



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ DEĞİŞİK  
AMAÇLARLA KULLANIMININ  
ARAŞTIRILMASI**

**Çevre Yük.Müh. Serdar AYDIN  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman  
Prof.Dr. Semiha ARAYICI**

**Ekim, 2004**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ DEĞİŞİK  
AMAÇLARLA KULLANIMININ  
ARAŞTIRILMASI**

**Çevre Yük.Müh. Serdar AYDIN  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman  
Prof.Dr. Semiha ARAYICI**

**Ekim, 2004**

Bu çalışma 11/10/2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı Doktora programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Semiha ARAYICI (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Cuma BAYAT  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Hulusi BARLAS  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Bilsen BELER BAYKAL  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi

Prof. Dr. Orhan İNCE  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi

## **ÖNSÖZ**

Yaşam boyunca sürececek eğitimimin önemli bir adımı olan, merak, heyecan ve özveri ile hazırlanan çalışmamıza, ışık ve iz olan sevgili hocam Prof.Dr.Semiha ARAYICI'ya desteği ve güveni için sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmamızın ilk gününden itibaren gelişmesine ve yönünün belirlenmesine büyük katkıları olan Prof.Dr. Hulusi BARLAS ve Prof. Dr. Orhan İNCE'ye ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım boyunca pratik çözümleri, yardımları ve muhabbetiyle hep yanımda olan meslektaşım ve arkadaşım Araş.Gör. Sinan GÜNEYSU'ya, inancı, desteği ve sevgisi için eşime ve aileme, yardımları için öğrencilerimize ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

**Ekim, 2004**

**Serdar AYDIN**

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ .....	vii
SEMBOL LİSTESİ .....	ix
ÖZET .....	x
SUMMARY.....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>5</b>
2.1. Arıtma Çamuru .....	5
2.1.1. Birincil Arıtma Çamuru .....	6
2.1.2. İkincil Arıtma Çamuru .....	8
2.1.3. İleri Arıtma Çamuru .....	9
2.2. Arıtma Çamurunun Bileşimi .....	10
2.2.1. Katı Madde İçeriği .....	10
2.2.2. Organik Madde İçeriği .....	10
2.2.3. Azot ve Fosfor İçeriği .....	11
2.2.4. Kalsiyum İçeriği .....	13
2.2.5. Ağır Metal İçeriği .....	13
2.2.6. Organik Kirleticiler .....	14
2.2.7. Patojenler .....	14
2.2.8. Çamurun Isıl Değeri .....	16
2.3. Atıksu Arıtımının Arıtma Çamuru Bileşimine Etkisi .....	16
2.4. Avrupa Birliği'nde Arıtma Çamurları .....	18
2.5. Türkiye'de Arıtma Çamurları .....	20
2.6. Çamur Arıtma Prosesleri .....	23
2.6.1. Şartlandırma .....	24

2.6.2. Yoğunlaştırma .....	24
2.6.3. Susuzlaştırma.....	25
2.6.4. Kurutma.....	27
2.6.5. Stabilizasyon ve Dezenfeksiyon .....	28
2.7. Arıtma Çamurlarının Uzaklaştırılması ve Geri Dönüşüm Yöntemleri .....	31
2.7.1. Düzenli Depolama.....	31
2.7.2. Kompostlaştırma .....	33
2.7.3. Araziye Serme .....	35
2.7.3.1. Orman ve Silvikültürde Kullanımı .....	35
2.7.4. Yakma .....	36
2.7.5. Gelişen Yöntemler .....	41
2.7.5.1. Islak Oksidasyon .....	41
2.7.5.2. Gazlaştırma .....	42
2.7.5.3. Piroliz .....	42
2.7.5.4. Konuya İlişkin Çalışmalar .....	46
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>48</b>
3.1. Arıtma Çamuru .....	48
3.2. Çamur Örneklerinin Hazırlanması .....	48
3.3. Çamurların Pirolizi .....	48
3.4. Adsorpsiyon Çalışmaları .....	50
3.4.1. Adsorpsiyon İzotermi .....	51
3.5. Arıtılabilirlik Çalışmaları .....	53
3.5.1. Atıksuyun Özellikleri .....	53
3.5.2. Reaktörler .....	54
3.6. Kullanılan Kimyasallar .....	58
3.7. Kullanılan Alet ve Malzemeler .....	59
3.8. Analitik Yöntemler .....	59
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>61</b>
4.1. Arıtma Çamurlarının Karakterizasyonu .....	61
4.2. Arıtma Çamurlarının Pirolizi .....	64
4.2.1. Kokun Adsorpsiyon Kapasitesi .....	69
4.3. Piroliz Kokunun Uygulama Alanları .....	78
4.3.1. Uçucu Yağ Asitlerin Giderimi .....	78
4.3.2. Endüstriyel Atıksuların Arıtılabilirliği .....	81

<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>99</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>106</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>112</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Atıksu arıtımı ve çamur oluşumu.....	7
Şekil 2.2	: Avrupa Birliği ülkelerinde arıtma çamuru üretimi .....	19
Şekil 2.3	: Avrupa Birliği ülkelerinde arıtma çamuru üretimi .....	19
Şekil 2.4	: AB ülkelerinde uygulanan çamur uzaklaştırma yöntemleri .....	20
Şekil 2.5	: Türkiyede belediyelere ait atıksu arıtma tesislerinin sayıları .....	21
Şekil 2.6	: Türkiyede belediyelere ait atıksu arıtma tesislerinin kapasitesi .....	21
Şekil 2.7	: Türkiye imalat sanayi atık envanteri verileri .....	22
Şekil 2.8	: Türkiye imalat sanayinde arıtma çamurlarının uzaklaştırılması.....	22
Şekil 2.9	: Düzenli depola alanında oluşan olaylar .....	33
Şekil 2.10	: Araziye serme işlemi.....	36
Şekil 2.11	: Arıtma çamurlara uygulanan ısıl işlemler .....	37
Şekil 2.12	: Akışkan yataklı fırınların işletilmesi.....	38
Şekil 2.13	: Yakma sistemi.....	39
Şekil 2.14	: Islak oksidasyon sistemi.....	41
Şekil 2.15	: Çamur pirolizinin mekanizması.....	43
Şekil 2.16	: Arıtma çamurlarının kurutma ve pirolizi.....	44
Şekil 3.1	: Arıtma çamurlarının pirolizi için kullanılan deney düzeneği.....	49
Şekil 3.2	: Kesikli aerobik reaktörlerin görünüşü.....	56
Şekil 3.3	: Kesikli aerobik reaktörlerin görünüşü.....	57
Şekil 3.4	: Granüler Aktif Karbon'un SEM fotoğrafları.....	58
Şekil 4.1	: Çamur örneklerinin elementel analiz sonuçları .....	62
Şekil 4.2	: Çamur örneklerinde mol oranları.....	62
Şekil 4.3	: Çamur örneklerinin üst ısıl değerleri.....	63
Şekil 4.4	: Çamur örneklerine ait XRF analiz sonuçları.....	64
Şekil 4.5	: EAAÇ, GAAÇ, İAAÇ ve BAAÇ çamurlarının TGA analiz sonuçları ..	65
Şekil 4.6	: Ham çamur ve piroliz kokunun spesifik yüzey alanı değişimleri.....	66
Şekil 4.7	: Arıtma çamurlarının pirolizinde farklı katkıların yüzey alanına etkisi ..	67
Şekil 4.8	: Ham çamur(a) ve piroliz kokunun(b) SEM mikrofotoğrafları .....	68
Şekil 4.9	: Arıtma çamurlarının pirolizinde, ZnCl <sub>2</sub> aktivasyonu ile spesifik yüzey alanının değişimi.....	70
Şekil 4.10	: Metilen mavisi adsorpsiyonunda standart kalibrasyon eğrisi.....	71
Şekil 4.11	: Metilen mavisi adsorpsiyonu .....	72
Şekil 4.12	: Metilen mavisi adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uygulanması ..	73
Şekil 4.13	: Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH) adsorpsiyonunda standart kalibrasyon eğrisi .....	73
Şekil 4.14	: Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH) adsorpsiyonu .....	74
Şekil 4.15	: Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH) adsorpsiyonu için Freundlich izotermi .....	75
Şekil 4.16	: Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH) için Langmuir izotermi uygulaması .....	76
Şekil 4.17	: p-nitro fenol adsorpsiyonu için Freundlich izotermi.....	77
Şekil 4.18	: p-nitro fenol adsorpsiyonu için Langmuir izotermi .....	78
Şekil 4.19	: Asetik asit ve propiyonik asit adsorpsiyonunda kullanılan standart kalibrasyon eğrileri .....	79



<b>Şekil 4.20</b>	: Asetik asit ve propiyonik asit adsorpsiyonu .....	80
<b>Şekil 4.21</b>	: Asetik asit ve propiyonik asit adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm uygulaması eğrileri .....	81
<b>Şekil 4.22</b>	: Aerobik kesikli reaktörlerde tekstil boyama prosesine ait atıksuların arıtılabilirliği (F/M=0.5-1.0, $\theta=10$ gün) .....	83
<b>Şekil 4.23</b>	: Reaktörlerde 1000mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI giderimi .....	84
<b>Şekil 4.24</b>	: Reaktörlerde 1500 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI giderimi .....	85
<b>Şekil 4.25</b>	: Reaktörlerde 2000 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI giderimi .....	86
<b>Şekil 4.26</b>	: Tekstil atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku ilavesi ile KOI gideriminin değişimi .....	87
<b>Şekil 4.27</b>	: Tekstil atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku ilavesi ile arıtımında giderim veriminin değişimi .....	87
<b>Şekil 4.28</b>	: Piroliz koku miktarına bağlı RES <sub>436</sub> değişimleri .....	89
<b>Şekil 4.29</b>	: Piroliz koku miktarına bağlı RES <sub>525</sub> değişimleri .....	89
<b>Şekil 4.30</b>	: Piroliz koku miktarına bağlı RES <sub>620</sub> değişimleri .....	90
<b>Şekil 4.31</b>	: Havalandırma reaktöründe KOI ve RES değişimleri .....	94
<b>Şekil 4.32</b>	: Adsorpsiyon reaktöründe KOI ve RES değişimleri .....	94
<b>Şekil 4.33</b>	: Adsorpsiyon reaktöründe KOI ve RES değişimleri .....	95
<b>Şekil 4.34</b>	: Adsorpsiyon reaktöründe KOI ve RES değişimleri .....	95
<b>Şekil 4.35</b>	: Tekstil Atıksuyu adsorpsiyonunun Freundlich izotermi değerleri .....	96
<b>Şekil 4.36</b>	: Aktif çamur reaktöründe KOI ve RES değişimleri .....	96
<b>Şekil 4.37</b>	: Aktif çamur reaktöründe KOI ve RES in piroliz koku ile değişimi .....	97
<b>Şekil 4.38</b>	: Aktif çamur reaktöründe KOI ve RES in piroliz koku ile değişimi .....	97
<b>Şekil 4.39</b>	: Aktif çamur reaktöründe KOI ve RES in piroliz koku ile değişimi .....	98

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1</b>	: Klasik atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları ....	9
<b>Tablo 2.2</b>	: Arıtma çamurlarının genel özellikleri .....	10
<b>Tablo 2.3</b>	: Çamurun organik içeriğinin karşılaştırılması .....	11
<b>Tablo 2.4</b>	: Arıtma çamurlarındaki azot ve fosfor içeriğinin karşılaştırılması ....	12
<b>Tablo 2.5</b>	: Çamur numunelerinin azot içeriğine arıtmanın etkisi .....	12
<b>Tablo 2.6</b>	: Arıtma çamurlarındaki fosfor içeriğine arıtma proseslerinin etkisi ..	13
<b>Tablo 2.7</b>	: Arıtma çamurundaki ağır metal konsantrasyonları .....	13
<b>Tablo 2.8</b>	: Arıtma çamuru uygulanmış topraklarda organik kirletici gruplar ....	15
<b>Tablo 2.9</b>	: Çeşitli çamurlara ait ısıl değerler .....	16
<b>Tablo 2.10</b>	: Arıtma çamurunun bileşimine arıtma yöntemlerinin etkisi .....	17
<b>Tablo 2.11</b>	: Çamur arıtımında farklı yöntemler .....	23
<b>Tablo 2.12</b>	: Farklı şartlandırma proseslerinin karşılaştırılması .....	24
<b>Tablo 2.13</b>	: Farklı yoğunlaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması .....	25
<b>Tablo 2.14</b>	: Susuzlaştırma yöntemleri .....	27
<b>Tablo 2.15</b>	: Anaerobik bozunmanın giriş ve performans parametreleri .....	28
<b>Tablo 2.16</b>	: Sıvı çamur stabilizasyonu için uygulanan kireç dozları .....	30
<b>Tablo 2.17</b>	: Stabilizasyon ve dezenfeksiyon yöntemleri .....	31
<b>Tablo 2.18</b>	: Yakma fırınlarında oluşan gazı bileşimi .....	39
<b>Tablo 2.19</b>	: Çamur külünün bileşimi .....	40
<b>Tablo 2.20</b>	: Portland çimento üretiminde kullanılan klinker ve ENCI tesislerinde oluşan çamur kül içeriği .....	40
<b>Tablo 2.21</b>	: Islak oksidasyon prosesinde ağır metallerin değişimi .....	42
<b>Tablo 2.22</b>	: Değişik sıcaklıklarda piroliz gazının bileşimi .....	44
<b>Tablo 2.23</b>	: Farklı piroliz uygulamalarında elde edilen tipik ürünler .....	45
<b>Tablo 3.1</b>	: Tekstil boyama ve yıkama endüstrisi atıksularının özellikleri .....	54
<b>Tablo 3.2</b>	: Granüler Aktif Karbon'un fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	58
<b>Tablo 3.3</b>	: Adsorbatların özellikleri .....	59
<b>Tablo 4.1</b>	: Evsel atıksu arıtma tesis çamurlarının özellikleri .....	61
<b>Tablo 4.2</b>	: Çamur örneklerinin elementel analiz sonuçları .....	61
<b>Tablo 4.3</b>	: Çamur örneklerine ait XRF analiz sonuçları .....	63
<b>Tablo 4.4</b>	: EAAÇ-I için optimum piroliz koşulları .....	66
<b>Tablo 4.5</b>	: Arıtma çamurlarının pirolizinde farklı katkıların yüzey alanına etkisi ..	67
<b>Tablo 4.6</b>	: ZnCl <sub>2</sub> katkısıyla spesifik yüzey alan değişimi .....	69
<b>Tablo 4.7</b>	: Metilen mavisinin giderim verimleri .....	71
<b>Tablo 4.8</b>	: Metilen mavisi 'nin ticari aktif karbon ile adsorpsiyonuna Freundlich izotermine uygulanması .....	72
<b>Tablo 4.9</b>	: Fenol (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH) giderim verimleri .....	74
<b>Tablo 4.10</b>	: Freundlich izoterm uygulanması .....	75
<b>Tablo 4.11</b>	: Fenol için Langmuir izoterm uygulaması .....	76
<b>Tablo 4.12</b>	: p-nitro fenol için Freundlich izoterm uygulaması .....	77
<b>Tablo 4.13</b>	: p-nitro fenol için Langmuir izoterm uygulaması .....	77

<b>Tablo 4.14</b>	: Freundlich ve Langmuir izoterm sabitleri .....	<b>78</b>
<b>Tablo 4.15</b>	: Asetik ve propiyonik asitin giderim verimleri.....	<b>79</b>
<b>Tablo 4.16</b>	: Piroliz koku için Freundlich izoterm uygulaması .....	<b>80</b>
<b>Tablo 4.17</b>	: Freundlich izoterm katsayıları.....	<b>80</b>
<b>Tablo 4.18</b>	: Reaktörlerde 1000 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI değişimi .....	<b>84</b>
<b>Tablo 4.19</b>	: Reaktörlerde 1500 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI değişimi.....	<b>85</b>
<b>Tablo 4.20</b>	: Reaktörlerde 2000 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI değişimi.....	<b>86</b>
<b>Tablo 4.21</b>	: Tekstil boyama atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku ilavesi ile arıtımında KOI giderim verimi.....	<b>88</b>
<b>Tablo 4.22</b>	: Tekstil boyama atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku (1000-1500-2000 mg/L RAAÇ-I)ilavesi ile RES <sub>436</sub> değişimi.....	<b>91</b>
<b>Tablo 4.23</b>	: Tekstil boyama atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku (1000-1500-2000 mg/L RAAÇ-I)ilavesi ile RES <sub>525</sub> değişimi.....	<b>92</b>
<b>Tablo 4.24</b>	: Tekstil boyama atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku (1000-1500-2000 mg/L RAAÇ-I)ilavesi ile RES <sub>620</sub> değişimi.....	<b>93</b>
<b>Tablo 4.25</b>	: Tekstil atıksuyunun piroliz koku katkısı ile adsorpsiyonunun Freundlich izoterm değerleri .....	<b>96</b>

## SEMBOL LİSTESİ

<b>Q</b>	: ısı değeri
<b>q, q<sub>e</sub>, q<sub>m</sub></b>	: adsorpsiyon kapasitesi için kütle dengesi
<b>k<sub>F</sub></b>	: izoterm sabiti
<b>n</b>	: izoterm sabiti
<b>C<sub>e</sub></b>	: denge konsantrasyonu
<b>k<sub>a</sub></b>	: adsorpsiyon denge sabiti
<b>a, a'</b>	: kat sayısı
<b>λ</b>	: spektral absorpsiyon değeri
<b>A</b>	: λ dalga boyunda su numunesinin absorpsiyonu
<b>d</b>	: numunenin kalınlığı (küvet genişliği)
<b>f</b>	: faktör
<b>E<sub>λ</sub></b>	: absorpsiyon

## ÖZET

### ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ DEĞİŞİK AMAÇLARLA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Son yıllarda Türkiye’de evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde yüksek miktarlarda arıtma çamurları oluşmaktadır. Arıtma çamuru atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan bir yan üründür. Evsel atıksu arıtma tesisleri için ortalama çamur üretimi 50 gr kuru madde/kişi/gün olarak tahmin edilmekte ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarları ise, dikkate değer oranlarda artmaktadır. Oluşan çamur miktarının çevre yatırımları ve standartları arttıkça artacağı beklenmektedir. Arıtma çamurlarına uygulanan klasik uzaklaştırma yöntemlerine ek olarak, son yıllarda yeniden kullanım çalışmaları artmaktadır.

Arıtma çamurları kontrollü şartlar altında bazı kimyasalların katkısı ile aktif karbon özelliğinde koka dönüştürülebilmektedir. Bu dönüşüm, düşük maliyetli adsorbent üretimi ve çamur hacminin azaltılması gibi kombine bir avantaj sağlamaktadır. Son çalışmalarda, bu dönüşümün uygulanabilirliği görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, arıtma çamurlarının yeniden değerlendirilmesi kapsamında kompost, hammadde – yakıt ve adsorbent olarak kullanımının araştırılmasıdır. Çamurlar evsel ve endüstriyel (gıda, ilaç, bira ve rakı) atıksu arıtma tesislerinden sağlanmış ve karakterize edilmiştir. Adsorbent üretimi için temel yöntem ise, azot ortamında çamurların pirolizidir ve bu amaçla arıtma çamurundan piroliz koku üretiminde optimum koşulların araştırılması değişen ısıtma sıcaklığı, ısıtma hızı ve aktivant konsantrasyonları ile belirlenmiştir.

Çalışmada, en yüksek spesifik yüzey alanı 814.48 m<sup>2</sup>/gr olarak elde edilmiş ve ürünün adsorpsiyon kapasitesi metilen mavisi, fenol ve p-nitrofenol çözeltileri ile belirlenmiştir. Piroliz koku ile kesikli sistemde asetik asit ve propiyonik asitin denge zamanında elde edilen veriler ve izotermeler, laboratuvar şartlarında uygun bir adsorpsiyonu göstermektedir. Çalışmanın ikinci kısmında ise, arıtma çamurundan elde edilen piroliz kokunun atıksu arıtımında kullanımı araştırılmış, bu amaçla tekstil endüstrisi atıksularının aktif çamur ile arıtıldığı sisteme değişen miktarlarda piroliz kokunun direkt katkısı ile KOI ve Renk parametresi giderim verimleri belirlenmiştir.

## **SUMMARY**

### **RESEARCH OF USING OF WASTEWATER TREATMENT PLANT'S SLUDGES FOR DIFFERENT AIMS**

In recent years, sewage sludge is being generated in considerable amounts in municipal and industrial waste water treatment plants in Turkey. Sewage sludges are by-products derived from process of wastewater treatment plants. It is estimated that an average production of 50 gr dry matter/inhabitant/day is typical for urban wastewater treatment plants, to which must be added a corresponding amount produced by industrial wastewater treatment plants. Production is expected to rise as investment in environmental management increases and more municipal wastewater is treated to even high standards. Sewage sludge could be converted into an activated carbon if pyrolyzed under controlled conditions with/without some chemical additives. This conversion would offer the combined benefits of reducing the volume of sludge while producing a valuable low-cost adsorbent. Several investigations have shown the feasibility of the conversion.

The aim of study is to investigate the possibility of using sewage sludge as a source to produce adsorbent, raw material and fuel for reuse of sewage sludge. Sewage sludges are supplied from municipal and industrial (food, medicine, beer and alcohol-raki) waste water treatment plants. The sludges are characterized for study purposes. The basic method of adsorbent preparation is pyrolysis of sewage sludge in nitrogen gas. For this purpose, the effects of preparation condition parameters such as the concentration of activating agents, heating temperature, and heating rate were studied in order to seek an optimum condition to produce pyrolysis coke from sewage sludge. The highest BET surface area achieved is 814, 48 m<sup>2</sup>/gr. Adsorption capacity tests were conducted with methylene blue, phenol and p-nitrophenol solutions. Batch adsorption tests were conducted to obtain the rate and equilibrium data with two volatile fatty acids (acetic and propionic acids) solutions. The results demonstrate clearly that the adsorbent is capable of fatty acids adsorption under laboratory conditions.

One of the possibilities of pyrolysis coke in wastewater treatment is the direct addition to an activated sludge system, thus combining adsorption and biodegradation.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen sanayileşmeye bağlı olarak atıksu arıtma tesislerinin yaygınlaşması sonucunda arıtma çamurları üretiminin artması, çevrede oluşacak ikincil kirliliklere çözüm arayışlarını gündeme getirmiştir. Avrupa Birliği ülkelerinde, 1999 yılı verilerine göre yılda ortalama 6.5 milyon ton kuru madde olan atık arıtma çamurunun, 2005 yılında 15 milyon tona yükseleceği tahmin edilmekte, %40 düzenli depolama, %37 tarımsal kullanım ve %11 yakma şeklinde olan çamur gideriminin, 2005 yılında %38 yakma, %17 düzenli depolama ve %45 yeniden değerlendirme şeklinde değişeceği öngörülmektedir. Görüleceği gibi düzenli depolama, bu ülkelerde birincil uzaklaştırma yöntemi olmakla birlikte, boş depolama alanı, yüksek maliyetler, gelişen çevre standartları ve yeniden değerlendirmeyi teşvik eden politikaların uygulanması nedeniyle giderek azalmaktadır (EC, 1999).

Ülkemizde ise, belediyeler tarafından işletilen arıtma tesislerinde yılda ortalama 600 milyon m<sup>3</sup> atıksu arıtılmakta ve oluşan çamur miktarı ise yaklaşık 500.000 ton kuru madde olmaktadır. Bu çamurun büyük kısmı düzenli depolama ile uzaklaştırılmakta, tehlikeli atık niteliğinde olan bir miktarı ise yakma yöntemiyle, İstanbul ve Kocaeli’de kurulmuş tesislerde yakılmakta, külleri de depolanarak uzaklaştırılmaktadır. Sanayi tesislerinden çıkan çamurların ise %40.69’u araziye boşaltılmakta, %21.99 ’u belediye çöplüğüne atılmakta, %7.02’si depolanmakta, %4.66 ’sı denize boşaltılmakta, %6.10’u tarımda kullanılmakta, %3.93’ü yakılmakta ve %15.63’ ü diğer yöntemlerle uzaklaştırılmıştır. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurların yapısı, tesiste uygulanan fiziksel, kimyasal, biyolojik veya ileri arıtma proseslerine göre farklılık göstermekte, çıkan yüksek karbonlu organik yapıda potasyum, azot, fosfor, kükürt ve metal bileşikleri de bulunabilmektedir. Sonrasında uygulanan ıslah yöntemleri de, ağırlıklı olarak ülkenin sosyal ve ekonomik koşulların belirlediği değerlendirmelere ve farklı içeriklerin neden olacağı özelliklere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Giderim ya da ıslah işlemleri genellikle yoğunlaştırma, stabilizasyon, şartlandırma, dezenfeksiyon, susuzlaştırma, kurutma, termal indirgeme ve düzenli depolama yöntemleriyle

yapılmaktadır. Bu yöntemlerle çamur miktarı ve organik içerik azaltılmakta ve çevre kirlenmesinin önlenmesi ya da en az indirilmesi hedeflenmektedir. Klasik bir aktif çamur arıtım işletmesinden çıkan çamurlar için genellikle yoğunlaştırma, aerobik veya anaerobik çürütme, susuzlaştırma ve düzenli depolama yapılmakta, farklı uygulamalarda kireç ya da ısı ile stabilizasyon ve kompost prosesleri yer almaktadır. Şartlandırma ve dezenfeksiyonda, çamura alüminyum tuzları, demir tuzları, kireç ve organik polimerler gibi kimyasallar ilave edilirken ısı işlemlerde yeni yöntemler geliştirilmektedir. Katılan kimyasallar ya da uygulanan ısı öncelikle çamurun su içeriğini azaltmakta ve son uzaklaştırılma işlemlerine büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Artan atık çamur miktarları, çamur stabilizasyon yöntemlerinin yanı sıra çamurun yeniden değerlendirilerek değişik alanlarda kullanımını gündeme getirmiştir. Bu bağlamda, Avrupa Birliği ülkelerinde yeniden değerlendirme çalışmaları yaygınlaşmakta ve arıtma çamurlarının tarımsal kullanımı sınırlandırılırken amaca yönelik yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Özellikle yakma ve piroliz proseslerinde yoğunlaşan bu çalışmalarda proses ürünlerinin atıksu arıtımında yeniden kullanımının araştırıldığı görülmektedir (Martin ve diğ., 2004). Yanı sıra gübre, yakıt, yapı ve yol kaplama malzemesi ve çimento sanayi için hammadde olarak kullanım çalışmaları yine son yılların güncel araştırma konularıdır. Ancak uygun uzaklaştırma yöntemlerinin kullanılmaması halinde, çevrede ikincil bir kirlenme oluşma olasılığı artacaktır. Özellikle son uzaklaştırma için yaygın olarak kullanılan depolama veya yakma yöntemlerinin oluşturduğu ikincil problemlerin çözümü çok daha zor olmakta, örneğin depolamada oluşan sızıntı suları, yakmada ise, enerji maliyetleri, külün uzaklaştırılması ve gaz emisyonları gibi olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır. 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.

Bu çamurlar için yeniden değerlendirilme kapsamında en yaygın uygulama alanı halen tarımsal kullanımdır. Ancak son yıllarda içerdikleri kirleticilerden dolayı ortaya çıkan olumsuzluklar nedeniyle bu alanda kullanımının 2005 yılından itibaren sınırlandırılması Avrupa Birliği tarafından öngörülmüştür. Bu bağlamda da atık arıtma çamurlarının



tarımsal alanlarda gübre olarak yeniden değerlendirilmesine alternatif olacak yeni kullanım alanları araştırılmaktadır.

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. 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 (Michel ve Van Der Meer, 2003).

Son yılların araştırılan bir diğer güncel konusu da çamurların pirolizidir. Konuya ilişkin çalışmalar, arıtma çamurlarının pirolizi için ilgili optimum şartların belirlenmesi ve elde edilen ürünün kullanımının araştırılması üzerine yoğunlaşmıştır (Lu, 1995). Uygulanan termal işlemler sonucu kararlı bir yapı elde edilmekte, piroliz ürünü yüksek karbonlu madde aktif karbona benzer özellikler göstermektedir. Böylece arıtma tesislerinde kimyasal maddelerin geri kazanımı, organiklerin ve metallerin giderimi işlemlerinde adsorbent veya katalizör olarak kullanım alanı bulmaktadır (Lee ve diğ., 1989). Bu nedenle atık arıtma çamurlarının aktif karbon üretiminde kullanılması çalışmaları önem kazanmıştır. Yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda birincil veya ikincil çamurlar, aerobik veya anaerobik çürütme işlemine tabi tutulduktan sonra kullanılmakta, çamur bertaraf yöntemlerinden yoğunlaştırma, kimyasal stabilizasyon ve şartlandırma gibi teknikler uygulanmış çamurlar kullanılmamaktadır. Çürütülmüş ve çürütülmemiş çamur numuneleri ile yapılan piroliz çalışmalarında, her iki çamurun piroliz sonucu oluşan ürünleri karşılaştırılmış, çürütülmemiş çamurun, çürütülmüş çamurdan daha fazla karbon ve daha az kül içeriğine sahip olduğu ve uygun adsorpsiyon özelliği nedeniyle de aktif karbon yerine kullanımının mümkün olacağı belirlenmiştir (Baçaoui ve diğ., 1998; Tay ve diğ., 2001a).

Konunun önemine karşın ülkemizde atık arıtma çamurlarının atık minimizasyonu kapsamında yeniden değerlendirmesine yönelik çalışmalar, düzenli depolamaya alternatif olarak ancak çok az sayıda tarımsal kullanım arayışlarıyla sınırlı kalmıştır. Bu

nedenle bu çalışmada atıksu arıtma tesislerinde çıkan arıtma amurlarının, atık minimizasyonu ve gelişen uluslararası evre kontrol standartları çerçevesinde yeniden değerlendirilmesi ve farklı kullanım alanlarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında İstanbul'da bulunan evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden alınan atık çamurlara piroliz işlemi uygulanacak, piroliz ürünü aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesi belirlenerek, fiziksel ve biyolojik arıtım sistemlerinde uygulama olasılıkları araştırılacaktır. Yanısıra doğrudan yakıt olarak kullanımı veya imento sanayiinde portland imentosu üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi irdelenecek, ancak AB direktifleri ve mevcut mevzuat uygulamaları dikkate alınarak doğrudan tarımsal kullanımının araştırılması kapsam içine alınmayacaktır.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. ARITMA ÇAMURU

Arıtma çamuru, arıtma proseslerinden kaynaklanan sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma prosesine bağlı olarak ağırlıkça %0.25 ile %12 katı madde içeren bir yan üründür ve ortalama çamur üretiminin kişi başına günde 40–60gr kuru madde olduğu belirtilmektedir (Caballero, 1997). Arıtma çamurları çıkış kaynaklarına göre üç başlıkta incelenebilir :

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

Arıtma çamurlarının yapısı, arıtılan sudaki temel kirletici yüklere ve tesiste uygulanan teknik koşullara bağlıdır. Atıksu arıtımı, suda bulunabilecek kirleticiler üzerine yoğunlaşmaktadır ve bu nedenle arıtma çamurları askıda veya çözünmüş çok geniş çeşitlilikte maddeler içermektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanısıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır (EEA, 1998).

Bu çamurlar, çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma prosesleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan alum çamurları gibi arıtımın tipine ve amacına bağlı olarakta sınıflandırılabilir.

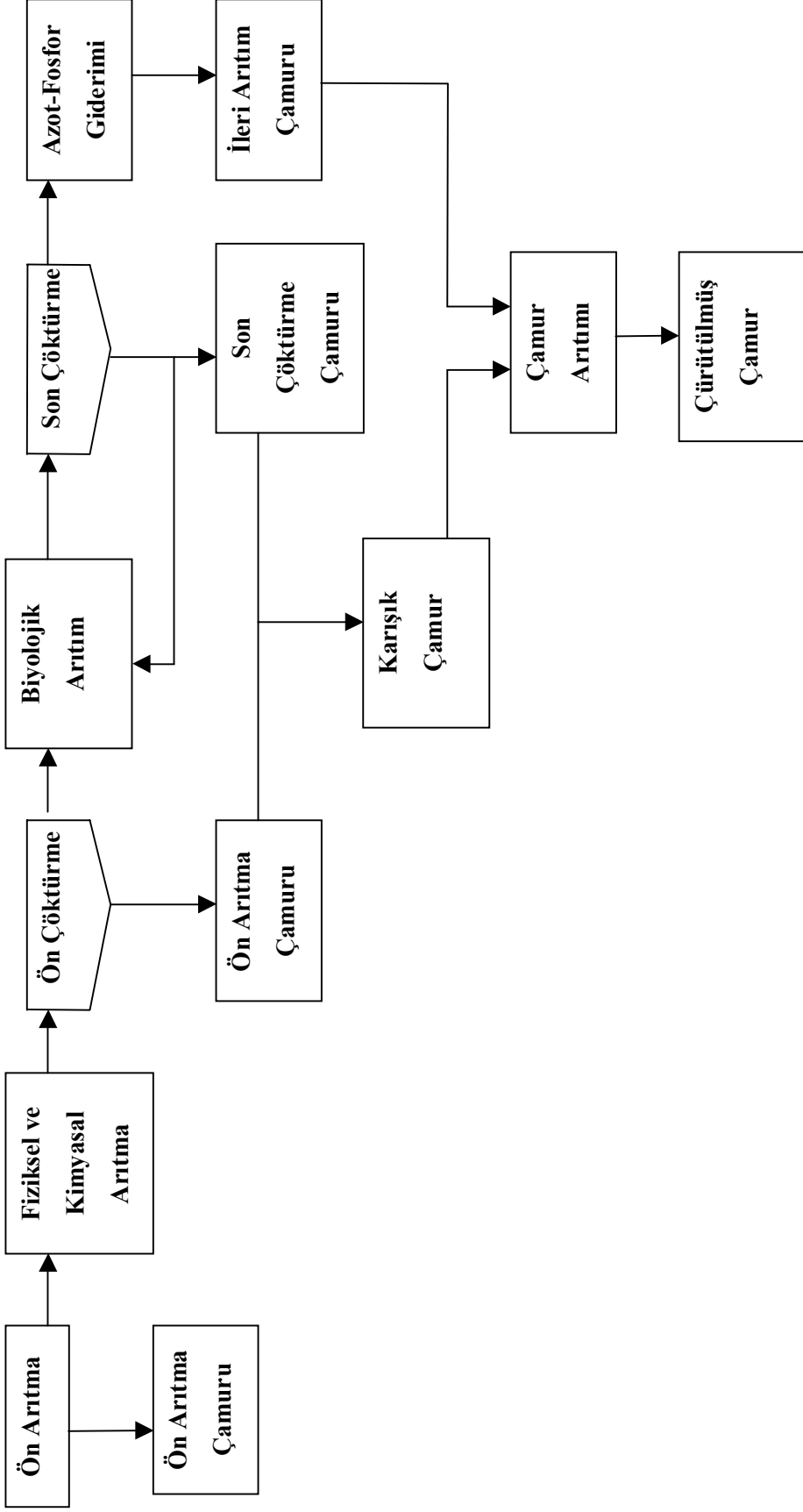
Klasik atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları, birincil, ikincil ve ileri arıtma proseslerinden çekilmektedir. Her bir arıtma prosesi, atıksu kirlilik yükü üzerinde farklı etkilere sahiptir. Buna bağlı olarak oluşan çamurlarda farklı yapıdadır. Çamur oluşum prosesleri Şekil 2.1' de gösterilmiştir.

Mekanik arıtma işlemleri ile giderilemeyen askıda ve çözünmüş haldeki katı maddeler ise ya kimyasal yumaklaştırma işlemleri ile veya biyolojik arıtma işlemlerinde oluşturulan yumaklar yardımıyla çökeltilerek veya yüzdürülerek su ortamında uzaklaştırılırlar. Çözünmüş organik maddeler ise biyolojik arıtmada bakteri bünyesinde tutularak canlı hücrelere yani biyokütleyle dönüştürülür. Oluşan biyolojik çamur son çökeltme havuzlarında çökeltilerek sudan ayrılır. Son çökeltme işlemleri sonucu oluşan arıtma çamurlarının su ve organik madde içeriği oldukça yüksektir. Mekanik ve biyolojik yöntemlerle giderilemeyen çözünmüş haldeki organik maddeler veya metal tuzları kimyasal madde ilavesi ile yapılan kimyasal yumaklaştırma işlemi ile sudan ayrılır.

### **2.1.1. Birincil Arıtma Çamuru**

Özellikle büyük şehirlerde yaygın olarak kullanılan ön arıtma sistemlerinden çıkan çamurdur. Ön arıtmanın temel prensibi çökebilir haldeki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılmasıdır. Ön arıtma sistemlerinde oksijen gereksinimi olan maddelerin giderilmesi esas değildir, ancak BOI'nin bir kısmı çökebilir katı maddeler ile birlikte giderilir. Kendiliğinden çökebilir nitelikli ve esas olarak inorganik karakterdeki katı maddeler ızgara, kum tutucular ve ön çökeltme havuzlarında tutulurlar. Özellikle ızgaralarda tutulan kaba nitelikte çökebilir katı maddeler evsel katı atık niteliğinde olduğundan herhangi bir işleme gerek duyulmadan kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılırlar. Ham çökeltme çamuru olarak isimlendirilen bu çamurların organik madde içeriği % 60-80 arasındadır ve su içeriği ise oldukça yüksektir (Filibeli, 2002).

Ön arıtmada etkili bir çöktürme sağlamak gerektiğinde koagülasyon ve flokülasyon gibi kimyasal arıtma yöntemleri de kullanılmaktadır. Koagülasyon yönteminde, çökmeyi engelleyen kolloidal partiküllerin nötralizasyonu için bir koagülant ilavesi ve hızlı karıştırma uygulanır. Flokülasyonda ise, koagülasyondan sonra kolloidal partiküllerin topaklaşması sağlanmaktadır.



Şekil 2.1: Atıksu arıtımı ve çamur oluşumu

### 2.1.2. İkincil Arıtma Çamuru

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

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. Atılan biyokütle atık aktif çamur olarak bilinir ve arıtma tesisi için gerçek problemlerden biridir.

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. Anaerobik çürütücüye alternatif olarak, atık aktif çamur aerobik olarak 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.

### 2.1.3. İleri Arıtma Çamuru

İleri arıtma sistemlerinden kaynaklanan çamurlar, kimyasal prosesler ve bakteriyel faaliyet 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<sub>2</sub> 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 fosfor giderimine uygun spesifik mikroorganizmalar ile yürütülür. Arıtma sırasında bakteri bünyesinde biriken fosfor, atılan çamurun arıtımını zorlaştırmaktadır (Krogmann ve diğ., 1997). Klasik atıksu arıtma tesislerindeki katı madde ve çamur kaynakları toplu halde Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 : Klasik atıksu arıtma tesislerinde katı madde ve çamur kaynakları

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	Köpük giderme işlemi kum tutucularda kum ayırma ile birlikte gerçekleştirilir
Ön Havalandırma	Kum ve köpük	Bazı tesislerde ön havalandırma tanklarında köpük ve 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	Süspanse katı maddeler BOI gideriminden oluşur. Biyolojik arıtmadan çıkan atık çamurun yoğunlaştırılması için yoğunlaştırıcı gerekir.
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.

## 2.2. ARITMA ÇAMURUNUN BİLEŞİMİ

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

### 2.2.1. Katı Madde İçeriği

Çamurun katı ve sulu kısımları arasındaki oran, katı madde konsantrasyonu olarak tanımlanır ve mg/l veya % katı madde olarak belirtilir. Örneğin özgül ağırlığı 1 olan bir çamur için; 10000 mg/l katı madde konsantrasyonu, % 1 oranında katı maddeyi ifade eder. Askıda ve çözülmüş katı maddelerin toplamı toplam katı maddeler olarak tanımlanmaktadır. Konsantre atıklar ve özellikle endüstriyel çamurlar için mg/l olarak yapılan hesap yüzdeye çevrilemez. Çeşitli arıtma işlemlerinde beklenen çamurların genel özellikleri Tablo 2.2 de verilmektedir.

Tablo 2.2 : Arıtma çamurlarının genel özellikleri

Parametre	Arıtılmamış Birincil Çamur		Çürütülmüş Birincil Çamur		Aktif Çamur
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	Aralık
Toplam Katı, %	2.0 - 8.0	5.0	6.0 - 12.0	10.0	0.83 - 1.16
Uçucu Katı, %	60 - 80	65	30 - 60	40	59- 88
Yağ ve Gres, %	6.0 - 35.0	-	5.0 - 20.0	18	5.0 - 12.0
Protein, %	20 - 30	25	15 - 20	18	32 - 41
Azot, %	1.5 - 4	2.5	1.6 - 6.0	3	2.4 - 5.0
Fosfor, %	0.8 - 2.8	1.6	1.5 - 4.0	2.5	2.8 - 11.0
Potasyum, %	0 - 1	0.4	0 - 3.0	1	0.5 - 0.7
Selüloz, %	8.0 - 15.0	10	8.0 - 15.0	10	-
Demir, %	2.0 - 4.0	2.5	3.0 - 8.0	4	-
Silisyum, %	15.0 - 20.0	-	10.0 - 20.0	-	-
pH	5.0 - 8.0	6	6.7 - 7.5	7	6.5 - 8.0

### 2.2.2. Organik Madde İçeriği

Çamurdaki organik içerik çoğunlukla hidrokarbonlar, aminoasitler, küçük proteinler ve yağlar gibi çözülmüş maddelerden oluşmaktadır. Evsel özellikteki arıtma çamurlarının organik içeriği çamura uygulanan şartlandırma ve arıtma yöntemlerine göre değişmekle birlikte genellikle kuru bazda %50 den fazladır. Aşağıdaki Tablo 2.3'de evsel arıtma çamurlarının organik içeriği evsel atıklar ve hayvansal gübreler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Tablo 2.3 : Çamurun organik içeriğinin karşılaştırılması

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

Evsel arıtma çamurlarının organik içeriğinin hayvansal gübrelere yakın değerlere sahip olmasına karşın, Avrupa Birliği ülkelerinde tarımsal kullanımda toprağa ilave edilecek organik madde oranı 5 ton/hektar ve 10 ton kuru madde/hektar ile sınırlandırılarak toprağın fiziksel özelliklerine minimum etki oluşturacak çamur miktarı belirlenmiştir. Bununla birlikte, uygulanan bu limit değerler ile tarımsal kullanımda dikkate değer bir fayda elde edilememiş ancak arazi ıslahı amacıyla ilave edilen çamurlar ile daha önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Arıtma çamurunun organik içeriğinin hızla mineralize olması sonucu topraktaki kirletici ve nitrat miktarlarında bir artış meydana gelmiş, ancak özel uygulamalar ile organik maddelerin daha yavaş mineralize olması sağlanarak yer altı sularına sızma ile tehlike oluşturacak azotun potansiyel riski azaltılmıştır (Sanchez-Monedero ve diğ., 2004). Kompostun mineralizasyon hızının kompostun tipine bağlı olduğu, toprağa kompostun uygulanmasını izleyen birkaç yıl mineralizasyonun devam ettiği ve bu olayın kompostun yapısından kaynaklandığı belirtilmiştir (Ademe ve Recyval, 2001).

### 2.2.3. Azot ve Fosfor İçeriği

Avrupa Birliği ülkelerinde yapılan incelemelerde, arıtma çamuru içerisindeki azotun 0.02-80 gr/kg kuru madde ve fosforun 0.01-90 gr/kg kuru madde aralığında değiştiği belirlenmiştir. Çamur için uygulanan arıtma işlemleri, özellikle çamurun azot ve fosfor içeriğini etkilemektedir. Örneğin, çamurun sulu kısmında bulunan amonyağın büyük bir kısmı, susuzlaştırma ve çürütme adımları sırasında giderilmektedir. Tablo 2.4' de, arıtma çamurunun içerdiği azot ve fosfor, hayvansal gübre ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.4 : Arıtma çamurlarındaki azot ve fosfor içeriğinin karşılaştırılması

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

Azot çoğunlukla çamurda organik bileşikler halinde ve az da olsa amonyak formunda bulunur. Bitkilerin yalnızca mineral azotu kullanmaları nedeniyle, arıtma çamurunun tarımsal değeri mineralize olacak organik azotun miktarı ile orantılıdır. Tablo 2.5’de çamurlardaki azot miktarı verilmiştir.

Tablo 2.5 : Çamur numunelerinin azot içeriğine arıtmanın etkisi

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

Görüldüğü gibi, çamur içerisindeki azot oranı, % 4 ile 60 gibi geniş bir aralık içerisinde değişmekte ve kompost çamur < anaerobik çürütülmüş çamur < aerobik çürütülmüş çamur şeklinde değişim göstermektedir.

Fosfor, bitkilerin büyümesi, hücre duvarlarının yapısı ve kök sisteminin gelişimi için kullandıkları temel bileşenlerdendir. Çamurdaki fosfor çoğunlukla mineral formda bulunur ve çamur tipine bağlı olarak toplam fosforun %30-98’ i mineral fosfor olabilir. Azot için olduğu gibi, çamur içindeki fosforun miktarı da uygulanan arıtma yöntemine

bağlı ve toplam fosforun oranından bağımsızdır. Fosfor bileşiminin değişimi Tablo 2.6’ da özetlenmiştir.

Tablo 2.6 : Arıtma çamurlarındaki fosfor içeriğine arıtma proseslerinin etkisi

Arıtma tipi	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % kuru madde	P, % kuru madde
Sulu Çamur ; Anaerobik Çürütme	4.9 – 6.9	2.1 – 3
Aerobik Çürütme	2.5 – 12.65	1.1 – 5.5
Birincil çamur; kireçle işlem	2.5 - 12	1.1 – 5.2

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

#### 2.2.4. Kalsiyum İçeriği

Arıtma çamuruna kireç ilavesi çamurun stabilizasyonu için uygulanmaktadır. Uygun seviyede bir stabilizasyon elde etmek için, kuru maddenin %30’ u oranında kireç ilavesi tavsiye edilmektedir. Saha çalışmaları, kireçle stabilize edilmiş çamurun toprağın geçirgenliğine, yapısına ve pH’ına olumlu etki ettiği belirlenmiştir (Filibeli, 2002).

#### 2.2.5. Ağır Metal İçeriği

Arıtma çamurundaki çok sayıda ağır metaller bulunmaktadır. Ağır metaller, bitkilerin yaşaması, büyümesi ve mikroorganizmaların gelişimi için olumsuz etkilere sahiptir ve canlı, insan ve çevrede birikmektedir. Tablo 2.7’ de, arıtma çamurlarında bulunan ağır metaller ve sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 2.7 : Arıtma çamurundaki ağır metal konsantrasyonları (EEA, 2001)

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

### 2.2.6. Organik Kirleticiler

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

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

Arıtma çamuru ve arıtma çamuru uygulanmış topraklarda bulunan organik kirletici gruplarının özellikleri, bulunuşu, dağılımı ve transferi ile ilgili detaylı bilgiler Tablo 2.8’ de verilmiştir.

PCDD/F ile ilgili veriler, Avrupa Birliği Dioksin dağılımı ve sağlık etkileri raporundan (EEA, 2000) alınmıştır. Raporda, üye ülkelerde oldukça benzer olarak ortalama dioksin konsantrasyonlarının 15–40 ng I-TEQ/kg kuru madde aralığında değiştiği görülmektedir. Çamurdaki diğer organik kirletici konsantrasyonlarına ait mevcut veriler, bunlar hakkında bir değerlendirme yapmak için yeterli değildir.

### 2.2.7. Patojenler

Çamurdaki patojenlerin varlığı nüfusun gelişmişlik seviyesi ve bölgedeki endüstri tipleri ile ilgilidir. Arıtma çamurunda, virüsler, bakteriler, protozoalar ve helmintler gibi patojen çeşitleri bulunmaktadır ve miktarları zamanla değişmektedir. Ham ön çökeltme çamuru çok sayıda ve değişik türde organizma içerir. Patojen organizma konsantrasyonu oldukça yüksektir. Aktif çamurda çok çeşitli organizmalar vardır. Çürümüş çamurda organizma türleri çürütme yöntemine bağlıdır. Çürütme işlemi ile patojenik mikroorganizmalar büyük oranda yok edilirler. Bresters ve diğ., (1997) tarafından, çamurda bulunan su giderici enzimleri ile çamurların su verme kapasitesi arasında bir ilişki olduğu açıklanmış ve su verme özellikleri iyi olmayan çamurlara enzimler ilave edilerek su verme özelliklerinin geliştirilebileceği belirtilmiştir.

Tablo 2.8 : Arıtma çamuru uygulanmış topraklarda organik kirletici gruplar

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

### 2.2.8. Çamurun Isıl Değeri

Çamurun ısıl değeri, çamur tipine ve içeriğindeki uçucu katı madde miktarına bağlıdır. Arıtılmamış ön çökeltme çamurunun ısıl değeri, özellikle önemli miktarda yağ ve gres içeriyorsa çok yüksektir. Mutfak öğütücülerinin kullanıldığı yerlerde, çamurun uçucu madde içeriği ve dolayısıyla ısıl muhtevası yüksek olacaktır. Çürümüş çamur ham çamurdan daha düşük ısıl değere sahiptir. Çamurlarda ısıl değer, kalorimetre deneyi ile belirlenir. Ayrıca, farklı tiplerde ve filtrasyon öncesi ilave edilen koagülant madde miktarlarının da dikkate alındığı ampirik bağıntılar geliştirilmiştir (Fair&Moore, 1968) :

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

Bu bağıntıda;

Q = ısıl değer, kJ/kg kuru madde

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

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

$P_v$  = çamurdaki uçucu katı madde yüzdesi

$P_c$  = çamura ilave edilen koagülant madde yüzdesi

Çeşitli çamurlara ait ısıl değerler Tablo 2.9' da özetlenmektedir

Tablo 2.9: Çeşitli çamurlara ait ısıl değerler

Çamur Tipi	Isıl Değer, cal/g kuru madde	
	Aralık	Tipik Değer
Ham ön çökeltme çamuru	5550 – 6925	6100
Aktif Çamur	3885 – 5550	5000
Anaerobik çürümüş çamur	2220 – 3330	2775
Kimyasal madde ilave edilmiş ön çökeltme çamuru	3330 – 4440	3775
Biyolojik filtre çamuru	3880 – 5550	4715

### 2.3. ATIKSU ARITIMININ ARITMA ÇAMURU BİLEŞİMİNE ETKİSİ

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. Su ve atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının fiziksel özellikleri Tablo 2.10' da

özetlenmektedir. 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. Tablo 2.10' da 4 tip çamurun özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.10 : Arıtma çamurunun bileşimine arıtma yöntemlerinin etkisi

	A	B1	B2	C	D
<b>Kuru madde gr/L</b>	12	9	7	10	30
<b>Uçucu madde, % kuru madde</b>	65	67	77	72	50
<b>pH</b>	6	7	7	6.5	7
<b>C , % kuru madde</b>	51.5	52.5	53	51	49
<b>H , % kuru madde</b>	7	6	6.7	7.4	7.7
<b>O , % kuru madde</b>	35.5	33	33	33	35
<b>N , % kuru madde</b>	4.5	7.5	6.3	7.1	6.2
<b>S , % kuru madde</b>	1.5	1	1	1.5	2.1
<b>C/N</b>	11.4	7	8.7	7.2	7.9
<b>P , % kuru madde</b>	2	2	2	2	2
<b>Cl , % kuru madde</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>K , % kuru madde</b>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>Al , % kuru madde</b>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>Ca , % kuru madde</b>	10	10	10	10	10
<b>Fe , % kuru madde</b>	2	2	2	2	2
<b>Mg , % kuru madde</b>	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
<b>Yağ , % kuru madde</b>	18	8	10	14	10
<b>Protein , % kuru madde</b>	24	36	34	30	18
<b>Fibre , % kuru madde</b>	16	7	10	13	10
<b>Kalorifik Değer, kWh/t KM</b>	4200	4100	4800	4600	3000

- A : birincil çamur; yüksek kirlilik yükü, fiziksel/kimyasal arıtma
- B1 : biyolojik çamur; düşük yük
- B2 : arıtılmış sudan biyolojik çamur; düşük ve orta yük
- C : karışık çamur; A ve B2 tiplerinin karışımı
- D: çürütülmüş çamur

#### 2.4. AVRUPA BİRLİĞİNDE ARITMA ÇAMURLARI

Avrupa Birliği ÷lkelerinde yaklaşık 6.5 milyon ton kuru madde/yıl arıtma çamuru oluşmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2.2’de de gör÷leceği gibi, 1999 yılı verilerine (EEA, 2001) göre Almanya en yüksek miktarda çamur üreten ÷lkedir. İngiltere, Fransa, İtalya ve İspanya ise yılda 500.000 ton kuru madde den daha fazla arıtma çamuru üretmektedir. Bu ÷lkeler Avrupa Birliğinin toplam çamur üretiminin %75’ ini oluşturmaktadır. Diğer ÷lkeler için ortalama çamur üretimi 250 000 ton kuru madde den daha az olmaktadır.

Arıtma çamuru genellikle ton kuru madde olarak ifade edildiğinden, oluşan ham çamur yaklaşık olarak bu miktarın 10 katı kadardır. Dolayısıyla Avrupa Birliğinde oluşan toplam ham çamur miktarı yaklaşık 65 milyon tonu bulmaktadır.

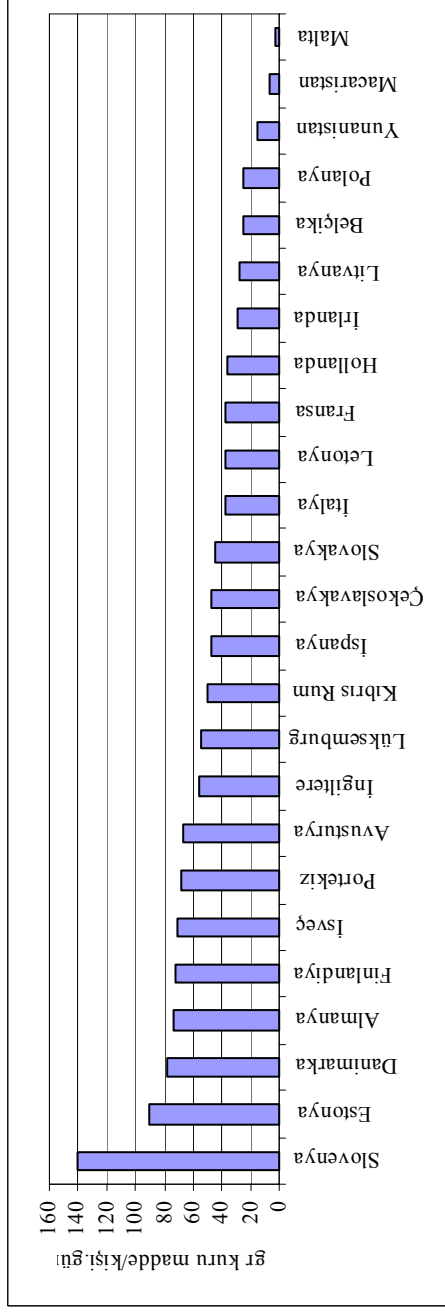
Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’ de Avrupa Birliği’ne üye ve yeni üye olan ÷lkelerde arıtma çamuru üretimi ile kişi başına günlük miktarlar verilmiştir.

Avrupa Birliği üye ÷lkelerinde kişi başına günlük çamur üretimi incelendiğinde, ÷lkeler arasında büyük farklılıklar gör÷lmektedir. Verilere göre, kişi başına en düşük çamur üretimi (15.4 gr kuru madde/kişi/gün) Yunanistan’da ve en yüksek çamur üretimi (78 gr kuru madde/kişi/gün) Danimarka’da oluşmaktadır. Bu farklılıklar, ulusal atıksu arıtma sistemlerinin dağılımına ve herbir ÷lkenin kanalizasyona bağlanma oranına bağlıdır.



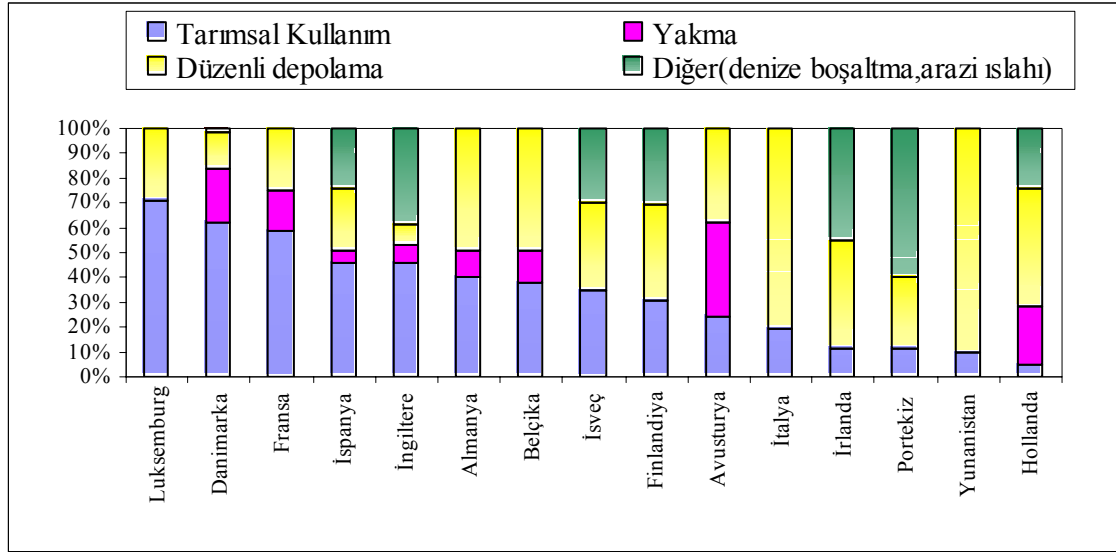


Şekil 2.2: Avrupa Birliği Ülkelerinde arıtma çamuru üretimi (ton Kuru Madde/yıl) (EEA, 2001)



Şekil 2.3: Avrupa Birliği Ülkelerinde arıtma çamuru üretimi (gr Kuru Madde/kışı.gün) (EEA, 2001)

Arıtma çamurlarının değerlendirilmesi amacıyla uygulanan yöntemlerin dağılımı, 1996, 1997 ve 1998 yıllarına ait veriler (EC, 2000) esas alınarak Şekil 2.4' de verilmiştir.

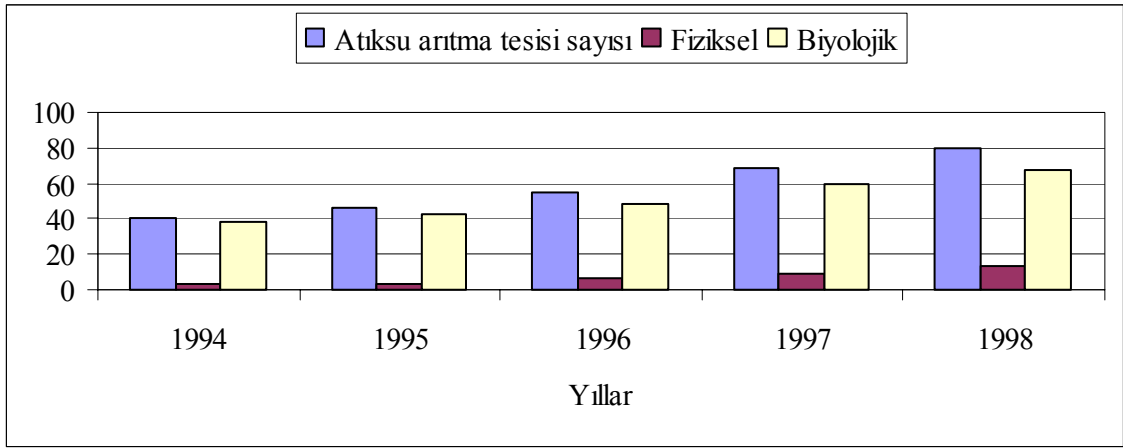


Şekil 2.4: AB ülkelerinde uygulanan çamur uzaklaştırma yöntemleri

Mevcut uygulamaların dağılımı incelendiğinde, tarımsal kullanım arıtma çamurlarının birincil uzaklaştırma yöntemi olarak görülmektedir. Toplam çamur üretiminin yaklaşık %38'i (2.7 milyon ton kuru madde) tarımsal amaçlı kullanılırken, % 37'si depolama ile uzaklaştırılmaktadır. Yakma ile uzaklaştırılan çamur oranı % 9, denizde depolama, arazi ıslahı ve diğer yöntemlerin oranı ise % 16'dır. Denizlere boşaltmanın 1998 yılında yasaklanmasından sonra İngiltere ve İrlanda da oluşan çamurların bir kısmı diğer yöntemlerle uzaklaştırılmaktadır. Tarımsal kullanımın oranının yüksek olması ise üye ülkelerdeki arazi ıslahı ve silvikültür uygulamalarının bu başlık altında incelenmesinden kaynaklanmaktadır (EEA, 2001).

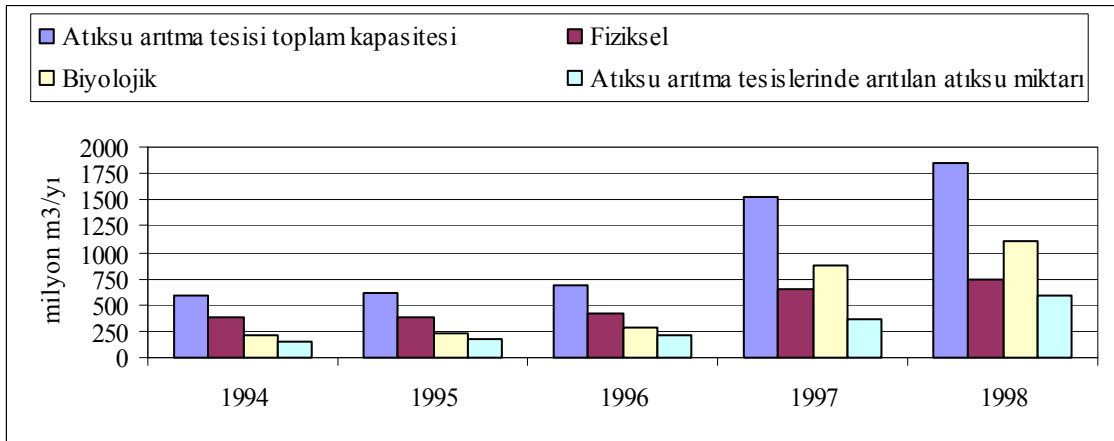
## 2.5. TÜRKİYE'DE ARITMA ÇAMURLARI

Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE, 2003) verilerine göre Türkiye'de belediyelere ait atıksu arıtma tesislerinde yılda ortalama 600 milyon m<sup>3</sup> atıksu arıtılmakta ve yaklaşık 500.000 ton arıtma çamuru oluşmaktadır. Bu veriler dikkate alındığında oluşan arıtma çamurunun miktarının Avrupa Birliği ülkelerindeki miktarların çok altında olduğu görülmektedir. Ülkemizde atıksu arıtma tesisi bulunan belediyeler ile ilgili veriler Şekil 2.5 ve 2.6'da verilmiştir.



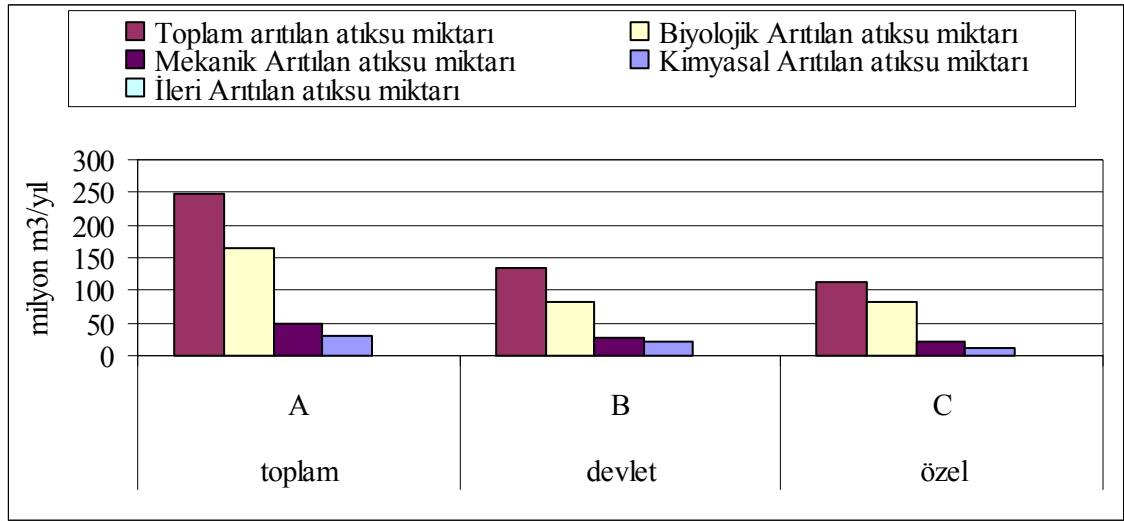
Şekil 2.5: Türkiye de belediyelere ait atıksu arıtma tesislerinin sayıları (DİE, 2003)

DİE, 2000 verilerine göre, belediyelerce işletilen atıksu arıtma tesisleri kapasitelerinin çok altında debilerle işletilmekte ve oluşan atıksuyun yaklaşık  $\frac{1}{4}$ ' ü arıtma tesislerinde arıtılmaktadır.



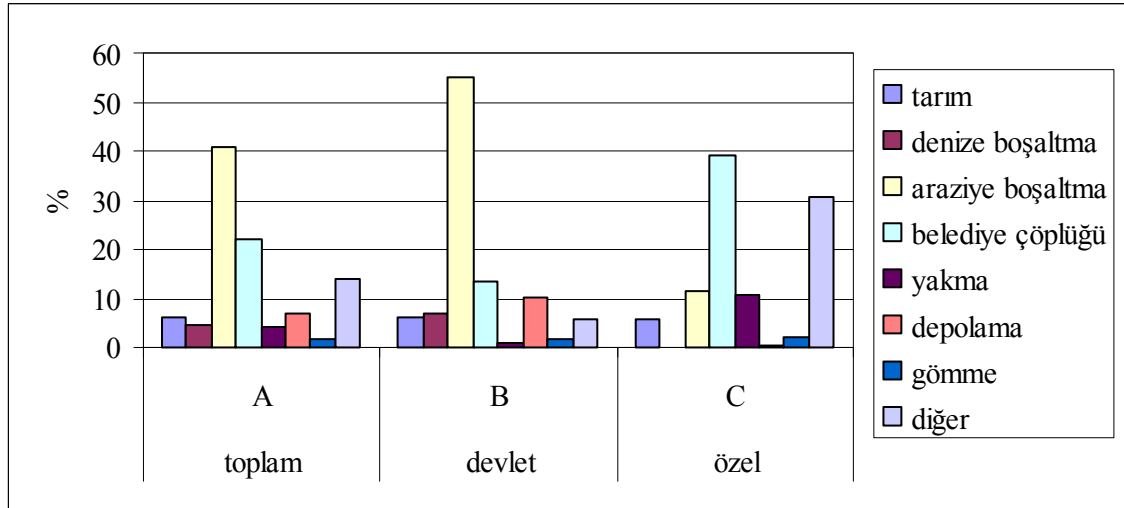
Şekil 2.6: Türkiye de belediyelere ait atıksu arıtma tesislerinin kapasitesi (DİE, 2003)

1996 yılı İmalat Sanayi Atık Envanteri araştırması verilerine göre, yılda yaklaşık 1801 milyon metreküp su tüketilmekte ve bunun 1636 milyon metreküpü (%90.85) işyerleri tarafından üretim faaliyetlerinde (proses, soğutma ve kazan suyu olarak), 99 milyon metreküp (%5.50) evsel ve 66 milyon metreküpü (%3.65) diğer amaçlı (bahçe sulama, yangın suyu vs.) tüketilmiştir. Tüm sanayi grupları içinde 37 sanayi grubu (demir, metal ve çelik ) toplam tüketilen suyun % 55.02, 31 sanayi grubu (gıda- içki ve tütün sanayi) toplam tüketilen suyun % 16.94 'ünü kullanırken, 32 sanayi grubu (tekstil sanayi) %11.49'unu ve 35 sanayi grubu (kimya-petrol kömür kauçuk ve plastik ürünleri sanayi) ise toplam suyun %8.88' ini kullanmıştır. (DİE,2003)



Şekil 2.7: Türkiye imalat sanayi atık envanteri verileri (DİE, 2003)

İmalat sanayi tesislerinde kullanılan atıksuyun %60'ı atıksu olarak doğrudan deşarj edilmekte ve oluşan atıksuyun ancak  $\frac{1}{4}$  'ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmaktadır. Atıksu arıtımı sonucu 3.265 milyon ton (sulu çamur) arıtma çamuru oluşmakta ve imalat sanayi işyerlerinin yarattığı arıtma çamurunun %40.69' u araziye boşaltılmakta, %21.99 'u belediye çöplüğüne atılmakta, %7.02'si depolanmakta, %4.66 'sı denize boşaltılmakta, %6.10 u tarımda kullanılmakta, %3.93 'ü yakılmakta ve %15.63' ü diğer yöntemlerle uzaklaştırılmıştır.



Şekil 2.8: Türkiye imalat sanayinde arıtma çamurlarının uzaklaştırılması (DİE, 2003)

Sanayi tesisleri ile ilgili bu veriler (Şekil 2.8), çoğunlukla klasik çamur uzaklaştırma yöntemlerinin uygulandığını ve yeniden değerlendirme uygulamalarının sınırlı olduğunu göstermektedir. Belediyelerce işletilen atıksu arıtma tesisi çamurlarının uzaklaştırılmasına ilişkin bir değerlendirme bulunmamakla birlikte çamurlar gerekli

susuzlaştırma ve kurutma işlemlerinden sonra katı atıklarla birlikte depolama yönteminin uygulanması tercih edilmektedir. Katı atıklar için DİE (2003) verilerine göre, 261.3 milyon ton kapasitede 12 Düzenli depolama alanına yılda 8.3 milyon ton katı atık depolanmakta, 299.000 ton/yıl kapasitede 3 kompost tesisinde yılda 218.000 ton kompost üretilmekte ve 44.000 ton/yıl kapasitede 3 yakma tesisinde 11.000 ton atık yakılmaktadır. İstanbul'da, İSKİ tarafından işletilen tesislerde ön arıtma ve biyolojik arıtmada oluşan çamurlar ise, susuzlaştırma işlemi uygulanarak, katı atık depolama alanlarına gönderilmektedir.

## 2.6. ÇAMUR ARITMA PROSESLERİ

Tesis çıkışı arıtma çamurlarının su, patojen içeriklerinin ve fermantasyon kapasitesilerinin azaltılması için arıtma uygulanır. Tablo 2.11'de, çamur arıtma proseslerinin farklı uygulamaları tanımlanmıştır. Çamura farklı arıtma yöntemlerinin uygulanması amaca bağlı olarak değişmektedir (Metcalf&Eddy, 1991).

Tablo 2.11: Çamur arıtımında farklı yöntemler

Prosesler	Prosesin türü	Hedefler
Şartlandırma	-Kimyasal Şartlandırma -Termal Şartlandırma	-Çamurun yapısının modifikasyonu -İleri arıtmalara hazırlanması
Yoğunlaştırma	-Yer çekimi ile Yoğunlaştırma -Çamur yatağı ile Yoğunlaştırma -Çözünmüş hava ile Yüzdürme	-Uygulanacak uzaklaştırma yöntemlerinin veriminin artırılması, gerekli yoğunluk ve katı madde içeriğinin sağlanması -Çamurun su içeriğinin azaltılması
Susuzlaştırma	-Kurutma yatakları -Santrifüj -Bant filtre -Filtre pres	-Çamurun su içeriğinin azaltılması
Stabilizasyon ve/veya dezenfeksiyon	-Biyolojik Prosesler -Anaerobik çürütme -Aerobik çürütme -Uzun süre sıvı fazda bekletme -Kompost  -Kimyasal Prosesler -Kireçle işlem -Nitrit işlem  -Fiziksel prosesler -Termal kurutma -Pastörizasyon	-Koku gelişiminin azaltılması -Çamurdaki patojen içeriğinin azaltılması
Termal Kurutma	-Direkt -İndirekt	-Su içeriğinin büyük oranda azaltılması

Uygulanan bu arıtma prosesleri ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir. Her bir proses, kesikli ve sürekli olarak sınıflandırılabilir. Kesikli sistemlerin yürütülmesi için prosesin başlangıcında yeterli miktarda çamur bulunmalıdır.

### 2.6.1. Şartlandırma

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. Yanısıra, 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 Tablo 2.12’de özetlenmiştir.

Tablo 2.12: Farklı şartlandırma proseslerinin karşılaştırılması

Şartlandırma	Avantajları	Dezavantajları
<b>Kimyasal (mineral yapıda)</b>	-çamurun yoğunluğu ve kohezyonu gelişimi	-çamur miktarı artması -organik madde miktarı azalması -yavaş yürüyen bir reaksiyon
<b>Kimyasal (organik yapıda)</b>	-çamur kütlesinin azalması -tarımsal değerinde değişme olmaması -düşük miktarlarda kullanım -kolay kullanım ve taşınma	-ürünlerin maliyeti
<b>Termal</b>	- tüm çamurlara uygulanabilirliği - yeterli ve kararlı bir proses -stabilizasyon ve dezenfeksiyon - düşük çamur miktarı	-enerji tüketimi - koku -filtrelerde kirlilik yükü artışı

### 2.6.2. Yoğunlaştırma

Yoğunlaştırma su içeriğinin azaltılması için ilk adımdır. Çamurlar %10 ile %30 oranında kuru madde içermektedir. Yoğunlaştırmada yerçekimi, bant filtreler ve çözünmüş hava ile yüzdürme gibi teknikler kullanılmaktadır.

Yerçekimi ile yoğunlaştırma yaygın bir tekniktir ve döner bir karıştırıcı yerleştirilmiş tanklarda uygulanmaktadır. Yerçekimi ile yoğunlaşmış çamur tankın tabanında ve duru

faz da yüzeyde birikmektedir. Bu proses, çamur içeriğini litrede bir kaç gramdan litrede bir kaç on gram seviyesine çıkararak 2 ile 8 kat yoğunlaştırma sağlamaktadır.

Bant filtre ile yoğunlaştırma üç aşamanın bulunduğu sonsuz bir bant filtreden oluşmaktadır: şartlandırma, cazibeli drenaj ve sıkıştırma. Floklaştırılmış çamur bant üzerine beslenir, bant arasından geçen su çamurdan ayrılır. Yüksek basınçlı yıkama ünitesi ile bantı sürekli yıkanır. Bant filtre yoğunlaştırmada çamura polielektrolit ilavesi de mümkün olmaktadır.

Çözünmüş hava ile yüzdürme tekniği, arıtma çamurlarında düşük çökeltme özelliğine sahip katı partiküllerin olması ve yoğunlaştırılmış aktif çamur durumunda kullanılmaktadır. İnce dağılmış askıda katıların spesifik çökeltme özelliği, sıyırıcı ile ayrılan yoğunlaştırılmış çamurların yüzeye çıkması ve mikro kabarcıklar nedeniyle düşüktür. Arıtma çamurlarına hava ile yüzdürme prosesinin uygulanması, öncelikle basınçlı havanın çamur içinde çözünmesini ve daha sonra flotasyon havuzunda basınçla yüzdürülmesini sağlar. Gerekli olduğu durumlarda polimer eklenerek süspansiyondaki madde miktarı azaltılabilir. Bu yöntemin performansı yerçekimi ile yoğunlaştırma prosesinden daha yüksektir (EEA, 2001). Tablo 2.13' de farklı yoğunlaştırma sistemleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.13: Farklı yoğunlaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması

	<b>avantajları</b>	<b>dezavantajları</b>
Yerçekimi ile	-kolay uygulama -düşük enerji tüketimi -düşük yatırım maliyeti	-büyük hacimlerde uygulama -biyolojik çamurlarda düşük performans
Yerçekimi ve bantfiltre ile	-kolay uygulama -kompakt sistem	-iş gücü gereksinimi -temiz su gereksinimi -polimer kullanımı zorunluluğu
Çözünmüş hava ile yüzdürme	-kolay uygulama -küçük alanda uygun -düşük H <sub>2</sub> S emisyonu	-değişik şartlara adapte olmaması -yüksek enerji tüketimi

### 2.6.3. Susuzlaştırma

Susuzlaştırma, yoğunlaştırma prosesini izleyen bir adımdır ve çamurun su içeriğinin azaltılmasını sağlar. Susuzlaştırılmış çamur, %30' dan daha fazla kuru madde içeriğine sahiptir. Susuzlaştırma işlemleri aşağıda açıklanmaktadır.

### ***Kurutma Yatakları***

Çamur susuzlaştırma için en basit yöntemlerden biri açık hava kurutma yataklarıdır. Bu teknik genellikle küçük artıma tesislerinde, yeterli ucuz arazinin bulunduğu ve yerel iklim şartlarının kurutma yataklarının yıl boyunca işletilmesine uygun olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Kurutma yatakları, çamurun üzerine yayıldığı 0.3 m kalınlığında kum ve çakıldan oluşan bir bölgeye sahiptir. Kurutma yataklarından süzülen su, arıtma tesisinin girişine gönderilir. Çamur ise, atmosferik olarak kurutulur. Bu yöntemle, kurutma işleminin süresine bağlı olarak çamurda %40 – 50 oranında kuru madde içeriğine ulaşılmaktadır. Çamur kurutma yatakları, düşük işletme maliyeti ve minimum bakım gereksinimleri gibi avantajları sunmasına rağmen, daha fazla alan ihtiyacı, iklim şartlarına bağlılığı ve koku oluşumu gibi dezavantajlara sahiptir. Bununla birlikte, yoğun olarak kullanılmaktadır.

### ***Santrifüj ile Susuzlaştırma***

Santrifüj prosesi, santrifüj içerisindeki yoğunlaştırılmış çamurdan suyun ayrılması için merkezkaç kuvvetlerini kullanan mekanik bir yöntemdir. Santrifüjler, yüksek bir susuzlaştırma kapasitesi, işletme kolaylığı ve kompakt olma özelliği ile hem yoğunlaştırma, çamur susuzlaştırma hemde susuzlaştırma uygulamalarında çokça kullanılmaktadır. Bu proses ile çamurun kuru madde içeriği % 15- 25 oranına kadar arttırılabilir. Buna ek olarak, yüksek verimli santrifüjlerin kullanımı ile % 5 artış daha elde edilebilir. Susuzlaştırma veriminin arttırılması için polimer ilavesi gerekir.

### ***Bant Filtreler***

Bant Filtre prosesinde ise bir polimer ile karıştırılmış arıtma çamurları yerçekimli bant filtre ile susuzlaştırılmaktadır. Burada çamurlar iki kayış arasında preslenir. Çamura uygulanan basınç seviyesine bağlı olarak 4, 5 ve 7 bar da çalışan farklı cihazlar geliştirilmiştir. Burada çamurun tipine ve uygulanan basınca bağlı olarak kuru madde miktarını %10 – 20 seviyesine kadar arttırmak mümkündür.

### ***Filtre Pres***

Genellikle %30–45 gibi yüksek susuzlaştırma seviyesine ulaşmak için bu yöntem kullanılır. Bununla birlikte yatırım maliyetleri, özellikle yüksek kapasiteli tesislerde oldukça yüksektir. Uygulamada kullanılan plaka ve çerçeve filtre presler çamur susuzlaştırma için en yaygın olanlardır. Klasik filtre pres, arasına basınçla çamurun



enjekte edildiği düşey plaka sütunlarından oluşmaktadır. Ayrılan su plakalar açılmadan önce uzaklaştırılır, çamur kekleri toplanır. Bazı uygulamalarda, susuzlaştırma derecesinin artırılması amacıyla filtre pres su ile doldurulmadan önce plakalar arasına membran yerleştirilir. Farklı susuzlaştırma yöntemlerinin karşılaştırılması Tablo 2.14’de verilmiştir.

Tablo 2.14: Susuzlaştırma yöntemleri

	<b>Avantajları</b>	<b>Dezavantajları</b>
Kurutma yatakları	-kolay işletme -küçük arıtlara uygun -yıl boyunca fonksiyonel -düşük işletme maliyeti -yüksek kuru madde içeriği	-alan ihtiyacı -hava koşullarına bağımlı -koku riski -iş gücü gereksinimi
Santrifüj ile	-sürekli işletme -kompakt sistem -otomasyon imkanı	-özel bakım -çamur özelliği -koku -yüksek enerji tüketimi -yüksek yatırım maliyeti
Bant Filtreler	-sürekli işletme -kolay işletme -orta yatırım maliyeti	-sınırlı su içeriği giderimi -temiz su ihtiyacı -uzmanlık gerekli
Filtre Pres	-yüksek su içeriği giderimi -çamurun yapısal değişimi -otomasyon imkanı	-kesikli işletme -şartlandırma gereksinimi -uzmanlık gerekli -yüksek yatırım maliyeti

#### 2.6.4. 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<sup>0</sup>C’den daha yüksek sıcaklıklarda, dioksin ve furan bileşiklerinin oluşumunun kontrol edilmelidir.

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.

### 2.6.5. Stabilizasyon ve Dezenfeksiyon

Stabilizasyon, çamurda çürüyebilen maddelerin fermentasyonunu ve kokuyu azaltır, dezenfeksiyon ise, patojenlerin giderimini sağlamaktadır. Bu amaçla ham çamura aşağıda anlatılan işlemler uygulanmaktadır.

#### *Isıl İşlem*

Isıl işlem, 30 dakika gibi kısa zaman aralığında, 2760 kN/m<sup>2</sup> basınç altında ve 260<sup>0</sup>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 floklaşmalarını sağlar. Ek olarak proteinli maddelerin hidrolizi gerçekleşir, hücre bozunması sonucu organik bileşikler ve amonyak açığa çıkar. 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 BOI'si yüksektir, arıtma tesisi giriş suyuna verilmeden önce ayrı olarak arıtılması gerekmektedir.

#### *Anaerobik Bozunma*

Anaerobik bozunma, yaklaşık 35<sup>0</sup>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. Tablo 2.15'de, anaerobik bozunmanın giriş ve performans parametreleri verilmiştir.

Tablo 2.15: Anaerobik bozunmanın giriş ve performans parametreleri

Parametre	Tipik Değer
Bekletme zamanı, gün	15 – 18
Uçucu katı madde miktarı, kg UAKM/m <sup>3</sup> .gün	0.8 – 1.6
Katı madde miktarı, kg AKM/m <sup>3</sup> .gün	1.0 – 2.0
İşletme sıcaklığı, <sup>0</sup> C	30 – 37
pH	6.6 – 7.5
Beslenen çamur konsantrasyonu, %	3 – 8
Toplam katı giderimi, %	30 – 35
Beslenen çamurdaki uçucu katı konsantrasyonu, %	70 – 80
Uçucu katı giderimi, %	40 – 50
Gaz üretimi, m <sup>3</sup> /kg UAKM	0.8 – 1.2

Üretilen biogaz genellikle sıcaklığın 35<sup>0</sup>C de tutulmasını sağlamak amacıyla kullanıldığı gibi tesislerde elektrik enerjisi üretilmesi için de kullanılmaktadır.

Çürütücüde genellikle 15 günden daha fazla bekletme süresi tavsiye edilmekte ve sonuçta uygun bir stabilizasyon - dezenfeksiyon sağlanmaktadır.

### ***Aerobik Bozunma***

Bu yöntemle arıtma çamurlarına aerobik mikroorganizmaların bulunduğu havuzlarda stabilizasyon uygulanmaktadır. Aerobik bakterilerin organik maddeleri parçalaması ile ısı oluşur, sıcaklık 70<sup>0</sup>C'nin üzerine yükselir. Bu yüksek sıcaklık, zararlı mikroorganizmaların büyük çoğunluğunun yok edilmesini için yeterli olmaktadır. 50-65<sup>0</sup>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.

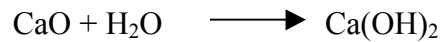
### ***Biriktirme (Dengeleme)***

Arıtma çamurlarının biriktirilmesi iki temel amaçla yapılmaktadır; çamur debisinin düzenlenmesi ve çamurun bileşiminin homojen hale getirilmesi. Bu işlem sırasında koku oluşabilir ancak kuru madde miktarı artmakta ve organik madde miktarı azalmaktadır. Ayrıca azot içeriği de, organik azotun amonyaka dönüşmesiyle azalır.

Çamurların biriktirilmesi sırasında bakteri ve virüs miktarlarının azalması ile uygun bir dezenfeksiyon elde edilir.

### ***Kireçle arıtma***

Kireç, çamurun suyunu verme özelliklerini geliştirmek için kullanıldığı gibi çamur stabilizasyonu maksadıyla da kullanılmaktadır. Bu yöntemde çamura, pH =12 veya daha fazla olacak miktarlarda kireç ilave edilir. Yüksek pH mikroorganizmalar için uygun olmayan bir ortam meydana getirir. Bunun sonucu olarak da çamur ayrışmaz, koku kaybolur. Bu işlem hem çamurun dezenfeksiyonuna yardımcı olur hem de kuru madde içeriğini artırarak kolay taşınmasını sağlar. Fermantasyona engel olabilmek için genellikle çamura %30 kireç ilavesi önerilmektedir. Sönmemiş kireç ilavesi halinde aşağıdaki reaksiyona göre çamurun suyu da alınmış olur:



Arıtılmamış ham çamura kireç ilavesi, su almayı kolaylaştıran bir şartlandırma işlemi olarak yıllardır uygulanmaktadır. Stabilizasyon yardımcı maddesi olarak kullanımı ise ancak son yıllarda başlamıştır. Kireçle stabilizasyon, su alma işleminden önce çamura kireç ilavesi (kireçle ön işlem), su alma işleminden sonra çamura kireç ilavesi (kireçle

son işlem) olmak üzere iki basamakta yapılmaktadır. Çamura kireçle ön işlem yapılması durumunda, sulu çamurun suyunun alınması ve yüksek pH sağlamak için ihtiyaç duyulan kireç miktarından daha fazla kireç ilavesi gerekmektedir. Ek olarak yüksek oranda patojen giderme için de su alma işleminden önce yeterli temas süresi sağlanmalıdır. Bunun için yaklaşık iki saat pH'ın 12'nin üzerinde olması önerilmektedir. Stabilizasyon için sönmüş kireç  $\text{Ca(OH)}_2$ , sönmemiş kireç (CaO) ve bazı durumlarda kireçle birlikte uçucu kül, çimento fırını tozları ve karpit kireci kullanılmaktadır. Çamur tipi ve katı madde konsantrasyonuna bağlı olarak gerekli kireç dozları Tablo 2.16'da verilmiştir.

Tablo 2.16: Sıvı çamur stabilizasyonu için uygulanan kireç dozları

Çamur tipi	Katı madde, %		Kireç dozu, kg $\text{Ca(OH)}_2$ /kg KM	
	Aralık	ortalama	aralık	ortalama
<b>Ön çökeltme</b>	3-6	4.3	120-340	240
<b>Atık aktif çamur</b>	1-1.5	1.3	420-860	600
<b>Aerobik çürük karışık çamur</b>	6-7	6.5	280-500	380
<b>Septik tank</b>	1-4.5	2.7	180-1020	400

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 pedallı karıştırıcıda veya bant konveyörde karışımın pH'ını yükseltmek için suyu alınmış çamur ile karıştırılır. Su ve kirecin ekzotermik reaksiyonu karışımın sıcaklığını kurt yumurtalarının inaktif olması için yeterli sıcaklık olan  $50^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine yükselteceğinden sönmemiş kireç tercih edilir.

### ***Nitrifikasyon***

Nitrifikasyon, asidik bir ortamda (pH=2-3) çamurun 30 dakika süreyle bekletilmesiyle uygulanır. Aerobik bozunmada azot döngüsünde; organik azot, amonyak, nitrit ve nitrat dönüşümü meydana gelmektedir. Atık aktif çamur, aerobik stabilizasyon ünitesinde havalandırıldığında aynı döngü oluşacaktır. Yüksek  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonları, azotun büyük kısmının tamamen oksitlenerek son forma dönüşmüş olduğunu gösterir.  $25^{\circ}\text{C}$ 'de 10 gün havalanma ile organik azot ve amonyak azotunun tamamen nitrata dönüştüğü belirtilmiştir. Aerobik koşullarda nitrifikasyon derecesi stabilitenin iyi bir göstergesi

olmaktadır. Nitrifikasyon, kireçle stabilizasyonun pahalı olduğu küçük atıksu arıtma tesislerinde ve araziye sermeden önce kireçle stabilizasyonun uygun olmadığı durumlarda uygulanmaktadır.

### **Pastörizasyon**

Pastörizasyon, 30 dakika gibi çok kısa periyotlarda 70 – 80<sup>0</sup>C sıcaklıklarda çamurun ısıtılmasıdır. Bununla çamurdaki patojenlerin miktarı azaltılsa da tek başına kullanılan bir stabilizasyon yöntemi değildir. Yöntemin etkili olduğu şartlar ve parametreler Tablo 2.17’ de verilmiştir.

Tablo 2.17: Stabilizasyon ve dezenfeksiyon yöntemleri

<b>Yöntem</b>	<b>Şartlar</b>
<i>Çok etkili yöntemler</i>	
Termofilik Anaerobik çürütme	55 <sup>0</sup> C de 10 gün
Termofilik aerobik çürütme	55 <sup>0</sup> C de 10 gün
Kompost	50 – 60 <sup>0</sup> C de 15 – 30 gün
Pastörizasyon	70 – 80 <sup>0</sup> C de 30 dakika
Kireçle arıtma	pH=12, 10 gün, (%30 oranında katkı)
<i>Daha az ve düşük etkili yöntemler</i>	
Fizikofilik Anaerobik çürütme	20 <sup>0</sup> C de 30 gün
Fizikofilik Aerobik Çürütme	20 <sup>0</sup> C de 30 gün
Kimyasal şartlandırma ve mekanik susuzlaştırma	-

## **2.7. ARITMA ÇAMURLARININ UZAKLAŞTIRILMASI VE GERİ DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ**

Bu bölümde arıtma çamurlarının uzaklaştırılması ve geri dönüşüm yöntemleri açıklanacaktır.

### **2.7.1. Düzenli Depolama**

Son yıllara kadar çamur uzaklaştırma yöntemlerinin başında gelen düzenli depolama, Avrupa Birliği tarafından yayınlanan ve 16.07.2003’den geç olmamak koşuluyla, “Üye ülkeler depolama alanlarına gönderilecek biyolojik olarak ayrışabilir atıkların azaltılmasının sağlanması için ulusal stratejilerini kurmak zorundadır.” şeklindeki “Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the Landfill of Waste” direktifi ile sınırlandırılmaktadır. Düzenli depolama ancak alternatif değerlendirme seçeneklerinin bulunmadığı aşağıdaki durumlarda tercih edilecektir.

- kirletici konsantrasyonları arazi ıslahı ve diğer geri dönüşüm yöntemleri için uygun değilse,

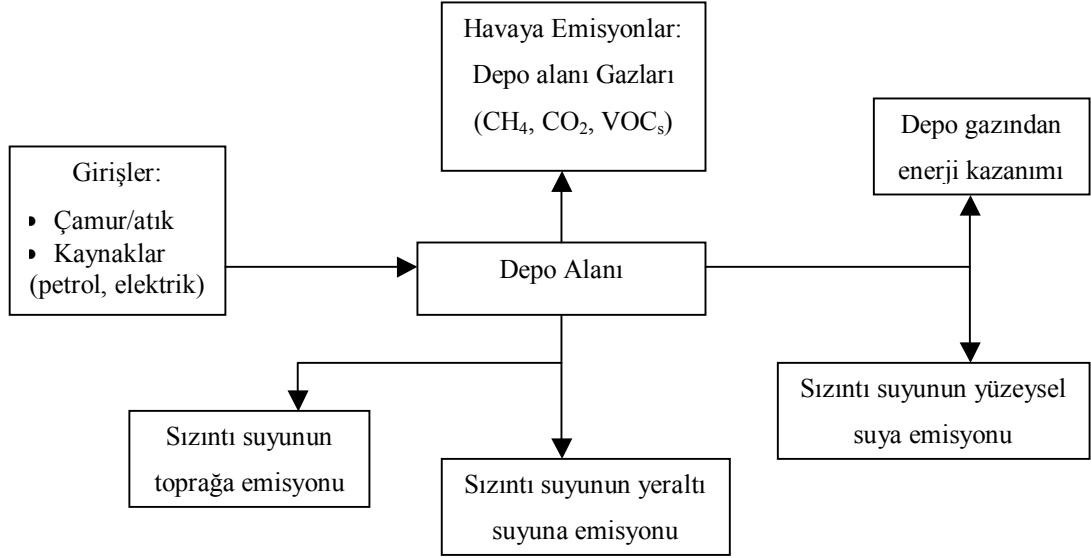
- tarım alanları, ormancılık ve arazi ıslahı için yer, topoğrafya ve maliyetler ekonomik değilse,
- yakın alanlarda yakma tesislerinin olmaması halinde

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. Depolamaya gönderilen çamurlar genellikle çürütülmüş, kurutma yataklarında kurutulmuş ve suyu alınmış çamurlardır. Su içeriği %65 – 80 arasında olan çamurlar problemlere neden olurken, katı madde içeriği yüksek olanlar sorun yaratmaksızın depolanabilirler. Arıtma çamurları düzenli depolama alanlarında depolandıktan sonra üzerleri toprakla örtülerek çevresel etkileri en aza indirilir. Atıkların depolanması sırasında gelişen adımlar aşağıda sıralanmıştır.

- *başlangıç aerobik faz*; ilk bozunma aerobik şartlarda ve mikroorganizmalar tarafından depolama alanındaki mevcut oksijenin kullanılmasıyla oluşmaktadır. Bu adım oldukça kısa sürmektedir (yaklaşık 14 gün) ve sızıntı suyunun organik içeriği artmaktadır.
- *Asitleşme fazı*; oksijen miktarının azalmasıyla asitojenik ve fermentasyon bakterileri atığın kolay parçalanabilir maddelere bozunmasını sağlar. Depolama alanındaki pH düşer ve ağır metaller gibi inorganik içeriklerin çözünürlükleri artar. Sızıntı suyunda yüksek organik kirlilik gözlenir.
- *Anaerobik Metanojen fazı*; metanojenik bakteriler bu faz boyunca gelişir, metan üretimi artar, pH yükselir ve sızıntı suyunun organik içeriği azalır. Üretilen gazın bileşimi zamanla stabil hale gelir.

Depolama alanlarının sadece arıtma çamurları için kullanılması, depolama alanının hücrelerden oluşan kompakt yapısı nedeniyle gaz oluşumu için uygun değildir. Buna karşın gaz oluşumu gözlenebilir ve hatta gazın bileşimi %50-60 metan, %40-50 karbondioksit şeklindeki evsel atık depolama alanlarında oluşandan çok farklı olmayabilir. Evsel katı atıklarla birlikte karışık depolama uygulandığında ise arıtma çamurları esas bileşen değildir ve toplam depolama alanındaki oranı genellikle %20-25 civarındadır. Şekil 2.9'da bir düzenli depolama alanında bulunan evsel atıklar ve arıtma

çamurlarında oluşan reaksiyonlar zinciri verilmiştir. Sızıntı sularının yerinde arıtılması için gerekli önlemler alınmalıdır.

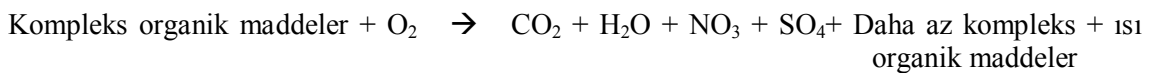


Şekil 2.9: Düzenli depolama alanında oluşan olaylar

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre arıtma çamurlarının düzenli depolama alanlarında uzaklaştırılması için, katı madde içeriğinin %35 olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, arıtma çamurlarının ilgili yönetmeliğe göre, tehlikeli atık (Ek.11a) olup olmadığı ağır metaller, tuzlar ve toksik maddeler gibi özellikleri ile belirlenerek, depolamada oluşabilecek olumsuz sonuçlar önlenmelidir.

### 2.7.2. Kompostlaştırma

İyi çürütülmüş olsalar bile atıksu arıtma çamurlarının doğrudan tarımsal amaçlı kullanımı veya arazide bertaraf edilmeleri uygun değildir. Çürütülmüş ve kum yataklarda kurutulmuş çamurlar bile hala bir miktar patojenik organizma ve/veya kimyasal toksinler içerebilir. Kompostlaştırma, sağlık ve estetik açıdan kullanıma uygun ürün elde edilen hayvan gübresi ve kereste tozu gibi ikincil ürünler ile karıştırılmış çamurların havalandırıldığı aerobik biyolojik çamur stabilizasyon yöntemidir. Temel aerobik bozunma bağıntısı aşağıda gösterilmiştir.



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.

İyi işletilen kompostlaştırma sistemlerinde bozunma sırasında sıcaklık yaklaşık olarak 70<sup>0</sup>C'ye kadar yükselir. Reaksiyon başlangıcında ilk türler mezofilik bakterilerdir, yaklaşık bir hafta sonra termofilik bakteriler, aktinomisetler ve termofilik mantarlar ortaya çıkarlar. Bozunma yavaşlarken, sıcaklık düşer ve tekrar mezofilik bakteriler ve mantarlar görülmeye başlar. Son kademelerde protozoalar, kurt yumurtaları vb. türlerde mevcuttur. Termofilik kompostlaştırma sonucu elde edilen nihai ürün patojenlerden tamamen arınmıştır. Bozunma sırasında yüksek mikrobiyel aktiviteden dolayı bakteriler için yüksek azot gereksinimi vardır. Aktif çamur için C/N oranı yaklaşık olarak 6.3/1 iken karışık çürük çamur için 15.7/1 civarındadır. Atıksu arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları gerekli azottan daha fazlasını içerirler. Çamur kompostlaştırma işlemlerinin çoğunda pH=8 civarında olduğundan mevcut azotun tamamı tutulamaz. Kompost yığını için gerekli olan zaman; beslemeye, sağlanan izolasyon ve havalandırmaya, C:N oranına, partikül boyutu ve diğer koşullara bağlıdır. Genellikle kentsel arıtma çamurları için 2 haftalık bir sürenin yeterli kompostlaştırma için minimum süre olduğu düşünülür. Daha önceden kompostlaştırılmış olan materyalin kullanıldığı mekanik kompostlaştırma tesislerinde 2-3 günde bozunma sağlanabilir. Ancak bu materyal hala aktiftir ve stabilize olması gerekmektedir. İşlemin tamamlanması sıcaklıktaki düşüş ve rengin koyu kahve olmasından anlaşılır.

Arıtma çamurlarından kompost üretiminin araştırıldığı çalışmalarda, sosyal ve çevresel problemlerin önemi belirtilerek kompostun kullanımına yönelik düzenlemelerin gerekliliği vurgulanmıştır. 62<sup>0</sup>C'de 48 saat bekletilen çamurlarda patojen mikroorganizmaların giderildiği, mikrobiyel aktivitenin hızı için C/N oranının 17 – 24



aralığında uygun olduğu ifade edilmiştir (Iranzo ve diğ., 2004; Sanchez-Monedero ve diğ., 2004).

Bengtsson ve Tillman, (2004) tarafından yapılan çalışmada arıtma çamurlarının tarımsal kullanımının neden olduğu yerel problemler ve emisyonlar incelenmiş ve özellikle uygun mineral seviyeleri ve ekonomik olmaları nedeniyle çiftçiler tarafından tercih edilmesine rağmen uygulamanın risk ve kazançları tartışmaya açılmıştır.

### **2.7.3. Araziye Serme**

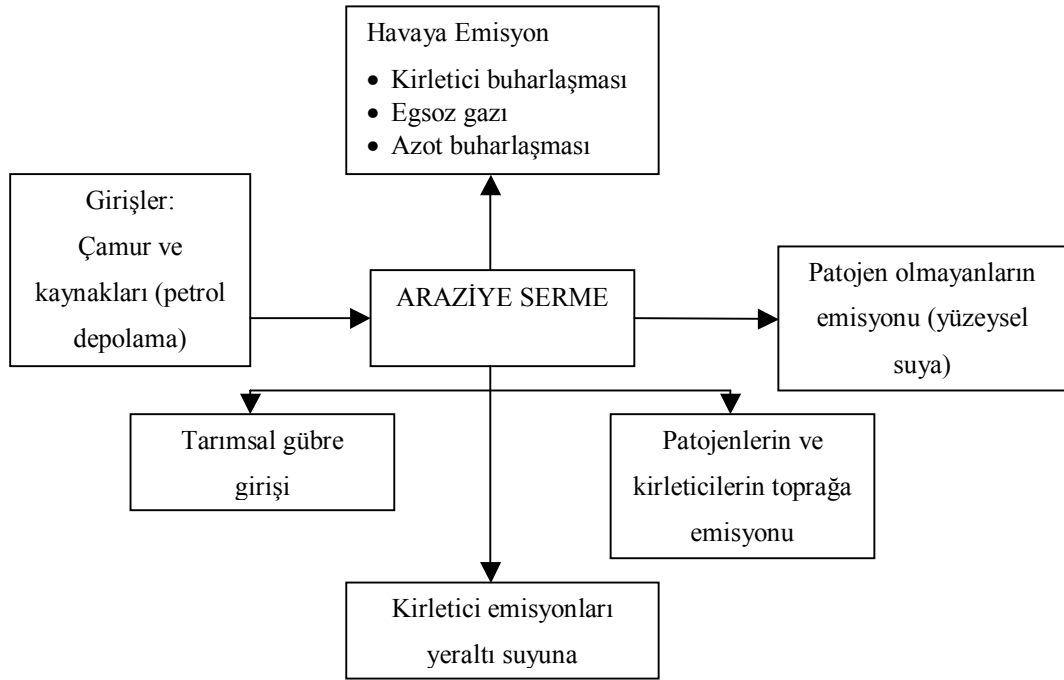
Araziye serme arıtma çamurlarında bulunan tarımsal değerdeki bileşenlerin toprağa geridönüşümünün bir yoludur. Arıtma çamurlarının tüm tipleri (sıvı-yarı katı, katı ve kuru çamur) araziye serilebilir (Smith, 1996). Ancak her kullanım çamurların biriktirilmesi, taşınması ve serilmesindeki uygulama sıkıntılarını birlikte getirmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarı yıl boyunca değişken olmasına karşın çamurun tarımsal kullanımı sezonluktur. Biriktirme ulusal düzenlemelerin izin verdiği şekilde olmalıdır. Ortalama biriktirme süresi yaklaşık 6 aydır ve arazide biriktirmenin pratik olduğu görülmüştür.

Arıtma çamurları yüzeysel serme ile araziye uygulanırken treyler tanklar veya kapalı tanklar kullanılabilir, işlem sırasında oluşacak koku ve aerosollerin azalmasını engellemek için toprağa doğrudan enjekte edilirler. Serme ekipmanları çamur tiplerine göre seçilmelidir. Araziye serme diğer çamur uzaklaştırma yöntemlerine göre daha ucuz bir yöntemdir, ancak kirleticiler nedeniyle uygulamalar dikkatle izlenmelidir. (CEC,1986) Şekil 2.10' da uygulama sonrasında oluşabilecek kirlilikler gösterilmiştir.

#### **2.7.3.1. Orman ve Silvikültürde Kullanımı**

Ormancılık ve silvikültür uygulamalarında, farklı türlerde ağaç fidanlığı oluşturulmakta ve kullanılmaktadır. Ormancılık terimi genellikle vahşi ve düzensiz orman alanları için kullanılırken, daha özellikli, yoğun bir üretim planlanmış küçük koru veya kavaklık fidanlığı uygulamaları silvikültür olarak tanımlanmaktadır. 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 (INRA, 1999).

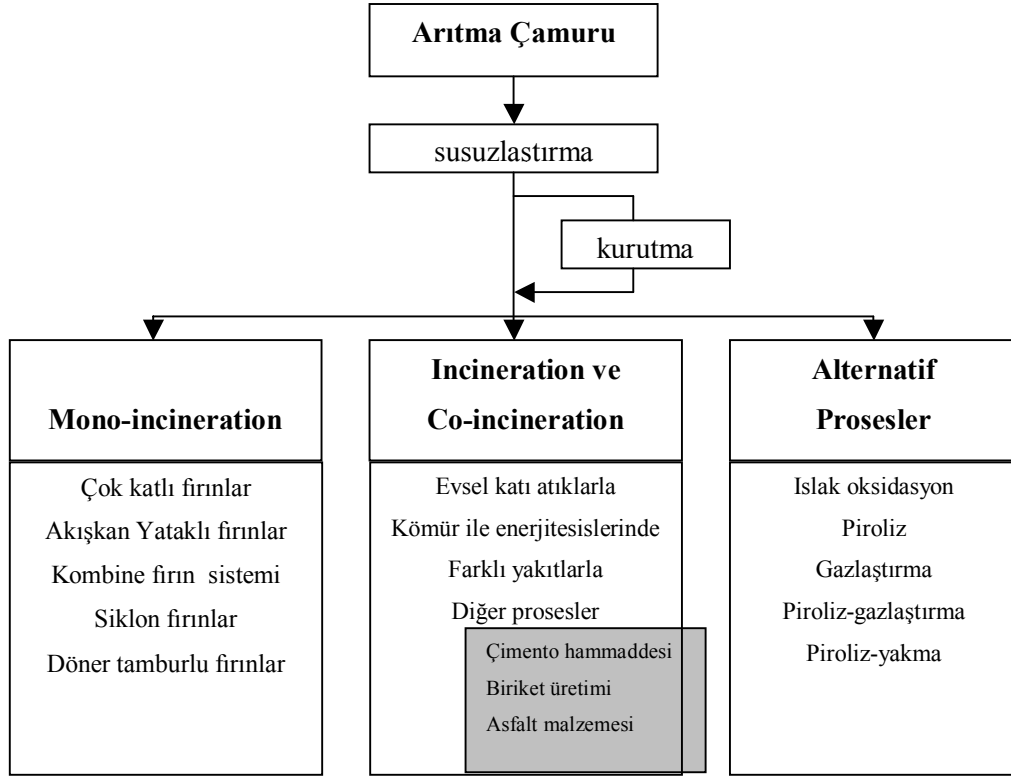


Şekil 2.10: Araziye serme işlemi

Son yıllarda arıtma çamurları bir çok atıkla karıştırılarak birlikte kullanılmış, değişik oranlarda hazırlanan karışımlarla verim ilişkisi araştırılmıştır. (Hernandez-Apaolaza, 2004) Arıtma çamurlarının orman ve silvikültür amaçlı kullanımı titizlikle yürütülen arazi testleri ve analizleri sonucunda uygulanabilmektedir. Çamur miktarı 100 – 200m<sup>3</sup> sulu çamur/ha/yıl veya 5 – 10 ton kuru çamur/ha/yıl, max. azot miktarı, 1000 kg/ha/yıl olarak belirlenmiştir (CIWEM, 1996).

#### 2.7.4. Yakma

Yanma bir oksidasyon reaksiyonudur. Çamurlar için yanma, doğrudan veya dolaylı olarak yapılmaktadır. Doğrudan yakma da çamurlar çoğunlukla evsel atıklarla birlikte yakılırken, dolaylı yakmada ya enerji üretimi için bir yakıt olarak kullanılır yada sanayide (çimento üretimi) bir başka yakıtla birlikte enerji ve hammadde girdisi olarak değerlendirilir. Şekil 2.11' de çamurlara uygulanan ısıl işlemler gösterilmiştir (EEA, 2001).



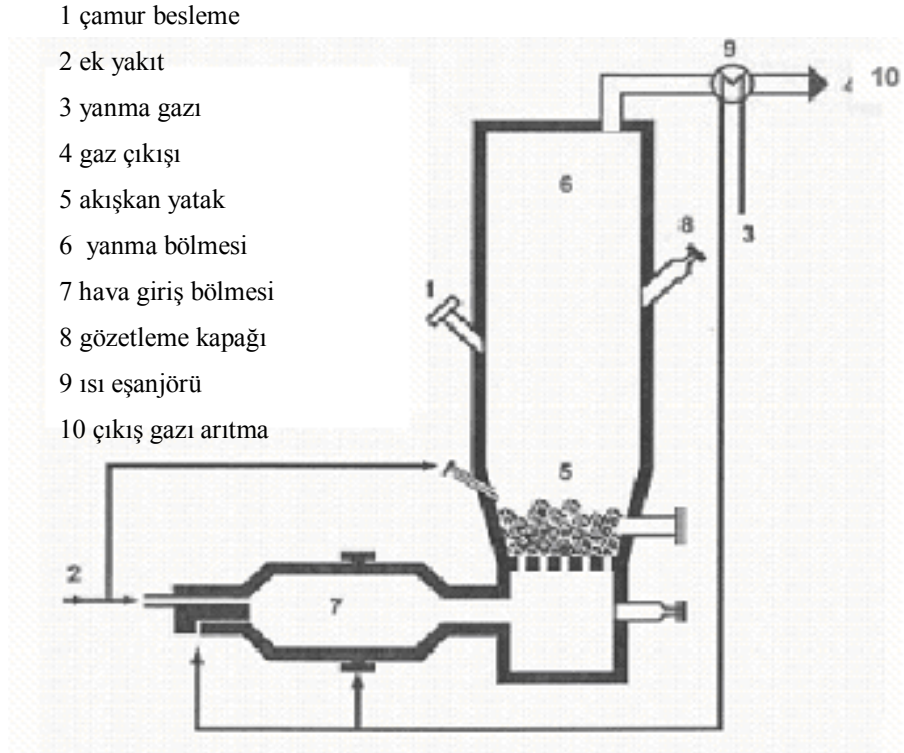
Şekil 2.11: Aritma çamurlara uygulanan ısıl işlemler

### *Mono-incineraton*

Şekilden de görüleceği gibi bu işlem için farklı tiplerde fırınlar kullanılmakta ise de akışkan yataklı uygulamalarda artış görülmektedir. Bu fırınların avantajları aşağıda verilmiştir.

- nispeten düşük sıcaklıklarda büyük oranda tam yanmaya uygundur,
- inert yatak maddesinin miktarı fırındaki ani sıcaklık değişimlerini önler,
- aralıklarla işletme mümkündür
- bakım maliyetleri düşüktür.

Bunlara ek olarak bu fırınlarda yanma sırasında oluşan Cr, Pb, Sn ve Zn gibi ağır metallerin miktarı döner tamburlu fırınlara oranla daha düşük ölçülmüştür. Atmosfere dağılan uçucu küllerdeki metal emisyonları miktarı dikkate alındığında, akışkan yataklı fırınların döner tamburlu fırınlardan daha güvenli olduğu ortaya çıkacaktır. Bu fırınlar, kum gibi süspansiyon halinde hareketli inert malzemedan oluşan yakma bölmesi içerisinde sıcak hava ile yakma için tasarlanmıştır. Çamur 900<sup>0</sup>C' lik kum yatağa beslenir. Şekil 2.12' de akışkan yataklı bir fırın işletilmesi görülmektedir.



Şekil 2.12: Akışkan yataklı fırınların işletilmesi

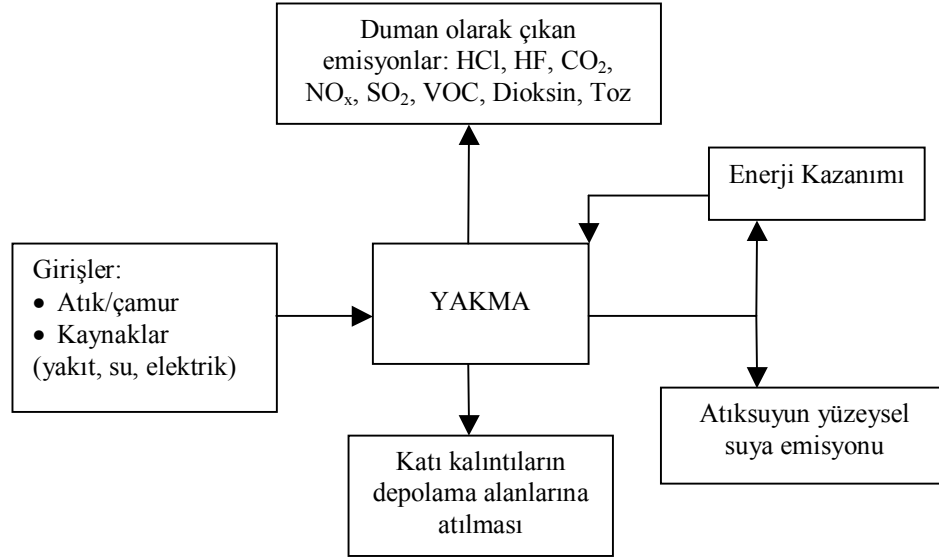
Oluşan yanma ürünlerinin yanması için eklenen ısı dönüşüm sistemi ile yakma bölgesine verilen hava ısıtılır. Fırınların kolaylıkla işletilebilmesi için çamur kuru madde miktarının %30 - 45 olması gerekmektedir (Brunner, 1980).

#### *Incineration / Co-incineration*

Arıtma çamurlarının yakılmasında diğer uygulamalar, çimento fabrikası fırınlarında ve kömür kullanan enerji tesislerinde gereğinde evsel atıklarla birlikte yakıt olarak kullanımdır. 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, 2000 ton/gün çimento üretiminde klinker kalitesinin değişmemesi için maksimum 100 ton/gün kuru madde kullanılmalıdır (Michel ve Van Der Meer, 2003).

Yakma tesislerinin sürekli işletilmesi için uygun özellikteki çamurlar gerekmede ve su miktarında değişimler sistemin verimini etkilemektedir. Oluşan emisyonlar prosese ve çamurun tipine bağlıdır. Çoğunlukla sistemde oluşan enerji çamurun su içeriğinin azaltılması için kullanılır. Yanma gazları uçucu kül, dioksinler, ağır metaller (çoğunlukla Hg ve Cd), asit gazları (SO<sub>2</sub>, HCl, HF), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), karbondioksit

(CO<sub>2</sub>), organik bileşikler ve uçucu organik bileşikler (VOC) içerir. Fırının çıkışı emisyonların giderimi için gaz arıtımı uygulanmalıdır. Şekil 2.13’ de bir yakma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.13: Yakma sistemi

Çamurun yakıldığı yüksek sıcaklıklarda dioksin ve furan konsantrasyonları ihmal edilecek kadar azdır, bununla birlikte gaz arıtma bölmesinde dioksin ve furanların yeni formlarının oluşmasını önlemek için gaz giriş sıcaklığının 450<sup>0</sup>C’ nin altında olmaması sağlanır. Oluşan gazların bileşimi Tablo 2.18’ de verilmiştir.

Tablo 2.18: Yakma fırınlarında oluşan gazın bileşimi (EEA, 2001)

	Gazın Bileşimi, mg/m <sup>3</sup>	Limit Değer, mg/m <sup>3</sup> Günlük ortalama değer
SO <sub>2</sub>	300 – 3500	50
HCl	50 – 400	10
CO	5 – 50	50
NO <sub>x</sub>	50 – 200	200/400
Toz	25000 – 65000	10
HF	0 – 6	1
Dioksinler	-	0.1 ng/m <sup>3</sup>

Laboratuvar ölçekli bir yakma tesisinde arıtma çamurlarının farklı yakıtlarla birlikte yakılması sonucu oluşan uçucu küllerin partikül boyutunun küçüldüğü, partikül içinde yanmamış karbonun olmadığı ve kömür ve diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında birlikte yakmada uçucu küllerin mineral içeriğinin azaldığı belirtilmektedir (Ninomiya ve diğ., 2004). Almanya, Hollanda ve Belçikada kurulmuş enerji tesislerinde de çamurların

yakılmasında oluşan gaz emisyonlarında ve külün ağır metal içeriğinde belirgin bir farklılığın olmadığı tesbit edilmiştir (EEA,1998). Çamur kül bileşimi Tablo 2.19’ da verilmiştir.

Tablo 2.19: Çamur külünün bileşimi

	% kuru ağırlık dağılımı
SiO <sub>2</sub>	54.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.8
CaO	5.4
K <sub>2</sub> O	1.9
MgO	1.3
TiO <sub>2</sub>	1.1
Diğer mineraller	2.1
Ağır metaller	0.1
Organik ve uçucu madde	1.9

Hollanda’nın Limburg eyaletinde kanalizasyon idaresi ‘Zuiveringschap Limburg’ ile ENCI Cement Industry işbirliğinde mekanik olarak kurutulan 35000 ton evsel arıtma çamurunun kalorifik değeri 2390 – 3580 cal/gr bulunmuş ve çimento endüstrisi için uygun bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Çamur %92.7 kuru toz, %37 kül %52 uçucu kısım, %7.3 nem, 700 ppm klor ve % 0.75 sülfür içermektedir. Klinker fırınlarında kullanılabilmesi için boyutları %15 – 25 oranında 90 µ indirilmiştir. Tesiste yakıt olarak kullanılan çamurun yanma sonucu oluşan külü çimento katkı maddesi olarak kullanılmış ve sonuçlar portland çimento klinkerleri ile karşılaştırılmalı olarak Tablo 2.20’ de verilmiştir (Michel ve Van Der Meer,2003; Monzo ve diğ., 2003).

Tablo 2.20: Portland çimento üretiminde kullanılan klinker ve ENCI tesislerinde oluşan çamur kül içeriği

	I-42.5*	I-42.5/MR-SR*	IIB-42.5*	II-F/32.5 AL*	ENCI, %
CaO	64.59	62.88	67.59	65.60	8.2
SiO <sub>2</sub>	20.90	19.65	21.91	20.80	41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.90	4.01	5.36	4.60	14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.99	6.83	0.29	4.80	9.5
K <sub>2</sub> O	0.94	-	0.09	1.0	2.65
Na <sub>2</sub> O	-	-	-	0.07	0.4
MgO	1.22	3.39	0.88	1.20	2
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	0.7
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	0.15
SO <sub>3</sub>	3.27	2.26	3.04	1.70	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	-	13

\*(II-F/32.5 AL) Ticari markalı İspanyol orta kalite portland çimento, (IIB-42.5) Beyaz portland çimento, (I-42.5) ASTM tip I portland çimento, (I-42.5/MR-SR) Sülfat dayanıklı portland çimento, C<sub>3</sub>A içermeyen

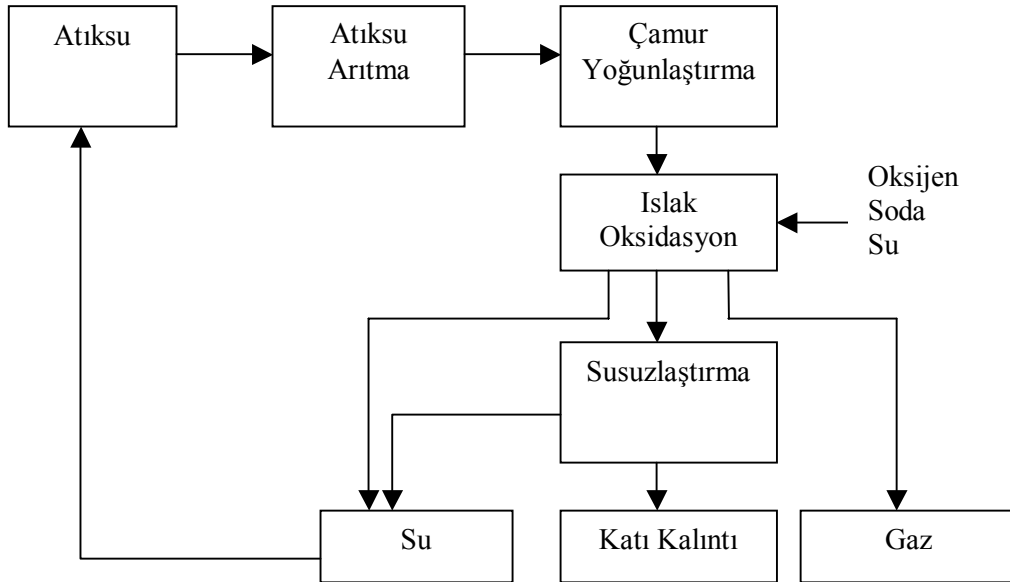
### 2.7.5. Gelişen Yöntemler

Klasik yakma yöntemlerine alternatif olarak ıslak oksidasyon, piroliz ve gazlaştırma yöntemleri geliştirilmiştir. Co-incineration ve mono-incineration yeni yöntemlerle birlikte hala çamurların yakılmasında büyük oranda uygulanmaktadır. Klasik yakma prosesleri ile karşılaştırıldığında yeni uygulamaların çevresel etkilerinin daha az olduğu görülmektedir.

#### 2.7.5.1. Islak Oksidasyon

Sulu çamurlar sürekli bir proseste yüksek basınç altında (70 ile 150 bar) yaklaşık 250<sup>0</sup>C sıcaklıklarda ve ıslak bir ortamda oksijen ile yakılmaktadır. Sıcaklık ve basınç seviyeleri, katalizör kullanımı ve kullanılan gazlar proses içerisinde değişebilir. Çamurlar, kolaylıkla parçalanabilen organik maddeleri içeren bir sıvı faz ve arıtma zorunluluğu olmayan temiz yanma gazlarına dönüşürler. PCDD/F veya NO<sub>x</sub> gibi bileşiklerin oluşumunu engellemek için düşük sıcaklıklarda çalışılır, bunlara ek olarak reaksiyonun ıslak bir ortamda gelişmesi nedeniyle atmosfere toz dağılmamaktadır.

Bu prosesin detaylı akım şeması Şekil 2.14' de verilmiştir.



Şekil 2.14: Islak oksidasyon sistemi

Organik kirleticiler parçalanır ve gaz formunda bulunan civa dışındaki ağır metal konsantrasyonları kalıntıda kalır. Tablo 2.21’de, ıslak oksidasyonda oluşan ağır metallerin dağılımı verilmiştir.

Tablo 2.21: Islak oksidasyon prosesinde ağır metallerin değişimi

	İçerik mg/kg kuru madde		Konsantrasyon faktörü
	Ham çamur	Katı kalıntı	
Kadmiyum	10	35	3.5
Toplam krom	40	130	3.2
Bakır	376	1300	3.4
Civa	5	2	0.4
Nikel	32	110	3.4
Kurşun	145	528	3.6
Çinko	820	2750	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.

#### 2.7.5.2. Gazlaştırma

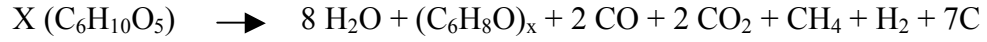
Gazlaştırma yanabilen maddelerin hava veya oksijen ile gaz ve inert kalıntılara dönüştürülmesini sağlayan termal bir prosestir. Kömür ile gaz üretiminde uzun zamandan beri kullanılan bu proses, 900 – 1100<sup>0</sup>C sıcaklıklarda hava ile veya 1000 – 1400<sup>0</sup>C sıcaklıklarda oksijen ile yüksek 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.

#### 2.7.5.3. Piroliz

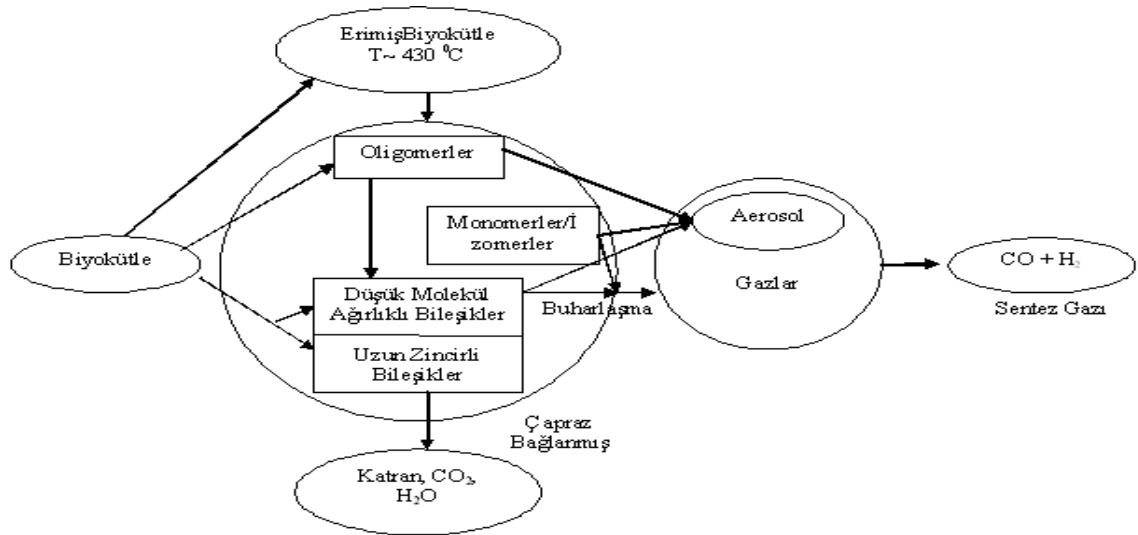
Piroliz, oksijensiz ortamda oluşan termal bir bozunmadır. Çamurlar yakılmadan 300-900<sup>0</sup>C sıcaklıklara kadar ısıtılır ve sonunda mineral ve karbon içeren katılar ile sıcak gazlar oluşur. Piroliz genellikle ilk aşamada parçalanma ve devamında ilk ürünlerin kısmen veya tamamen bozunmasıyla gelişir. Düşük piroliz sıcaklığı ve uzun bekleme süreleri kömür oluşumunu artırır. Gaz ürünler ise yüksek sıcaklık ve uzun bekleme



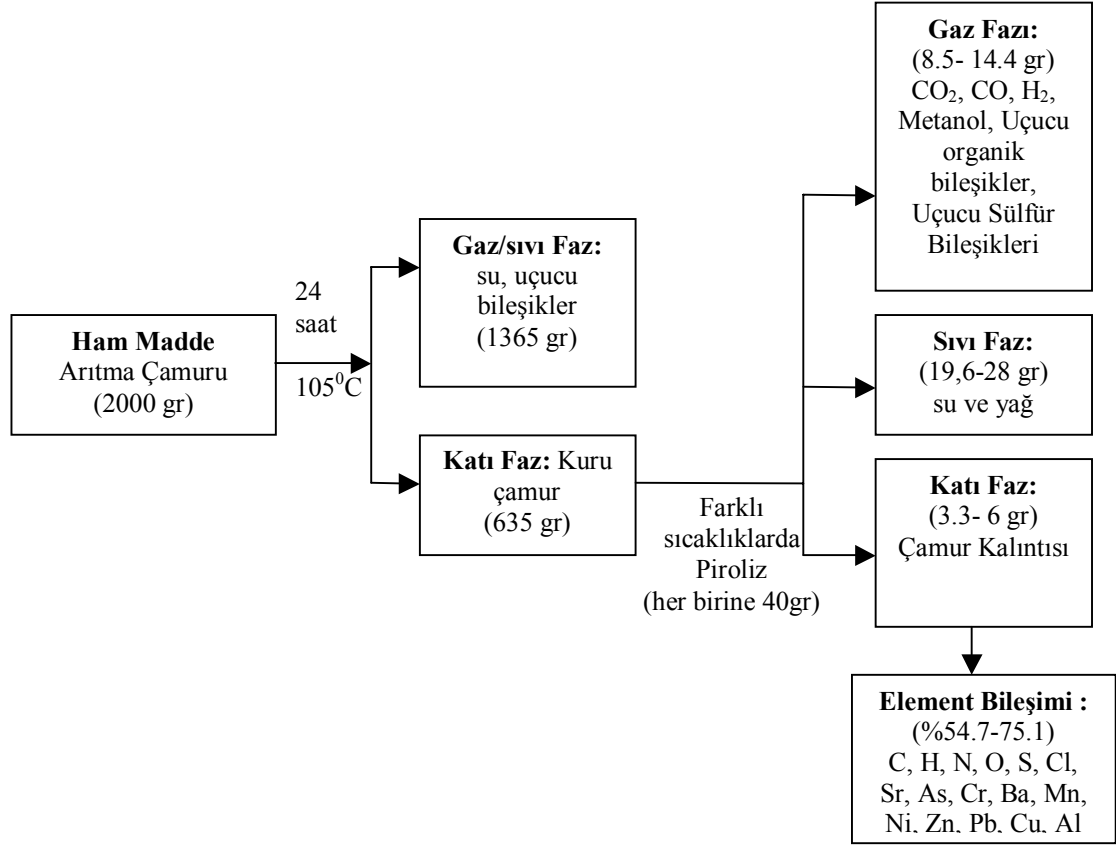
süreleri ile artar, sıvı ürünler için optimum sıcaklık ve bekletme süreleri geliştirilebilir. Piroliz edilen çamurun organik içeriğine bağlı olarak hidrojen, metan, karbon monoksit, karbon dioksit ve diğer gazlar ortaya çıkmakta, asetik asit, aseton ve metanol gibi kimyasallar içeren ve oda sıcaklığında sıvı olan bir yağ-katran karışımı oluşmakta ve inorganik maddeleri de içeren bir kömür oluşmaktadır. İşlemin kimyasal denklemi,



şeklinde yazılabilir. Denklemde çıkanlar kısmında verilen  $(C_6H_8O)_x$ , oluşan sıvı katranı göstermektedir. Piroliz işleminin mekanizması Şekil 2.15’de gösterilmiş (Radlein, 1999) ve Şekil 2.16’ da ise yapılan bir çalışmaya ait kütle dengesi verilmiştir (Bosch ve diğ.,1976).



Şekil 2.15: Çamur Pirolizinin Mekanizması



Şekil 2.16: Arıtma çamurlarının kurutma ve pirolizi

Çamurların pirolizinde oluşan gaz ürünlerin bileşimi genellikle  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  ve hidrokarbonlar gibi temel bileşiklerden oluşmaktadır. Bu bileşiklerin dağılımı ise çamurun yapısına ve piroliz sıcaklığına bağlıdır.  $CO$ , gaz içerisinde önemli miktarda bulunan hidrokarbonlar ile birlikte baskın bileşiktir. Piroliz gazlarının sıcaklığa bağlı bileşimi Tablo 2.22’ de verilmiştir.

Tablo 2.22: Değişik sıcaklıklarda piroliz gazının bileşimi

	Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )			
	620	670	760	830
$H_2$ (%)	2.5	2.59	3.2	4.62
$CO_2$ (%)	24.4	18.32	15.39	7.25
$CO$ (%)	28.63	34.62	43.43	66.17
Hidrokarbonlar (%)	33.54	36.04	31.12	16.45

Pirolizin avantajları ;

- Çamurların yakılmasına oranla daha az gaz emisyonu oluşur (yaklaşık %30)
- Düşük sıcaklıklar nedeniyle PCDD/F emisyonları oluşmaz
- Maddelerin ayrılması ve değerlendirilmesi mümkündür.

şeklinde sıralanabilir.

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 (6) ve piroliz+yakma (6) işlemleri uygulanmakta ve 28.5 ton/saat ve 38 ton/saat kapasitelerde çalışılmaktadır.

Tablo 2.23' de piroliz prosesinin farklı uygulamalarında elde edilen ürünlerin dağılımı özetlenmiştir.

Tablo 2.23: Farklı piroliz uygulamalarında elde edilen tipik ürünler

Tipi	Şartlar	Sıvı	Katı Kömür	Gaz
Hızlı piroliz	Ayarlanmış sıcaklık, kısa bekleme süresi Kısmi buhar	75%	12%	13%
Karbonizasyon	Düşük sıcaklık, çok uzun bekleme süresi	30%	35%	35%
Gazifikasyon	Yüksek sıcaklık, uzun bekleme 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 prostedir. Bu nedenle reaksiyon arayüzeyinde çok yüksek ısıtma ve ısı transferi sağlayacak ince tabaka halinde biyokütle beslemesi, piroliz reaksiyon sıcaklığının 500<sup>0</sup>C ve buhar fazı sıcaklığının 400-450<sup>0</sup>C civarında dikkatlice kontrolü, 2 saniyeden az buhar bekleme süresi ve piroliz buharlarının hızlı soğutulması gerekmektedir. Sonuçta ana ürün olan bio-oil beslenen kuru maddenin ağırlıkça en az %75 i kadardır, yanısıra kömür ve proses ısını sağlama kullanılan gazlarda elde edilir.

#### 2.7.5.4. Konuya İlişkin Çalışmalar

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamurun çevresel etkilerini en aza indirmek, gelişen çevre yaklaşım sistemleri çerçevesinde atık minimizasyonu sağlamak amacıyla, söz konusu çamurların pirolizine yönelik olarak yapılan çalışmalar, elde edilen katı ürünün adsorbent özelliğini geliştirmede yoğunlaşmıştır. Arıtma proseslerinde kullanılabilir çamur koku ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, aktivasyon için kullanılan kimyasalların farklılık gösterdiği ancak pirolizin, sıcaklık dışında benzer şekilde yürütüldüğü görülmektedir. Çamurlara işlem öncesi uygulanan kimyasal aktivasyon çalışmalarında aktivasyon ajanı olarak genellikle metal klorürler ve Lewis asitlerin kullanıldığı, bu amaçla  $ZnCl_2$ ,  $AlCl_3$ ,  $SnCl_2$ ,  $PbCl_3$ ,  $CaCl_2$  ve  $MgCl_2$  gibi metal klorürler ile  $Co(NO_3)_2$  ve  $Fe(NO_3)_3$  gibi metal nitratların doymuş çözeltileri yanısıra  $HCl$ ,  $H_2SO_4$  ve  $H_3PO_4$  asitlerinin kullanıldığı belirtilmektedir. Ayrıca çalışmalarda kimyasal aktivasyon yanı sıra fiziksel aktivasyonun da uygulandığı, bu iş için hava ve  $CO_2$  kullanıldığı görülmektedir.

Konuya ilişkin ilk çalışmalar, Bosch ve diğ. (1976) tarafından yapılmış, çamurun karbonizasyon ile aktif karbona dönüştürülmesi araştırılmıştır. Çalışmada, birincil ve ikincil çamur karışımının pirolizi ile  $200 \text{ m}^2/\text{gr}$  yüzey alanına sahip kok ürünler elde edilmiş, ürünün adsorbent özelliği, fenol çözeltisi ile belirlenmiştir. Çalışmalarda Kasakura ve Hiraoka (1982), Inguanzo ve diğ. (2001) ve Inguanzo ve diğ. (2002) farklı işlemlerden geçmiş çamur örneklerine piroliz uygulamış, piroliz ürünlerinin özellikleri ağır metal ve gaz dağılımı belirlenmiştir. Conesa ve diğ. (1998) ve Chen ve diğ. (2002) ise, farklı evsel arıtma tesislerinden alınan arıtma çamurlarının pirolizi sonrası oluşan gaz ürünlerin nitel ve nicel dağılımını incelemiştir.

Çamurların optimum piroliz koşullarının ve aktivasyon ajanlarının belirlenmesi için Chang ve You (1987), çürütülmüş çamur numunelerine  $400-1000^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda,  $0.5-7 \text{ M}$   $ZnCl_2$  katkısı ve  $0.5-1-2$  saat bekletme sürelerinde piroliz uygulamış ve kok ürününün adsorpsiyon kapasitesini  $CCl_4$  çözeltisi ile belirlemiştir.  $550^\circ\text{C}$  piroliz sıcaklığı,  $5 \text{ M}$   $ZnCl_2$  katkısı ile 1 saat bekletme süresi olarak belirlenen optimum koşullarda, kokun yüzey alanı  $455-585 \text{ m}^2/\text{gr}$  bulunmuştur. Pollard ve diğ.,(1991) Inguanzo ve diğ.,(2001) Calvo ve diğ., (2001) çamurların pirolizinde,  $ZnCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $H_3PO_4$ ,  $Co(NO_3)_2$ ,  $Fe(NO_3)_3$  ve  $H_2SO_4$  gibi farklı aktivasyon ajanları

kullanmışlar ve en uygun piroliz katkısının  $ZnCl_2$  ve  $H_2SO_4$  olduğunu belirtmişlerdir. Benzer bir çalışma da, Martin ve diğ. (1996) tarafından yürütülmüş ve  $H_2SO_4$  ve  $ZnCl_2$  kullanılarak yapılan kimyasal aktivasyon sonrasında,  $500^{\circ}C$  de  $H_2SO_4$  ile  $257 \text{ m}^2/\text{gr}$  ,  $ZnCl_2$  ile ise  $171 \text{ m}^2/\text{gr}$  yüzey alanı elde edilmiştir. Kok ürünlerinin gözenek yapısını geliştirmek amacıyla yapılan diğer bir çalışmalarda ise, ön kurutma uygulanmış çamurlar  $550-650^{\circ}C$  sıcaklıklarda piroliz edilmiş,  $650^{\circ}C$  sıcaklık, 2 saat bekletme süresi ve  $5M ZnCl_2$  katkısı ile elde edilen  $309 \text{ m}^2/\text{gr}$  yüzey alanına sahip piroliz kokunun  $H_2S$ ,  $SO_x$  ve  $NO_x$  ile adsorpsiyon kapasitesi belirlenmiştir. (Lu ve Lau, 1996; Lu, 1996)

Razouk vd. (1960), Beeckmans and Park (1971) ve daha sonra J. H. Tay vd. (2001) tarafından yapılan çalışmalarda çürütülmüş ve çürütülmemiş çamur numunelerine piroliz işlemi uygulanarak atık çamurun adsorbent özelliği araştırılmıştır. Her iki çamurdan piroliz sonucu oluşan ürünler karşılaştırılarak çürütülmemiş çamurun, çürütülmüş çamurdan daha fazla karbon ve daha az kül içeriğine sahip olması nedeniyle aktif karbon kullanımının daha uygun olduğu belirtilmiştir. Çürütülmemiş çamurun  $5M ZnCl_2$  katkısında  $500^{\circ}C$  de ve  $10^{\circ}C/\text{dakika}$  ısıtma hızında gerçekleştirilen pirolizinde  $541.7 \text{ m}^2/\text{gr}$  BET yüzey alanı, %43.2 karbon içeriği ve %38.3 kül oranı ile uygun adsorbent özelliği taşıyan ürün elde edildiği belirtilmiştir. Atık çamur yapısının piroliz kokuna etkisini belirlemek için yapılan araştırmalarda, genellikle aerobik veya anaerobik çamur çürütülmüş çamur kullanılmış (Chiang ve You, 1987, Lu; 1995, Tay ve diğ. ,2001, Inguanzo ve diğ. ,2001), bazı çalışmalarda ise herhangi bir arıtma işlemi uygulanmamış atık arıtma çamurların kullanıldığı görülmüştür (Bosch ve diğ., 1976, Martin ve diğ. ,1996, Font ve diğ., 2001, Chu ve diğ.,2001) Bu çalışmalarda, en uygun ürünlerin çamura aerobik ve anaerobik çürütme işlemi uygulanmadığı durumlarda elde edildiği belirlenmiş, ancak atık arıtma çamurlarının polielektrolit kullanılarak yapılan flokülasyonu sonrasında yürütülen piroliz ile de uygun adsorbent üretilebileceği ifade edilmiştir. (Chu ve diğ. ,2001)

Son yıllarda piroliz sonrası oluşan çamur kökenli kok ürünlerin arıtma sistemlerinde kullanımına ilişkin çalışmalar yapılmaktadır (Dobele ve diğ., 1996). Graham ve diğ. (2001) ve Kadirvelu ve diğ.(2003) atıksulardan renk giderimi, Kojima ve diğ. (2002) ise benzen adsorpsiyonu yaptıkları çalışmalarında başarılı sonuçlara ulaşmışlardır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. Arıtma Çamuru

Çalışmada kullanılan evsel atıksu arıtma çamuru numuneleri, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)'ne ait Tuzla Biyolojik Arıtma Tesisi (EAAÇ-I) ve Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinin (EAAÇ-II) son çöktürme havuzu geri devir hattından alınmıştır.

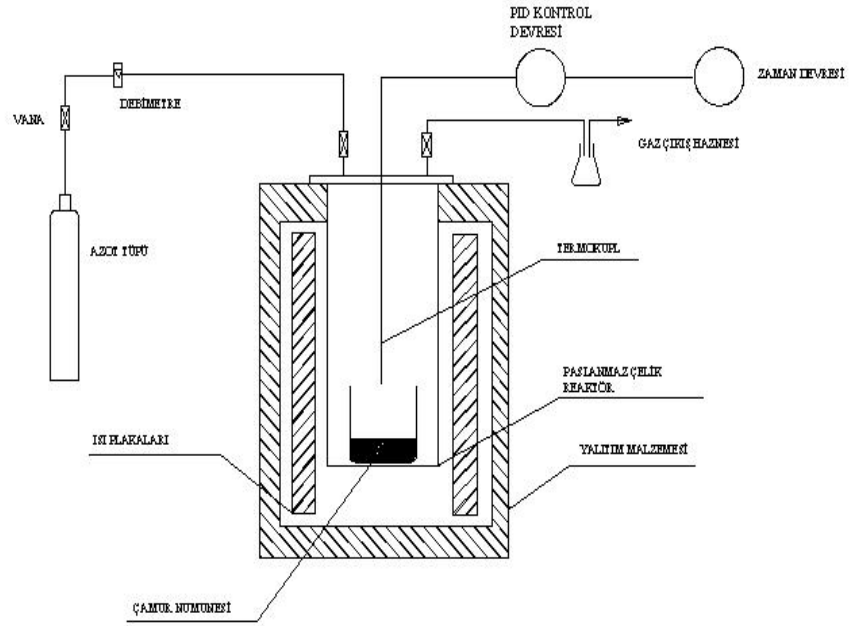
Endüstriyel atıksu arıtma tesislerine ait arıtma çamuru numuneleri ise, gıda (GAAÇ), bira (BAAÇ), ilaç (İAAÇ) ve rakı (sulu çamur: RAAÇ-I ve çamur keki: RAAÇ-II) endüstrilerinde tesislerdeki filtre pres çıkışından alınarak çalışmalarda kullanılmıştır. Çamur örneklerinin özellikleri, Bölüm 4.1' de detaylı olarak verilmiştir.

#### 3.2. Çamur Örneklerinin Hazırlanması

Çalışmada, evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden alınan sulu çamur veya çamur keki şeklindeki örnekler, Lenton-Eurotherm fırında önce 103-105<sup>0</sup>C' de 24 saat süreyle kurutulmuş, daha sonra Bosch marka mikser ile öğütülüp elenerek 0.5 -2.0 mm boyutlarına indirilmiştir.

#### 3.3. Çamurların Pirolizi

Stok ham çamur numunesinden 10 gr tartılarak, düşey fırına (Lenton Thermal Designs, Eurotherm) yerleştirilmiş (Ø15cm x 20cm) boyutlarında paslanmaz çelik reaktör içerisine alınmıştır. Sistem kontrollü ısıtma hızını ve ısının numuneye homojen dağılımını sağlayacak şekilde tasarlanmış ve piroliz sırasında inert ortam sağlanması için sistemden ortalama 100 cm<sup>3</sup>/dakika akış hızında azot gazı (N<sub>2</sub>) geçirilmiştir. Piroliz düzeneği Şekil 3.1' de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 3.1: Arıtma çamurlarının pirolizi için kullanılan deney düzeneği

### *Piroliz Koşulları*

Çamur numunelerinin pirolizi öncesinde termogravimetrik analizi yapılmış, ağırlık kaybının olduğu sıcaklık aralığı belirlenerek optimum piroliz sıcaklığının saptanması için örneklere 350 – 600<sup>0</sup>C aralığında piroliz uygulanmıştır. Isıtma hızının belirlenmesi ise, 600<sup>0</sup>C sıcaklıkta ve 2.5 – 5 – 10 – 20 <sup>0</sup>C/dakika ısıtma hızlarında yapılan çalışmalarla belirlenmiş ve piroliz sıcaklığında bekletme zamanı 2 saat olarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan arıtma çamurlarının pirolizinde bulunan optimum çalışma koşulları Bölüm 4.2’ de verilmiştir.

Belirlenen optimum çalışma koşullarında ham çamur numunelerinin pirolizi sırasında koklaşmayı yönlendirmek amacıyla bu iş için kullanılan Lewis asitler ile kimyasal aktivasyon uygulanmış, bu amaçla yönelik olarak, çinko klorür (ZnCl<sub>2</sub>), alüminyum klorür (AlCl<sub>3</sub>) seçilmiştir. Ayrıca çamurların susuzlaştırılmasında kullanılan demir (III) klorür (FeCl<sub>3</sub>), Alum (Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O) ve kireç (Ca(OH)<sub>2</sub>)’in farklı konsantrasyonlardaki

çözeltileri ile yinelenen piroliz işlemi ile çamur şartlandırıcılarının piroliz ürünü koka etkisi araştırılmıştır.

Aktivasyon işlemi için, yukarıda belirtilen kimyasalların 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ve 3.0 M konsantrasyonlardaki çözeltilerinin 25 ml si 10 gr ham çamur örnekleri ile karıştırılarak 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilmiş ve belirlenen optimum koşullarda piroliz edilmiştir. Piroliz sonrasında 3 M HCl ile muamele edilen piroliz koku, klorür iyonları giderilene kadar distile su ile yıkanmış ve etüvde kurutulmuştur.

### 3.4. Adsorbsiyon Çalışmaları

Farklı koşullarda ve katkılarda piroliz sonrası oluşan koklaşmış materyalin yüzey alanı değişimlerini ve adsorbsiyon kapasitelerini belirlemek için metilen mavisi, fenol ve p-nitrofenol çözeltileri ile adsorpsiyon testleri yapılmıştır. Bunun için  $1 \times 10^{-4}$  M konsantrasyonunda stok metilen mavisi çözeltisi hazırlanmış, standart kalibrasyon eğrisi için 1.0 - 2.5 - 5 - 7.5 -  $10 \times 10^{-6}$  M konsantrasyonlardaki çözeltilerin 667 nm de absorbans değerleri ölçülmüştür. Denge konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla 0.1gr RAAÇ-I piroliz koku örnekleri,  $2.5 \times 10^{-6}$  M konsantrasyonunda 100 ml metilen mavisi çözeltisi ile renkli ve kapaklı şişelerde 160 devir/dakika çalkalama hızında 180 dakika süreyle karıştırılmıştır. Belirlenen denge zamanlarında 1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 - 5 - 7.5 -  $10 \times 10^{-6}$  M konsantrasyonlarındaki metilen mavisi çözeltilerinin 0.1gr kok üzerinde adsorpsiyonu 667 nm de ölçülerek, belirlenmiş ve adsorpsiyon izotermlerine uyumluluğu araştırılmıştır.

Fenol adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi için ise, öncelikle 2 - 4 - 6 - 8 -  $10 \times 10^{-4}$  M konsantrasyonlarda fenol çözeltileri ile kalibrasyon eğrisi çizilmiş ve denge konsantrasyonu için  $6 \times 10^{-4}$  M konsantrasyonunda fenol çözeltisi, 0.1 gr RAAÇ-I piroliz koku ile 150 dakika boyunca karıştırıcıda çalkalanmıştır. 270 nm de yapılan ölçümlerle dengeye kadar 1 - 3 - 5 - 6 - 7.5 -  $10 \times 10^{-4}$  M konsantrasyonlarda fenol çözeltilerinin yine 0.1 gr piroliz koku üzerinde adsorpsiyonu belirlenmiştir (Calace ve diğ., 2002). Benzer ölçümler ticari aktif karbon ile de yürütülmüş, her iki koka ait hesaplanan verilerin Freundlich ve Langmuir izoterm eğrilerine uyumluluğu araştırılmıştır



p-nitrofenol adsorpsiyon testi ise, DIN standartlarına uygun olarak 10 mg/L 4-nitrofenol stok çözeltisi hazırlanarak ve 200 ml çözelti içine 2 – 6 – 10 – 15 ve 20 mg piroliz koku ilavesiyle, 3 saatlik çalkalama sonucunda, UV spektrofotometresinde 317 nm’de ölçülerek, belirlenmiştir.

Üretilen piroliz kokunun adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi çalışmaları yanısıra endüstriyel uygulamalarının araştırılması amacıyla uçucu yağ asitlerinden asetik ve propiyonik asitlerin adsorpsiyonunun yapıldığı çalışmalarda, öncelikle farklı konsantrasyonlarda (0.01 – 0.025 – 0.05 – 0.075 M) asetik asit ve (0.01 – 0.03 – 0.075 – 0.1 M) propiyonik asit çözeltileri ile kalibrasyon eğrisi çizilmiş ve denge konsantrasyonları için 0.075 M konsantrasyonundaki çözeltiler 60 dakika süreyle karıştırıcıda çalkalanmıştır. İzoterm çalışmaları belirlenen denge zamanında, renkli şişelerde 25°C’de 0.1 gr RAAÇ-I piroliz koku ve 100 ml değişik konsantrasyonlardaki (0.02 – 0.04 – 0.06 – 0.08 – 0.1 mol/l) çözeltiler ile yürütülmüş, ölçümler 204 nm de gerçekleştirilmiştir. İzoterm sonuçları benzer çalışmaların yapıldığı ticari aktif karbon ile karşılaştırılmıştır (Şahin ve diğ., 2003; Güneysu ve diğ., 2004). Adsorpsiyon ve izotermeler ile ilgili genel bilgiler aşağıdadır.

### 3.4.1. Adsorpsiyon İzotermeleri

Adsorpsiyon katı madde yüzeyinde sıvı veya gazların birikmesi olarak tanımlanabilir. Adsorpsiyon kapasitesi için kütle dengesi aşağıda verildiği şekilde yazılır.

$$q = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad (3.1)$$

burada  $C_o$  ve  $C_e$ , başlangıç ve denge konsantrasyonları(mg/l); V, numune hacimi (l) ve m, adsorbent miktarı (gr) dır. Adsorpsiyon izotermi, bilinen miktardaki bir adsorbent ile farklı konsantrasyonlarda adsorbat çözeltilerini dengeye ulaştırarak elde edilir. Ölçümler sabit sıcaklıkta yapılır. Deney sonunda çözeltideki adsorbat konsantrasyonları adsorbent fazındaki adsorbat konsantrasyonlarına karşı noktalanır. Bundan dolayı adsorpsiyon izotermeleri bir yüzeye adsorbe olan adsorbat (adsorbe olan madde) için denge şartlarını göstermekte ve adsorbe olan madde miktarı, adsorbat konsantrasyonunun kompleks bir fonksiyonu olmaktadır. Genel olarak adsorbanın birim ağırlığında adsorplanan madde miktarı konsantrasyonla artar. Fakat bu artış doğru

orantılı değildir. Az miktarda kirletici madde içeren sularda denge şartlarına ulaşmak kritiktir, küçük hatalar sonucu önemli ölçüde etkileyebilir. Uygulamada en çok karşılaşılan izotermler Freundlich, Langmuir ve BET(Brunauer, Emmett, Teller) izotermleridir.

#### *Freundlich İzotermi*

1906'da Freundlich tarafından ortaya konan ilk adsorpsiyon izoterm denklemdir. Bu ampirik model çok tabakalı adsorpsiyon gibi heterojen yüzeylerde ideal olmayan adsorpsiyona uygulanabilmekte ve aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir;

$$q_e = k_F C_e^{1/n_e} \quad (3.2)$$

Denklem sıklıkla, eşitliğin her iki tarafının logaritması alınarak, lineer formda kullanılır.

$$\log q_e = \log k_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3.3)$$

Eşitlikte yer alan  $k_F$  ve  $n$ , izoterm sabitleridir.

#### *Langmuir İzotermi*

1918'de Langmuir tarafından geliştirilmiş teorik denge izotermi, adsorbentin yüzeyinde alıcı noktaların olduğunu ve her alıcı noktanın sadece bir molekül adsorplama yapabileceğini, dolayısıyla meydana gelen tabakanın bir molekül kalınlığında olacağını kabul eder. Yanısıra tüm adsorpsiyon alanları adsorbat moleküllerine karşı eşit çekim uygular ve adsorbe olan molekül bitişik alandaki molekül ile etkileşimde olmaz. Maksimum doyma noktasında yüzey tek tabaka ile kaplanmakta ve yüzeye adsorbe olmuş adsorbat miktarı sabit kalmaktadır. Langmuir izotermi katı yüzeyler üzerindeki aktif adsorpsiyon alanlarında meydana gelen tutulmanın fiziksel yada kimyasal adsorpsiyon olup olmadığını diğer izotermlere göre daha iyi açıklar. Model, deneysel çalışmaların geniş değişimlerine uygunluk göstermekte ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmektedir;

$$q_e = \frac{q_m k_a C_e}{1 + k_a C_e} \quad (3.4)$$

yukarıdaki eşitlik, lineerleştirilerek tekrar düzenlendiğinde,

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k_a q_m} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (3.5)$$

şeklini alır. Eşitlikte,  $C_e$ ; denge konsantrasyonunu (mg/l),  $q_e$ ; adsorplanan madde miktarını (mg/g),  $q_m$  ; tam bir tek tabaka için  $q_e$  (mg/g) ve  $k_a$  ise adsorpsiyon denge sabitini (l/g) ifade etmektedir.

### *BET İzotermi*

Brunauer, Emmett ve Teller ise, birden fazla molekül tabakalı adsorpsiyonlara uygulanabilen bir denklem geliştirmişlerdir. Bunlar birinci tabakanın dışındaki diğer tabakaların adsorpsiyon ısılarının adsorplanan sıvının kondasyon ısısına eşit olduğunu kabul ederek,

$$\frac{C}{a(C_0-C)} = \frac{1}{a'h} + \frac{(h-1)C}{a'hC_0} \quad (3.6)$$

denklemini elde etmişlerdir. Burada, adsorpsiyon verileri BET denklemiyle uyum sağladığı zaman, elde edilen doğrunun eğiminden faydalanılarak tek tabakalı adsorpsiyon kapasitesi ile adsorpsiyon ısısını hesaplamak mümkündür (Banat ve diğ.,2000).

## **3.5. Arıtılabilirlik Çalışmaları**

Optimum çalışma koşullarında atık çamurların pirolizi ile elde edilen piroliz kokunun endüstriyel uygulama olasılığını araştırma çalışmaları, tekstil endüstrisi (Kim ve diğ.,2003) atıksuyunun aktif çamur ile biyolojik arıtımında söz konusu kokun kullanımı ile de belirlenmiştir (Pala ve Tokat, 2002). Bu nedenle yürütülen laboratuvar çalışmalarında kullanılan atıksuyun özellikleri ve reaktörler aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

### **3.5.1. Atıksuyun Özellikleri**

İstanbul Avcılar'da kurulu bir tekstil endüstrisine ait arıtma tesisi giriş atıksularının karakterizasyonu yapılarak Tablo 3.1' de verilmiştir. Tekstil endüstrisinde kullanılan farklı prosesler, farklı özellikte atıksuların oluşumuna neden olduğu için atıksular özelliklerine göre sınıflandırılmıştır (EPA,1978). Bu sınıflandırma ile

karşılaştırıldığında, kullanılan atıksuyun son terbiye ve boyama-yıkama işlemlerinden kaynaklanan atıksuların genel özelliklerine uyduğu görülmektedir.

Tablo 3.1: Tekstil son terbiye, boyama ve yıkama endüstrisi atıksularının özellikleri

Parametre	Değer	EPA,1978
KOI, mg/L	1150 – 1550	800 – 1200
BOI <sub>5</sub> , mg/L	320 – 360	250 – 650
BOI <sub>5</sub> /KOI	0.28 – 0.32	0.31 – 0.54
TKN, mg/L	28 – 35	-
Toplam Fosfor, mg/L	3.4 – 4.2	-
Ortofosfat, mg/L	1.05 – 1.29	-
AKM, mg/L	75 – 125	75 – 300
pH	9 – 10	8 - 11
Renklilik Sayısı RES <sub>436</sub>	52 – 198	-
Renklilik Sayısı RES <sub>525</sub>	41 – 189	-
Renklilik Sayısı RES <sub>620</sub>	34 – 122	-

Söz konusu tesis atıksularını nötralizasyon sonrası F/M oranı 0.5 – 1.0 aralığında değişen uzun havalandırmalı aktif çamur sisteminde arıtmaktadır.

### 3.5.2. Reaktörler

Laboratuvar çalışmalarında PVC den yapılmış ve 5 noktadan örnek alınmasına olanak sağlayan 4 adet Ø15cm x 25 cm boyutlarında reaktörler kullanılmıştır. Reaktörler, devir ayarlı bir karıştırıcı ile tam karışım oluşturulacak şekilde karıştırılmıştır. Sistem, uygun çözülmüş oksijen değerlerinin sağlanması amacıyla difüzörler ile havalandırılmıştır. Reaktörlerde pH 6.5 – 8.0 sıcaklık ise 22 – 23 °C değerlerine ayarlanmıştır. Biyolojik arıtmalarda F/M oranı 0.5 ve 1 için araştırılmış ancak birincisinde kısa sürede yeterli arıtımın sağlanması üzerine piroliz kokunun etkisinin izlenebilmesi için F/M=1 oranı seçilmiştir. Böylece kesikli olarak işletilen biyolojik sistemde, tekstil boyama ve yıkama prosesine ait atıksuların arıtılabilirliği, seçilen işletme koşullarında (F/M=1.0,  $\theta_c$  =10 gün) yürütülmüştür.

Çalışmada reaktörlerden birincisinde havalandırma, ikincisinde piroliz koku ile adsorpsiyon, üçüncüsünde aktif çamur ile biyolojik arıtım ve dördüncüsünde ise aktif çamur+piroliz kok ürün birlikte arıtım çalışmaları yürütülmüştür. Havalandırma, piroliz koku, aktif çamur ve aktif çamur+piroliz kok ürünler ile işletilen reaktörler, tekstil boyama-yıkama tesisi atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzundan alınan aktif çamur ile beslenmiştir. Dört reaktörde de eş zamanlı çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan piroliz

koku örnekleri arıtma çamurlarının piroliz için uygun olan 0.5 – 2.0 mm boyutlarında kullanılmıştır.

#### *Havalandırma Reaktörü*

Özellikleri Tablo 3.1’de verilen 3 litre atıksuyun beslendiği birinci reaktörde çalışma süresi boyunca tam karışım sağlanarak havalandırma uygulanmıştır. Değişik zaman aralıklarında alınan örneklerde havalandırma ile giderilen KOİ ve Renklilik Sayısı (RES) miktarları belirlenmiştir.

#### *Piroliz Koku Reaktörü*

3 litre atıksuya 1000 – 1500 – 2000 mg/l piroliz koklarının ilave edilmesiyle yürütülen tam karışimli ve havalandırmalı çalışmalarda birinci reaktörle eş zamanlı olarak alınan örneklerde de KOİ ve RES giderimleri belirlenmiştir.

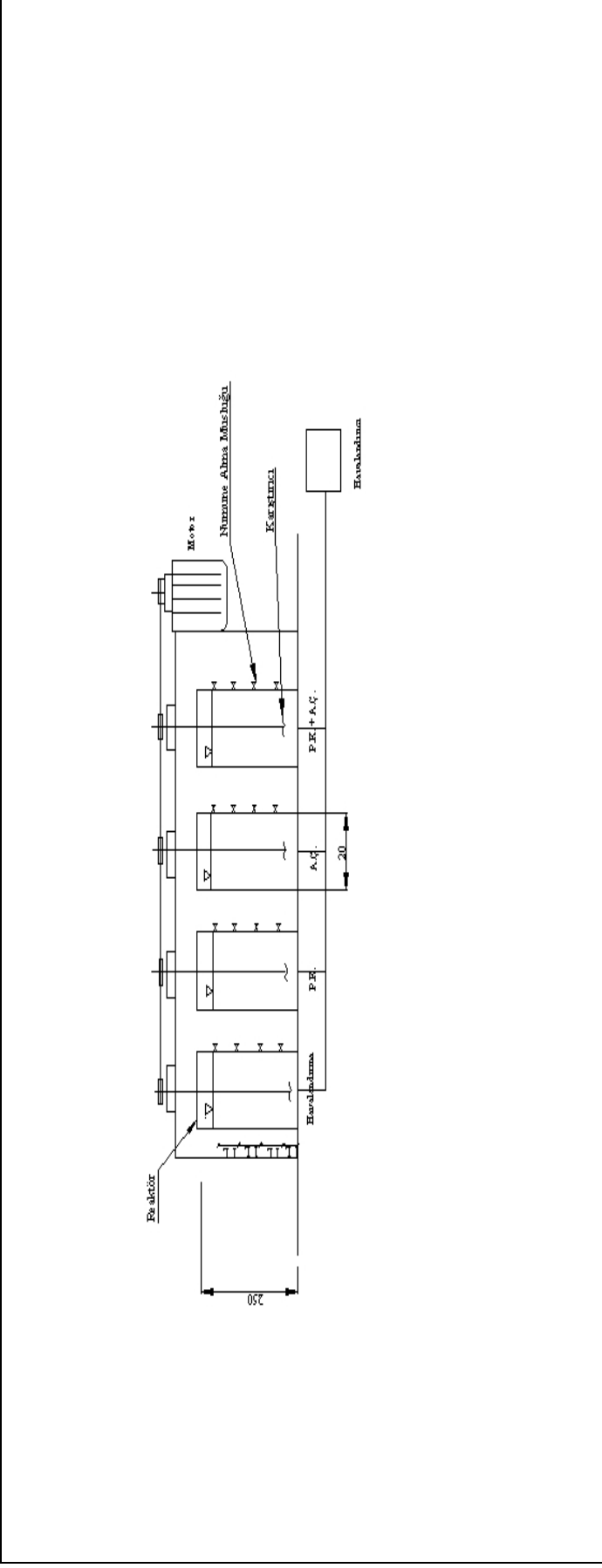
#### *Aktif Çamur Reaktörü*

3 litre atıksuyun beslendiği üçüncü reaktörde tesisten alınan aktif çamur F/M oranı 1 olacak şekilde kullanılmıştır. Biyolojik arıtım için gerekli C/N/P (100/5/1) oranı, azot ve fosfat tampon çözeltileri, pH ayarlaması H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak sağlanmış ve KOİ giderim ve RES değişimleri belirlenmiştir.

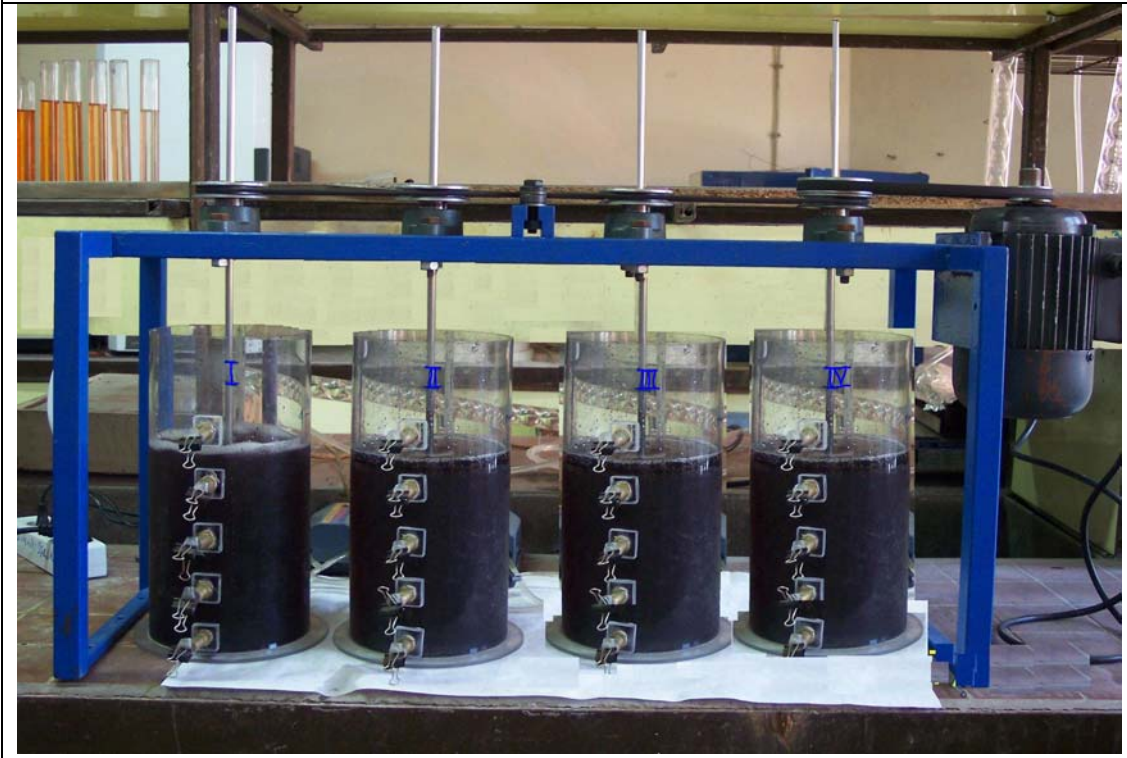
#### *Aktif Çamur + Piroliz Koku Reaktörü*

Arıtımda aktif çamur ve piroliz kokunun birlikte etkisinin araştırıldığı dördüncü reaktörde, F/M oranı 1 olup 3 l. atıksuya değişen konsantrasyonlarda (1000 – 1500 – 2000 mg/L) piroliz kokları ilave edilerek ayrı yarı yürütülen işlemler sonrasında KOİ ve RES giderimleri hesaplanmıştır.

Çalışmaların yürütüldüğü sistem Şekil 3.2 ve 3.3’ de verilmiştir.



Şekil 3.2: Kesikli aerobik reaktörlerin görüntüsü



Şekil 3.3: Kesikli aerobik reaktörlerin görünüşü

### 3.6. Kullanılan Kimyasallar

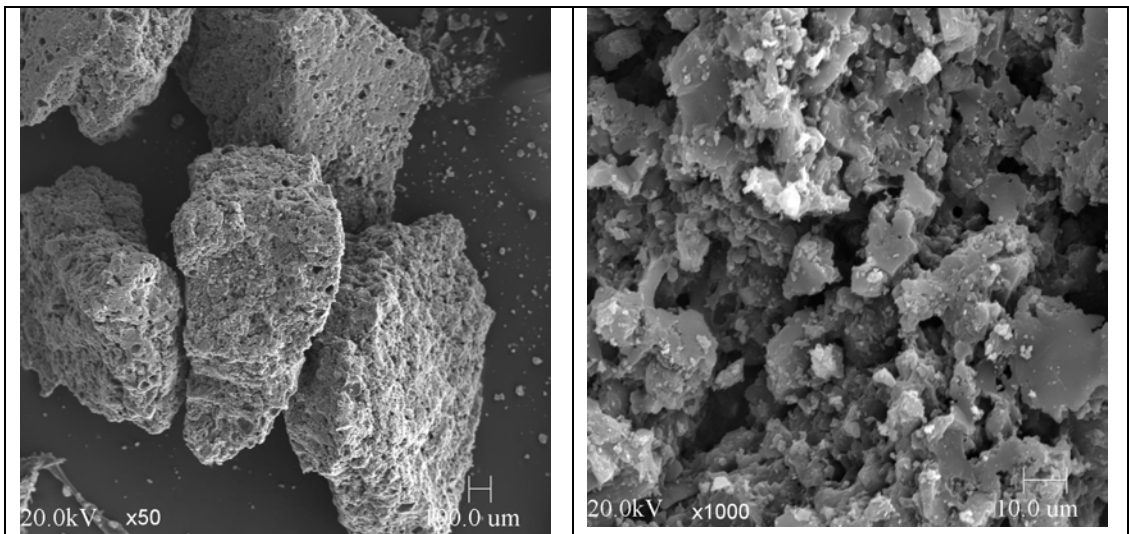
ZnCl<sub>2</sub> (Merck), HCl (Carlo Erba), FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (Merck), Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Fluka/ Carlo Erba), FeCl<sub>3</sub> (Merck), Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O (Lachema), Ca(OH)<sub>2</sub> (Lachema), N<sub>2</sub> (Habaş, analitik saflıkta), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Merck), Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (Merck), K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (Fluka), HgSO<sub>4</sub> (Merck), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (Merck), K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (Merck), Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (Carlo Erba), NH<sub>4</sub>Cl (Fluka), Üre (Merck)

#### *Aktif Karbon*

Çalışmalarda kullanılan granül aktif karbon Reidel-de Haén'den temin edilmiştir. Özellikleri Tablo 3.2. ve Şekil 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Granüler Aktif Karbon'un fiziksel ve kimyasal özellikleri

<b>Form</b>	Katı
<b>Renk</b>	Siyah
<b>Koku</b>	Kokusuz
<b>Yoğunluk</b>	450 kg/m <sup>3</sup> (Yaklaşık)
<b>Çözünürlük (suda)</b>	Çözünmez
<b>Toksik etkisi</b>	Yok
<b>Kurutma Kaybı</b>	% 12, 120 °C, 4 h
<b>Yanma Atığı</b>	% 5
<b>Spesifik yüzey alanı</b>	1120 m <sup>2</sup> /gr
<b>C</b>	%87.51
<b>H</b>	%0.35
<b>N</b>	%0.2
<b>Fe</b>	% 0.03
<b>Ağır Metaller</b>	% 0.005
<b>Cl</b>	% 0.01
<b>SO<sub>4</sub></b>	% 0.01
<b>Kül</b>	%<1



Şekil 3.4 : Granüler Aktif Karbon'un SEM fotoğrafları (x50, x1000)



### Adsorbatlar

Çalışmalarda kullanılan adsorbatların özellikleri Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3.3 : Adsorbatların özellikleri

Adsorbat	Molekül Formülü	Mol Ağırlığı gr/mol	Saflığı %	Sudaki çözünürlüğü (25°C)	$\lambda_{max}$ (nm)
Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	94.11	99.5	16 (g/L)	270
Metilen mavisi	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> N <sub>3</sub> SCl	319.86	-	0.16 (mol/l)	667
p-nitrofenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>3</sub>	139.11	>99	16 (g/L)	317
Asetik asit	CH <sub>3</sub> COOH	60.05	>99	-	204
Propiyonik asit	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	74.08	>99	-	204

### 3.7. Kullanılan Alet ve Malzemeler

Piroliz düzeneği, Lenton Thermal Designs, düşey fırın ve kontrollü ısınma (PID) devresinden oluşmuştur. Görünür ışık spektrumu Novespec II marka spektrofotometre (ölçüm aralığı 330-780 nm), UV ölçümleri Jenway 6105 UV/Visible spektrofotometre (ölçüm aralığı 190-780 nm) ile yapılmış, pH ise Jenway model 3040 Ion Analyser da ölçülmüştür. Electromag KOI seti, Millipore süzme seti, Gallenkamp orbital inkübatör, Bosch marka mikser kullanılan diğer aletlerdir.

### 3.8. Analitik Yöntemler

Çalışmamızda ham çamurun karakterizasyonu ve elde edilen karbonun özelliğinin belirlenmesi amacıyla bir seri analizler yapılmıştır. Ham çamurun karakterizasyonu amacıyla yapılan, toplam katı madde, askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde analizleri standart metotlara uygun olarak yürütülmüş (APHA-AWWA-WEF,1995), ham çamur ve piroliz ürünlerinin kül içeriği ise, standart metotlara (ASTM E1755) göre belirlenmiştir.

KOI deneyleri, 5220 B (APHA-AWWA-WEF,1995) de belirtilen standart yöntem (open reflux) uygulanarak yapılmıştır.

Renk parametresi belirlenirken, Avrupa Normu EN ISO 7887'ye göre belirlenen standartlar temel alınmış, RES ölçümleri görünür ışık Novespec II spektrofotometresi ile 436nm (sarı), 525nm (kırmızı) ve 620nm (mavi) de ölçülerek Renklilik Sayısı (RES) hesaplanmıştır (Barlas ve Akgün, 2000). İşlem için atıksu numunesi 11000 devir/dakika'da 10 dakika süre ile santrifüj edilmiş, distile suya karşı numunelerin

ölçümleri yapılmıştır. Spektral absorpsiyon değeri  $\lambda$  ve RES değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\lambda = (A/d).f \quad (3.7)$$

$$RES = 100.(E_{\lambda}/d) \quad (3.8)$$

Bu durumda Renklilik Sayısı (RES) birimi  $m^{-1}$  olmaktadır.

#### *DTA-TGA*

Öncelikle çalışma sıcaklığımızın belirlenmesi amacıyla ham numunenin sıcaklıkla ağırlık kaybının belirlendiği TGA ve DTA analizleri,  $N_2$  ortamında ve 15,2 mg numune ile  $2^{\circ}C/dakika$  ısınma hızında, Linseis L1040 model marka cihazı ile İ.Ü.Müh.Fak.Kimyasal Teknolojiler A.B.D.'da yapılmıştır.

#### *Elementel Analiz*

Çamur ve piroliz koku örneklerindeki karbon, hidrojen ve azot miktarları, Carlo Erba 1106 elementel analiz cihazı (LECO, CHNS 932) ile, yarı kantitatif elementel analizi ise (XRF) Philips PW-2404 Model dalga boyu dağılımlı X-ışını Floresan Spektrometre cihazı ile TUBİTAK MAM'da yapılmıştır. Numunelerin üst ısıl değerleri, ASTM D 240 da belirtildiği şekilde yine TUBİTAK MAM'da yapılmıştır.

#### *Yüzey Alanı Ölçümleri*

Ham çamur ve piroliz koku örneklerinin spesifik yüzey alanı (BET ile tek noktalı birim yüzey alanı, DIN 66131) değerleri, azot ortamında Quantachrome, Autosorb-1 77 K ve Micromeritics FlowSorb II-2300 cihazı ile TUBİTAK MAM'da gerçekleştirilmiştir.

#### *SEM (Scanning Electron Microscope) Analizi*

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) tekniği ile arıtma çamurlarından üretilen aktif karbon numunelerinin en yüksek yüzey alanına sahip olan RAAÇ-I örneğinin yüzey özellikleri TUBİTAK MAM'da belirlenmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Arıtma Çamurlarının Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan arıtma çamuru örneklerinin karakterizasyonu için yapılan testlerin sonucunda, evsel arıtma çamuru (EAAÇ) örneklerinde 17.3 – 23 g/l toplam katı madde, 10.8 – 15.04 g/l askıda katı madde ve 6.3 – 7.75 g/l uçucu askıda katı madde tespit edildi. Ayrıca örneklerin kül oranının % 47 ile % 50 aralığında değiştiği belirlendi. Evsel arıtma çamuru örneklerinin toplam, askıda ve uçucu katı madde miktarları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının özellikleri

	TKM %	AKM %	UAKM %
EAAÇ-I	1.73	61.2	35.6
EAAÇ-II	2.3	65.4	33.7

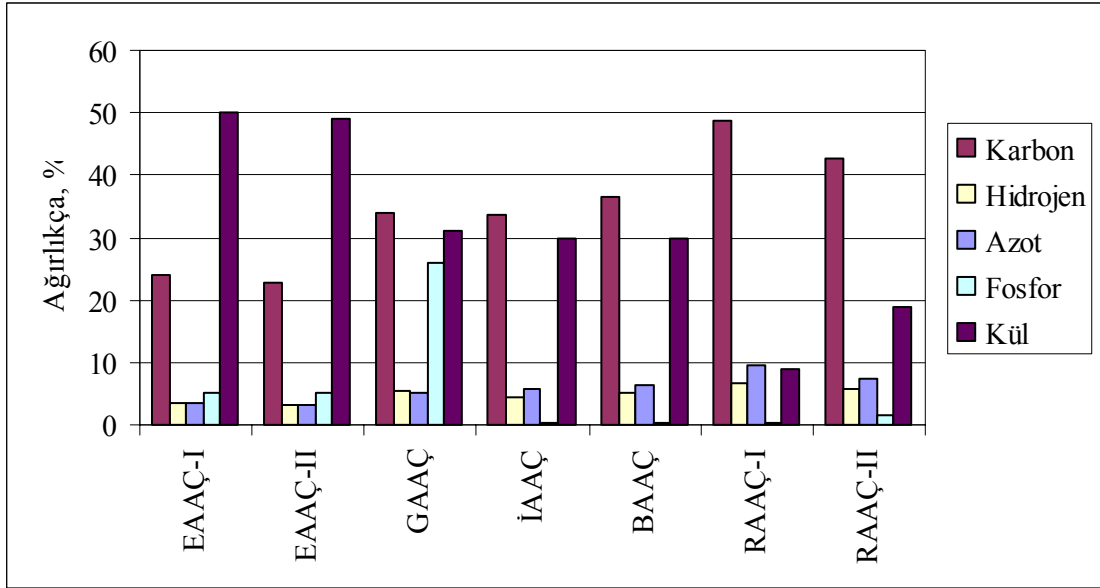
Evsel ve endüstriyel atıksu arıtma çamuru örneklerine ait elementel analiz sonuçları ise Tablo 4.2’de görülmektedir. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 4.1’den de izlenebilir.

Tablo 4.2: Çamur örneklerinin elementel analiz sonuçları

	KÜL %	C %	H %	N %	P %	C/N	C/H	Üst Isıl Değer cal/gr
EAAÇ-I	47 – 50	22.1 - 26.1	3.45 – 3.8	3.07 – 4.3	5.26	7.63	0.55	2400 – 2800
EAAÇ-II	48 – 49	22.84	3.25	3.16	5.1	8.43	0.58	2500 – 2750
GAAC	28.3	33.99	5.43	5.19	25.9	7.64	0.52	3530
BAAÇ	30.2	36.55	5.29	6.53	0.24	6.86	0.62	3881
İAAC	33.8	33.64	4.55	5.72	0.26	6.53	0.57	3466
RAAÇ-I	9.4	48.8	6.7	9.5	0.25	5.96	0.61	5012
RAAÇ-II	19.2	42.8	5.9	7.5	1.5	6.66	0.61	4332

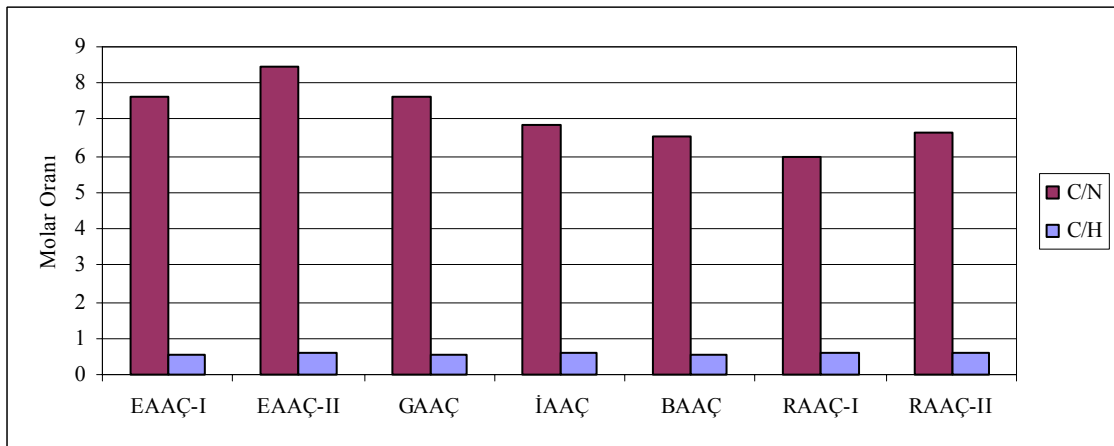
Sonuçlardan en yüksek kül içeriğinin %50 ile EAAÇ-I örneğinde, en düşük kül içeriğinin ise %9.4 ile RAAÇ-I örneğinde olduğu görülmektedir. En yüksek karbon içeriği RAAÇ-I örneğinde (%48.8) ve en düşük karbon içeriği de EAAÇ-I örneğinde

(%22.1) bulunmaktadır. Örneklerde azot miktarı % 3.07 - 9.5 , hidrojen miktarı %3.25 - 6.7 ve fosfor ise %0.24 - 25.9 aralığında değişmektedir.



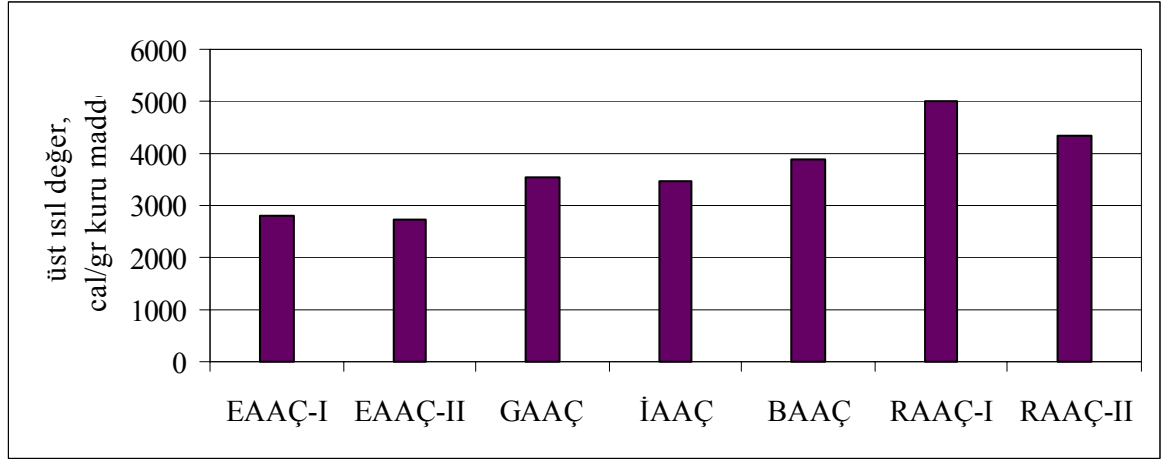
Şekil 4.1: Çamur örneklerinin elementel analiz sonuçları

Tarımsal kullanımda değerlendirilmek amacıyla çamur örneklerinin C/N ve C/H mol oranları Şekil 4.2’de verilmiştir. Görüldüğü gibi C/N oranı 5.96 - 8.43 arasında değişmektedir. Paşaköy evsel atıksu arıtma tesisinden alınan örnek (EAAÇ-II) 8.43 ile en yüksek C/N mol oranına sahiptir.



Şekil 4.2: Çamur örneklerinde mol oranları

Arıtma çamuru örneklerinin üst ısıl değerlerinin değişimi Şekil 4.3’de verilmiştir. Evsel arıtma çamuru örneklerinin üst ısıl değerleri 2400 – 2800 cal/gr değerleri arasında değişirken, endüstriyel çamur örneklerinden rakı üretimi atıksuyunun anaerobik arıtım çamurunda ısıl değer 5000 cal/gr değerine ulaşmaktadır.

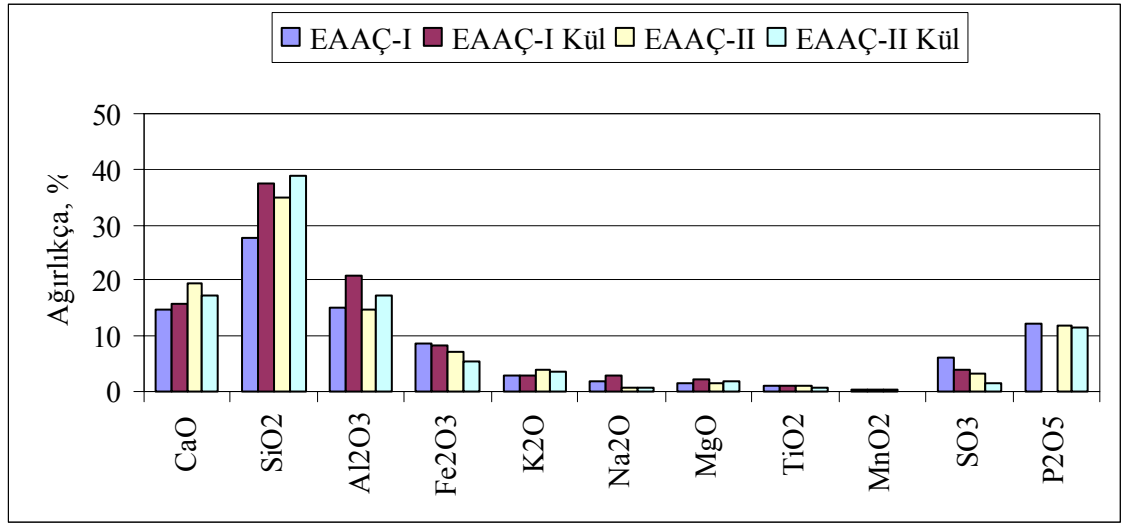


Şekil 4.3: Çamur örneklerinin üst ısı değerleri

Tablo 4.3: Çamur örneklerine ait XRF analiz sonuçları

	EAAÇ-I %	EAAÇ-I Kül %	EAAÇ-II %	EAAÇ-II Kül %
CaO	14.91	15.65	19.36	17.35
SiO <sub>2</sub>	27.82	37.29	34.79	38.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.18	20.75	14.78	17.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.77	8.39	7.28	5.42
K <sub>2</sub> O	2.99	3.02	3.87	3.72
Na <sub>2</sub> O	1.89	3.04	0.58	0.66
MgO	1.46	2.20	1.33	1.65
TiO <sub>2</sub>	0.95	0.94	0.92	0.74
MnO <sub>2</sub>	0.22	0.19	0.21	0.16
SO <sub>3</sub>	6.26	4.12	3.23	1.54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	12.06	-	11.71	11.55

Tablo 4.3 ve Şekil 4.4’de gerek miktarı gerekse kül içeriği yüksek olan evsel arıtma tesisi (EAAÇ-I ve EAAÇ-II) çamur örneklerinin ve küllerinin yarı kantitatif elementel analiz (XRF) sonuçları verilmiştir.

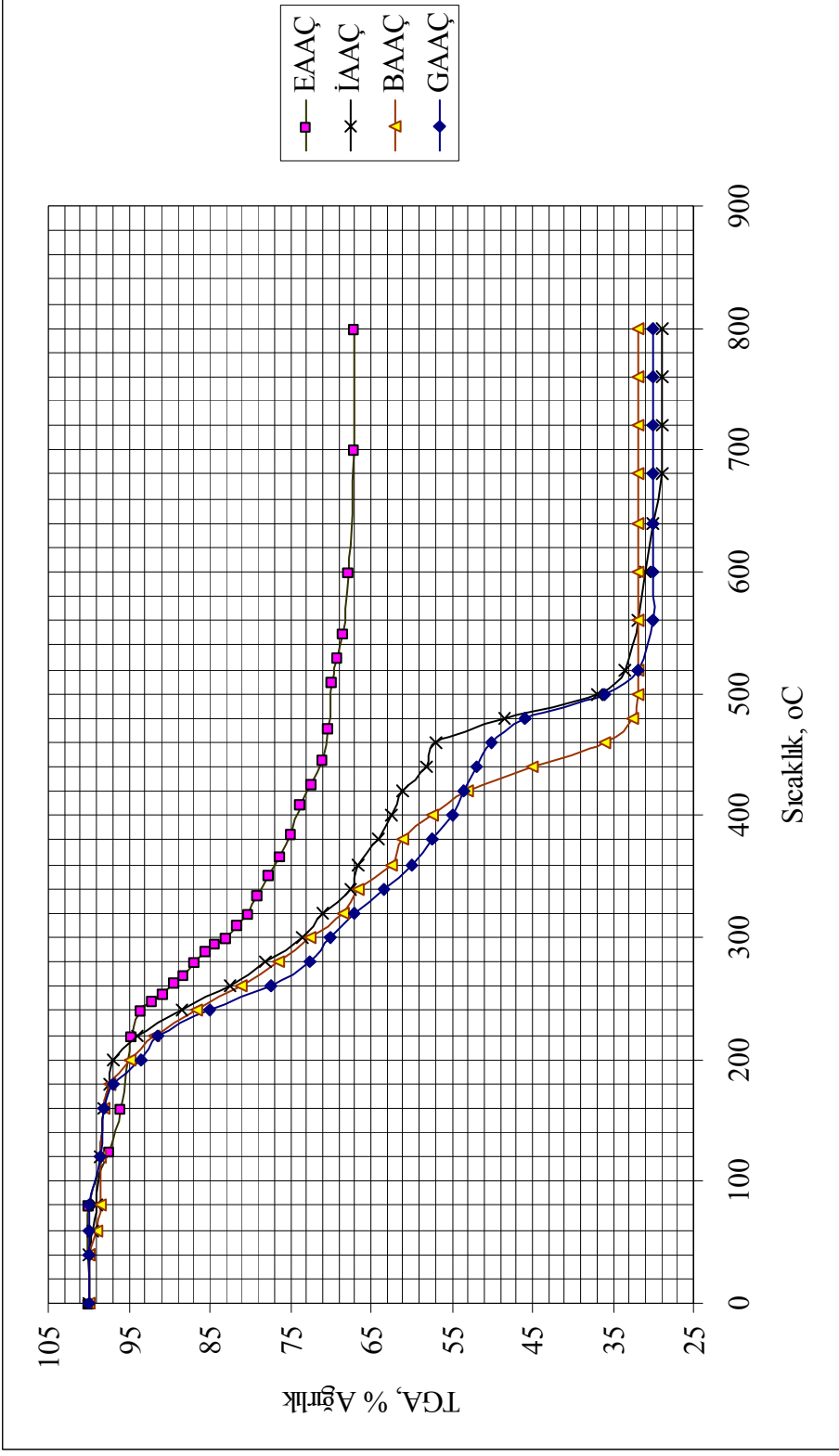


Şekil 4.4: Çamur örneklerine ait XRF analiz sonuçları

Sonuçlara göre EAAÇ-I ve EAAÇ-II örneklerinin temel bileşenlerinin % 27.82 – 38.89 SiO<sub>2</sub>, % 14.91 – 19.36 CaO, % 14.78 – 20.75 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 11.55 – 12.06 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve % 5.42 – 8.77 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu belirlenmiştir. Ancak yanma sırasında anorganik bileşenlerin büyük bir kısmının uçucu kül şeklinde uzaklaştığı ortadadır.

#### 4.2. Arıtma Çamurlarının Pirolizi

Optimum piroliz koşullarının belirlenmesine yönelik olarak arıtma çamurlarının karbonizasyonu Şekil 4.5’de görülen termogravimetrik analiz sonuçları da dikkate alınarak 350 – 600<sup>0</sup>C aralığında ve 2.5 – 5 – 10 – 20 <sup>0</sup>C/dakika lık ısıtma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Ham çamur numunelerinin doğrudan pirolizi sonrası sıcaklığa ve ısıtma hızına bağlı yüzey alanı gelişimi Tablo 4.4’de verilmiştir. Görüleceği gibi, evsel arıtma çamurlarının artan piroliz sıcaklığı ile spesifik yüzey alanları artmakta ve en yüksek spesifik yüzey alanı değerine 500 <sup>0</sup>C de ulaşılmaktadır.



Şekil 4.5: EAAÇ, GAAÇ, İAAÇ ve BAAÇ çamurlarının TGA analiz sonuçları

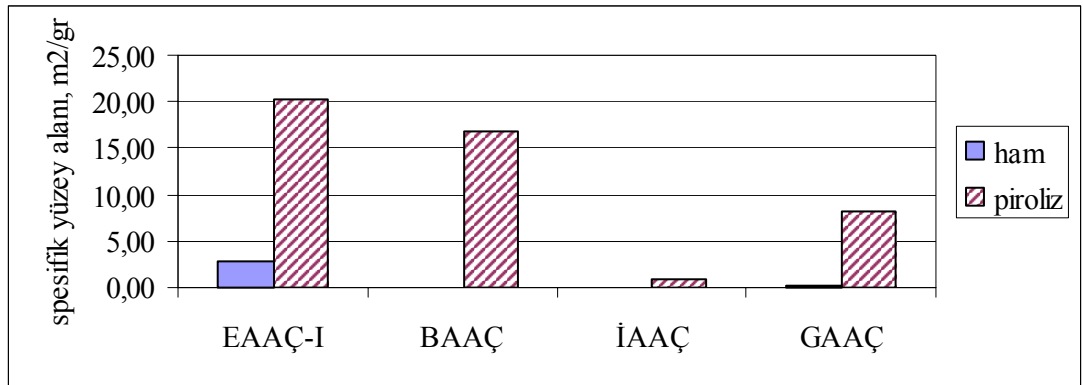
Karbonlaşma yatağının viskozitesinin değişiminde büyük rol oynayan ısıtma hızlarının (Arayıcı,1995; Arayıcı,1996) değişimiyle yürütülen piroliz sonrasında örneklerin spesifik yüzey alanı değerlerinin büyük farklılıklar göstermemesi, çalışma kolaylığı ve literatür bilgileri (Tay ve diğ., 2001) doğrultusunda ısıtma hızı 10<sup>0</sup>C/dakika olarak kararlaştırılmıştır.

Tablo 4.4: EAAÇ-I için optimum piroliz koşulları

Piroliz sıcaklığı, °C	Isıtma Hızı, °C/dakika	spesifik yüzey alanı, m <sup>2</sup> /gr
350	2.5	16.19
400	2.5	17.43
500	2.5	20.31
600	2.5	16.4
<hr/>		
500	2.5	20.31
500	5	24.66
500	10	26.32
500	20	30

Farklı ham çamur örneklerinin spesifik yüzey alanı değerleri ise EAAÇ-I, GAAÇ, BAAÇ ve İAAÇ çamurları için sırasıyla 2.73 m<sup>2</sup>/gr , 0.13 m<sup>2</sup>/gr, 0.1 m<sup>2</sup>/gr ve 0 m<sup>2</sup>/gr olarak belirlenmiştir.

Optimum piroliz koşullarında (500<sup>0</sup>C, 10<sup>0</sup>C/dakika ve 2 saat bekleme zamanı) evsel ve endüstriyel arıtma çamurlarının, ham ve piroliz ürünü koklarının yüzey alan değerleri Şekil 4.6'dan izlenebilir.



Şekil 4.6: Ham çamur ve piroliz kokunun spesifik yüzey alanı değişimleri

Arıtma çamurlarının piroliz ürünü, koklaşmış materyalin yüzey alanını geliştirmek için RAAÇ-I örneğine Lewi's asitlerden çinko klorür (ZnCl<sub>2</sub>), alüminyum klorür (AlCl<sub>3</sub>) ve demir (III) klorür (FeCl<sub>3</sub>) ve ayrıca çamur şartlandırılmasında kullanılan alum (Al<sub>2</sub>

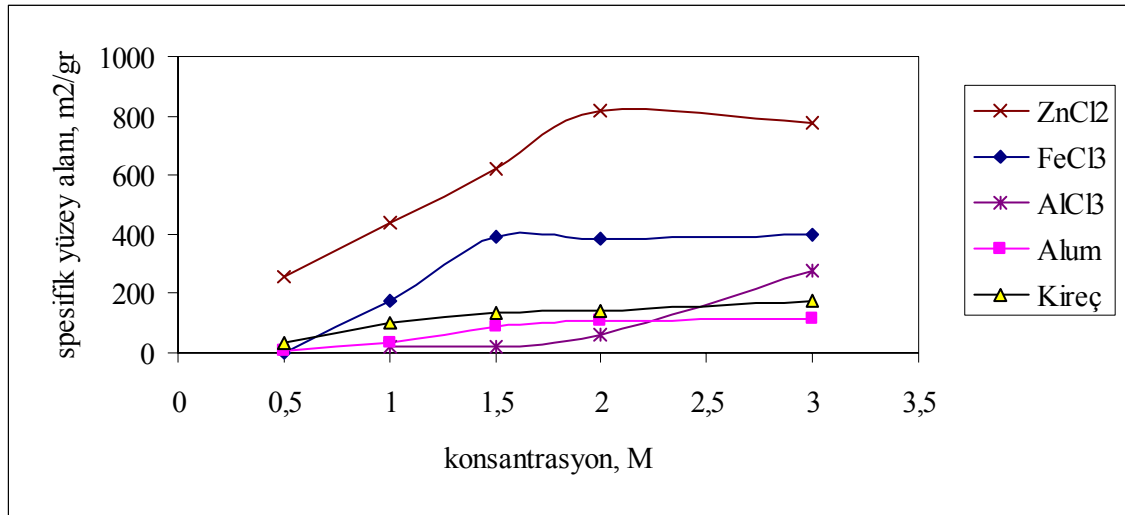


(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) ve kireç (Ca(OH)<sub>2</sub>)'in farklı konsantrasyonlarda katılmasıyla optimum koşullarda gerçekleştirilen piroliz sonrası bulunan yüzey alanları Tablo 4.5 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.5 Arıtma çamurlarının pirolizinde farklı katkıların yüzey alanına etkisi

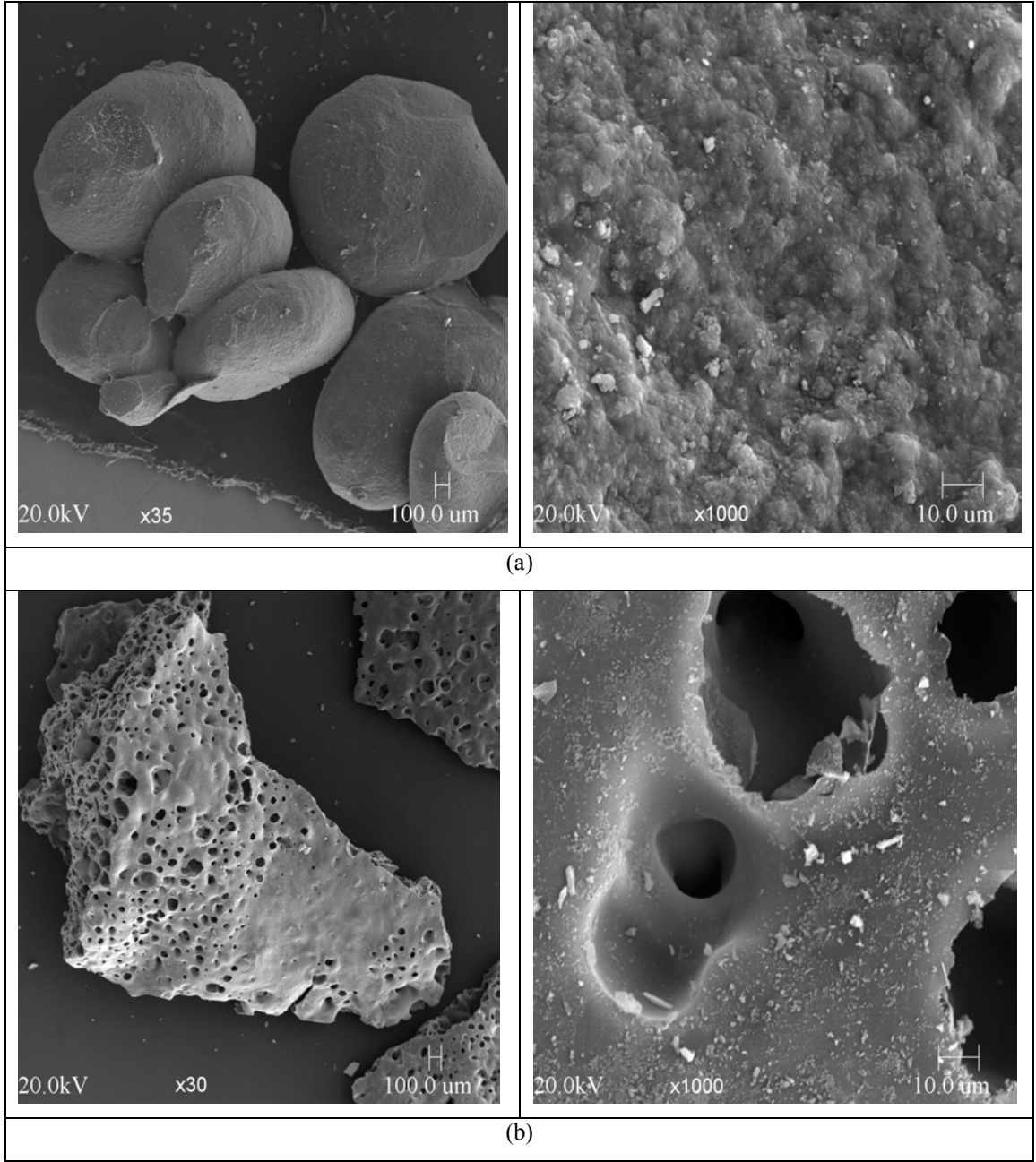
Spesifik yüzey alanı, m <sup>2</sup> /gr					
Konsantrasyon	0,5 M	1,0 M	1,5 M	2,0 M	3,0 M
ZnCl <sub>2</sub>	255.34	438.73	624.2	814.48	778.79
FeCl <sub>3</sub>	2.84	178.11	394.3	384.2	402.12
AlCl <sub>3</sub>	-	22.91	20.95	60.32	280.06
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O (Alum)	8.33	35.18	88.18	109	117.3
Ca(OH) <sub>2</sub>	36.57	101	134.42	143.5	178

Yüksek karbon oranı içeren rakı endüstrisi arıtma çamurunun (RAAÇ-1) pirolizinde Lewi's asitlerin yüzey alanının gelişimini arttırdığı, çamur şartlandırma kimyasallarının ise yüzey alanının gelişiminde dikkate değer bir katkı sağlamadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.7: Arıtma çamurlarının pirolizinde farklı katkıların yüzey alanına etkisi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile araştırılan (RAAÇ-I, 814.48 m<sup>2</sup>/gr) örneğinin yüzey yapısı, herhangi bir işlem uygulanmamış ham hali ile karşılaştırmalı olarak Şekil 4.8'de verilmiştir. Piroliz kokunun fotoğraflarında (Şekil 4.8.b) farklı boyut ve şekillerde gözeneklerin olduğu, büyük gözeneklerin duvar yüzeylerinde daha küçük gözeneklerin bulunduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.8: Ham çamur(a) ve piroliz kokunun (b) SEM mikrofotografaları (x30, x1000)

ZnCl<sub>2</sub> katkısının en yüksek yüzey alanı vermesi nedeniyle EAAÇ-I, BAAÇ, İAAÇ, GAAÇ, RAAÇ-I ve RAAÇ-II örneklerine değişik konsantrasyonlarda ZnCl<sub>2</sub> ilavesi ile optimum koşullarda yapılan pirolizlerde, spesifik yüzey alan değişimleri Tablo 4.6 ve Şekil 4.9'da verilmiştir.

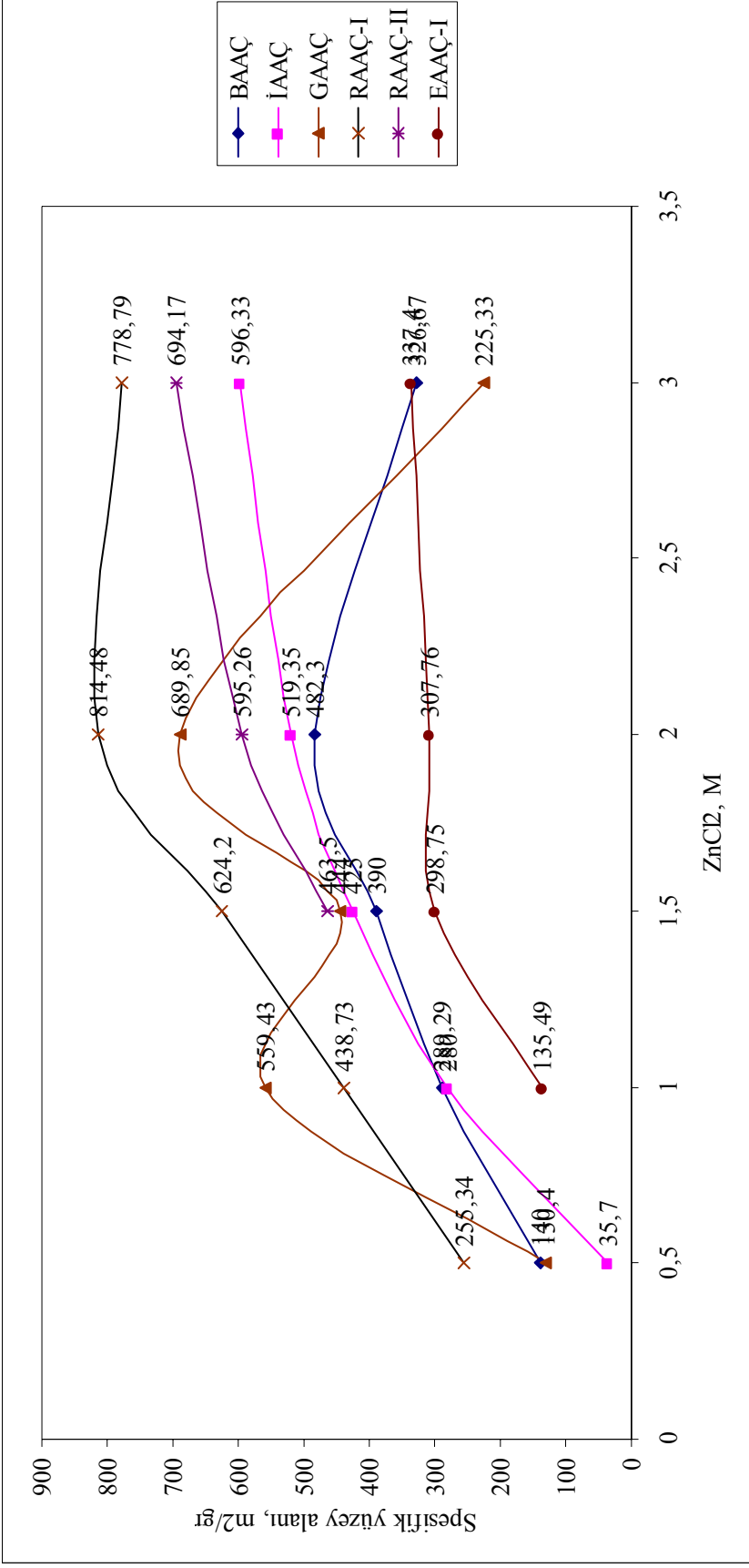
Tablo 4.6: ZnCl<sub>2</sub> katkısıyla spesifik yüzey alan değişimi

Spesifik yüzey alanı, m <sup>2</sup> /gr					
	0.5 M ZnCl <sub>2</sub>	1.0 M ZnCl <sub>2</sub>	1.5 M ZnCl <sub>2</sub>	2.0 M ZnCl <sub>2</sub>	3.0 M ZnCl <sub>2</sub>
<b>EAAÇ-I</b>	-	135.49	298.75	307.76	337.4
<b>BAAÇ</b>	140	289.29	390	482.3	326.67
<b>İAAÇ</b>	35.7	280	425	519.35	596.33
<b>GAAÇ</b>	130.4	559.43	444	689.85	225.33
<b>RAAÇ-I</b>	255.34	438.73	624.2	814.48	778.79
<b>RAAÇ-II</b>	-	-	463.5	595.26	694.17

Ham çamurlar için elde edilen spesifik yüzey alanı değerlerinin düşük olmasına rağmen, 2.0 M ve 3.0 M ZnCl<sub>2</sub> ilavesi ile yapılan denemelerde yüzey alanlarını 814.48 m<sup>2</sup>/gr ve 778.79 m<sup>2</sup>/gr değerlerine ulaştığı gözlenmektedir.

#### 4.2.1. Kokun Adsorpsiyon Kapasitesi

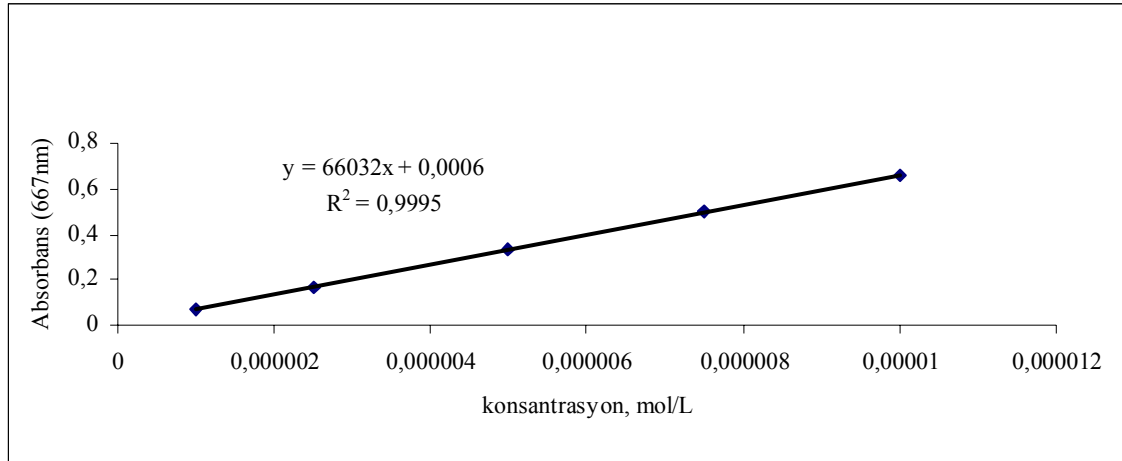
Arıtma çamurlarının pirolizi ile elde edilen kok ürünlerin gelişen spesifik yüzey alanlarının adsorpsiyon kapasiteleri, metilen mavisi, fenol ve p-nitrofenol çözeltileri ile belirlenmiştir.



Şekil 4.9: Aritma çamurlarının pirolizinde, ZnCl<sub>2</sub> aktivasyonu ile spesifik yüzey alanının değişimi

### Metilen Mavisi Adsorpsiyonu

Metilen mavisi çözeltisinin standart kalibrasyon eğrisi Şekil 4.10'da verilmiştir.  $1 \times 10^{-5}$  –  $1 \times 10^{-6}$  M derişim aralığında çizilen kalibrasyon eğrisinin korelasyon katsayısı ( $R^2=0.9995$ ) sonuçların yeterli güvenilirlikte olduğunu göstermektedir.



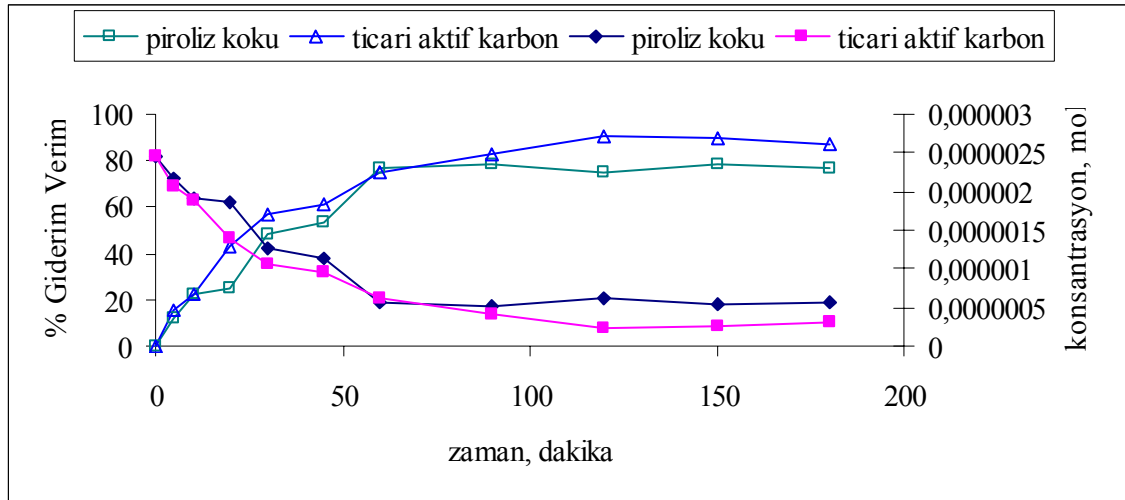
Şekil 4.10: Metilen mavisi adsorpsiyonunda standart kalibrasyon eğrisi

Aktif karbon ve RAAÇ-I piroliz kokuna ait adsorpsiyon değerleri ve giderim verimleri Tablo 4.7 ve Şekil 4.11'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4.7: Metilen mavisinin giderim verimleri

Zaman, Dakika	Piroliz Koku RAAÇ-I		Ticari Aktif Karbon	
	Konsantrasyon, mol/l ( $10^{-6}$ )	giderim verimi, %	Konsantrasyon, mol/l ( $10^{-6}$ )	giderim verimi, %
0	2.5	0	2.5	0
5	2.171	11.78	2.08	15.41
10	1.914	22.16	1.899	22.77
20	1.853	24.64	1.399	43.10
30	1.263	48.63	1.066	56.64
45	1.141	53.59	0.944	61.61
60	0.581	76.37	0.6.11	75.15
90	0.52	78.85	0.4.14	83.16
120	0.611	75.15	0.233	90.52
150	0.536	78.19	0.248	89.89
180	0.566	76.96	0.309	87.43

Metilen mavisinin piroliz koku üzerinde adsorpsiyonu 90 dakikada dengeye ulaşmış ve giderim verimi %78.85 olmuştur. Ticari aktif karbonda bu zaman sonunda giderimin %83 olduğu ancak adsorpsiyonun halen devam ettiği saptanmıştır.

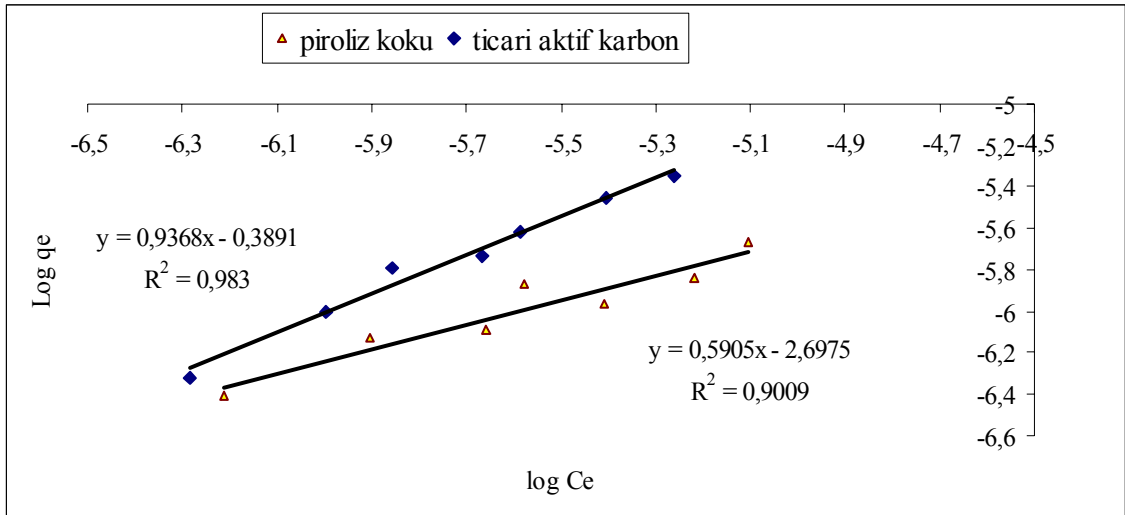


Şekil 4.11: Metilen mavisi adsorpsiyonu

Adsorpsiyon izotermi belirleme çalışmalarında metilen mavisinin gerek piroliz koku RAAÇ-I ve gerekse ticari aktif karbon üzerinde adsorpsiyonun Langmuir izotermine uygun olmadığı görülmüştür. Freundlich izoterm verileri ise Tablo 4.8 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Metilen mavisi ‘nin adsorpsiyonuna Freundlich izotermine uygulanması

Ticari aktif karbon						
Co mol/l ( $10^{-6}$ )	Ce mol/l ( $10^{-6}$ )	x mol/l ( $10^{-6}$ )	m gr	q mol/g ( $10^{-6}$ )	Log <sub>10</sub> Ce	Log <sub>10</sub> (qe)
1	0.52	0.48	0.1	0.48	-6.284	-6.31876
2	1.01	0.995	0.1	0.995	-5.99783	-6.00218
3	1.38	1.616	0.1	1.616	-5.85886	-5.79156
4	2.16	1.844	0.1	1.844	-5.66635	-5.73424
5	2.58	2.42	0.1	2.42	-5.58838	-5.61618
7.5	3.94	3.557	0.1	3.557	-5.40417	-5.44892
10	5.46	4.543	0.1	4.543	-5.26305	-5.34266
Piroliz koku RAAÇ-I						
Co mol/l ( $10^{-6}$ )	Ce mol/l ( $10^{-6}$ )	x mol/l ( $10^{-6}$ )	m gr	q mol/g ( $10^{-6}$ )	Log <sub>10</sub> Ce	Log <sub>10</sub> (qe)
1	0.612	0.38818	0.1	0.3882	-6.21337	-6.41097196
2	1.25	0.75212	0.1	0.7521	-5.90383	-6.12371276
3	2.19	0.81318	0.1	0.8132	-5.66019	-6.08981252
4	2.64	1.3589	0.1	1.359	-5.57821	-5.86682646
5	3.91	1.0867	0.1	1.087	-5.40746	-5.96387202
7.5	6.05	1.4514	0.1	1.451	-5.21835	-5.83820765
10	7.85	2.1493	0.1	2.149	-5.10509	-5.66771085



Şekil 4.12: Metilen mavisi adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uygulanması

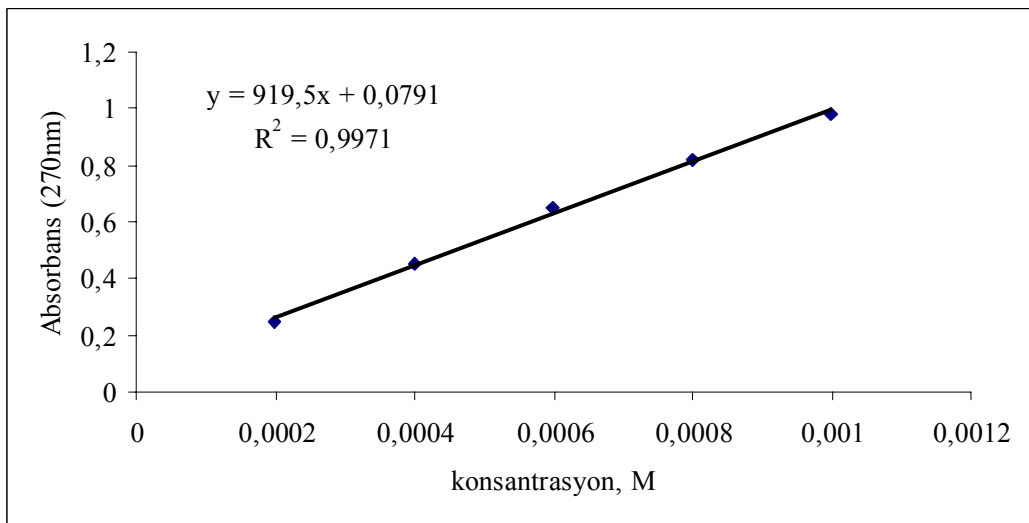
Şekil 4.12'den piroliz koku RAAÇ-I ve ticari aktif karbon örneği için elde edilen katsayılar aşağıdaki gibi bulunmuştur:

Piroliz koku:  $k_f = 0.002$ ,  $n = 1.693$  ve  $R^2 = 0.9009$

Ticari aktif karbon:  $k_f = 0.4082$ ,  $n = 1.064$  ve  $R^2 = 0.983$

#### Fenol Adsorpsiyonu

RAAÇ-I örneğinin pirolizi ile elde edilen kokun, fenol ( $C_6H_5OH$ ) adsorpsiyonu ile adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi yine ticari aktif karbon ile karşılaştırmalı olarak yürütülmüştür. Çalışmalarda kullanılan standart kalibrasyon eğrisi Şekil 4.13'de verilmiştir.



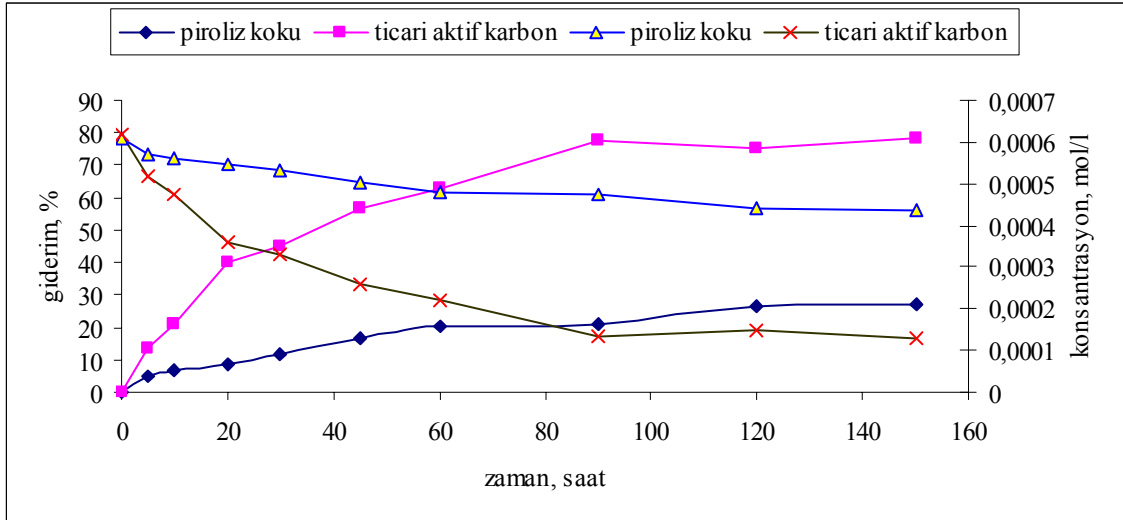
Şekil 4.13: Fenol ( $C_6H_5OH$ ) adsorpsiyonunda standart kalibrasyon eğrisi

Fenol adsorpsiyonunda, piroliz koku ve ticari aktif karbon ile elde edilen adsorpsiyon değerleri ve giderim verimleri Tablo 4.9 ve Şekil 4.14’de verilmiştir.

Tablo 4.9: Fenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) giderim verimleri

Zaman, dakika	Piroliz Koku RAAÇ-I		Ticari Aktif Karbon	
	Konsantrasyon, mol/l (10 <sup>-4</sup> )	giderim verimi, %	Konsantrasyon, mol/l (10 <sup>-4</sup> )	giderim verimi, %
0	6	0	6	0
5	5.709	4.85	5.176	13.73
10	5.589	6.85	4.73	21.17
20	5.469	8.84	3.588	40.20
30	5.306	11.56	3.294	45.09
45	5.013	16.45	2.587	56.87
60	4.773	20.44	2.218	63.04
90	4.741	20.98	1.347	77.54
120	4.393	26.78	1.489	75.18
150	4.36	27.33	1.315	78.08

Fenolün piroliz koku ile adsorpsiyonunda 120 dakika sonunda dengeye ulaşılmış ve ancak % 27 oranında giderim verimi elde edilmiştir. Ticari aktif karbon ile giderim %78 olmuştur.



Şekil 4.14: Fenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) adsorpsiyonu

Fenol için adsorpsiyon izotermelerinin belirlenmesinde Freundlich ve Langmuir izotermelerine uygunluğu araştırılmış Freundlich verileri, Tablo 4.10 ve Şekil 4.15’de Langmuir verileri ise Tablo 4.11 ve Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



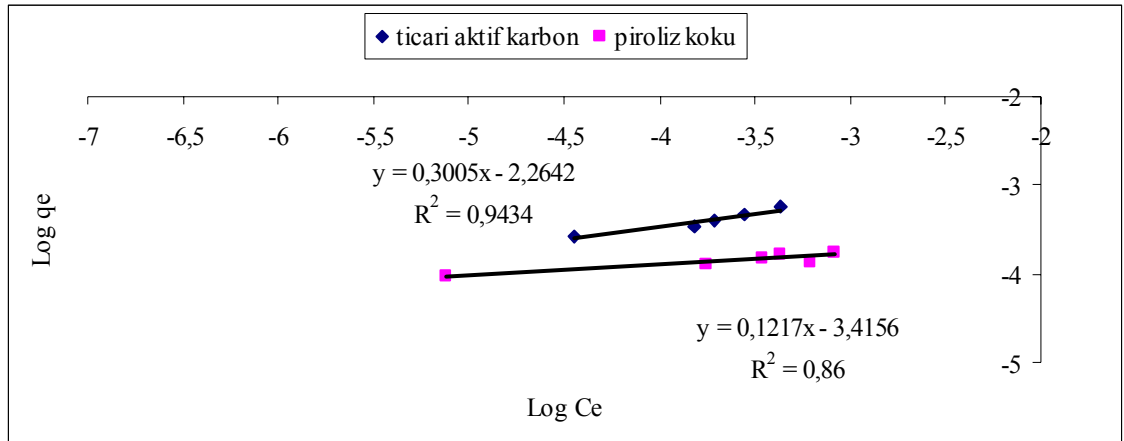
Tablo 4.10: Freundlich izoterm uygulanması

Piroliz koku RAAÇ-I						
Co mol/l (10 <sup>-4</sup> )	Ce mol/l (10 <sup>-4</sup> )	x mol/l (10 <sup>-4</sup> )	m gr	q mol/g (10 <sup>-4</sup> )	Log <sub>10</sub> Ce	Log <sub>10</sub> (qe)
1	0.0750	0.925	0.1	0.92	-5.1247	-4.033877
3	1.75	1.25	0.1	1.3	-3.757	-3.903043
5	3.49	1.51	0.1	1.5	-3.45718	-3.821006
6	4.36	1.64	0.1	1.6	-3.36052	-3.78515
7.5	6.133	1.367	0.1	1.4	-3.21235	-3.86413
10	8.275	1.725	0.1	1.7	-3.08222	-3.763249
Ticari aktif karbon						
Co mol/l (10 <sup>-4</sup> )	Ce mol/l (10 <sup>-4</sup> )	x mol/l (10 <sup>-4</sup> )	m gr	q mol/g (10 <sup>-4</sup> )	Log <sub>10</sub> Ce	Log <sub>10</sub> (qe)
3	0.3578	2.642	0.1	2.6	-4.44636	-3.57803
5	1.5106	3.489	0.1	3.5	-3.82085	-3.45725
6	1.9565	4.044	0.1	4	-3.70852	-3.39324
7.5	2.7613	4.739	0.1	4.7	-3.55889	-3.32434
10	4.3274	5.673	0.1	5.7	-3.36378	-3.24621

Fenol adsorpsiyonunda Freundlich izotermi katsayıları aşağıdaki gibi bulunmuştur:

Piroliz koku :  $k_f = 0.00038$  ,  $n = 8.2169$  ve  $R^2 = 0.86$

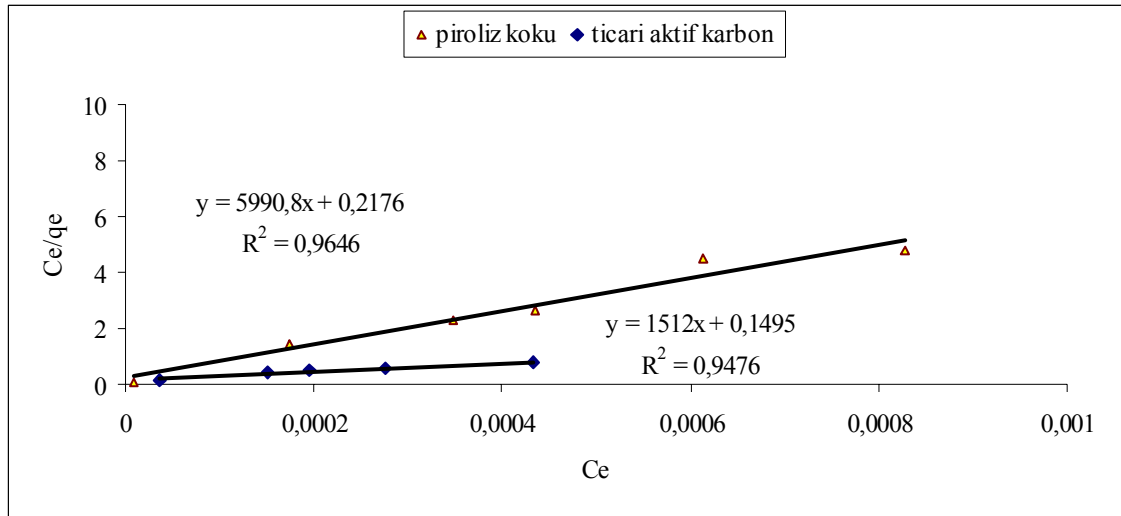
Ticari aktif karbon :  $k_f = 0.00544$  ,  $n = 3.3277$  ve  $R^2 = 0.9434$ .

Şekil 4.15: Fenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) adsorpsiyonu için Freundlich izotermi

Langmuir izoterm uygulaması aşağıda görülmektedir:

Tablo 4.11: Fenol için Langmuir izoterm uygulaması

Piriliz koku RAAÇ-I					
Co mol/l (10 <sup>-4</sup> )	Ce mol/l (10 <sup>-4</sup> )	x mol/l (10 <sup>-4</sup> )	m, g	qe mol/gr (10 <sup>-4</sup> )	Ce/qe
1	0.075	0.925	0.1	0.925	0.081129
3	1.75	1.25	0.1	1.25	1.399739
5	3.49	1.51	0.1	1.51	2.311127
6	4.36	1.64	0.1	1.64	2.658488
7.5	6.13	1.37	0.1	1.37	4.485186
10	8.28	1.72	0.1	1.72	4.797604
Ticari aktif karbon					
Co mol/l (10 <sup>-4</sup> )	Ce mol/l (10 <sup>-4</sup> )	x mol/l (10 <sup>-4</sup> )	m, g	qe mol/gr (10 <sup>-4</sup> )	Ce/qe
3	0.358	2.64	0.1	2.64	0.135419
5	1.51	3.49	0.1	3.49	0.432913
6	1.96	4.04	0.1	4.04	0.483862
7.5	2.76	4.74	0.1	4.74	0.582707
10	4.33	5.67	0.1	5.67	0.762845

Şekil 4.16: Fenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) için Langmuir izotermi uygulaması

Fenol adsorpsiyonunun Langmuir izoterm uygulaması sonucu bulunan katsayılar ise;

Piriliz koku :  $Q = 1.669$  ,  $b = 2.753$  ve  $R^2 = 0.9646$

Ticari aktif karbon :  $Q = 6.61$  ,  $b = 1.012$  ve  $R^2 = 0.9476$

olarak bulunmuştur.

*p-nitro fenol Adsorpsiyonu*

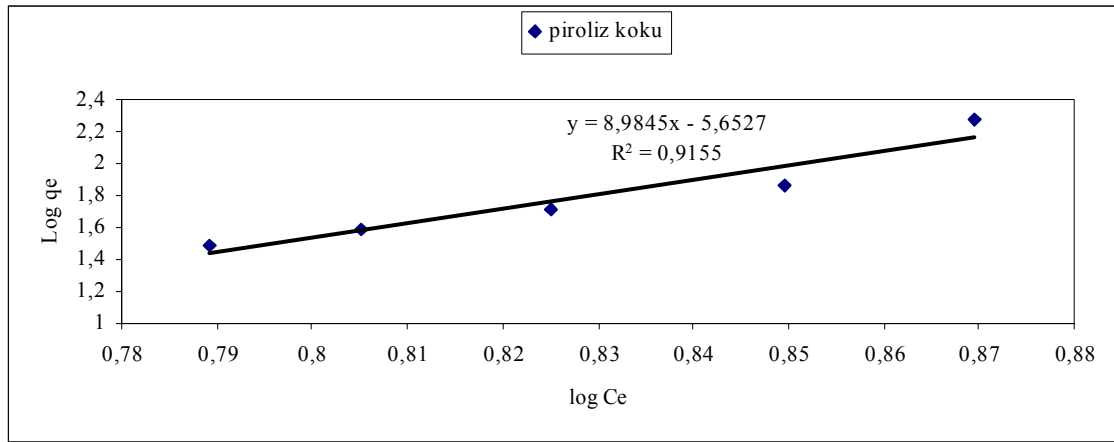
RAAÇ-I örneği ile elde edilen piroliz kokunun p-nitrofenol için adsorpsiyon izotermelerinin belirlenmesinde Freundlich ve Langmuir izotermelerine uygunluğu araştırılmış, Freundlich verileri, Tablo 4.12 ve Şekil 4.17’de Langmuir verileri ise Tablo 4.13 ve Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12: p-nitrofenol için Freundlich izoterm uygulaması

Co mg/l	Ce mg/l	x mg/l	m gr	q mg/g	Log <sub>10</sub> Ce	Log <sub>10</sub> (qe)
9.26	7.40	1.85	0.002	185.68	0.8694	2.2687
9.26	7.07	2.18	0.006	72.89	0.8496	1.8626
9.26	6.68	2.57	0.01	51.48	0.8251	1.7116
9.26	6.38	2.87	0.015	38.33	0.8051	1.5836
9.26	6.15	3.10	0.02	31.05	0.7892	1.4920

p-nitro fenol adsorpsiyonunda Freundlich izotermi katsayıları aşağıdaki gibi bulunmuştur:

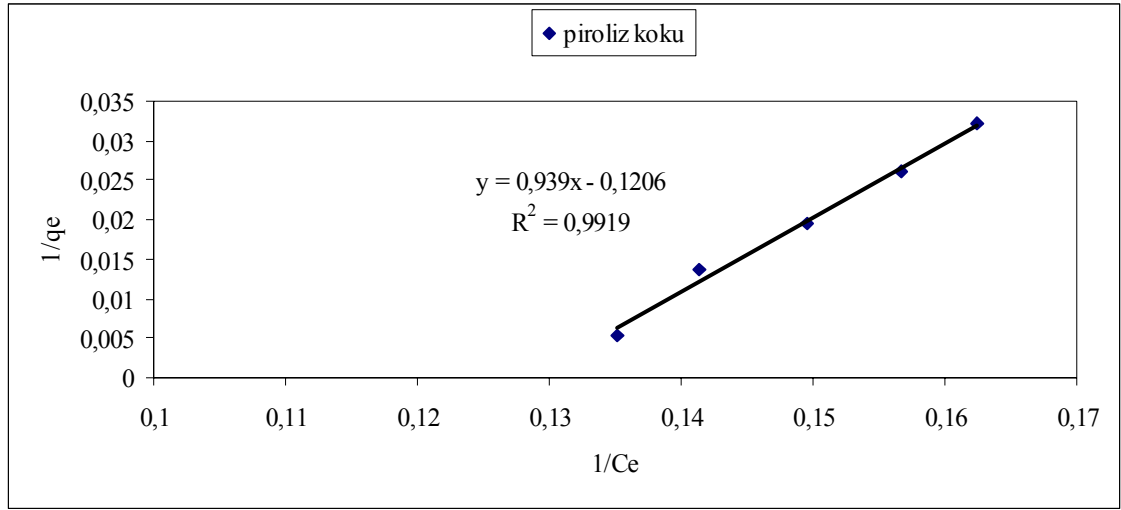
Piroliz koku :  $k_f = 0.0000022$  ,  $n = 0.1113$  ve  $R^2 = 0.915$



Şekil 4.17: p-nitro fenol adsorpsiyonu için Freundlich izotermi

Tablo 4.13: p-nitro fenol için Langmuir izoterm uygulaması

Co mg/l	Ce mg/l	x mg/l	m, g	qe mg/gr	1/Ce	1/qe
9.26	7.40	1.85	0.002	185.68	0.1350	0.00539
9.26	7.07	2.18	0.006	72.89	0.1413	0.01372
9.26	6.68	2.57	0.01	51.48	0.1495	0.01942
9.26	6.38	2.87	0.015	38.33	0.1566	0.02608
9.26	6.15	3.10	0.02	31.05	0.1624	0.03221



Şekil 4.18: p-nitro fenol adsorpsiyonu için Langmuir izotermi

p-nitro fenol adsorpsiyonunun Langmuir izoterm uygulaması sonucu bulunan katsayılar ise; Piroliz koku :  $Q = -8.2918$  ,  $b = -0.1284$  ve  $R^2 = 0.9919$

Tablo 4.14 : Freundlich ve Langmuir izoterm sabitleri

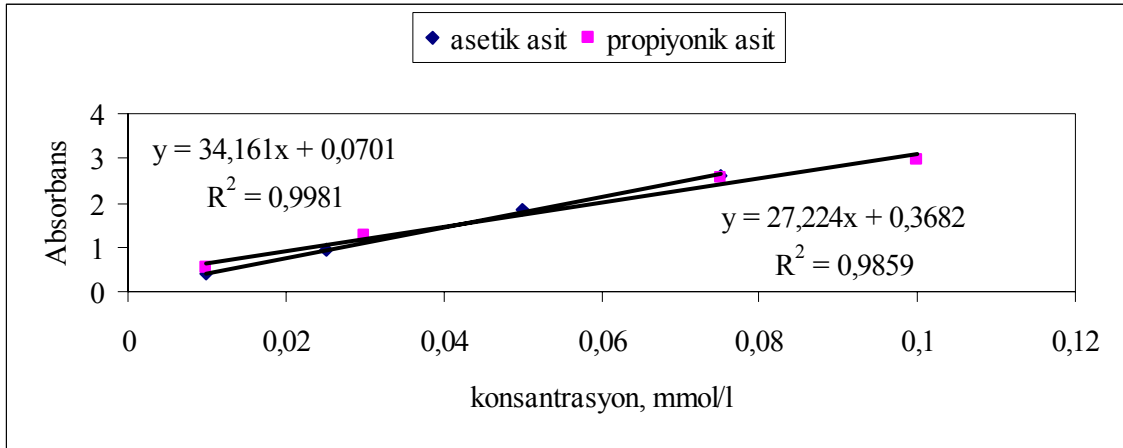
Adsorbat	Adsorbent	Freundlich			Langmuir		
		$k_f$	$n$	$R^2$	$Q$	$b$	$R^2$
Metilen Mavisi	Piroliz koku	0.002	1.693	0.9009	2.85	0.229	0.7501
	Ticari aktif karbon	0.4082	1.064	0.983	25.77	0.0398	0.354
Fenol	Piroliz koku	0.00038	8.2169	0.86	1.669	2.753	0.9646
	Ticari aktif karbon	0.00544	3.3277	0.9434	6.61	1.012	0.9476
p-nitro fenol	Piroliz koku	0.0000022	0.1113	0.915	-8.2918	-0.1284	0.9919

### 4.3. Piroliz Kokunun Uygulama Alanları

Arıtma çamurlarının pirolizi ile elde edilen piroliz kokunun (RAAÇ-I) uygulama alanlarının araştırılmasına yönelik olarak bu ürünlerin uçucu yağ asitlerinin gideriminde ve tekstil atıksularının arıtımında kullanımları ile ilgili çalışma sonuçları aşağıda verilmiştir.

#### 4.3.1. Uçucu Yağ Asitlerin Giderimi

Çalışmalarda kullanılan asetik ve propiyonik asitlerine ait standart kalibrasyon eğrileri Şekil 4.19'da verilmiştir.

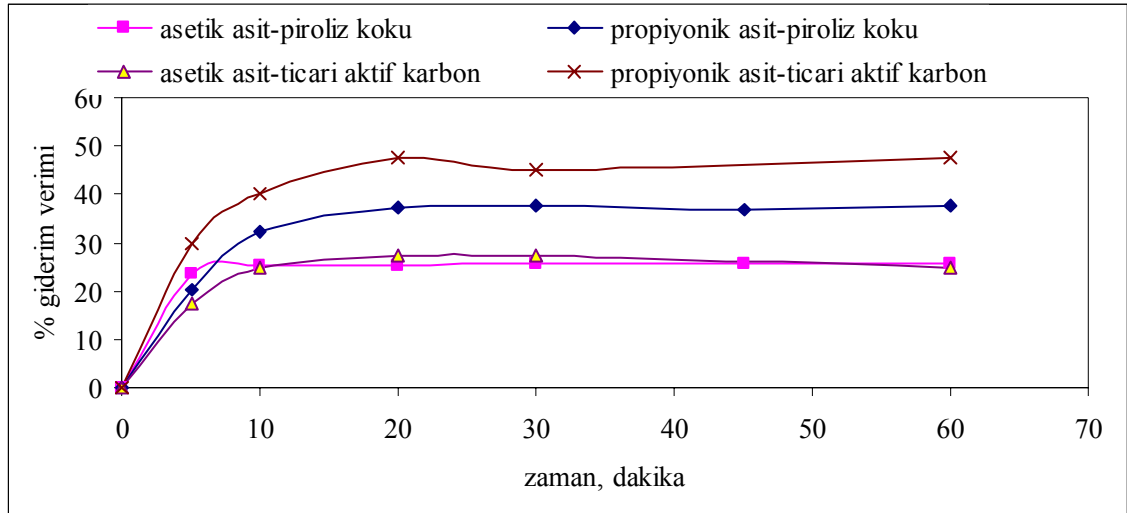


Şekil 4.19: Asetik asit ve propiyonik asit adsorpsiyonunda kullanılan standart kalibrasyon eğrileri

Bu asitlere ait giderim sonuçları ise Tablo 4.15 ve Şekil 4.20' den izlenebilir. Uçucu yağ asitlerinin gideriminde piroliz koku ile asetik asit için 10 dakikada %29 ile dengeye ulaşılırken ticari aktif karbonda bu sürede % 25 giderim sağlanmış ve dengeye % 26 ile 20 dakikada ulaşılmıştır (Şahin ve diğ.,2003).

Tablo 4.15: Asetik ve propiyonik asitin giderim verimleri

Zaman, dakika	Piroliz Koku RAAÇ-I		Ticari Aktif Karbon	
	Asetik asit, %	Propiyonik asit, %	Asetik asit, %	Propiyonik asit, %
0	0	0	0	0
5	27.35	20.08	17.52	29.83
10	28.98	32.32	24.57	41.34
20	28.99	37.22	26.44	47.52
30	29.18	37.71	27.51	45.13
45	29.28	36.73	-	-
60	29.11	37.46	25.75	47.46



Şekil 4.20: Asetik ve propiyonik asit adsorpsiyonu

Her iki asit için Freundlich izoterm uygulaması Tablo 4.16 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.16: Piroliz koku için Freundlich izoterm uygulaması

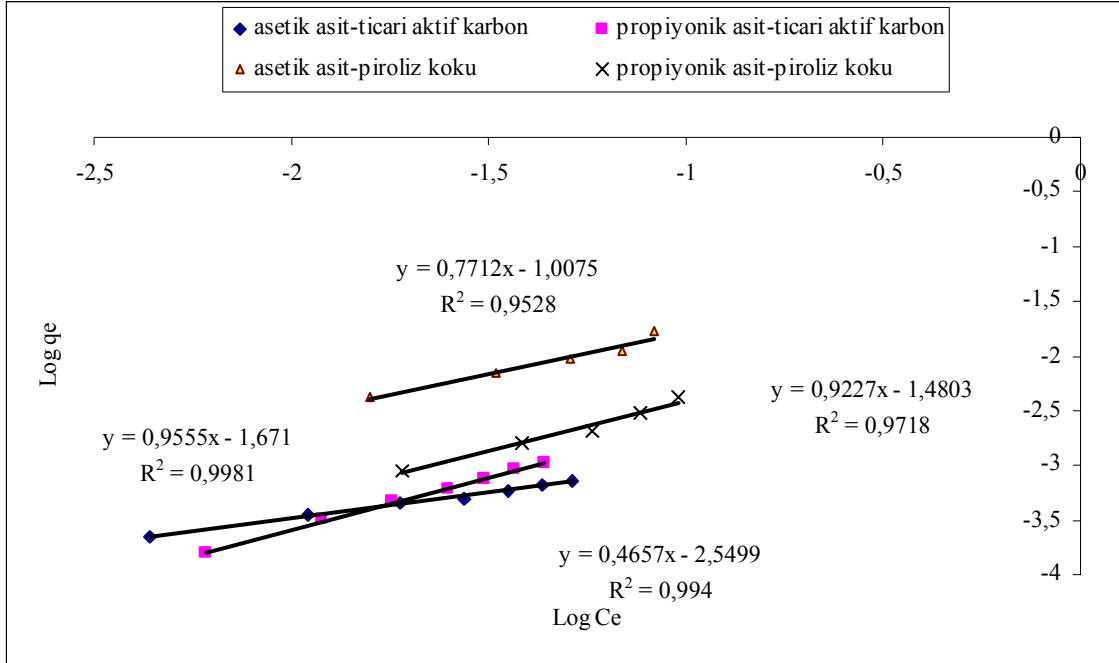
Asetik asit						
$C_0$	$C_e$	$X$ (mol/l)	$m$ (g)	$q$ (mol/gr)	$\text{Log}_{10} C_e$	$\text{Log}_{10} (qe)$
0.02	0.015805	0.004195	0.1	0.004195428	-1.80122	-2.37722
0.04	0.033076	0.006924	0.1	0.00692427	-1.48049	-2.15963
0.06	0.050689	0.009311	0.1	0.009310617	-1.29508	-2.03102
0.08	0.069044	0.010956	0.1	0.010956354	-1.16088	-1.96033
0.1	0.082948	0.017052	0.1	0.017051609	-1.08119	-1.76823
Propiyonik asit						
$C_0$	$C_e$	$X$ (mol/l)	$m$ (g)	$q$ (mol/gr)	$\text{Log}_{10} C_e$	$\text{Log}_{10} (qe)$
0.02	0.019093	0.000907	0.1	0.000906553	-1.71912	-3.04261
0.04	0.038385	0.001615	0.1	0.001614752	-1.41584	-2.79189
0.06	0.057949	0.002051	0.1	0.002051131	-1.23696	-2.68801
0.08	0.076921	0.003079	0.1	0.003078901	-1.11395	-2.5116
0.1	0.095732	0.004268	0.1	0.004268293	-1.01894	-2.36975

Piroliz koku ve ticari aktif karbon için Freundlich izoterm katsayıları Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17: Freundlich izoterm katsayıları

	$K_f$	$n$	$R^2$
Piroliz koku RAAÇ-I			
Asetik Asit	0.098	1.2966	95.28
Propiyonik Asit	0.033	1.0837	97.18
Ticari aktif karbon			
Asetik Asit	0.003	2.1473	99.4
Propiyonik Asit	0.002	1.0465	99.81

Bilindiği gibi, izoterm uygulamalarında, n değerinin 1 ile 10 arasında olması uygun bir adsorpsiyonun olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.21: Asetik asit ve propiyonik asit adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm uygulamaları eğrileri

#### 4.3.2. Endüstriyel Atıksuların Arıtılabilirliği

Arıtma çamurundan (RAAÇ-I) elde edilen piroliz kokunun endüstriyel atıksu arıtımında uygulanabilirliği, bir tekstil boyama ve yıkama tesisi atıksuyunun aerobik biyolojik arıtımında KOİ ve renk parametreleri izlenerek de araştırılmıştır.

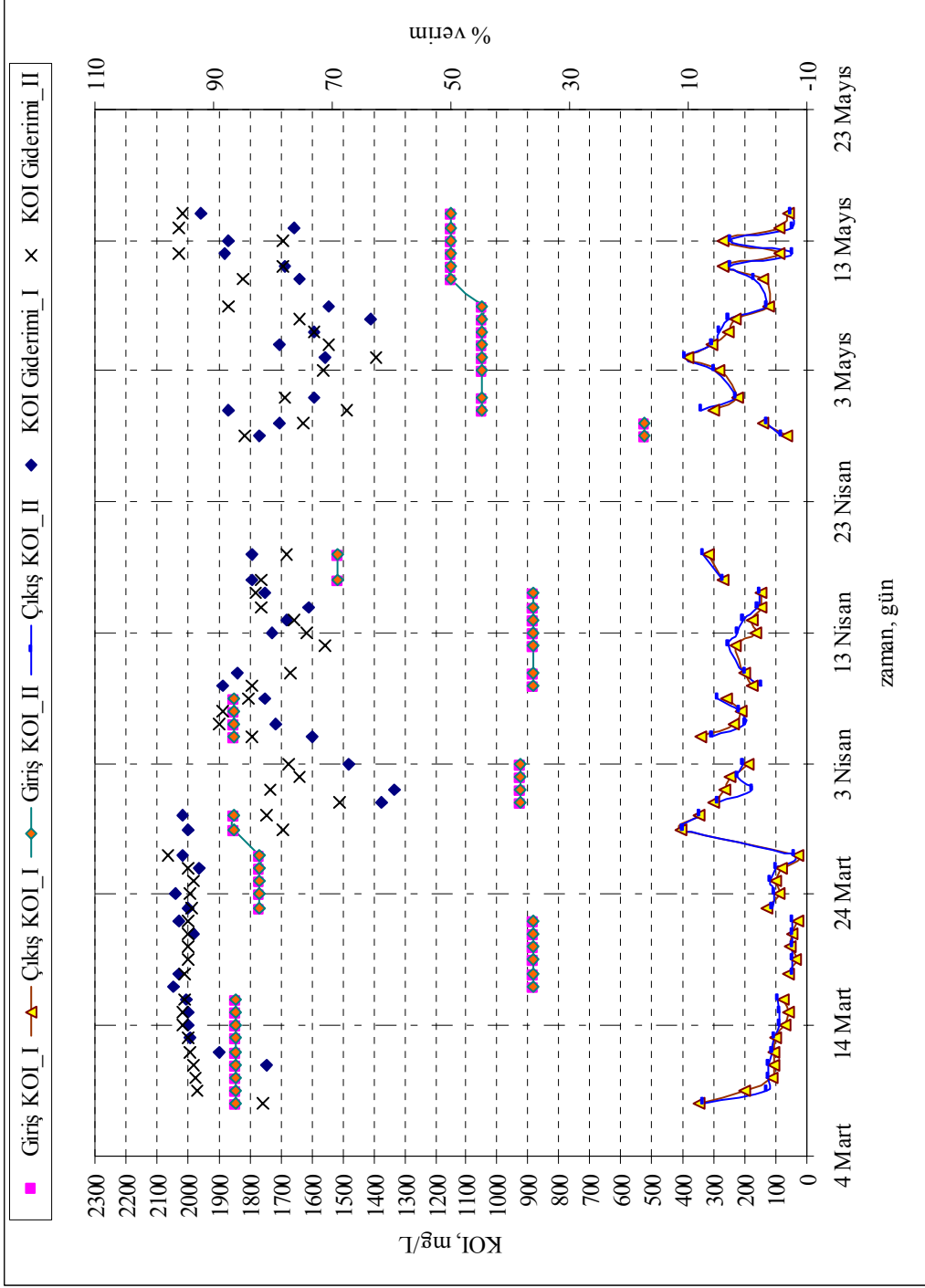
Tablo 3.1’de karakterizasyonu verilen atıksuyun 10 günlük çamur yaşı ( $\theta$ ) ve  $F/M=0.5$  –  $1.0$  oranlarında laboratuvar ölçekli reaktörlerde aerobik arıtımına ait KOİ giderimi Şekil 4.22’de verilmiştir. Belirli bir periyotta işletilen iki kesikli reaktörde atıksuyun arıtılabilirliği, KOİ, AKM, UAKM, pH, sıcaklık ve RES parametreleri ile izlenmiştir.  $F/M=0.5$  olması halinde çıkış suyu  $KOİ=175 - 250$  mg/l ve arıtım verimi % 75 - 90,  $F/M=1.0$  olduğunda ise  $KOİ=250 - 400$  mg/l ve verim % 65 - 85 olmuştur.

Değişen miktarlarda (1000 – 1500 – 2000 mg/L) piroliz kokunun (RAAÇ-I) ilavesi ile Bölüm 3.5.2’de detaylı olarak tanımlanan ve eş zamanlı olarak işletilen 4 kesikli

reaktörde gerçekleştirilen ve  $F/M=1.0$  olan arıtımın, izleme parametrelerinden KOİ değişimleri Tablo 4.18 – 4.19 – 4.20’de ve giderim verimleri Tablo 4.21’de verilmiştir. Üç dalga boyuna ait RES değişimleri ise Tablo 4.22 – 4.24’de verilmiştir. Renk ve KOİ adsorpsiyonlarının Freundlich izoterm uygulamaları da Tablo 4.25 ve Şekil 4.35’de gösterilmiştir.

Her iki parametrenin farklı işletme koşullarında giderim değerleri ise Şekil 4.23 – 4.30’ dan izlenmektedir.



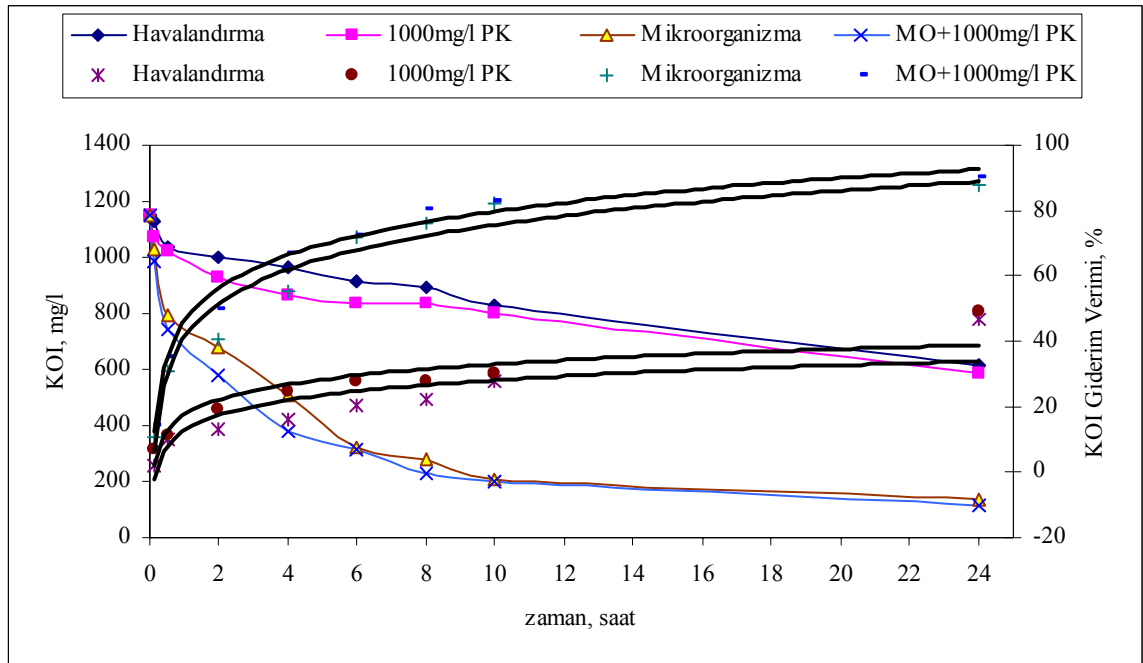


Şekil 4.22: Aerobik kesikli reaktörlerde tekstil boyama prosesine ait atksuların arıtabilirliği ( $F/M=0.5-1.0$ ,  $\theta=10$  gün)

Tablo 4.18: Reaktörlerde 1000 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI değişimi

KOI, mg/l				
Zaman	Havalandırma	Piroliz Koku	Mikroorganizma	MO+1000 mg/l Piroliz Koku
0	1150	1150	1150	1150
0.1	1125.3	1073	1028	984
0.5	1035	1020	794.3	745
2	999.2	928	680.8	575.3
4	964.5	863	510.6	377
6	914.1	833.7	324.7	317.8
8	895.2	833.3	277.4	225
10	832.1	800	206.5	200.2
24	611	586	138.7	112

Tekstil endüstrisi atıksularının Kesikli aerobik biyolojik reaktörlerde arıtıldığı sistemde 1000 mg/l piroliz koku katkısı ile 6 saat sonunda %70 KOI giderim verimi elde edilmiştir.

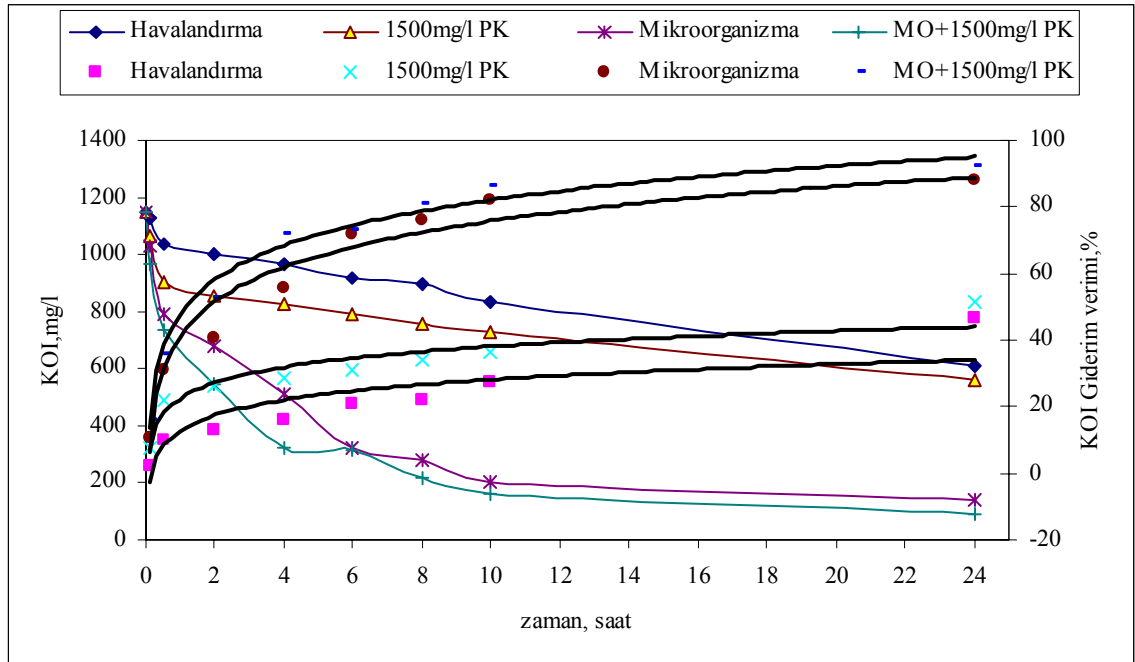


Şekil 4.23 : Reaktörlerde 1000 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI giderimi

Tablo 4.19: Reaktörlerde 1500 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI değişimi

KOI, mg/l				
Zaman	Havalandırma	Piroliz Koku	Mikroorganizma	MO+1500 mg/l Piroliz Koku
0	1150	1150	1150	1150
0.1	1125.3	1064	1028	968
0.5	1035	900	794.3	737.6
2	999.2	851	680.8	548.5
4	964.5	822.7	510.6	321.5
6	914.1	794.3	324.7	312.1
8	895.2	756.5	277.4	217.5
10	832.1	728.1	206.5	160.8
24	611	557.9	138.7	89.8

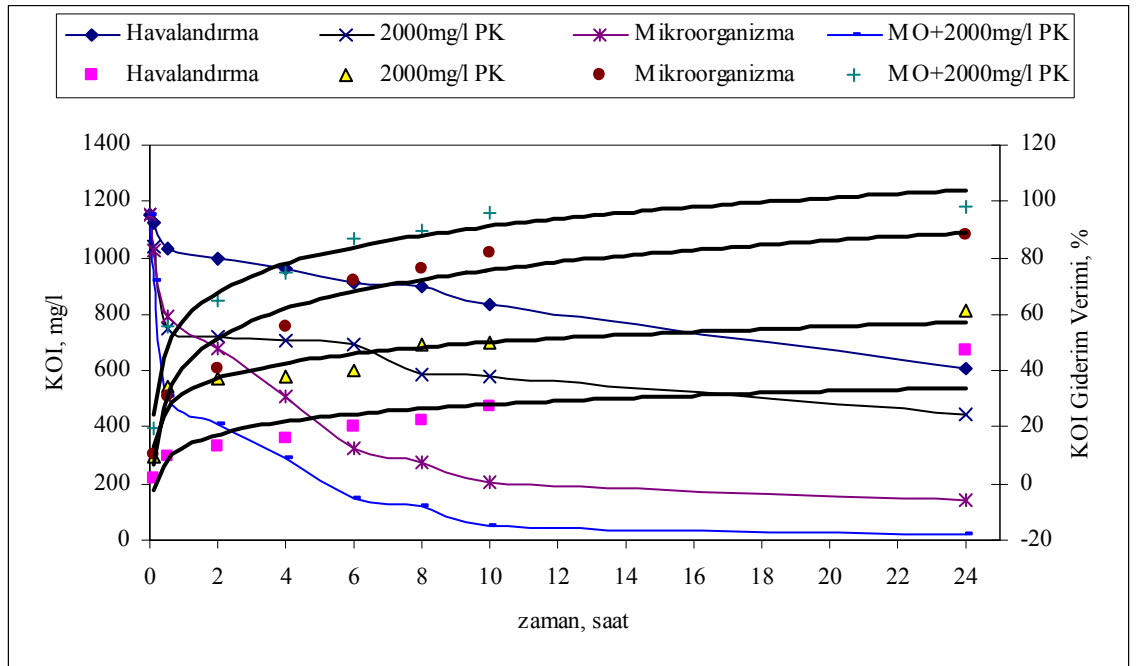
Sistemde 1500 mg/l ve 2000 mg/l piroliz koku katkısı ile ise, 6 saat sonunda %73 ve %86 KOI giderim verimi elde edilmiştir.



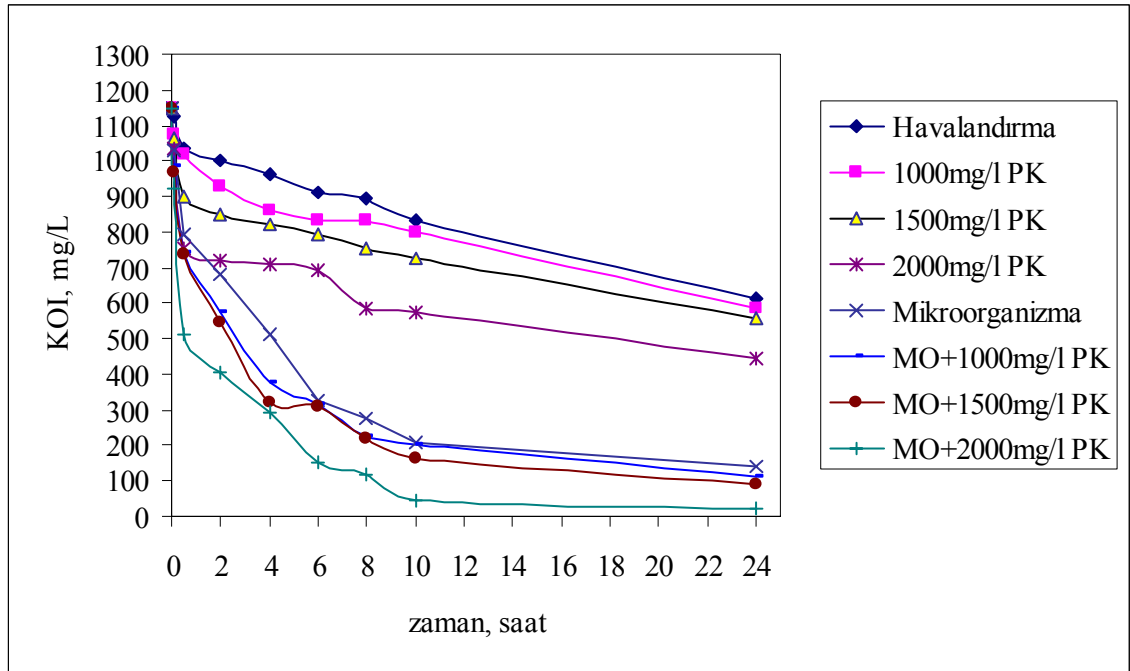
Şekil 4.24 : Reaktörlerde 1500 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI giderimi

Tablo 4.20: Reaktörlerde 2000 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI değişimi

KOI, mg/l				
Zaman	Havalandırma	Piroliz Koku	Mikroorganizma	MO+2000 mg/l Piroliz Koku
0	1150	1150	1150	1150
0.1	1125.3	1036	1028	922
0.5	1035	752.1	794.3	510.6
2	999.2	718.7	680.8	406.6
4	964.5	709.2	510.6	293.1
6	914.1	690.3	324.7	151.3
8	895.2	586.3	277.4	118.2
10	832.1	576.8	206.5	47.3
24	611	444.4	138.7	23.6

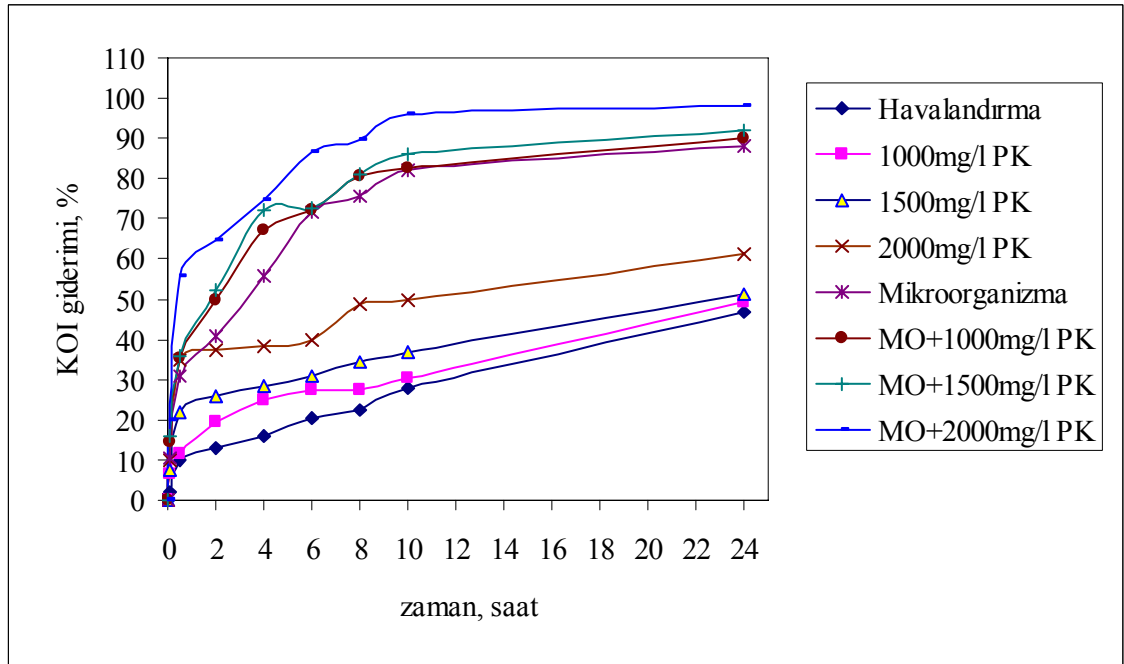


Şekil 4.25 : Reaktörlerde 2000 mg/L piroliz koku ilavesi ile KOI giderimi



Şekil 4.26 : Tekstil atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroiliz koku ilavesi ile KOI gideriminin değişimi

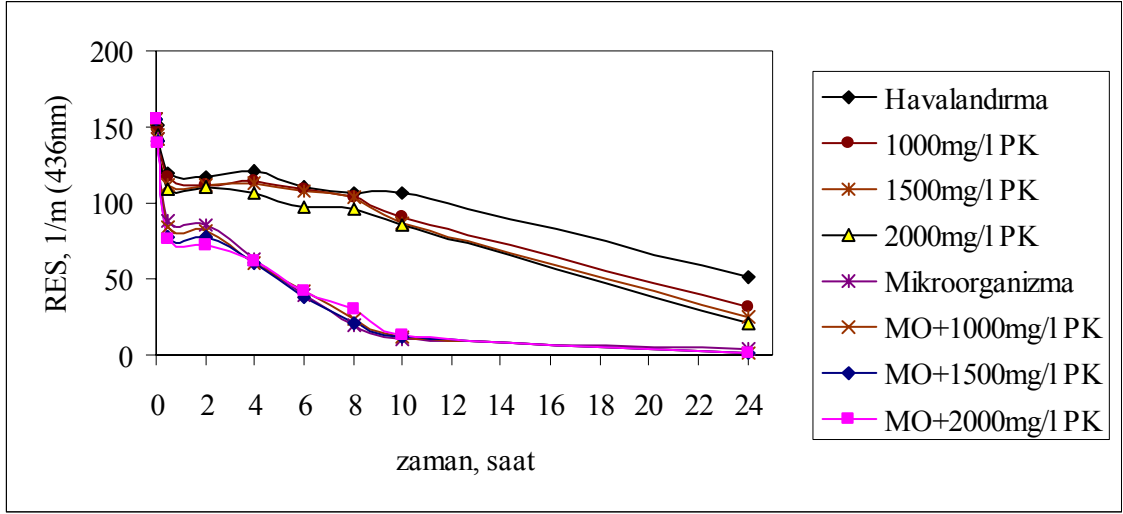
Eş zamanlı işletilen reaktörlerde, farklı katkı oranlarında elde edilen KOI giderim verimleri ise, 6 saat sonunda havalandırma ile %20, 1000 – 1500 – 2000mg/L piroliz koku ile %27.5 - %31 - %40, mikroorganizma ile %70 ve biyolojik sisteme 1000 – 1500 – 2000mg/L piroliz koku katkısı ile %72 - %73 - %87 olarak belirlenmiştir.



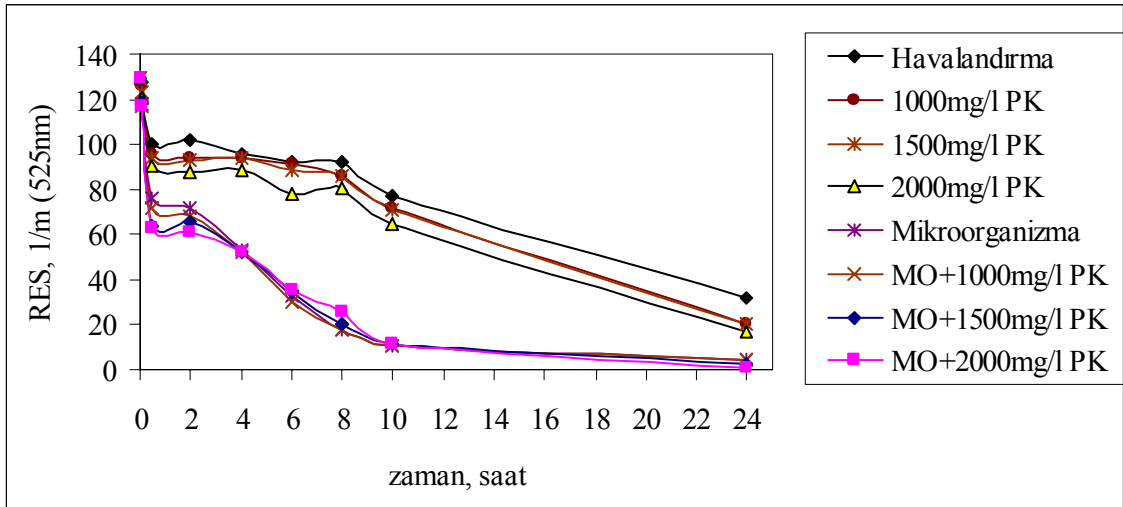
Şekil 4.27: Tekstil atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroiliz koku ilavesi ile arıtımında giderim veriminin değişimi

Tablo 4.21: Tekstil boyama atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku ilavesi ile artımında KOI giderim verimi

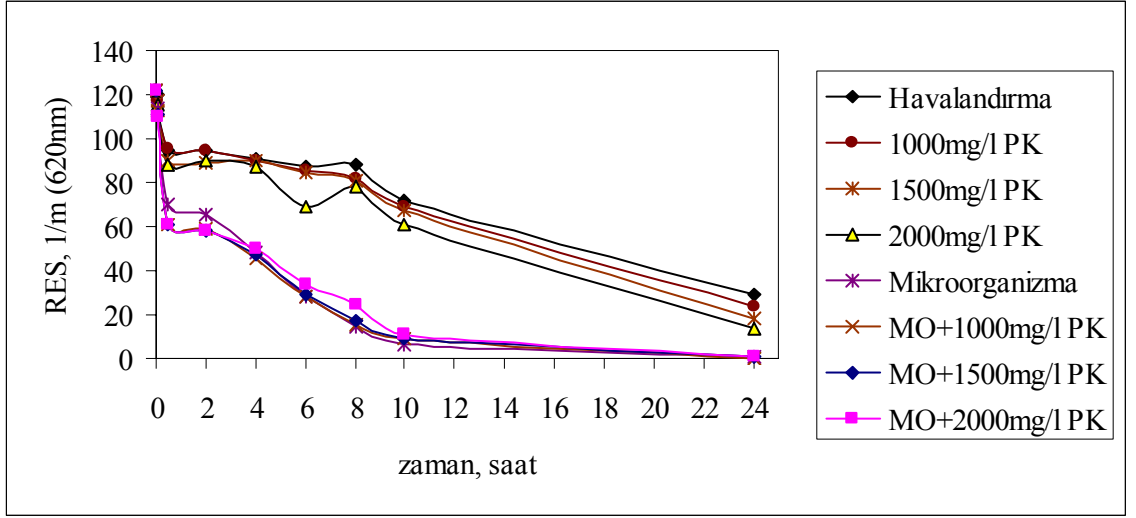
Zaman saat	Havalandırma	KOI Giderim verimi, %									
		1000 mg/l piroliz koku	1500 mg/l piroliz koku	2000 mg/l piroliz koku	Mikroorganizma	MO+1000 mg/l piroliz koku	MO+1500 mg/l piroliz koku	MO+2000 mg/l piroliz koku			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	2.15	6.69	7.47	9.91	10.6	14.43	15.82	19.82			
0.5	10	11.3	21.73	34.59	30.93	35.21	35.86	55.6			
2	13.11	19.3	25.99	37.5	40.79	50	52.3	64.64			
4	16.13	24.95	28.46	38.33	55.59	67.21	72.04	74.5			
6	20.51	27.5	30.93	39.97	71.76	72.36	72.86	86.84			
8	22.15	27.53	34.21	49.01	75.87	80.43	81.08	89.72			
10	27.64	30.43	36.68	49.84	82.04	82.6	86.01	95.88			
24	46.86	49.04	51.48	61.35	87.94	90.26	92.19	97.94			



Şekil 4.28: Piroliz koku miktarına bağlı RES<sub>436</sub> değişimleri



Şekil 4.29: Piroliz koku miktarına bağlı RES<sub>525</sub> değişimleri



Şekil 4.30: Piroliz koku miktarına bağlı RES<sub>620</sub> değişimleri



Tablo 4.22: Tekstil boyama atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku (1000-1500-2000 mg/L RAAÇ-I)ilavesi ile RES<sub>436</sub> değişimi

RES <sub>436</sub>									
Zaman	Havalandırma	1000 mg/l piroliz koku	1500 mg/l piroliz koku	2000 mg/l piroliz koku	Mikroorganizma	MO+1000 mg/l piroliz koku	MO+1500 mg/l piroliz koku	MO+2000 mg/l piroliz koku	
0	155	155	155	155	155	155	155	155	
0.1	151.5	149.2	144.3	144.1	142.1	142	140.8	139.9	
0.5	119.75	117	112.2	109	88.6	84.2	78.1	76	
2	117	112	111.6	110	84.9	81.3	78	72.5	
4	120.75	114	112.7	106	63.4	61.1	61.1	61.8	
6	111	109	108.2	98	39.2	41.7	37.7	41.8	
8	107	103.5	104.5	96.25	20.2	24.1	21.5	30.5	
10	106	91.2	87.4	85	10.5	12.4	12.4	13.7	
24	51.5	31.4	25.5	21	3.3	2	2	1	

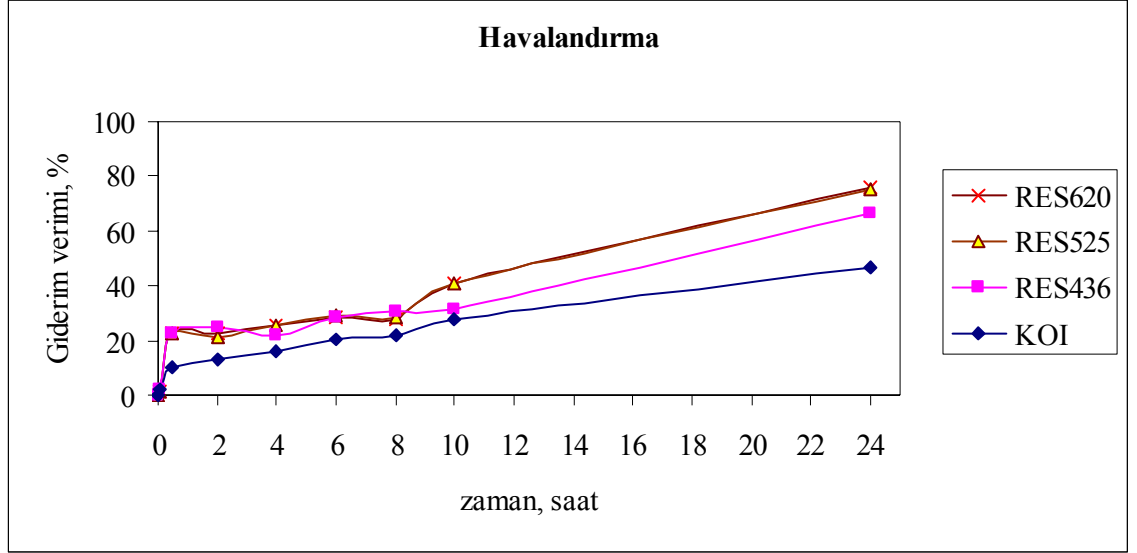
Tablo 4.23: Tekstil boyama atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku (1000-1500-2000 mg/L RAAÇ-I)ilavesi ile RES<sub>525</sub> değışimini

RES <sub>525</sub>									
Zaman	Havalandırma	1000 mg/l piroliz koku	1500 mg/l piroliz koku	2000 mg/l piroliz koku	Mikroorganizma	MO+1000 mg/l piroliz koku	MO+1500 mg/l piroliz koku	MO+2000 mg/l piroliz koku	
0	129.5	129.5	129.5	129.5	129.5	129.5	129.5	129.5	
0.1	127.5	126	123.2	120.7	118.1	117	118.4	117	
0.5	100	96	94.2	90.7	76.1	72	63.6	63.3	
2	102	94	93	88	72	68	65.4	60.8	
4	96	93.5	93.5	89	53	52	52	52.1	
6	92	91	89	78	33.2	30	34.3	35.1	
8	92.5	85.7	85.7	80.5	17.6	18	20.3	25.6	
10	77	72	71	65	10.2	10.2	11.7	11.7	
24	32.1	20.5	20.5	17	4.1	4.1	3	1.1	

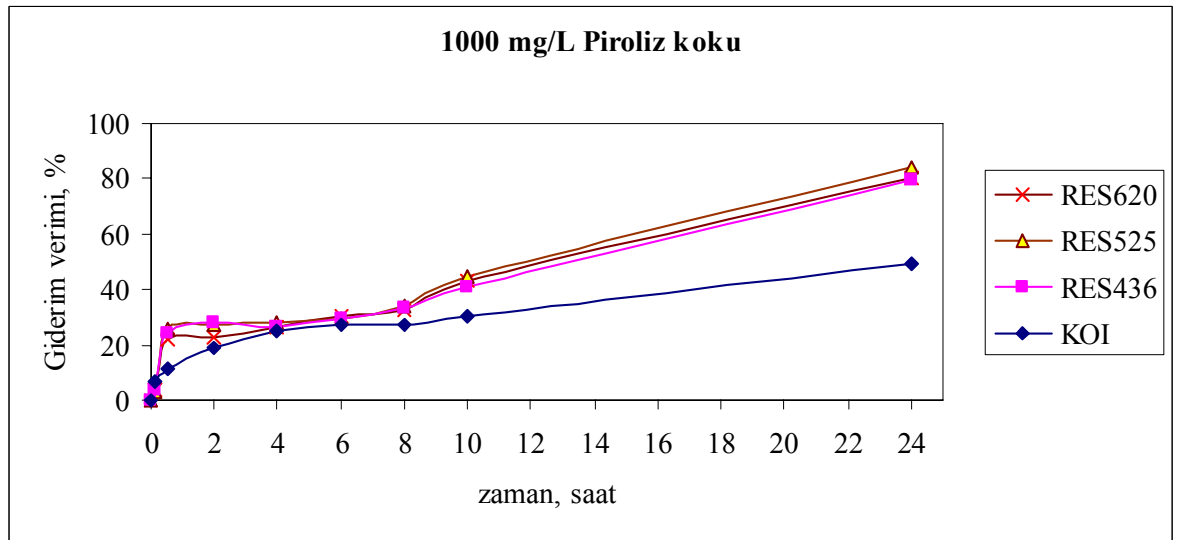
Tablo 4.24: Tekstil boyama atıksularının kesikli aerobik reaktörde Piroliz koku (1000-1500-2000 mg/L RAAÇ-I)ilavesi ile RES<sub>620</sub> değişimi

		RES <sub>620</sub>									
Zaman	Havalandırma	1000 mg/l piroliz koku	1500 mg/l piroliz koku	2000 mg/l piroliz koku	Mikroorganizma	MO+1000 mg/l piroliz koku	MO+1500 mg/l piroliz koku	MO+2000 mg/l piroliz koku			
0	122	122	122	122	122	122	122	122			
0.1	119.8	117.6	117	115.2	113.3	113	111	110			
0.5	94.7	95	90	88	69.8	60.5	60.8	61.3			
2	94.5	94.5	88.8	90	65.8	58.9	58.6	58.5			
4	91.2	90	89.7	87	47.8	45.2	47.5	50.2			
6	87.2	85	84.7	69.25	28.6	28.5	29.5	33.5			
8	88.2	82	80.5	78	14.5	15.3	17.4	24.4			
10	72	69	67.2	61	6.6	8.7	8.9	10.8			
24	29.3	24	18.3	14	0.7	0.3	0.5	0.7			

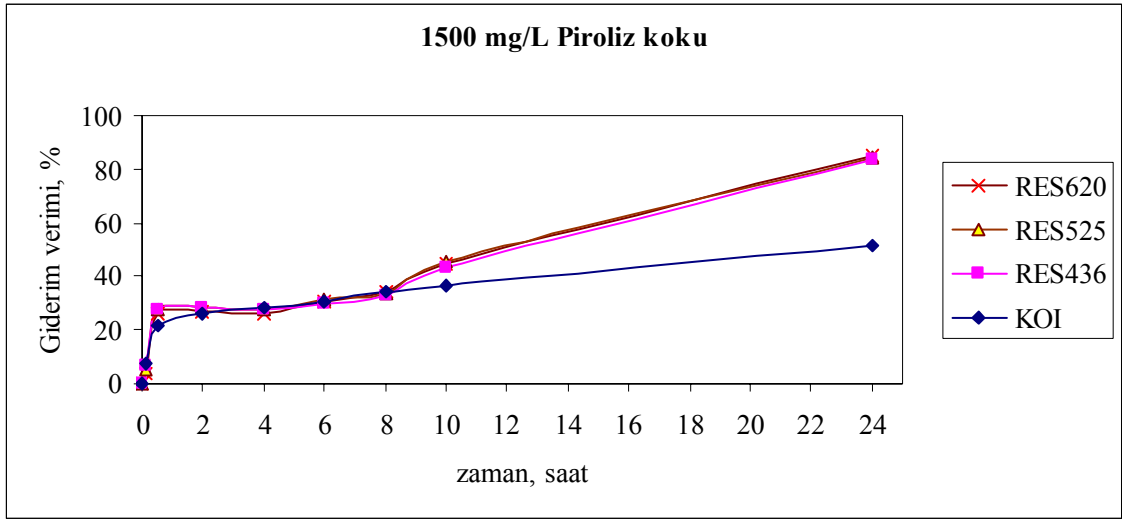
Çalışılan kesikli aktif çamur sisteminde yer alan farklı arıtım basamaklarında piroliz koku miktarına bağlı olarak KOI ile RES değişim verimleri aşağıda verilen Şekil 4.31 – 4.38’de görülmektedir.



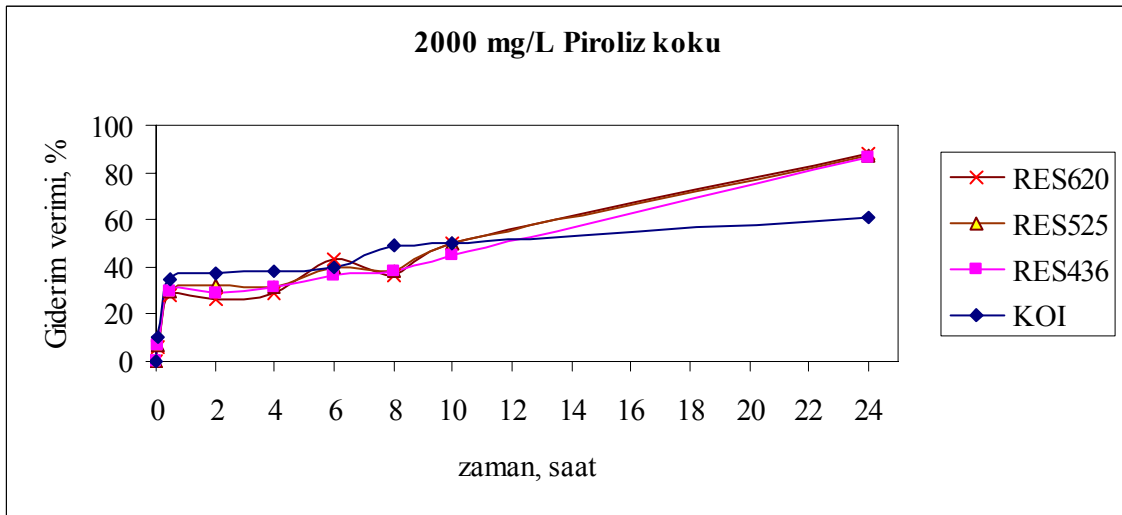
Şekil 4.31: Havalandırma reaktöründe KOI ve RES değişimleri



Şekil 4.32: Adsorpsiyon reaktöründe KOI ve RES değişimleri

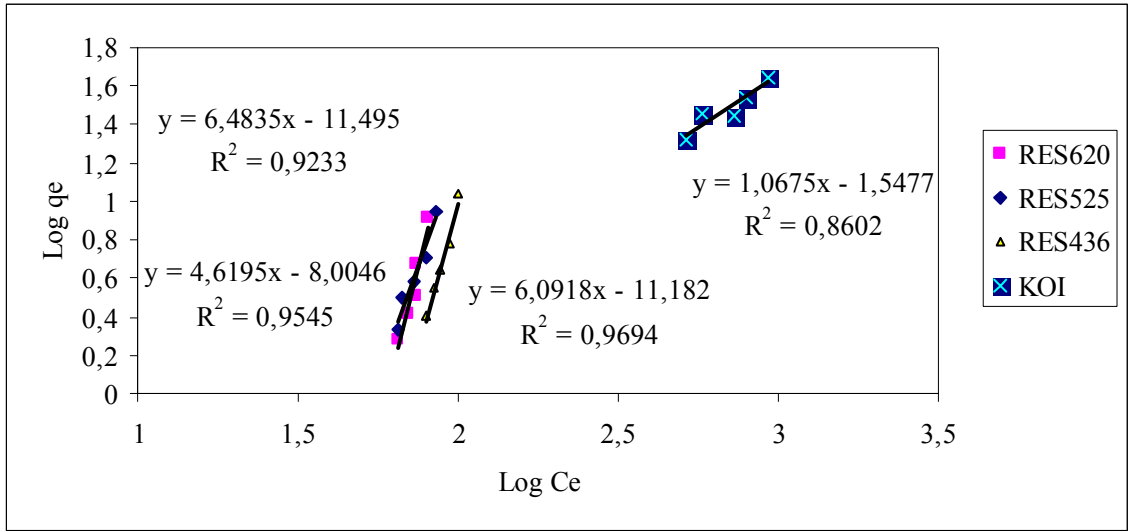


Şekil 4.33: Adsorpsiyon reaktöründe KOI ve RES değişimleri



Şekil 4.34: Adsorpsiyon reaktöründe KOI ve RES değişimleri

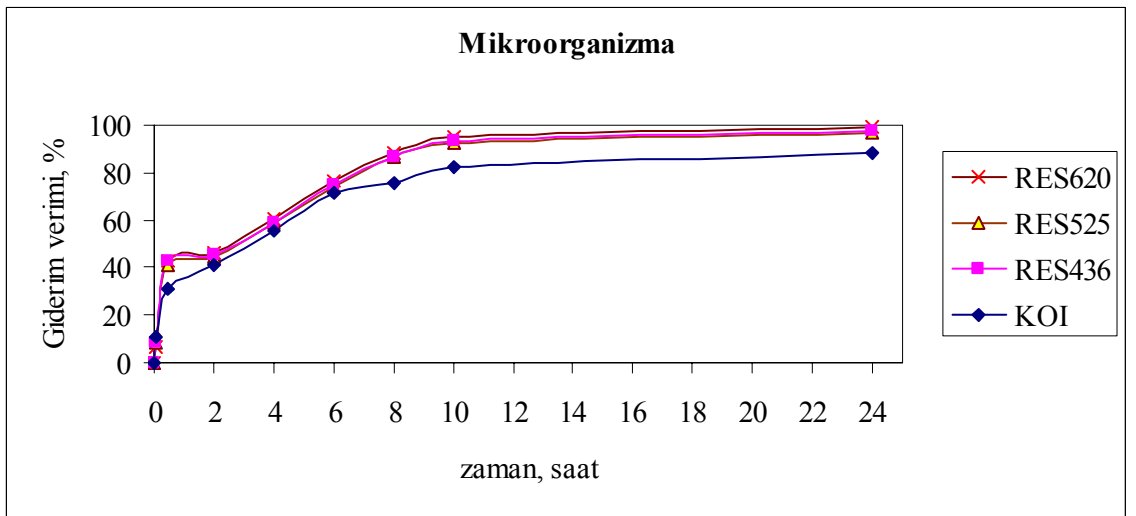
Tekstil atıksuyunun piroliz koku ile adsorpsiyonu sonucunda elde edilen verilerin Freundlich izotermine uyumluluğu araştırılmış ve izoterm değerleri Şekil 4.35 ve Tablo 4.25'de verilmiştir.



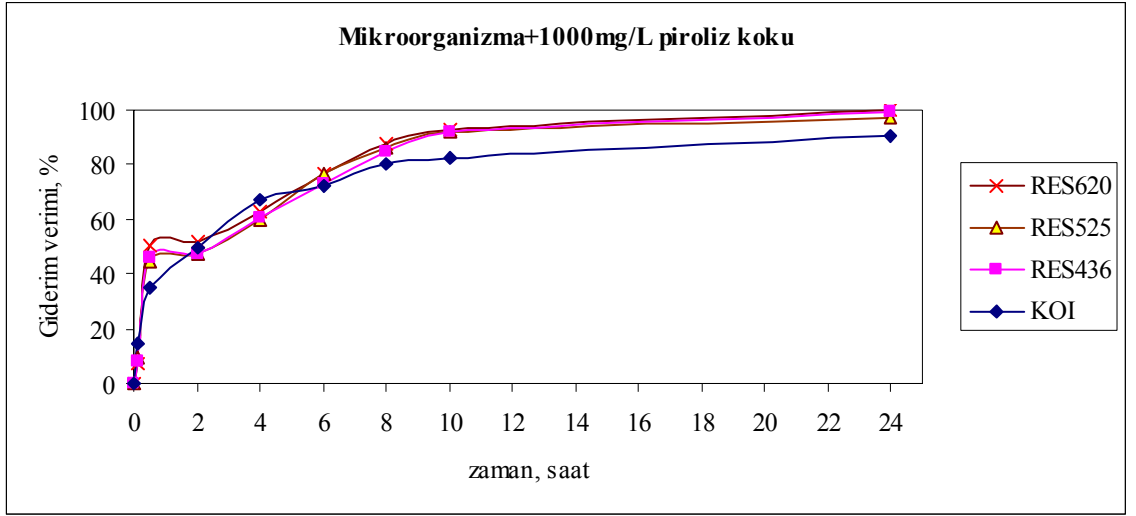
Şekil 4.35: Tekstil Atıksuyu adsorpsiyonunun Freundlich izotermine uygulanması

Tablo 4.25 : Freundlich adsorpsiyonu izoterm değerleri

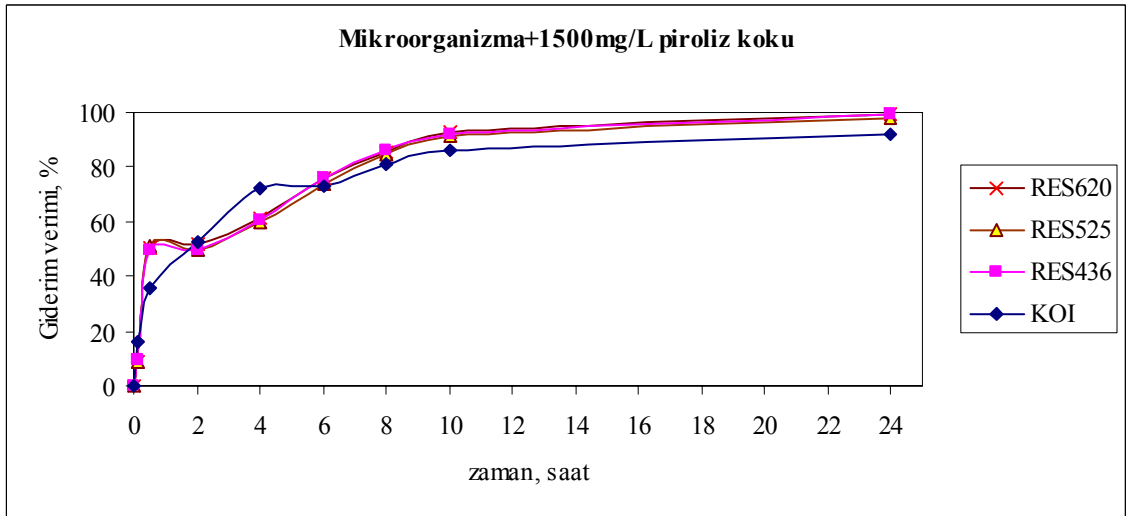
Parametre	$k_f$	$n$	$R^2$
KOI	0.0283	0.9367	0.86
RES <sub>436</sub>	$6.57 \cdot 10^{-12}$	0.164	0.96
RES <sub>525</sub>	$9.89 \cdot 10^{-9}$	0.2164	0.95
RES <sub>620</sub>	$3.19 \cdot 10^{-12}$	0.1542	0.92



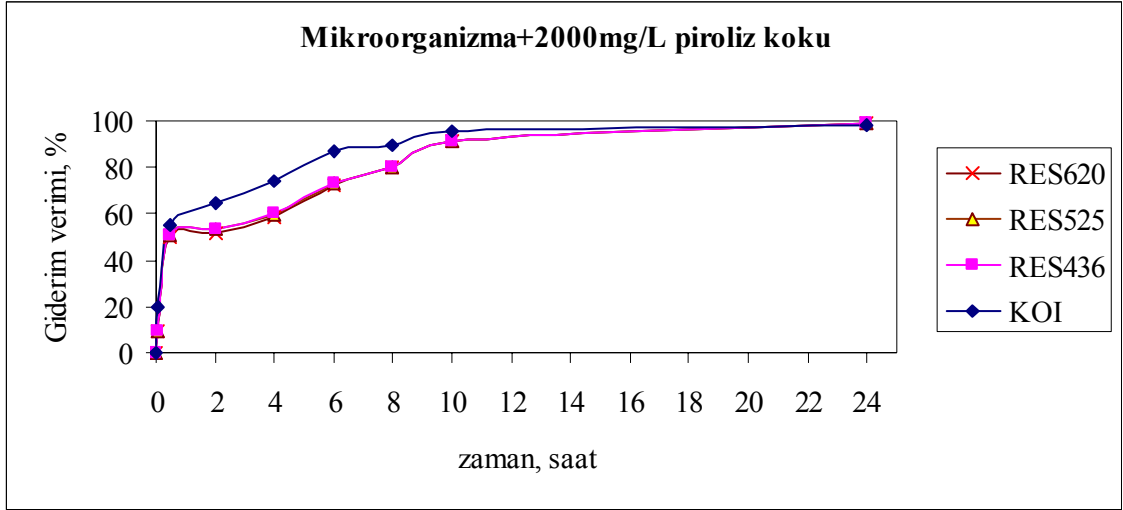
Şekil 4.36: Aktif çamur reaktöründe KOI-ve RES değişimleri



Şekil 4.37: Aktif çamur reaktöründe KOI ve RES in piroliz koku ile değişimi



Şekil 4.38: Aktif çamur reaktöründe KOI ve RES in piroliz koku ile değişimi



Şekil 4.39: Aktif çamur reaktöründe KOI ve RES in piroliz koku ile değişimi



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

“Atıksu arıtma tesisi çamurlarının değişik amaçlarla kullanımının araştırılması” başlıklı bu çalışmada farklı evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinde alınan arıtma çamurlarının çevresel etki ve kısıtlamalar çerçevesinde incelemesi yapılmıştır. Bu bağlamda varılan sonuçlar ve değerlendirmeler ilgili başlıklarda ayrı ayrı yapılacaktır.

### *Arıtma Çamurlarının Kompost Olarak Değerlendirilmesi*

Tablo 4.2’den görüleceği gibi çalışmada kullanılan arıtma çamurları özellikle EAAÇ-I ve EAAÇ-II yüksek oranda kül (%47–53) içermektedir. Bu anorganik yapının dağılımının gösteren XRF sonuçları ise Tablo 4.3’de verilmiştir. Çamurların kompostlaştırılmasında biyolojik aktivite için en uygun C/N oranının en az 17 - 24 olması gerekliliğine karşın (Iranzo ve diğ., 2004) çalışılan örneklerde bu oranın ancak 6–8 olması kompostlaşmanın diğer tarımsal atıklarla birlikte yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Her ne kadar GAAÇ gıda endüstrisine ait olması nedeniyle çok yüksek fosfor (%26) içerse de kompost için yine de C/N oranı açısından uygun değildir. Ancak diğer örneklerle birlikte kompostlaştırıldığında son ürün için iyi bir fosfor kaynağı olacağı düşünülebilir. Türkiye’de halen kurulu kompost tesislerinde arıtma çamurları işlenmemektedir. Mevcut tesislerin kullanımında çamurun patojen etkisi yanı sıra gelişen çevre standartları doğrultusunda metal içeriğinin dikkatle izlenmesi ve 225 – 520 €/ton kompost aralığında değiştiği belirtilen maliyetlerin dikkate alınması gerekecektir (Hernandez-Apaolaza ve diğ.,2004). Alternatif olarak ülkemizde halen uygulandığı gibi stabilize edilmiş arıtma tesisi çıkışlı çamurların doğrudan toprağa serimi yeni yasal düzenlemelerle (Council Directive 1999/31/EC) kısıtlanmış, belirli koşullarda ve yalnız tarım dışı kullanımlar için 5–10 ton/hektar-yıl sınırlaması getirilmiştir.

### *Arıtma Çamurlarının Yakıt ve Ham Madde Olarak Değerlendirilmesi*

Çamur örneklerinin ısı değerleri büyük ölçüde kül ve elementel içeriklerine bağlı olarak 2500 – 5000 cal/gr arasında değişmektedir (Tablo 4. 2 ve Şekil 4.3). Bu değerler uluslararası genel kömür sınıflandırılmasına göre değerlendirildiğinde düşük kaliteli linyite karşı gelmektedir (Coal Information Report, OECD/IEA, Paris 1983). Evsel nitelikli çamurların yüksek uçucu madde (Tablo 4.1) ve düşük kükürt içeriklerinden

(Tablo 4.3) dolayı enerji üretiminde düşey tüp fırınlarda kömürle birlikte yakılmaları atık minimizasyonu ve yeniden kullanım çerçevesinde ülkemiz için de düşünülmelidir. Konuya ilişkin son çalışmalarda (Monzo ve diğ., 2003; Ninomiya ve diğ., 2004) yanma gazlarında partikül madde miktarının azaldığı ve uçucu kül boyutunun arttığına dikkat çekilmiştir. Çevresel olumsuz etkilerin aza indirgenmesi açısından önemli olan bu kullanım şeklinde yanma öncesi çamurun kurutulması için gereken maliyetler de tesisde oluşacak atık enerjinin devreye sokulmasıyla karşılanabilecektir.

Çamurlardan doğrudan enerji üretilmesine alternatif olarak çimento sanayiinde gerek enerji kaynağı gerekse klinker girdisi olarak değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar (Van Der Meer,2002) yapılmaktadır. Bu bağlamda yürütülen araştırmamız sonuçlarını gösteren ve Tablo 4.3’de yer alan XRF sonuçları Tablo 2.20 ile karşılaştırıldığında evsel arıtma çamurlarının çimento sanayiinde kullanılabilirliği görülmektedir. Halen tesislerinde klinker girdisi olarak arıtma çamuru kullanan Hollanda’dan *ENCI Cement Group* ile yapılan görüşmelerde bu kullanılabilirlik doğrulanmış, öncelikle pilot ölçekli bir çalışma için yurtiçi üretici firmalarla ilişki kurulmuştur.

#### *Arıtma Çamurlarının Piroliz ile Değerlendirilmesi*

Arıtma çamurlarının piroliz işlemi ile yeniden değerlendirme kapsamında adsorbent özelliği taşıyan maddelere dönüştürülmesi son yılların çoklukla çalışılan konularındandır. Son ürünün özelliklerine başlangıç materyalinin karbon içeriği kadar piroliz koşulları da büyük etkindir. Bu nedenle bu çalışmada özellikleri belirlenen çamur örnekleri için optimum piroliz koşullarının saptanmasına yönelik olarak öncelikle piroliz işlem sıcaklığı saptanmıştır.

Tablo 4.4’de izlendiği gibi artan piroliz sıcaklığı ile 2 saatlik bekletme sıcaklıklarında piroliz koklarının spesifik yüzey alanları artmakta ancak daha yüksek sıcaklıklarda bir düşüş göstermektedir. Bu ısıl bozunmanın genel bir sonucu olup diğer araştırmacılar tarafından da vurgulanmış (Singla ve diğ., 1983; Jeyaseelan ve Lu, 1996; Shinogi ve diğ., 2003) ve şu şekilde açıklanmıştır: ilk aşamada sıcaklığa bağlı olarak gelişen parçalanma ürünü uçucu maddeler karbonlaşma yatağından ayrılırken mikrogözeneklerin oluşmasına neden olmakta ve yüzey alan artmaktadır. Sıcaklığın artması halinde gerek karbonlaşma yatağının viskozitesinin artmasıyla yeni

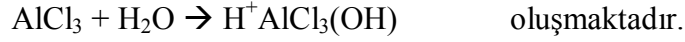
gözeneklerin oluşmaması ve gerekse mevcut gözeneklerin büzülmesi sonucunda spesifik yüzey alanda küçülmektedir. Bu çalışmada saptanan 500<sup>0</sup>C daki 20.31m<sup>2</sup>/gr lık yüzey alanı, (Walker , 1986) tarafından da vurgulanan ve 400 – 600<sup>0</sup>C aralığında oluşan *çekirdeklenme* teorisi ile de desteklenmiştir.

İlgili Tablo 4. 4'de 500<sup>0</sup>C de artan ısıtma hızları ile yapılan piroliz kokunun yüzey alanının arttığı 20<sup>0</sup>C/dakikada 30.00 m<sup>2</sup>/gr kadar yükseldiği görülmektedir. Piroliz sırasında ısıtma hızının artması, karbonlaşma yatağının yumuşamasını ve partiküllerin şişmesini geliştireceğinden makrogözeneklerin oluşumunu arttırmakta, mikrogözenekler ise büzülmeden dolayı azalmaktadır (Singla ve diğ., 1983). Bu nedenle diğer çalışmalarda ısıtma hızı çalışma kolaylığı ve literatür bilgisi ile de uyumlu olması açısından 10<sup>0</sup>C/dakika olarak uygulanmıştır.

Optimum koşullarda farklı çamur örnekleri ile yürütülen piroliz işlemi sonrasında farklı yüzey alanlarının bulunması pekçok araştırmacının da belirttiği gibi (Chiang ve You, 1987, Lu; 1995, Tay ve diğ. ,2001, Inguanzo ve diğ. ,2001) karbonlaştırılan başlangıç maddelerinin farklı yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim kül içeriklerine bağlı olarak piroliz koklarının yüzey alanları değişmiş, en büyük yüzey alanı (30.00 m<sup>2</sup>/gr) ile %9 kül içeren RAAÇ-I ile elde edilmiştir. Artan anorganik yapı koklaşma yatağının yumuşamasını engelleyerek ısıl parçalanma tepkimelerinin dar bir sıcaklık aralığında yer almasına neden olmaktadır.

Gerek çamur işleme tesislerinde susuzlaştırma ve stabilizasyon işlemleri için kullanılan kimyasalların ve gerekse adsorbentın yüzey alanını geliştiren kimyasal aktivasyon maddelerinin katkısı ile optimum koşullarda yapılan pirolizlerde elde edilen kokların yüzey alanları katkı konsantrasyonu ve piroliz sıcaklığına bağlı olarak artmıştır (Tablo 4.5). ZnCl<sub>2</sub> katkısında 600<sup>0</sup>C daki düşüşün deney hatasından değil ve fakat daha önce açıklandığı gibi ısıl parçalanma ve yapılanma tepkimelerini tamamlayan koklaşmış metaryalin büzülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. AlCl<sub>3</sub> katkısı ile beklenin aksine görece düşük yüzey alanı bulunmasının nedeni işlem sırasında 10<sup>0</sup> C/dakikalık ısıtma hızının yüksek olması ve piroliz ürünü kokun anizotrop akış halinde iğnemi tabakalı yapıda olabileceği şeklinde literatür bilgileri ile de desteklenerek açıklanabilir (Arayıcı, 1996). Lewis asitlerin katalitik etkisi ile yapılan koklaştırmalarda ısıl

parçalanma tepkimelerinden farklı olarak hidrojen transferi söz konusu olmakta ve ortamdaki eser miktarda su ile



Piroliz işleminin başlangıcında oluşan katalitik parçalanma ürünleri doymamış hidrokarbonların aktif katalizör yüzeyinden geri bırakılmaları çok güç olmakta ve bu maddeler izomerizasyon, siklizasyon ve polimerizasyon tepkimelerine uğramaktadır.

Oluşan polimerlerin dehidrojenerasyonu ile de piroliz koku meydana gelmektedir. İşlem sırasında oluşan farklı ara ürünler kokların yapısal düzenlenmelerinde etkili olmakta ve bu çalışmada da belirlendiği gibi aynı başlangıç maddesi ve  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$  ve  $\text{FeCl}_3$  ün eşit miktarlarına karşın farklı yüzey alanları sahip piroliz koku üretilmektedir.

Ticari aktif karbon için spesifik yüzey alan değerlerinin 600-1100 m<sup>2</sup>/gr aralığında değiştiği göz önüne alındığında, özellikle kül içeriği düşük olan arıtma çamurlarının kimyasal aktivasyon ile uygun özellikte adsorbent olacağı görülmektedir.

Belirlenen işlem koşullarında rakı endüstrisi arıtma çamurundan elde edilen piroliz kokunun adsorbent özelliklerinin tesbiti için yapılan metilen mavisi ve fenol adsorpsiyonunun sonuçları ve izoterm uygulamaları Tablo 4.7 – 4.12 ile Şekil 4.10 – 4.16 arasında verilmiştir. Ticari aktif karbon ile karşılaştırıldığında (Tablo 4.12) piroliz kokunun da endüstriyel arıtım proseslerinde kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Genel olarak aktif karbon ve piroliz kokunun yüzey alanının asidik fonksiyonel grupların varlığından dolayı negatif yüklü olduğu kabul edilmektedir (Otero ve diğ., 2003). Metilen mavisinin katyonik yüklü grupları nedeniyle adsorbent yüzeyinde tutulması hızlı bir şekilde gerçekleşmekte giderim verimleri açısından ticari aktif karbonla benzer sonuçlar vermektedir (Tablo 4.7). Aynı zamanda adsorbentin gözenek yapısının göstergesi olan metilen mavisi adsorpsiyon kapasitesi, piroliz kokunda *meso*-gözeneklerin varlığını da belirtmektedir. Bu gelişmiş gözenek yapısı SEM fotoğraflarıyla da kanıtlanmıştır (Şekil 4.8). Ancak görece küçük molekül ağırlıklı aromatik yapıda bileşiklerin  $d > 1.5\text{nm}$ . çapındaki gözeneklerde adsorpsiyonunun göstergesi olan fenol adsorpsiyonu ticari aktif karbonla aynı süre sonunda karşılaştırıldığında (Tablo 4.9) az olmakta, sonuç benzer çalışmalara göre (Otero ve

diğ., 2003) daha iyi olmakla beraber piroliz kokunun mikrogözenek yapısının aktif karbona göre az olduğunu göstermektedir. Metilen mavisinin, fenolün ve p-nitrofenolün piroliz koku ve aktif karbon üzerinde adsorpsiyonunun Freundlich ve Langmuir izoterm uygulamala sonuçları toplu halde (Tablo 4.14) görülmektedir. Adsorpsiyon kapasitesini gösteren  $k_f$  değeri aktif karbona göre daha düşük, adsorpsiyon şiddetini gösteren  $n$  değeri ise birbirlerinden çok farklı değildir. Fenol ve p-nitro fenolün adsorpsiyonu Langmuir izotermine daha uygun olmuştur. Her iki uygulama için korelesyon katsayısı  $R^2 > 0.90$ 'dan büyük olması sonuçların kabulü için yeterli görülmüştür.

*Kokların uygulama alanlarının araştırılmasına* yönelik olarak organik yağ asitlerinden asetik ve propiyonik asit çözeltilerinin adsorpsiyonu ve izoterm uygulama sonuçları Tablo 4.15 – 4.16 – 4.17 ve Şekil 4.20 – 4.21 arasında yer almaktadır. Düz zincirli hidrokarbonların adsorplanabilirliğinin irdelendiği çalışmalarda iki asitinde adsorpsiyon şiddeti ve kapasitesinin aktif karbondakinden daha düşük olduğu bulunmuştur. Tablo 4.15'den görüleceği gibi çalışılan uçucu yağ asitlerinin piroliz koku üzerindeki adsorpsiyonu yarım saatte dengeye ulaşmaktadır.

Adsorbat molekülleri “Film Difüzyonu” olarak tanımlanan basamakta karbon taneciklerinin dış yüzeyinde ince film tabakası halinde çözeltideki türbülans ve moleküllerin çözücülere olan ilgisine bağlı geçiş yapmaktadır. “ Kapiler ya da gözenek difüzyonu ” diye adlandırılan basamakta ise moleküller, gözeneklere kimyasal yapı ve büyüklüklerine bağlı olarak difüzlenmekte ve nihayet son basamakta karbon kapilerlerden, kapiler iç duvarlarına geçiş olmaktadır. Moleküler hareketliliğin, molekül ağırlığı arttıkça azaldığı göz önüne alınarak bu çalışmada gözenek difüzyonunun hız belirleyici basamak olmadığı, uçucu yağ asitlerinin zincir uzadıkça suya karşı ilgi ve çözünürlüklerinin göreceli azalması nedeniyle asetik asit ve propiyonik asitin piroliz koku üzerinde adsorpsiyonunda hız belirleyici basamağın “film difüzyonu” olduğu görülmektedir. Yani adsorpsiyon propiyonik asit > asetik asit şeklinde gerçekleşmektedir.

*Uygulama için ikinci bir araştırmada* özellikleri Tablo 3.1'de verilen ve halen klasik aktif çamur sistemi ile arıtılmakta olan tekstil endüstrisi boyama yıkama atıksularının piroliz koku katkısıyla kesikli biyolojik sistemde arıtılmasının KOİ ve renk

parametrelerinin izlenmesiyle yürütülmüştür. İki farklı F/M oranında işletilen kesikli reaktöre ait KOİ değişimleri Şekil 4.22’de görülmektedir. Tesis koşulları ile benzerlik sağlamak ve arıtım performanslarını karşılaştırabilmek için piroliz koku katkısıyla yapılan çalışmalarda F/M oranı 1.0 olarak alınmıştır.

Havalandırma reaktöründe gerek KOİ ve gerekse renk parametrelerindeki giderim çalışılan atıksuda uçucu bileşenlerin varlığının göstergesidir. Tablo 4.21 ve Şekil 4.28 – 4.29 – 4.30’dan görüldüğü gibi giderim her iki parametre için piroliz koku miktarına bağlı olarak artmakta ve renk oluşturan boyar maddeler kok üzerinde %40 – 50, KOİ ise %28 – 50 oranında adsorplanmaktadır. Piroliz koku üzerinde olan bu iki parametrenin adsorpsiyonu için Freundlich izotermine uygun olmaktadır (Tablo 4.25 ve Şekil 4.35). Uygulamada bulunan  $K_f$  ve  $n$  izoterm değerlerinin kullanılmasıyla KOİ için;

$$q=(C_0-C_e)/C_{pk} = 0.0283 \cdot C_e^{1/0.9367} \quad (5.1)$$

yazılabilir. Başlangıç KOİ derişimi ve reaktördeki piroliz koku miktarının bilinmesiyle sadece adsorpsiyonun yer aldığı bu reaktörde denge KOİ derişimi hesaplanabilir. Benzer şekilde renk parametresi için de ilgili katsayıların kullanımı sonucu denge değerlerini bulunması mümkündür. Yapılan hesaplamalarda renk parametresi için ölçüm sonucu bulunan denge değerleriyle hesaplamalar sonucu bulunan değerler arasında fark olmadığı halde KOİ parametresi için ölçülen denge değerleri, izoterm uygulamasıyla bulunanlardan daha yüksek çıkmaktadır ki bu da reaktörde piroliz koku üzerindeki adsorpsiyonun izoterm ile belirlenenden farklı olduğunu ve dengeye ulaşılmadığını göstermektedir.

Artan katkı konsantrasyonu aktif çamur içeren reaktörde %82 olan KOİ giderim verimini %96 seviyelerine çıkarmakta ancak renk parametreleri için ek bir arıtım görülmemektedir (Şekil 4.36 – 4.39). Bu durum biyolojik bozunma son ürünlerinin adsorbent yüzeyinde tutulduğu şeklinde yorumlanmakta ve literatür bilgileriyle desteklenmektedir (Aktaş ve Çeçen, 2001).

Sonuç olarak aktif çamurlu atıksu arıtma sistemlerine atık çamurların pirolizi ile elde edilen adsorbent ilavesi sistemin kararlılığını ve performansını artırmaktadır. Çalışmamıza konu edilen tekstil endüstrisi atıksularının çok değişken özellikte olması

nedeniyle sistem performansı yanı sıra sistemin kararlılığı önem kazanmakta, bu bağlamda piroliz koku ilavesiyle yapılacak biyolojik arıtımın ilgili işletmeler için alternatif olacağı düşünülmektedir.

### *SONUÇ VE ÖNERİLER*

Arıtma çamurlarının yeniden değerlendirilmesi amacıyla sürdürülen bu çalışmada elde edilen verilere göre söz konusu çamurların ancak gerekli C/N ayarlaması yapıldıktan sonra kompost olarak değerlendirilebileceği, çimento sanayinde yakıt ve klinker ham maddesi olarak kullanımının Türkiye için yeni ve önemli bir kullanım alanı oluşturacağı düşünülmektedir. Bir diğer değerlendirme şeklinin ise piroliz sonucu üretilen kokların adsorbent olarak farklı arıtım proseslerinde tek başına veya aktif çamur sistemleriyle birlikte kullanımı olacaktır.

Atıksu arıtma tesisi çamurlarının gelişen uluslar arası standartlar çerçevesinde yeniden değerlendirilmesi, ülkemiz içinde güncel bir konu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda söz konusu çamurlar;

- Düşey tip fırınlarda enerji kaynağı olarak tek başına yada diğer yakıtlarla birlikte değerlendirilmesi olasıdır. Taşıma sorunlarının olmayacağı bölgelerde termik santrallerde kömürle birlikte yakıt olarak kullanımı düşünülebilir.
- Yanı sıra çimento sanayinde gerek enerji ve gerekse külün klinker maddesi olarak kullanımı özellikle kül giderimi sorunu çıkartmayacağı için tercih edilmelidir.
- Kompost olarak değerlendirilmesinde Avrupa Birliği Direktifleri ve uluslar arası uygulama kriterleri dikkate alınarak planlama yapılmalıdır.
- Atık çamurların piroliz işlemi ile adsorbent olarak değerlendirilmesi ise, ülkemiz için ciddiyle düşünülmeye gereken bir uygulama alanıdır. Piroliz prosesinin ekonomik fizibilitesi, proses sonucu elde edilen sıvı, katı ve gaz ürünlerin değerlendirilmesi ile uygulanabilir olabilmektedir.

## KAYNAKLAR

- ADEME and RECYVAL, 2001, Compost de boues de stations d'épuration unicipales : qualité performances agronomiques et utilisations.
- AKTAŞ, ÖZGÜR and ÇEÇEN, FERHAN, 2001, Addition of Activated Carbon to Batch Activated Sludge Reactors in the Treatment of Landfill Leachate and Domestic Wastewater. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* Vol.76, 793-802
- APHA-AWWA-WEF, 1995, *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19<sup>th</sup> edition, New York.
- ARAYICI, S., 1995, Carbonization of Heavy Petroleum Residue –I. Factor Affecting the Coke Structure. *Chim.Acta Turc.*, 23 (3), 205
- ARAYICI, S., 1996, Carbonization of Petroleum Residue –II. Effects of the Heat Treatment Conditions on the Physical Properties and Structure of Coke. *Chim.Acta Turc.*, 24(1), 35-40
- ARAYICI, S., 1996, Carbonization of Petroleum Residue –III. Carbonization Catalysed by Metal Chlorides. *Chim.Acta Turc.*, 24(2), 83-87
- BAÇAOUI, A., YAACOUBI, A., DAHBI, A., BENNOUNA, C., AYELE, J. AND MAZET, M., 1998, Activated Carbon Production from Moroccan Olive Wastes – Influence of Some Factors. *Environmental Technology*. Vol.19, 1203-1212
- BANAT, F.A., AL-BASHIR, B., AL-ASHEH, S., HAYAJNEH, O., 2000, Adsorption of Phenol by Bentonite. *Environmental Pollution*. Vol.107, 391-398
- BARLAS, H., AKGÜN, T., 2000, Colour Removal from the Textile wastewaters by Adsorption Techniques, *Fresenius Environmental Bulletin*, 9, 9/10, 590-596
- BEECKMANS, J.M., PARK, C.Ng., 1971, Pyrolyzed Sewage Sludge: its Production and Possible Utility, *Environ.Sci.Tech.*, 5(1), 69-71
- BENGTSSON, M., TILLMAN, A.M., 2004, Actors and Interpretations in an Environmental Conroversy: the Swedish Debate on Sewage Sludge Use in Agriculture. *Resources Conservation&Recycling*. Vol.42, 65-82
- BRESTER, A.R., COULOMB, I., DEAK, B., MATTER, B., SAABYE, A., SPINOSA, L., UTVIK, A., UHRE, L., MEOZZI, P., 1997, Management Approaches and Experiences, Sludge Treatment and Disposal. ISWA's Working Group on Sewage & Waterworks Sludge *Environmental Issues Series No. 7.Sludge Treatment and Disposal*. European Environment Agency
- BRUNNER, C.R., 1980, *Design of Sewage Sludge Incineration System*. Park Ridge, New jersey, 48



- BOSCH, H., KLEERBEZEM, G.J., MARS, P., 1976, Activated Carbon from Activated Sludge. *Journal WPCF*. Vol.48, No.3., 551-561
- CABALLERO, J.A., 1997, Characterisation of Sewage Sludges by Primary and Secondary Pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Vol.40-41, 433-450.
- CALACE, N., NARDÌ, E., PETRONIO, B.M., PIETROLETTI, M., 2002, Adsorption of Phenols by Papermill Sludges. *Environmental Pollution*. Vol.118, 315-319
- CALVO, L.F., OTERO, M., MORAN, A., GARCIA, A.I., 2001, Upgrading Sewage Sludges for Adsorbent Preparation by Different treatments. *Bioresource Technology*. Vol.80, 143-148
- CHEN, X., JEYASEELAN, S., GRAHAM, N., 2002, Physical and Chemical Properties Study of the Activated Carbon Made from Sewage Sludge. *Waste Management*. Vol.22, 755-760
- CHIANG, P.C., YOU, J.H., 1987, Use of Sewage Sludge for Manufacturing Adsorbents. *The Canadian J. of Chemical Eng.* Vol.65, 922-927
- CHU, C.P., LEE, D.J. AND CHANG, Y., 2001, Thermal Pyrolysis Characteristics of Polymer Flocculated Waste Activated Sludge. *Wat. Res.* Vol.35, No.1., 49-56
- CIWEM, 1996, *Sewage sludge: stabilisation and disinfection*; Handbooks of UK wastewater practice
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. 1986, Council directive on the protection of the environment and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture; 86/278/EEC; *Off. J. Eur. Communities*. No.L181, annex 1A, 6 -12
- CONESA, J.A., MARCILLA, A., MORAL, R., MORENO-CASELLES, J., PEREZ-ESPINOSA, A., 1998, Evolution of Gases in the Primary Pyrolysis of Different Sewage Sludges, *Thermochimica Acta*, 313, 63-73
- ÇEÇEN, FERHAN and AKTAŞ, ÖZGÜR, 2001, Powdered Activated Carbon-assisted Biotreatment of a Chemical Synthesis Wastewater. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* Vol.76, 1249-1259
- DEVLET İSTATİSTİK ENSTİTÜSÜ, 2003, Çevre ve Enerji İstatistikleri, <http://www.die.gov.tr/konular/cevre-Enerji.htm> [ziyaret tarihi, 26 Mart 2003]
- DOBELE, G., BOGDANOVICH, N., TELYSHEVA G. AND VIESTURS, U., 1996, Application of Sorbent Obtained by Pyrolysis of Sewage Sludge for Biological Treatment of Waste Water. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Vol.57/58, 857-867

EPA, 1978, *Textile Processing Industry*. USA Environmental Protection Agency, Washington, 625/778-002

EUROPEAN COMMISSION, 1999, Report from the Commission, Implementation of Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment, as amended by *Commission Directive 98/15/EC of February 1998*, COM(98)775, <http://www.europarl.eu.int/basicdoc/basicdoc-en.htm>

EUROPEAN COMMISSION; 2000; Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of community waste legislation for the period 1995 – 1997; COM(1999)752; [http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/rpt/1999/com1999\\_0752en01.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/rpt/1999/com1999_0752en01.pdf)

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 1998, Sludge treatment and disposal: management approaches and experiences; *Environmental Issues Series*, n° 7, <http://www.binary.eea.eu.int:800/s/sludge.pdf>

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY; 2000; Dangerous substances in waste, *Technical report n° 38*, [http://reports.eea.eu.int:80/technical\\_report\\_no\\_38/en/tech38.pdf](http://reports.eea.eu.int:80/technical_report_no_38/en/tech38.pdf)

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2001, Arthur Andersen Disposal and recycling routes for sewage sludge Part 3 – *Scientific and technical report*, DG Environment – B/2

FİLİBELİ, A., 2002, *Aritma Çamurlarının İşlenmesi*, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:255, Üçüncü Baskı, İzmir.

FONT, R., FULLANA, A., CONESA, J.A., LLAVADOR, F., 2001, Analysis of the Pyrolysis and Combustion of Different Sewage Sludges by TG, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 58-59, 927-941

GRAHAM, N., CHEN, X.G., JAYASEELAN, S., 2001, The Potential Application of Activated Carbon from Sewage Sludge to Organic Dyes Removal. *Water Science and Technology*. Vol.43, No.2, 245-252

GÜNEYSU, S., AYDIN, S., ARAYICI, S., 2004, Removal of Some Organic Acids from Water by Olive Mill Wastes as an Adsorbent. *Fresenius Environmental Bulletin*. Vol.13, No. 9

HERNANDEZ-APAOLAZA, L., GASCO, A.M., GASCO, J.M., GUERRERO, F., 2004, Reuse of Waste Materials as Growing Media for Ornamental Plants, *Bioresource Technology*, (article in Pres) [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

INGUANZO, M., MENENDEZ, J.A., FUENTE, E., PÍS, J.J., 2001, Reactivity of Pyrolyzed Sewage Sludge in Air and CO<sub>2</sub>. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. Vol.58-59, 943-954

- INGUANZO, M., DOMINGUEZ, A., MENENDEZ, J.A., BLANCO, C.G., PIS, J.J., 2002, On the Pyrolysis of Sewage Sludge: the Influence of Pyrolysis Conditions on Solid, Liquid and Gas Fractions. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. Vol.63, 209-222
- INRA, 1999, Epannage de boues de station d'épuration en conditions forestières, Situation actuelle et perspectives, Rapport du département forêts et milieux naturels, *Unité de recherche forestière Pierroton*, 10 pages
- IRANZO, M., CANIZARES, J.V., ROCA-PEREZ, L., SAINZ-PARDO, I., MORMENEO, S., BOLUDA, R., 2004, Characteristics of Rice Straw and sewage Sludge as Composting Materials in Valencia(Spain), *Bioresource Technology*. 95, Issue 1, 107-112
- JEYASEELAN, S., LU, G.Q., 1996, Development of Adsorbent/Catalyst from Municipal Wastewater Sludge. *Wat.Sci.Tech*. Vol.34, No.3-4, 499-505
- KADIRVELU, K., KAVIPRIYA, M., KARTHIKA, C., RADHIKA, M., VENNILAMANI, N., PATTABHI, S., 2003, Utilization of Various Agricultural Wastes for Activated Carbon Preparation and Application for the Removal of dyes and Metal Ions from Aqueous Solutions. *Bioresource Technology*. Vol.87, 129-132
- KASAKURA, T., HIRAOKA, M., 1982, Pilot Plant Study on Sewage Sludge pyrolysis-I. *Water Res*. Vol.16, 1335-1348
- KIM, S.Y., PARK, C., KIM, T. H., LEE, J. and KIM, S.W., 2003, COD Reduction and Decolorization of Textile Effluent Using a Combined Process. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol.95, No.1, 102-105
- KOJIMA, N., MITOMO, A., ITAYA, Y., MORI, S., YOSHIDA, S., 2002, Adsorption Removal of Pollutants by Active Cokes Produced from Sludge in the Energy Recycle Process of Wastes, *Waste Management*, 22, 399-404
- KROGMANN, U., BOYLES, L.S., MARTEL, C.J., MCCOMAS, A.K., 1997, Biosolids and Sludge Management. *Water Env.Res*. Vol. 69, Number.4., 534-549
- LEE, S.E., SHIN, H.S., PAIK, B.C., 1989, Treatment of Cr(VI)-Containing Wastewater by Addition of Powdered Activated Carbon to the Activated Sludge Process. *Wat. Res.* Vol.23, No.1, 67-72
- LU, G.Q., 1995, Effect of Pre-drying on the Pore Structure Development of Sewage Sludge during Pyrolysis. *Environmental Technology*. Vol.16, 495-499
- LU, G.Q., 1996, Preparation and Evaluation of Adsorbents from Waste Carbonaceous Materials for SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> Removal. *Environmental Progress*. Vol.15, No.1. 12-18

- LU, G.Q., LAU, D.D., 1996, Characterisation of Sewage Sludge-derived Adsorbents for H<sub>2</sub>S Removal. Part2: Surface and Pore Structural Evolution in Chemical Activation. *Gas. Sep. Purif.* Vol.10, No.2, 103-111
- MARTÍN, M.J., BALAGUER, M.D. AND RÍGOLA, M., 1996, Feasibility of Activated Carbon Production from Biological Sludge by Chemical Activation with ZnCl<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Environmental Technology.* Vol.17, 667-672
- MARTÍN, M.J., ARTOLA, A., BALAGUER, M.D., RÍGOLA, M., 2003, Activated Carbons Developed from Surplus Sewage Sludge for the Removal of Dyes from Dilute Aqueous Solutions. *Chemical Engineering Journal.* Vol.94, 231-239
- MARTÍN, M.J., SERRA, E., ROS, A., BALAGUER, M.D., RÍGOLA, M., 2004, Carbonaceous Adsorbents from Sewage Sludge and Their Application in a Combined Activated Sludge-powdered Activated Carbon (AS-PAC) Treatment, *Carbon.* Vol.42, 1383-1388
- METCALF & EDDY INC., 1991, *Wastewater Engineering Treatment Disposal, Reuse 3.rd ed.* Mc Graw-Hill Inc., New York
- MICHEL, F., VAN DER MEER, R., 2003, "BioMill mill" a Sewage Sludge Grinding Plant at ENCI, Part 1: Plant Selection and Safety Concept. *ZKG.* Vol.56, Number.2., 54-64
- MONZO, J., PAYA, J., BORRACHERO, M.V., GIRBES, I., 2003, Reuse of Sewage Sludge Ashes (SSA) in Cement Mixtures: the Effect of SSA on the Workability of Cement Mortars, *Waste Management,* 23, 373-381
- NINOMIYA, Y., ZHANG, L., SAKANO, T., KANAOKA, C., MASUI, M., 2004, Transformation of Mineral and Emission of Particulate matters during Co-combustion of Coal with Sewage Sludge. *Fuel.* Vol.83, 751-764
- OTERO, M., ROZADA, F., CALVO, L.F., GARCIA, A.I., MORAN, A., 2003, Elimination of Organic Water Pollutants Using Adsorbents Obtained from Sewage Sludge. *Dyes and Pigments.* Vol.57, 55-65
- OTERO, M., ROZADA, F., CALVO, L.F., GARCIA, A.I., MORAN, A., 2003, Kinetic and Equilibrium Modelling of the Methylene Blue Removal from Solution by Adsorbent Materials Produced from Sewage Sludges. *Biochemical Engineering Journal.* 15, 59-68
- PALA, AYŞEGÜL, TOKAT, ENİS, 2002, Color Removal from Cotton Textile Industry Wastewater in an Activated Sludge System with Various Additives. *Water Research.* Vol.36, 2920-2925
- POLLARD, S.J.T., SOLLARS, C.J., PERRY, R., 1991, A Low Cost Adsorbent from Spent Bleaching Earth. I-The Selection of an Activation Procedure, *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 50, 265-275

- RADLEIN, D., 2003, The Production of Chemicals from Fast Pyrolysis Bio-oils, in Bridgewater A et al. *Fast Pyrolysis of Biomass. A Handbook*, 165, <http://www.pyne.co.uk> [Ziyaret Tarihi. 14 Ekim 2002]
- RAZOUK, R.I., EL-INANCY, G.A., FAHIM, R.D., MIKHAIL, R.S., 1960, The Adsorptive Properties of Carbonized Agricultural Wastes, *J.Chem.UAR*, 1, 11-22
- SANCHEZ-MONEDERO, M.A., MONDINI, C., DE NOBILI, M., LEITA, L., ROIG, A., 2004, Land Application of Biosolids. Soil Response to Different stabilization Degree of the Treated Organic Matter. *Waste Management*. Vol.24, 325-332
- SHINOGLI, Y., YOSHIDA, H., KOIZUMI, T., YAMAOKA, M., SAITO, T., 2003, Basic Characteristics of Low-temperature Carbon Products from Waste Sludge. *Advances in Environmental Research*. Vol.7, 661-665
- SHINOGLI, Y., KANRI, Y., 2003, Pyrolysis of Plant, Animal and Human Waste: Physical and Chemical Characterization of the Pyrolytic Products. *Bioresource Technology*. Vol.90, 241-247
- SINGLA, P., K., MIRU, S., HUDGINS, R. and SILVESTEN, P., L., 1983, Pore Development during Carbonization of Coals, *Fuel*. 62, 645-648
- SMITH S. R.; 1996; Agricultural recycling of sewage sludge and the environment 367 pp.
- ŞAHİN, Y., AYDIN, S., GÜNEYSU, S., ARAYICI, S., 2003, Removal of Some Organic Acids from Water by Ion-exchanger and Activated Carbon. *MESAEP, 12<sup>th</sup> International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region*, October.4-8, Antalya. Turkey
- TAY, J.H., CHEN, X.G., JEYASEELAN, S., GRAHAM, N., 2001, A Comparative Study of Anaerobically Digested and Undigested Sewage Sludges in Preparation of Activated Carbons. *Chemosphere*. Vol.44, 53-57
- TAY, J.H., CHEN, X.G., JEYASEELAN, S., GRAHAM, N., 2001, Optimising the Preparation of Activated Carbon from Digested Sewage Sludge and Coconut Husk. *Chemosphere*. Vol.44, 45-51
- WALKER, P., L., Jr., 1986, Coal Derived Carbons. *Carbon*. 24, 379-386

## ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Elazığ'da doğdu. İlk – Orta – Lise öğrenimini, Bahçelievler İlkokulu – Org.Bedrettin Demirel Ortaokulu ve Elazığ Lisesi'nde 1991 yılında tamamladı. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne kayıt oldu. 1995 yılında mezun olduktan sonra, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Eğitimine başladı. 1998 yılında, “Temas Havalandırmalı Sistemlerde Mangan(II)'nin Oksidasyonu” başlıklı Yüksek Lisans tezini tamamlayarak, mezun oldu. 1998 yılında Doktora eğitimine başladı.

Nisan 1995 – Haziran 1996 tarihlerinde Peral Alışveriş Merkezleri A.Ş.'de satış elemanı, Haziran 1996 – Eylül 1996 tarihlerinde Arıtes Arıtma Sistemleri Ltd. Şti.'de Çevre mühendisi (proje – montaj) ve Eylül 1996 – Nisan 1997 tarihlerinde Çevre Bakanlığı İstanbul İl Müdürlüğü'nde çevre mühendisi (kontrol – denetim) olarak görev yaptı. Mayıs 1997'de İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Çevre Müh. Bölümü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı.

Araştırma Görevlisi olarak, Kimyasal Prosesler, Biyolojik Prosesler, Çevre Kimyası, Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, ÇED, Su Temini, Kanalizasyon ve Çevre Mikrobiyolojisi derslerinde uygulama, proje ve laboratuvar çalışmalarını yürüttü.

Kasım 1999 ve Mayıs 2000'de Alicante – İspanya'da ve Clausthal – Zellerfeld – Almanya'da düzenlenen bilimsel kongrelere katıldı.

01 Nisan 2000 'de Esra CAN ile evlendi.