yatırım maliyeti yüksek olan bu tesisler yanlış yönetimlerle yeterince verimli olamamaktadır [12].

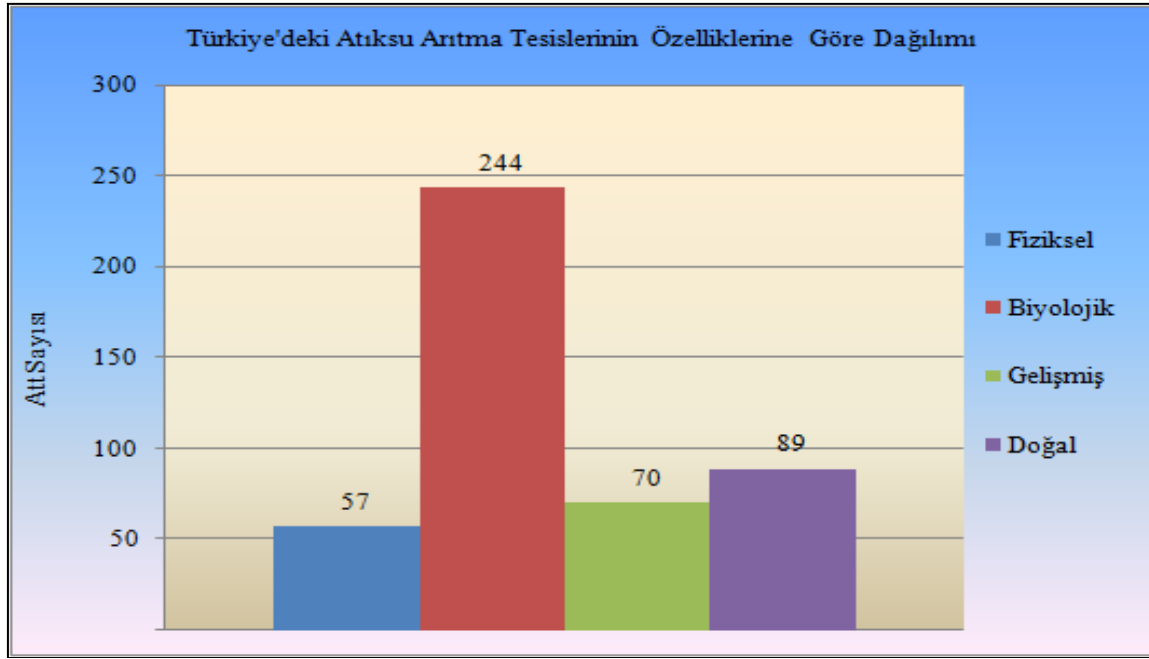


Şekil 3.1. Türkiye'deki atıksu arıtma tesisi sayısı [13]

Sular, çeşitli kullanımlar sonucunda fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını yitirerek atıksu haline dönüşmektedir. Yitirilmiş özelliklerini tekrar kazandırabilmek ve deşarj edildikleri ortamın doğal yapısını değiştirmeyecek hale getirebilmek için atıksulara uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin birine veya birkaçına atıksu arıtma adı verilmektedir. Atıksuyun niteliğine göre kullanılacak arıtma prosesleri de farklılık göstermektedir [12].

Atıksu içerisinde bulunan çözünmüş organik maddelerin bakteriyolojik faaliyetler sonucu giderilmesi için biyolojik arıtma tesisi kullanılır ve 2012 verilerine göre Türkiye'de 244 adet biyolojik arıtma tesisi faaliyet göstermektedir. Atıksu içerisinde çözünmüş veya askıda bulunan ve gravitasyonla (yerçekimi etkisi ile) çökelmeyen maddelerin çökeltilerek sudan uzaklaştırılması için kimyasal atıksu arıtma tesisleri aracılığıyla yapılır ve Türkiye'de 70 adet bulunmaktadır. Suyun içerisinde bulunan ve kendiliğinden çökebilen katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılması için fiziksel atıksu arıtma tesisi tercih edilmelidir ve ülkemizde 57 adet fiziksel arıtma tesisi işletilmektedir. Ülkemizde 89 adet doğal (yapay sulak alan) atıksu arıtma tesisi hizmet vermektedir. Bu prosesler ayrı ayrı kullanılabileceği gibi birbiri ardına gelecek şekilde de kullanılarak arıtma tesisi kurulabilir [12].

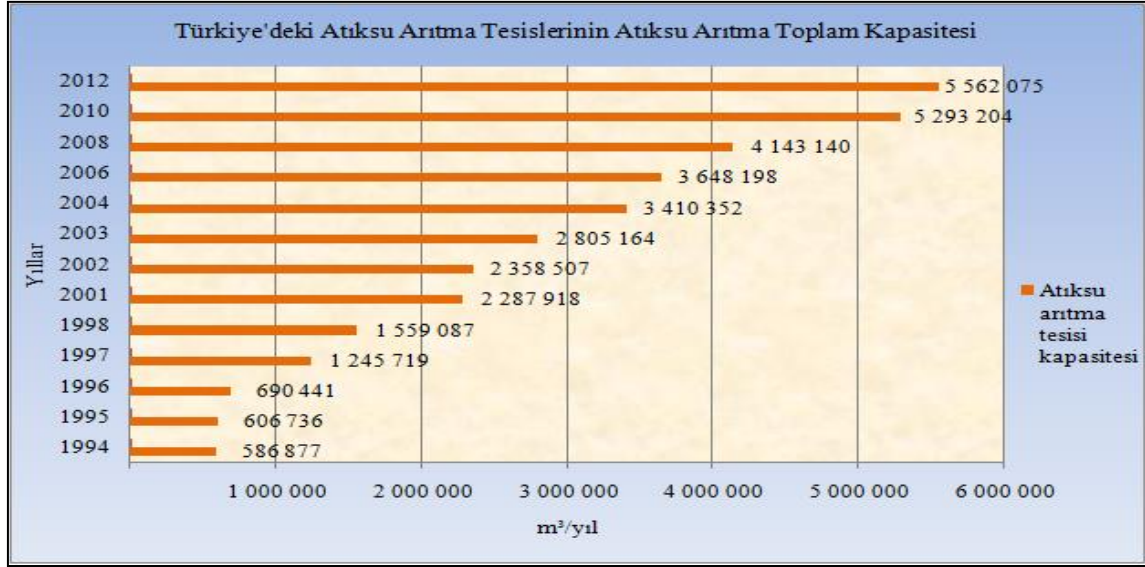




Şekil 3.2. Türkiye'deki atıksu arıtma tesislerinin özelliklerine göre dağılımı [13]

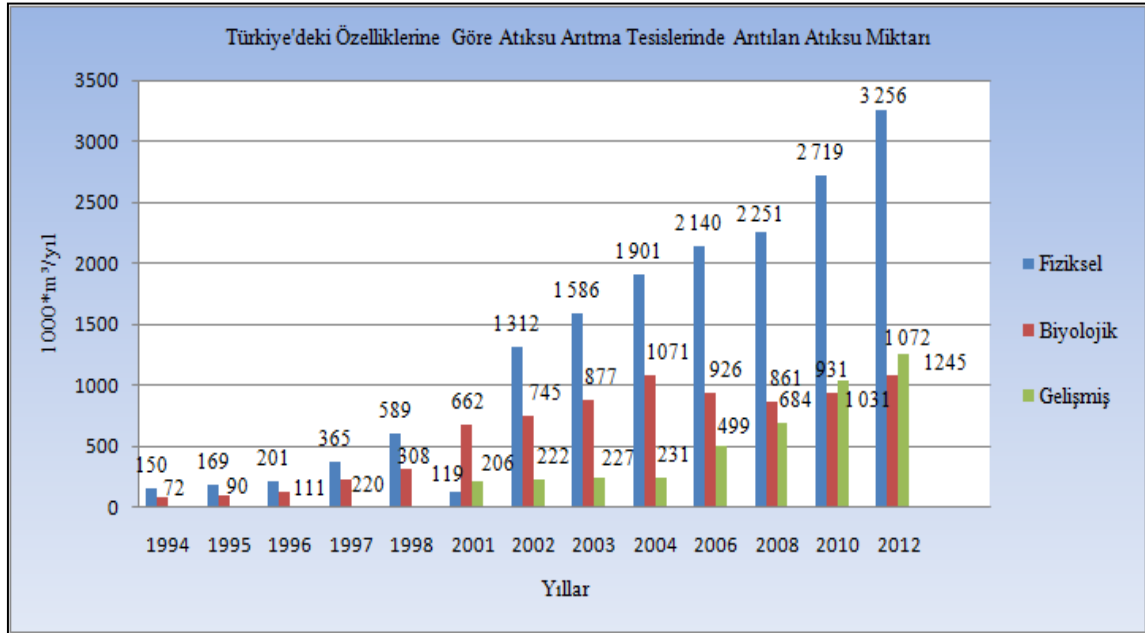
Evlerden, endüstriyel sanayi kuruluşları ile benzer binalardan kullanıldıktan sonra boşaltılan sular, atık su olarak adlandırılmaktadır. Bu sular, insan ve hayvanların biyolojik atıkları ile lavabo, banyo ve mutfaklardan kullanım sonucu kirlenen suların bir bütünüdür. Evsel atık sular, pis görünüşlü, kokulu, renkli ve içinde çözünebilen ve çözünemeyen organik ve inorganik madde bulunmasına rağmen büyük oranı su olan bir karışımdır [12].

Türkiye'de 1994 yılında atıksu arıtma tesislerinde arıtılan toplam atıksu miktarı 1994 yılında 150 061 m<sup>3</sup> iken bu rakam 2004 yılında % 800'lük bir artışla 1 910 040 m<sup>3</sup>'e, 2012 yılında ise % 60'lık artışla 3 256 980 m<sup>3</sup> rakamına ulaşmıştır.



Şekil 3.3. Türkiye’deki atıksu arıtma tesislerinin atıksu arıtma toplam kapasitesi [13]

Türkiye’de atık sular 2000’li yıllara kadar fiziksel ve biyolojik atıksu arıtma tesisleri aracılığıyla arıtılmakta iken bu tarihten sonra kimyasal atıksu arıtma tesisleri aktif bir rol oynayamaya başlamıştır.

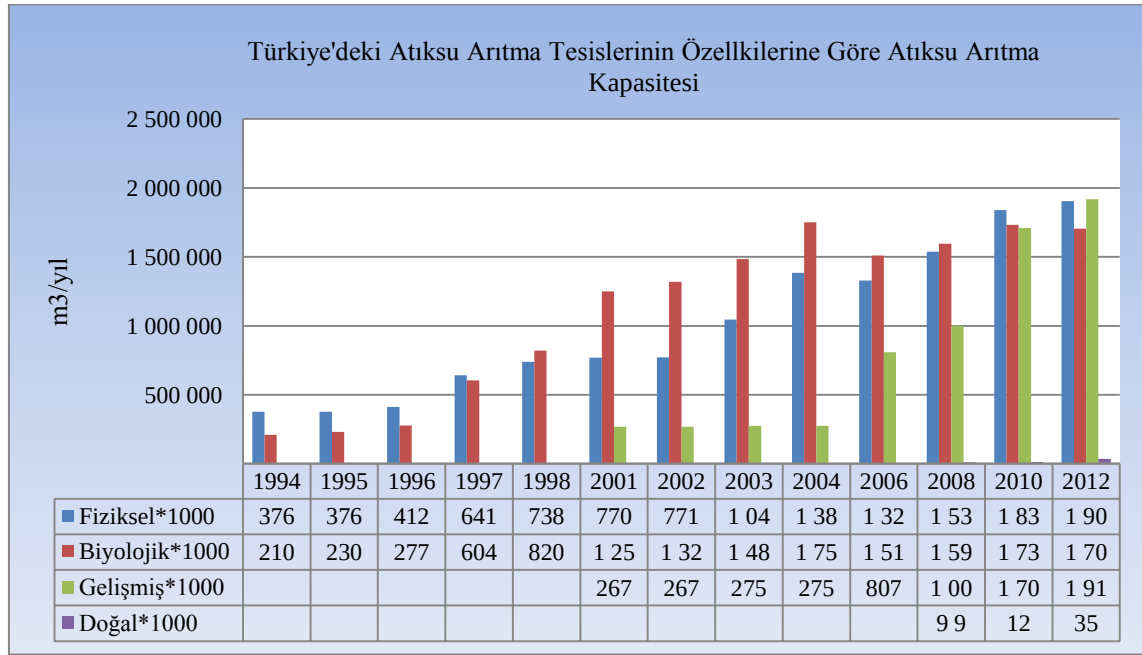


Şekil 3.4. Türkiye’deki atıksu arıtma tesisleri toplam kapasitesi [13]

Dünyada var olan su kaynakları aşırı bir şekilde gün geçtikçe azalmaktadır. Bu olumsuz duruma ilaveten arıtılmadan alıcı ortamlara bırakılan atık sular da, yer altı suyuna karışarak su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Atık suların uygun arıtma işlemine tabi tutularak arıtılmasından sonra istenilen değerleri sağlaması halinde çeşitli

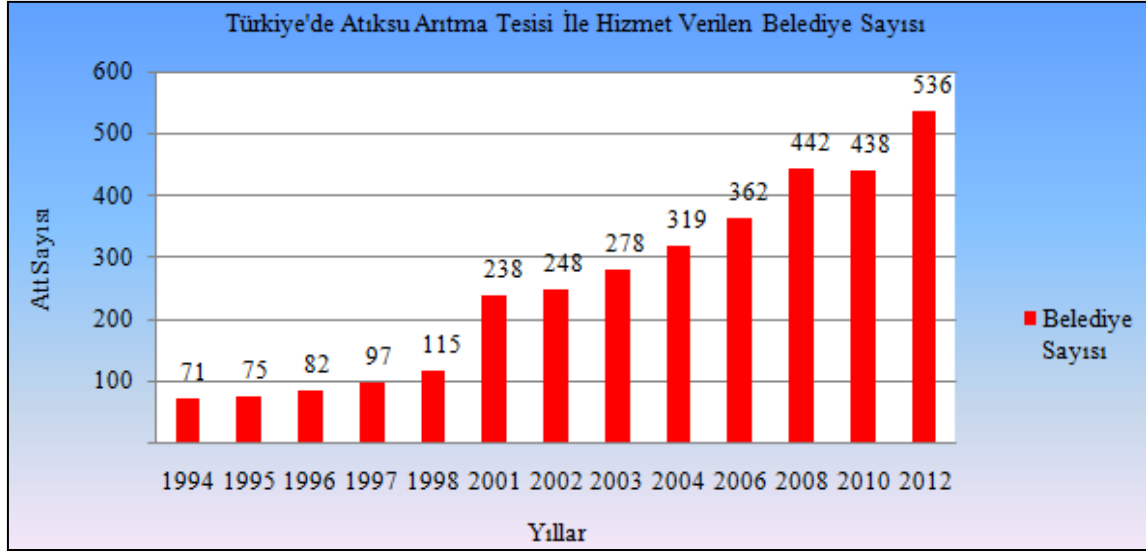
alanlarda kullanılması mümkündür [12]. Türkiye’de 1998 yılında 1 559 087 m<sup>3</sup> olan arıtma tesisi toplam kapasitesi 2012 yılında 5 562 075 m<sup>3</sup> rakamına ulaşmıştır.

Hızlı bir şekilde kirlenmekte olan ve tüm canlıların temel yaşam kaynağı suyun ıslah edilmesi prosesi, pis su arıtma işlemidir. Bu işlem, günümüzde ekolojik dengenin korunması açısından çok büyük değeri olan bir sanattır. Bu nedenle var olan su kaynaklarının kirlenmemesi ve su kaynaklarının daha verimli kullanılması için atık suların arıtılması gerekmektedir. Arıtılan bu atık sular su karakterlerine göre çeşitli alanlarda kullanılabilir [12]. Türkiye’de genelde fiziksel ve biyolojik atıksu arıtma tesisi hizmet vermesine karşın 2001 yılından itibaren işletilmeye alınan gelişmiş (kimyasal) atıksu arıtma tesisi sayısı gün geçtikçe artmaktadır.



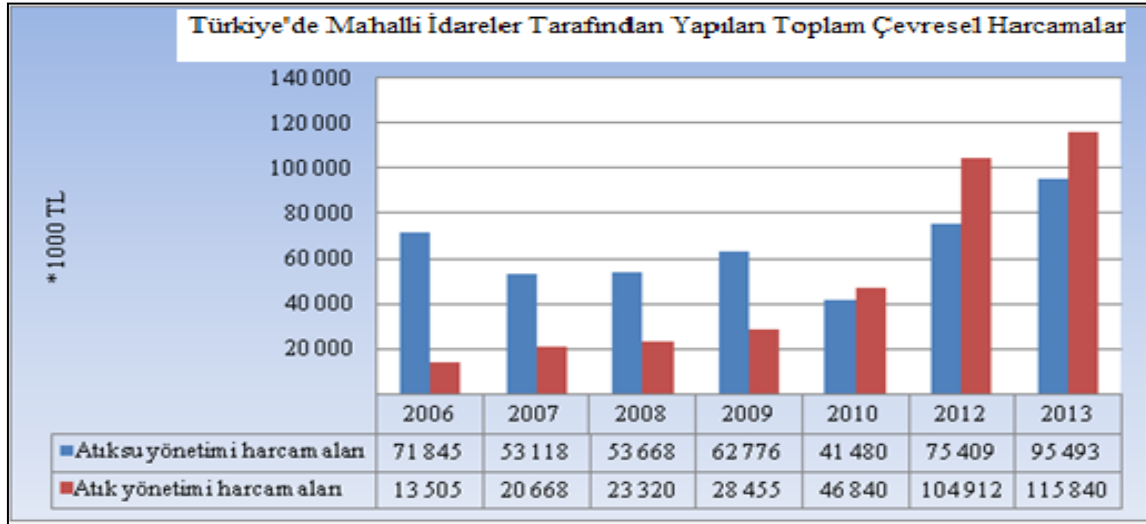
Şekil 3.5. Türkiye’deki atıksu arıtma tesislerinin özelliklerine atıksu arıtma kapasitesi [13]

Artan nüfusla birlikte yaşam ve çalışma alanlarının da hızla bir şekilde artması atık problemini doğurmuştur. Ekolojik sistemin bu dönüşümden zarar görmesi zamanla belediye başkanının önemli konularından biri olmuştur. 1994 yılında 71 olan atıksu arıtma tesisi hizmeti sunan belediye sayısı 2004 yılında 319 sayısına ulaşmış, 2012 yılında ise 536 belediye atıksu arıtma tesisi ile hizmet vermeye (Şekil 3.6) devam etmektedir.



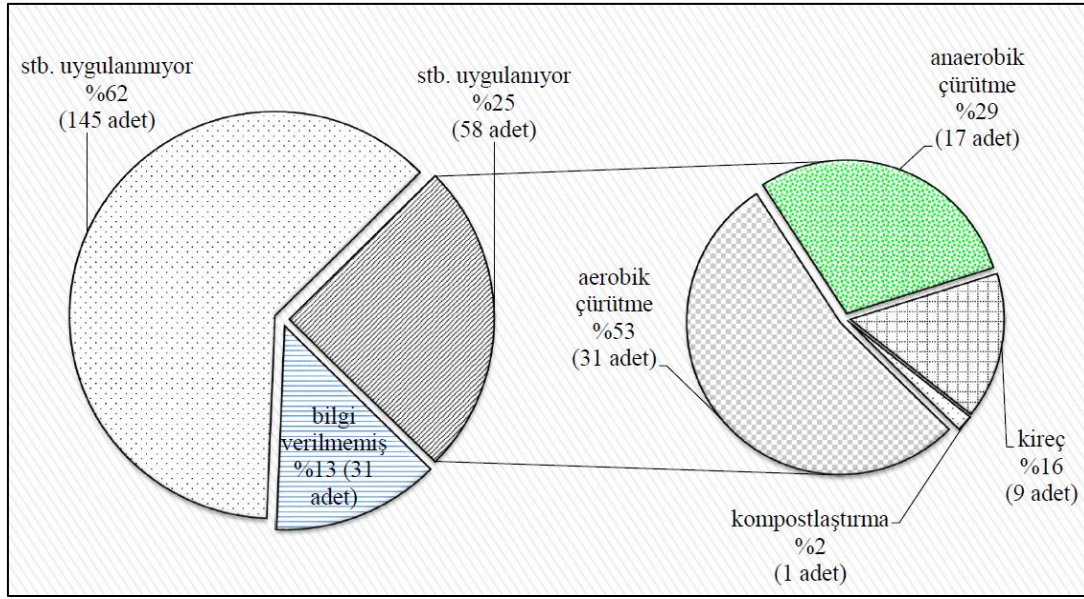
Şekil 3.6. Türkiye’deki atıksu arıtma tesisi hizmeti sunan belediye sayısı [13]

Son yıllarda mahalli idareler tarafından yapılan çevresel harcamalarda önemli artışlar görülmektedir. 2006 yılında 71 845 000 TL olan atıksu yönetimi harcamaları 2013 yılında % 20’lik artışla 95 493 000 TL, 2006 yılında 13 505 000 olan atık yönetimi harcamaları ise 2013 yılında % 900’lük artışla 115 840 000 TL olduğu Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Türkiye’de mahalli idareler tarafından yapılan toplam çevresel harcamalar [13]

Türkiye’de hizmet veren atıksu arıtma tesislerinin % 50’sinden fazlasında arıtma çamurlarına stabilizasyon işlemi uygulanmamaktadır. Stabilizasyon uygulanan 58 adet tesiste ise % 53 oranında aerobik çürütme işlemi uygulanmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Stabilizasyon uygulamaları açısından arıtma tesisi durumu [14]

## 4. ATIKSU ARITMA TESİSİ ATIKLARI VE ARITMA ÇAMURLARI

### 4.1. Atıksu Arıtma Tesisi Atıkları

Atık yapısındaki kirlilik oluşturan maddeler üç grup altında toplanabilir;

- Çökebilien katı maddeler,
- Askıda katı maddeler,
- Çözünmüş katı maddeler.

Çökebilien katı maddeler ızgara, kum tutucu ve ön çökeltme havuzlarında tutulurlar. Özellikle ızgaralarda ve kum tutucularda tutulan tahta, plastik, kum gibi kaba nitelikte çökebilien katı maddeler evsel katı atık niteliğinde olduğundan herhangi bir işleme gerek duyulmadan kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılırlar. Kendiliğinden çökebilien katı maddeler ise ön çökeltme havuzlarında tutularak su ortamından uzaklaştırılırlar. Bunların organik madde içeriği % 60 ile % 80 arasındadır, su içeriği oldukça yüksektir [15].

Mekanik arıtma işlemleri ile giderilemeyen askıda ve çözünmüş haldeki katı maddeler ise ya kimyasal yumaklaştırma işlemleri veya biyolojik arıtma işlemlerinde oluşturulan yumaklar yardımıyla çökeltilerek veya yüzdürülerek su ortamından uzaklaştırılırlar. Çözünmüş organik maddeler ise biyolojik arıtmada bakteri bünyesinde tutularak canlı hücrelere yani biyokütle (aktif çamur) dönüştürülür. Oluşan biyolojik çamur son çökeltme havuzlarında çökeltilerek sudan ayrılır. Son çökeltme işlemleri sonucu oluşan arıtma çamurlarının su içeriği ve organik madde içeriği oldukça yüksektir [15].

Mekanik ve biyolojik yöntemlerle giderilemeyen çözünmüş haldeki organik maddeler veya metal tuzları kimyasal madde eklenmesi ile yapılan kimyasal yumaklaştırma işlemi ile sudan ayrılır [15].

Klasik bir arıtma tesislerindeki katı madde ve çamur kaynakları toplu halde Tablo 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Klasik atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları [16]

| Uygulanan Arıtma Prosesi | Katı madde ve çamur tipi | Açıklama |
|--------------------------|--------------------------|----------|
|--------------------------|--------------------------|----------|

|                         |                              |                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Izgara                  | Kaba katı maddeler           | Kaba katı maddeler elle veya mekanik olarak temizlenen ızgaralardan tutulur                                                                                                                             |
| Kum Tutucu              | Kum ve köpük                 | Köpüğün giderilme işlevi, kum ayırma işlemi ile birlikte kum tutucularda gerçekleştirilir                                                                                                               |
| Ön Havalandırma         | Köpük ve kum                 | Tesislerin bir kısmında ön havalandırma tanklarında hem köpük hem de yağ gidericiler bulunmaz. Ön havalandırma havuzlarından önce kum tutucular yoksa, ön havalandırma havuzunda kum birikimi olabilir. |
| Ön Çökeltme             | Ön çökeltme çamuru ve köpük  | Çamur ve yüzer madde miktarı, toplama sistemine ve sisteme endüstriyel atık deşarjı olup olmamasına bağlıdır.                                                                                           |
| Biyolojik arıtma        | Süspanse katı maddeler       | Biyolojik arıtma ünitelerinden gelen çamurun ayrıldığı yerdir.                                                                                                                                          |
| Son Çökeltme            | Son çökeltme çamuru ve köpük | Biyolojik arıtma ünitelerinden gelen çamurun ayrıldığı yerdir.                                                                                                                                          |
| Çamur işleme prosesleri | Çamur, kompost ve kül        | Son ürünlerin özellikleri, işlenen çamurun karakteristiğine ve uygulanan arıtma yöntemine bağlıdır.                                                                                                     |

*Izgara atıkları:* Izgarada tutulan maddeler öğütücüde parçalanmaz. Izgara öncesinde bıçaklı pompa var ise burada parçalanır. Genellikle ızgara çöpleri varilde depolanıp katı atık deponi sahasına yollanır. 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<sup>3</sup>'tür [17].

*Kum tutucu atıkları:* Yüksek hızlarda çökebilen 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<sup>3</sup> arasında değişmekte olup ortalama olarak 30 mL/m<sup>3</sup>'tür. Kum genelde deponide gömme, yıkama sonrası araziye yayma yöntemleri ile giderilmektedir [17].

*Yağ, gres ve köpük:* Köpük, çökeltme havuzlarının yüzeyinden sıyrılmak suretiyle yüzebilme kabiliyetine sahip maddelerden oluşur. Gres ise bitkisel, hayvansal ve mineral yağlar ile kağıt, sabun, yiyecek atıkları vb. maddelerden oluşur. Evsel atıksu arıtma süreçlerinde oluşan köpük miktarı ortalama olarak  $8 \text{ ml/m}^3$  '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 [17].

#### 4.2. Arıtma Çamuru ve Tanımı

Atıksu arıtımında, fiziksel ve kimyasal arıtma süreçlerinde atıksu içinden yüzdürülerek veya çökeltilerek uzaklaştırılan maddeler ile, biyolojik arıtma sonunda çözünmüş haldeki maddelerin (kirliliklerin) mikroorganizma bünyesine geçirilmesiyle, mikroorganizmaların sistemden yüzdürülerek veya çökeltilerek alınması sonucu ortaya çıkan % 95-99,5 oranında su içeren akışkan özellikteki atıklar "*arıtma çamuru*" olarak isimlendirilir [15-18]. Ortalama çamur üretiminin kişi başına günde 40-60 gr kuru madde olduğu belirtilmektedir [19]. Arıtma çamurları çıkış kaynaklarına göre üç başlıkta incelenebilir [2]:

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

Arıtma çamurlarının yapısı, arıtılan sudaki temel kirleticiler yüküne ve tesiste uygulanan teknik koşullara bağlıdır. Atıksu arıtımı, suda bulunabilecek kirleticiler üzerine yoğunlaşmaktadır ve bu nedenle arıtma çamurları askıda veya çözünmüş çok geniş çeşitlilikte maddeler içermektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanı sıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır [2].



Bu çamurlar, çökebilan katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtma sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma prosesleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan çamurlar gibi arıtımın tipine ve amacına bağılı olarak da sınıflandırılabilir [2-15].

Arıtma ile giderilen maddelere bağılı olarak büyük hacimlerde çamur oluşumunun yanı sıra, çamurun islenmesi ve giderilmesi konusu en karmaşık sorunlardan biridir. Çamur sorunu karmaşıktır, çünkü [15];

- Arıtılmış atıksu içinde önemli miktarlarda bulunan ve ona kokulu özelliğini veren maddeleri içerir,
- Biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamur, ham atıksu içerisindeki organik maddelerin bileşimi halinde, fakat başka bir yapıda, bozulma ve kokuşma eğilimindedir,
- Çamurun yalnızca küçük bir kısmı katı madde, önemli bir kısmı sudur, bu nedenle büyük hacimler kaplar [20].

Arıtma çeşitlerine ve amacına göre arıtma çamurlarının cinsleri değişiklik gösterir. Çökebilan katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtım ve pıhtılaşma sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma işlemleri sonucu oluşan çamurlar gibi [20].

#### **4.3. Arıtma Çamurlarının Kaynağı ve Özellikleri**

Arıtma çamurları, su ve atıksu arıtma tesislerinin işletilmesi sırasında veya sonrasında oluşan, genellikle sıvı veya yarı katı formda olup kullanılan prosese ve işletmeye bağılı olarak % 0,80-% 12 (dekanör ile katı madde % 25'e kadar çıkarılabilir) oranında katı içeren bir yan üründür [21].

Atıksu arıtma tesislerinde çamur, ızgaralar, kum/yağ tutucular, ön çökeltim tankları, kimyasal çökeltim tanklarında tutulan çamur ile aktif çamurlardan kaynaklanmaktadır [22]. Çamur işleme, arıtma ve bertaraf sistemlerini tasarlayabilmek için arıtma sisteminde oluşan çamurun kaynağı, fiziksel-kimyasal-biyolojik özellikleri ve miktarının bilinmesi gerekmektedir [21].

Çamurun fiziksel parametreleri, arıtma çamuru hakkındaki işlenebilirlik bilgilerini; kimyasal parametreleri, çamurun içinde bulunan besinlerin (nutrient) ve toksik/tehlikeli maddelerin varlığını ve dolayısıyla tarım için kullanılıp kullanılamayacağını; biyolojik parametreler ise atıksu çamuru içindeki mikrobiyolojik faaliyetleri ve organik madde/patojenlerin varlığını ve böylelikle çamurun emniyetli bir şekilde kullanılıp kullanılamayacağını belirler [21].

Fosfor giderimi ise kimyasal ve biyolojik proseslerin birlikte kullanılması ile uygulanır. Fosforun fiziksel-kimyasal giderimi ile aktif çamur tesislerinde üretilen çamur miktarı % 30 oranında artar. Biyolojik arıtma fosfor giderilmesine uygun spesifik mikroorganizmalar ile yürütülür. Arıtma sırasında bakteri bünyesinde biriken fosfor, atılan çamurun arıtımını zorlaştırmaktadır [16].

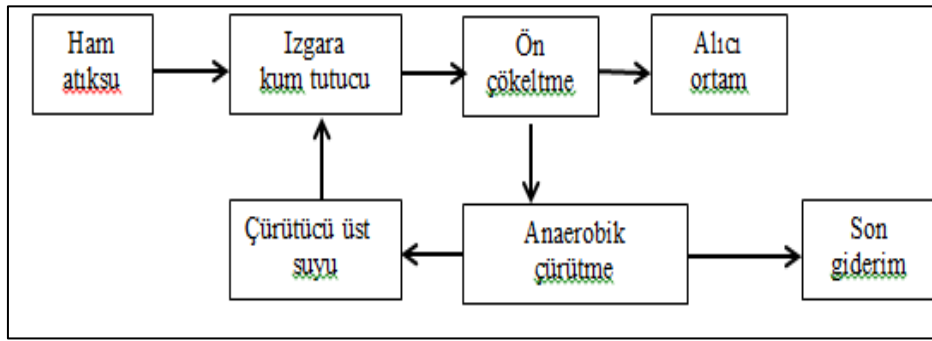
Bu noktada fiziksel-kimyasal arıtma işlemleri önem kazanır. Ön çökeltme havuzuna demir ve alüminyum tuzları eklenmesi sonucu ikincil arıtmadaki biyolojik çamurlara benzer özelliklere sahip çamurlar oluşur. İkincil arıtma çıkış suyuna kimyasal madde eklenmesi ile içme suyu arıtma tesislerindeki benzer özellikte çamurlar oluşur. Her iki durumda da bu çamurların suyunun alınması ve islenmesi zordur. Başka bir çamur kaynağı da içme suyu arıtma tesisi çamurlarıdır [15].

#### **4.3.1. Birincil arıtma çamuru (ön arıtma)**

Bu yöntem daha çok fiziksel yöntemleri kapsar ve özellikle büyükşehirlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ön arıtım tesisine örnek akım seması Şekil 4.1’de verilmektedir. Ön arıtmanın temel ilkesi çökebilir haldeki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılmasıdır. Ön arıtma sistemleri ile oksijen gereksinimi olan maddelerin giderilmesi temel değildir, ancak BOİ’nin bir kısmı çökebilir katı maddeler ile birlikte giderilir. Kendiliğinden çökebilir nitelikli katı maddeler kum tutucularda tutulurlar.

Ön çökeltme havuzu kendiliğinden çökebilecek katı maddeleri tabanda, yüzebilen maddelerin ise yüzeyde toplanmasını sağlar. Yüzebilen katı maddelerin miktarı önemli değildir. Bunlar köpük olarak isimlendirilir; ya çökebilir katı maddeler ile birlikte

uzaklaştırılır veya herhangi bir arıtma işlemine sokulmadan en yakın giderilme sahasına iletilir. Çökeltme havuzu tabanında toplanan maddeler ise “*ham ön çökeltme çamuru*” olarak isimlendirilir ve su içeriği 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 oranına sahiptir ve bu katı maddelerin arıtma sistemi girişine geri döndürülmesi bazı işletme sorunlarına neden olabilir [15]. 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 [15].



Şekil 4.1. Ön arıtma sistemine örnek akım şeması [23]

#### 4.3.2. İkincil arıtma çamuru

Çözünebilir nitelikteki organik maddelerin biyolojik oksidasyonunun yani BOİ'nun giderilmesinin yapıldığı ikincil arıtmada oluşan çamurdur. İkincil arıtmada BOİ biyolojik proseslerle giderilir ancak fiziksel ve kimyasal arıtma işlemleri de bu amaç için kullanılabilir [15]. Biyolojik sistemlerde aktif ajanlar mikroorganizmalardır ve lagünler, aktif çamur ve damlatmalı filtre veya biofiltrasyon prosesleri gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır [2].

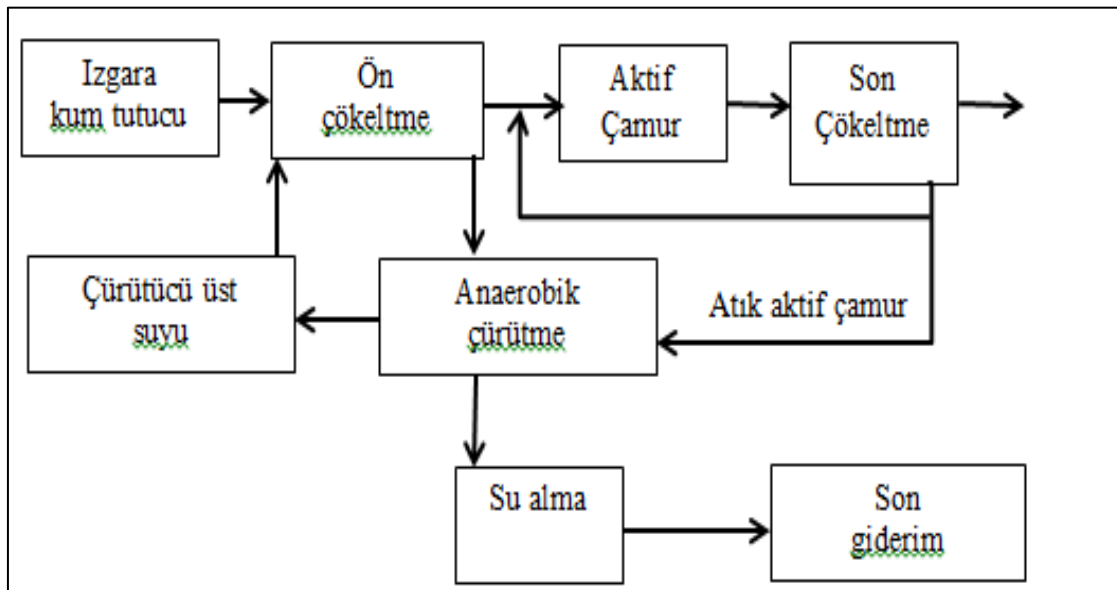
Lagünlerde bakteriyel bir çoğalma lagün içerisinde sağlanır ve organik maddeler CO<sub>2</sub> ve biyokütleye dönüştürülür. Gerekli oksijen lagüne yapay havalandırma ile verildiği gibi, genelde sistemde mikro ve makrofit aktiviteler ile fotosentetik olarak sağlanır. Pratik uygulamalarda atıksu, daha yüksek bir giderim seviyesine ulaşılması için birkaç lagünden

geçirilir. Bu teknik atıksuyun geniş alanlarda arıtımı için uygundur. En yaygın kullanılan ikincil arıtma prosesi aktif çamur sistemidir. Sudaki organik maddenin giderimini sağlayan biyokütle, sıvı içinde süspanse halde bulunur. Aktif çamur, havuz içerisinde aerobik şartlarda askıda çoğaltılmaktadır. Havalandırma havuzu içine hava, difüzörler, yüzeysel havalandırıcılarla verilir. Havalandırma tankındaki biyokütle son çökeltme havuzunda çökeltilir, bir kısmı yeniden kullanılmak üzere tesis başına gönderilir [15].

Damlatmalı filtreler de yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma yöntemidir. 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 [15].

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 [15].

Aktif çamur sistemi, genellikle büyük şehirlerde atıksuların arıtımında kullanılmaktadır. Biyolojik arıtım işlemlerinde kullanılan ikincil arıtım tesisi şeması Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. Aktif çamur sisteminin kullanıldığı ikincil arıtma şeması [18]

#### 4.3.3. Üçüncül arıtma çamuru (ileri arıtma çamuru)

İkincil arıtmadan daha yüksek kalitede arıtım sağlamak üzere uygulanan ileri arıtım basamağıdır. Oksijen tüketen maddelerin giderilmesi önemli olduğu kadar azot ve fosfor giderimi de önemlidir [15].

İleri arıtma sistemlerinden kaynaklanan çamurlar, kimyasal prosesler ve bakteriyel faaliyetler nedeniyle oluşan istenmeyen nütrientlerin (azot ve fosfor) giderilmesi için ikincil arıtma proseslerine ek olarak kurulan sistemlerde oluşmaktadır. İleri arıtım, alıcı ortam deşarj standartlarının sağlanması için gereklidir. Ortamda amonyak ve nitratin oluşumu toksiktir ve azot giderimi,  $N_2$  oluşumu ile gelişen biyolojik bir prosestir. Her bir adım spesifik bakteriler ile yürütülür ve gelişimi için farklı şartlara ihtiyaç vardır.

Fosfor giderimi ise kimyasal ve biyolojik proseslerin birlikte kullanılması ile uygulanır. Fosforun fiziksel-kimyasal giderimi ile aktif çamur tesislerinde üretilen çamur miktarı % 30 oranında artar. Biyolojik arıtma fosforun giderilmesine uygun spesifik mikro organizmalar ile yürütülür. Arıtma sırasında bakteri bünyesinde biriken fosfor, atılan çamurun arıtımını zorlaştırmaktadır [16].

#### 4.4. Arıtma Çamurlarının Karakterizasyonu

Arıtma çamurlarının işlenmesi ve giderilmesinde en önemli konu arıtma işlemleri sonucunda oluşan çamur ve katı maddelerin özelliklerinin bilinmesidir. Çamurun özellikleri, çamur ve katı maddenin kaynağına ve uygulanan arıtma işlemine bağlı olarak değişir.

##### 4.4.1. Çamurun fiziksel özellikleri

Birçok çamur türünün birim hacim ağırlığı yaklaşık olarak 1,0'dir ve bu özgül ağırlık suyun özgül ağırlığına hemen hemen eşittir. Ön çökeltme çamurunun özgül ağırlığı 1,02; atık aktif çamurun özgül ağırlığı 1,005; atık damlatmalı filtre çamuru özgül ağırlığı ise 1,025'tir.

Çamurlar için hacim-kütle ilişkisi, çamurun hacmi temel olarak su içeriğine ve içeriğindeki katı maddenin özelliğine bağlıdır. Örnek olarak; içeriğinde % 10 katı madde ihtiva eden çamur, ağırlıkça yaklaşık % 90 su içerir. Çeşitli arıtma işlemleri sonucu oluşan çamurların miktarları ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.2’de verilmektedir [18].

Çizelge 4.2. Çeşitli arıtma işlemleri sonucu oluşan çamurların miktarları ve fiziksel özellikleri [18]

| Arıtma işlemi              | Çamur katı maddelerinin özgül ağırlığı | Çamurun özgül ağırlığı | Kuru madde kg / 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> |       |
|----------------------------|----------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|-------|
|                            |                                        |                        | aralık                                         | tipik |
| Ön çökeltme                | 1,40                                   | 1,020                  | 110-170                                        | 150   |
| Aktif çamur (atık)         | 1,25                                   | 1,005                  | 70-100                                         | 85    |
| Damlatmalı filtre (atık)   | 1,45                                   | 1,025                  | 60-100                                         | 70    |
| Uzun havalandırma(atık)    | 1,30                                   | 1,015                  | 85-120                                         | 100   |
| Havalandırmalı lagün(atık) | 1,30                                   | 1,010                  | 85-120                                         | 100   |
| Filtrasyon                 | 1,20                                   | 1,005                  | 12-24                                          | 18    |
| Alg giderimi               | 1,20                                   | 1,005                  | 12-24                                          | 18    |

#### 4.4.2. Çamurun kimyasal özellikleri

Evsel ve endüstriyel nitelikli arıtma çamurlarının özellikleri kaynaklarına bağlı olduğundan kimyasal bileşimleri konusunda bir genelleme yapmak güçtür. Ancak, evsel atıksu arıtma çamurlarının özellikleri için bazı temsili değerler verilebilir. Ham, çürük ve aktif çamurun kimyasal yapısını tanımlayan özellikler Çizelge 4.3’te özetlenmektedir [15].

Besinleri de kapsayan kimyasal bileşenlerin çoğu, işlenen çamurun ve çamur işlemleri sırasında meydana gelen suyun son giderimi düşünüldüğünde önem kazanmaktadır. Yakma ve arazide giderme yöntemleri düşünüldüğünde; ağır metaller, pestisitler ve hidrokarbonların miktarı belirlenmelidir. Yakma yöntemi gibi ısı işlem söz konusu olduğunda çamurun yakıt değeri düşünülmelidir [15].

Çizelge 4.3. Ham, çürük ve aktif çamurun kimyasal yapısı [15]

| Parametre                          | Mekanik Arıtma çamuru | Biyolojik arıtma çamuru | Çürütülmüş çamur |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|
| Organik madde (KM'nin %' si)       | 60-80                 | 60-75                   | 45-60            |
| İnorganik madde (kül, KM'nin %'si) | 20-40                 | 25-40                   | 40-55            |
| Protein (KM'nin %' si)             | 20-30                 | 30-40                   | 15-20            |
| Yağ (KM'nin %' si)                 | 6-35                  | 5-12                    | 3-20             |
| Selüloz (KM'nin %' si)             | 5-15                  | 5-15                    | 5-15             |
| Azot( KM'nin %' si)                | 2-4                   | 2-6                     | 1,5-6            |
| Fosfor ( $P_2O_5$ KM'nin %' si)    | 1-3                   | 2-7                     | 1,4-4            |
| Potasyum ( $K_2O$ KM'nin %' si)    | 0-1                   | 0-2                     | 0-2              |
| Demir (sülfid olmayan)             | 2-4                   | -                       | 3-8              |
| Silisyum ( $SiO_2$ KM'nin %' si)   | 15-20                 | -                       | 10-20            |
| Ph                                 | 5-8                   | 6,5-8,0                 | 6,5-8,5          |

#### 4.4.3. Çamurun biyolojik özellikleri

Atıksuda kolloidal ve çözünmemiş olarak bulunan organik maddelerin atıksudan uzaklaştırılması, bakteriler ve aynı zamanda mantarlar tarafından olmaktadır [24].

Atıksu arıtımında meydana gelen çamurlarda iki önemli konu;

- Organizmaların sınıflandırılması,
- Hastalık yapıcı organizmaların varlığıdır [24].

Bir çamurun kütlelerinin sayılamayacak kadar çok farklı kaynağı olabileceğini ve her bir kaynaktan gelen besin ile değişik organizmaların bu kütlede yer alacağını düşünürsek, bu kütlede, hastalık yapıcı mikroorganizmaların üremesi mümkündür. Bunların cins ve miktarını belirleme zorluğundan dolayı, kimyasal özellik gibi biyolojik ve biyokimyasal özelliklerin çamur için bir genellemesini yapmak zordur [25]. Kısaca çamurdaki enzimlerden bahsedilirse, çamurda bulunan su giderici enzimlerin varlığı ile çamurların su verme kapasitesi arasında bir ilişki olduğu tahmin edilmektedir. Bu suretle doğal su verme

özellikleri iyi olmayan çamurlara enzimler ekleyerek su verme özellikleri kolaylaştırılacak veya tam tersine çamur daha kararlı hale gelecektir. Ham haldeki çökeltme çamurunun içerisinde değişik türde ve sayıda bir çok organizma içerir. Hastalık yapıcı organizma derişimi oldukça yüksektir. Aktif çamurda çok çeşitli organizmalar vardır, hepsinin belirlenmesi olanaksızdır. Sabit besin maddesi altında bile organizmalar sürekli değişim ve üreme gösterirler. Çürümüş çamurda organizma sınıfları çürütme yöntemine bağlıdır. Çürütme işlemi ile hastalık yapıcı mikroorganizmalar büyük oranda yok edilirler [26].

#### 4.4.4. Çamurun ısı değeri

Çamurun sahip olduğu ısı değeri, çamurun çeşidi ile birlikte içeriğinde mevcut bulunan uçucu madde içeriğine bağlı olarak değişir. Arıtılmamış çamurun ısı değeri, şayet çamurun içerisinde gres ve yağ var ise çok yüksektir. Mutfak öğütücülerinin kullanıldığı yerlerde, çamurun uçucu madde içeriği ve dolayısıyla ısı içeriği yüksek olacaktır. Ham çamur, çürümüş çamurdan daha yüksek ısı değerlere sahiptir. Çeşitli çamurlara ait ısı değerler Çizelge 4.4'te özetlenmektedir [15].

Bazı çamurların ısı değeri değişik türdeki kömürlerin ısı değerine (32,186 kJ/kg kuru madde) eşdeğerdir. Çamur belli miktarda su içerdiğinden ve katı maddelerin yalnızca bir kısmı yanıcı olduğundan yakıt değeri 2,299 kJ/kg çamur kadardır. Çamurdaki 0,5 kg suyu buharlaştırmak için ise yaklaşık olarak 2,0 ile 2,5 MJ ısı gereklidir. Çamuru yakabilmek için genellikle fuel oil gibi yardımcı yakıt gereklidir [15].

Çizelge 4.4. Çeşitli çamurların ısı değeri [14]

| Çamur çeşidi                               | Isıl değeri, kJ/ kg kuru madde |              |
|--------------------------------------------|--------------------------------|--------------|
|                                            | Aralık                         | Tipik değeri |
| Ham ön çökeltme çamuru                     | 23,250-29,000                  | 25,550       |
| Aktif çamur                                | 16,270-23,250                  | 20,900       |
| Anaerobik çürümüş çamur                    | 9,300-13,950                   | 11,620       |
| Kimyasal madde eklenmiş ön çökeltme çamuru | 13,950-18,600                  | 11,620       |
| Biyolojik filtre çamuru                    | 16,270-23,250                  | 19,750       |



#### 4.4.5. Çamurun gübre değeri

Çamurun gübre değeri, çamurun gübre olarak değeri içerdiği azot, fosfor ve potasyum miktarına bağlıdır. Genel olarak bu maddelerin çamurda bulunan miktarları iyi bir kimyasal gübrede aranan değerlerden daha düşüktür. Çamuru gübre olarak değerlendirirken içerdiği ağır metaller ile diğer toksik maddeler de dikkate alınmalıdır. Çamurun içerdiği besin değerleri ticari gübreler ile karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.5'te verilmektedir [27].

Çizelge 4.5. Arıtma çamurları ile ticari gübrelerdeki besin miktarlarının karşılaştırılması [28]

|                                                   | Besin, % |        |          |
|---------------------------------------------------|----------|--------|----------|
|                                                   | Azot     | Fosfor | Potasyum |
| Tarımsal amaçlı gübreler                          | 5        | 10     | 10       |
| Kararlılaştırılmış arıtma çamuru için tipik değer | 3,3      | 2,3    | 0,3      |

Arazide giderim sistemlerinin çoğunda, çamur bitkilerin büyüme gereksinimi için yeterli miktarda besine sahiptir. Bazı uygulamalarda arıtma çamurunun fosfor ve potasyum içeriği bitkinin gereksiniminin çok altında kalabilir. Bu durumda kimyasal gübre kullanımı ile eksik olan besi maddesinin eklenmesi sağlanabilir. Çamurdaki inorganik kimyasal elementler bitki ve hayvanların temel gereksinimini karşılayacak düzeylerinin çok altındadır [27].

#### 4.4.6. Çamur taneciklerinin elektriksel yükleri

Çamur taneciklerinin sahip olduğu elektriksel yük fazla ise, taneciklerin birbirlerinden ayrılması zor olacak böylelikle çamurun su bırakma özelliği zorlaşacaktır.

#### 4.4.7. Çamurun ağır metal içeriği

Atık çamurların ihtiva ettiği bazı ağır metaller, toprağa sızarak yer altı sularını kirletebilir. Yoğun sıvı içeren çamurlar sızıntı riski içerir. Hem kuru madde oranı hemde uçucu katı miktarı çamurun bertaraf uygulanacak yöntemlerinin belirlenmesinde kullanılan en önemli iki parametrelerdir. Yerinde etkili bir şekilde uygulanacak stabilizasyon prosesleri bahsi geçen maddelerin miktarlarını en aza indirgeyebilir.

Çizelge 4.6. Arıtma çamurlarında bulunan tipik ağır metal değişimleri [21]

| Metal    | Kuru madde, mg/kg |          |
|----------|-------------------|----------|
|          | Aralık            | Ortalama |
| Arsenik  | 1,1-230           | 10       |
| Kadmiyum | 1,0-3 410         | 10       |
| Krom     | 10-99 000         | 500      |
| Kobalt   | 11,3-2 490        | 30       |
| Bakır    | 84-17 000         | 800      |
| Demir    | 1 000-154 000     | 17 000   |
| Kursun   | 13-26 000         | 5 000    |
| Mangan   | 32-9 870          | 260      |
| Civa     | 0,6-56            | 6        |
| Molibden | 0,1-214           | 4        |
| Nikel    | 2-5 300           | 80       |
| Selenyum | 1,7-17,2          | 5        |
| Kalay    | 2,6-329           | 14       |
| Çinko    | 101-49 000        | 1 700    |

Ağır metal içeriği yönetmelikte belirtilen değerden fazla olan arıtma çamurlarından ağır metal giderimi için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Genel olarak bu yöntemleri katı-sıvı ayırma (ekstraksiyon) işlemleri ve fiziksel ayırma işlemleri olarak ikiye ayırabiliriz. Katı-sıvı ayırma işlemleri, ağır metallerin düşük ph koşullarında çözünür hale gelmesi ve çamurun katı fazından ayrılıp sıvı fazına geçmesi ve katı-sıvı ayırma ile çamurdan ağır metallerin uzaklaştırılması esasına dayanır. Bu amaçla kullanılacak ekstraksiyon maddeleri ya direk olarak ilave edilir (inorganik asitler, organik asitler, EDTA, vb.) veya bazı biyolojik reaksiyonlar sonucu oluşturulur (bioleaching). Fiziksel

ayırma işlemlerinde ise, ağır metallerin yoğun olarak bulunduğu katı kısım fiziksel işlemler kullanılarak ayrılır [26].

#### 4.4.8. Çamur su verme özellikleri

Doğal ve mekanik su alma işlemleri, nihai bertaraf öncesinde çamur hacmini azaltmak ve çamurda yüksek katı madde içeriğine ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu işlem daha öncede söylediğimiz gibi bertaraf maliyetini de azaltır [26]. Çamur şartlandırma işlemi ise çamurun su verme özelliğini geliştirmek ve mekanik su alma işleminin verimini arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [26].

Çizelge 4.7. Tipik aktif çamurdaki suyun dağılımı [26]

| Su Bileşeni   | Hacim |
|---------------|-------|
| Serbest su    | % 30  |
| Yumak Suyu    | % 7,0 |
| Kılcal        | % 2,5 |
| Bağlı su      | % 60  |
| Katı maddeler | % 0,5 |
| Toplam        | % 100 |

Tipik bir aktif çamurdaki suyun dağılımı Çizelge 4.7.'de, karışık çürümüş çamurdaki suyun dağılımı ise Çizelge 4.8'de verilmektedir. Çamurdaki suyun sınıflandırılmasını gösteren bu yöntem, çamurun suyunun alınması ve yoğunlaştırılması uygulamalarını değerlendirmek için kullanılabilir [26].

Çizelge 4.8. Karışık çürümüş çamurdaki suyun dağılımı [26]

| Su Bileşeni                 | Hacim |
|-----------------------------|-------|
| Hücreler arası su           | % 70  |
| Adhezyon ve hücre içi su    | % 22  |
| Adsorbsiyon ve hücre içi su | % 8   |
| Toplam                      | % 100 |

Çizelge 4.9. İçerdikleri su miktarına göre çamurların yapısı ve tanımı [29]

| Su miktarı (%) | Yapısı ve Tanımı       |
|----------------|------------------------|
| > % 85         | Sıvı ve pompalanabilir |

|           |                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------|
| % 65-75   | Yapışkan, saptanabilir, henüz plastik ve macunsu |
| < % 60-65 | Yapışkan değil, ufalanabilir, kırıntı yapı       |
| < % 35-40 | Saçılabilir, dağılabilir, kalıcı sertlikte       |

#### 4.4.9. Çamur katı madde içeriği

İşlem görmüş çamurlarının sabitleme özelliğine sahip olup olmadığının bilinmesi nihai bertaraf yöntemi olan depolanma aşamasına önem kazanmaktadır. Çamur bünyesindeki fazla sıvı özellikli madde içeriği, arıtma çamurlarından sızıntı riskini arttırmaktadır. Bu durum çamurun bertarafında ve nakliyesinde maliyetin artmasına neden olur. Ayrıca arıtma çamurlarının vizkozite özelliklerinin bilinmesi, bertaraf sahalarının maksimum hacminin belirlenebilmesi açısından önemli olmaktadır.

Çamurun katı madde içeriği olduğu arıtma kademesine göre değişim göstermektedir. Örneğin; ön çökeltim havuzunda oluşan çamur genellikle % 3-5,0 aktif çamur havuzunu takiben yer alan son çökeltim havuzunda oluşan çamur % 0,5-2,0 graviteli yoğunlaştırıcı çıkışı yoğun çamur % 5-10 katı madde içermektedir. Çizelge 4.10'da çeşitli arıtma kademelerinde oluşan arıtma çamurlarının tipik katı madde konsantrasyonları verilmektedir [26].

Çizelge 4.10. Çeşitli arıtma kademelerinde oluşan arıtma çamurlarının tipik katı madde konsantrasyonları [26]

| Çamur Tipi                     | Katı Madde           |       |
|--------------------------------|----------------------|-------|
|                                | Konsantrasyonu, % KM |       |
|                                | Aralık               | Tipik |
| Ön Çökeltim Çamuru             | 1,0-10,0             | 5,0   |
| Aktif Çamur                    | 0,8-2,5              | 1,3   |
| Damlatmalı Filtre Humusu       | 1,0-3,0              | 1,5   |
| Ön Çökeltim Çamuru Aktif Çamur | 0,5-1,5              | 0,8   |
| Anaerobik Çürütülmüş Çamur     | 5,0-10,0             | 8,0   |

#### 4.5. Çamur İşleme Yöntemleri

Hem evsel hem de endüstriyel arıtma tesislerinden açığa çıkan işlenmiş çamurlarının bertarafa ayrılmadan önce mutlaka işlenmesi gerekmektedir. İşlem görmemiş çamur içindeki önemli miktarlarda koku veren maddelerin olması, biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamurun, ham atıksu içerisindeki organik maddelerden farklı bir yapıda, bozunma ve kokuşma eğiliminde olması, çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması, bu yüzden büyük hacimler işgal etmesi ve de içerisinde patojen mikroorganizma olmasından dolayı katı atık bertarafa verilmeden önce mutlaka işlem görmesi gerekmektedir [30].

Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurun işlenmesi ve depolanması için seçilecek yöntem, atıksu karakterizasyonuna, arıtmada kullanılan kimyasal maddelere, ilgili mevzuata bağlıdır. Arıtma çamurunun bertarafı işlemi de ayrı bir gider kalemi olacağından, atıksu arıtma tesisi kurulurken bu husus göz önüne alınmalı ve projelendirme bu hususa göre yapılmalıdır.

Maliyetler yerel şartlara ve işleme tesisinin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Arıtma çamurunun işlenmesi ve bertarafı ile ilgili değişik seçeneklerin doğru bir karşılaştırmasını yapabilmek için öncelikle yıllık yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve son ürünün tekrar kullanımına bağlı olarak oluşacak üç maliyet kaleminin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir [30].

Arıtma işlemlerinde kullanılan çöktürme birimlerinde, ayrı ayrı özelliklere ve kaliteye sahip çamurlar birikir. Oluşan bu çamurların doğal habitata etkisinin minimize edilebilmesi içine mutlaka atıksu arıtma tesisinde işlem görmesi ve seçilen tekniklerle zararsız hale getirilmesi gerekmektedir.

Tesis çıkışı arıtma çamurlarının su, patojen içeriklerinin ve fermentasyon kapasitesilerinin azaltılması için işlem uygulanır. Çizelge 4.11’de, çamur arıtma proseslerinin farklı uygulamaları tanımlanmıştır. Çamura farklı arıtma yöntemlerinin uygulanması amaca bağlı olarak değişmektedir [2].

Atıksu arıtma tesisleri, atıksuların doğal ortamlara doğrudan doğruya verilmesi durumunda meydana gelebilecek çevre felaketlerinin etkileri en alt düzeye indirgeyebilmek için inşa edilmektedir. Bu sebeple, her atıksuyun farklı karakterislik

özellikleri sahip olduğu düşünüldüğünde bunların arıtımı için de uygulanacak arıtma işlemi de farklılık arz edecektir.

Çamura uygulanan birim işlemler ve yöntemlerin amacı; Çamurun su ve organik madde içeriğini azaltmak, son giderim ve tekrar kullanımını sağlamaktır [27]. Çamurların işlenmesi ve gideriminde kullanılan temel yöntemler Çizelge 4.11’de özetlenmektedir. Yoğunlaştırma, şartlandırma, suyunu alma ve kurutma; çamurdaki suyun giderilmesi için uygulanır. Çürütme, kompostlama, yakma ve yaş yakma; çamur içindeki organik maddelerin kararlaştırılması için kullanılır. Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi çamur işlenmesi ve giderimi için sonsuz sayıda proses oluşturmak olasıdır [23].

Çizelge 4.11. Çamurun arıtma prosesleri [23]

| Prosesler     | Prosesin türü                                                                                                                                                    | Hedefler                                                                                                                                                                                                            |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şartlandırma  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kimyasal şartlandırma</li> <li>• Termal şartlandırma</li> </ul>                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Çamurun yapısının modifikasyonu</li> <li>• İleri arıtmalara hazırlanması</li> </ul>                                                                                        |
| Yoğunlaştırma | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yer çekimi ile yoğunlaştırma</li> <li>• Çamur yatağı ile yoğunlaştırma</li> <li>• Çözünmüş hava ile yüzdürme</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uygulanacak uzaklaştırma yöntemlerinin veriminin artırılması, gerekli yoğunluk ve katı madde içeriğinin sağlanması</li> <li>• Çamurun su içeriğinin azaltılması</li> </ul> |
| Susuzlaştırma | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurutma yatakları</li> <li>• Santrifüj</li> <li>• Bant filtre</li> <li>• Filtre pres</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Çamurun su içeriğinin azaltılması</li> </ul>                                                                                                                               |

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stabilizasyon<br>ve/veya<br>dezenfeksiyon | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biyolojik prosesler</li> <li>• Anaerobik çürütme</li> <li>• Aerobik çürütme</li> <li>• Uzun süre sıvı fazda bekletme</li> <li>• Kompost</li> <li>• Kimyasal prosesler</li> <li>• Kireçle işlem</li> <li>• Nitrit işlem</li> <li>• Fiziksel prosesler</li> <li>• Termal kurutma</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Koku gelişimin azaltılması</li> <li>• Çamurdaki patojen içeriğin azaltılması</li> </ul> |
| Termal<br>Kurutma                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direkt</li> <li>• İndirekt</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Su içeriğinin büyük oranda azaltılması</li> </ul>                                       |

#### 4.5.1. Şartlandırma

Çamur şartlandırma işlemi, nihai bertaraf öncesinde çamurun içeriğindeki suyun uzaklaştırılması amacıyla uygulanan ve yoğunlaştırma veya su alma işlemlerinde çamurun suyunu daha kolay vermesini sağlamak amacıyla uygulanır. Çamur şartlandırma, su içinde bulunan kolloidal veya partikül haldeki askıda katı maddelerin üstünde, fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin etkisiyle oluşan elektriksel yükleri nötralize etmek veya kararsız hale getirmek demektir. Şartlandırma işlemi sırasında küçük ve şekilsiz partiküller daha büyük ve parçalanması daha zor parçalar haline dönüştürülür. Bu şekilde sulu çamurdaki katı-sıvı faz ayırımı kolaylaşır [21].

Arıtma çamurlarına, susuzlaştırma veya yoğunlaştırılma için başlangıçta termal veya kimyasal bir şartlandırma uygulanabilir. Kimyasal şartlandırma, tuzlar, kireç veya organik bileşikler kullanılarak yapılmaktadır. Termal şartlandırma ise, 30 ile 60 dakika, boyunca 150-200 °C’de çamurun ısıtılması ile uygulanmaktadır. Isı, susuzlaştırma işlemine yardımcı olur ve çamurun fiziksel yapısını değiştirir. Yanı sıra, organik maddenin bir kısmının proses süresince hidrolize olmasını sağlayarak kirleticilerin filtrasyonunu, kokunun önlenmesini sağlar. Sıcaklığın 40-50 °C’ye kadar ısıtılması ile termal şartlandırmanın gelişimi kısmen mümkün olmaktadır. Bu çözüm daha sonra yapılacak santrifüjdeki birikmeleri ve filtrasyonda oluşacak suyu azaltmaktadır. Tüm bu işlemlerin avantajları, dezavantajları ve uygulanabilirlikleri Çizelge 4.12’de özetlenmiştir [2].

Çizelge 4.12. Farklı şartlandırma proseslerinin karşılaştırılması [2]

| Şartlandırma                 | Avantajları                                                                                                                                                                                       | Dezavantajları                                                                                                                                       |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kimyasal<br>(mineral yapıda) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Çamurun yoğunluğu ve kohezyonu gelişimi</li> </ul>                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Çamur miktarı artması</li> <li>Organik madde miktarı azalması</li> <li>Yavaş yürüyen bir reaksiyon</li> </ul> |
| Kimyasal<br>(organik yapıda) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Çamur kütlelerinin azalması</li> <li>Tarımsal değerinde değişme olmaması</li> <li>Düşük miktarlarda kullanım</li> <li>Kolay kullanım ve taşınma</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ürünlerin maliyeti</li> </ul>                                                                                 |
| Termal                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tüm çamurlara uygulanabilirliği</li> <li>Yeterli ve kararlı birproses</li> <li>Stabilizasyon ve dezenfeksiyon</li> <li>Düşük çamur miktarı</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Enerji tüketimi</li> <li>Koku</li> <li>Filtrelerde kirlilik yükü artışı</li> </ul>                            |

#### 4.5.2. Yoğunlaştırma

Yoğunlaştırıcıların kullanılmasındaki ana amaç, çamur içindeki katı madde oranını artırmaktır. Çürüme işlemi öncesinde çamur yoğunlaştırıcı kullanımı tesis için gerekli olan çürütücü hacminin azalmasını sağlayacaktır [24].

Yoğunlaştırma işlemi için kullanılan iki yöntem vardır [24]:

*Gravite (yerçekimi) ile yoğunlaştırma:* Bu ünitenin çalışma prensibi çökeltim havuzlarıyla benzerdir. Orta bölümden giren katı maddeler yoğunlaştırıcı içinde radyal olarak dağılır ve çamur katı maddeleri tank tabanından alınır. Katı maddelerden ayrılan su savaklar yardımıyla tank yüzeyinden toplanır [24].

*Flotasyon yoğunlaştırma (yüzdürme):* Özgül ağırlığı 1,0'den küçük olan arıtma çamurlarının graviteli yoğunlaştırıcılarda yoğunlaştırılmaları çok zordur. Bu tür çamurların yoğunlaştırılması için flotasyon yoğunlaştırıcılar kullanılır. Flotasyon yoğunlaştırıcılarda tank içine verilen hava kabarcıkları partiküllere yapışarak onları içinde bulundukları sıvıdan daha hafif hale getirir ve yüzeye doğru yükselmelerini sağlar. Yüzeyde toplanarak biriken çamur yüzeyden sıyrılarak uzaklaştırılır [26]. Çizelge 4.13'te farklı yoğunlaştırma sistemleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir [24].

Çizelge 4.13. Farklı yoğunlaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması [26]



|                            | Avantajları                                                                                                                               | Dezavantajları                                                                                                                 |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yerçekimi ile              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolay uygulama</li> <li>• Düşük enerji tüketimi</li> <li>• Düşük yatırım maliyeti</li> </ul>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Büyük hacimlerde uygulama</li> <li>• Biyolojik çamurlarda düşük performans</li> </ul> |
| Çözünmüş hava ile yüzdürme | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolay uygulama</li> <li>• Küçük alanda uygun</li> <li>• Düşük H<sub>2</sub>S emisyonu</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Değişik şartlara adapte olmaması</li> <li>• Yüksek enerji tüketimi</li> </ul>         |

#### 4.5.3. Susuzlaştırma

Susuzlaştırma, yoğunlaştırma sürecinden bir sonraki adımdır ve çamurun su muhtevasının azaltılmasını sağlar. Arıtma tesislerinde çeşitli işlemler gördükten sonra açığa çıkan çamurun nihai bertaraf yapılarak uzaklaştırılması için içerisindeki sıvıyı bırakıp katı forma geçmesi gerekmektedir.

Bu sebeple çamur içindeki sıvı miktarını azaltmak için kullanılan mekanik ve doğal yollarla su alma işlemleri, çamurun yüksek oranda katı madde içeriğine ulaşmasını amaçlamaktadır. Susuzlaştırma aşağıdaki sebeplerden dolayı yapılmaktadır [24]:

- Su alma ile çamur hacmi azaltıldığından, çamurun nihai bertaraf sahasına taşınması maliyeti önemli ölçüde azalacaktır,
- Suyu alınmış çamur, yoğun veya sulu çamura göre daha kolay işlenir. Birçok durumda suyu alınmış çamur traktörlerle taşınabilir, bantlı konveyörlerle iletilebilir,
- Yakma işleminden önce çamurun su içeriğini azaltmak suretiyle enerji değerini artırmak mümkün olacaktır,
- Bazı durumlarda çamurun kokusunun önlenmesi için aşırı nemin giderilmesi gerekir,
- Mono deponilerde, depolama sahasında sızıntı suyu oluşumunu azaltmak için depolama öncesi çamurun suyunu almak gereklidir,
- 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 [15].

Susuzlaştırma işlemi için kullanılan iki yöntem vardır:

*Belt filtre ile susuzlaştırma:* Üç aşamanın bulunduğu sonsuz bir belt filtreden oluşmaktadır: şartlandırma, cazibeli drenaj ve sıkıştırma. Floklaştırılmış çamur belt üzerine beslenir, belt arasından geçen su çamurdan ayrılır. Yüksek basınçlı yıkama ünitesi ile bandı sürekli yıkanır [2].

*Santrifüj (dekantör)susuzlaştırma:* Santrifüjleme işleminde, merkezkaç kuvveti etkisi altında çamur katı maddeleri çamur suyundan ayrılır. Santrifüjlerde merkezkaç kuvveti, sulu çamurun içinde bulunduğu rotor tarafından oluşturulmaktadır. Çamur suyu savaklanarak sistemden uzaklaştırılır. Santrifüj yoğunlaştırıcılar, çamuru hem yoğunlaştırmak hem de suyunu almak için kullanılırlar [26].

#### 4.5.4. Kurutma

Çamurların kurutulması, çamur hacminin azaltılmasını ve kuru madde oranının % 90 olması halinde dezenfeksiyon ve stabilizasyonu sağlamaktadır. Ayrıca termal oksidasyon öncesinde, çamurun kalorifik değeri artırılır, taşıma maliyetleri azalır. Kurutma termal bir prosestir. Isı, çamur üzerine doğrudan veya dolaylı verilebilir. Kurutucuların en önemli tipleri, döner tamburlu kurutucular ve akışkan yatak kurutuculardır.

Kurutma, farklı sıcaklıklarda uygulanabilirse de 300 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda, dioksin ve furan bileşiklerinin oluşumunun kontrol edilmelidir [2]. Kuru madde miktarı % 35-90'a kadar yükseltilebilir. Kısmi ısıtma ile de kuru madde miktarının % 30-45'e çıkartarak çamurun yanabilmesi mümkün olmaktadır. Kurutma ile nem seviyesi azaltılarak bakteriyolojik faaliyet tamamen engellenir. Enerji ihtiyacı giderilen su hacmi karşılaştırıldığında susuzlaştırmadan daha fazladır [2].

Termal olarak kurutulmuş çamur gübre ya da toprak iyileştiricisi olarak kolayca pazarlanabilmekte ve karayolu yol dolgu malzemesi olarak kullanılabilmekte veya deponiyede kabul görmektedir. Termal kurutma metotları kontakt ve konveksiyon kurutma prosesleri olarak ikiye ayrılır. Kontakt kurutma prosesinde ısı dolaylı olarak ısıtılan yüzey üzerinden çamura aktarılırken konveksiyon kurutma prosesinde partiküllere doğrudan verilir [31].

*Konveksiyonla Kurutma:* Çamurların kurutulması, çamur hacminin azaltılmasını ve kuru madde oranının % 90 olması halinde dezenfeksiyon ve stabilizasyonu sağlamaktadır. Ayrıca termal oksidasyon öncesinde, çamurun kalorifik değeri artırılır, taşıma maliyetleri azalır. Kurutma termal bir prosestir. Isı, çamur üzerine doğrudan veya dolaylı verilebilir. Kurutucuların en önemli tipleri, döner tamburlu kurutucular ve akışkan yatak kurutuculardır. Kurutma, farklı sıcaklıklarda uygulanabilirse de 300 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda, dioksin ve furan bileşiklerinin oluşumunun kontrol edilmelidir [2].

Kuru madde miktarı % 35-90'a kadar yükseltilebilir. Kısmi ısıtma ile de kuru madde miktarının % 30-45'e çıkartarak çamurun yanabilmesi mümkün olmaktadır. Kurutma ile nem seviyesi azaltılarak bakteriyolojik faaliyet tamamen engellenir. Enerji ihtiyacı giderilen su hacmi karşılaştırıldığında susuzlaştırmadan daha fazladır [2]. Termal kurutma metotları kontakt ve konveksiyon kurutma prosesleri olarak ikiye ayrılır. Kontakt kurutma prosesinde ısı dolaylı olarak ısıtılan yüzey üzerinden çamura aktarılırken konveksiyon kurutma prosesinde partiküllere doğrudan verilir [31].

*Kondüksiyonla veya kontakt kurutma:* Diskli kurutucular kontakt kurutmada kullanılan en yaygın kurutucu tipidir. Bu kurutucular sabit ve yataydırlar. Isı transferi kurutucunun ceket kısmındaki buharın sirkülasyonu ile gerçekleşir. Kurutucunun döner karıştırıcısı, üzerinde disk ya da pedal biçiminde bir seri kanatçıklar olan içi oyuk bir şafttır. Bu şaft sayesinde çamur, ünite boyunca iletilir ve oyuk sayesinde de ek ısı transfer yüzeyleri elde edilmiş olur. Diğer bir kondüksiyonlu kurutucu da, çamuru ayrı bir peletleme makinasına ihtiyaç duymadan enerji etkin işlemle kuru ve peletlenmiş hale getiren dikey bir kurutucudur. Bu kurutucu kızgın yağ ile ısıtılan yatay tepsilerden oluşur. Kurutulmuş çamurun bir kısmı geri çevrilerek kurutucuya girmeden önce mekanik olarak suyu giderilmiş yaş çamurla kaplanır. Çamur tepsiler üzerinde merkezi şafta bağlı bir mekanizma ile hareket ettirilerek, tepside tepsie geçişi sağlanır. Bu sayede çamur sürekli olarak karıştırılıp altüst edilir ve

daha iyi bir ısı transferi elde edilmiş olur. Kurutma işlemi sonunda elde edilen ürün tozsuz ve sterildir. Bu ürün azot, fosfor ve diğer besleyicileri sağlayan gübre ya da toprak iyileştirici olarak kullanılır. Amerika’da kısıtlı kullanıma sahip olan kontakt kurutucular Avrupa ve Japonya’da atıksu arıtma çamurlarının % 50-% 90 arası katı içeriğine ulaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kontakt kurutucularda yakma proseslerinden artan ısılar kullanılabilir. Bunlar yoğunlaşmayan gaz ürettiklerinden koku kontrolünü gerektirmezler. Düşük hacimde taşıyıcı hava kullanıldığından toz problemi yaratmazlar ve yangın ve patlama gibi tehlikeleri içermezler [31].

*Güneşle Kurutma:* Güneşle kurutma diğer metotlara oranla daha düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilen bir metottur. Bu metotla kurutmada ıslak çamur özel olarak hazırlanan sera şeklindeki alanlarda kurutulur. Bu alanlar son derece şeffaf, kontrolsüz hava değişimini ve dolayısıyla da gereksiz ısı kaybını önleyen özel örtülerle kaplanmıştır. Ünite içinde bulunan vantilatörlerle optimal hava akım hızı sağlanarak ortam havasının kurutma potansiyeli devreye sokulmaktadır. Islak çamur elektrikle çalışan karıştırıcılarla paçallanmakta böylece kurutma daha da hızlandırılmış ve homojen hale getirilmiştir. Ayrıca bu kurutma sistemleri özel olarak hazırlanmış drenaj sistemlerine sahip olduğu için mekanik ön su giderme işlemlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Güneşle kurutmada, iklim şartları ve çamurun kuruma karakteristikleri kurutma tesisinin dizaynını belirleyen parametrelerdir. Kurutma için gerekli alan; çamurun özellikleri ve yağış alma, bağıl nem ve sıcaklık gibi atmosferik koşullara bağlıdır [31].

#### 4.5.5. Stabilizasyon

Çamur stabilizasyonundaki amaç, belli başlı patojenlerin etkilerini yok etmek, istenilmeyen kokuların önüne geçilmek suretiyle kokuşmanın engellenmesidir. Dolayısıyla, çamurun uçucu bileşeninin stabilizasyonu gerekmektedir [32]. Çamur stabilizasyonu için kullanılan yöntemler aşağıda kısaca anlatılmıştır [24].

*Kireç Stabilizasyonu:* Kireç, çamurun suyunu verme özelliklerini geliştirmek için kullanıldığı gibi çamur stabilizasyonu amacıyla da kullanılmaktadır [24]. Organik maddeyi stabilize etmek için kireç kullanımı yeni bir konu olmamakla birlikte, suyu alınmış atıksu arıtma tesisi çamurlarının kireç kullanılarak son işlemlerden geçirilmesi oldukça yeni bir uygulamadır. Bu işlemde, sönmüş veya sönmemiş kireç, karıştırıcılar veya bantlar

yardımıyla karışımın ph'ını derecesini yükseltmek için suyu alınmış çamur ile karıştırılır. Su ve kirecin ekzotermik reaksiyonu karışımın sıcaklığını kurt yumurtalarının inaktif olması için yeterli sıcaklık olan 50 °C'nin üzerine yükselteceğinden sönmemiş kireç tercih edilir [2].

Kireç ile stabilizasyonun bazı dezavantajları:

- Yüksek ph'lı topraklarda kullanıma uygun olmaması,
- Diğer stabilizasyon yöntemlerine kıyasla arıtma çamurunun hacminin % 15 ile % 50 arasında artması,
- Proses aşamasında ve arazi uygulamaları sırasında koku oluşumu,
- Kullanımdan önce saklanması ve ph değerinin 9,5'in altına düşmesi durumunda patojen oluşturma riski,
- Proses sırasında azotun amonyağa dönüşerek atmosfere salınması nedeni ile azot içeriğinin diğer yöntemlere oranla daha düşük olmasıdır [24].

Kireç ile stabilizasyonun avantajları:

- Kullanım özelliği olan ve satılabilir nitelikte ürün açığa çıkar,
- Kireçle stabilize olmuş çamurda patojen oluşum riski bulunmamaktadır,
- Koku giderilerek sinek oluşumunun önüne geçilir,
- Yatırım maliyeti düşüktür ve küçük mekânsal alanlara gereksinimi vardır,
- Güvenilir sonuçlar için basit nitelikte teknolojiye ve insan yeteği yeterlidir,
- Tesisi kolay, ara parçalara kısa sürede ulaşılır,
- Katı madde oranı yükselir, yapıyı kuvvetlendirir, işlenme özelliğini geliştirir [24].

*Isıl İşlem:* Isıl işlem, 30 dakika gibi kısa zaman aralığında, 2 760 kN/m basınç altında ve 260 °C üzerindeki sıcaklıklarda çamurun ısıtılmasıdır. Isıl işlem hem bir stabilizasyon, hem de kimyasal madde kullanılmaksızın yapılan bir şartlandırma işlemidir. Yüksek sıcaklık ve basınç, çamurdaki bağlı suyu açığa çıkarır ve katı maddelerin flokleşmalarını sağlar. Bu işlem diğer yollarla şartlandırılması ve stabilize edilmesi güç olan biyolojik çamurlara yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek yatırım maliyeti, ısıl işlemin büyük tesislerde kullanımını sınırlayıcı bir faktördür. Isıl işlem sonucu oluşan çamur üst suyunun

BOİ'si yüksektir, arıtma tesisi giriş suyuna verilmeden önce ayrı olarak arıtılması gerekmektedir [2].

Isıl işlemin avantajları şunlardır:

- Susuzlaştırılan çamurun katı muhtevası, istenen oksidasyon derecesine bağlı olarak, % 30 ila 50 arasında değişmektedir,
- Proses, çamuru stabilize eder ve bir çok patojenik organizmaları yok eder,
- Isıl işlemde geçmiş çamurun uçucu katı maddelerin gramı başına 28 ila 30 kj ısı değeri vardır (28-30 kj/gr uçucu katı),
- Bu proses, çamur bileşimindeki değişikliklerden nispeten etkilenmemektedir,
- Uçucu katıların tam oksidasyonu (yaklaşık % 90 azalma) yüksek basınç ve sıcaklıkla sağlanır [2].

Isıl işlemin en önemli dezavantajları ise şunlardır:

- Mekaniğinin karmaşıklığı ve korozyona dayanıklı malzemelerin kullanımı dolayısıyla ilk yatırım maliyeti yüksektir,
- Yakın kontrol ve tecrübeli eleman gerektirir,
- Proses yüksek organik konsantrasyonlu, renkli yan akım oluşturur,
- Oldukça kokulu ve daha sonra arıtılması gereken gaz üretir,
- Isı değiştiricilerde, reaktör ve borularda tortu oluşumuna sebep olur. Bu sebeple asitle yıkama ve basınçlı su gerektirir [34].

*Anaerobik Çürüme:* Anaerobik çürüme, çamurun şartlandırılması için yıllardır kullanılan proseslerden biridir. Molekülerin, oksijensiz ortamda organik ve inorganik maddeleri parçalaması işlemi olarak adlandırılır [24]. Anaerobik bozunma, yaklaşık 350 °C'de ısıtılmış tanklarda çamurun ayrışması ile uygulanmakta ve çamur hacminin azaltılması, stabilizasyon ve kısmen dezenfeksiyon için yapılmaktadır. Bozunma üç ana fazda gerçekleşir: makro moleküllerin daha küçük bileşiklere hidrolizi, küçük bileşiklerden asidik bileşiklerin üretilmesi ve gazlaşma ile metan ve karbondioksitin üretilmesidir [2].

Anaerobik çürütme yöntemiyle, çamur daha stabil bir yapıya dönüşmekte, böylelikle hacim küçülmekte ve metan gazı açığa çıkmaktadır. Bu işlem sırasında dikkat edilmesi gereken husus çürütmenin optimum süreye ulaşması için gereken süredir [34]. Bu bekletme süresi en az 10 gün olmalıdır. Genelde 20 ila 60 gün arasında değişir. Ph değeri 6'nın üstünde kalmalıdır. CO<sub>2</sub> çok önemli bir parametredir. % 25'in altına inmesi ve % 45'in üstüne çıkması tehlike yaratabilir. Sıcaklık diğer önemli bir parametredir. Mikroorganizmalar performanslarına göre iki gruba ayrılmışlardır. 27-43 °C arasında kalanlar mezofilik, 45-65 °C arası termofiliktir [34]. Anaerobik çamur çürütmenin diğer çamur stabilizasyon işlemlerine göre avantajları aşağıda verilmiştir [32]:

- Proses sonucu oluşan metan gazının kalorifik değeri yüksek olduğundan birçok arıtma tesisinde enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Üretilen enerji çamur çürütücülerin ısıtılmasında ve reaktör karıştırılmasında kullanılmaktadır,
- Ham çamurdaki katı madde gideriminin % 25-50 civarında olması çamur uzaklaştırma maliyetini düşürmektedir,
- Anaerobik çürüme sonrası oluşan stabilize olmuş çamur kokusuzdur ve kokuşma gerçekleşmeksizin depo edilebilir. Organik maddelere ilave olarak, azot, fosfor ve diğer besin maddelerini de içeren bu çamur toprağın verimini artırır,
- Bekletme süresi daha uzun olduğu için patojenlerin büyük bir kısmı zararsız hale gelir.

Anaerobik çamur çürütmenin başlıca dezavantajları ise aşağıdaki gibidir:

- Besleme için pompalar, çamur karışımı, ısı değiştiriciler ve gaz karışımı için kompresörler ile donatılmış büyük ve ağız kapalı tanklar daha yüksek yatırım maliyeti gerektirir.
- Metan üreten bakterilerin sürdürülebilirliği için 10 günden daha fazla bekletme sürelerine ihtiyaç duyulur.
- Çürüme sonrası oluşan üst faz suda askıda katı madde, çözünmüş ve partikül organik maddeler, azot, fosfor ve diğer bileşikler bulunmaktadır.

Bu geri devir akımı, atıksu arıtma tesisinin katı madde yükleme oranını, oksijen ihtiyacını ve besin maddesi yükünü artırır [32].

*Aerobik Çürütme:* Arıtma işlemleri sonucu oluşan çamurların biyolojik şartlandırılması için kullanılan bir proses türüdür. Atık durumdaki çamur veya damlatmalı filtre çamurları ve ön çökeltim çamuru karışımları, ön çökeltimi olmayan aktif çamur tesislerinden gelen atık çamurların stabilizasyonunda kullanılabilir [26]. Bu yöntemle arıtma çamurlarına aerobik mikroorganizmaların bulunduğu havuzlarda stabilizasyon uygulanmaktadır. Aerobik bakterilerin organik maddeleri parçalaması ile ısı oluşur, sıcaklık 70 °C'nin üzerine yükselir. Bu yüksek sıcaklık, zararlı mikroorganizmaların büyük çoğunluğunun yok edilmesini için yeterli olmaktadır. 50-65 °C sıcaklıklarda 5-6 gün bekletilen çamurda uçucu maddeler % 40 oranında azalır. Aerobik bozunma basit ancak anaerobik bozunmaya göre 5-10 kez daha fazla enerjiye gereksinim duyar [2]. Aerobik çürütmenin anaerobik çürütmeye göre avantajları şunlardır:

- Uçucu katı madde giderimi, anaerobik çürütmedeki giderime hemen hemen eşittir,
- Humusa benzer, kokusuz, biyolojik olarak stabil olmuş son ürün oluşur,
- Çamurdaki gübre değerlerinin geri kazanımı daha yüksektir,
- İşletimi nispeten daha kolaydır ve ilk yatırım maliyeti düşüktür [33].

Dezavantajları ise şöyle sıralanabilir:

- Gerekli oksijeni sağlamak için enerji maliyeti yüksektir,
- Proses, sıcaklıktan, yerden, tank malzemesinin özelliklerinden önemli derecede etkilenmektedir,
- Metan gibi faydalı yan ürünler, geri kazanılamamaktadır [33].

#### **4.5.6. Dezenfeksiyon**

Çamurun araziye serilmesi ve yeniden kullanımı için yasal düzenlemelerin sıklaştırılması, çamur dezenfeksiyonunun önemini artırmıştır. Çamur araziye serildiğinde halkın patojenik mikroorganizmalarla temasının kontrol altına alınması ve mümkün olduğunca en aza indirilmesi gerekir. Bu nedenle çamur dezenfeksiyonu, son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Aşağıdaki yöntemler stabilizasyonun yanı sıra patojen azaltma içinde kullanılmaktadır [35]:



- Pastörizasyon,
- Isı ile şartlandırma, ısı ile kurutma, yakma, piroliz veya kısmi hava ile yanma gibi termal prosesler,
- Yüksek Ph ile arıtma ve çamurun uzun süre depolanması,
- Çamuru dezenfekte ve stabilize etmek için klor ilave etmek [35].

#### **4.6. Atıksu Arıtımının Arıtma Çamuru Bileşimine Etkisi**

Arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertarafında en önemli konu arıtma işlemleri sonucu oluşan çamur ve katı maddelerin karakterinin bilinmesidir. Çamurun özellikleri, çamur ve katı maddenin kaynağına ve uygulanan arıtma prosesine bağlı olarak değişir. Ham ön çökeltme çamurunun katı madde içeriği % 4-8'dir, kokusu fazla, drenaj kabiliyeti zayıftır. Kurutma yataklarında zor drene olur, fakat mekanik olarak suyunu almak mümkündür. Filtre humusu ise atık aktif çamur gibi hafif, yumuşak bir çamurdur. % 0,5 ile % 1,5 katı madde içerir, rengi sarıdan siyaha değişir.

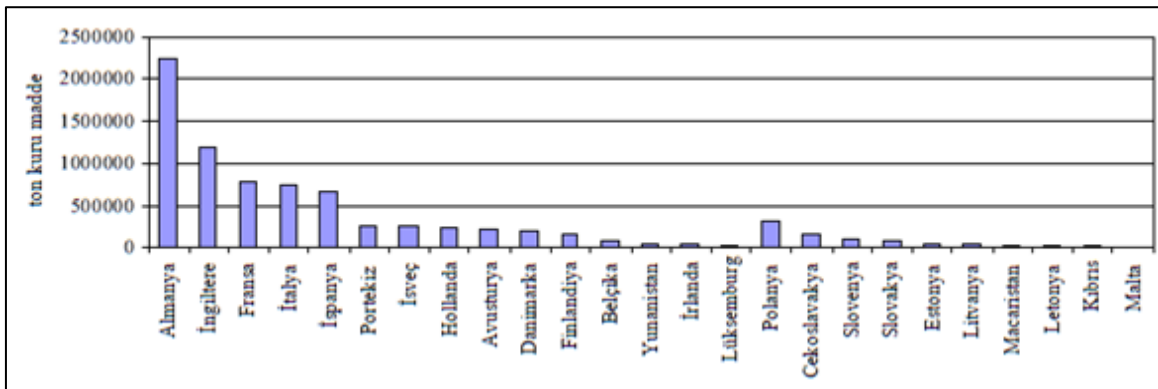
Aktif çamur tesislerinde oluşan çamurun türü, işletme yöntemine, giriş atıksu özelliklerine ve sistemde bulunan mikroorganizma türüne bağlıdır. Anaerobik çürütülmüş çamurun kurutma yataklarında suyunu almak mekanik olarak suyunu gidermekten daha kolaydır. Rengi koyudur, küf kokusu hissedilir.

Ön çökeltme çamuru ve atık aktif çamur karışımı olan karışık çürük çamur, açık kahve renkli ve kokusuzdur. Düşük katı madde konsantrasyonuna sahiptir ve yüksek biyolojik aktivitesinden dolayı suyunu almak, dolayısıyla nihai bertarafı zordur [2].

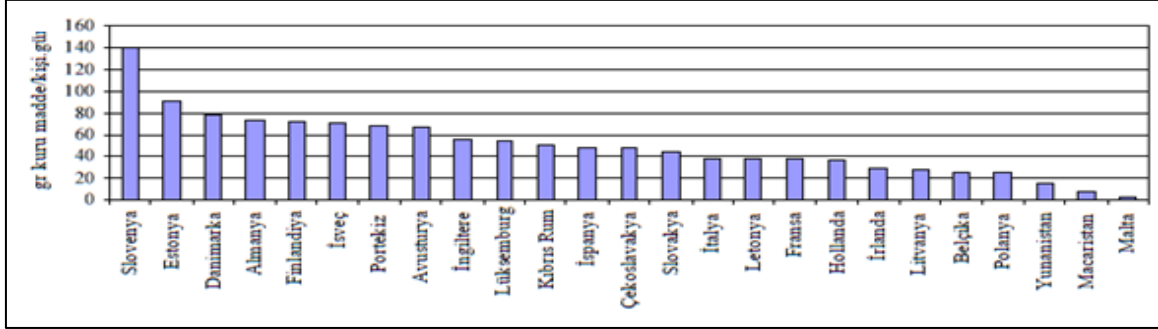
## 5. AVRUPA BİRLİĞİ İLE TÜRKİYE'DE ARITMA ÇAMURU DURUMU

### 5.1. Avrupa Birliği'nde Arıtma Çamuru Durumu

Avrupa Birliği ülkelerinde yaklaşık 6,5 milyon ton kuru madde/yıl arıtma çamuru oluşmaktadır. Şekil 5.1'de de görüleceği gibi, Almanya en yüksek miktarda çamur üreten ülkedir. İngiltere, Fransa, İtalya ve İspanya ise yılda 500 000 ton kuru maddeden daha fazla arıtma çamuru üretmektedir. Bu ülkeler Avrupa Birliğinin toplam çamur üretiminin % 75'ini oluşturmaktadır. Diğer ülkeler için ortalama çamur üretimi 250 000 ton kuru maddeden daha az olmaktadır. Arıtma çamuru genellikle ton kuru madde olarak ifade edildiğinden, oluşan ham çamur yaklaşık olarak bu miktarın 10 katı kadardır [2]. Dolayısıyla Avrupa Birliğinde oluşan toplam ham çamur miktarı yaklaşık 65 milyon tonu bulmaktadır. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de Avrupa Birliği'ne üye ve yeni üye olan ülkelere arıtma çamuru üretimi ile kişi başına günlük miktarlar verilmiştir [2].



Şekil 5.1. Avrupa birliği ülkelerinde arıtma çamuru üretimi (ton kuru madde/yıl) [2]

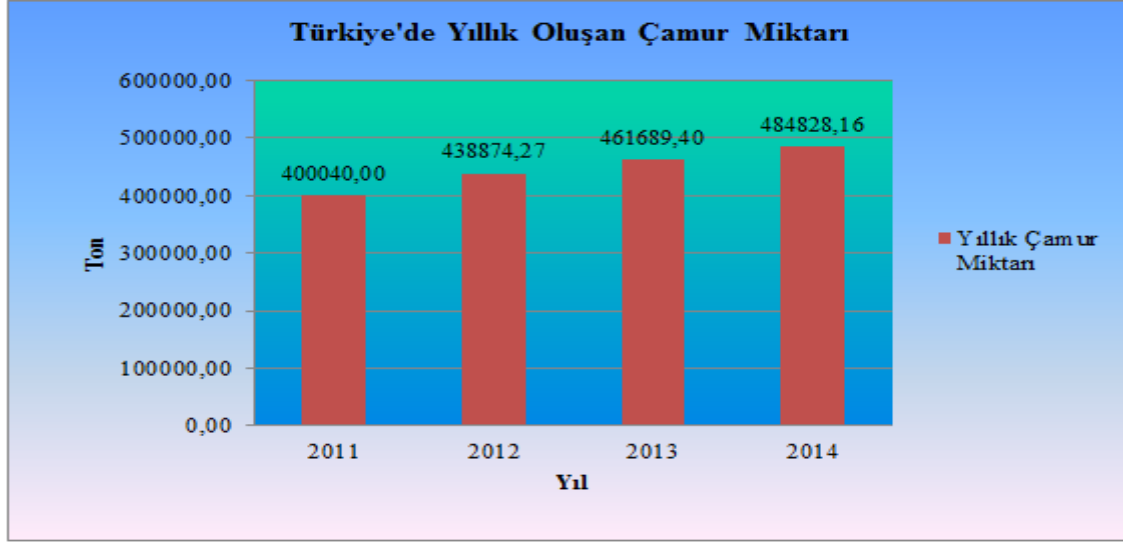


Şekil 5.2. Avrupa birliği ülkelerinde arıtma çamuru üretimi (gr kuru madde/kişi.gün) [2]

Avrupa Birliği üye ülkelerinde kişi başına günlük çamur üretimi incelendiğinde, ülkeler arasında büyük farklılıklar görülmektedir. Verilere göre, kişi başına en düşük çamur üretimi (5,4 gr kuru madde/kişi.gün) Malta'da ve en yüksek çamur üretimi (140 gr kuru madde/kişi.gün) Slovenya'da oluşmaktadır. Bu farklılıklar, ulusal atıksu arıtma sistemlerinin dağılımına ve her bir ülkenin kanalizasyona bağlanma oranına bağlıdır [2].

## 5.2. Türkiye'de Arıtma Çamuru Durumu

Arıtma çamurlarının yönetiminde öncelikli olarak atıksuların kaynağında azaltılması ile başlanmalıdır. Arıtma çamurlarının işlenmesi ve bertaraf edilmesi en az atıksu arıtımı kadar önem taşımaktadır. Son yıllarda, atıksu arıtımı konusunda yapılan yatırımlar ile birlikte arıtma çamurlarının işlenmesi ve uzaklaştırılması problemi hem teknolojik hem de Avrupa Birliği uyum sürecinde yapılan mevzuat düzenlemeleri ile birlikte üzerinde hassasiyetle durulan bir konu haline gelmiştir. Türkiye'de arıtma çamurunun arıtımı ve bertarafı ana problem kaynaklarından birisini oluşturmaktadır ve arıtma çamurlarının yönetimi ülkemizde tüm dünyada olduğu gibi önemli bir konu haline gelmiştir.



Şekil 5.3. Türkiye’de yıllık oluşan arıtma çamur durumu [13]

Arıtma çamurlarının yönetimi, çevre yönetim sistemi içinde yer alması gereken önemli bir bileşendir. Arıtma çamurlarının neden olduğu çevresel sorunlar ve getirilen yasal zorunluluklar, arıtma çamurlarının yönetimini zorunlu hale getirmektedir [36].

Atıksu arıtma tesisi deşarj standartlarındaki kısıtlamalar ve bu kısıtlamaların yanı sıra arıtma işlemleri sonucu oluşan arıtma çamuru miktarının azaltılması, oluşan çamurların en uygun teknolojilerle işlenmesi, gerek arıtım gerekse bertaraf etme aşamasında çamurların yararlı kullanım alternatiflerinin değerlendirilmesi konuları çamur yönetiminin en önemli unsurlarını oluşturmaktadır [36].

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine (Şekil 5.3) göre Türkiye’de belediyelere ait atıksu arıtma tesislerinde 2011 yılında yaklaşık olarak 400 000 ton arıtma çamuru oluşmakta iken 2014 yılında 85 000 ton artış ile yaklaşık 485 000 ton arıtma çamuru oluşmuştur.

Çizelge 5.1. Bölgesel bazda çamur miktarı [13]

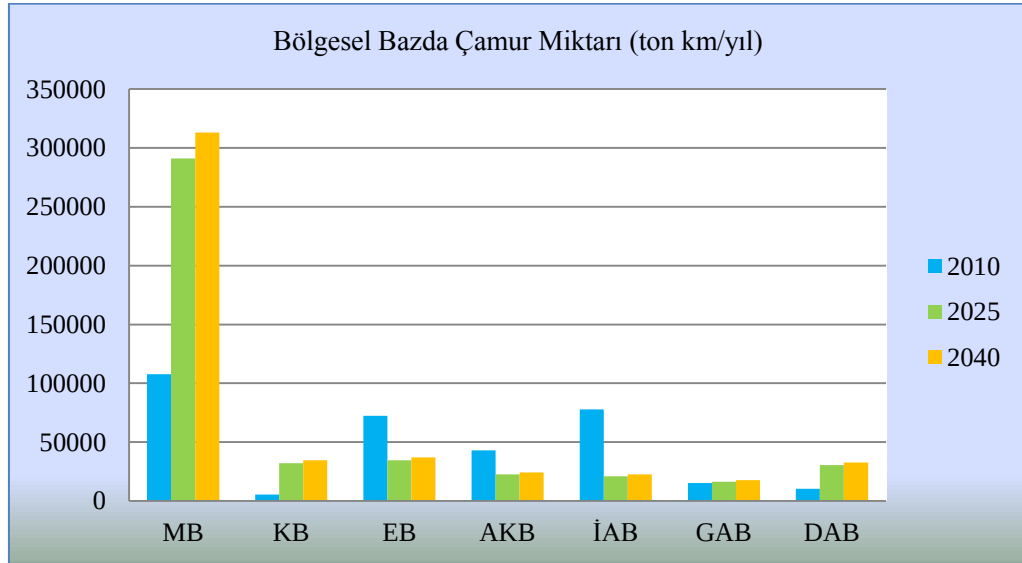
| Bölge                 | Çamur Miktarı (ton km/yıl) |         |         |         |
|-----------------------|----------------------------|---------|---------|---------|
|                       | Tesis Sayısı               | 2010    | 2025    | 2040    |
| Marmara Bölgesi       | 60                         | 107 675 | 291 164 | 313 068 |
| Karadeniz Bölgesi     | 141                        | 5 475   | 32 106  | 34 522  |
| Ege Bölgesi           | 87                         | 72 270  | 34 464  | 37 056  |
| Akdeniz Bölgesi       | 39                         | 43 070  | 22 472  | 24 163  |
| İç Anadolu Bölgesi    | 109                        | 77 745  | 20 972  | 22 550  |
| Güney Anadolu Bölgesi | 53                         | 15 330  | 16 329  | 17 557  |
| Doğu Anadolu Bölgesi  | 39                         | 10 220  | 30 492  | 32 786  |

|        |     |         |         |         |
|--------|-----|---------|---------|---------|
| Toplam | 528 | 332 150 | 448 000 | 481 702 |
|--------|-----|---------|---------|---------|

Bölgesel bazda çamur miktarları incelendiğinde, 2010 yılı itibariyle en çok çamur Marmara Bölgesi'nde, en az çamur ise Karadeniz Bölgesi'nde açığa çıkmaktadır (Çizelge 5.1).

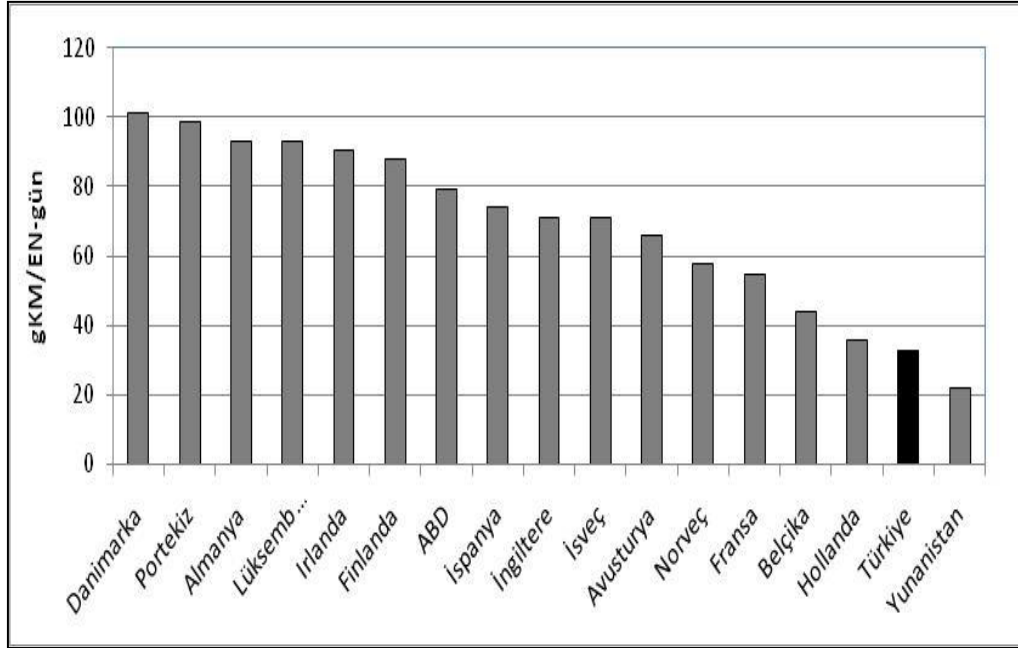
Yıllar itibari ile nüfus ve sanayileşmeye bağlı olarak tüm bölgelerde arıtma çamuru miktarında artma olmaktadır. Marmara Bölgesi'nde atıksu arıtma tesisi sayısı diğer bölgelere oranla fazla olmamasına rağmen buradaki tesislerin kapasitelerinin büyük olması çamur miktarının yüksek rakamlara ulaşmasında rol oynamaktadır.

Türkiye'nin batısındaki bölgelerdeki 2040 yılındaki çamur miktarı 2010 yılındaki miktarın yaklaşık üç katı durumunda iken Türkiye'nin doğusunda bulunan bölgelerdeki 2040 yılı çamur miktarı 2010 yılındaki çamur miktarının yaklaşık 2 katı civarında olduğu Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4. Bölgesel bazda çamur miktarı [14]

Avrupa Birliği ülkeleri ile ABD'deki arıtma çamur miktarlarının, Türkiye'deki arıtma çamur miktarının fazla olduğu Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Türkiye'de arıtma tesislerinden açığa çıkan arıtılmış çamur miktarı sadece Yunanistan da üretilen arıtma çamuru miktarından fazla olmaktadır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Türkiye ile Avrupa Birliği ülkelerindeki arıtma çamuru miktarlarının karşılaştırılması [14]

## 6. ARITMA ÇAMURLARININ BERTARAFI VE YENİDEN DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

### 6.1. Nihai Bertaraf ve Yeniden Kazanım Yöntemleri

Arıtma çamurlarının nihai bertarafı; çevresel, iklimsel, uygulanabilirlik ve ekonomik kriterler ile arıtma çamurunun özellikleri de göz önüne alınmak suretiyle çeşitli yöntemler kullanılarak yapılır. Atıksu arıtma tesislerinden elde edilen çamurlar içerikleri nedeniyle uygulanabilirlik açısından özellikli ürün özelliğine sahiptir. Ancak evsel nitelikli her tür arıtma çamurlarında çok sayıda ve farklı özelliklere haiz zararlı organizma bulunabileceğinden dolayı, bu arıtma çamurlarının doğrudan doğruya araziye dökülmesinde çeşitli sakıncalar vardır. Endüstriyel atık ağırlıklı arıtma çamurları ise, iç yapılarında mevcut bulunan ağır metaller ve tuzları ile toksik maddeler vb. nedenlerden dolayı doğrudan araziye bertarafı tehlikeli sonuçlara yol açabilecektir. Çünkü bu etkenler hem yer altı suyunu hemde toprağın kirlenmesi neden olacaktır.

#### 6.1.1. Düzenli depolama yöntemi

Arıtma çamurlarının, katı atıklar ile birlikte canlı yaşama zarar getirmeyecek şekilde karıştırılması ve üzerlerinin toprakla örtülmesi işlevidir. Bu yöntemdeki amaç, çamurun hacmini azaltıp depolama sahasındaki kullanılabilirliğini maksimum seviyeye çıkartılmasıdır. Bu sebeple, doğal ve mekanik yöntemler uygulanmak suretiyle suyu uzaklaştırıldıktan sonra arıtma çamurunun düzenli depolanmada kullanılması gerekir. Başka bir ifadeyle, depolanacak arıtma çamurları, kurutma yataklarında kurutulmuş, suyu alınmış ve çürütülmüş çamur niteliğinde olmalıdır [2].

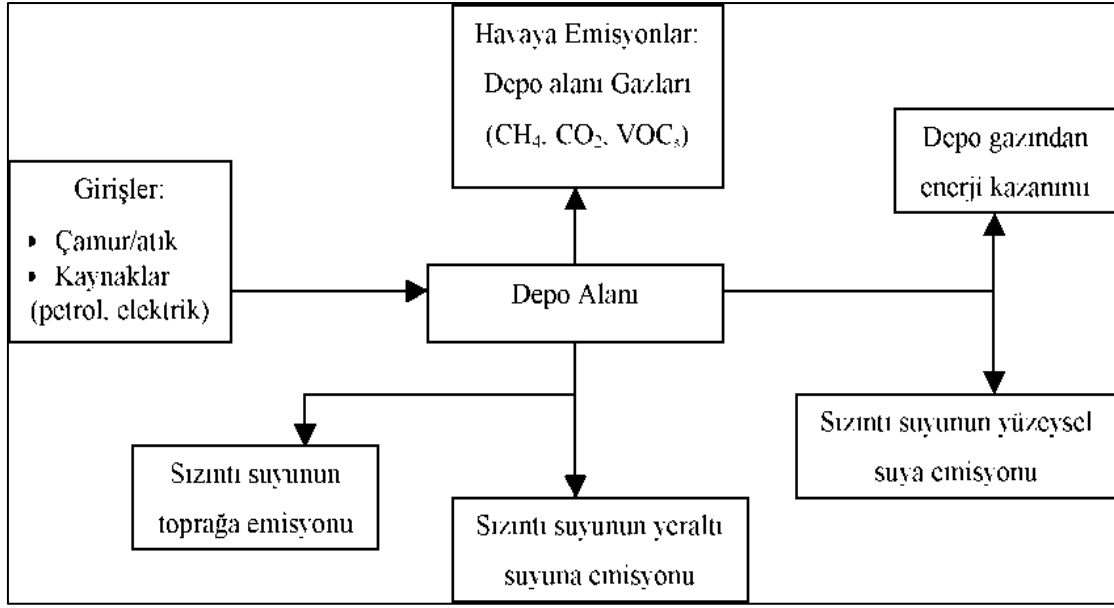
Düzenli depolama, katı atık yönetiminde en az istenen ve en düşük önceliğe sahip yönetim seçeneği olarak görülmelidir. Buna rağmen, diğer uzaklaştırma teknolojilerine göre daha basit ve ucuz olması dolayısıyla, düzenli depolama bazı istisnalar hariç günümüzde en çok kullanılan katı atık bertaraf yöntemidir [37].

Arıtma çamurlarının depolanmasında iki seçenek vardır. Tek başına depolamada depolama alanı sadece arıtma çamurları için kullanılır. Karışık depolama da ise depolama alanı evsel katı atıklar için kullanılmaktadır, çamurlar için depolama alanına özel teknik önlemler alınmamıştır. Arıtma çamurları düzenli depolama alanlarında depolandıktan sonra üzerleri toprakla örtülerek çevresel etkileri en aza indirilir [38].

Düzenli depolama alanlarında izlenecek adımlar:

- Çamur veya katı atıklar deponi alanında önceden hazırlanan yerlere kontrollü olarak boşaltılmalıdır,
- Çamur veya katı atıklar depolama sahasında serildikten sonra dozer gibi ekipmanlarla sıkıştırılmalıdır,
- Çamur veya katı atıklar belli aralıklarla depolandıktan sonra üstü ince toprak tabakasıyla örtülmelidir,
- Kaplama malzemesi ile üzeri örtüldükten sonra sıkıştırılmalıdır [26].

Tüm deponi tekniklerinde olduğu gibi burada da dikkat edilmesi gereken en önemli nokta yeraltı suyunun veya yüzeysel suların kirlenme tehdidine karşılık zemin ve üst örtü tabakası geçirimsizliğinin sağlanmasıdır. Sızıntı sularının drenaj sistemiyle toplanarak uzaklaştırılması, gaz drenajının ve alansal drenajın yapılması gerekir [24].



Şekil 6.1. Düzenli depolama alanında oluşan olaylar [2]

Ayrıca Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde, arıtma çamurlarının düzenli depolama alanlarında kullanılması için, içeriğindeki katı madde miktarının % 35 olması ön görülmekte ve arıtma çamurlarının içeriğinde bulunabilecek ağır metaller, tuzlar ve toksik maddeler yönünden tehlikeli atık sınıfında olup olmadığı belirlenerek, depolamada oluşabilecek olumsuz sonuçların önüne geçilmesi gerekir [2].

### 6.1.2. Kompostlaştırma yöntemi

Bu yöntemde amaç, arıtma çamuru atığının çevreye zarar vermeyecek şekilde biyolojik olarak parçalanması, hacimsel kütesinin azaltılıp değerli minerallere sahip bir toprak düzenleyicisi haline dönüştürülmek suretiyle geri kazanılarak yeniden değerlendirilmesi işlevidir [20]. Çünkü atıksu arıtma çamurları iyi çürütülmüş olsalar dahi içeriklerinde zararlı organizmalar veya zehirli toksinler bulunma olasılığı sebebiyle direkt tarımsal amaçlı kullanım için uygun değildir. Bu sebeple hayvan gübresi ve ahşap tozu gibi ek ürünler ile karıştırılıp kullanılması bahsi geçen zararlı etkenlerin etkilerinin kaybetmesine yol açacaktır [2]. Kompostlaştırma prosesi, düzenli depolamaya gidecek katı atık miktarının azalmasını sağlaması bakımından bütün dünyada çevre dostu bir katı atık yönetim sistemi olarak kabul edilmektedir [38].



Bu metot, özellikle başta ABD olmak üzere birçok ülke tarafından kullanılmaktadır. Çünkü kompostlaştırma düzenli depolamayla karşılaştırıldığında ekonomik olarak daha pahalı fakat yakma işlemine oranla daha ucuz bir bertaraf yöntemidir [39].

Kompostlaştırma üç tip olarak uygulanmaktadır:

- Çamur keki ve kompost kütlesi büyük yığınlarda karıştırılır. Kompost yığını hava girişinin sağlanması ve aşırı ısınmanın önlenmesi amacıyla mekanik olarak karıştırılır. Bu yöntem geniş bir alana ihtiyaç duymaktadır,
- Çamur keki ve kompost kütlesi karıştırılır ve hava verilen kanallar üzerine serilir,
- Kompost kütlesi karıştırıldıktan sonra çamur keki bir karıştırıcı ile eşit dağılım sağlayacak şekilde havuz üzerine verilir. Çok düşük seviyede hava verilir ve son ürün havuzun tabanında toplanır [15].

Kompostun faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Araziye gömülmesi gereken atık miktarını azaltan bir yöntem olması sebebiyle kompost üretimi düzenli depolama için gerekli olan hacim ve alanlarda büyük ekonomi sağlamaktadır,
- Evsel atıkların içeriğinde bulunan zararlı mikroorganizmaların büyük bir kısmı kompostlaştırmadaki ısı artışı sonucu yok olmaktadır. Olgun kompostta mantar, patojen bakteri, böcek yumurtası ve bitki tohumlarının tahrip olduğu gözlenmektedir,
- Kokusuz, tehlikesiz, humusa benzer bir madde olan kompost toprak yapısını ve özelliğini iyileştirmektedir,
- Toprağa humus kazandırır,
- Toprağın boşluk hacmini (porozitesini) artırır,
- Toprağın işlenmesini kolaylaştırır,
- Zeminin su tutma kapasitesini artırır,
- Toprağın havalandırılmasını kolaylaştırır,
- Topraktaki saprofit mikroorganizma sayısını artırır ve topraktaki mikroorganizmaların hızla faaliyete geçmesini sağlar,
- Azot, fosfat, potasyum, vs ihtiva eden suni gübrelerin bitkiler tarafından daha kolay alınmalarını sağlar [40].

Kompost yapımının olumsuzlukları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Diğer tüm çiftlik işlemleri gibi kompost yapımı ekipman, işgücü ve işletmecilik gerektirmektedir. Kompost için zaman ve para girdi anlamına gelmektedir,
- Alan gereksinimi üçe ayrılmaktadır; kompostun yapılacağı alan, ham materyalin depolanması için alan ve bitmiş kompostun depolanması için alan,
- Kompost işlemi yanlış yürütülürse koku problemi olabilir,
- Hava koşulları kompost için uygun olmazsa kompost işlemi yavaşlar,
- Kompost içerisindeki besin maddeleri çoğunlukla organik formdadır ve bu da besin maddelerinin yavaş olarak bırakılması anlamına gelmektedir [41].

Kompostlaştırma işlemine uğramış çamur aşağıda belirtilen geri dönüşüm yöntemlerinde kullanılabilir.

*Aritma Çamurunun Tarım Alanlarında Kullanımı:* Arıtma çamurlarının tarımsal alanlara uygulanması ile çamurun, gübre besin elementleri kaynağı olarak ve/veya toprak şartlandırıcı olarak kullanılması ve tarımsal üretimin artırılması amaçlanmaktadır. Arıtma çamurlarından tarımsal faydalanmanın temel prensibi çamurun tarım arazilerine optimum oranlarda uygulanmasıdır. Yani yıllık yükleme bazında çamur ile verilen ve ürünlerdeki mevcut N ve/veya P miktarı, ürünün ihtiyacı olan yıllık N ve/veya P miktarını geçmeyecek şekilde çamur yüklemesi yapılmalıdır [42].

Arıtma çamurlarındaki bitki besin elementleri, ticari gübrelerdekinin aksine bitkiler tarafından hemen kullanılabilir formda değildir. Çamur içeriğindeki organik azot, organik maddenin mikroorganizma tarafından parçalanmasıyla bitki tarafından alınabilir formlara dönüşmekte, amonyum ve nitrat azotundan oluşan inorganik azot ise bitkiler tarafından hemen kullanılabilir formdadır [39].

1950’li yılların başında arıtma çamurlarının arazi ve tarla denemelerinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk uygulamalarda arıtma çamurunun gübre değeri ön planda tutulurken, daha sonraki yıllarda toprağı iyileştirici özelliğı de dikkate alınmaya başlamıştır. Çünkü, arıtma çamurlarının bileşimi arıtılan atıksuyun özelliklerine bağılı olarak zaman içerisinde değışiklik gösterebilmektedir. Evsel atıksu arıtma tesislerinde

uygulanan sürece bağlı olarak oluşan arıtma çamurlarının bileşiminde yer alan ve bitki için besin değeri olan kimyasallar ortalama olarak birbirlerine yakın değerlere sahiptir. Ancak, endüstriyel atıksuların arıtma çamurları için aynı durum söz konusu değildir. Zira, aynı endüstri dalı için bile, üretim teknolojisine ve uygulanan arıtma teknolojisine bağlı olarak farklı bileşime sahip arıtma çamurlarının oluşumu söz konusudur [43].

- Toprağın yapısını iyileştirir,
- İçeriğindeki organik madde topraktaki mikrobiyolojik etkinliği artırır,
- Kumlu toprağın su tutma kapasitesini artırır,
- Sulama gereksinimini azaltır,
- Yüzeysel erozyonu azaltır,
- Bitki kök sisteminin daha derine gitmesini sağlar,
- Toprağın havalanmasını sağlar,
- Katyon değiştirme kapasitesini iyileştirir,
- Arıtma çamurunun bertaraf edilmesine imkan sağlamaktadır [44].

Arıtma çamurlarının toprak ortamına olumsuz etkilerini aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür [44]:

- Arıtma çamurunda çevre ve halk sağlığına zararlı ağır metaller, organik kirleticiler ve patojen mikroorganizmalar bulunabilir.
- Kimyasalların toprakta birikebileceği, bitkiler tarafından topraktan alınabileceği ve besin zinciri sayesinde insanlara ulaşabileceği konusunda endişeler mevcuttur,
- Tarım arazilerine uygulanan arıtma çamurlarından kaynaklanacak uçucu kirleticilerin buharlaşarak tarlalarda çalışan çiftçilerin sağlıklarına zarar verme potansiyelleri, çamurundaki kirleticilerin yağmur ve sulama suyu ile yeraltı suyuna sızma ve bu yeraltı suyunu içme suyu olarak kullanan insanlara zarar verme riski de bulunmaktadır [44].

Burada dikkat edilmesi gereken husus kullanılacak çamur miktarının optimum seviyede olmasıdır. Çünkü gerektiğinden fazla miktarda çamurun kullanılması durumunda, çamurun bünyesindeki aşırı miktardaki mineral ile organik besinin toprağa, oradan da bitkiye geçmesine sebebiyet vererek tohumun zarar görmesine neden olacaktır. Bu sebeple çamur uygulama oranlarının, toprak cinsi ve yapısal içeriği, iklim özellikleri, ürün cinsi ve

uygulama yapılacak arazinin topografyası ile çamurun mineral ve organik yapısına göre şekillenmesi gerekir [39].

Her tesisten çıkan arıtma çamuru farklı özellikler gösterdiği gibi bunların farklı iklim ve toprak şartları altında verim üzerine etkileri ve kullanım imkânları da farklılık gösterebilir. Arıtma çamurları gibi organik atıkların değerlendirilmesi düşünüldüğünde, makro ve mikro besin elementleri ve ağır metal içerikleri göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdir. Evsel nitelikli arıtma çamurları genellikle bitki büyümesi için gerekli besin maddeleri içermelerine rağmen, çamurun gübre değeri; atığın kaynağı, potansiyel toksik elementlerin varlığı, atıksu özellikleri ve kullanılan arıtma proseslerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [45].

Çizelge 6.1. Dünya’da ve ülkemizde tarımsal amaçlı kullanılacak arıtma çamurlarında müsaade edilen maksimum ağır metal değerleri [39]

| Üst Limit (mg/kg)*                                                                                                                                                                                                                 |       |        |             |       |           |         |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|-------------|-------|-----------|---------|---------|
| Kirletici                                                                                                                                                                                                                          | ABD   | Kanada | AB          | İsveç | Danimarka | Almanya | Türkiye |
| Arsenik                                                                                                                                                                                                                            | 75    | 75     | -           | -     | -         | -       | -       |
| Kadmiyum                                                                                                                                                                                                                           | 85    | 20     | 20-40       | 2     | 0,5       | 1,5     | 20      |
| Krom**                                                                                                                                                                                                                             | 3 000 | -      | 1 000-1 750 | 100   | -         | -       | 1 200   |
| Bakır**                                                                                                                                                                                                                            | 4 300 | -      | 100-1 750   | 600   | 40        | 60      | 1 200   |
| Kurşun**                                                                                                                                                                                                                           | 840   | 500    | 750-1 200   | 100   | 40        | 100     | 1 200   |
| Cıva                                                                                                                                                                                                                               | 57    | 5      | 16-25       | 2,5   | -         | -       | 25      |
| Molibden                                                                                                                                                                                                                           | 75    | 20     | -           | -     | -         | -       | -       |
| Nikel**                                                                                                                                                                                                                            | 420   | 180    | 300-400     | 50    | 15        | 50      | 1 200   |
| Selenyum                                                                                                                                                                                                                           | 100   | 14     | -           | -     | -         | -       | -       |
| Çinko**                                                                                                                                                                                                                            | 7 500 | 1 850  | 2 500-4 000 | 100   | 100       | 200     | 3 000   |
| PCB                                                                                                                                                                                                                                | 8,6   | -      | -           | -     | -         | -       | -       |
| *Kuru ağırlık                                                                                                                                                                                                                      |       |        |             |       |           |         |         |
| **İşlenmiş arıtma çamurunun topraklarda kullanılması ile hasadın alınması arasında en az 3 ay süre varsa ilgili kuruluşların görüşü alınarak Bakanlıkça cıva ve kadmiyum hariç olmak üzere bu değerler % 5’e kadar arttırılabilir. |       |        |             |       |           |         |         |

Ayrıca Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılması Dair Yönetmelikte [44]:

- Ham çamurun toprakta kullanılması yasaktır,
- Stabilize arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta ağır metal içeriği Çizelge 6.2’de verilen değerleri aşamaz,

- Topraktaki ağır metal konsantrasyonlarından birinin dahi Çizelge 6.2’de verilen sınır değerleri aşması durumunda, stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılması yasaktır.

Çizelge 6.2. Topraktaki ağır metal sınır değerleri [44]

| Ağır Metal (Toplam) | 6≤ph<7                                | ph≥7                                  |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|                     | mg.kg <sup>-1</sup> Fırın Kuru Toprak | mg.kg <sup>-1</sup> Fırın Kuru Toprak |
| Kurşun              | 70                                    | 100                                   |
| Kadmiyum            | 1                                     | 1,5                                   |
| Krom                | 60                                    | 100                                   |
| Bakır               | 50                                    | 100                                   |
| Nikel               | 50                                    | 70                                    |
| Çinko               | 150                                   | 200                                   |
| Civa                | 0,5                                   | 1                                     |

Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için Çizelge 6.3’deki ağır metal sınır değerleri ile Çizelge 6.4’te ve Çizelge 6.5’te verilen değerlerin hiçbirinin aşılmaması şarttır [44].

Çizelge 6.3. Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurunda müsaade edilebilecek maksimum ağır metal muhtevaları ağır metal sınır değerleri [44]

| Ağır Metal (Toplam) | Sınır Değerler (mg.kg <sup>-1</sup> kuru madde) |
|---------------------|-------------------------------------------------|
| Kurşun              | 750                                             |
| Kadmiyum            | 10                                              |
| Krom                | 1 000                                           |
| Bakır               | 1 000                                           |
| Nikel               | 300                                             |
| Çinko               | 2 500                                           |
| Civa                | 10                                              |

Çizelge 6.4. Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurundaki organik bileşiklerin konsantrasyonlarının ve dioksinlerin sınır değerleri [44]

| Organik Bileşikler | Sınır Değerler (mg.kg <sup>-1</sup> kuru madde) |
|--------------------|-------------------------------------------------|
| AOX                | 500                                             |
| LAS                | 2 600                                           |
| DEHP               | 100                                             |
| NPE                | 50                                              |
| PAH                | 6                                               |
| PCB                | 0,8                                             |

Çizelge 6.5. Toprakta kullanılabilecek stabilize arıtma çamurundaki dioksinlerin sınır değerleri [44]

|                                                  |                                                |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Dioksinler                                       | Ng Toksik Eşdeğer.kg <sup>-1</sup> kuru madde) |
| PCDD/F Poliklorlu dibenzodioksin/dibenzofuranlar | 100                                            |

Stabilize arıtma çamurunun, toprakta on yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde, toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarı Çizelge 6.6'da verilen değerleri aşamaz. Sınır değerlere erişmesi halinde toprakta kullanımının durdurulması zorunludur [44].

Çizelge 6.6. Toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarı [44]

| Ağır Metal (Toplam) | Sınır Değerler (g da <sup>-1</sup> yıl <sup>-1</sup> , kuru madde) |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Kurşun              | 225                                                                |
| Kadmiyum            | 3                                                                  |
| Krom                | 300                                                                |
| Bakır               | 300                                                                |
| Nikel               | 90                                                                 |
| Çinko               | 750                                                                |
| Civa                | 3                                                                  |

Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın nitrat direktifi ve Avrupa Birliği'nin direktifi ile uyumlu olacak şekilde çamurun tarım kullanımı olabilir. Arıtma çamurlarının bitki besin elementi kaynağı olarak değerlendirilmesi ve tarımsal alanlara uygulanarak tarımsal ve dolayısıyla ekonomik kazanç sağlanması ve tarımda kullanılarak yeniden kazanılması açısından kapsamlı araştırmaların yapılması gerekmektedir [15].

Çamur uzaklaştırma masraflarını azaltmak, üstelik çamuru faydalı bir malzeme haline getirmek için tarım alanlarında kullanılmasının teşvik edilmesi, çiftçilerin bu yönde eğitilmesi ve yönlendirilmesi için teknik alt yapının oluşturulması gerekliliğini vurgulamışlardır [15].

Konuyla ilgili birçok araştırmada arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak değişik tarımsal ürünlerde ürün artışı sağlandığı belirtilmektedir. Bu tür atıklar uygulamanın ilk yıllarında verim artışı sağlayabilirler. Ancak aynı zamanda muhtemel bir kirlilik ve potansiyel toksik element kaynağı olan bu atıkların, tarım alanlarına uygulanmasını takip eden yıllarda organik maddenin parçalanmasıyla serbest hale geçen bazı toksik elementlerin bitki ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkide bulunabilecekleri de gözden uzak tutulmamalıdır [45].

Her tesisten çıkan arıtma çamuru farklı özellikler gösterdiği gibi bunların farklı iklim ve toprak şartları altında verim üzerine etkileri ve kullanım imkânları da farklılık gösterebilir [45].

*İşlenmiş Arıtma Çamurunun Yeşil Alanlarda Kullanılması:* Yeşil alanlar arasında parklar, futbol sahaları, mezarlıklar, otoyol kenarları, golf sahaları ve havaalanları sayılabilir. İşlenmiş arıtma çamurları belirtilen bu alanlarda ilk tesis aşamasında kullanılabildiği gibi, önceden tesis edilmiş alanlarda daha sonraki yıllarda yapılan gübre uygulamaları yerine vejetasyonu geliştirmek amacıyla kullanılabilmektedir. Bu nedenle bu tür uygulamalar projeye dayalı olarak yapılmalıdır [39]. Biyokatıların yeşil alanlara uygulanması halk sağlığı açısından hastalık yapan organizmalarla etkileşimin denetim altında tutulmasını gerektirmektedir. Bu nedenle gerek Avrupa Birliği gerekse USEPA yönetmeliklerinde hastalık yapan organizmaları giderilmiş biyokatıların kullanımına izin verilirken, hastalık yapan organizmaları azaltılmış biyokatıların yeşil alanlarda kullanımı için bazı kısıtlamalar getirilmiştir. Söz konusu kısıtlamaların temel hedefi, özellikle halkla etkileşimin yüksek olduğu yeşil alanlarda halk sağlığı açısından olası risklerin ortadan kaldırılmasıdır. Halkla etkileşimin yüksek olduğu yeşil alanlarda biyokatı kullanımında psikolojik tepkilerle karşılaşabileceği için bu alanlarla etkileşimin halinde olan insanların bilgilendirilmesine yönelik çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır [17].

Amerika'da biyokatıların halkla etkileşimi yüksek olan yeşil alanlarda kullanılmasında, diğer ticari mallar gibi pazarlama programları uygulanmaktadır. Genellikle pazarlanan biyokatıların besin maddesi, PTE kapsamı ve mikrobiyolojik özellikleri hakkında analiz sonuçlarının kullanıcılara bildirilmesi, kullanılacak alana taşınma olanağının sağlanması, pazarlama olanaklarını arttırmaktadır [18].

*Arıtma Çamurunun Ağaçlandırma Alanlarında Kullanılması:* Ağaçlandırma sahalarında arıtma çamurlarının kullanılması, diğer kullanım alanlara nazaran daha düşüktür. Ancak son yıllarda arıtma çamurları ağaçlandırmada başarı ile kullanılmakta ve bu alanlarda kullanım gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde işlem görmüş şehirselle arıtma çamurlarının ormanlık bölgelere uygulanması son 25 senede hız kazanmıştır. Ülkenin pek çok yerinde yürütülen kapsamlı projelerle, çamurdaki yarayışlı bitki besin elementlerine paralel olarak ağaç büyümesinde önemli gelişmeler meydana geldiği ve arıtma çamurlarının fidan dikiminden önce ve sonra kullanılabileceği

belirlenmiştir. Arıtma çamurlarının bu şekilde kullanımının, fidan ölümüne neden olmadığı, iğne yapraklı ve yaprağını döken ağaçların birçoğunda fidan gelişimine olumlu etkilerinin olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmalar, arıtma çamuru kullanımının fidanların büyüme hızını arttırdığını da ortaya koymuştur. Büyümeye etkinin % 2-100 arasında değiştiği, erozyona uğramış, toprak derinliği az, verimliliğin düşük olduğu ağaçlandırma alanlarında büyüme etkinin en yüksek düzeye ulaştığı, ayrıca bu etkinin türler arasında değişiklik gösterdiği, ladin, akasya, çam, kızılçak, kavak türlerinden daha iyi sonuç alındığı belirlenmiştir. Büyüme ve gelişmeye en olumlu etki toprak iyileştirici olarak yüksek miktarda arıtma çamuru kullanıldıktan sonra ağaçlandırma yapılan alanlara dikilen fidanlarda gözlenmiştir [39]. Yetişkin ağaçların bulunduğu alanlara da biyokatı uygulamaları yapılabilir. Ancak gerek bitkiye olan olumlu etkinin genç bitkilere oranla az olması gerekse yetişkin ağaçlara biyokatı dağıtımının zorluğu nedeniyle daha az tercih edilmektedir. Ağaçlandırma alanlarında işlenmiş arıtma çamuru uygulamaları gerekli tedbirler alınmadığı takdirde su kaynaklarında ağır metal ve azot kirliliğine neden olabilmektedir [39].

*Arıtma Çamurunun Ormanlık Alanlarda Kullanımı:* Birbirine farklı özellikler gösteren ağaç kümeleri tarafından oluşturulan ormanlık alanlarda arıtma çamurunun kullanıldığı uygulamalar, daha çok çamur içinde bulunan organizmaların yararlı bileşenlerinden faydalanmak amacıyla kullanılır. Çamurların ormancılık ve silvikültür uygulamalarında kullanılması, tarımsal alanlarda kullanımına alternatif olarak görülmektedir. Avrupa’da çamurun araziye serilmesi ancak küçük alanlar için kabul edilmektedir. Örneğin Fransa’da çamur üretiminin % 50’si, %1’lik bir orman alanı için 3 ton kuru madde/ha/yıl olacak şekilde düzenlenmiştir. Son yıllarda arıtma çamurları birçok atıkla karıştırılarak birlikte kullanılmış, değişik oranlarda hazırlanan karışımlarla verim ilişkisi araştırılmıştır. Arıtma çamurlarının orman ve silvikültür amaçlı kullanımı titizlikle yürütülen arazi testleri ve analizleri sonucunda uygulanabilmektedir. Çamur miktarı 100-200 m<sup>3</sup> sulu çamur/ha/yıl veya 5-10 ton kuru çamur/ha/yıl, max. azot miktarı, 1 000 kg/ha/yıl olarak belirlenmiştir [2].

Washington Üniversitesi ve Seattle Büyükşehir Belediyesi arasında 1973 yılında yapılan bir işbirliği protokolü kapsamında başlatılan çalışmada, arıtma çamuru içerisindeki faydalı maddelerin ağaç büyümesini geliştirip geliştirmediği, çamurun ormanlık alanlara uygulanması sonucu ekosistemin ne şekilde etkilendiği ve yer seçimi ve sistem dizaynının nasıl olacağı araştırılmıştır. Bulunan sonuçlar son derece olumludur.



Arıtma çamuru uygulaması neticesinde ağaç kalitesi çok az etkilenmiş ve çap, boy ve hacimde büyük bir gelişim gözlenmiştir. Çamurla gübrelenmiş ağaçlar yüksek kalitedeki gübrelerin uygulandığı ağaçlarla benzer bir büyüme göstermişlerdir. Orman ekosisteminin incelenmesi neticesinde, uygun şekilde dizayn edilmiş ve yönetilmiş bir projenin çevresel açıdan oldukça güvenli olduğu ve halk sağlığı risklerinin minimum düzeyde olduğu belirtilmiştir [42].

Son yıllarda İngiltere'de de arıtma çamurlarının ormanlık arazilerde gübre olarak kullanılmasına yönelik çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda İngiltere'deki toplam alanı 2 milyon hektar olan ormanlık bölgenin 75 000 hektarlık kısmında arıtma çamuru uygulamasının potansiyel olarak uygun olduğu tespit edilmiştir [42].

*İşlenmiş Arıtma Çamurunun Tarımsal Gübre Olarak Kullanılması:* Arıtma çamurlarının organik gübre olarak kullanımı sürdürülebilir çamur yönetiminde en önemli uygulamalardan biridir [46]. Ancak, kentsel atıksu içinde bulunan mikroorganizmalar ve tehlikeli kimyasallar bu uygulamanın sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir [47]. Patojen mikroorganizmaların (virüs, bakteri ve parazit) atıksuların arıtımı sırasında yoğunlaşarak çamur içinde konsantre oldukları bilinmektedir. Çamur arıtım süreçleri, özellikle çamur stabilizasyon üniteleri, bu mikroorganizmaların gideriminde çok önemli rol oynamaktadır. Ancak birçok çamur arıtım işlemi patojen mikroorganizmaları tamamen gideremediğinden kontrolsüz tarımsal uygulama önemli halk sağlığı risklerine yol açabilir. Ayrıca bu patojenlerden bazılarının doğal ortamda birkaç ay yaşamlarını sürdürdükleri bilinmektedir. Bu nedenle çamurun kullanımının insan sağlığı ve çevre açısından bir tehdit oluşturup oluşturmadığı konusunda emin olmak için çamur içinde yer alan bu tür patojenik mikroorganizmaların incelenmesi, izlenmesi, miktarlarının belirlenmesi ve kontrol edilmesi önemlidir [48].

Ayrıca arıtma çamurunun tarımsal gübre olarak kullanımı ile ilgili bir başka sorun ağır metaller ve kalıcı organik maddelerdir. Atık çamurlarının tarım arazilerine gelişigüzel yerleştirilmesi ile ürün getirilerinde azalmaya yol açması ve/veya tarım ürünlerinden insan

gıdası olarak kullanılanlarda bu metallerin bazılarının aşırı miktarlarda birikmesi ile insan besin zincirini tehlikeye sokması ihtimali endişe yaratmaktadır [24].

Tarım alanlarında biyokatı kullanımının yararları: Biyokatıların bünyesindeki azot, potasyum ve fosfor gibi besin maddelerinin yanında demir, çinko, mangan, bakır vb. besin maddeleri de bulunur. Biyokatıların içermiş olduğu bitki besin maddeleri ticari gübrelerdeki gibi formüle edilmiş sabit miktarda değildir. Ancak bitkisel üretim için gerekli olan bütün bitki besin maddelerini bir arada bulundurlar. Bu nedenle biyokatıların kullanıldığı alanlarda ticari gübre kullanımı azalmakta veya biyokatılar tümüyle ticari gübrelerin yerini almaktadırlar [27-39].

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan biyokatılar, son yıllarda bir çok ülkede gübre olarak yeşil alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Birçok ülkede büyük kapasiteli atıksu arıtma tesislerinden çıkan biyokatıların tamamı değilse bile büyük bir kısmı ısı enerjisi ile kurutularak veya kompostlama işlemlerine tabi tutulduktan sonra paketlenmek suretiyle yeşil alanlar gibi seçenek kullanıma uygun hale getirmektedirler. Bunun başlıca nedeni tarım, orman veya iyileştirme alanlarının tesisten uzak, taşımanın güç ve maliyetinin yüksek olmasıdır. Büyükşehirler artan çevre bilinciyle daha çok yeşil alan ve yeşil kuşak çalışmalarına öncelik vermekte dolayısıyla biyokatıların kullanım alanları arıtma tesislerine yakın alanlarda artmaktadır [27].

*İşlenmiş Arıtma Çamurunun Yeşil Alanlarda Kullanılması:* Atıksu arıtma tesislerinden elde edilen çamur, içerdiği mineraller (Azot, fosfor, potasyum, demir, çinko vb.) sayesinde özellikle ormanlık vasfının yavaş yavaş kaybetmeye başlayan alanlarda bir panzehir gibi kullanılabilirler. Böylelikle toprağın eksik mineral eksikliğini tamamlayarak birbirinden farklı özellikteki ağaçların tekrar yaşama dönmesine katkıda bulunurlar.

### **6.1.3. Denize boşaltma yöntemi**

Arıtma tesislerinde ortaya çıkan çamur tüm dünya ülkelerinde 1 Ocak 1999 tarihine kadar denizlere dökülmüştür. Ancak bu tarihten sonra çamurların denizlere dökümü yasaklanmıştır [39].

### **6.1.4. Termik yöntemler**

Bu yöntemde, ısı uygulanarak çamurdaki su uzaklaştırılır. Termal kurutma sayesinde çamurun içeriğindeki su muhtevası değeri, mekanik yöntemlerle su giderme ile elde edilen değerlerin çok altında olmaktadır. Termal kurutma; düşük taşıma maliyeti, zararlı organizmaların azaltılmasının yanı sıra, ısı işlem görmüş çamurun daha iyi depolanmasına imkan vermektedir. Termal olarak ısı işlem görmüş kurutulmuş çamur, gübre olarak kullanılmakta, hacim azlığı sebebiyle kolayca depolanabilmekte ve de yakma malzemesi olarak pazarlanabilmektedir [31].

#### 6.1.5. Arıtma çamurlarının kurutulması yöntemi

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliğe göre nüfusu 1 milyonun üzerinde olan yerleşim yerleri için arıtma çamurlarının ağırlıkça % 9 kuru madde içerecek seviyeye getirilmesi istenmektedir [44]. Böylelikle kurutulan ve granüle olan çamur torbalanarak, yol dolgusu malzemesi veya çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılabilir. Arıtma Çamurlarının kurutmanın avantajları:

- Çamurun su içeriği büyük ölçüde azaltılmaktadır,
- Çamurdaki katı madde konsantrasyonu % 90'ın üzerine çıkabilmektedir,
- Çamur hacmi 4-5 kat azaltılmaktadır,
- Çamurun kalorifik değeri önemli ölçüde artmakta ve yakılması kolaylaşmaktadır,
- Çamurda hijyen ve stabilite sağlanmaktadır [44].

Arıtma Çamurlarının kurutmanın dezavantajları:

- Kurutma işlemi yüksek enerji gerektirmektedir,
- Enerji gereksiniminin yük olması nedeniyle maliyetli bir işlemdir,
- Kurutma sırasında koku ve toz problemi yaşanabilmektedir. Bu problemlerin giderilmesi için önlemler alınması gerekmektedir [44].

*Bitkilerle kurutma:* Bu yöntemde çamur, sazlıkların kök kısımları ile topraklaştırılır. Sazlıklar ekildiği çamur içinde iyice kök salarak gelişirler ve yeni çamur eklenmesiyle birlikte yeni kökler de gelişerek yer altında yüksek yoğunlukta bir biyokütle oluştururlar.

Bitki su gereksinimini çamurdan sağlayarak çamurun su konsantrasyonunu düşürürken bir yandan da kökleri ile çamur tabakasını mekanik olarak zayıflatır. Böylece çamur içine giren oksijen miktarı artarak çamurun yapısı bakteriyel aktiviteye uygun hale gelir ve doğal bir kompostlama oluşur. Bu işlemde elde edilen ürün biyolojik olarak stabildir ve toprak iyileştirici ve gübre olarak kullanılabilir [49].

*Termal olarak kurutma:* Termal metotlar ısı uygulayarak çamurdan suyu uzaklaştırırlar. Termal kurutma çamurun nem içeriğini mekanik su giderme yöntemleriyle elde edilenin çok altına düşürür. Termal kurutmanın avantajları; düşük taşıma masrafları, patojenlerin azaltılması ve kurutulmuş çamurun daha iyi depolama ve pazarlama imkanları vermesidir [39]. Termal olarak kurutulmuş çamur gübre ya da toprak iyileştiricisi olarak kolayca pazarlanabilmekte ve deponi ve insinerasyonda da kabul görmektedir. Termal kurutma metotları kontakt ve konveksiyon kurutma prosesleri olarak ikiye ayrılır. Kontakt kurutma prosesinde ısı dolaylı olarak ısıtılan yüzey üzerinden çamura aktarılırken konveksiyon kurutma prosesinde partiküllere doğrudan verilir [49].

*Konveksiyonla kurutma:* Konveksiyonla kurutmada santrifüj, tambur veya akışkan yataklı kurutucular kullanılmaktadır. Santrifüjlü kurutmada mekanik olarak suyu giderilmiş çamur küçük partiküller halinde santrifüjlü kurutucuya verilir ve ilk girişte verilen sıcak gaz sayesinde partiküllerin kurutucu duvarına yapışması önlenmiş olur. Geniş yüzey alanına sahip partiküllerin hızlı kuruması sonucunda sıcak gaz akışında hızlı soğumalar olur. Kurutulmuş çamur granülleri bu gaz akışı ile birlikte kurutucudan çıkar ve siklon ile gazdan ayrılırlar. Buharlaşan su gazdan kondenzasyon ile ayrılırken, temizlenen atık gaz da kondenserden ayrılır. Bu yöntemle çamur % 90 katı oranına kadar kurutulabilir [49].

*Kondüksiyonla veya kontakt kurutma:* Diskli kurutucular kontakt kurutmada kullanılan en yaygın kurutucu tipidir. Bu kurutucular sabit ve yataydırlar. Isı transferi kurutucunun ceket kısmındaki buharın sirkülasyonu ile gerçekleşir. Kurutucunun döner karıştırıcı, üzerinde disk ya da pedal biçiminde bir seri kanatçıklar olan içi oyuk bir şafttır. Bu şaft sayesinde çamur, ünite boyunca iletilir ve oyuk sayesinde de ek ısı transfer yüzeyleri elde edilmiş olur. Çamur tepsiler üzerinde merkezi şafta bağlı bir mekanizma ile hareket ettirilerek, tepside tepsie geçici sağlanır. Bu sayede çamur sürekli olarak karıştırılıp altüst edilir ve daha iyi bir ısı transferi elde edilmiş olur. Kurutma işlemi sonunda elde edilen ürün tozsuz

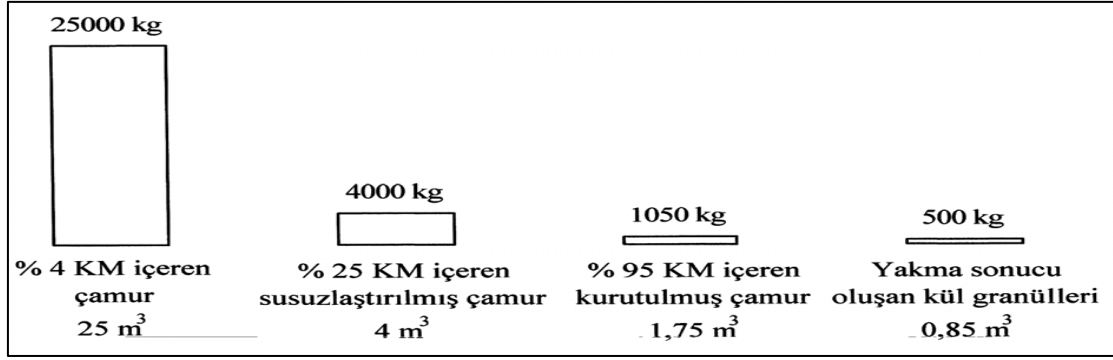
ve sterilidir. Bu ürün azot, fosfor ve diğer besleyicileri sağlayan gübre ya da toprak iyileştirici olarak kullanılır [49].

Amerika’da kısıtlı kullanıma sahip olan kontakt kurutucular Avrupa ve Japonya’da atıksu arıtma çamurlarının % 50-% 90 arası katı içeriğine ulaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kontakt kurutucularda yakma proseslerinden artan ısılar kullanılabilir. Bunlar yoğunlaşmayan gaz ürettiklerinden koku kontrolünü gerektirmezler. Düşük hacimde taşıyıcı içermezler [49].

*Güneşle kurutma:* Güneşle kurutma diğer metotlara oranla daha düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilen bir metottur. Bu metotla kurutmada ıslak çamur özel olarak hazırlanan sera şeklindeki alanlarda kurutulur. Bu alanlar son derece şeffaf, kontrolsüz hava değişimini ve dolayısıyla da gereksiz ısı kaybını önleyen özel örtülerle kaplanmıştır. Ünite içinde bulunan vantilatörlerle optimal hava akım hızı sağlanarak ortam havasının kurutma potansiyeli devreye sokulmaktadır. Islak çamur elektrikle çalışan karıştırıcılarla paçallanmakta böylece kurutma daha da hızlandırılmış ve homojen hale getirilmiş olmaktadır. Ayrıca bu kurutma sistemleri özel olarak hazırlanmış drenaj sistemlerine sahip olduğu için mekanik ön su giderme işlemlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Güneşle kurutmada, iklim şartları ve çamurun kuruma karakteristikleri kurutma tesisinin dizaynını belirleyen parametrelerdir. Kurutma için gerekli alan; çamurun özellikleri ve yağış alma, bağıl nem ve sıcaklık gibi atmosferik koşullara bağlıdır [49].

#### **6.1.6. Arıtma çamurlarının yakılması ve ısı enerjisi elde edilmesi**

Yakma işlemi uygulayarak atık çamurları gidermenin bir çok avantajı mevcuttur. Birincisi, çamur içindeki maddeler inert hale getirilmiş olur. Ayrıca büyük ölçüde hacim küçültmesi gerçekleştirilir. Yaş çamura göre 1/80, suyu azaltılmış çamura göre 1/15 oranında kütle azalma meydana gelir. Kokusuz bir madde elde edilir. Yakma işlemi tek başına gerçekleştirilebildiği gibi, çimento fabrikalarında veya kömürlü santrallerde de yapılabilir [49].



Şekil 6.2. Ton/km içeren atık çamurun farklı işlem düzeylerindeki miktarları [49]

Yakma işleminin olabilmesi için önce çamurun suyu buharlaştırılmalı ve atıklar proses sıcaklığı olan 900 °C'ye kadar ısıtılmalıdır. Böylelikle organik ve oksitlenebilen anorganik bileşenler tamamen oksitlenir. Oksidasyon için gereken hava da 900 °C'ye ısıtılmalıdır. Bu işlemler için büyük ısı miktarları gerekir. Bu ısının büyük bir kısmı, evsel atık suların arıtma çamurlarında bulunan organik, yanabilen maddelerin ısı değeri (yaklaşık 16 000 kJ/kg) tarafından karşılanır geri kalan kısmı ise yakıtlarla (fuel oil, doğal gaz gibi) sağlanır. Ancak bu ek ısı kaynağının maliyet artırıcı etkisinden dolayı en aza indirgenmesi istenir. Bunun için çamurun suyunun, yakmadan önce mekanik yolla mümkün olduğunca uzaklaştırılması gerekir (% 35 katı madde ağırlık oranına erişilebilir). Yakma esnasında geri kalan su buharlaşır. Buharlaşma için büyük miktarda enerji harcanır. Yanabilen kısımlar ise kül haline gelir. Yanmada açığa çıkan atık ısının geri kazanımı, ısı bilançosuna olumlu yönde etki yapar [49].

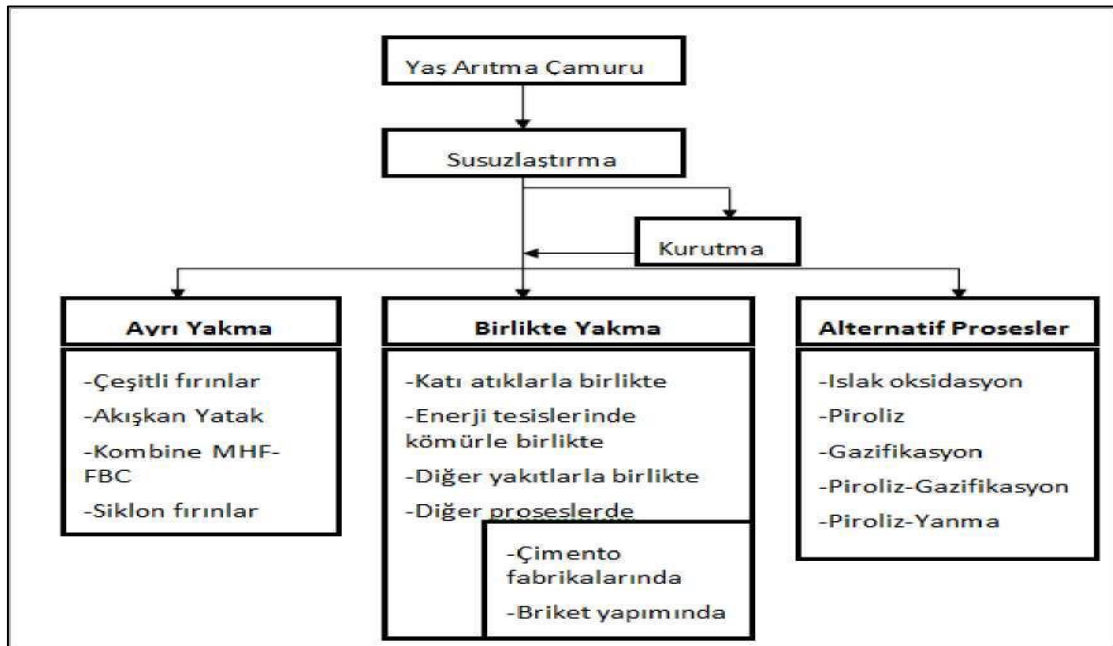
Yakma teknolojilerinin uygulanması aşamasında göz önüne alınması gereken hususlar aşağıda gösterilmektedir:

- Yakma sonrası çamur kuru kütlelerinin % 50'ye kadar olan kısmı kül olarak kalmakta ve ayrıca çamurdaki birçok toksik ağır metal de külün uzaklaştırılmasını karmaşık hale getirmektedir,
- Kurutma boyunca, çamur serbestçe akmadığından % 50-60 kuru madde civarında yapışkan faza geçmekte, bu da çamur kurutma prosesini karışık ve masraflı hale getirmektedir,

- Azot, klor, sülfür, dioksin ve furan gibi çamurdaki bileşikler yanma boyunca çeşitli yapılarda gazlı kirleticiler şeklinde serbest kalmaktadır. Emisyon sorununa karşın sıkı emisyon limitlerini karşılamak amacıyla baca gazı antma sistemleri gerekmektedir,
- % 70-80 nem içerikli mekanik olarak susuzlaştırılmış çamurun net ısı değeri kendi kendine yanma için yeterli değildir ve ilave yakıt gerektirmektedir [50].

İkinci yanma yöntemi ise, arıtma çamurunun enerji üretimi için yakıt olarak kullanıldığı dolaylı yanmadır [2]. Bu işlemin amacı, özellikle elektrik enerjisi elde etmek ve sanayide çimento üretimine enerji sağlamak amacıyla kentsel atıklar ile arıtma çamurunun veya sadece arıtma çamurunun kontrollü bir biçimde yakılarak bertaraf edilmesidir. Bu yöntemle katı atıklar hacimde % 90, ağırlık bakımından % 75 oranında azaltılabilir [39-51].

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 [52].



### Şekil.6.3. Çamurun yakılması prosesi [52]

Yakma sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, aşağıda verilen kendine özgü birçok avantajları vardır:

- Yakma üniteleri çamur ağırlığını, hacmini ve zehirlilik özelliğini büyük ölçüde azaltması,
- Nihai bertaraf etme için çok az madde kalması,
- Atık küller yol kaplaması, çimento, tuğla, beton yapımında kullanılması,
- Diğer metotlarla karşılaştırıldığında çamur yakma ünitelerinin çok az alan kaplaması,
- Diğer metotlarla karşılaştırıldığında yakma prosesi kısa sürede gerçekleşmekte olup toplama ve toprağa karıştırma yöntemlerinde olduğu gibi aylar ve yıllara ihtiyaç olmaması,
- Çamur yakma ünitesi çamur kaynağının hemen yanına tesis edileceğinden taşıma sorunu olmaması,
- Isı geri kazanım potansiyeli mevcut olması,
- Çamur yakma ünitesinden çıkış tek noktadan olduğundan kolayca analiz edilip gerekli kontroller yapılabilmesi [53].

Arıtma çamurlarının ısı değeri geçirdiği arıtım süreçleri ile bire bir ilişkilidir.

Çizelge 6.7. Arıtma çamurlarının ısı değeri [44]

| Çamur Türü               | Isıl Değer ( kcal/Kg) |             |
|--------------------------|-----------------------|-------------|
|                          | Ölçüm Aralığı         | Tipik Değer |
| Ham Çamur                | 5 497-6 931           | 6 094       |
| Aktif Çamur              | 3 824-5 497           | 5 019       |
| Anaerobik Çürüme Çamuru  | 2 151-3 107           | 2 629       |
| Kimyasal Çöktürme Çamuru | 3 347-4 302           | 3 824       |
| Biyolojik Filtre Çamuru  | 3 824-5 497           | 4 660       |

#### 6.1.7. Arazide bertaraf yöntemleri

Arıtma çamurlarının araziye tesis edilmek amacıyla serilmesi, yapılarında ihtiva ettikleri tarımsal alanlarda kullanılacak nitelikte değerli bileşenlerin toprağa geri



dönüşümüdür. Arıtma sonucu elde edilen çamurlarının bütün formlarının araziye serilmesinde hiçbir sakınca bulunmamaktadır [2]. Atıksu arıtma tesislerinden elde edilen arıtma çamuru miktarı yıl boyunca sabit değerlerde olmadığı için biriktirme işlemi uluslar arası düzenlemelerin ön gördüğü şekilde yapılmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken husus kullanılacak çamurların depolanması, nakliyesi ve serilmesi sırasında karşılaşılabilecek problemlerdir [2].

ABD’de arıtma çamurlarının % 33’nün arazide kullanıldığı, arazide kullanılan bu çamurların % 67’sinin tarım alanlarında, % 3’nün orman alanlarında, % 9’nun arazi rehabilitasyonunda, % 9’nu yeşil alanlarda ve % 12’sinin de torbalanarak satıldığı bilinmektedir. AB ülkelerinde arıtma çamurlarının tarımda kullanım oranı % 36 düzeyinde olup, bu oran Fransa, İngiltere, Norveç, İsveç ve İspanya’da % 50 civarındadır. Japonya’da ise ülkedeki nüfus yoğunluğu ve işlenebilir alanların azlığı nedeniyle arıtma çamurlarının % 60’lık bir bölümü yakılarak bertaraf edilmesine rağmen yılda 230 000 ton arıtma çamuru yeşil alanlarda kullanılmaktadır [54].

Son yıllarda atıksu arıtma çamurlarının bir kaynak olarak değerlendirilmesi görüşünün benimsenmesiyle birlikte arazi iyileştirme amaçlı kullanıma ilişkin araştırmalar da hız kazanmıştır. Bu araştırmaların sonuçları genel olarak, stabilize olmuş şehir arıtma çamurlarının toprağın ıslah edilmesinde, bitki örtüsü, toprak ve yer altı suyu kalitesi üzerinde olumsuz bir etki yaratmaksızın, çevresel açıdan güvenli bir şekilde kullanılabileceği yönündedir [42].

Arazi iyileştirme amaçlı yapılan tek seferlik uygulamalarda, araziye verilen çamur miktarı genellikle tarımsal amaçlı kullanımlarda verilen miktardan fazla olmaktadır. Ancak bu durumda uygulanan çamur miktarının gelecekte bitki fitotoksitesitesi için ciddi bir risk oluşturmaması ya da içme suyu kaynağı olarak kullanılan yeraltı akiferlerine kabul edilemez seviyelerde bir nitrat sızıntısının olmaması sağlanmalıdır [15].

Arıtma çamurları düşük besin maddesi içeren toprakların takviye edilmesi açısından da değerli bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazi iyileştirme çalışmalarında inorganik azotlu gübrelerin kullanımı çok etkili bir çözüm değildir. Çünkü bu gübreler tamamen çözünebilirler ve yarıyışlılıkları çok yüksektir. Bu nedenle olası sızıntı problemlerinden kaçınmak için arazinin ihtiyacı olan azotu bir kerede değil yıl

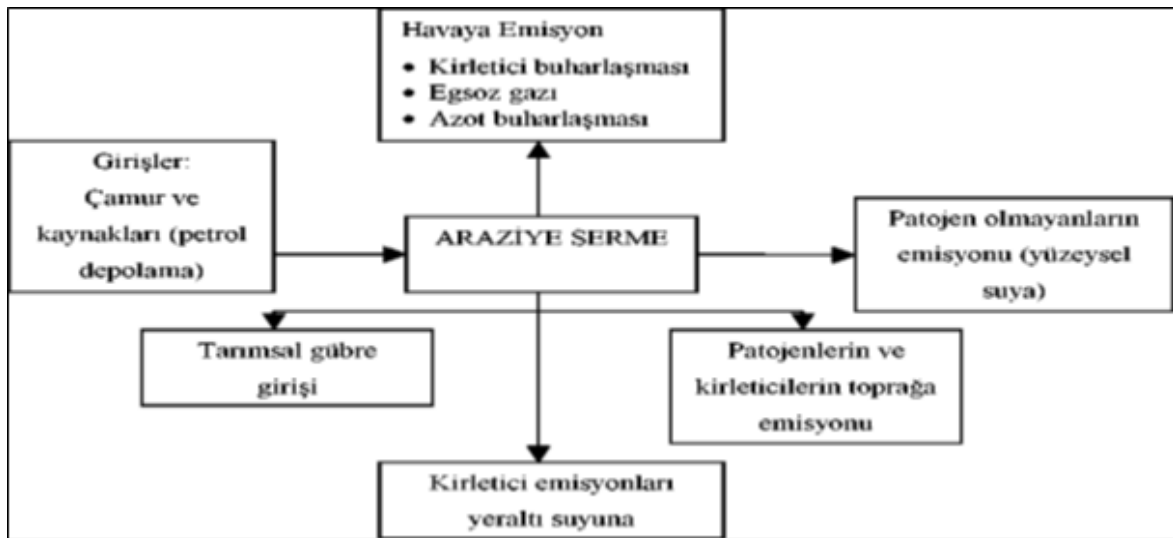
içindeki birkaç uygulamayla vermek gerekir. Arıtma çamurunda ise mevcut azot ve fosforun büyük kısmı organik formdadır ve minerilizasyon sonucu bitkiler tarafından kullanılabilir formlara dönüşürler. Böylelikle, ıslah edilecek arazinin ihtiyacı olan 1 000 kgN/ha değerini sağlayacak şekilde çamurun bir seferde uygulanması mümkün olacaktır [42].

Diğer yandan arıtma çamurlarının araziye uygulanması önemli çevresel problemler oluşturabilmektedir. Bu problemler; koku, estetik, çamurdaki patojenler, toksik organik kimyasallar, tuzlar ve ağır metaller olarak sıralanabilir. Arıtma çamuru genelde potansiyel toksik elementleri özellikle ağır metalleri içerir ki bunlar toprak kirliliğine ve nihayetinde bitki ve hayvanlarda istenmeyen biyolojik birikime yol açmaktadır. Ağır metallerin mevcudiyeti ve dirençli organik kirleticilerle alakalı risk toprağa uygulanan çamur miktarının sınırlandırılmasıyla kontrol altına alınabilir [54].

Çamurun ağır metal içeriği üzerinde kanunlarla belirtilen sınırlayıcı değerlerin varlığı, çamurun tarımda kullanılmasının planlama ve tasarımında ilk adımdır [54-55].

Maliyet olarak diğer çamur uzaklaştırma yöntemleri ile kıyaslandığında daha ucuz bir yöntem olan araziye serme işinde kullanılacak olan serme araçlarının çamurun niteliğine bağlı olarak seçilmesi gerekir. Böylelikle serme sırasında oluşabilecek kokunun da önüne geçilmiş olunacaktır. Ancak kirleticiler nedeniyle uygulamalar dikkatle izlenmelidir [2].

Şekil 6.4' te uygulama sonrasında oluşabilecek kirlilikler gösterilmiştir [2].



Şekil 6.4. Arazi serme işleminden sonra oluşabilecek kirlilikler

*Tankerler Vasıtasıyla Yayma Yöntemi:* Bu yöntem sıvı haldeki arıtma çamurlarının serilmesi için geçerli bir işlemdir. Çamurun, sıvı haldeyken araziye uygulanması hem basit hem de ekonomik olarak uygun olduğu için genellikle çamurun içindeki suyun çekilmesi işlemleri yerine, çamurun sulu olarak kullanılması ön görülür. Bu sebeple kapasitesi değişken tankerler kullanılarak çamurun doğrudan doğruya araziye serilmesi, içerisinde su muhteva eden çamurun uygulanmasında genel kabul gören bir yöntemlerden biridir. Su içerikli çamur, tankerlerin üzerinde bulunan delikli borulardan oluşan aparatlar sayesinde araziye aktarılır. Bu yayma sistemi daha çok spor yapmak için tahsis edilen alanlar ile otlak gibi mera alanlarda kullanılmak için uygun bir yöntemdir. Kötü hava koşullarında, uygulama sırasında ve sonrasında karşılaşılan problemler ile işletme maliyetlerinin yüksek olması bu yöntemin dezavantajlarıdır [39].

*Püskürtme Aparatları ile Yayma Yöntemi:* İşlenmiş çamurlarının araziye uygulanması, taşınabilir veya sabit özellikteki püskürtmeli sistemler ile yapılır. Püskürtmeli sistem, az alan ve emek gerektirmesi ve de çok sayıda bitki türü için kullanılabilmesi avantajlarının yanında basıncı yüksek pompaların enerji maliyetlerini çok yüksek değerlere ulaşması nedeniyle dezavantaja sahiptir. Sadece ürün verme sezonu boyunca kullanılabilen bu sistemde, çamur her hassas bitkilere zarar verebilir [39].

*Toprak Yüzeyi Altına Enjeksiyon Yöntemi:* Bu yöntemde çamur, toprakta var olan veya toprağa açılan deliklerden içeriye enjekte edilir. Bu sistem ürünün boy verme dönemi dışında zamanlarda ve ekip-biçmek için uygun olmayan alanlarda uygulanır. Sistemin dezavantajları, işletme yönetimi ve mevsimsel sınırlamalardır [39].

#### 6.1.8. Dağıtım ve pazarlama aracı olarak kullanılması

İşlenmiş çamurlar, iç ve dış piyasalarda kullanılmak amacıyla büyük bir sektör yelpazesi içerisinde satılıp değerlendirilebilir. Bu miktarlar atıksu arıtma tesislerinin işlem hacmine ve çıkan çamurun miktarına bağlı olarak değişmektedir.

#### 6.1.9. Çamur lagünlerinde depolama yöntemi

Çamur lagünleri, çamur kurutmaya bir alternatif olarak bazı durumlarda tercih edilebilir. Burada verilen çamur lagünleri, ham çamurlar için değil, havalı veya havasız olarak çürütülmüş çamurlar içindir. Bu lagünler, çamurun bir yere deşarj edilmesinden önce bekletme amacıyla kullanılan depolama lagünleriyle karıştırılmamalıdır. Çamur lagünleri, alt kısımlarında katı maddelerin biriktirilip sıkıştığı, organik maddelerin uzun bir süre sonunda biraz daha bozunmaya uğradığı ve gelen akımla yer değiştiren nispeten durulmuş suyun dışarı atıldığı lagünlerdir. Uygun topografik şartlarda, lagünler doğal çukurlardan oluşturulabilir. Ham çamur lagünlerinde olduğu gibi, bu lagünlerde de kötü koku problem oluşturmaz. Bilhassa havalı yolla stabilize olmuş çamurlar için kullanıldıklarında, koku çok azdır. Yer seçiminde diğer atıksu havuzlarında ve lagünlerinde olduğu gibi, yer altı suyu kirlenmesine karşı önlemler alınmalıdır. Lagüne dışarıdan yüzey suyunun girmesi de engellenmelidir. Dışarı verilen duru su, arıtma tesisine veya doğrudan araziye verilebilir. Sıcak iklimlerde sıvı hacmi azalmasında buharlaşmanın etkisi de büyüktür [56].

Birkaç yıllık temizleme aralıklarıyla lagün veya lagünün bölümlerinden biri by-pass edilerek çamur alınır ve bu çamur tarım arazilerinde kullanılır. Temizleme işleminde sık sık az miktarda çamur alınması yerine daha uzun aralıklarla stabilize olmuş çok miktarda çamur alınması tercih edilmelidir [56].

#### **6.1.10. Kimyasal sabitleme (stabilizasyon/solidifikasyon) yöntemi**

Arıtma çamurunun düzenli depolamaya gönderilmeden önce, depo sahasında su, toprak ve havayla karışması halinde sakınca oluşturabilecek atıkların bazı ön işlemlerden geçirilmesi zorunludur. Bu yüzden depo sahasında hacim azalmasının sağlanması ve atığın içerdiği kirleticilerin yağmur suyuyla sızıntı sularına geçişinin çeşitli bağlayıcı malzemelerle atık içindeki kirleticilerin katı bünye içinde sabitlenmesi gerekir [55]. Bu sabitleme işlemi, stabilizasyon ve solidifikasyon işlevleri uygulanarak gerçekleştirilir.

*Stabilizasyon:* Herhangi bir atığı kimyasal olarak kararlı bir forma dönüştürmek için uygulanır. Kararlı bir kristal yapı veya bağlayıcı bir polimer içinde toksik element veya bileşenlerin tutularak çözünemeyen bileşikler haline dönüştürülmesi işlemidir [55].

**Solidifikasyon:** Sıvı atıktan homojen bir katı kütlesi oluşturmak üzere atığın yapısını fiziksel özelliklerini geliştiren çeşitli materyallerin ilavesini kapsar. Böylece elde edilen materyal kolayca işlenebilir ve taşınabilir. Bu işlemdeki temel amaç; sıvı veya sulu atıktan katı bir ürün elde etmek, zararlı atığın çevreye olan zararını engellemektir [55].

Stabilizasyon/Solidifikasyon işlemleri:

- İnorganik sabitleme; genel olarak inorganik atıklara, özellikle metal katyonu içeren atıklara uygulanır,
- Organik kapsülleme; maliyetin düşünülmediği durumlarda (radyoaktif atık bertarafı) uygulanır [55].

Bunun için;

- Katı bir ürün elde etmek,
- Atığın işlenme özelliklerini geliştirmek,
- Kirletici taşınımının oluşacağı yüzey alanını azaltmak,
- Akışkanlarla temas ettiği zaman kirletici çözünürlüğünü azaltmak amaçlanmalıdır [55].

#### **6.1.11. Arıtma çamurunun bozulmuş alanlarda (kömür ve maden yatakları, taş ocakları) ıslah amaçlı kullanılması**

Bitkilerin yaşaması için gerekli olan mineral ve organik maddelerce fakirleşmiş, bu sebeple fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak üretim etkinliklerinin kaybetmiş toprakların yeniden verimli hale getirilmeleri iyileştirme çalışmaları adı altına yapılan işlemler ile mümkün olabilmektedir [39]. Özellikle fiili olarak kullanılmayan maden-kömür yatakları ve taş ocakları ile çeşitli tabiat olayları sonucunda erozyona uğramış alanlar ıslah işlevinin gerçekleştirilebileceği alanlar arasında sayılabilir. Buradaki amaç, toprak vasfını yitirmiş olan bu alanların yeniden verimli hale getirilerek ekolojik özelliklerini ortaya çıkarmaktır. Ayrıca dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da ıslah işleminin gerçekleştirileceği alanın uygulamadan sonra hangi amaç için kullanılacağıdır. Çünkü kullanılacak arıtma çamurunun, miktarının, uygulama zamanının ve de uygulama şeklinin tarımsal veya hayvansal gereksinimleri karşılayacak şekilde dikkate alınmak gerekmektedir [39].

İyileştirme çalışmaları kapsamında ele alınan temeller aşağıda maddeler halinde verilmiştir [18]:

- Erozyondan ciddi bir biçimde etkilenmiş, toprak derinliğinin az olduğu alanlarda, biyokatı uygulaması birincil olarak fiziksel etkisiyle erozyonu engellemekte, daha sonra ikincil etki olarak ortamda bulunan tohumların çıkış ve gelişmesini arttırarak hızla doğal bitki örtüsü oluşumunu sağlayabilmektedir. İyileştirilecek alanda öncelikle erozyonun engellenmesi amaçlandığında çok yıllık baklagil ve dar yapraklı bitkilerin karışım halinde ekilmesiyle tek tek türlerinin ekilmesinden daha başarılı sonuçların elde edildiği bildirilmektedir,
- İyileştirilecek alanların daha sonra ağaçlandırılarak orman alanı olarak kullanılması da mümkündür. Bu amaçla daha çok kereste ve kağıt yapımında kullanılan ağaçlar yetiştirilmektedir,
- İyileştirilecek alanlarında biyokatı; kurutulmuş, kompostlanmış, susuzlaştırılmış ve sıvı formlarda kullanılabilir. İyileştirilecek alanda geçici depolama yapılması durumunda çevre kirliliğine neden olmayacak önlemlerin alınması gerekmektedir [39],
- İyileştirilecek alanların bitkilendirilmesi çalışmalarında karşılaşılan önemli sorunlardan biri, toprak derinliğinin genellikle çok az olması nedeniyle, kök gelişmesinin ve su tutma kapasitesinin çok düşük olmasıdır. Bu nedenle iyileştirme çalışmalarının başlangıcında destek sulama yapılması daha başarılı sonuçlar alınmasını sağlamaktadır,
- İyileştirme amaçlı biyokatı kullanımında, uygulama zamanı da büyük önem taşımaktadır. Uygulama zamanı; iklim, toprak şartları ve bitkilendirmede kullanılan malzemenin büyüme dönemleri göz önünde bulundurularak belirlenir [39]. Biyokatı uygulaması için genellikle ilkbahar aylarında toprağın uygun olduğu zamanlar seçilmelidir [18].

#### **6.1.12. Arıtma çamurlarından elektrik enerji elde edilmesi**

Organik madde açısından zengin bir içeriğe sahip olan arıtma çamuru bu niteliğinden dolayı yakıla bilirlik özelliğine sahiptir. Arıtma çamurunun içeriğindeki organik madde miktarı, nem, uçucu madde, karbon ve kül miktarı, azot, oksijen, kükürt ve hidrojen miktarları çamurun yakılabilme potansiyelinin ortaya koyacaktır. Yakılma işlemi

sırasında çamur içindeki mevcut organik maddeler yanarak su buharı ve CO<sub>2</sub>'e dönüşür; bu reaksiyon sonucunda ısı da açığa çıkar. Yüksek derecelere sahip bu ısı, sistemde doğrudan kullanılabilirliğinin yanında özellikle elektrik enerjisi elde etmek için buhar üretiminde kullanılabilir [44].

#### **6.1.13. Arıtma çamurlarının çimento sektöründe değerlendirilmesi**

Çamurların hammadde olarak değerlendirilmesinde, yapı malzemesi, çimento hammaddesi ve adsorbent olarak kullanımı ön plana çıkmaktadır. Arıtma çamurlarına herhangi bir kimyasal stabilizasyon işlemi uygulanmaksızın yapı ya da kaplama malzemesi olarak kullanımı, oluşacak emisyonlar nedeniyle kısıtlanmakta bu tür kullanımlar için çamurların kimyasal veya termal işlemlerden geçirilmesi ön koşul olarak getirilmektedir [57]. Arıtma çamurlarının çimento fabrikalarındaki bir diğer kullanım alanı ise enerji elde etmek amacıyla kömür kullanılan enerji tesisleri ile çimento fırınlarında evsel nitelikli atıklar ile birlikte yakıt olarak kullanımıdır. Ön kurutma işlemi yapıldıktan sonra, arıtma çamurları, yüksek kalorifik değere sahip oldukları için, çimento fırınları içinde de yakılabilir. Ekonomik açıdan durum değerlendirilmesi yapıldığında, bu uygulamaların zirai amaçlı olarak kullanılamayan veya diğer evsel atıklarla birlikte yakılamayan çamurlar için düşünülmesi gerektiği anlaşıyor [52]. Çünkü su miktarındaki değişimler sistemin verimini etkilemektedir. Çamurun evsel atıklarla yakılması için % 60-65 kuru madde içermesi, çimento üretiminde ise maximum arıtma çamuru besleme oranının klinker üretim kapasitesinin % 5'inden daha fazla olmaması gerekmektedir. Bu nedenle, 2 000 ton/gün çimento üretiminde klinker kalitesinin değişmemesi için maksimum 100 ton/gün kuru madde kullanılmalıdır [38]. Çimento fabrikalarında hammadde ve yakıtı bir alternatif olarak da kullanılan arıtma çamurları, 2009 yılında evsel ve endüstriyel nitelikli toplamda 43 755 ton olmak üzere çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılmıştır [36].

#### **6.1.14. Arıtma çamurlarının tuğla üretiminde değerlendirilmesi**

Güney Afrika'da yapılan çalışmada, arıtma tesisinden alınan ve santrifüjle susuzlaştırılmış ve termik olarak şartlandırılmış 45 t/gün çamur, 15 km uzaklıktaki bir tuğla tesisinde kullanılmıştır [1]. Çamur, yüzey tuğlasında % 30 ve yığma tuğlada da % 5-8 oranında kille karıştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Ortalama basınç dayanımı 40,7 ve 38,3 MPa olan ve Güney Afrika standartlarını karşılayan (17 ve 14 MPa) değerler elde edilmiştir.
- 1 000 tuğla başına 55 litre yakıt tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir [1].

#### **6.1.15. Arıtma çamurlarının kömürlü santrallerde ek yakıt olarak değerlendirilmesi:**

Kömür santrallerinde geleneksel yakıt yerine alternatif yakıt kullanılmakta olan işlenmiş çamurların içinde bulunan kirleticiler de bu sayede stabilize edilmiş olur. Yanma sonucunda ise emisyon salınmaktadır. Çamurdan kaynaklanan ağır metal ayrışma sonrasında elektro filtreler vasıtasıyla fırın içinde absorbe edilir [24].

#### **6.1.16. Arıtma çamurunun yol dolgu malzemesi olarak kullanımı**

Yoğunlaştırma veya kurutma işlemlerinden sonra katı madde miktarında artma ve hacimsel büyüklüğünde azalma olan arıtma çamuru karayollarında temel altı dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Minimum çevresel etki ve yapım kolaylığı bu yöntemin önemli özellikleridir [55].

### **6.2. Arıtma Çamurlarının Bertarafı ve Geri Dönüşüm Yöntemlerinin Dünya'daki Uygulamaları**

Avrupa Birliği ülkelerinin genelinde yaklaşık olarak 9 milyon ton KM/yıl çamur üretimi olmaktadır. Bu çamurların bertarafı ve geri dönüşümü kullanılan yöntemlerin oransal olarak dağılımı şu şekildedir [14]:

- Toprakta kullanım: % 45,
- Termal işlem: % 23,
- Kompostlaşma: % 7,
- Katı atık depolama: % 18,



- Diğer: % 7 [13].

Atıksu arıtma tesislerinden işlem gördükten sonra oluşan çamurun nihai bertarafı ile yeniden kullanımında uygulanan yöntemler ülkeler bazında şu şekildedir [14]:

- *Almanya*: Tarımda kullanım (% 32), peyzaj (% 25), termal yöntemler (% 37), katı atık depolama (% 3),
- *Hollanda*: Kompost (% 15), yakma (% 58), termal kurutma (% 27),
- *Avustralya*: Tarımsal kullanım (% 60),
- *Amerika Birleşik Devletleri*: Tarımsal (% 41), peyzaj amaçlı ( % 12), toprak iyileştirme (% 2), katı atık depolama alanları& yakma tesisleri ( % 45),
- *Japonya*: Yapı malzemesi amaçlı kullanım (% 40), katı atık depolama alanları ( % 20), tarımsal ve peyzaj amaçlı kullanım ( % 10-14),
- *Çin*: Tarımsal kullanım ( % 45), katı atık depolama alanları ( % 34), yakma (% 3,5).

Çizelge 6.8. Arıtma çamuru yönetiminin ülkeler bazında karşılaştırılması [14]

| Ülke       | Üretim<br>bin ton/yıl | Nihai Bertaraf (%) |                     |       |       |
|------------|-----------------------|--------------------|---------------------|-------|-------|
|            |                       | Tarımsal           | Düzenli<br>Depolama | Yakma | Diğer |
| Avusturya  | 320                   | 15                 | 50                  | 35    | 0     |
| Belçika    | 75                    | 31                 | 36                  | 9     | 4     |
| Danimarka  | 130                   | 37                 | 33                  | 28    | 2     |
| Fransa     | 700                   | 50                 | 50                  | 0     | 0     |
| Almanya    | 2 000                 | 32                 | 3                   | 37    | 25    |
| Yunanistan | 15                    | 3                  | 97                  | 0     | 0     |
| İrlanda    | 24                    | 28                 | 18                  | 0     | 54    |
| Hollanda   | 282                   | 0                  | 0                   | 85    | 15    |
| Portekiz   | 200                   | 80                 | 13                  | 0     | 7     |
| İspanya    | 280                   | 10                 | 50                  | 10    | 30    |
| İsviçre    | 50                    | 30                 | 20                  | 0     | 50    |
| İngiltere  | 1 075                 | 51                 | 16                  | 5     | 28    |
| ABD        | 6 514                 | 36                 | 38                  | 16    | 10    |

Ülkeler bazında arıtma çamurunun bertarafı ve yeniden değerlendirilmesi ile ilgili olarak uygulanan yöntemler incelendiğinde, arıtma çamurunun tarımsal alanlarda kullanılması, düzenli depolama sahalarında değerlendirilmesi ve yakarak bertaraf etme yöntemleri ülkeler tarafından tercih edilmektedir (Çizelge 6.8).

Çizelge 6.9. Arıtma çamuru yönetiminin Türkiye'deki mevcut durumu [14]

| Nihai Uzaklaştırma Yöntemleri              | Çamur Miktarı (ton KM/gün) | Uygulanma Yüzdesi (%) |
|--------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Vahşi depolama                             | 166                        | 15                    |
| Düzenli depolama                           | 287                        | 26                    |
| Lagün/maden ocakları vb.                   | 316                        | 29                    |
| Kompostlaştırma                            | 1                          | 0,1                   |
| Toprakta kullanım (park-bahçe-tarım-orman) | 67                         | 6                     |
| Ek yakıt (çimento)                         | 145                        | 13                    |
| Diğer                                      | 105                        | 10                    |

Türkiye’de arıtma çamurunun nihai bertarafı ve geri kazanımında en çok uygulanan yöntemler, vahşi-düzenli depolama ile lagün/maden ocaklarında değerlendirme yöntemleridir (Çizelge 6.9). Türkiye’de yaklaşık olarak arıtma çamurlarının % 70’i bu yöntemlerle uzaklaştırılmaktadır. Kompostlaştırma yöntemi yok denecek kadar az kullanılıyor olup, arıtma çamurunun çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılması % 13 olduğu Çizelge 6.9’da görülmektedir.

## 7. ARITMA ÇAMURUNUN DEĞERLENDİRİLMESİNDE YENİ YÖNTEMLER

### 7.1. Atık Çamur Küllerini Değerlendirme Yöntemleri

Yanma sonucunda açığa çıkan gazların, ıslak arıtılma işlemine tabi tutulması sonucu oluşan filtre kekinin bileşimi Çizelge 7.1’de verilmiştir [57].

Çizelge 7.1. Arıtma çamuru yanma gazlarının ıslak arıtılmasında elde edilen filtre kekinin bileşimi [57]

| Bileşik İçeriği     | Çamurun Yanması Sonucu Oluşan Bileşikteki Oran % | Islak Arıtma Tekniği Sonucu Filtre Kekinin Bileşimindeki Oran % |
|---------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Kuru madde oranı    | 57,40                                            | 64,30                                                           |
| CaSO <sub>4</sub>   | 65,95                                            | 70,58                                                           |
| CaF <sub>2</sub>    | 1,44                                             | 3,89                                                            |
| CaCO <sub>3</sub>   | 7,89                                             | 17,43                                                           |
| Ca(OH) <sub>2</sub> | 0,59                                             | 2,57                                                            |
| Serbest C           | 0,27                                             | 2,80                                                            |
| Uçucu Kül           | 11,00                                            | 15,96                                                           |
| CaSO <sub>3</sub>   | 0,77                                             | 5,13                                                            |

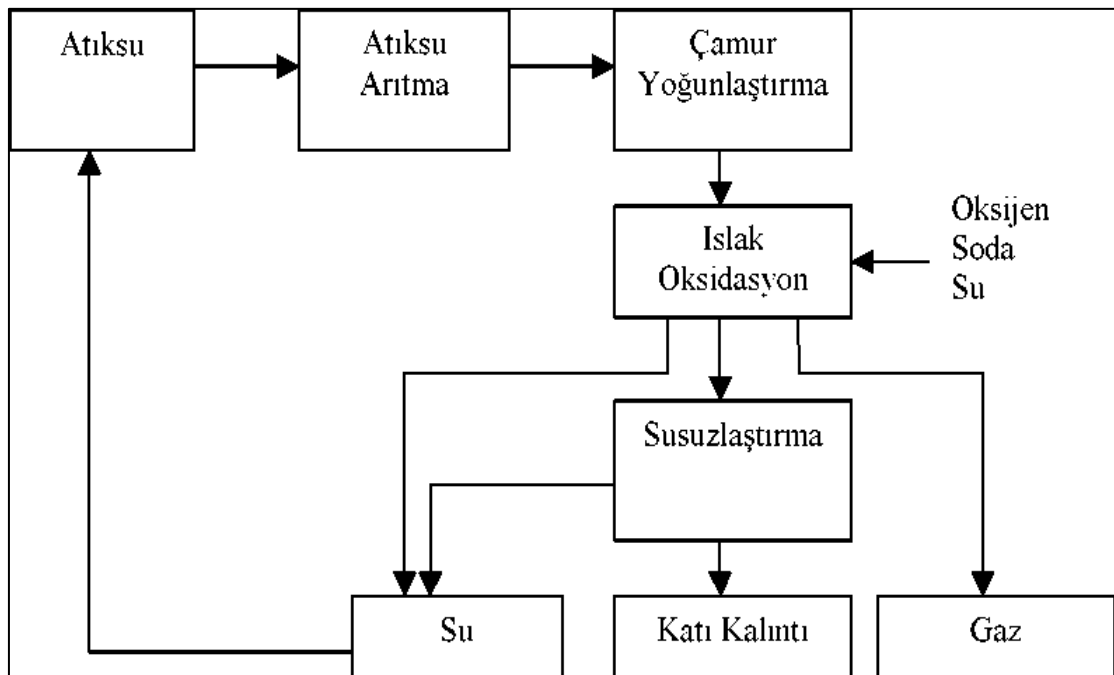
Viyana şehrinin 3,5 milyon eşdeğer nüfusa sahip atıksularının arıtma çamuru verileri incelendiğinde, arıtma çamurlarının deponiye gönderilmesi yerine yakma tesisinde değerlendirilmesi, daha uygun bir yöntem olacaktır. Bu sebeple, çamurun organik ve inorganik içeriği nedeniyle çimento üretiminde yenilenebilir bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi iyi bir çözüm olacaktır [35].

## 7.2. Islak Oksidasyon

Sulu çamurlar sürekli bir proseste yüksek basınç altında (70 ile 150 bar) yaklaşık 250 °C sıcaklıklarda ve ıslak bir ortamda oksijen ile yakılmaktadır. [2].

Genelde, uygun sıcaklık, basınç (1-22 MPa), reaksiyon süresi ve yeterli basınçlı hava veya oksijen sağlanırsa yüksek yakma verimi elde edilebilir. Yaş oksidasyon süreci ‘Zimpro’ süreci olarak patentlenmiştir. Bu süreç literatürde aynı zamanda, ıslak yakma veya ıslak tutuşturma olarak da anılır. Zimpro süreci, diğer alışılmış yakma sistemlerinde uygulanması gereken ön susuzlaştırma veya kurutma işlemlerini de gerektirmez. Çamurdaki su oranı % 99 mertebesinde olabilir [50].

Bu prosesin detaylı akım şeması Şekil 7.1’de verilmiştir [2].



Şekil 7.1. Islak oksidasyon akım şeması [2].

Islak oksidasyon prosesi önemli bir ön işlem gerektirmemekte, çoğunlukla çamur yoğunlaştırma yeterli olmaktadır. Ancak mineral kalıntılar ve sıvı fazın oksidasyon sonrası kontrol altına alınması gerekir [2].

Organik kirleticiler parçalanır ve gaz formunda bulunan civa dışındaki ağır metal konsantrasyonları kalıntıda kalır. Çizelge 7.2’de ıslak oksidasyonda oluşan ağır metallerin dağılımı verilmiştir [2].

Çizelge 7.2. Islak oksidasyonda oluşan ağır metallerin dağılımı [2]

|             | İçerik           |              | Konsantrasyon faktörü |
|-------------|------------------|--------------|-----------------------|
|             | mg/kg kuru madde |              |                       |
|             | Ham çamur        | Katı kalıntı |                       |
| Kadmiyum    | 10               | 35           | 3,5                   |
| Toplam krom | 40               | 130          | 3,2                   |
| Bakır       | 376              | 1 300        | 3,4                   |
| Civa        | 5                | 2            | 0,4                   |
| Nikel       | 32               | 110          | 3,4                   |
| Kurşun      | 145              | 528          | 3,6                   |
| Çinko       | 820              | 2 750        | 3,3                   |

Islak oksidasyon prosesi önemli bir ön işlem gerektirmemekte, çoğunlukla çamur yoğunlaştırma yeterli olmaktadır. Ancak mineral kalıntılar ve sıvı fazın oksidasyon sonrası kontrol altına alınması gerekir. Mineral kalıntılar genellikle yakma küllerin benzer yöntemlerle arıtılmaktadır [2].

Atık gazlar büyük ölçüde CO<sub>2</sub> içerir. Bunun yanında O<sub>2</sub>, CO ve hidrokarbonlar da mevcuttur. Bu gazlar ikinci bir katalitik oksidasyonla temizlenir. Oksitlenmiş çamurun katı ve sıvı fazlarının ayrılması mekanik olarak (örneğin filtrepresle) gerçekleştirilir.

Floklama maddeleri eklenmesi gerekmez. Bu ayırma sonunda % 55-60 Katı Madde (KM) oranına erişilir. BOİ değeri 30 000 mg/L olan atık çamurdan yola çıkılarak yaş oksidasyon işlemi ile BOİ'de % 75-80'lik bir azalma sağlanır. Kalıntıların Toplam Organik Katı (TOK) değeri yaklaşık % 2,5 olup evsel atıkların II. deponi sınıfı yönetmeliğinde istenen % 3'lük değerden daha düşüktür. Sıvı filtrat çok kademeli atıksu arıtımına gönderilerek orada arıtılır veya gelen atık çamurun seyreltilmesi için de kullanılabilir. Bu metoda göre işleyen ilk teknik deneme tesisi 1982'de Logmont/Colorado (ABD)'da 2 yıl süreyle çalıştırıldı. 1992 yılı sonunda Hollanda'nın Apeldoorn kentinde büyük teknik tesis devreye girdi. Kapasitesi 25 000 t/yıl KM'idi. Deneme ve optimizasyon çalışmaları sonucu 1994 Eylül'ünde sürekli çalışmaya başlayan tesis, 5 gün yaş oksidasyon 2 gün durulama şeklinde işletilerek ilk yıl 120 000 t, 1995'te 500 000 t ve 1996'nın ilk çeyreğinde 150 000 t olmak üzere toplam 770 000 t atık çamur işledi. KM oranı % 4,5 olup bu da 35 000 t KM'ye karşılık gelmektedir [31].

### 7.3. Piroliz

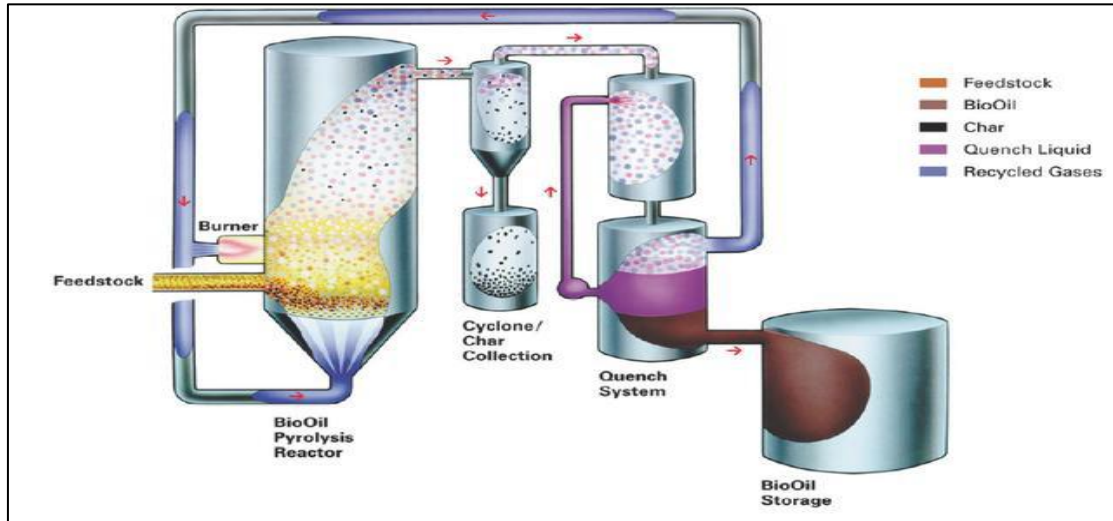
Piroliz işlemi, dışarıdan hava girişi olmadan yapılan kontrollü bir yanma işlemidir. Çamurlar yakılmadan 300-900 °C sıcaklıklara kadar ısıtılır ve sonunda mineral ve karbon içeren katılar ile sıcak gazlar oluşur. Isıtma işlemi oksijensiz ve kapalı bir ortamda gerçekleştiğinden dolayı karbon ve uçucu maddeler yanmazlar. Piroliz genellikle ilk aşamada parçalanma ve devamında ilk ürünlerin kısmen veya tamamen bozunmasıyla gelişir. Düşük piroliz sıcaklığı ve uzun bekletme süreleri kömür oluşumunu artırır [24].

Gaz ürünler ise yüksek sıcaklık ve uzun bekletme süreleri ile artar, sıvı ürünler için optimum sıcaklık ve bekletme süreleri geliştirilebilir. Piroliz edilen çamurun organik içeriğine bağlı olarak hidrojen, metan, karbon monoksit, karbon dioksit ve diğer gazlar ortaya çıkmakta ve inorganik maddeleri de içeren bir kömür oluşmaktadır [24].

Piroliz bir seri karmaşık kimyasal reaksiyonlar içerir. Elde edilen piroliz ürünleri ise piroliz gazı, yarı kok ve yağdan oluşur. Gaz, yakıt olarak kullanılabilir. Yarı kok, yakıt olarak yakılabilir veya uzaklaştırılabilir. Yağ ise kimyasal endüstriler için bir hammadde veya yakıt olarak kullanılabilir [50].

Prosesin avantajları:

- Çamurun küçük hacimli inert artığa dönüştürülmesi,
- Çeşitli kimyasal proseslerde kullanılabilen yüksek kaliteli yağ üretimi,
- Düşük çalışma sıcaklıkları ve ağır metallerin çoğunlukla yan ürünlere bağlanmasından dolayı katran ve dioksin gibi zararlı yan ürünlerin oluşumunun gerçekleşmemesidir [50],
- Çamurların yakılmasına oranla daha az gaz emisyonu oluşur (yaklaşık %30),
- Düşük sıcaklıklar nedeniyle PCDD/F emisyonları oluşmaz,
- Maddelerin ayrılması ve değerlendirilmesi mümkündür [2].



Şekil 7.2. Piroliz akım şeması [59]

Piroliz uygulamalarına, Almanya'dan PKA, Siemens, Thermoselect ve Fransa'dan Nexus, Thide, Traidec modelleri örnek olarak verilebilir. Avrupa'da ve Japonya'da yaklaşık 16 tesiste çamur pirolizi uygulanmakta ve bazı pilot tesislerde ise 0,5 ile 25 ton/saat kapasitelerde piroliz yapılmaktadır. Bu tesislerin 4 tanesinde sadece piroliz uygulanmakta ve 11 ton/saat kapasite ile çalışmaktadır. Diğer tesislerde ise, piroliz+gazlaştırma ve piroliz+yakma işlemleri uygulanmakta ve 28,5 ton/saat ve 38 ton/saat kapasitelerde çalışılmaktadır [2].

Çizelge 7.3. Farklı piroliz uygulamalarında elde edilen tipik ürünler [2]

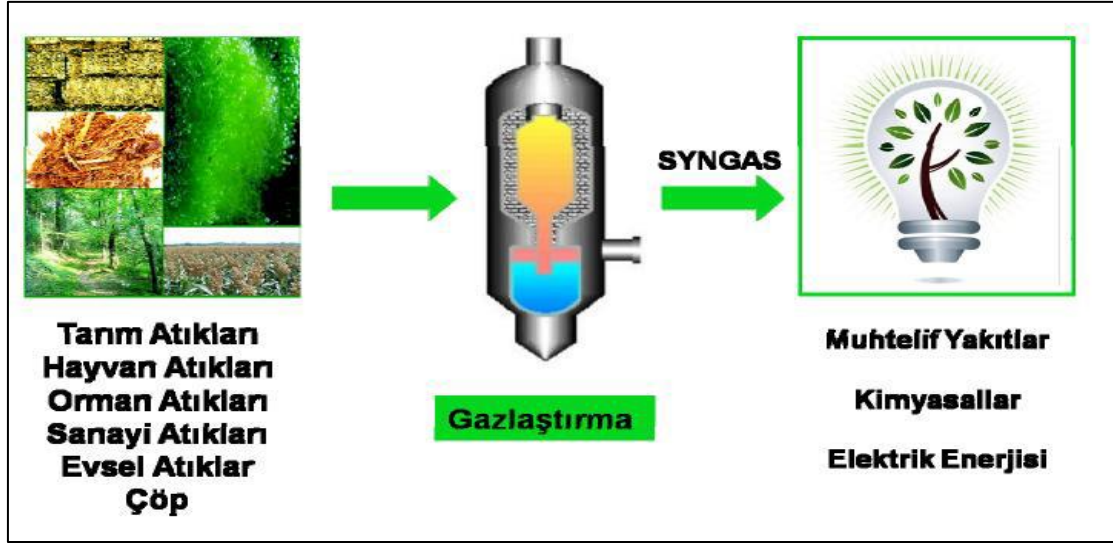
| Tipi | Şartlar | Sıvı | Katı | Gaz |
|------|---------|------|------|-----|
|------|---------|------|------|-----|

|               |                                                       |      | Kömür |      |
|---------------|-------------------------------------------------------|------|-------|------|
| Hızlı piroliz | Ayarlanmış sıcaklık, kısa bekletme süresi kısmi buhar | % 75 | % 12  | % 13 |
| Karbonizasyon | Düşük sıcaklık, çok uzun bekletme süresi              | % 30 | % 35  | % 35 |
| Gazifikasyon  | Yüksek sıcaklık, uzun bekletme süresi                 | % 5  | % 10  | % 85 |

Hızlı piroliz birkaç saniye veya daha kısa süre içerisinde oluşur. Biyokütle buhar, aerosol ve kısmen kömür oluşumu ile bozunur. Soğutma ve kondenzasyondan sonra koyu kahverengi akıcı ve klasik fuel-oilin ısıtma değerinin yarısına sahip bir sıvı oluşur. Klasik piroliz prosesi kömür üretimi ile ilgili iken hızlı piroliz, daha yüksek miktarda sıvı ürün eldesi için parametrelerin dikkatlice kontrol edildiği gelişmiş bir prosestir. Bu nedenle reaksiyon ara yüzeyinde çok yüksek ısıtma ve ısı transferi sağlayacak ince tabaka halinde biyokütle beslemesi, piroliz reaksiyon sıcaklığının 500 °C ve buhar fazı sıcaklığının 400-450 °C civarında dikkatlice kontrolü, 2 saniyeden az buhar bekletme süresi ve piroliz buharlarının hızlı soğutulması gerekmektedir. Sonuçta ana ürün olan bio-oil beslenen kuru maddenin ağırlıkça en az % 75'i kadardır, yan ısıra kömür ve proses ısını sağlama kullanılan gazlarda elde edilir [2].

#### 7.4. Gazlaştırma

Gazlaştırma yanabilen maddelerin hava veya oksijen ile gaz ve inert kalıntılara dönüştürülmesini sağlayan termal bir prosestir [50]. Bu yöntemle organik atıklardan gazlaştırıcı maddeler içeren buhar, hidrojen, karbondioksit, oksijen veya bu bileşiklerin karışımı kullanılarak tümüyle gaz halindeki ürünler elde edilir [24-49]. Kömür ile gaz üretiminde uzun zamandan beri kullanılan bu proses, 900-1100 °C sıcaklıklarda hava ile veya 1 000-1 400 °C sıcaklıklarda oksijen ile yüksek sıcaklıklarda uygulanmaktadır. Oksijen ile gazlaştırmada, % 55-60 oranında N<sub>2</sub> ve 4-7 MJ/Nm<sup>3</sup> kalorifik değerde gaz ürünler oluşur. İstenmeyen N<sub>2</sub> gazları oksijen verilerek, karbondioksit ve su ise reaksiyon sırasında azaltılarak yakıt gaz hacmi artırılır. Yakma prosesi ile karşılaştırıldığında çamurların yakılması ile 24-30 m<sup>3</sup>/kg kuru madde baca gazı elde edilirken saf oksijen ile gazlaştırma prosesinde sadece 1,7 m<sup>3</sup> baca gazı oluşmaktadır [2].



Şekil 7.3. Gazlaştırma akış şeması [59]

Gazifikasyon işleminin avantajları:

- Dioksin oluşmaz,
- Ürün kalitelidir (karbon çevirimi yüksektir),
- Azot konsantrasyonu  $30 \text{ mg/Nm}^3$ 'ün altına düşer,
- Gazlaştırıcının atmosferik basınç koşullarına göre kuruluş maliyeti düşüktür,
- Kontrol edilmesi kolaydır,
- Katıların türbülanslı hareketi sıcaklığın sabit olmasını sağlar,
- Ürün iyileştirilmesine fazla ihtiyaç olmaz [49].

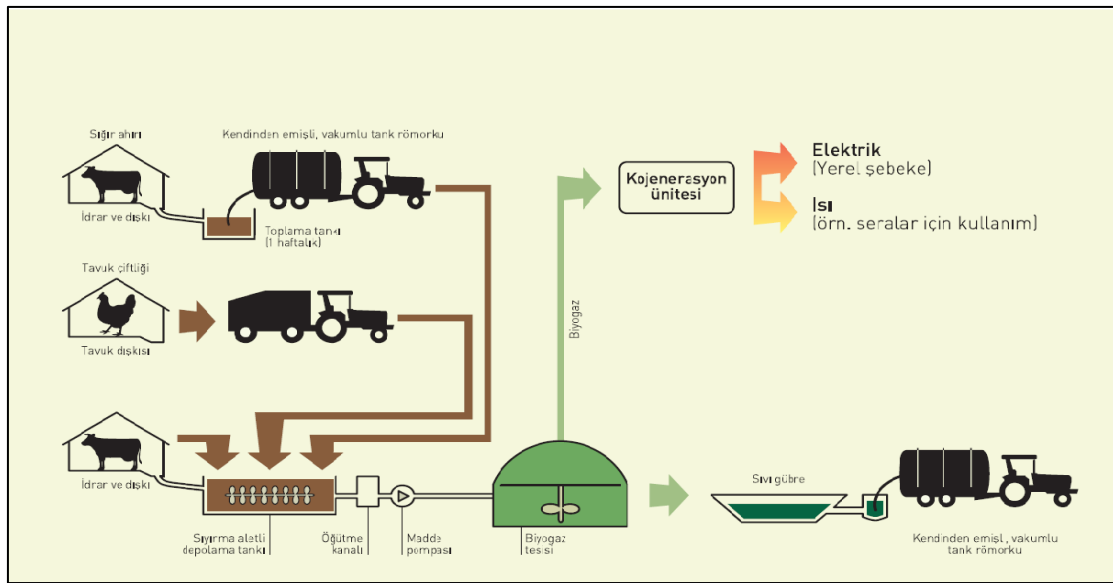
### 7.5. Arıtma Çamurlarından Biyogaz Yoluyla Enerji Elde Edilmesi

Biyogaz, ısı değeri yüksek bir enerji kaynağı olup organik maddelerin (başta hayvan dışkıları ve bitki atıkları olmak üzere, her türlü organik materyalin) oksijensiz şartlarda biyolojik parçalanması sonucu oluşan metan ve karbondioksit gazıdır. Çeşitli organik maddelerin metan ve  $\text{CO}_2$ 'ye dönüşümü karışık mikrobiyolojik flora tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu oksijensiz bozunma esnasında metan gazı dört aşamalı bir işlem sonucunda oluşur [60].

Türkiye'de elektrik üretim amacı ile biyogaz yöntemi kullanılmaktadır. Örneğin, Kayseri Su ve Kanalizasyon İdaresi (KASKİ) tarafından işletilen Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi biyogazdan elektrik üretiminin uygulandığı bir tesistir.



- **Hidroliz:** Çözünemeyen kompleks organik moleküllerin çözünebilen moleküllere enzimler tarafından dönüşümüdür.
- **Asetogenesis:** Çözünebilen organik moleküllerin asit üreten mikroorganizmalar tarafından alkol ve organik asitlere dönüşümüdür.
- **Fermentasyon:** Organik asit ve alkollerin; asetat, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>' ye dönüşümleridir.
- **Metanogenesis:** Metan üreten bakterilerin H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ve asetatı metana dönüştürmesidir [60].



Şekil 7.4. Biyogaz proje akım şeması [61]

Bu dört aşamalı metan gazı üretimini etkileyecek birçok parametre vardır. En yüksek metan üretim verimliliğinin ortam sıcaklığı için; mezofilik bakterilerde 37 °C ve termofilik bakteriler de ise 55 °C olduğu, optimum ph değerlerinin ise yaklaşık 6,5-8 arasında olduğu ifade edilmiştir [60-62]. Organik maddelerin oksijensiz fermentasyonu sonucu açığa çıkan biyogaz bileşimi, Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4. Biyogazın ortalama hacimsel bileşimi [63]

| BİLEŞİM ELEMANI | % HACİMSEL BİLEŞİM |
|-----------------|--------------------|
| Metan           | 54-80              |
| Karbondioksit   | 20-45              |
| Azot            | 0-1                |
| Hidrojen        | 1-10               |

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| Karbonmonoksit  | 0,1           |
| Oksijen         | 0,1           |
| Hidrojen Sülfür | Eser miktarda |

Biyogaz üretimi oksijensiz bozunmanın bir sonucu olup, biyolojik olarak aktif atıklar ve kanalizasyon suları içeren kapalı kaplarda gerçekleşir. Bu işlemler sonucunda ortaya çıkan biyogaz verimliliği sistemdeki üretece de bağlıdır. Genelde yarı kesikli sistemler uygulanmakta olup, ortam sıcaklığının sağlanması için güneş enerjisinin de yardımcı olarak kullanıldığı görülmektedir [60].

Kullanılabilirlik açısından geniş bir ağa sahip bir enerji kaynağı olan biyogaz, doğrudan doğruya ısı enerjisi elde etme ve aydınlatma amacıyla kullanılabildiği elektrik veya mekanik enerjiye çevrilerek kullanılabilir.

Taleghani ve Kia (2004), İran’ da bulunan Saveh atıksu arıtım tesisinde arıtım çamurlarından biyogaz üretimini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen gübre ile Saveh bölgesinde nar, üzüm ve kavun üretiminin arttırıldığını, yarı kurak iklime sahip olan bölgede sulama suyunun bir kısmının tesisten temin edildiğini, biyogaz eldesi sonucunda ekonomik kazanç sağlandığını, çamur bertarafı esnasında koku ve sinek probleminin ortadan kalktığını belirtmişlerdir [65].

Çeşitli kaynaklardan elde edilecek biyogaz miktarları, biyogazda bulunan metan miktarları ve biyogaz enerjisinin diğer yakıtlarla karşılaştırılması Çizelge 7.5 ve Çizelge 7.6.’da görülmektedir.

Çizelge 7.5. Çeşitli kaynaklardan elde edilecek biyogaz miktarları ve biyogazda bulunan metan miktarları [60-63]

| KAYNAKLAR                | BİYOGAZ VERİMİ (L/kg) | METAN ORANI<br>(Hacim yüzdesi) |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Sığır gübresi            | 90-310                | 65                             |
| Domuz gübresi            | 340-550               | 65-70                          |
| Buğday samanı            | 200-300               | 50-60                          |
| Çimen                    | 280-550               | 70                             |
| Sebze atıkları           | 330-360               | Değişken                       |
| Ziraat atıkları          | 310-430               | 60-70                          |
| Yer fıstığı kabuğu       | 365                   | -                              |
| Dökülmüş ağaç yaprakları | 210-290               | 58                             |
| Alg                      | 420-500               | 63                             |

|               |         |       |
|---------------|---------|-------|
| Atıksu çamuru | 310-800 | 65-80 |
|---------------|---------|-------|

Çizelge 7.6. Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması [60-63]

| YAKIT<br>TÜRÜ             | BİRİM<br>ENERJİ<br>DEĞERİ (MJ) | YANMA<br>VERİMİ | KULLANILABİLİR<br>ENERJİ (MJ) | BİYOGAZ<br>ENERJİ<br>EŞDEĞERİ |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Biyogaz (m <sup>3</sup> ) | 20                             | 60              | 11,8                          | 1 m <sup>3</sup>              |
| Elektrik<br>(kWh)         | 3,6                            | 70              | 2,5                           | 4,7 kWh                       |
| Gazyagı (L)               | 38                             | 50              | 19                            | 0,62 L                        |
| Bütan (kg)                | 46                             | 60              | 27,3                          | 0,43 kg                       |

Ankara’da hizmet veren atıksu arıtma tesislerinden açığa çıkan çamurlarından biyogaz elde etmek suretiyle günde yaklaşık 75 800 kWh elektrik enerjisi üretilmekte ve bu miktar tesis enerjilerinin yaklaşık ihtiyacının % 95 oranında karşılanmaktadır.

Tuzla Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde ise Arıtma tesisinde ortaya çıkan biyogaz literatürdeki verilere göre % 65 metan ve % 35 karbondioksit içerir. Bu içeriğe sahip 1 m<sup>3</sup> biyogazdan 1,25 kWh enerji elde etmenin mümkün olduğu göz önüne alınırsa, optimum değerlerin kullanılması sonucunda açığa çıkan 11 875 m<sup>3</sup>/gün biyogazdan 14 843,75 kWh/gün enerji elde edilebilir [66].

Doç. Dr. K. Süleyman Yiğit ve arkadaşlarının (2011), Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü’ne bağlı 42 Evler Atık Su Arıtma Tesisi üzerinde yaptıkları çalışma neticesinde kurulacak biogaz tesisi birlikte arıtma tesisindeki elektrik enerjisi tasarrufunun % 28,5 azalacağını ve yıllık bazda oluşacak tasarrufun 1 089 819-TL olacağını ön görmüştür [67].



Resim 7.1. Kocaeli 42 evler atıksu arıtma tesisi [67]

Çizelge 7.7. Mevcut durum ile biyogazlı tesisin maliyet karşılaştırılması [67]

|                                                  |                               |           |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|
| Mevcut Durum Arıtma Tesis Maliyetleri            | Elektrik Maliyeti (TL)        | 869 495   |
|                                                  | Polimer Maliyeti (TL)         | 125 580   |
|                                                  | Kamyon Kiralama Maliyeti (TL) | 94 393    |
|                                                  | Çamur Bertaraf Maliyeti (TL)  | 1 464 053 |
|                                                  | Toplam Maliyet (TL)           | 2 553 521 |
| Biyogaz Tesis Kurulursa Arıtma Tesis Maliyetleri | Elektrik Maliyeti (TL)        | 621 689   |
|                                                  | Polimer Maliyeti (TL)         | 62 790    |
|                                                  | Kamyon Kiralama Maliyeti (TL) | 47 147    |
|                                                  | Çamur Bertaraf Maliyeti (TL)  | 732 027   |
|                                                  | Toplam Maliyet (TL)           | 1 463 702 |
| Sonuç                                            | Yıllık Tasarruf (TL)          | 1 089 819 |

Çamurdan, biogaz ve elektrik enerjisi üretilmesi durumunda tesisin işletme maliyetlerinde su değişikliklerin olması beklenmektedir [68]:

- Belt presteki kapasite artmakta, bu sayede belt prese gelen çamur azalmaktadır. Çamur azaldığı ve daha kolay preslenebildiğinden belt pres daha az yıpranacak, yedek parça ve bakım giderleri azalacaktır,
- Çamur azalmasından dolayı daha az araç gerekecektir. Bu sayede daha az yatırım gerekli olacaktır. Nakliye, bakım, yakıt ve personel maliyetleri düşecektir,
- Çamurun depolanması, çamur büyük oranda azalacağından depolama maliyetleri çok düşecektir,
- Hava kirliliğine neden olan CO<sub>2</sub> gazlarının azalmasına katkı sağlayacaktır. Biyogaz üretimi için yapılacak çürütme tankları ve ultrases dalgaları reaktörü sayesinde hava kirliliğine neden olan tehlikeli metan gazının havayı kirletmesi azalacaktır,
- Kurutulacak çamur daha iyi susuzlaştırılmış olduğundan enerji gideri azalacaktır. Çamur kurutma tesisi daha küçük yapılacak olduğundan yatırım tasarrufu sağlanır. Biyogaz tesisinin üretileceği kendi enerjisi ile çamur kurutma isinde kullanılır,
- Metan gazından elektrik enerjisi üretilip satılarak kar marjı arttırılabilir,
- Fermantasyon sonucu ortaya çıkan ürün organik gübredir ve içeriğinden dolayı yüksek verime sahiptir [68].

## 7.6. Hidroliz

Hidroliz reaksiyonlarında hem organik hem de anorganik bileşikler parçalanır. Bu metotta daha yüksek sıcaklık (320 °C'ye kadar) mevcuttur. Bundan dolayı cihazların ve bağlantı elemanlarının basınca dayanıklı olması gerekmektedir [43].

Yüksek sıcaklıklarda biyokütlenin hücre yapısı parçalanır ve burada toplanan ağır metaller açığa çıkar. Büyük ölçüde sıvı faza (hidrolizat) geçen ağır metaller, pH değerinin yükseltilmesiyle selektif olarak çöktürülür. Katı faz büyük ölçüde ağır metalden arınmıştır. Bu işlemde halojenli organik bileşikler (örneğin dioksinler) de parçalanır ve daha sonra yeni bileşik oluşturmazlar. Bu işlem sıcaklıkla aktifleştirilmiş sıvı hidrolizi atık çamurlarının giderilmesinde de uygundur [49].

### **7.7. Hidrotermal Oksidasyon**

Bir süper kritik su oksidasyonu olan hidrotermal oksidasyon işlemi 276 bar basınç ve 450 °C sıcaklıkta gerçekleştirilir. Bu yüksek sıcaklık ve basıncın nedeni, suyun kritik reaksiyon noktası olan 374 °C ve 221 bar'ın üzerinde fiziksel özelliklerinin, organik maddeler ile sınırsız biçimde karşılaşılabilecek şekilde değişmesine dayanmaktadır. Bu özelliğinden dolayı kritik nokta üzerindeki su, organik maddelerin (örneğin halojenli organik bileşikler içeren atık çamurların) oksidasyonu için ideal bir ortam oluşturur. Aynen gaz fazındaki oksidasyonda olduğu gibi, kritik üzeri su içindeki organik moleküllerin CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüşümü gerçekleşir. Organik bağlı azottan NH<sub>3</sub> ve N<sub>2</sub>, halojenlerden ve kükürten asitler oluşur. Nötralizasyon işlemi ile bunlar anorganik tuzlara dönüştürülür. Basınç ve sıcaklığın artırılması ile parçalanma prosesi hızlandırılır ve giren maddelerin parçalanma derecesi optimize edilir. Parçalanma ürünleri CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve bir katı madde karışımıdır. Parçalanma prosesinde tuzlar ve diğer katılar şeklinde geriye katan veya nötralizasyonda oluşan organik zararlı maddeler katı karışım içinde toplanır ve özel atık olarak giderilir. Deneme sonuçlarına göre bu işlemin uygun olduğu alan, sıvı atıklardaki veya üretim çamurlarındaki güç parçalanmış zehirli organik bileşiklerin mümkün olduğu kadar tamamen parçalanmasının istendiği durumlardır [49].

### **7.8. Mikrodalga-Yüksek Basınç İşlemi**

Mikroalga yüksek basınç işlemi, sulu fazdaki organik atıkların termo kimyasal dönüşümü prensibine dayanmaktadır. Mikroalga enerjisi ısıtılacak madde için gerekli ısı enerjisini büyük bir verimle sağlamaktadır. Süspansiyon içindeki organik kısım, yüksek basınçlı reaktörün 300-400 °C sıcaklığı ve 160-180 bar'lık basıncı altında(prosesle uygun olarak suyun kaynama çizgisinin hemen altında) bir yağ ürünü ve CO<sub>2</sub>'e dönüşmektedir. [49].

## 7.9. Vitrifikasyon

Stabilizasyon için öngörülen metotlardan biri de "*vitrifikasyon*" dur. Japonya bu konuda bazı tecrübelerle sahiptir. Japonya' da arıtma çamuru uygulanacak alanların son derece az olması nedeniyle atıksu arıtma tesislerinden elde edilen çamurların % 60'ı yakılmaktadır. Katı atıkların ve arıtma çamurlarının yakılması sonucu oluşan küller arazi doldurma yöntemi ile giderilmektedir [18].

## 7.10. Arıtma Çamurları İle Organik Katı Atıkların Birlikte Entegre Yönetimi (Biyometan) [68]

AB'ye üyelik sürecindeki ülkemiz için de, halen tamama yakını düzenli depolama tesislerine gönderilen evsel katı atıklar içerisindeki biyolojik olarak bozulabilir (organik) atıkların ayrılarak kompost ve/veya biyometan üretimi, söz konusu kotaların sağlanması ve yenilenebilir enerji geri kazanımı ve atığın stabilizasyonu nedeniyle, başta AB olmak üzere Dünya ülkeleri genelinde giderek büyük önem kazanmaktadır [69].



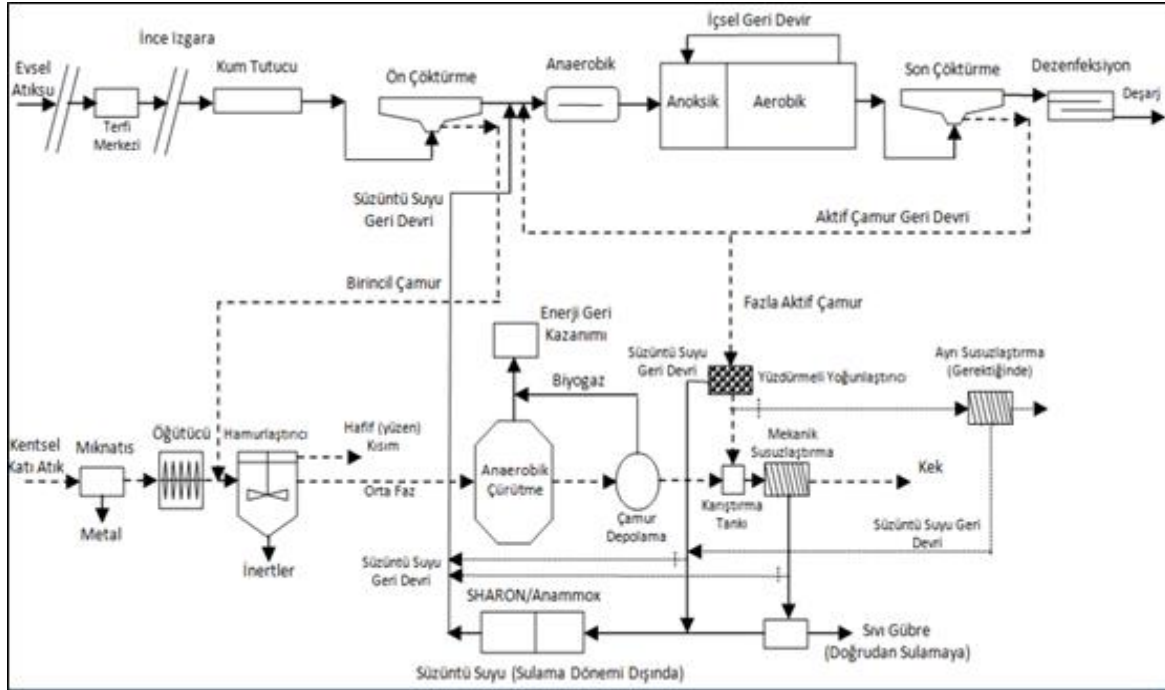
Resim 7.2. İtü pilot biyometanizasyon sistemi [69]

Bu sistemdeki atıkların birlikte bertaraf kavramı, farklı tipteki atıkların tek bir entegre arıtma sisteminde arıtımını içerir. Birlikte bertaraf edilebilecek atıklar; tarımsal atıklar (çiftlik atıkları, mandıra atıksukları, mezbaha ve et endüstrisi, enerji bitkileri), tarıma dayalı endüstriyel proses atıklar (prosesten çıkan katı ve sıvı atıklar, arıtma tesisi çamurları), kentsel katı atıkların organik kısmı (hal-pazaryeri atıkları, yemekhane atıkları, restaurant-pastane-yemek fabrikası atıkları, mutfak atıkları, kağıt-karton), arıtma tesisinde oluşan biyokatılar (biyolojik çamurlar, endüstriyel atıksu arıtma tesis çamurları).

Farklı atık türlerinin entegre bir tesiste bertarafı;

- Arıtma maliyeti azalır,
- Proses verimi ve stabilitesi artar,
- Metan üretimi atar,
- Entegre (bütünleşik) bir atık yönetimi sağlanır [69].





Şekil 7.5. Kentsel atıksu arıtma ile entegre biyometan tesisi proses akım şeması [69]

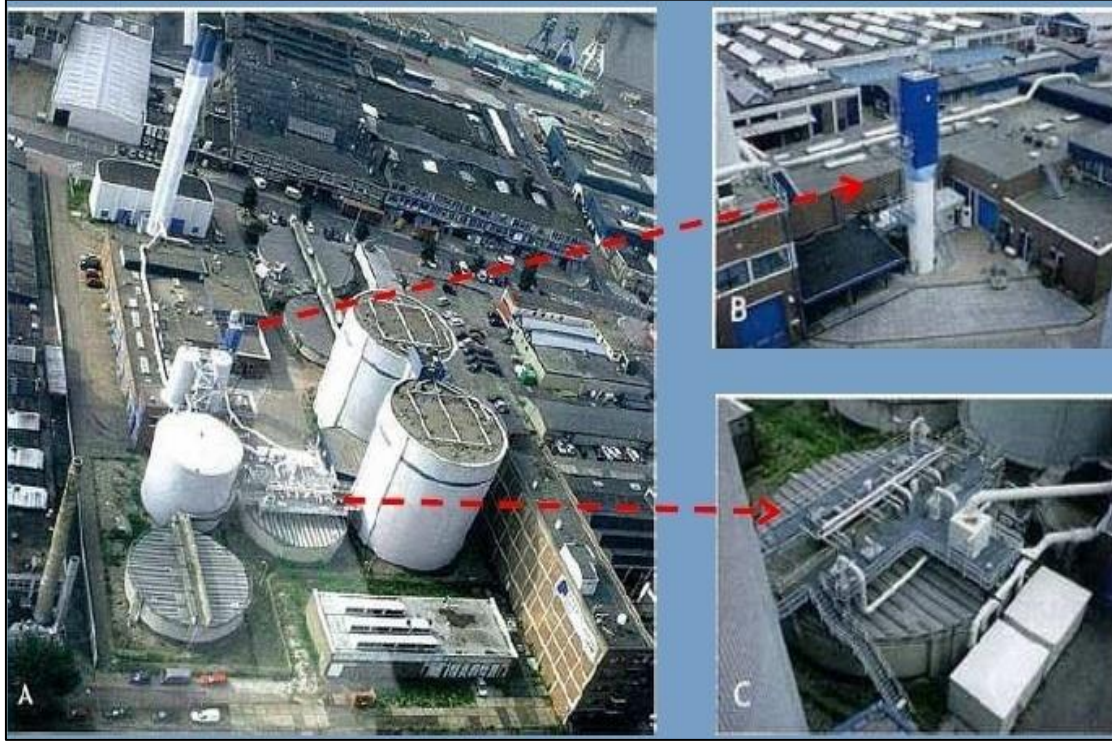
Birlikte arıtım yaklaşımı ile, mevcut bir arıtma tesisinde ilave büyük yatırımlara gerek kalmadan iki büyük atık akımının birlikte arıtımı gerçekleştirilebilmektedir [69].

Çizelge 7.8. Kentsel atıksu arıtma tesisi ile entegre biyometan tesisinin maliyet analizi [69]

| Eşdeğer Nüfus (EN) | İlk Yatırım Maliyeti (€/EN) | Toplam İlk Yatırım (€) | Yıllık İlk Yatırım (€/EN) | Yıllık İşletme ve Bakım (€/EN.yıl) | Yıllık Toplam Maliyet (€/EN.yıl) |
|--------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 100 000            | 31                          | 3,1x10 <sup>6</sup>    | 266 000                   | 2,2                                | 4,9                              |
| 2x100 000          | 29,5                        | 5,9x10 <sup>6</sup>    | 505 000                   | 2,1                                | 4,7                              |
| 250 000            | 28                          | 7,0x10 <sup>6</sup>    | 299 000                   | 2,0                                | 4,4                              |
| 2x250 000          | 25                          | 12,5x10 <sup>6</sup>   | 1 064 000                 | 1,8                                | 3,9                              |
| 4x250 000          | 23                          | 23x10 <sup>6</sup>     | 1 995 000                 | 1,7                                | 3,7                              |

Proje kapsamında, Kentsel AAT ve Entegre Biyometan Tesisi (EBMT)'nin (yan akım arıtma prosesi hariç) eşdeğer nüfusu (EN) 100 000-1 000 000 kişilik kapasiteler için ön fizibilite çalışmasında biyometandan üretilen yenilenebilir enerjiye % 100 teşvik uygulanması halinde 100 000 EN'li Entegre Biyometan Tesisi'nden geri kazanılabilecek enerji miktarı ~4,5 €/EN.yıl olup, birim yıllık toplam yatırım bedelinin ~% 90'ına karşı gelmektedir. Dolayısıyla Entegre Biyometan Tesisi kurulduğunda, asgari kapasitede işletim sonucu geri kazanılan biyometan enerjisi ile Biyometan Tesisi yatırımının ~% 90'ı veya 100 000 EN'li kentsel AAT (C, N, P giderimli) enerji giderlerinin (1,54 €/EN.yıl)

yaklaşık 3 katı düzeyinde (4,5 €/EN.yıl) bir gelir elde etme potansiyeli bulunmaktadır. En kötü durumda bile (yenilenebilir enerji teşviği olmadan) 100 000 EN'li kentsel AAT enerji giderlerinin ~1,5 katı biyometan enerjisi geliri sağlanması mümkün görülmektedir [69].



Resim 7.3. a) Hollanda dokhaven aat, b) anammox reaktörü c) sharon reaktörü [68]

Konvansiyonel arıtma ile karşılaştırıldığında birleşik entegre sisteminde enerji üretiminin fazla olduğu; harcanan elektrik tüketiminin ise az olduğu tablodan görülmektedir. Çevre açısından incelendiğinde, CO<sub>2</sub> emisyonun ve çamur miktarının azaltması açısından doğa dostu bir sistemdir [69].

Çizelge 7.9. Hollanda'da evsel nitelikli atıksuların konvansiyonel denitrifikasyon prosesi ve anammox prosesi ile arıtımının karşılaştırılması (nüfus eş değeri 25 milyon) [69]

|                                   | Birim         | Konvansiyonel | Ön arıtma,<br>Anaerobik arıtma,<br>Anammox | Fark |
|-----------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------------------|------|
| Enerji üretimi (CH <sub>4</sub> ) | MW            | 0             | 40                                         | 40   |
| CO <sub>2</sub> emisyonu          | kton/yıl      | 400           | 6                                          | 394  |
| Elektrik tüketimi                 | MW            | 80            | 41                                         | 39   |
| Çamur üretimi                     | kton UAKM/yıl | 370           | 270                                        | 100  |

### 7.11. Biyoreaktörler

Atıksu arıtma tesislerinden gelen ve arıtma çamurları olarak bilinen biyokatılları çöp depolama sahalarında bertaraf etmek uygulanan en genel yöntemdir. Diğer alternatifler ise yakma tesislerinde ya da diğer termik santrallerde bertaraf etmek ve geri dönüşüm yapmaktır. Bu opsiyonlar arasında en kolay ve en ucuz olanı arıtma çamurlarının atıklarla birlikte çöp depolama sahalarında bertarafını sağlamaktır. Arıtma çamurlarının biyoreaktör çöp depolama sahalarında birleşik tasfiyesinin; potansiyel toksik bileşiklerin seyreltilmesi, besi maddelerinin dengesini geliştirmesi, mikroorganizmaların sinerjik etkilerini arttırması, biyolojik olarak bozulabilen organik maddeleri arttırması yani biyogaz verimliliğini çoğaltması gibi yararları bulunmaktadır [70].

Biyoreaktör depolama sistemleri konvansiyonel depolama sistemlerine göre organik atık bozulmasını, kompleks organik bileşiklerinin dönüşme oranlarını ve proses verimlerini önemli ölçüde arttırmaktadır. Biyoreaktör depolama sahalarının temel konseptinde optimum nem içeriğini destekleme ve mikroorganizmaların atık bozulmasını sağlayabilmesi için gerekli besi miktarını oluşturmak vardır. Bunun yanı sıra, biyoreaktörlerde sızıntı suyu geri devri dışında çamur ilavesi, sıcaklık ve ph kontrolü ile atık stabilizasyonunu hızlandırıcı müdahaleler de yapılabilmektedir [70].

Teknolojik ve endüstriyel gelişmelerle birlikte çöp depolama sahalarının sızıntı suyu geri devir işlemlerinin süresinin azaltılması, biyogaz üretiminin arttırılması ve atıkların çökme zamanlarının hızlandırılması yönünde çalışmalara ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır. Bu gelişmelere bağlı olarak, çöp arıtma çamurlarının atıklarla birlikte biyoreaktör çöp depolama sahalarında depolama sahalarının depolama/tutma konseptinden biyoreaktör depolama sahalarına yükseltilmesine yönelik çalışmaların sayısı artmıştır. Yapılan saha çalışmalarında bertarafının biyogaz üretimini arttırdığı ve sızıntı suyu kalitesini geliştirdiği gözlemlenmiştir. Sızıntı suyu geri devir stratejisi ile çalışan depolama sahaları sızıntı suyunun saha içinde arıtılmasıyla hem uygulanabilir bir yöntem sağlamakta hem de sızıntı suyu arıtma maliyetlerini düşürmektedirler [70].

### 7.12. Çamurun Mekanik Olarak Bertarafı

Çamur, genellikle mikrobiyal hücreleri içerdiği için hücre duvarları, çamurun çürütülmesi sırasında hücre içinde bulunan organik maddelerin dışarı çıkmasını engelleyen fiziksel bir bariyer oluşturur. Anaerobik çürütme prosesinin verimliliğinin artırılması için bu procesten önce çamurun mekanik olarak bertarafı hücre duvarlarının parçalanmasında kullanılan arıtma yöntemlerinden biridir. Mekanik dezentegrasyon; vurgulu elektrik alanı, ultrasonik arıtma, öğütücü değirmenler, yüksek basınçlı homojenizatörler gibi sisteme basınç ya da enerji vererek katı maddelerin gerilip deforme olmalarını ve hücre duvarının bu şekilde parçalanmasını sağlayan yöntemleri kapsamaktadır. Dezentegrasyon işlemlerinin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalar; ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve sistemin verimidir [70].

### 7.13. Çamur Minimizasyonu için Kullanılan Yöntem ve Prosesler

Daha az çamur üretmek için fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlere dayanan birçok yaklaşım söz konusudur. Çamurun azaltılması, uzun havalandırma, membran biyoreaktörlerin kullanılması, klasik aktif çamur prosesinin modifiye edilmesi, ayrıştırıcı ilavesi gibi proses üzerindeki değişiklikler ve geri devir çamurunun UV, ısı, anaerobik/anoksik bölge, ozon ile muamelesi sonucunda gerçekleştirilmektedir [70].

### 7.14. Ozonlama

Geri devir çamurunun ozonlanması, aşırı çamur üretiminin azaltılmasında umut verici bir teknolojidir. Ozon, mikroorganizmaların hücre duvarlarını yıkan güçlü bir kimyasal oksidanttır. Bu da stoplazmanın salınımına ve çoğu zor bozulabilen organik bileşiklerin oksidasyonuna yol açar. Bu nedenle sık sık dezenfeksiyon ve arıtma için kullanılır. Ozonlama, son zamanlarda anaerobik çamur çürütmeden önce bir ön arıtım tekniği olarak katıları hidrolize etmek ve biyogaz üretimini arttırmak için uygulanmaktadır. Ozonlama ünitesi, aşırı biyokütle üretimini azaltmak için aktif çamur sisteminde, geri devir aktif çamur hattı üzerine yerleştirilmektedir. Proses, çamur ozonlama kademesini takiben bir biyolojik parçalanma kademesinden oluşur. Bir kısım geri devir çamuru hem biyolojik olarak parçalanabilir organiklere dönüşmenin (askıda katıların dezentegrasyonuna bağlı olarak) hem de  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$ 'ya mineralizasyonun (çözünabilir organik maddelerin

oksidasyonuna bağılı olarak) gerçekleştiği bir ozonlama ünitesinden geçer. Stabilize edilmiş çamur tekrar havalandırma tankına geri döndürülür. Ozonlanmış çamurdaki hem toplam hem de uçucu askıda katıların azaldığını gösteren çamur biyokütlesinin dezentegrasyonu çamur ozonlamanın amaçlarından biridir. Arıtılmış çamurun uçucu askıda katı madde/toplam askıda katı madde (UAKM/TAKM) oranında bir azalma görülmüş ve havalandırma tankındaki inorganik katıların birikiminin ihmal edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir [70].

Ozon arıtım prosesi işletim maliyetini önemli ölçüde artırır çünkü hem ozon üretimi hem de uygulaması pahalı işlemlerdir. Çamur minimizasyonunun maliyetini azaltmak için aşırı çamur miktarının azaltılmasında ozonun yerine klor denenmiştir. Dezenfeksiyon uygulamalarına göre klorlama işletim maliyeti, ozonlamanın % 10'una karşılık gelmektedir. Aşırı çamur minimizasyonu için klorlamanın kullanılabilirliği ile ilgili az şey bilinmektedir [70].

#### **7.15. Membran Biyoreaktörler (MBR)**

Çamurun alıkonması ve ayrılması için 1960'ların sonlarından beri membran biyoreaktör prosesleri aktif çamur proseslerinin alternatiflerinden biri olmuştur. Aktif çamur prosesi ile birleşik membran proses sadece katı-sıvı ayrımı için son çökeltimin yerini almakla kalmaz aynı zamanda klasik prosesler ile giderilemeyen koliform bakteriler ve askıda katılar için ileri bir arıtma ünitesi görevi görür [69]. Membran biyoreaktörlerde, son çökeltim elimine edilir ve membran proseslerin kullanımı çamur üst suyu ayrımını sağlar. MBR, fiziksel olarak katıların alıkonması, son çökeltim tankının ve onunla ilgili problemlerin elimine olması, katı alıkonma süresinin tam kontrolünün sağlanabilmesi ve daha yüksek moleküler ağırlıklı bileşiklerin parçalanması ve alıkonması gibi avantajlar sunmasına rağmen henüz ekonomik yönden cazip hale gelememiştir. Membranların temin ve işletim maliyetlerinin yüksek olması, tıkanmaları gibi konular dezavantajları arasındadır. Bir membran bioreaktörde, çamurun membran proseslerle alıkonması ile biyoreaktörde uzun çamur yaşına ve düşük besi maddesi/mikroorganizma (F/M) oranına neden olan yüksek MLSS konsantrasyonunu sağlamak mümkündür. Hidrolik alıkonma süresinin azalmasına şans tanıyan düşük F/M oranları uzun çamur yaşı ile daha az çamur üretilmesine neden olur. Sonuç olarak, membran biyoreaktörler daha uzun çamur yaşı ve daha yüksek yükleme hızlarında daha az çamur üretmektedir [70].

### 7.16. Kimyasal Ayırıştırıcılar

Kimyasal ayırıştırıcılar, çamur miktarının azaltılması için umut verici bir yöntem olabilir, çünkü sadece bir seri kimyasal ayırıştırıcı dozlamak gereklidir. Fakat bunların ayrışma mekanizması, çamur verimi ve proses şartları üzerine etki eden kimyasal ayırıştırıcılar arasındaki etkileşimi ile ilgili çok az şey bilinmektedir. Mevcut deneylerde kimyasal ayırıştırıcılar sürekli dozlanmıştır ve dozların değişmesi ile ilgili daha ileri araştırmalar gerekmektedir. Çamur miktarının azaltılması için kimyasal ayırıştırıcı uygulamaları KOİ giderim veriminin düşmesine, oksijen tüketiminin artmasına, çamur özelliklerinde kötüleşmeye bağlı olarak çökelme ve susuzlaştırmada problemlere neden olabilir. Uygulamaları sınırlıdır ve kimyasal ayırıştırıcı uygulamalarının çevresel etkileri uzun dönemde araştırılmalıdır [70].

### 7.17. OSA (Oxic-Settling-Anaerobic) Prosesi

Oksik çöktürmeli anaerobik (OSA:oxic-settling-anaerobic) prosesi olarak adlandırılan, aktif çamur sisteminin modifiye edilmiş şekli olan proses, aktif çamurun oksik ve anaerobik ortama maruz bırakılarak çamur üretimini azaltmak için bir alternatif olarak göze çarpmaktadır. OSA sistemi, bir tam karışımli oksik tank, onu takip eden bir çöktürme tankı ve OSA sisteminin geri devir çamuru üzerine yerleştirilmiş bir anaerobik tanktan oluşmaktadır. OSA prosesindeki çamur üretimi ile klasik aktif çamur prosesindeki çamur üretimini karşılaştırmış ve OSA prosesinde klasik aktif çamura göre % 20-65 daha az çamur üretildiğini bulmuştur. Diğer yandan, OSA prosesindeki çamur hacim indeksi (SVI) değerlerinin klasik prosesten daha düşük olduğu gözlenmiştir. Sonuçlar OSA prosesinin aşırı çamur üretimini önemli ölçüde azalttığını, aynı zamanda çamurun çökelme özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir [70].

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nüfusun hızlı bir şekilde artması ve endüstriyel faaliyetlerin çoğalması sonucunda atıksu arıtma tesisi sayısı, her geçen gün artmaktadır. Bu artışta, yaşanılabilir bir çevre oluşturmak amacıyla ekolojik dengenin korunması fikri önemli bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda, kanalizasyon şebeke hatlarıyla gelen atıksuların içindeki tahta, plastik, kum gibi kaba nitelikte olan ve çökebilme yeteneğine haiz olan katı maddeler sırası ile ızgara, kum tutucu ve ön çökeltme havuzlarında tutulup herhangi bir işleme tabii tutulmaksızın kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılır. Atıksuyun içindeki diğer kısım ise fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma süreçleri sonucunda içinde çözünmüş maddeler ihtiva eden arıtma çamuruna dönüşür. Oluşan arıtma çamurunun ekonomik ve sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi ise sürdürülebilir kalkınma açısından önemli olacaktır.

Yakın gelecekte yapımı tamamlanan arıtma tesislerinin de faaliyete geçmesiyle birlikte arıtma çamuru miktarında büyük artışlar olacağı, dolayısıyla arıtma çamurunun bertarafı konusunun hem dünyada hem de özelinde ülkemiz için önemli bir sorun olacağı yadsınamaz bir gerçektir. Çünkü arıtma çamurları, içeriğindeki zararlı maddeler nedeniyle tüm canlı yaşam için bir tehdit oluşturmaktadır. Ancak arıtma çamurlarını yok edilmesi gereken bir problem olarak görmek, günümüzdeki çevresel anlayış için uygun görülmeyen bir bakış açısıdır. Bunun yerine, yüksek organik madde içeriğine sahip olan arıtma çamurunu, *tekrar kullanılabilme yeteneğine sahip bir materyal* olarak nitelemek daha uygun bir kavram olacaktır. Bu bağlamda, “Atıksu Arıtma Tesisi Atıklarının Bertarafı ve Yeniden Değerlendirilmesi ile İlgili Mevcut ve Yeni Teknolojik Yöntemlerin Karşılaştırılması” konulu çalışma kapsamında, atıksu arıtma tesislerinin üniteleri ile Türkiye’deki atıksu arıtma tesislerinin mevcut durumu özellikleri göre değerlendirilmiş, atıksu arıtma tesislerinden açığa çıkan atıklar irdelenerek geri dönüşüm özelliği olan arıtma çamurunun bertarafında öngörülen yaklaşımlar ile çamurun yenilenebilir bir kaynak olarak kullanılması hususunda Türkiye ve Dünya’daki uygulamalar incelenmiş ve yapılan çalışmalar ışığında aşağıdaki hususlar önerilmiştir:

- Arıtma çamurlarının çeşitli kaynakları vardır ve bu çamurlar nitelik ve nicelik olarak birbirinden farklılık göstermektedir. Arıtma çamurunun miktarı; atıksuyun debisine, atık suyun özelliği ile kirlilik derecesine, arıtma tesisinde uygulanan işlemlere (fiziksel,

biyolojik ve kimyasal vb.) bağlıdır. Arıtma tesislerinde, arıtma çamurunun işlenmesi ve uzaklaştırılması amacıyla uygulanan işlemler çoğu zaman yetersiz kalabilmektedir. Projelendirme ve yapım aşamasında, öngörülen ünitelerin yapılmaması veya mevcut ünitelerin verimli işletilememesi bu olumsuz durumun nedenleri arasındadır.

- Günümüzde biyoyakıt olarak da isimlendirilen arıtma çamurunun verimli bir şekilde arazide kullanımı üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Avrupa Birliği de konuyla ilgili olarak, işlem görmüş çamurun arazide değerlendirilmesini önermektedir. Ancak araziye uygulama yapılmadan önce çamurunun mutlaka stabilizasyon ve dezenfeksiyon işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Böylelikle çamur içindeki zararlı patojenleri azaltılarak istenmeyen kokuların giderilmesi sağlanmış olacaktır. Arıtma çamurunun tarımda kullanılması ile çamur içindeki azot, fosfor gibi organik kökenli elementler bitkilerin ve toprağın mineral eksikliğini giderecek böylelikle suni gübre tüketimi azaltılacaktır. Mineral yapısı sayesinde toprak düzenleyici olarak da kullanılabilecek olan arıtma çamurunun özellikle kireç ile stabilizasyonu sonucu, daha güvenli ve çevreci tarımsal gübre uygulamaları ortaya çıkacaktır. Yatırım maliyetleri, kolay erişilebilirliği ve arazide kolay uygulanabilirliği açısından çamurun kireç ile stabilizasyonu, ülkemiz koşullarında öncelikli bir tercih olacağı düşünülmektedir.

- Ormanlık yerler, yeşil alanlar ve ağaçlandırma sahalarında da kullanılma olanağına sahip olan işlenmiş çamurların bilinçli ve kontrollü kullanılması gerekir. Çünkü çamurun yapısında hem organik hem de toksit bileşikler bulunmaktadır. Toprağa veya bitkiye gereken orandan fazla verilebilecek çamur, olumsuz ve geri dönüşü olmayan sonuçlar doğurabilecektir. Bu sebeple uygulama yapılacak toprak ile kullanılacak çamurun özellikleri dikkatle irdelenmeli, çıkan sonuçlar karşılaştırılarak uygun oranlar belirlenmelidir.

- Arıtma çamurunun işlenmesindeki amaç, çamur hacmini maksimum derecede azaltarak yüksek oranda kuru madde içeriğine sahip bir bileşim elde etmektir. Asıl zor ve maliyetli olan kısımda susuzlaştırma ve kurutma işlemleri sırasında çamur içinde kalan su miktarının azaltılması işlevidir. Bu kapsamda susuzlaştırma işlemlerinde kullanılacak ekipmanların ve kimyasalların, verimli ve etkili bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Kurutma ve bertaraf işlemlerini gerçekleştirmek amacıyla genelde yakma yöntemi kullanılmaktadır. Yakma işlemi; yüksek ilk yatırım ve işletme maliyeti, kirletici hava unsurları gibi dezavantajlara sahip olsa da çamurda maksimum hacim azalması, zararlı bileşenlerin yok edilmesi gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Yanma sonucu ortaya çıkan külün, çimento fabrikalarında klinker olarak, betonda ise yapı bileşeni olarak



kullanılması ülke ekonomine önemli katkı sağlayacaktır. Ayrıca temiz bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin yenilenebilirlik özelliğini çamurun kurutma işleminde kullanılması özellikle güneşlenme oranı yüksek olan yerlerde iyi sonuçlar verebilecektir. Solar kurutma sistemleri diğer kurutma sistemlerine oranla daha düşük enerji gereksinimi ve düşük işletme maliyetlerine sahip olduğu için özellikle küçük ve orta ölçekli atıksu arıtma tesisleri ile kompost üretim yapabilecek tesislerde yaygın olarak kullanılabilir. Bu sistemin dezavantajları ise, tesiste çamurun serilmesi ve kaldırılması için özel ekipmanlara gereksinim duyulabileceği ve güneşten faydalanma oranı az olacağından kış mevsiminde karşılaşılabilecek güçlüklerdir.

- Arıtma tesislerinden elde edilen çamurlar, enerji kaynağı olarak (kütlesel olarak maksimum % 20 oranına kadar) kömür ile birlikte yakılabilir. Bu orandan fazla çamur kullanımı yüksek nemden dolayı iyi sonuçlar vermemektedir. Çamurun kömürle birlikte yakılması, hem fosil kaynakların kullanımının azaltılmasını sağlayacak hem de çamurun nihai bertarafı sağlanacaktır.
- Arıtılmış çamurlar yapısal içeriklerinden dolayı, çimento fabrikalarında ilave yakıt ve hammadde olarak kullanılabilme özelliğine sahiptir. Çimento fabrikasının klinker üretim kapasitesinin % 5'ini aşmamak koşulu ile kullanılan çamur önemli bir enerji tasarrufı girdisi sağlayacaktır. Özellikle kireç ile stabilize edilen çamurun (nem oranı daha az olduğu için) çimento fabrikalarında kullanılması durumunda enerji tasarrufu daha fazla olacaktır. Bu durum, hem çamurun uzaklaştırılmasını sağlayacak hem de inşaat sektörünün kalkınmada lokomotif olduğu ülkemizde ekonomiye olumlu yönde etki edecektir.
- Arıtma çamurlarının üstünün örtülmek suretiyle hacminin azaltılarak sağlığa zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi işlemi olan düzenli depolama yöntemi dünyada en çok kullanılan çamur uzaklaştırma yöntemlerinden biridir (Bkz. Çizelge 6.8 ve 6.9). Ancak Avrupa Birliği Düzenli Depolama Direktifi gereği Avrupa ülkelerinde düzenli depolamaya sınırlar getirilmiştir. Bu yöntemde arıtma çamuru tek başına araziye uygulandığı gibi, toprakla ya da evsel atıklarla da karıştırılarak bertaraf edilebilir. Çamur depolandıktan sonra belli aralıklarla mutlaka sıkıştırılmalı ve üstüne ince toprak tabakası örtülmelidir. Böylelikle kemirgen, sinek ve kokunun önüne geçilebilecektir. Bu yöntemde, sızıntı suları ile gazın drenaj edilmesi dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardır. Yüksek enerji potansiyeline sahip olması nedeniyle arıtma çamurunun depolama yöntemi ile bertarafının ilk tercih olarak düşünülmemesi gerekmektedir.

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve buna bağı olarak yapılan çevre yatırımlarının önem kazandığı günümüzde arıtma çamurunun biyokütle enerji kaynağı olarak kullanılması sürdürülebilir kalkınma açısından önemlidir. Yapısında ihtiva ettiği organik maddelerden dolayı arıtma çamurundan biyogaz elde edilmesi Türkiye gibi organik madde miktarı bakımından zengin bir ülke için önemli bir kazanım olacaktır. Çamurdaki organik maddelerin kütsel miktarının artırılması açısından işlenmiş çamurun, diğer organik atık madde kaynaklarıyla belli oranlarda karıştırılması biyogaz verimini arttıracaktır. Bu kapsamda ek organik madde kaynakları olan hayvansal ve bitkisel atıklar ile organik içerikli evsel ve endüstri atıklardan biyogaz eldesi tesislerin kurulup işletilmesi ile yüksek miktardaki enerji geri kazanılmış olacaktır. Elde edilen biyogaz; ısınma, elektrik üretimi ve motorlarda yakıt amacıyla kullanılabilir. Depolanabilir olması, çevre kirliliği ve sera etkisi oluşturmaması ve de proses sonucu ortaya çıkan katı atıkların gübre olarak kullanılması bu enerjinin avantajları arasındadır. Biyogaz üretim tesis sayesinde arıtma tesislerindeki elektrik giderlerinde % 30'a yakın, diğer kalemlerde ise % 50'ye yakın tasarruf sağlamak mümkün olacaktır. Yapılan araştırmalar neticesinde biyogaz tesisinin 100 000 eşdeğer nüfuslu bir atıksu arıtma tesisi için fizibil olduğunu göstermiştir. Fakat yapılan çalışmalar taslak niteliğinde olup kesin verilere ulaşabilmek için detaylı çalışmalara gerek vardır. Ayrıca atıksu arıtma tesisine ek biyogaz tesisi düşünülmesi durumunda, o bölgeye ait ilave enerji kaynaklarının da araştırılması, tesis veriminin artırılması açısından önemli olacaktır. Özellikle hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu yerler ile arpa ve buğday hasadının yapıldığı yerlerdeki arıtma tesislerinde mutlaka biyogaz tesislerinin kurulması gerekmektedir. Çünkü mevcut arıtma tesislerinin enerji giderleri için yapılmış olan finansmanın bu tür tesislere kaydırılması durumunda geri dönüşüm süreleri kısılacak ve daha kalıcı çözümler ortaya çıkacaktır.

- Arıtma çamurlarının bertaraf yöntemleri incelendiğinde, çamurların doğrudan kurutulması, yakılması veya oksijensiz ortamda çürütülmesi işlemleri sadece geçici bir çözüm olarak düşünülebilir. Çünkü kurutma işlemi, doğalgaz ve fosil yakıt kullanımından dolayı çok maliyetli bir işlemdir ve kuru çamur mevcut durumuyla yine bir problem oluşturacaktır. Çizelge 8.1 incelendiğinde arıtma çamuru giderilmesi hususunda en uygun yolun, kurutma ile gazlaştırma teknolojilerinin birleşik bir biçimde uygulanması olduğu görülmektedir. Bu çevre dostu yöntem sayesinde, arıtma çamurlarını hem bertaraf edilmesi sağlanmış olacak hem de çamurlardan elektrik ile ısı enerjisi elde etmek mümkün olacaktır. Ayrıca gazlaştırma yöntemiyle elde edilen ısı enerjisinin büyük bir bölümü ile de çamur kurutmak mümkün olacaktır. Biogazın satılması suretiyle de arıtma masraflarının

bir kısmı karşılanabilir. Bu yönden incelendiğinde; çamuru biyogaz aracılığı ile elektrik enerjisine çeviren arıtma tesislerine sahip belediyeler diğerlerine nazaran daha şanslı olacaktır.

Çizelge 8.1. Arıtma çamurları bertaraf yöntemleri tarihsel gelişimi ve uygulanabilirlikleri [15-71]

| Yıl         | Proses                   | Uygulama Alanı | İlk Yatırım | İşletme Giderleri | Ekonomikliği | 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        | Isısız katılaştırma      | İnşaat         | Düşük       | Yüksek            | Hayır        | Nötr           | Uygun değil |
| 2000        | Kurutma+ yakma           | Çimento        | Çok Yüksek  | Çok Yüksek        | Kesin hayır  | İyi değil      | Uygun değil |
| 2010        | Kurutma+ Gazlaştırma     | Enerji+ kimya  | Yüksek      | Düşük             | Evet         | Yok            | En Uygun    |

- Atıksu arıtma tesislerinde, çevre açısından sorun teşkil eden atık sular arıtılarak zararsızlaştırılırken stabilizasyon, şartlandırma, yoğunlaştırma, susuzlaştırma, kurutma gibi masraflı yöntemler uygulanmaktadır [50]. Bu yöntemler ile birlikte çamurun bertarafı, toplam atıksu arıtma maliyetin yaklaşık olarak yarısını oluşturmaktadır. Bu nedenle arıtma çamurunun yönetimi konusunda yeni yaklaşımlar gündeme gelmektedir. Bu yaklaşımlardaki amaç ise çamur miktarının (çamur minimizasyonu) azaltılmasıdır. Son dönemlerde kullanılmaya başlayan ıslak oksidasyon, piroliz, gazlaştırma, hidroliz, hidrotermal oksidasyon, vitrifikasyon, biyoreaktörler, ozonlama membran biyoreaktörler, OSA prosesi gibi çamurun minimizasyonunu sağlamaya yönelik prosesler yeni teknolojik uygulamalar açısından bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Çamurun minimizasyonu sağlayan bu yöntemler sayesinde arıtma giren çamur miktarında azalma sağlanarak arıtım hacimlerinin ve maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Ama gene de mevcut birikiminin arttırılması ve teknoloji transferinin daha etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla bilimsel araştırmaların ile birlikte AR-GE çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu prosesler, laboratuvar koşullarında ve pilot seçilecek yerlerde yapılacak küçük ölçekli çalışmalar neticesinde incelenerek ülkemiz şartlarında fizibiliteyi bilimsel olarak ortaya konmalıdır.

- Arıtma çamurlarının bölgesel bazda özelliklerinin belirlenerek bir veri tabanı oluşturulmalı, bu veri tabanındaki bilgiler ışığında, uygun çamur işleme prosesleri ve nihai bertaraf alternatiflerinin belirlenerek evsel ve endüstriyel arıtma çamurları için yönetim sistemi oluşturulmalıdır. Böylece her bölge için farklı proses içeren atıksu arıtma tesisleri yapılabilecek ve kaynaklar daha verimli kullanılabilir.
- 2007-2023 yılları arasındaki dönemde Türkiye'nin çevresel harcamalarının 58,5 milyar Euro'ya ulaşacağı ve bunun 18 milyar Euro'luk bölümünün atıksu sektöründe olacağı hesaplanmaktadır [73]. Bu bağlamda belediyelere destek sağlayan İller Bankası'nın özellikle arıtma çamurdan enerji edilmesi konusunda yapılacak yatırımlarda aktif bir rol alması gerektiği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Toraman, Ö.Y. (2002). *Atıksu Arıtma Çamurunu Değerlendirme İmkanlarının Araştırılması*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1-67.
2. Aydın, S. (2004). *Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Değişik Amaçla Kullanımının Araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2-45.
3. İnternet: Türk-Alman Biyogaz Projesi. Biyogaz .URL:  
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.biyogaz.web.tr%2Ftr&date=2015-06-22>, Son Erişim Tarihi: 22.06.2015.
4. İller Bankası Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü. (2015). İller Bankası A.Ş. Faaliyet Raporu 2014; İlbank A.Ş. *Ankara*, 19.
5. Gürkan, F. (2012, 04-09 Kasım). *Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisinde Yenilebilir Enerji Kullanımı*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Kentsel Alt Yapının Geliştirilmesi Projesi sempozyumunda sunuldu, Antalya.
6. İnternet: Öztürk, İ., Timur, H. Ve Koşkan, U. . atıksu arıtımının esasları, evsel, endüstriyel atıksu arıtımı ve arıtma çamurlarının kontrolü. URL:  
[http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hasanege.com%2Fdowload%2Fhasanege\\_atiksuaritimiesaslari.pdf&date=2015-09-07](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hasanege.com%2Fdowload%2Fhasanege_atiksuaritimiesaslari.pdf&date=2015-09-07), Son Erişim Tarihi: 07.09.2015.
7. İnternet: Şen, G. Suyun Fiziksel ve Kimyasal Dezenfeksiyon Yöntemleri. URL:  
[http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gidacilar.net%2Fsuyun-fiziksel-ve-kimyasal-dezenfeksiyon-yontemleri%2Fatik-sularin-aritilmasi-1777\\_print%2F&date=2015-09-07](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.gidacilar.net%2Fsuyun-fiziksel-ve-kimyasal-dezenfeksiyon-yontemleri%2Fatik-sularin-aritilmasi-1777_print%2F&date=2015-09-07), Son Erişim Tarihi: 07.09.2015.
8. İnternet: Optus Su Arıtma. Doğal Arıtma. URL:  
[http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Foptussuaritma.com%2Fatiksu\\_aritma%2Fdogal\\_aritma.php&date=2015-09-07](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Foptussuaritma.com%2Fatiksu_aritma%2Fdogal_aritma.php&date=2015-09-07), Son Erişim Tarihi: 07.09.2015.
9. İnternet: Toprak, H. Aktif Çamur Sürecinin Tasarımı. URL:  
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.deu.edu.tr%2Fatıksu%2Fana58%2Faktifkurs.doc&date=2015-09-07>, Son Erişim Tarihi: 07.09.2015.
10. İnternet: Adasu Arıtım Teknolojisi Mühendislik. Membran Bio Reaktör Sistemleri. URL:  
[http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.adasu.com.tr%2Fatıksu\\_geri.html&date=2015-09-07](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.adasu.com.tr%2Fatıksu_geri.html&date=2015-09-07), Son Erişim Tarihi: 07.09.2015.
11. İnternet: Osb Üst Kuruluşu. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. URL:  
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.osbuk.org%2Findex.php%3Fpage%3Dhaber%2Fayrinti%26id%3D259&date=2015-09-07>, Son Erişim Tarihi: 07.09.2015.

12. İnternet: Netchem Shine Fresh. Atıksu Arıtma Tesisleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kanalize.com.tr%2FNetchem.pdf&date=2015-09-07>, Son Erişim Tarihi: 07.09.2015.
13. İnternet: TÜİK (2012). Atıksu İstatistikleri 2012. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tuik.gov.tr%2FStartdo%3Bjsessionid%21-1456185459&date=2015-06-22>, Son Erişim Tarihi: 22.06.2015.
14. İnsel, H. G., Arıkan, O. A. ve Çokgör, E. U. (2013). Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi; Tübitak Kamag 108G167, Ankara, 21-125.
15. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı Aile ve Tüketici Hizmetleri. Arıtma Çamurları. URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fmegep.meb.gov.tr%2Fmte\\_program\\_modul%2Fmoduller\\_pdf%2FAr%25C4%25B1tma%2520%25C3%2587amurlar%25C4%25B1.pdf&date=2015-09-07](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fmegep.meb.gov.tr%2Fmte_program_modul%2Fmoduller_pdf%2FAr%25C4%25B1tma%2520%25C3%2587amurlar%25C4%25B1.pdf&date=2015-09-07), Son Erişim Tarihi: 09.07.2015.
16. Krogmann, U., Boyles, L.S., Martel, C.J. and McComas, A. K. (1997), Biosolids And Sludge Management. *Water Env. Res.* Vol. 69, No:4. , 534-549.
17. Toprak, H. (2002). “Çamurların Susuzlaştırılması”, Çevre Mühendisliği Uygulamaları, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*, 153-160.
18. İşçi, S. (2006). *Arıtma Çamurlarının Özellikleri ve Arazide Değerlendirme İmkanlarının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-38.
19. CABALLERO, J. A. (1997). Characterisation of Sewage Sludges by Primaryand Secondary Pyrolysis. *Journal of Analyticaland Applied Pyrolysis*, Vol. 40-41, 433-450.
20. İnternet: Dokuz Eylül Üniversitesi. Atıkların Kompostlanması. URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.deu.edu.tr%2Ferdin%2Ftr%2Fders%2Fkati\\_atik%2Fders\\_not%2Fkompost.pdf&date=2015-09-08](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.deu.edu.tr%2Ferdin%2Ftr%2Fders%2Fkati_atik%2Fders_not%2Fkompost.pdf&date=2015-09-08), Son Erişim Tarihi: 08.09.2015.
21. İnternet: Selçuk Üniversitesi. Çamurların Fiziksel Özellikleri. URL: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhhttp%3A%2F%2Facikerisi.m.selcuk.edu.tr%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F636%2Fhatice\\_siyasal\\_tez.pdf%3Fsequence%3D1&date=2015-09-08](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhhttp%3A%2F%2Facikerisi.m.selcuk.edu.tr%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F636%2Fhatice_siyasal_tez.pdf%3Fsequence%3D1&date=2015-09-08), Son Erişim Tarihi: 08.09.2015.
22. Kestioğlu, K. (2001). Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi Boyutlandırma Kriterleri. *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını*, no:174.
23. Filibeli, A. (1998). *Arıtma Çamurlarının İşlenmesi ve Bertarafı*. Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletim Esasları Kursunda sunuldu, İzmir.
24. Duman, G. (2014). *Atıksu Arıtma Çamurlarının Bertarafı ve Yeniden Kullanımı*. Yayınlanmamış Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, Sivas.

25. Büyükgüngör, H. (2003). *Atıksu Arıtma Yöntemleri*(Birinci Baskı). Samsun: On Dokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 134.
26. İnternet: Filibeli, A. Arıtma Çamurlarının Genel Özellikleri, İşleme ve Bertaraf Yöntemleri. URL:  
[http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hasanege\\_aritmacamurlari.doc&date=2015-09-08](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hasanege_aritmacamurlari.doc&date=2015-09-08), Son Erişim Tarihi: 08.09.2015.
27. Bilgin, N., Eyüpoğlu, H. ve Üstün, H. (2002). *Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı*. Ankara: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü-ASKİ, 1-72.
28. Yayla, S. (2013). *Çamur Azaltım Tekniklerindeki Yeni Gelişmeler Fotokatalitik Çamur Dezentegrasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ, 6-12.
29. Toprak, H. (1998). Atıksu Stabilizasyon Havuzlarının ve Mekanik Lagünlerin Tasarımı, İnşaat ve İşletme Esasları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 56.
30. İnternet: Yıldız, Ş., Yılmaz, E. ve Ölmez, E. Arıtma Çamurlarının Stabilizasyonla Bertaraf Alternatifleri: İstanbul Örneği. URL:  
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.istac.com.tr%2Fmedia%2F18123%2FAr1tma%2520%25C3%2587amurlar1n1n%2520Stabilizasyonla%25200Bertaraf%2520Alternatifleri.pdf&date=2015-09-08>, Son Erişim Tarihi: 08.09.2015.
31. İnternet: Ayvaz, Z. Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi. URL:  
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ekoloji.com.tr%2Fresimler%2F35-1.pdf&date=2015-09-08>, Son Erişim Tarihi: 08.09.2015.
32. Öztürk, D. C. (2008). *Biyolojik Arıtma Çamurlarının Aerobik ve Anaerobik Stabilizasyonunun Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 43-90.
33. Tezcan, E. (2007). *Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya, 116.
34. Demirekler, E., Anderson, G.K. (2000). Evsel Katı Atıkların Anaerobik Ortamda Ön Çökeltme Çamuru ile Çürütülmesi, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Science (Tübitak)*, Cilt 24, Sayı 1, 355.
35. Gökgöz, E. (1998). *İstanbul Atıksu Arıtma Tesislerinden Ortaya Çıkacak Çamur Miktarlarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 180.
36. Yeşil, E. (2011). *Atık Çamur Dezentegrasyonu Yöntemlerinin Çamur Minimizasyonu Açısından Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 6-8.

37. İnternet: Arıkan, O. A., Öztürk, İ. (2005). Atıksu Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Evsel Katı Atık İlavesinin Etkisi. *İTÜ Dergisi: Mühendislik*. Cilt 4, Sayı 1, 3. Web: [www.itudergisi.itu.edu.tr/Belge.aspx?belgeId=801](http://www.itudergisi.itu.edu.tr/Belge.aspx?belgeId=801) adresinden 08.09.2015'te alınmıştır.
38. İnternet: Yıldız, S. (2015). Sivas Atıksu Tesisi Arıtma Çamuru Bertrarafı Uygulamaları. *Su ve Çevre Dergisi*. Web: [www.suvecevre.com](http://www.suvecevre.com) adresinden 08.09.2015'te alınmıştır.
39. İnternet: Uzun, P., Bilgili, U. (Ekim, 2011). Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları. *Çev-Kor Dergisi*, Cilt 25, Sayı 2, 135-146. Web: [http://ucmaz.home.uludag.edu.tr/PDF/ziraat/2011-25\(2\)/M13.pdf](http://ucmaz.home.uludag.edu.tr/PDF/ziraat/2011-25(2)/M13.pdf) adresinden 08.09.2015'te alınmıştır.
40. Özten, A. F. vd. (2009). *Sıfır Atık Projesi Kapsamında Yeni Kompost Teknolojilerinin Uygulanması, 2. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (Birinci Baskı). İzmir: 2. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 282.
41. Çetin, S. C., Ekinci, K. ve Haktanır, K. (2004). *Kompost Yapım Tekniği, Türkiye 3. Ulusal Gübre Kongresi, Tarım-Sanayi-Çevre Sempozyumu Bildiri Kitabı* (Birinci Baskı). Tokat: Tarım-Sanayi-Çevre Sempozyumu, 1313.
42. İnternet: Kocaer, F. O., Başkaya, H. S. (2001). Arıtma Çamurlarının Araziye Uygulanması. *Çev-Kor Dergisi*. Cilt 11, Sayı 41, 12-15. Web: <https://www.ekoloji.com.tr/resimler/41-3.pdf> adresinden 08.09.2015'te alınmıştır.
43. Güneş, T.S. (2002). Arıtılmış Atıksuyun ve Arıtma Çamurlarının Geri Kazanımı, Çevre Mühendisliği Uygulamaları, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*, 188 – 189.
44. Sanin, F. D. (2013). Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi Projesi; Tübitak Kamag 108G167, *Ankara*, 120-136.
45. İnternet: Yalçın, G. ve Diğerleri (2011). Arıtma Çamurlarının Tarım Alanlarında Değerlendirilmesi. *Journal of Engineering and Natural Science Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 3, 156-164. Web: <http://www.ytusigmadergisi.com/pdfs/131.pdf> adresinden 08.09.2015'te alınmıştır.
46. Nichols, C. G.. (1989). *US ForestryUses of Municipal Sewage Sludge, Alternative Uses for Sewage Sludge Conference* (First Edition). United Kingdom: Alternative Uses for Sewage Sludge Conference Proceeding, 155-165.
47. Taylor, C. M. A., Moffat, A. J. (1989). *The Potential for Utilizing Sewage Sludge in Forest in Great Britain*(First Edition). United Kingdom: Alternative Uses for Sewage Sludge Conference Proceeding, 103-113.
48. Kara, F., Dilek, F. S. (2009). *Çamur Örneklerinde Patojen ve İndikatörler, Yeni Bulgular ve Çamurun Tarımsal Kullanımında Önemi, 2. Ulusal Arıtım Çamurları Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (Birinci Baskı). İzmir: 2. Ulusal Arıtım Çamurları Sempozyumu, 51-60.



49. İnternet: Ayvaz, Z. (Nisan, 2000). Atıksu Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesi. *Çev-Kor Dergisi*. Cilt 9, Sayı 35, 3-12. Web: <http://www.ekoloji.com.tr/resimler/35-1.pdf> adresinden 08.09.2015'te alınmıştır.
50. İnternet: Toraman, Ö. Y., Topal, H. (Kasım, 2003). Katı Atık ve Arıtma Çamurlarının Değerlendirilmesinde Alternatif Termal Teknolojiler ve Uygulamaları. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 18, Sayı 1, 19-33. Web: <http://www.1bilgi.com/cevrebilimleri/3594/gazi-univ-muh-mim-fak-der-j-fac-eng-arch-gazi-univ.html> adresinden 08.09.2015'te alınmıştır.
51. İnternet: Palabıyık, H. (1998). Çevre Sorunu Olarak Kentsel Katı Atıklar (Çöpler) ve Entegre Katı Atık Yönetimi. *Türk İdari Dergisi*, 70 (420), 45-64. Web: <http://www.acikarsiv.ankara.edu.tr/browse/1892/2558.pdf> adresinden 09.09.2015'te alınmıştır.
52. İnternet: Çevre ve Orman Bakanlığı. Atık Yönetimi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr+%&date=2015-09-09>, Son Erişim Tarihi: 09.09.2015.
53. İnternet: Kaya, D. (Eylül, 2002). Tüpraş İzmit Rafinerisi Atık Çamur Yakma Tesisinin Enerji Geri Kazanım Potansiyelinin Etüdü. *Mühendislik ve Makine Dergisi*. Cilt 44, Sayı 521, 45-51. Web: <http://www.arsiv.mmo.org.tr/pdf/11591.pdf> adresinden 08.09.2015'te alınmıştır.
54. İnternet: Hanay, Ö., Hasar, H. (2007). Kayseri İli Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Tarımsal Kullanım Potansiyeli. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 19 (3), 333-337. Web: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net) adresinden 09.09.2015'te alınmıştır.
55. İnternet: Erdin, E., Özdağlar, D., Köse, H. Bir Maden Sahasında Oluşan Atıkların Zararsız Bertarafının Araştırılması. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.deu.edu.tr%2Ferdin%2Fpubs%2Fdoc68.htm&date=2015-09-09>, Son Erişim Tarihi: 09.09.2015.
56. İnternet: Dokuz Eylül Üniversitesi. Çamur Arıtımı ve Uzaklaştırılması. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fweb.deu.edu.tr%2Ffatıksu%2Fana58%2Fbolum08.pdf&date=2015-09-09>, Son Erişim Tarihi: 09.09.2015.
57. Michel, F., Van Der Meer, R. (2003). "BioMillmill" a Sewage sludge Grinding Plant at ENCI, Part1: Plant Selection and Safety Concept (fifty-sixth edition). USA, number 2, 54-64.
58. Ruggenthaler, P. T. (1994). Sewage Sludge Incineration and Disposal of Residues. *Waste Magazin*, 4/94, 19-22.
59. İnternet: Erdinçler, A.. Evsel/ Kentsel Arıtma Çamurlarından Enerji Elde Edilmesi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.csb.gov.tr%2Fdosyalar%2Fimages%2Ffile%2FAysen%2520Erdinçler.pdf&date=2015-06-22>, Son Erişim Tarihi: 22.06.2015.

60. İnternet: Dalgıç, A. C. Biyogaz Uygulamaları. URL:  
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww1.gantep.edu.tr%2F%7Edalgic%2Fbiogas.htm&date=2015-09-09>, Son Erişim Tarihi: 09.09.2015.
61. İnternet: Türk-Alman Biogaz Projesi. Biogaz. URL:  
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.biyogaz.web.tr%2Ftr&date=2015-06-22>, Son Erişim Tarihi: 22.06.2015.
62. Soyupak, S. (1997). Atıksu Arıtma Tesislerinin Planlanması. *Ortadoğu Amme İdaresi Enstitüsü*, 36-37.
63. Demirci, G., Türkavcı, L. (2001). Biyogaz Atıklardan Enerji *Ankara Temiz Enerji Vakfı Yayını*, 34-38.
64. Deniz, Y. (1987). Türkiye’de Biyogaz Potansiyeli ve Biyogazın Sağlayacağı Yararlar. *Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü*, 12-18.
65. Taleghani, G., Kia, A. S. (2005). Technical-Economical Analysis of Saveh Biogaz Power Plant. *Science Direct*:30, 441-446.
66. Özdiñer, B. (2009). *Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gebze, 39.
67. İnternet: Yiğit, K.S., Gündüz, M., Şerit, G., Yeğın, M., Saraç, M., Bayram, İ., Bostan Ü. ve Pir, H.. Arıtma Çamurundan Biogaz Üretimi ve Enerji Tasarrufu. URL:  
[http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mmo.org.tr%2Fresimler%2Fdosya\\_ekler%2F59277693eaa12f3\\_ek.pdf&date=2015-0622](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mmo.org.tr%2Fresimler%2Fdosya_ekler%2F59277693eaa12f3_ek.pdf&date=2015-0622), Son Erişim Tarihi: 22.06.2015.
68. Tezcan, E. (2007). *Adapazarı Karaman Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 75-76.
69. İnternet: Altınbaş, M., Öztürk, İ. Evsel Atıksular ve Organik Katı Atıkların Birlikte Arıtımı Yoluyla Yenilebilir Enerji (Biyometan) Geri Kazanım Teknolojileri. URL:  
[http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.germanwaterpartnership.de%2Ffileadmin%2Fpdfs%2Fgwp-veranstaltungen%2F01\\_turkish-gwp-day\\_ankara%2F4.2.\\_biomethan\\_tr\\_altinbas.pdf&date=2015-09-09](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.germanwaterpartnership.de%2Ffileadmin%2Fpdfs%2Fgwp-veranstaltungen%2F01_turkish-gwp-day_ankara%2F4.2._biomethan_tr_altinbas.pdf&date=2015-09-09), Son Erişim Tarihi: 22.06.2015.
70. İnternet: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Türkiye’de Çamur Sorunu. URL:  
[http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.csb.gov.tr%2Fdb%2Fcygm%2Feditordosya%2FIP\\_5.pdf&date=2015-06-22](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.csb.gov.tr%2Fdb%2Fcygm%2Feditordosya%2FIP_5.pdf&date=2015-06-22), Son Erişim Tarihi: 22.06.2015.
71. İnternet: TOLAY, M.. Katı Atıklardan ve Biyokütleden Enerji Üretimi Teknolojileri ve Entegre Katı Atık Yönetiminde Yatırım Fizibilite Çalışmaları. URL:  
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dektmk.org.tr%2Fupresimler%2FMTOLAY.pdf&date=2015-07-13>, Son Erişim Tarihi: 13.07.2015.

72. İnternet: Bayrak, E. H., Yokuş, S. K., Pehlivan, E. (Mayıs, 2014). Ülkemizde Evsel Atıksu Arıtma Çamurlarından Biyogaz Üretimi. *Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırma Dergisi (EJOİR)*, Cilt 2, Sayı 1, 84-93. Web: <http://www.ejoir.org/belge/mayis2014/7.evsel.pdf> adresinden 09.09.2015'te alınmıştır.
73. İŞGENÇ, M. F. (2007, 24-27 Ekim). *Atıksu Arıtma Tesislerinde İşletme Yönetimi*. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresinde sunuldu, İzmir.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DİLEK, Serdar  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 10/03/1980 Trabzon  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (312) 303 34 73  
 Faks : 0 (312) 303 34 99  
 e-mail : sdilek@ilbank.gov.tr

### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                                    | Mezuniyet tarihi |
|---------------|--------------------------------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Avrasya Üniversitesi/ Sosyal Bilimleri Enstitüsü | 2015             |
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü       | 2010             |
| Lisans        | Yıldız Teknik Üniversitesi/ İnşaat Müh.          | 2005             |
| Lise          | Trabzon Fatih YDA Lisesi/ Fen Bölümü             | 1998             |

### İş Deneyimi

| Yıl               | Yer                           | Görev            |
|-------------------|-------------------------------|------------------|
| 2005-2007         | Karayolları Genel Müdürlüğü   | İnşaat Mühendisi |
| 2007-2012         | Ankara İl Sağlık Müdürlüğü    | İnşaat Mühendisi |
| 2012-devam ediyor | İller Bankası Genel Müdürlüğü | Tek.Uzm.Yrd.     |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

.....

### Hobiler

Futbol, Müzik Dinlemek, Gezmek



**İLBANK**  
TÜRKİYE’NİN YAPICI GÜCÜ