

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem DİNÇYÜREK

TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜL TİPLERİNİN ATIKSULARDAKİ FENOLÜN  
ADSORPSİYON YÖNTEMİ İLE GİDERİM ETKİNLİKLERİNİN  
KARŞILAŞTIRILMASI

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2006

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜL TİPLERİNİN  
ATIKSULARDAKİ FENOLÜN ADSORPSİYON YÖNTEMİ  
İLE GİDERİM ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Özlem DİNÇYÜREK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez ...../...../2006 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

İmza

İmza

İmza

Doç. Dr. Belgin BAYAT

Prof. Dr. Ahmet YÜCEER

Prof. Dr. Birgül YAZICI

**DANIŞMAN**

**ÜYE**

**ÜYE**

Bu tez Enstitümüz **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ**  
**Enstitü Müdürü**  
**İmza ve Mühür**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZ

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜL TİPLERİNİN ATIKSULARDAKİ FENOLÜN ADSORPSİYON YÖNTEMİ İLE GİDERİM ETKİNLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Özlem DİNÇYÜREK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Danışman** : Doç. Dr. Belgin BAYAT  
Yıl: 2006, Sayfa: 95  
**Juri** : Doç. Dr. Belgin BAYAT (Başkan)  
Prof. Dr. Ahmet YÜCEER  
Prof. Dr. Birgül YAZICI

Bu çalışmada, 2003-2005 yılları arasında Adana Şehir Kanalizasyon şebekesine bağlı Fevzi Çakmak Öğrenci yurduna ait çeşitli aralıklarla 2 saatlik kompozit numuneler şeklinde alınmış evsel atıksudaki fenolün, Afşin Elbistan, Seyitömer ve Soma uçucu külleri ile yapılan adsorpsiyon işlemi ile giderilmesi başlangıç pH, çalkalama süresi ve adsorban dozuna göre incelenmiş ve uçucu külün etkinliği ticarete adsorban olarak kullanım alanına sahip toz aktif karbon ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen dotalar, Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermine göre değerlendirilmiştir.

Deneyisel bulgular fenol adsorpsiyonunda optimum pH ın Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için 5, Soma uçucu külü için 6 olduğunu göstermiştir. Bu optimum pH değerinde denge koşullarına 6 saatte ulaşılmıştır. Uçucu küller (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) ve toz aktif karbon için denge koşullarında sırasıyla %65, % 80, %55, %85 fenol giderimi sağlanmıştır.

Deneyisel verilerin adsorpsiyon izotermine göre değerlendirilmesi sonucunda her dört adsorbanında Langmuir izotermine daha iyi uyduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorpsiyon, Uçucu Kül, Aktif Karbon, Atıksu, Fenol,

## ABSTRACT

### MSc THESIS

# THE COMPARISON OF PHENOL REMOVAL FROM WASTEWATER WITH THERMAL POWER PLANT FLY ASH TYPES BY ADSORPTION

**Özlem DİNÇYÜREK**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

**Supervisor** : Assoc. Prof. Dr. Belgin BAYAT  
**Year:** 2006, **Pages:** 95  
**Jury** : Assoc. Prof. Dr. Belgin BAYAT  
Prof. Dr. Ahmet YÜCEER  
Prof. Dr. Birgül YAZICI

In this work, two-hour composit samples have been taken from Fevzi Çakmak dormitory which is connected to Adana city sewage drainage system, between 2003 to 2005. The adsorption of phenol from municipal wastewater onto fly ashes (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) was examined as a function of initial pH, contact time and adsorbent dosages. Effectiveness of fly ashes was compared with activated carbon known as a conventional adsorbent. In addition, obtained data were corrected using the linear form of Langmuir and Freundlich equations.

Experimental data showed that optimum pH for Afşin-Elbistan, Seyitömer fly ashes and activated carbon was 5, for Soma fly ash was 6. The equilibrium conditions were reached about 6 hour shaking time at optimum pH for all adsorbents.

The maximum phenol removal for all fly ash types (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) and activated carbon was found 65 %, 80 %, 55% and 85%, respectively. The adsorption data were better fitted to the Langmuir isotherm since the correlation coefficients for Langmuir isotherm were higher than that for the Freundlich isotherm.

**Key Words:** Adsorption, Fly ashes, Activated Carbon, Wastewater, Phenol

## **TEŞEKKÜR**

Çalıőmalarım sırasında beni yönlendiren ve destekleyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Belgin BAYAT baőta olmak üzere, çalıőmalarımda bölümdeki laboratuvar olanaklarını kullanmama izin veren Bölüm Baőkanım sayın Prof. Dr. Ahmet YÜCEER'e teşekkür ederim.

Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvar olanaklarını kullanmamda bana yardımcı olan Sn Prof. Dr. Oktay BAYAT'a teşekkür ederim.

Çalıőmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Sn Arő. Gör. Dr. Bülent SARI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca çalıőmalarımda destek ve yardımcı olan Maden Mühendisliği Sn Arő. Gör. Mehmet TÜRKMENOğLU'na teşekkür ederim

Ayrıca her zaman beni destekleyen değerli aileme teşekkür ederim.

<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>SAYFA</b>
ÖZ.....	III
ABSTRACT.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
RESİMLER DİZİNİ.....	XIV
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Evsel Atıksular ve Genel Özellikleri.....	2
1.2. Evsel Atıksuların Arıtımı.....	4
1.3. Fenol.....	5
1.3.1. Fenolün Tanımı ve Özellikleri.....	5
1.3.2. Fenol Tayininde Kullanılan Yöntemler.....	6
1.3.3. Fenol ve Türevlerinin Kaynakları ve Kullanım Alanları.....	7
1.3.4. Fenol ve Türevlerinin Canlılar Üzerinde Etkisi.....	9
1.3.5. Fenol Giderme Yöntemleri.....	12
1.4. Adsorpsiyon.....	14
1.4.1. Yüzey Gerilimleriyle Adsorpsiyon İlişkisi.....	14
1.4.2. Adsorpsiyon Türleri.....	16
1.4.3. Adsorpsiyon Prosesinin Kullanıldığı Yerler.....	16
1.4.4. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler .....	17
1.4.5. Adsorpsiyon İzotermi .....	17
1.4.6. Adsorplayıcı Maddeler.....	22
1.5.Uçucu Kül.....	22
1.5.1. Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri.....	23
1.5.1.1. Morfoloji.....	23
1.5.1.2. Mineroloji.....	24
1.5.1.3. Tane İrilik Dağılımı.....	25
1.5.1.4. Yoğunluk.....	25
1.5.1.5. Özgül Yüzey Alanı.....	26

1.5.1.6. Kimyasal Bileşimi.....	27
1.5.2. Uçucu Külün Kullanım Alanları.....	27
1.5.2.1. Çimento ve Beton.....	27
1.5.2.2 Karayolları.....	28
1.5.2.3. Gaz Beton.....	28
1.5.2.4. Tuğla.....	28
1.5.2.5. Koagülant ve Adsorban.....	28
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	30
3. MATERYAL VE METOD.....	33
3.1. Materyal.....	33
3.1.1. Kullanılan Evsel Atıksu.....	33
3.1.2. Kullanılan Adsorbanlar .....	34
3.2. Metod.....	36
3.2.1. Atıksu Analizleri .....	36
3.2.2. Fenolün Kloroform Ekstraksiyonu ile Tayini.....	37
3.2.3. Çalkalama Deneyleri.....	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	43
4.1. Araştırma Bulguları.....	43
4.2. Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi.....	55
4.2.1. Temas (Çalkalama) Süresinin Fenol Adsorpsiyonu Üzerine Etkisi.....	55
4.2.2. Başlangıç pH ının Fenol Adsorpsiyonu Üzerine Etkisi.....	57
4.2.3. Adsorban Dozunun Fenol Adsorpsiyonu Üzerine Etkisi.....	58
4.2.4. Uçucu Kül (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) Fenol Adsorpsiyon Değerlerinin Toz Aktif Karbon Değerleri ile Karşılaştırılması.....	60
4.2.5 . Optimum Adsorpsiyon Koşullarında Desorpsiyon Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	61

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORPSİYON İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ .....	62
5.1. DeneY SonuÇlarının Langmuir Adsorpsiyon İzotermine göre Değerlendirilmesi .....	62
5.1.1. Afşin-Elbistan Uçucu Külü.....	62
5.1.2. Seyitömer Uçucu Külü.....	67
5.1.3. Soma Uçucu Külü.....	71
5.1.4. Toz Aktif Karbon.....	76
5.1.5. Adsorbanların (Uçucu Küller ve Toz Aktif Karbon) a ve b Langmuir Sabitlerine göre Değerlendirilmesi .....	80
5.2. DeneY SonuÇlarının Freundlich Adsorpsiyon İzotermine göre Değerlendirilmesi .....	85
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	95

## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

Çizelge 1.1. Evsel Atıksuların Genel Bilesimi .....	3
Çizelge 1.2 Fenolün Çeşitli Endüstriyel Atıksulardaki Alıcı Ortam Deşarj Standartları .....	8
Çizelge 1.3. Çeşitli Balıklar için Ölüm veya Tahribat Yapan Fenol Derişimleri ..10	
Çizelge 1.4. Bazı Su Canlıları için Fenolik Bileşiklerin Eşik Değerleri.....11	
Çizelge 1.5. Uçucu Küllere ait Kimyasal Bileşen Değerleri.....27	
Çizelge 3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Evsel Atıksuyun Özellikleri.....33	
Çizelge 3.2. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....34	
Çizelge 3.3 Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri.....35	
Çizelge 3.4 Uçucu Küllerin Bünyesindeki Bazı Elementlerin Sudaki Çözünürlükleri.....36	
Çizelge 4.1 Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Yapılan Adsorpsiyon Deney Sonuçları .....	42
Çizelge 4.2. Seyitömer Uçucu Külü ile Yapılan Adsorpsiyon Deney Sonuçları...46	
Çizelge 4.3. Soma Uçucu Külü ile Yapılan Adsorpsiyon Deney Sonuçları.....49	
Çizelge 4.4 Toz Aktif Karbon ile Yapılan Adsorpsiyon Deney Sonuçları.....52	
Çizelge 5.1. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerine göre Elde Edilen Langmuir Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri.....81	
Çizelge 5.2. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerine göre Elde Edilen Langmuir Sabitleri ve R <sup>2</sup> Değerleri.....81	
Çizelge 5.3. Değişen Başlangıç pH Değerlerine göre Elde Edilen Langmuir Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri.....82	
Çizelge 5.4. Değişen Başlangıç pH Değerlerine göre Elde Edilen Langmuir Sabitleri ve R <sup>2</sup> Değerleri.....83	
Çizelge 5.5. Değişen Adsorban Dozu Değerlerine göre Elde Edilen Langmuir Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri.....84	
Çizelge 5.6. Değişen Adsorban Dozu Değerlerine göre Elde Edilen Langmuir Sabitleri ve R <sup>2</sup> Değerleri .....	84

Çizelge 5.7. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerine göre Elde Edilen Freundlich Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri.....	86
Çizelge 5.8. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerine göre Elde Edilen Freundlich Sabitleri ve $R^2$ Değerleri.....	86
Çizelge 5.9. Değişen Başlangıç pH Değerlerine göre Elde Edilen Freundlich Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri.....	87
Çizelge 5.10. Değişen Başlangıç pH Değerlerine göre Elde Edilen Freundlich Sabitleri ve $R^2$ Değerleri.....	87
Çizelge 5.11. Değişen Adsorban Dozu Değerlerine göre Elde Edilen Freundlich Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri.....	88
Çizelge 5.12. Değişen Adsorban Dozu Değerlerine göre Elde Edilen Freundlich Sabitleri ve $R^2$ Değerleri .....	88

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 1.1. Biyolojik Arıtma Sistemleri .....	4
Şekil 1.2. Sıvı ve Katı Fazlar Arasında Yüzeysel Çekim Güçleri ve Sıvı – Katı Arakesitleri.....	15
Şekil 1.3 Langmuir Adsorpsiyon İzoterminin Lineerize Şekli (Eş. 1.2) .....	19
Şekil 1.4 Langmuir Adsorpsiyon İzoterminin Lineerize Şekli (Eş.1.3).....	19
Şekil 1.5 Freundlich Adsorpsiyon İzoterminin Grafikselsel İfadesi .....	20
Şekil 1.6 Freundlich Adsorpsiyon İzoterminin Lineerize Şekli.....	21
Şekil 1.7 BET Adsorpsiyon İzoterminin Lineerize Şekli.....	22
Şekil 3.1 Fenol için Kalibrasyon Eğrisi.....	40
Şekil 4.1 Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma Uçucu Külleri ve Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon İşlemine Temas Süresinin Etkisi.....	56
Şekil 4.2 Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma Uçucu Külleri ve Toz Aktif Karbon İle Fenol Adsorpsiyon İşlemine Başlangıç pH Değerlerinin Etkisi.....	58
Şekil 4.3. Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma Uçucu Külleri ve Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon İşlemine Adsorban Dozunun Etkisi.....	59
Şekil 5.1 Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) .....	63
Şekil 5.2 Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2).....	63
Şekil 5.3 Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) .....	64
Şekil 5.4 Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) .....	65
Şekil 5.5 Değişen Adsorban Dozlarında Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm	

Grafığı (Eş. 5.1) .....	66
Şekil 5.6. Değişen Adsorban Dozlarında Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.2) .....	66
Şekil 5.7. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.1) .....	67
Şekil 5.8. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.2) .....	68
Şekil 5.9. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.1) .....	69
Şekil 5.10. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.2) .....	69
Şekil 5.11. Değişen Adsorban Dozlarında Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.1) .....	70
Şekil 5.12. Değişen Adsorban Dozlarında Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.2) .....	71
Şekil 5.13. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.1).....	72
Şekil 5.14. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.2) .....	72
Şekil 5.15. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafığı (Eş. 5.1) .....	73

Şekil 5.16. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) .....	74
Şekil 5.17. Değişen Adsorban Dozlarında Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) .....	75
Şekil 5.18. Değişen Adsorban Dozlarında Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2).....	75
Şekil 5.19. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) .....	76
Şekil 5.20. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) .....	77
Şekil 5.21. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) .....	78
Şekil 5.22. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) .....	78
Şekil 5.23. Değişen Adsorban Dozlarında Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) .....	79
Şekil 5.24. Değişen Adsorban Dozlarında Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) .....	80

**RESİMLER DİZİNİ****SAYFA**

Resim 3.1 Orbital Shaker Düzenegi.....	41
--	----

## 1. GİRİŞ

Fenol, en zehirli 126 kimyasalın içinde 11. sırada yer alan bir maddedir. Sularda ppm mertebesinde bile olsa klorlanması esnasında belirgin bir tad ve koku değişikliğine sebep olur. Ayrıca insan sağlığı için son derece zararlı bir maddedir.

Günümüzde en önemli su kirliliği problemlerinden biri insan sağlığına ve çevreye toksik etki eden organik ve inorganik maddeleri içeren atıksuların arıtılmadan veya istenen standartta indirgenmeden alıcı ortama deşarj edilmesi sonucu sudaki yaşamın zehirli hale dönüşmesi ve böylece kullanılabilir su kaynaklarının kullanılamaz hale gelmesidir. Toksik organik bir bileşik olan fenolün kaynakları öncelikle petrol rafinerisi, kimya ve plastik endüstrisi gibi endüstriler ve evsel atıksular olmasına rağmen doğal olarak da sularda bulunur. Toksik etkileri olan fenoller su kaynaklarındaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasına ve böylece sudaki yaşam koşullarının kötüleşmesine ve ayrıca klor ile reaksiyon yapıp klor-fenol bileşikleri meydana getirerek içme sularında istenmeyen tat ve kokuya sebep olduklarından mutlaka su ve atıksulardan belirtilen standartlara uygun olarak giderilmesi gerekir.

Petrol rafinerileri, kok, ilaç, boya, plastik, insektisit, pestisit ve kağıt endüstrisi atıksularında istenmeyen derişimlerde bulunan fenol ve türevlerinin giderilmesinde kullanılan yöntemlerden biri adsorpsiyondur. Bu yöntemde kullanılacak olan adsorban seçimi ve dozları gerek arıtma verimi gerekse maliyet açısından çok önemlidir. Bu güne kadar iyi sonuç alınan adsorpsiyon çalışmalarının çoğu aktif karbon ile yapılan çalışmalardır. Aktif karbon büyük bir yüzey alanına sahiptir, pahalı bir adsorbandır ve elde edilişi zahmetlidir. Bu yüzden atıksu arıtılmasında ucuz, kolay elde edilebilir, adsorpsiyon kapasitesi yüksek alternatif adsorbanların araştırılmasına gidilmiştir. Termik santral uçucu külü bu alternatiflerden birisidir.

Ülkemizde artan enerji ihtiyacını karşılamak üzere bir çok termik santral kurulmaktadır. Kömür kullanımı sonucu bu santrallerde büyük miktarlarda uçucu kül oluşmaktadır. Son yıllarda çevreyi kirletici atık özelliğinden dolayı uçucu külün

değerlendirilmesi için çeşitli kullanım alanları araştırılmaya başlanmıştır. Bunlardan birisi de adsorban olarak kullanılmasıdır.

Uçucu kül; yüksek karbon içeriği, birim hacimdeki geniş yüzey alanı ve içerdiği alüminyum (Al), demir (Fe), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), silisyum (Si) gibi elementlerden dolayı bir çok organik ve inorganik kirleticiyi uzaklaştırma kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle uçucu küllerin etkili bir adsorban olarak kullanılabilmesi daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir.

Bu çalışmada Afşin-Elbistan, Seyitömer, ve Soma uçucu külleri kullanılarak fenolün sulu çözeltiden (evsel atıksu) adsorpsiyonu, ortam pH'nın, temas süresinin ve adsorban dozunun fonksiyonu olarak incelenmiş ve elde edilen değerler ticari kullanımı yaygın olan toz aktif karbon değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Ayrıca adsorplama işleminden elde edilen verilerin hangi izoterm eğrisine uyduğunun tespiti ve böylece en iyi izoterm denkleminin belirlenmesi bu çalışmanın kapsamı içindedir.

### **1.1. Evsel Atıksular ve Genel Özellikleri**

Evsel atıksu, konutlardan, hastane, otel gibi küçük işletmelerden kaynaklanan, insanların günlük normal yaşam faaliyetlerindeki ihtiyaç ve kullanımları nedeniyle oluşan atıksuları ifade eder (SKKY, 2004).

Atıksular içerdikleri kirlilik konsantrasyonlarına göre kuvvetli, orta ve zayıf karakterli olarak sınıflandırılır. Evsel atıksuların genel bileşimi Çizelge 1.1. de verilmiştir (Metcalf ve Eddy, 1991).

Evsel atıksular, rengi açık kahverengimsi gri ve kendine has bir kokusu olan sulardır. Ancak kanalizasyonda akma süresinin artması ve anaerobik şartların gelişmesiyle atıksuyun rengi griden koyu griye ve daha sonra siyaha doğru değişebilir. Bu renk oluşumu anaerobik şartlarda oluşan sülfür formlarının atıksudaki metallerle reaksiyona girmesiyle oluşan metalik sülfürden kaynaklanır.

Çizelge 1.1. Evsel Atıksuların Genel Bileşimi (Metcalf ve Eddy, 1991)

Parametreler	Konsantrasyonlar (mg/L)		
	Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam Katı Madde (TKM)	350	720	1200
Toplam Çözünmü. Maddeler	250	500	850
Sabit	145	300	525
Uçucu	105	200	325
Askıda Katı Madde (AKM)	100	220	350
(Çökebilir Katı Maddeler	5	10	20
BOI <sub>5</sub>	110	220	400
Toplam Organik Karbon (TOK)	80	160	290
KOI	250	500	1000
Toplam Azot	20	40	85
Toplam Fosfor	4	8	15
Klorür	30	50	100
Sulfat	20	30	50

## 1.2. Evsel Atıksuların Arıtımı

Evsel atıksular genellikle fiziksel ve biyolojik arıtmadan geçer. Kimyasal arıtma prosesleri ileri arıtma olarak uygulanır. Fiziksel arıtma yöntemleri ızgara, biriktirme, kum tutucu ve çökeltme olarak sıralanabilirken biyolojik arıtma sistemleri aerobik ve anaerobik olarak iki tiptir (Şekil 1.1) (Corbitt,1990).



Şekil 1.1. Biyolojik Arıtma Sistemleri (Corbitt,1990)

### 1.3. Fenol

#### 1.3.1. Fenolün Tanımı ve Özellikleri

Fenoller ( $C_6H_5OH$ ), aromatik bileşikler arasında en önemli organik olarak bilinir ve benzenin hidroksil türevleri olarak isimlendirilir. Fenol ilk olarak 1834'de taşkömürü katranında bulunduğu için karbon asidi olarak isimlendirilmiştir. Evsel ve endüstriyel atıksularda, doğal sularda ve içme suyu temini amacıyla kullanılan sularda mevcut olabilir. Bu gibi suların klorlanması kokulu ve hoş olmayan tatta klorofenollerin oluşmasına neden olur (Göçmen, 1983).

Fenolik maddeler odun ve kömür damıtılmasından, yağ rafinerilerinden, kimyasal işletmelerden, insan ve hayvan atıklarından oluşur. Suyu ayrıca su bitkilerine ve çürüyen bitkilere de geçerler. Evsel atıksularda normal olarak 0,07-0,1 mg/L gibi düşük derişimlerde bulunur. Fenolik atık maddeler değişen miktarlarda bir, iki yada daha fazla sayıda hidroksil grubunda bulunan fenolleri, aldehytleri, ketonları, alkollerini, organik asitleri, karbondioksit ve amonyak gibi gazları, siyanürleri içerebilir (McKee ve Wolf, 1963).

Fenol ve türevleri büyük ölçüde yükseltgenebilir olduklarından sudaki çözülmüş oksijeni alarak suyun oksijenini azaltırlar. Fenollü sular özellikle klorlandıktan sonra su canlılarına doğrudan doğruya zehirleyici olarak etki ederler ve toksik dozların çok aşağısında dahi balıkların yenen etlerinde istenilmeyen kokuların oluşmasına neden olurlar. Fenol ve türevleri içme sularında çok küçük derişimlerde dahi bulduklarında suyun klorlanması sırasında klorlu fenol türevleri oluştuğundan suya fena koku ve tat verirler. İşte bu nedenlerden sularda ve endüstriyel atıksularda fenol ve türevlerinin miktarlarının kesin olarak saptanmaları gerekir.

Fenoller aromatik hidroksil bileşikleri olup hidroksil grubu doğrudan doğruya benzen halkasına bağlıdır. Benzen halkasında yalnız bir hidroksil gurubu bulunan en basit bileşiğe 'fenol' denir. Karışık yapılu fenoller ya ana madde olarak fenolü içerirler ( $o^-$ ,  $m^-$ ,  $p^-$  klor fenoller gibi) veya başka tip bir bileşiğin oksitürevleridir ( $p^-$  oksibenzoik asit gibi) (Göçmen, 1983).

Fenoller ve alkoller zaman zaman birbirleriyle karıştırılan bileşiklerdir. Şöyle ki molekülde aromatik grup olmakla birlikte, -OH grubu benzil alkol (O-CH<sub>2</sub>-OH) örneğindeki gibi aromatik gruba bağlanmadığı zaman alkolü oluşturur (Yıldız, 2001).

Fenol en eski dezenfektanlardan biridir. Fenolün bütün türevleri mikrop öldürücü olup bu özellik halkada alkil grubu olduğu zaman daha da artar. (Yıldız, 2001).

Fenolün özel bir kokusu vardır. Uzun zaman renksiz kalır, hava ve ışığın etkisiyle kırmızılaşır (Göçmen, 1983).

Fenoksi gurubunun en göze çarpan özelliği asitliğidir (Göçmen, 1983).

### 1.3.2. Fenol Tayininde Kullanılan Yöntemler

Fenol tayini için önerilen üç yöntemden ikisi 4-amino antipirin klorometrik yöntemi olup, orto ve meta bileşenli fenolleri belirlemeye yarar. 4-amino antipirin yöntemi ile alkil, aril, nitro, benzoil, nitroso veya aldehit guruplarının yer değiştirdiği para-bileşikli fenoller tayin edilemez. Fenol tayini için üçüncü yöntem, sulu ortamda gaz-sıvı kromatografisi tekniğidir.

4- amino antipirin yöntemi iki şekilde uygulanır. Birinci yöntem çok yüksek hassasiyete sahip olup 1mg/L den daha az fenol içeren su numunelerine uygulanır. Bu yöntemde renk gelişimi sulu olmayan çözeltide olur. Doğrudan fotometrik yöntem olarak isimlendirilen ikinci yöntemde ise renk gelişimi sulu çözeltide olur. Bir su numunesinde bulunan çeşitli fenolik bileşiklerin relatif miktarını bulmak mümkün değildir. Bu nedenle su numunesinde bulunan fenolik bileşikler 'fenol' olarak tanımlanır ve numunede mevcut fenolik bileşiklerin minimum konsantrasyonunu ifade eder. Gaz-sıvı kromatografisi yöntemi 1 mg/L den daha fazla konsantrasyonda fenol bileşikleri içeren numunelerde kullanılır.

Atıksularda bulunan fenoller biyolojik ve kimyasal oksidasyon ile ayrışabilir durumda olduklarından, numune alındıktan sonra en geç 4 saat içinde analiz edilmezse 4°C veya daha aşağı sıcaklıklarda saklanmalıdır. Numune, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ile pH=4.0 e kadar asitlendirilir. SO<sub>2</sub> veya H<sub>2</sub>S içerdiği biliniyorsa numune dikkatli bir şekilde havalandırılır veya karıştırılır ve 4 °C nin altındaki sıcaklıklarda saklanır.

Koruma ve saklama işlemi uygulanan numunelerin 24 saat içerisinde analizlenmesi gerekir (APHA-SWWA-WPCF, Standard Methods, 1985).

### **1.3.3. Fenol ve Türevlerinin Kaynakları ve Kullanım Alanları**

Plastiklerin en önemli bileşenlerinden olan fenoller, dünyada ve Türkiye’de en çok fenolik reçine üretiminde, kauçuk işleme, izolasyon ve yüksek sürtünmeye dayanıklı malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Fenoller ayrıca ilaç boya ve pestisitlerde de ham madde olarak kullanılır (Patterson,1977; Bülbül ve Aksu, 1997).

Klorofenoller ise benzen halkasına bağlı bir yada daha fazla klor içeren fenol yapısındaki renksiz, zayıf asidik ve zehirli organik bileşiklerdir. Bakteri böcek ve zararlı ot öldürücü olarak kullanılan bu bileşiklerin büyük bir bölümü fenolün klorla tepkimeye girmesiyle bazıları da poliklorlu benzenin hidrolizi ile elde edilir.

Endüstriyel atıksularda fenol ve türevlerine sıkça rastlanmaktadır. (Çizelge 1.2) Özellikle kömür işletmelerinin kömür destilasyon ve organik sentezlerin atık akımları bol miktarda fenol ve türevlerinin kirliliğini içermektedir. Fenolik bileşikler ayrıca kağıt hamuru ve kağıt ağartma tesisleri, reçine, pestisit, boya çözücü endüstrileri atıksularında yer almaktadır. (Callega ve ark., 1993; Bülbül ve Aksu 1997; SKKY, 2004))

Çizelge 1.2 Fenolün Çeşitli Endüstriyel Atıksulardaki Alıcı Ortam Deşarj Standartları (SKKY, 2004)

Sektör	Fenol (mg/L)	
	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretme Tesisleri ( Kok ve Havagazı Üretimi ve Benzerleri )	1.0	0.6
Tekstil Sanayi ( Örgü Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri )	1.0	0.5
Tekstil Sanayi ( Halı Terbiyesi ve Benzerleri )	1.0	0.5
Tekstil Sanayi ( Sentetik Tekstil Terbiyesi ve Benzerleri )	1.0	0.5
Tekstil Sanayi ( Dokunmuş Kumaş Terbiyesi ve Benzerleri )	1.0	0.5
Petrol Sanayi ( Petrol Rafinerileri ve Benzerleri )	2.0	1.0
Petrol Sanayi ( Petrol Dolum Tesisleri ve Benzerleri )	2.0	1.0
Kimya Sanayi ( Petrokimya ve Hidrokarbon Üretim Tesisleri )	2.0	1.0

**1.3.4. Fenol ve Türevlerinin Canlılar Üzerinde Etkisi**

Fenoller protoplazmaik zehir olduklarından tüm canlı hücre türlerine zarar verirler. Fenollerin öldürücü dozları deri tarafından absorplanabilir. Fenol varlığı (0.001-0.1 mg/L) suda tat ve koku olarak anlaşılabilir (Göçmen, 1983). Fenol içeren suların içilmesi şiddetli böbrek bozukluklarına, ağır sarsıntılara ve hatta ölümlere neden olabilir. Klor içeren fenollerin zehirli etkisi ise izomere bağlı olarak değişim gösterir. Klorlu fenollerin çoğu deride ve gözde oldukça yıpratıcı özelliğe sahiptir. Ve yine zehirleyici miktarları deri tarafından absorplanabilir.

Fenol ve homologları zehirli maddeler olup hayvansal dokular üzerinde yakıcı etkileri vardır. Bu nedenle kullanılırken deriye temas ettirilmemeli ve buharları solunmaktan kaçınılmalıdır (Uyar, 1983).

Fenol içeren atıksular çok zehirlidir ve fenol derişimi 2 mg/L nin üzerinde balıklar için zehirleyici etki oluşturur (Çizelge 1.3). 96 saat süreyle fenol derişiminin 10-100 mg/L kalması sucul hayatı öldürür (Çizelge 1.4). Teorik oksijen ihtiyacı 2.4 mg O<sub>2</sub>/mg fenol olan fenoller yüksek derişimlerde su içindeki oksijeni tüketir. (Lanoutte, 1977 ; Göçmen, 1983; Gattrell ve Kirk, 1990)

Çizelge 1.3. Çeşitli Balıklar için Ölüm veya Tahribat Yapan Fenol Derişimleri (mg/L), (Göçmen, 1983)

$C_{Fenol}$	Süre	Su Cinsi	Balık Cinsi
11,5-20	96 saat $TL_m$	Standart, 20°C	Güneş Balığı (Sunfish)
13,5	96 saat $TL_m$	Yumuşak, 18°C	"
19	48 saat $TL_m$	Havalandırılmış., 20°C	"
19,3	96 saat $TL_m$	20°C	"
20,2	96 saat $TL_m$	Sert, 18°C	"
24	96 503111 $TL_m$	Yumuşak, 30°C	"
28,5	96 saat $TL_m$	Sert, 30°C	"
14,2	24 saat	-	Golyan Balığı (Minnows)
17	156 dakika	-	"
18-20	6 saat	Sert, 17°C	"
20	16,2 dakika	-	"
24-28	6 saat	Destile, 19°C	"
10	72 saat	Sert	Altın Balığı (Goldfish)
28,9	48 saat	Musluk suyu	"
51	90-140 dakika	Destile	"
12	156 dakika	-	Tatlı su levreği
17	20 dakika	-	"
23	10 dakika	-	"
5	24 saat $TL_m$	18°C	Som balığı embriyosu
4,3	12 saat	Nehir	Alabalık
5	10 saat	Göl	"
400	15 dakika	-	"
1600	Kısa süre	Nehir	"

$TL_m$ , (Tolerans Limiti): Verilen sürede deney için ortama konulan balıkların yarısını öldüren derişim.

Çizelge 1.4. Bazı Su Canlıları için Fenolik Bileşiklerin Eşik Değerleri (mg/L),  
(Göçmen, 1983)

Fenolik Bileşik	Daphnia	Scenedesmus	Microregma	E.coli
	23°C	24°C	-	27°C
Fenol	16	40	30	1000
p-Aminofenol	0,6	6	2	8-10
p-Butifenol	8	10	10	100
o-Krezol	16	40	50	600
m-Krezol	28	40	20	600
p-Krezol	12	6	10	1000
o-Nitrofenol	60	36	40	1000
m-Nitrofenol	24	28	20	300
p-Nitrofenol	14	72	20	100
2,4-Dinitrofenol	6	40	-	100
Dinitro-o-krezol	8	36	30	100
o-Ksilenol	16	40	10	500
m-Ksilenol	24	40	70	100
p-Ksilenol	10	40	50	100
Rezorsinol	0.8	60	40	1000
Hidrokinon	0.6	4	2	50
Pirokatekol	4	6	6	90
Pirogallol	18	8	50	30

Daphnia: Kabuklular cinsinden bir hayvan

Scenedesmus: Bir tür deniz yosunu

Microregma; Tek hücreli bir hayvan

E.coli: Bir bakteri türü

### 1.3.5. Fenol Giderme Yöntemleri

Fenollü atıksuların arıtılması için çeşitli arıtma teknolojileri vardır ve çoğu zaman bu yöntemlerin uygulanması ardışık şekilde olur. Hem fizikokimyasal hem de biyolojik arıtma yöntemleri endüstriyel ölçekli tesislerde başarıyla uygulanmakta ve oldukça iyi arıtım verimlerinin elde edildiği bildirilmektedir (Sokol, 1986).

Karbonizasyon işlemi sırasında oluşan fenollü atıksular kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak arıtılmaktadırlar. Kimyasal olarak arıtma işlemlerinin esası defonolizasyondur. Yüksek konsantrasyonlarda fenol içeren atıksulardan fenolü gidermek için çeşitli ayırma işlemleri uygulanmaktadır.

Bu işlemler; NaOH ile ekstraksiyon, aktif karbon ile adsorpsiyon ve kimyasal oksidasyon olarak kısaca özetlenebilir.

Fenolün geri kazanımı gerek suların arıtımı gerekse endüstrinin çeşitli kollarında kullanılan bir madde olarak, üretim ekonomisine yeniden kazandırılmasını sağlamakla birlikte oldukça pahalı bir işlemdir. Gerektirdiği ileri teknoloji ve teknik işletim kapasitesi açısından, ancak oldukça iyi donanımlı ve yüksek üretim kapasitesine sahip endüstriyel tesislerde kurulabilmektedir. Sadece fenol arıtımının önerildiği durumlarda ise biyolojik yöntemler kullanılır. Biyolojik arıtım; biyofiltreler, aktif çamur yöntemi, uzun havalandırmalı aktif çamur sistemleri ve doğal sulama yatakları şeklinde farklı yöntemlerle uygulanabilmektedir.

Biyolojik arıtım, çözülmüş organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından parçalanarak giderilmesi işlemidir. Bir çok bakteri ve mantar aromatik bileşikleri karbon ve enerji kaynağı olarak kullanmaktadır (Erhan, 2000). Yeterli bir biyolojik arıtım verimi elde edilmesinin temel koşulu, toksik madde konsantrasyonunu belirli bir seviyede tutmaktır. Tesislerde en önemli işletme problemlerinden biri buradan kaynaklanmaktadır. Toksik madde limit değerleri tesisin toplam organik madde içeriğine ve işletme verimine bağlıdır (Yıldız, 2001).

Yapay biyolojik arıtma yöntemleri için 150-160 mg/L lik bir fenol konsantrasyonu limit olarak verilmektedir. Doğal biyolojik arıtma (sulama ve filtre yatakları) için limit 125-500 mg/L fenoldür. Bununla birlikte iyi bir arıtma veriminin elde edilebilmesi için katran ve yağların tamamen, azotlu bileşiklerin ise kısmen giderilmesi gerekir. Gerek yağ gerek bazı azot bileşikleri mikroorganizmaların gelişimi açısından olumsuz etki yaratabilirler. Buna ilaveten atıksulara bir miktar fosfat tuzları ilavesi de gerekmektedir.

Kok ve havagazı fabrikalarından kaynaklanan fenollü atıksuların arıtımında iki kademeli damlatmalı filtreler kullanılır. Filtre yatağı, yüksek fırın cürufu veya granit mıcırı ile doldurulur. Birinci filtre yatağına gelen maksimum fenol yükü 800mg/L yi aşmamalıdır (Şengül ve Küçükgül 1990).

Fenollü atıksuların arıtımında aktif çamur yöntemi de kullanılmaktadır. Bunun için fenollü atıksulara evsel atıksu ilavesi gereklidir. Fenol içeriğinin arıtımına bağlı olarak gerekli hava miktarı ve havalandırma süresi de artar.

Fenollü atıksuların yapay biyolojik arıtımında organik madde konsantrasyonu, pH ve başlangıçta belirtilen arıtma derecesi önemli faktörlerdir. Havalandırma havuzuna gelen fenol yükü 600mg/L ye kadar yükselmektedir. Fenollü atıksuların arıtımı için biyolojik arıtma sistemleri tasarlanırken sadece fenol değil BOİ ve KOİ değerleri de dikkate alınır. Biyolojik arıtıma verilebilecek maksimum fenol konsantrasyonu tesisin tipine ve kapasitesine bağlıdır.

Damlatmalı filtrelere verilen organik yükleme günlük değer olarak 400-500 g BOİ/m<sup>3</sup> ve aktif çamur tesislerine verilen günlük değer ise 1000-1200 g BOİ /m<sup>3</sup> ü aşmamalıdır (Şengül ve Küçükgül, 1990).

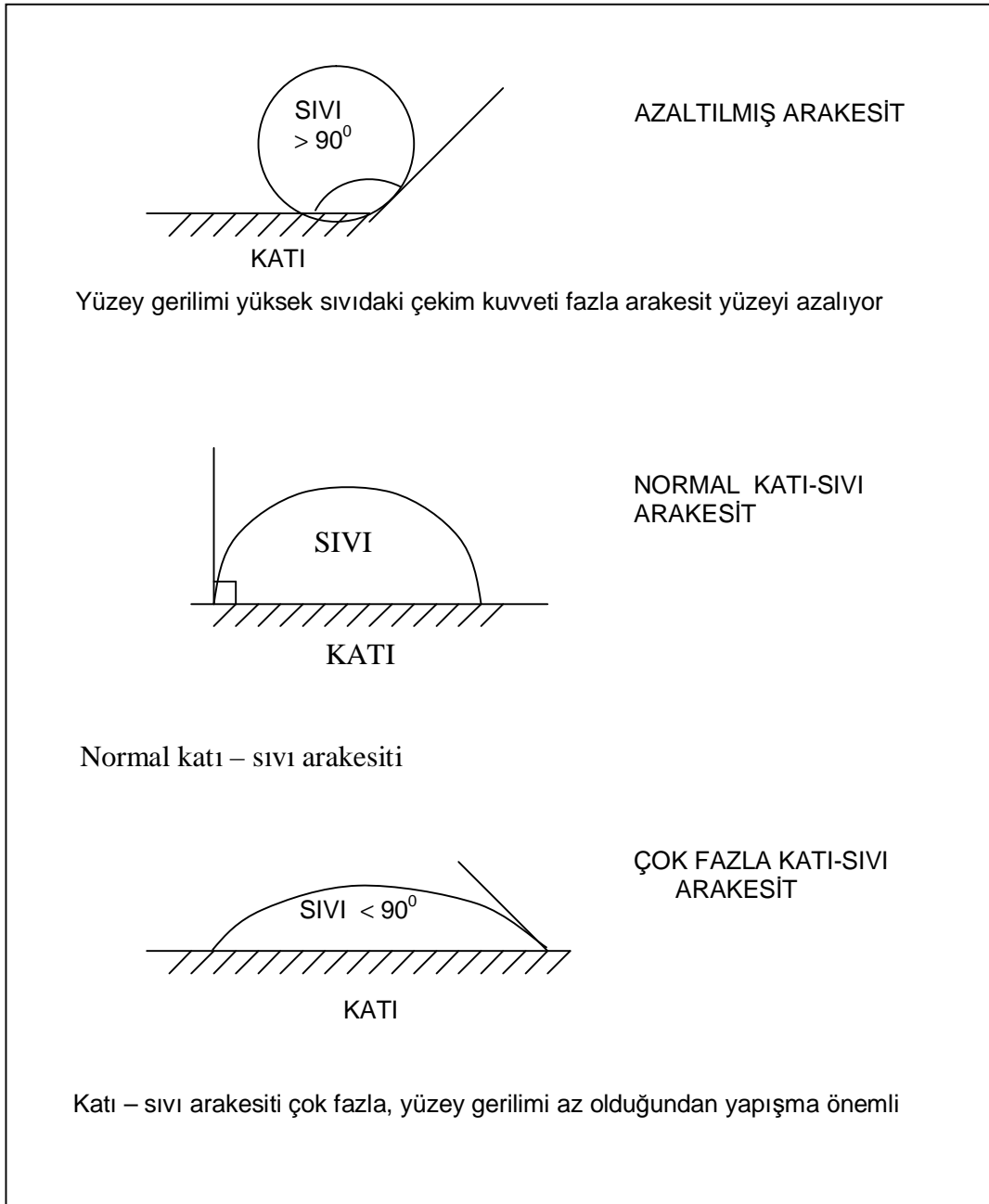
#### 1.4. Adsorpsiyon

Bir yüzey veya ara kesit üzerinde maddenin birikimi ve derişimini artırması olarak tanımlanabilir. Bu işlem herhangi iki değişik fazın arakesitinde meydana gelebilir; sıvı–sıvı, gaz–katı, sıvı–katı gibi. Yüzeyde tutulan maddeye ‘adsorplanan’, yüzeyinde tutanlara ‘adsorban’ denir. Adsorpsiyon ise bir fazda bulunan atom veya moleküllerin diğer fazda bulunan atom veya moleküller arasından oldukça homojen biçimde geçerek bu faza yerleşmesidir. Adsorpsiyon ve adsorpsiyonun ortak adına ‘sorpsiyon’ denir (Şengül ve Küçükgül, 1990).

##### 1.4.1 Yüzey Gerilimleriyle Adsorpsiyon İlişkisi

Adsorpsiyon bir fazdan madde çıkarıp diğerinin yüzeyinde yoğunlaştırmak için kullanılan bir temel işlemdir. Yüzeyde egemen olan yüzey enerjilerinden etkilenir ve onları etkiler. Yüzey özellikleri faza ait kütleyle değil yüzeyin kendisiyle ilgilidir. Sıvı ve katı fazlar arasında yüzeysel çekim güçleri açısından üç olasılık vardır (Şekil 1.2).

Böyle yüzey gerilimlerini düşüren maddeler su içinde bulunduğunda su moleküllerinin birbirlerine karşı ilgisi, bu maddelere ilgisinden fazla olacağı için kolayca yüzeyde birikirler. Birikme yüzeyde bir derişim artışına yol açar (Hidrofobik). Tam tersine suyun gerilimini artıran maddeler ise yüzeyden kurtulup suya karışır (Hidrofilik). Bazı maddeler sıvı fazdaki yüzey gerilimlerini önemli ölçüde etkilerler. Deterjan türü maddeler suyun yüzey gerilimini azaltarak ıslatma gücünü artırır (Şengül ve Küçükgül, 1990).



Şekil 1.2. Sıvı ve Katı Fazlar Arasında Yüzeysel Çekim Güçleri ve Sıvı – Katı Arakesitleri (Şengül ve Küçükgül, 1990)

### 1.4.2. Adsorpsiyon Türleri

Adsorpsiyon fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılır.

Fiziksel adsorpsiyonda Van der Waals kuvvetleri adsorplanan madde ile adsorplayıcı arasındaki bağlantıyı sağlar. Proses esnasında açığa çıkan ısı 2–5 kcal/mol dır. Burada bir aktivasyon enerjisi mevcut değildir. Ancak elektrostatik kuvvetler aracılık etmektedir.

Kimyasal adsorpsiyonda (Kemosorpsiyon) , adsorplayıcı ve adsorplanan madde arasında kimyasal bağlanma olur ve açığa çıkan aktivasyon enerjisi 10–50 kcal/mol dır. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kimyasal adsorpsiyon daha hızlı gerçekleşir. Kimyasal adsorpsiyonu içeren işlemler Çevre Mühendisliğinde çok önemli değildir ( Şengül ve Küçükgül, 1990 ).

### 1.4.3. Adsorpsiyon Prosesinin Kullanıldığı Yerler

Adsorpsiyon prosesi su ve atıksu arıtımında;

- İnsektisit, bakterisit ve bunun gibi pestisitler biyolojik arıtma sistemlerinde girişim meydana getirebilirler ve arıtılmadan tesisten çıkarlar. Bu gibi maddelerin alıcı sulara girmemesi için ileri arıtma yöntemi,
- Küçük miktarlarda toksik bileşiklerin ( fenol vb. ) sudan uzaklaştırılması,
- Deterjan kalıntılarının sudan uzaklaştırılması,
- Endüstriyel atıklarda bulunan kalıcı organik maddelerin ve rengin giderilmesi,
- Nitro ve kloro bileşikleri gibi özel organik maddelerin uzaklaştırılması,
- TOK klor ihtiyacının azaltılması,
- Deklorinasyon (klor giderme), amaçları için kullanılır (Şengül ve Küçükgül, 1990).

#### 1.4.4. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler

Adsorpsiyona etki eden faktörler şunlardır (Ardalı, 1990 );

**Sıcaklık :** Adsorpsiyon işleminde sıcaklık çok önemli bir kriter olup, adsorpsiyonun da tipini karakterize eder.

**Ortamin pH Değeri :** Adsorpsiyon işleminde farklı iyonların farklı pH değerlerinde adsorplanma kapasiteleri yüksektir.

Katyonik metal iyonlarının adsorplanması spesifik pH değerlerinde önemli olurken, anyonik iyonların adsorpsiyonu ise düşük pH değerlerinde gerçekleşerek hemen hemen % 100 iyon giderme verimine sahip olabilmektedirler.

**Adsorbanın Parçacık Boyutu:** Parçacık boyutunun azalması ile adsorplama kapasitesinin arttığı belirtilmiştir (Weber ve Moris, 1964).

**Adsorbanın Yüzey Alanı :** Adsorbanın yüzey alanını tayin etmek kolay olmadığından adsorbanın birim ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı göz önüne alınır. Adsorbanın yüzeyi genişledikçe adsorplanan madde miktarı artar.

**Başlangıç Adsorban Konsantrasyonu :** Adsorpsiyon hızı çözünen adsorban konsantrasyonu ile orantılıdır.

**Denge Süresi:** Adsorbanın adsorplama işlemini en iyi yaptığı zaman aralığı denge süresini ortaya çıkarır.

#### 1.4.5. Adsorpsiyon İzotermleri

Adsorpsiyon dengesi, adsorpsiyon izotermi olarak bilinen bağıntılarla ifade edilebilir. Çözeltide kalan derişim (C) ile adsorblayıcının birim ağırlığı başına tuttuğu madde miktarı (q) arasındaki ilişkiler ‘adsorpsiyon’ izotermi olarak

tanımlanır. Adsorpsiyon izotermelerinin matematik açıdan uygun formüllerle ifadesi için başlıca üç yaklaşım geliştirilmiştir (Şengül ve Küçükgül, 1990);

1. Langmuir Adsorpsiyon İzotermi
2. Freundlich Adsorpsiyon İzotermi
3. BET Adsorpsiyon İzotermi

- **Langmuir Adsorpsiyon İzotermi**

Langmuir adsorpsiyon izotermi ampiriktir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir (Eş.1.1) :

$$q_e = X/M = a \cdot b \cdot C / (1 + bC) \quad (1.1)$$

Burada ;

$q_e = X/M$  = Birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı, (g/g)

$a$  = Birim adsorplayıcı ağırlığı başına tek sıralı filmde tutulan mol sayısı ile ilgili sabit

$b$  = Enerji ile ilgili sabit

$C$  = Adsorpsiyondan sonra çözeltilde kalan madde derişimi (mg/L)

Langmuir adsorpsiyon izotermi linerize edilmiş şekli ile

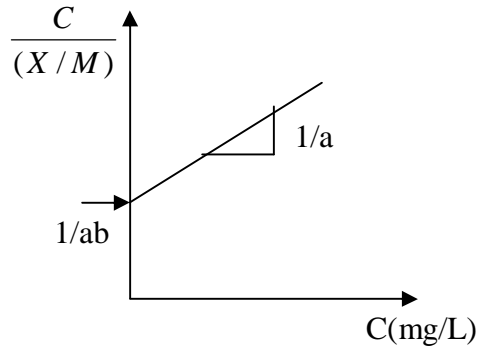
$$C/q_e = C/(X/M) = 1/a \cdot b + C/a \quad (1.2)$$

veya;

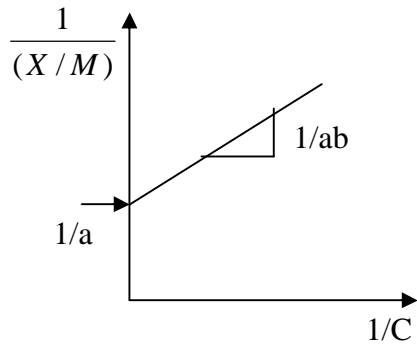
$$1/q_e = 1/(X/M) = 1/a + (1/a \cdot b) (1/C) \quad (1.3)$$

denklemleri elde edilir.

$C$  ye karşı  $C/(X/M)$  değerleri (Şekil 1.3) veya  $1/C$  ye karşı  $1/(X/M)$  değerleri (Şekil 1.4) kullanılarak elde edilen bu grafikler yardımı ile  $a$  ve  $b$  değerleri hesaplanabilir.



Şekil 1.3 : Langmuir Adsorpsiyon İzoterminin Lineerize Şekli (Eş. 1.2) (Şengül ve Küçükgül, 1990)



Şekil 1.4 Langmuir Adsorpsiyon İzoterminin Lineerize Şekli (Eş. 1.3) (Şengül ve Küçükgül, 1990)

- **Freundlich Adsorpsiyon İzotermi**

Freundlich Adsorpsiyon İzotermi aşağıdaki formül ile ifade edilir (Eş 1.4) :

$$q_e = X/M = K_F \cdot C^{1/n} \quad (1.4.)$$

Burada;

$q_e = X/M =$  Birim adsorblanan madde ağırlığı başına adsorblanmış madde miktarı(g/g)

$M =$  Adsorblanan maddenin ağırlığı (g)

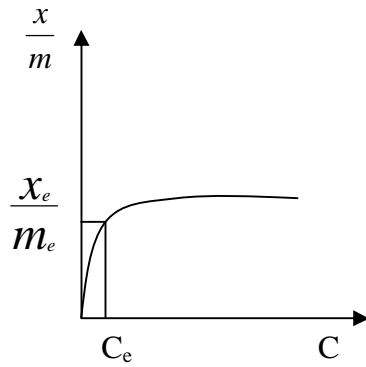
$X =$  Adsorblanan madde miktarı (g)

$K_F =$  Adsorpsiyon kapasitesi ile ilgili sabit

$n =$  Enerji ile ilgili sabit ( $n > 1$ )

$C =$  Adsorblanan maddenin çözeltideki kalıntı derişimi, (mg/L)

Şekil 1.5 te Freundlich adsorpsiyon izoterminin grafiksel ifadesi verilmiştir.



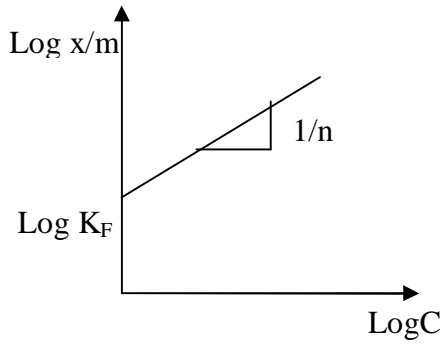
Şekil 1.5 Freundlich Adsorpsiyon İzoterminin Grafiksel İfadesi (Şengül ve Küçükgül, 1990).

Freundlich bağıntısının lineerize edilmesi ile

$$\log (X / M) = \text{Log } K_F + 1 / n \log C \quad (1.5)$$

elde edilir . Log C ye karşı log (X/M) değerleri kullanılarak elde edilen bu grafik (Şekil 1.6) yardımı ile  $K_F$  ve n değerleri hesaplanabilir.

Freundlich adsorpsiyon izoterminde atıksu arıtılmasında aktif karbon dozlaması için kullanılır



Şekil 1.6 : Freundlich Adsorpsiyon İzoterminin Lineerize Şekli (Şengül ve Küçükgül, 1990)

- **BET Adsorpsiyon İzoterminin**

BET adsorpsiyon izoterminin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir (Eş 1.6);

$$q_e = X / M = B C Q_o / (C_s - C) [1 + (B-1) (C/C_s)] \quad (1.6)$$

Burada;

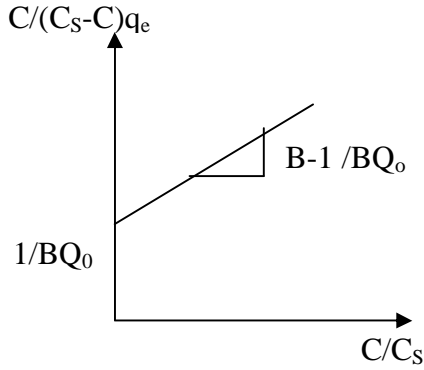
B,  $Q_o$  = Sabitler

B = Yüzey ile enerji alış verişi ile ilgili bir sabit

Yukarıdaki bağıntı lineerize edilirse

$$C / (C_s - C) q_e = 1 / BQ_o + [(B-1) / BQ_o] (C/C_s) \quad (1.7)$$

elde edilir.  $C/C_s$  ye karşı  $1/(C_s - C)q_e$  değerleri kullanılarak elde edilen grafik (Şekil 1.7) yardımı ile B ve  $Q_0$  sabitleri hesaplanabilir



Şekil1.7 BET Adsorpsiyon İzoterminin Lineerize Şekli (Şengül ve Küçükgül, 1990)

#### 1.4.6. Adsorplayıcı Maddeler

Su arıtımında adsorpsiyon teknikleri için çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Alümina, silikajel, fuller toprağı, makroporöz reçineler; bazik makroporöz iyon değiştirici reçineler, aktif silika ve aktif karbon en çok bilinen adsorban maddelerdir (Şengül ve Küçükgül, 1990).

Ayrıca son yıllarda mavi yeşil algler, çeşitli bitkiler, su sümbülü ve killer özellikle kadmiyum, kurşun, nikel, civa bakır, krom, çinko, gümüş gibi ağır metallerin arıtımı için kullanılmaktadır (Ardalı, 1990; Pollard ve ark., 1992).

#### 1.5. Uçucu Kül

Modern yakma tekniklerinin ortaya çıkmasıyla birlikte büyük miktarlarda katı yanma ürünleri olmaktadır. Bu ürünlerin büyük çoğunluğu yanma sonucunda oluşan, baca tarafından çekilen gazlarla beraber yukarı doğru sürüklenen ve uçucu kül (fly ash) adı verilen çok ince boyutlu kül tanecikleridir. Bu ince kül parçacıkları çeşitli

yöntemlerle tutulmakta (elektro filtre, siklon vs.) ve baca gazları ile atmosfere yayılmaları önlenmektedir.

Uçucu külür 1- 150 µm tane iriliğinde düzensiz şekilli parçacıklar halinde bulunmasına karşın, yakma kazanı içinden kısa geçişleri boyunca ergidiklerinden genellikle küresel şekildedirler ve toplam külün ağırlıkça % 80'ini oluştururlar. Kömür külünün diğer iki bileşeni ise taban (kazan altı) külü ve cürufur. Yakma sisteminin altında ya cüruf içinde erimiş olarak veya taban külünde tanecikler olarak toplanırlar ve külün yaklaşık %20 sini oluştururlar (Watson, 1985).

Kömür tozunun inorganik bir bileşeni olan uçucu külün atık bir malzeme olarak en fazla kullanıldığı alanlardan biri briket, tuğla ve çimento üretimidir (Pollard ve ark., 1992). Ayrıca uçucu külün su ve atıksu arıtımında koagülant ve adsorban olarak kullanım potansiyeli mevcuttur. Çünkü uçucu kül yüksek karbon içeriği, birim hacimdeki geniş yüzey alanı ve içerdiği Al, Fe, Ca, Mg ve Si gibi elementlerden dolayı birçok organik ve inorganik kirleticiyi uzaklaştırma kabiliyetine sahiptir. Bunların yanısıra doğal alkaliteli uçucu kül iyi bir nötralizedir (Ferraiola ve ark, 1990 ; Weng ve Huang, 1994). Son yıllarda ağır metallerin adsorpsiyonu ve uçucu kül üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmalar uçucu külün atıksudaki ağır metallerin adsorpsiyon yöntemi ile gideriminde etkili olduğunu vurgularken diğer taraftan da bu metal gideriminin kullanılan uçucu külün fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olduğunu göstermiştir.

### **1.5.1. Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri**

#### **1.5.1.1. Morfoloji**

Aydınlatmalı ve elektron mikroskoplarla yapılan morfolojik çalışmalar, uçucu külün heterojen bir yapıya ve çok farklı tane çeşitlerine sahip olduğunu göstermektedir. Fischer ve Natusch (1978) uçucu kül içindeki tanelerin 11 temel morfolojik yapıda olduğunu tanımlamışlardır. Bunlar:

- i. Şekilsiz, saydam taneler
- ii. Şekilsiz, opak taneler
- iii. Şekilsiz, opak ve saydam karışık taneler

- iv. Yuvarlak, kabarcıklı, saydam taneler
- v. Yuvarlak, kabarcıklı, opak ve saydam karışık taneler
- vi. Köşeli, delikli, opak taneler
- vii. Cenospheres (içi gaz dolu küresel taneciklerle dolu küresel taneler)
- viii. Plerospheres (içi küresel taneciklerle dolu küresel taneler)
- ix. Saydam, katı küresel taneler
- x. Opak küresel taneler
- xi. Yüzeylerinde veya içinde kristal oluşumlu küresel taneler

Opak (şekilsiz veya köşeli-delikli) taneler oksitlenmemiş karbonatlı malzemeler veya demir oksitler olarak sınıflandırılır. Opak küresel taneler ise manyetit (demiroksit) olabileceği düşünülmektedir. Şekilsiz (yuvarlak-kabarcıklı veya saydam) taneler, alümina-silikatların kömürün yanması sırasında tanelerin yanmaya karşı maruz kaldığı süreye bağlı olarak yuvarlak veya kabarcıklı oluşum şeklinde ortaya çıkmasındırlar. Küresel taneler ise (cenospheres, plerospheres veya katı küresel taneler) daha uzun süreleri yakma sonucu oluşmaktadır. Şekilsiz opak taneler ise yanmamış karbondur.

### 1.5.1.2. Mineroloji

Uçucu kül minerolojik olarak üç ana gruba ayrılır. Cam, mullit-kuvars ve ferrit spinel (Hullet ve ark,1980). Uçucu küldeki başlıca kristal fazları aşağıda verilmiştir. Bunlar:

*Kuvars* ( $SiO_2$ ), uçucu kül içinde hemen her yerde mevcuttur. Orijinal kömürdeki yanmalardan arta kalan kuvarstan gelir.

*Kireç* ( $CaO$ ), bütün yüksek kalsiyum içerikli linyit ve yarı-bitümlü kömür uçucu küllerinde gözlenir.

*Anhidrit* ( $CaSO_4$ ), yüksek kalsiyumlu küllerde  $CaO$  ve  $SO_3$  ten ileri gelir.

*Mullit* ( $Al_6Si_2O_{13}$ ), uçucu kül içinde yaygın olarak rastlanan bir fazdır.

*Hematit* ( $Fe_2O_3$ ), yanma sırası ve sonrasında piritin nihai oksidasyon ürünü olarak oluşur ve uçucu külde bulunur.

*Ferit Spinel* [(MgFe) (FeAl)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>], hemen hemen bütün uçucu küller manyetit ve magnezyoferrit (MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) e benzer bir X –ışını örneği ile spinel bir yapı içerir.

*Trikalsiyum Aluminat ve Merwinit* [Ca<sub>3</sub>Mg(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>], yarı-bitümlü kömür ve linyitten elde edilen bazı uçucu küllerin X-ışını difraktogramlarında gözlenmektedir.

*Periklas* (MgO), dolomitten veya daha düşük dereceli kömürlerdeki organik magnezyum oksidasyonu sonucu oluşur.

*Cam*, uçucu külde alumino-silikat camlar; Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO ve FeO'nun inklüzyonuyla değiştirilir.

Kahverengi Millerit (C<sub>4</sub>AF.C<sub>4</sub>Al<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>10</sub>), uçucu küllerde olması muhtemel fazdır.

Diğer fazlar, dikalsiyum silikatlar bir veya birçok şekilde gözlenebilir.

### 1.5.1.3. Tane İrilik Dağılımı

Taban külü tanelerinin boyutları ağırlıklı olarak 0.1-10 mm arasında değişirken, mekanik tutucularda yakalanan uçucu kül taneleri taban külünden çok daha küçük boyutlara sahiptir. Uçucu kül tanelerinin büyük bir bölümü 5-100 µm çapındadır. Uçucu külün ağırlıkça % 20-40 ı, 10 µm den daha küçük tane boyutuna sahip olmasına rağmen % 80-90 ının tane boyutu 200 µm den küçüktür (Eye ve Basu, 1970).

### 1.5.1.4. Yoğunluk

Uçucu külün ortalama özgül ağırlığı 2.4 ile 2.8 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Kaba yoğunluğu ise yaklaşık olarak 0.8 g/cm<sup>3</sup> tür (Eye ve Basu, 1970).

### 1.5.1.5. Özgül Yüzey Alanı

Uçucu kül birim hacim başına büyük bir özgül yüzey alanına sahiptir. Ortalama özgül yüzey alanı  $3500-10500 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$  arasında değişir (Arslan ve ark., 1990).

### 1.5.1.6. Kimyasal Bileşimi

Uçucu külün kimyasal bileşimi kullanılan kömürdeki minerallerin tipine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan kimyasal incelemelere göre uçucu külde bulunan temel elementler Si, Al ve Fe dir. Bununla birlikte küçük miktarlarda Ca, P, Na, Ti ve S de içerirler (Cheremisinoff, 1988).

Bir çok uçucu külün %85 inden fazla bir kısmı  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ , ve  $\text{SO}_3$ 'ün yer aldığı kimyasal bileşenlerden oluşmaktadır. Uçucu külün karbon içeriği yanma kaybına bağlı olarak %1-60 arasında değişmektedir (Eye ve Basu, 1970). Çeşitli uçucu kül örneklerine ait kimyasal bileşen değerleri Çizelge 1.5 te gösterilmektedir (Hamernik ve Frantz, 1991).

Çizelge 1.5. Uçucu Küllere ait Kimyasal Bileşen Değerleri (Hamernik ve Frantz, 1991).

Bileşenler	Uçucu Kül Örnekleri (Ağırlıkça %)				
	I	II	III	IV	V
SiO <sub>2</sub>	49.51	26.71	32.07	38.03	32.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.60	13.74	15.34	14.65	17.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.19	3.24	2.76	3.43	2.81
CaO	2.03	26.62	23.73	20.17	21.27
MgO	0.74	2.44	1.87	2.19	2.04
SO <sub>3</sub>	0.09	10.73	3.00	2.82	2.97
Na <sub>2</sub> O	0.22	2.59	2.14	2.47	2.11
K <sub>2</sub> O	2.14	1.97	0.56	0.74	0.70
TiO <sub>2</sub>	1.46	2.49	2.62	2.46	2.95
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.39	1.39	1.06	1.18	1.12
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.13	0.12	0.15	0.12
SiO	0.10	0.03	0.04	0.04	0.03

## 1.5.2. Uçucu Külün Kullanım Alanları

### 1.5.2.1. Çimento ve Beton

Uçucu küller beton içinde genellikle üç ayrı şekilde kullanılmaktadır.

i) Uçucu kül çimento kullerine katılarak birlikte öğütülür. Bu karışım uçucu küllü çimento adını alır.

ii) Uçucu kül beton malzemesi olarak doğrudan beton için kullanılan malzemeye katılır.

iii) Uçucu küller 1150-1200 °C de hafifçe ergiyerek birbirine yapışmakta ve uygulanan sinterleşme yöntemine bağlı olarak yuvarlak ve silindirik taneli agregalar oluşmaktadır. Doğal agregaya oranla daha hafif olan bu agregaların betonda

kullanılması ile hafif beton bloklar ve yapıda hafif beton elde edilmektedir (Toraman, 1995).

### **1.5.2.2 Karayolları**

Yol yapımında uçucu kül iki şekilde kullanılmaktadır,

- i. Dolgu malzemesi olarak
- ii. Toprak stabilizasyonu sağlayacak alt temel veya temel malzemesi olarak.

Özellikle sıkıştırılabilir özelliği yüksek zeminlerle birlikte ve köprü ayaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Toraman, 1995).

### **1.5.2.3. Gaz Beton**

Gaz Beton, çimento veya kireç ile uçucu kül karışımından otoklavda hava ya da başka bir gaz geçirilmesi ile elde edilir. Ateşe karşı son derece dayanıklı, hafif ve ısı yalıtımını sağlayabilen gaz betonlar uçucu kül karışımının kullanılması ile daha ucuza mal edilirler (Toraman, 1995).

### **1.5.2.4. Tuğla**

Uçucu kül çok ince taneli olması ve sinterleştğinde yüksek dayanım vermesi nedeni ile tuğla üretiminde kullanılmaktadır (Toraman, 1995).

### **1.5.2.5. Koagülant ve Adsorban**

Uçucu kül birim hacim başına büyük bir özgül yüzey alanına ve çok geniş bir tane dağılımına sahiptir. Bu atık malzemenin karbon içeriği %1-60 arasında değişmektedir. Uçucu külün adsorban olarak etkinliği içeriğindeki karbon miktarı arttıkça artmaktadır. Ayrıca uçucu kül bileşiminde bulunan silika, demir, alüminyum, kalsiyum, magnezyum ve toprak alkali maddeleri herhangi bir derişik asit

çözeltilerinde veya çok az oranlarda olmak üzere su içinde serbest hale gelirler. Böylece ham uçucu kül ile elde edilen çözeltiler su ve atıksı arıtma işlemlerinde, özellikle adsorpsiyon işlemleri ile ağır metallerin gideriminde ticari kullanımı yaygın olan aktif karbon gibi adsorban maddelerin yerine kullanılabilir (Viraraghavan ve Dranomraju,1993; Mavros ve ark, 1993).

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Cheremisinoff (1988), uçucu külün potansiyel bir mineral kaynak olduğunu ve özellikle alüminyum (Al), demir (Fe), titanyum (Ti), silisyum (Si), kalsiyum (Ca) gibi elementlerin uçucu külden yüksek oranda elde edilebileceğini bildirmektedir. Ayrıca uçucu kül ve kireçle yapılan koagülasyon-flokülasyon çalışmalarında yüksek verimde AKM giderimi sağlandığı tespit edilmiştir.

Perrich (1990), yaptığı çalışmalarda adsorpsiyon işlemlerinde sık kullanılan aktif karbonun son derece karmaşık şebeke şeklindeki gözenekleri sayesinde oldukça geniş yüzey alanına sahip olduğunu bundan dolayı fenol ile fenol türevlerinin adsorpsiyonunda oldukça etkin olmasına karşın, rejenerasyonunun zor ve pahalı bir yöntem olduğunu tespit etmiştir.

Ferraiola ve ark. (1990), uçucu külün içeriğini silika ( $\text{SiO}_2$ ), alümina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), demiroksit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), karbon ve yanmamış minerallerin yanı sıra gözenekli yapısı, partikül boyutu ve özgül yüzey alanından dolayı atıksu arıtımında adsorban olarak kullanılabilmesini bildirmişlerdir.

Aksu ve ark. (1991), aktif çamur sistemlerinde aşırı miktarda üreyen ve fazlası atılan aktif çamurun, yüzey özelliklerinden dolayı fenol ve fenol türevlerinin adsorpsiyonunda kullanılabilmesini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada fenol ve monoklorofenollerin yapılarında yer alan  $\text{OH}^-$  VE  $\text{Cl}^-$  gruplarının da yardımıyla, kurutulup parçalanarak kullanılan mikroorganizma yüzeyindeki karbonhidrat, lipit ve protein yapılarına bağlanabileceği bildirilmektedir.

Vandenbusch ve Sell (1992), uçucu külün atıksulardan fenol gibi arıtılması güç organik maddeleri ve rengi gidermede önemli bir potansiyele sahip olduğunu bildirmektedir. Yapılan çalışmada uçucu kül, ham ve asidifiye edilmiş hali ile atıksuların arıtıldığı arıtma tesisi çıkış sularına uygulanmıştır. Ham küle nazaran asidifiye edilmiş uçucu kül çözeltisiyle daha yüksek arıtma verimleri elde edildiği ve asidifikasyon sayesinde uçucu küllerin adsorplanma kapasitelerinin arttığı tespit edilmiştir.

Mavros ve ark. (1993), adsorban işlemi ile atıksulardan nikel elementinin gideriminde linyit kömürü ile çalışan Kardina ve Megalopous termik santrallerinin

yüksek kalsiyum (CaO) içeren uçucu küllerini kullanmışlar ve uçucu küllerin atıksularda nikel iyonlarının gideriminde ticari alanda yaygın halde kullanılan aktif karbon ve sentetik zeolit kadar etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Alemanly ve ark. (1996), termik santrallerden çıkan uçucu küllerin sudaki fenol giderimi üzerine etkinliğini değerlendirmek amacıyla üç farklı pH ve sıcaklıkta adsorbsiyon deneyleri gerçekleştirmişler ve pH ile sıcaklığın fenol adsorpsiyonunda önemli derecede etkin olduğunu saptamışlardır.

Akgerman ve Minoo (1996) sulardaki fenol, 3-klorofenol ve 2,4 diklorofenolün uçucu kül ile adsorpsiyon izotermi üzerinde yaptıkları çalışmalarda uçucu külün sırasıyla 60, 20, 22 mg/g kirletici adsorpladığını ve fenolün uçucu küle diğer iki kirleticiye oranla daha fazla ilgi gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Bayat ve ark. (1997), evsel atıksulardaki organik ve inorganik maddelerin pıhtılaştırma-yumuşaklaştırma işlemi gideriminde Afşin-Elbistan, Yeniköy, Çatalağzı ve Seyitömer termik santrallerinden temin edilen uçucu külleri koagülant olarak kullanarak yaptıkları çalışmada kalsiyum içeriği yüksek olan uçucu küllerin (Afşin-Elbistan ve Yeniköy) ticari kullanımı yaygın olan alüminyum sülfat ve demir klorür kadar etkin bir koagülant olduğunu tespit etmişlerdir.

Bülbül ve Aksu (1997), yaptıkları çalışmada fenolik bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle giderilebileceğini belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre halkaya bağlı grupların pozisyonu, bağlı grupların sayısı, türü, grupların boyutu ve karmaşıklığı ve bileşenlerin sayısı, bunların uzaklaştırılmasına etkiyen faktörler arasındadır.

Viraraghavan ve De Maria Alfaro (1998), fenolün atıksulardan adsorpsiyonunda turba, uçucu kül ve bentonit gibi ekonomik adsorbanların etkinliklerini incelemişler ve çalışmalar sonucu denge zamanının 16-16,5 saat, optimum pH değerinin ise 4-5 aralığı olarak belirlemişlerdir. Bu üç adsorban için sırasıyla %41.6, %42.5 fenol giderme verimi elde etmişlerdir.

Yener ve Aksu (1999), fenol adsorpsiyonu için kurutulmuş aktif çamur ve uçucu kül kullanmışlar ve aktif karbonla karşılaştırmışlardır. Başlangıç pH na bağlı olarak 100 mg/L başlangıç fenol konsantrasyonunda elde edilen maksimum fenol yüklemeleri kurutulmuş aktif çamur için 91.0 mg/g, uçucu kül için 27.9 mg/g ve

granüler aktif karbon için 108 mg/g olarak belirlenmiştir. Yapılan izoterm çalışmaları sonucu fenol adsorpsiyonunda hem kurutulmuş aktif çamur hem de uçucu kül, aktif karbona karşı kullanılabilir alternatif adsorbanlar olarak önerilmiştir.

Tzeng ve Huang (2000), uçucu külün klorofenollerin adsorpsiyonunda partikül boyutuna, karbon içeriğine ve özgül yüzey alanına göre etkinlik gösterdiğini bildirmişlerdir. Çalışmalarında beklenildiği üzere ortam pH na bağlı olarak karbon içeriği ve özgül yüzey alanının daha fazla olduğu uçucu kül örneklerinde daha fazla fenol adsorpsiyonu olduğunu tespit etmişlerdir.

### 3. MATERYAL METOD

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kullanılan Evsel Atıksu

Deneyisel çalışma boyunca kullanılan evsel atıksular Adana şehir kanalizasyon şebekesinden (Balcalı Kampüsü, Fevzi Çakmak Öğrenci Yurdu) Nisan 2003- Temmuz 2003 ve Şubat 2004-Ocak 2005 ayları içerisinde 2 saatlik kompozit numuneler şeklinde alınmıştır. Bütün numuneler deneyde taze su kullanabilmek için sabah 9 ile 10 saatleri arasında temin edilmiştir. Deneyisel çalışmada kullanılan evsel atıksuyun özellikleri Çizelge 3.1 de verilmiştir. Metcalf ve Eddy (1991) nin belirlediği evsel atıksu sınıflandırmasına göre çalışmada kullanılan evsel atıksu orta-zayıf karakterli atıksu sınıfına girmektedir.

Çizelge 3.1 Deneyisel Çalışmada Kullanılan Evsel Atıksuyun Özellikleri

Özellikler	Aralık
Sıcaklık (°C)	20-22
pH	7,5-8,5
Eİ (µS/cm)	600-1670
KOİ (mg/L)	250-719
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	150-371
AKM (mg/L)	100-219
TKN (mg/L)	39-42
Fenol (µg/lo)	100-120
Bulanıklık (TE/F)	50-100

### 3.1.2. Kullanılan Adsorbanlar

Bu çalışmada, Türkiye'nin çeşitli termik santrallerinden (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) temin edilen uçucu küller ve piyasadan temin edilen toz aktif karbon (SIGMA C 3345) kullanılmıştır. Kullanılan uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.2 ve 3.3 de verilmiştir (Bayat, 1998).

Çizelge 3.2. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri (Bayat, 1998)

Özellik	Uçucu Kül		
	Afşin-Elbistan	Seyitömer	Soma
Özgül yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	0,342	0,115	0,207
Kaba yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.05	0.88	0.95
Özgül yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.70	1.58	2.12
pH	12,5	10,5	12,5
Partikül Boyutu	% 65<75µm	% 15<75µm	% 50<45µm
pH <sub>ZPC</sub>	7.0	3.5	7.0
Yanma Kaybı %	2.31	3.78	6.47

Çizelge 3.3 Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri (Bayat, 1998)

Bileşenler	Uçucu Küller		
	Afşin - Elbistan	Seyitömer	Soma
SiO <sub>2</sub> (ağr % )	15.14	53.50	49.50
AlO <sub>3</sub> (ağr % )	7.54	15.71	26.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ağr % )	3.30	8.81	5.42
CaO (ağr % )	23.66	0.29	0.84
MgO (ağr % )	4.50	2.94	2.92
K <sub>2</sub> O (ağr % )	0.28	1.19	2.42
Na <sub>2</sub> O (ağr % )	0.57	0.77	0.81
TiO <sub>2</sub> (ağr % )	1.03	0.12	0.99
SO <sub>3</sub> (ağr % )	13.22	1.11	1.59
Cd (mg/L)	8	-	8.0
Pb (mg/L)	80	79.0	79.7
Zn (mg/L)	80	112.6	195.2
Cu (mg/L)	40	98.8	59.8
Cr (mg/L)	298	454.5	119.5
Ni (mg/L)	119	1975.9	79.7
Mn (mg/L)	219	790.4	358.6

Uçucu kül kullanımının veya bertarafının çevresel etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için uçucu küllerin bünyesindeki farklı kimyasal maddelerin sudaki çözünme özellikleri Çizelge 3.4 de verilmiştir (Bayat,1998). Uçucu küllerin bünyesindeki kalsiyum suda önemli ölçüde çözünmektedir. Kalsiyumu sırasıyla Afşin-Elbistan uçucu külü için Na, Mg, Si, K ve Al; Seyitömer uçucu külü için Na, Si, K, Mg ve Al; Soma uçucu külü için ise Si, Na, Al, K ve Mg takip etmektedir. Diğer elementler ya çok az çözünmekte yada hiç çözünmemektedir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Uçucu Küllerin Bünyesindeki Bazı Elementlerin Sudaki Çözünürlükleri (Bayat, 1998)

Elementler	Çözeltideki Toplam Konsantrasyon (mg/L)		
	Afşin -Elbistan	Seyitömer	Soma
Si	3,1	5	4,7
Al	02	0,5	2,8
Fe	-	-	-
Ca	280	30	50
Mg	3,6	0,9	0,3
K	1,0	3,0	1,0
Na	4,0	6,0	4,0
Ti	-	-	-
Cd	-	-	-
Pb	-	0,2	-
Zn	-	0,2	-
Cu	-	-	-
Co	-	-	-
Ni	-	-	-
Mn	-	-	-

### 3.2.Metod

#### 3.2.1 Atıksu Analizleri

Bu çalışmada uçucu küllerin (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) fenol giderimindeki etkisinin ticarete yaygın olarak kullanılan toz aktif karbonla ile karşılaştırılarak belirlenmesi için evsel atıksu numuneleri kloroform ekstraksiyon yöntemi ile işleme tabi tutulmuştur. Bu ekstraksiyon işleminden önce ham atıksu numunesinin pH, sıcaklık , KOİ, BOİ<sub>5</sub>, TKN, AKM, Eİ, bulanıklık değerleri standart yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir. KOİ analizi atıksu numunesinin 148°C de

potasyum di kromat ( $K_2Cr_2O_7$ ), sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ve gümüş sülfatla ( $Ag_2SO_4$ ) iki saat oksidasyonu neticesinde  $Cr^{+3}$  ün fotometrik olarak saptanmasına dayanmaktadır. Bu yöntem 100-1500mg/L KOİ konsantrasyonu aralığında hassas olup standart sapması  $\pm 0,04$  tür (MN Filterphotometre Nanocolor 100D-test 29). Bulanıklık ölçümleri MN Filterphotometre Nanocolor 100D Spektrofotometre kullanılarak yapılmıştır. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ( $BOİ_5$ ), Toplam Kjhdal Azotu (TKN), Askıda Katı Madde (AKM) ölçümleri standart yöntemlere uygun olarak yapılmıştır.(APHA-SWWA-WPCF, Standart Methods, 1985). pH, Hana Instruments pH meter, Elektiriksel İletkenlik (Eİ) ise Hana Instruments Conductivity meter ile ölçülmüştür.

### 3.2.2. Fenolün Kloroform Ekstraksiyonu ile Tayini

#### Genel Bilgiler

- a. **Prensip:** Fenol ve fenol türevleri peroksodisülfat varlığında, 4-amino antiprin ile reaksiyona girerek renkli antiprin boyasını teşkil ederler. Oluşan boya sulu çözeltide kloroform ( $CHCl_3$ ) ile ekstrakte edilip absorbans değerleri 460 nm dalga boyutunda okunur. Bu yöntemin ölçüm aralığı  $1\mu g/L$  ile  $250\mu g/L$  nin üstündeki konsantrasyonlardır.
- b. **Girişim:** Klor ve klor dioksit gibi oksitleyicilerin bulunması dahilinde oluşabilecek girişimler askorbik asit ilavesi ile minimize edilebilir.
- c. **Minimum Tayin Edilebilir Konsantrasyon:** Tayin edilebilir en düşük konsantrasyon 5 cm lik küvetlerde 25 mL kloroform kullanımı ile  $0.5\mu g/L$  dir.

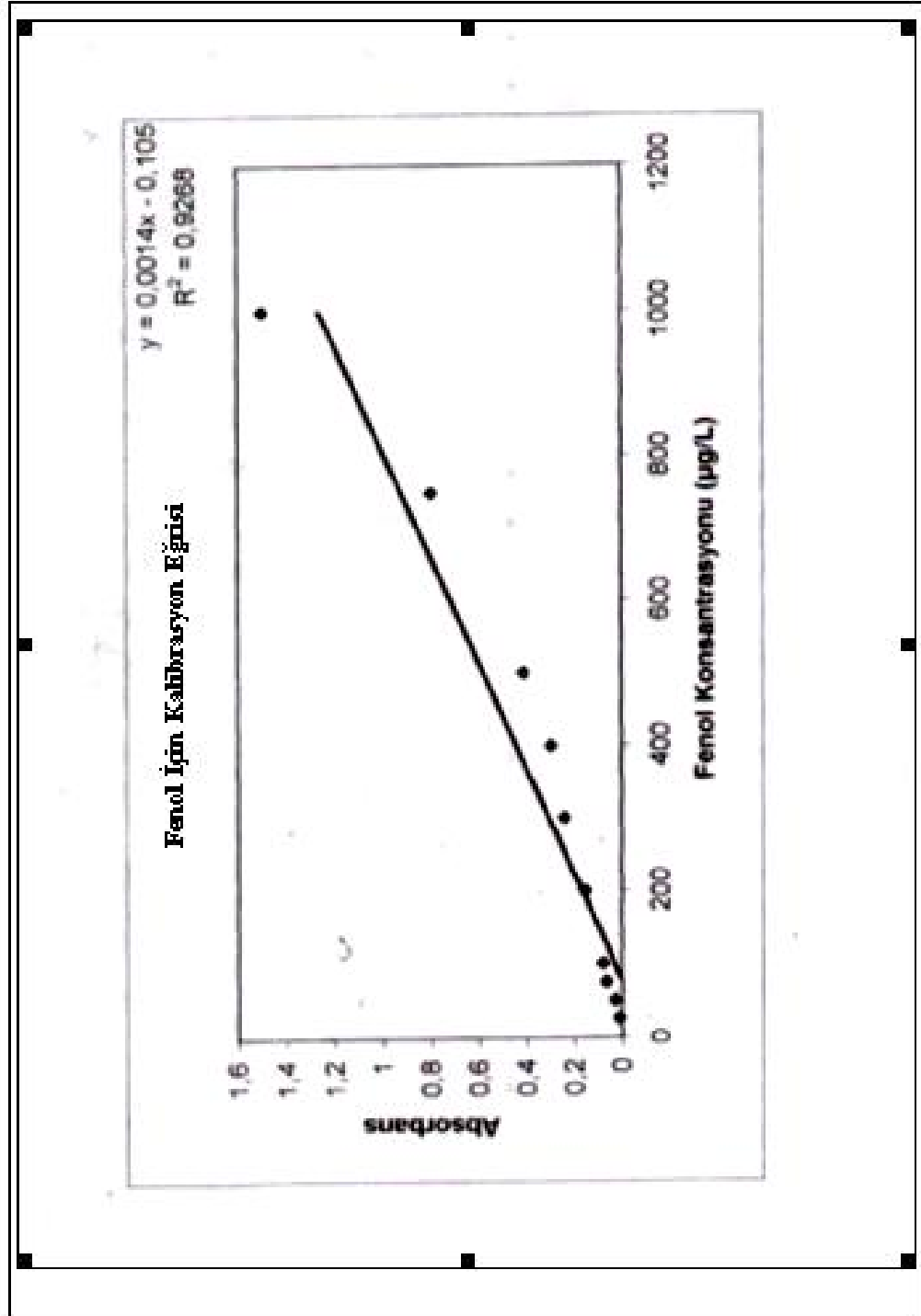
#### Kullanılan Reaktifler

Aminoantipirin Çözeltisi: 2g 4-amino antipirin ( $C_{11}H_{13}N_3O$ ) suda çözülür ve 100 ml'ye seyreltilir. Günlük olarak hazırlanır.

Tampon Çözeltisi: 34 g amonyum ve 200 g potasyum sodyum tartarik asit tozu ( $C_4H_4O_6KNa.4H_2O$ ) suda çözülür ve 150 mL amonyak çözeltisi (%25) ile muamele edilir ve 100 L ye seyreltilir.



yardımıyla 25, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 500, 750, 1000 µg/L lik derişimlerde standart fenol çözeltileri hazırlanmıştır. Daha sonra fenol analizi için 500 mL numune 1 L'lik behere konularak sırasıyla 0,5 g CuSO<sub>4</sub>, 20 mL tampon çözelti ilave edilerek birkaç dakika karıştırılıp 1 L lik ayırma hunisine aktarılmıştır. Arkasından 3 mL peroxodisülfat, 3 mL 4-amino antipirin ilave edilmiş ve birkaç dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra 30 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Bekletmeden sonra 25 mL kloroform ile ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Bunun için alt kısımdaki kloroform faz NaSO<sub>4</sub> dan geçirilerek kurutulduktan sonra filtre edilmiş ve 25 mL lik balon jodelere aktarılmıştır. Eksik kalan hacim kloroform ile tamamlanmıştır. Her bir çözeltiliye denk gelen absorbans değeri aynı şartlarda saf su ile hazırlanan köre karşı Spectronic 21 Bausch&Lomb spektrofotometresinde, 460 nm dalga boyunda okunarak kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Fenol için oluşturulan kalibrasyon eğrisi Şekil 3.1. de verilmiştir.



### 3.2.3. Çalkalama Deneyleri

Atıksulardaki fenolün uçucu küller (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) ve toz aktif karbon ile adsorpsiyon işlemi kullanılarak giderilmesinde laboratuvar ortamında hızı 0-360 dev/dk. arasında ayarlanabilen Orbital Shaker (IKA®HS 260 basic) kullanılmıştır (Resim 3.1). Çalkalama deneylerinden önce numunenin fenol konsantrasyonu 1 mg/L den az (100-120 µg/L) olduğundan evsel atıksuların fenol konsantrasyonu standart metoda uygun olarak hazırlanmış stok fenol çözeltisiyle 1 mg/L'ye tamamlanmıştır.



Resim 3.1 Orbital Shaker Düzeneği

Daha sonra çalkalama deneyleri için 500 mL atıksu numuneleri 500 ml'lik 6 adet şişeye konulup her birine 10-40 g ağırlığındaki miktarlarda uçucu kül ilave edildikten sonra ağzları iyice kapatılıp çalkalama düzeneğine yerleştirildikten sonra optimum temas süresini bulmak için 0.15, 0.30, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 st sürelerde 210 dev/dk hızla karıştırılmıştır. Deneysel yöntem boyunca optimum fenol adsorpsiyonunun olduğu pH değerini bulmak için 1N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 1N NaOH çözeltileri ile atıksuyun başlangıç pH ı 3 ila 8 arasında değiştirilmiş ve fosfat tampon çözeltisi ile pH sabitlenmiştir. Bu hızla çalkalama işleminin sonunda numuneler 0,45µm cam elyaf filtre kullanılarak vakum filtrasyonundan geçirilmiş ve kloroform ekstraksiyon yöntemi ile fenol analizi yapılmıştır. Aynı deney serileri uçucu küllerin fenol giderim

etkinliklerinin karşılaştırılması amacı ile ticarete yaygın olarak kullanılan toz aktif karbon ile tekrar edilmiştir.

Uçucu küllerin desorpsiyon miktarlarını belirlemek için yapılan desorpsiyon deneylerinde maksimum fenol adsorpsiyonunun elde edildiği optimum pH (Afşin-Elbistan ve Seyitömer uçucu külleri için pH: 5, Soma uçucu küllü için pH: 6) ve denge sürelerinde (tüm uçucu küller için 6 saat (360 dk)) 500 mL atıksudaki 1 mg/L fenolün adsorpsiyon işlemi ile gideriminde ve 10 g uçucu kül kullanımı ile yapılan adsorpsiyon deneyleri sonunda numunenin vakum filtreden geçirilme işleminden sonra filtre üzerinde kalan uçucu küller kullanılmıştır. Bu uçucu küller içerisinde 500 mL saf su bulunan şişelere konulup ağzı sıkıca kapatılıp çalkalama düzeneğine yerleştirilmiş ve sonra adsorpsiyonun dengeye ulaştığı sürelerde (6 saat) 210 dev/dk hızla karıştırılmıştır. Bu hızlı çalkalama işleminin sonunda numuneler 0,45µm cam elyaf filtre kullanılarak vakum filtrasyonundan geçirilmiş ve kloroform ekstraksiyon yöntemi ile fenol analizi yapılmıştır. Bu desorpsiyon deneylerinde pH aralığı 3-8 arasında değişmiştir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

##### 4.1. Araştırma Bulguları

Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma uçucu külleri ve toz aktif karbon ile yapılan çalkalama deney sonuçlarının değerlendirilmesinde temas süresi, başlangıç pH ı ve adsorban (uçucu kül, toz aktif karbon) dozunun fenol konsantrasyonunun giderimi göz önüne alınmıştır. Deney sonuçları uçucu küller (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) ve toz aktif karbon için sırasıyla Çizelge 4.1- 4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Yapılan Adsorpsiyon Deney Sonuçları

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
15	3	20	570	43
15	4	20	650	35
15	5	20	520	48
15	6	20	600	40
15	7	20	560	44
15	8	20	470	53

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
30	3	20	630	37
30	4	20	430	57
30	5	20	440	56
30	6	20	450	55
30	7	20	500	50
30	8	20	630	37

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
60	3	20	480	52
60	4	20	430	57
60	5	20	400	60
60	6	20	530	47
60	7	20	600	40
60	8	20	640	36

Çizelge 4.1 in Devamı

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
90	3	20	450	55
90	4	20	650	35
90	5	20	380	62
90	6	20	600	40
90	7	20	480	52
90	8	20	500	50

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
120	3	20	440	56
120	4	20	430	57
120	5	20	390	61
120	6	20	410	59
120	7	20	460	54
120	8	20	570	43

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
180	3	20	430	57
180	4	20	410	59
180	5	20	350	65
180	6	20	410	59
180	7	20	440	56
180	8	20	550	45

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
240	3	20	600	40
240	4	20	550	45
240	5	20	340	66
240	6	20	430	57
240	7	20	450	55
240	8	20	300	70

Çizelge 4.1 in Devamı

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
300	<b>3</b>	20	440	56
300	<b>4</b>	20	550	45
300	<b>5</b>	20	420	58
300	<b>6</b>	20	490	51
300	<b>7</b>	20	450	45
300	<b>8</b>	20	420	48

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
360	5	<b>10</b>	710	35
360	5	<b>20</b>	450	65
360	5	<b>30</b>	570	67
360	5	<b>40</b>	540	70

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
<b>15</b>	5	20	520	48
<b>30</b>	5	20	440	56
<b>60</b>	5	20	400	60
<b>90</b>	5	20	380	62
<b>120</b>	5	20	450	65
<b>180</b>	5	20	450	65
<b>240</b>	5	20	440	66
<b>300</b>	5	20	420	58
<b>360</b>	5	20	490	51
<b>420</b>	5	20	500	50

Çizelge 4.2 Seyitömer Uçucu Külü ile Yapılan Adsorpsiyon Deney Sonuçları

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol ( $\mu\text{g/L}$ )	Fenol giderimi %
15	3	20	700	30
15	4	20	510	49
15	5	20	554	45
15	6	20	596	40
15	7	20	636	36
15	8	20	646	35

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol ( $\mu\text{g/L}$ )	Fenol giderimi %
30	3	20	382	62
30	4	20	361	64
30	5	20	400	60
30	6	20	490	51
30	7	20	420	58
30	8	20	525	48

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol ( $\mu\text{g/L}$ )	Fenol giderimi %
60	3	20	503	50
60	4	20	275	73
60	5	20	217	78
60	6	20	282	72
60	7	20	289	71
60	8	20	361	64

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol ( $\mu\text{g/L}$ )	Fenol giderimi %
90	3	20	510	49
90	4	20	350	65
90	5	20	172	83
90	6	20	400	60
90	7	20	480	52
90	8	20	650	35

Çizelge 4.2'nin Devamı

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
120	3	20	500	50
120	4	20	360	64
120	5	20	157	84
120	6	20	368	63
120	7	20	503	49
120	8	20	540	66

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
180	3	20	300	70
180	4	20	360	64
180	5	20	203	80
180	6	20	390	61
180	7	20	480	52
180	8	20	600	40

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
240	3	20	270	73
240	4	20	230	77
240	5	20	170	83
240	6	20	210	79
240	7	20	300	70
240	8	20	340	66

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
360	5	10	275	73
360	5	20	203	80
360	5	30	170	83
360	5	40	143	86

Çizelge 4.2'nin Devamı

<b>Çalkalama süresi (dk)</b>	<b>pH</b>	<b>U. Kül Dozu gr/L</b>	<b>Fenol (µg/L)</b>	<b>Fenol giderimi %</b>
15	5	20	554	45
30	5	20	400	60
60	5	20	217	78
90	5	20	172	83
120	5	20	157	84
180	5	20	203	80
240	5	20	170	83
300	5	20	155	85
360	5	20	164	84
420	5	20	166	83

Çizelge 4.3. Soma Uçucu Külü ile Yapılan Adsorpsiyon Deney Sonuçları

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
15	3	20	550	45
15	4	20	750	25
15	5	20	650	35
15	6	20	600	40
15	7	20	450	55
15	8	20	350	65

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
30	3	20	650	35
30	4	20	380	42
30	5	20	600	40
30	6	20	500	50
30	7	20	490	51
30	8	20	650	35

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
60	3	20	620	38
60	4	20	560	44
60	5	20	630	37
60	6	20	360	64
60	7	20	430	57
60	8	20	670	33

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
90	3	20	500	50
90	4	20	330	23
90	5	20	450	55
90	6	20	400	60
90	7	20	380	62
90	8	20 gr	650	35

Çizelge 4.3'ün Devamı

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
120	3	20	500	50
120	4	20	600	40
120	5	20	400	60
120	6	20	370	67
120	7	20	700	30
120	8	20	650	35

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
180	3	20	490	44
180	4	20	660	51
180	5	20	780	55
180	6	20	350	65
180	7	20	630	56
180	8	20	440	37

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
240	3	20	470	53
240	4	20	500	50
240	5	20	610	39
240	6	20	740	66
240	7	20	550	45
240	8	20	590	41

Çalkalama süresi (dk)	pH	U. Kül Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
300	3	20	500	50
300	4	20	550	45
300	5	20	590	41
300	6	20	360	64
300	7	20	620	38
300	8	20	580	42

Çizelge 4.3'ün Devamı

<b>Çalkalama süresi (dk)</b>	<b>pH</b>	<b>U. Kül Dozu gr/L</b>	<b>Fenol (µg/L)</b>	<b>Fenol giderimi %</b>
360	6	<b>10</b>	600	40
360	6	<b>20</b>	350	65
360	6	<b>30</b>	250	75
360	6	<b>40</b>	180	82

<b>Çalkalama süresi (dk)</b>	<b>pH</b>	<b>U. Kül Dozu gr/L</b>	<b>Fenol (µg/L)</b>	<b>Fenol giderimi %</b>
<b>15</b>	6	20	600	40
<b>30</b>	6	20	500	50
<b>60</b>	6	20	360	64
<b>90</b>	6	20	350	65
<b>120</b>	6	20	330	67
<b>180</b>	6	20	350	65
<b>240</b>	6	20	340	66
<b>300</b>	6	20	360	64
<b>360</b>	6	20	350	65
<b>420</b>	6	20	370	63

Çizelge 4.4 Toz Aktif Karbon ile Yapılan Adsorpsiyon Deney Sonuçları

Çalkalama süresi (dk)	pH	A. Karbon Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
15	3	20	210	79
15	4	20	210	79
15	5	20	180	82
15	6	20	180	82
15	7	20	210	79
15	8	20	210	79

Çalkalama süresi (dk)	pH	A. Karbon Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
30	3	20	190	81
30	4	20	190	81
30	5	20	140	86
30	6	20	140	86
30	7	20	180	82
30	8	20	190	81

Çalkalama süresi (dk)	pH	A. Karbon Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
60	3	20	170	83
60	4	20	170	83
60	5	20	140	86
60	6	20	140	86
60	7	20	160	84
60	8	20	160	84

Çalkalama süresi (dk)	pH	A. Karbon Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
90	3	20	170	83
90	4	20	160	84
90	5	20	140	86
90	6	20	150	85
90	7	20	160	84
90	8	20	160	84

Çizelge 4.4'ün Devamı

Çalkalama süresi (dk)	pH	A. Karbon Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
120	3	20	160	84
120	4	20	160	84
120	5	20	140	86
120	6	20	140	86
120	7	20	160	84
120	8	20	160	84

Çalkalama süresi (dk)	pH	A. Karbon Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
180	3	20	180	82
180	4	20	180	83
180	5	20	150	85
180	6	20	150	85
180	7	20	170	83
180	8	20	170	83

Çalkalama süresi (dk)	pH	A. Karbon Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
240	3	20	230	77
240	4	20	170	83
240	5	20	150	85
240	6	20	150	85
240	7	20	170	83
240	8	20	180	82

Çalkalama süresi (dk)	pH	A. Karbon Dozu gr/L	Fenol (µg/L)	Fenol giderimi %
300	3	20	260	80
300	4	20	160	84
300	5	20	150	85
300	6	20	150	85
300	7	20	170	83
300	8	20	200	80

Çizelge 4.4'ün Devamı

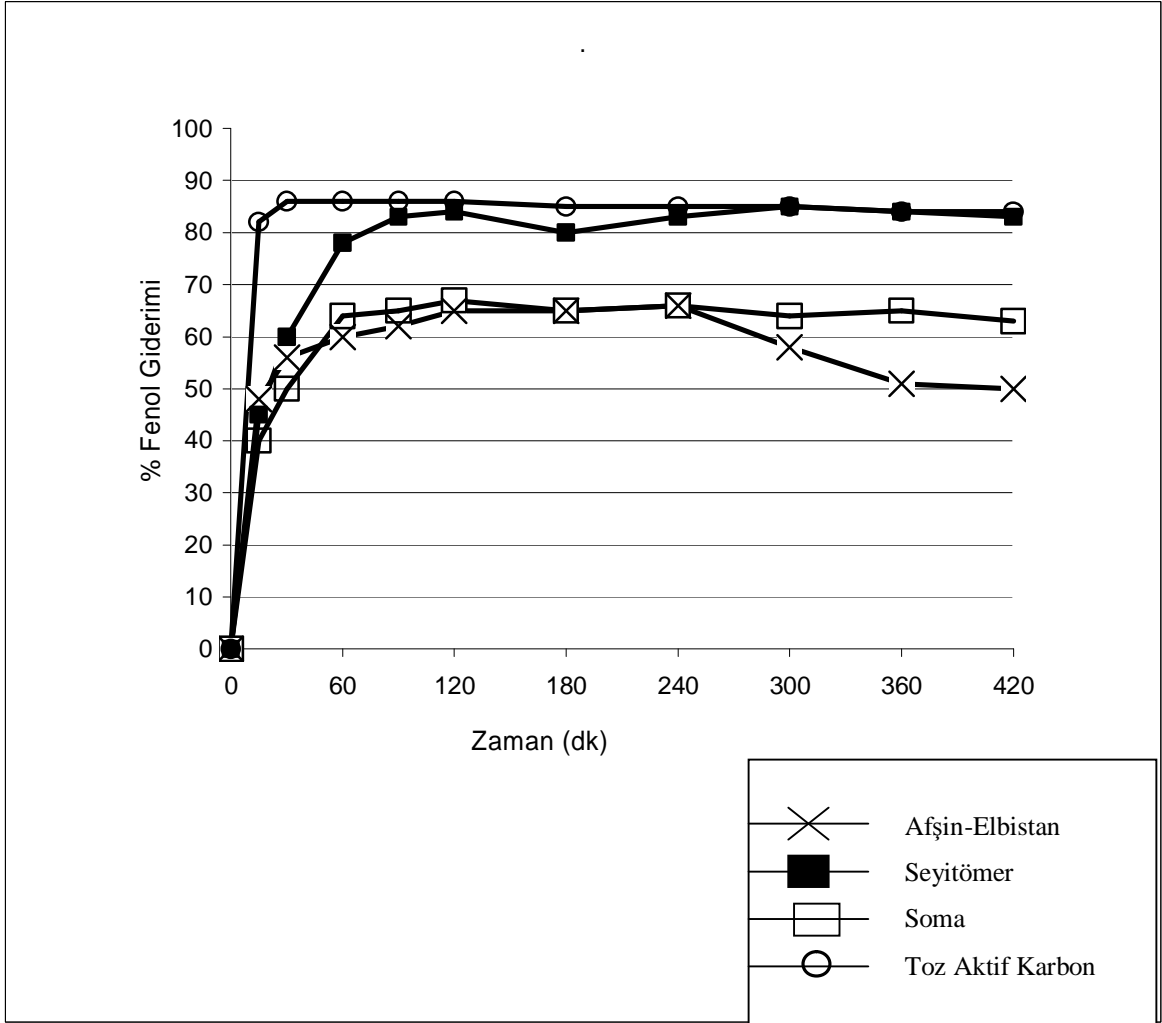
<b>Çalkalama süresi (dk)</b>	<b>pH</b>	<b>A. Karbon Dozu gr/L</b>	<b>Fenol (µg/L)</b>	<b>Fenol giderimi %</b>
360	5	<b>10</b>	430	57
360	5	<b>20</b>	150	85
360	5	<b>30</b>	120	88
360	5	<b>40</b>	80	92

<b>Çalkalama süresi (dk)</b>	<b>pH</b>	<b>A. Karbon Dozu gr/L</b>	<b>Fenol (µg/L)</b>	<b>Fenol giderimi %</b>
<b>15</b>	5	20	180	82
<b>30</b>	5	20	140	86
<b>60</b>	5	20	140	86
<b>90</b>	5	20	140	86
<b>120</b>	5	20	140	86
<b>180</b>	5	20	190	85
<b>240</b>	5	20	210	85
<b>300</b>	5	20	240	85
<b>360</b>	5	20	260	84
<b>420</b>	5	20	260	84

## **4.2. Araştırma Bulgularının Değerlendirilmesi**

### **4.2.1. Temas (Çalkalama) Süresinin Fenol Adsorpsiyonu Üzerine Etkisi**

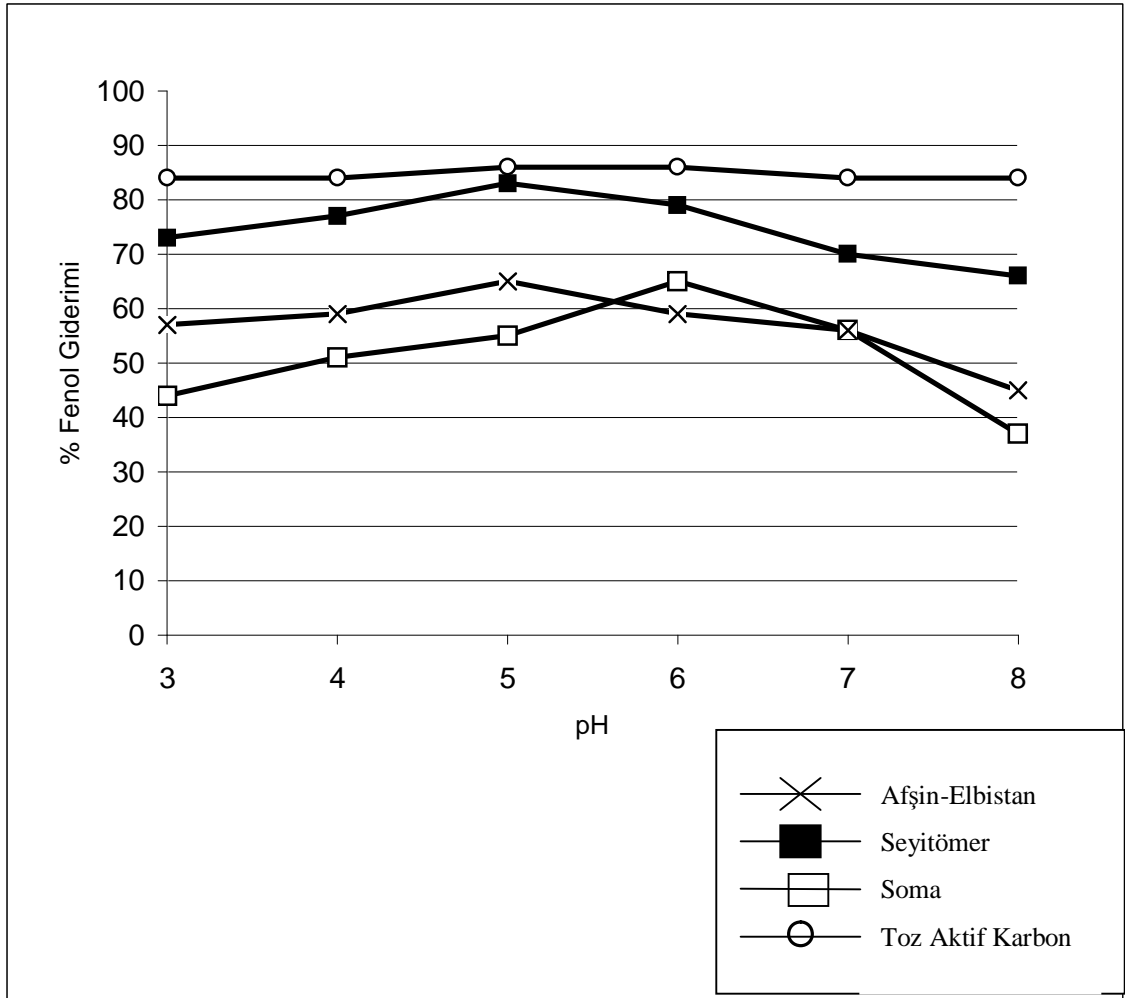
Fenol konsantrasyonunun Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma uçucu külleri ve toz aktif karbon ile adsorpsiyon işlemine temas süresinin etkisini araştırmak için yapılan deney sonuçları Şekil 4.1 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi her bir adsorplayıcı için 60 dk lık sürede yüksek adsorpsiyon verimleri elde edilmesine rağmen 6 saate (360 dk) kadar fenol giderimleri değişiklik göstermekte 6 saatten sonra dengeye ulaşmakta ve daha sonraki sürelerde değişmemektedir. Bu nedenle her dört adsorplayıcı için denge temas (çalkalama) süresi 6 saat (360 dk) olarak belirlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer değerler elde edilmiştir. Örneğin Virarghavan ve De Maria Alfaro (1998), atıksularda fenol giderimi ile ilgili yaptıkları çalışmada kullandıkları uçucu kül için denge süresini 5 saat olarak tespit etmişlerdir. Bu elde edilen sonuçlar çalışmalarda kullanılan uçucu küllerin tipine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 4.1. Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma Uçucu Külleri ve Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon İşlemine Temas Süresinin Etkisi (Afşin-Elbistan, Seyitömer Uçucu Külleri ve Toz Aktif Karbon için Başlangıç pH 5, Soma Uçucu Küllü için Başlangıç pH 6; Adsorban dozu: 20 g/L)

#### 4.2.2. Başlangıç pH nın Fenol Adsorpsiyonu Üzerine Etkisi

Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma uçucu külleri ve toz aktif karbonun adsorblayıcı olarak kullanıldığı çalışmalarda başlangıç pH ının fenol adsorpsiyonuna etkisi 3 saat (180 dk) çalkalama sürelerinde, 1 mg/L başlangıç kirletici derişiminde ve pH 3-8 aralığında incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.2. de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi çalışılan pH aralığında maksimum adsorpsiyonun elde edildiği pH değeri Soma uçucu külü için 6, diğer üç adsorblayıcı (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon) için ise aynı olup pH 5 olarak saptanmıştır. Uçucu kül bünyesindeki SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> çözeltilinin pH ına bağlı olarak hem pozitif hem de negatif yüklü kirleticileri adsorbplayabilme özeliğine sahiptir. Yüzey elektriksel yüklerin pozitif değerden negatif değere dönüştüğü izoelektrik nokta Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için pH 8,5, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için pH 6,7 civarında (Förstner ve Wittman, 1983) iken SiO<sub>2</sub> için pH 2,3 tür (Vadenbusch ve Sell, 1992). Bu çalışmada optimum pH değerini belirlemek için yapılan deney serilerinde kullanılan uçucu küllerin adsorban etkilerinin (Afşin-Elbistan ve Soma uçucu külleri için pH 5 Seyitömer uçucu külü için pH 6) pH 5-6 aralığında olan çözeltilerde daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle uçucu küller izoelektrik nokta açısından incelendiğinde negatif yüklü fenollerin adsorpsiyon ve yük nötrelizasyonu ile gidermek için tüm uçucu kül tiplerinde hem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hem de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ün etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca toz aktif karbon yüzeyi tüm pH değerlerinde pozitif yüklü olup negatif yüklü fenol ile elektrostatik etkileşimle adsorpsiyon işlemi gerçekleştiğinden giderim ortam pH ından fazla etkilenmemiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin Viraraghavan ve De Maria Alfaro (1998), atıksularda fenol giderimi ile ilgili yaptıkları çalışmada kullandıkları uçucu kül için başlangıç pH değerini 5 olarak tespit etmişlerdir.

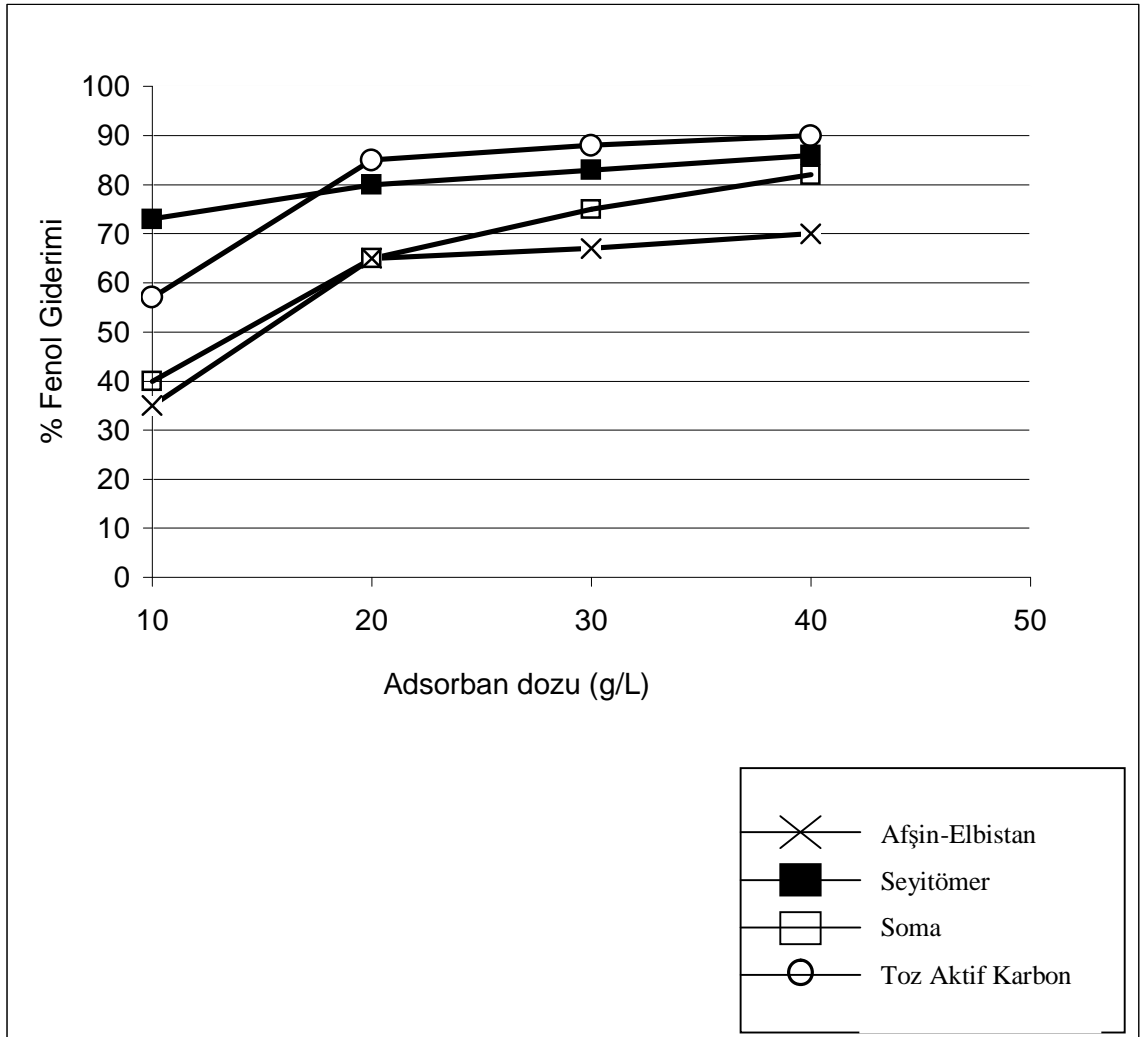


Şekil 4.2. Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma Uçucu Külleri ve Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon İşlemine Başlangıç pH Değerlerinin Etkisi (Çalkalama süresi:180 dk, Adsorban dozu: 20 g/L)

#### 4.2.3. Adsorban Dozunun Fenol Adsorpsiyonu Üzerine Etkisi

Optimum başlangıç pH (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için Başlangıç pH 5, soma Uçucu Külü için Başlangıç pH 6) değerleri ve denge zamanı (360 dk) belirlendikten sonra uçucu kül ve toz aktif karbon dozunun (10-20-30-40 g/L) fenol adsorpsiyonu üzerine etkisini incelemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen değerler Şekil 4.3 de verilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi uçucu kül ve toz aktif karbon dozu artıkça fenol giderimi önce hızlı bir şekilde artmakta daha sonra özellikle 20g/L den sonra bu artış hızı azalmaktadır. Bu durumda fenol gideriminde dozun etkili olduğu gözlenmektedir. Çünkü doz artıkça yüzey alan genişlemekte fakat adsorplanan fenol miktarı değişmediğinden her dört adsorbanın da kapasitesi azalmaktadır.



Şekil 4.3. Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma Uçucu Külleri ve Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon İşlemine Başlangıç Adsorban Dozunun Etkisi (Çalkalama Süresi 360 dk, Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için başlangıç pH 5, Soma uçucu külü için başlangıç pH 6)

#### 4.2.4. Uçucu Kül (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) Fenol Adsorpsiyon Değerlerinin Toz Aktif Karbonun Değerleri ile Karşılaştırılması

Kullanılan uçucu küllerin (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma uçucu külleri) adsorban etkinliği ticari kullanımı yaygın olan toz aktif karbonla karşılaştırılmıştır.Yapılan tüm deney serileri sonucunda toz aktif karbonun Afşin-Elbistan ve Soma uçucu küllerinden fenolü daha yüksek kapasiteyle adsorpladığı, Seyitömer uçucu külünün ise fenol gideriminde en az toz aktif karbon kadar etkili olduğu gözlenmektedir. Aktif karbonun gözenekli yapıda olması ve özgül yüzey alanının uçucu küle nazaran çok daha büyük olması sonucu fenol adsorpsiyonunu uçucu külden daha hızlı gerçekleştirmektedir.

Seyitömer uçucu külünün toz aktif karbona göre toz aktif karbonun da Afşin-Elbistan ve Soma uçucu külüne göre fenolü daha iyi adsorpladığı görülmektedir. Örneğin optimum koşullarda (pH 5, çalkalama süresi 180 dk) Si ve Fe içeriği fazla olan Seyitömer uçucu külü, Ca içeriği fazla olan Afşin-Elbistan uçucu külü ve Si ve Al içeriği fazla olan Soma uçucu külü ile fenol giderimleri sırasıyla, %80, %65, %55 elde edilirken toz aktif karbon ile % 85 giderim verimi elde edilmiştir. Seyitömer uçucu külünün Afşin-Elbistan uçucu külüne göre daha iyi adsorplama kapasitesine sahip olmasının nedeni  $Al_2O_3$  ve  $Fe_2O_3$  içeriklerinin, Soma uçucu külüne göre daha iyi adsorplama kapasitesine sahip olmasının nedeni ise  $Fe_2O_3$  içeriğinin fazla olmasıdır. Seyitömer uçucu külünün toz aktif karbon kadar iyi adsorplama kapasitesine sahip olmasının nedeni ise çok geniş bir tane dağılımına dolayısıyla birim hacim başına büyük bir özgül yüzey alanına sahip olmasının yanı sıra bünyesinde bulunan Al ve Fe elementlerinin adsorban etki göstermesidir.

Elde edilen bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir ( Aksu ve Yener, 1997, Virarghavan ve De Maria Alfaro, 1998).

#### **4.2.5. Optimum Adsorbsiyon Koşullarında Desorbsiyon Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Maksimum adsorpsiyonun elde edildiği optimum pH (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu kőlleri için pH 5, Soma uçucu kőlő için pH 6) ve dozda (20 g/L) ve fenol adsorpsiyon işleminin dengeye ulaştığı ęalkalama sőrelerinde (6 saat) yapılan adsorpsiyon deneyleri sonunda numunenin filtrelenmesi sonucu filtre üzerinde kalan uçucu kőllerin tekrar ortam pH nın 3-8 aralığında deęiőtıęi saf suya ilavesinden sonra adsorpsiyon denge sőresinde ęalkalanması ile yapılan desorpsiyon deneyleri sonucunda uçucu kőllerin her biri için sadece asidik koşullarda oldukęa az miktarda (pH 3 için % 1-3 aralığında) fenolőn desorbe olduğu tespit edilmiştir.

## 5. DENEY SONUÇLARININ ADSORPSİYON İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ

### 5.1. Deney Sonuçlarının Langmuir Adsorpsiyon İzotermine göre Değerlendirilmesi

Fevzi Çakmak öğrenci yurdundan alınan atıksudaki fenolün Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma uçucu külleri ve toz aktif karbon ile yapılan adsorpsiyon işlemi ile atıksulardan giderilmesi başlangıç pH, temas (çalkalama) süresi ve adsorban dozu göz önüne alınarak incelenmiş ve elde edilen datalar Langmuir Adsorpsiyon İzotermine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede Langmuir denkleminin lineerize edilmiş hallerinin her ikisi de kullanılmıştır (Eşitlik 5.1-5.2) (Şengül ve Küçükgül, 1990).

$$C/q_e = C(X/M) = 1/a.b + C/a \quad (5.1)$$

$$1/q_e = 1(X/M) = 1/a + (1/a.b)(1/C) \quad (5.2)$$

$X/M$  = Birim adsorblayıcı ağırlığı başına adsorblanan madde miktarı (g/g)

$a$  = Birim adsorblayıcı ağırlığı başına tek sıralı filmde tutulan mol sayısı ile ilgili sabit

$b$  = Enerji ile ilgili sabit

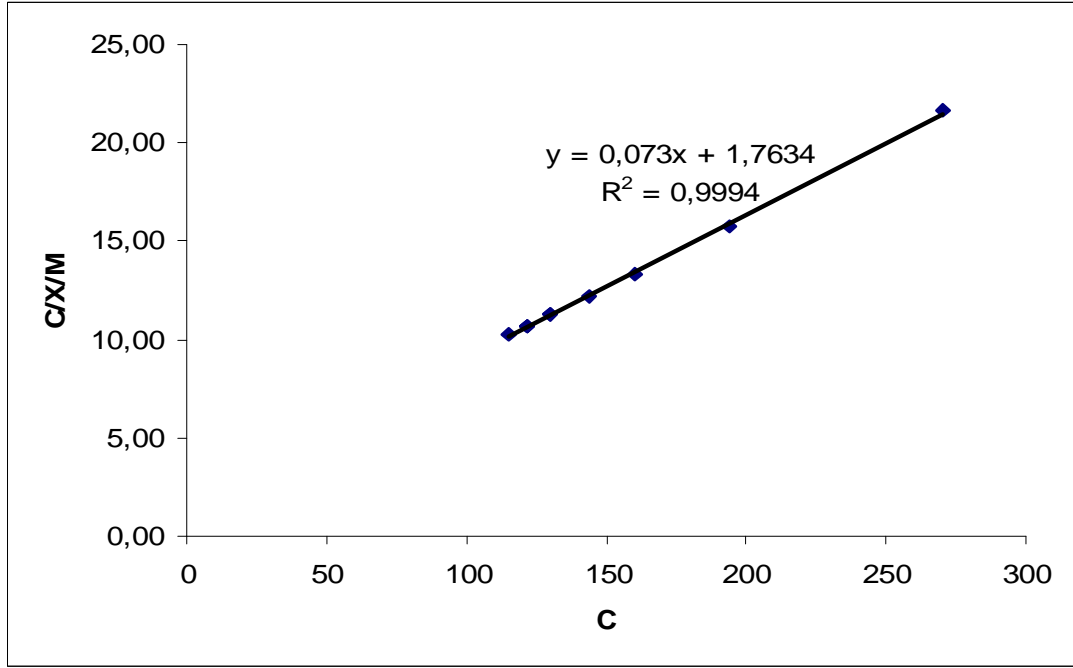
$C$  = Adsorbsiyondan sonra çözeltilde kalan madde derişimi (mg/L)

#### 5.1.1. Afşin-Elbistan Uçucu Külü

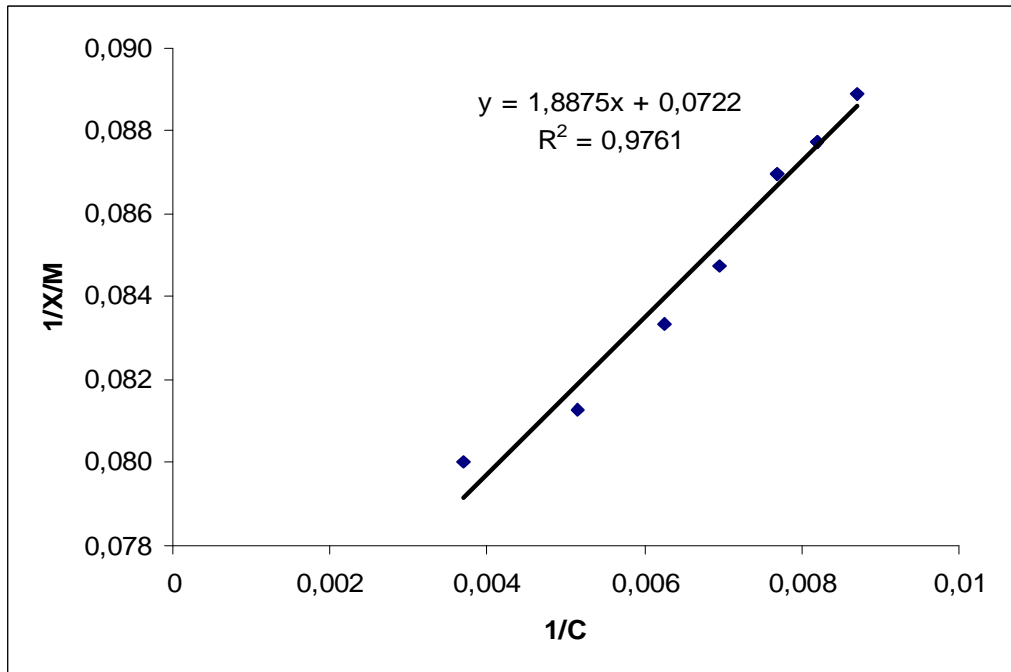
- **Temas (Çalkalama) Süresi**

Afşin-Elbistan uçucu külü ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH ve adsorban dozunda değişen temas (çalkalama) sürelerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulaması sırasıyla Şekil 5.1 ve 5.2 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler Eş. 5.1 e daha iyi uygunluk göstermektedir. Çünkü Eş 5.1 için elde edilen  $R^2=0.9994$  değeri Eş 5.2 için elde edilen  $R^2= 0.9761$  değerinden büyüktür.

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK



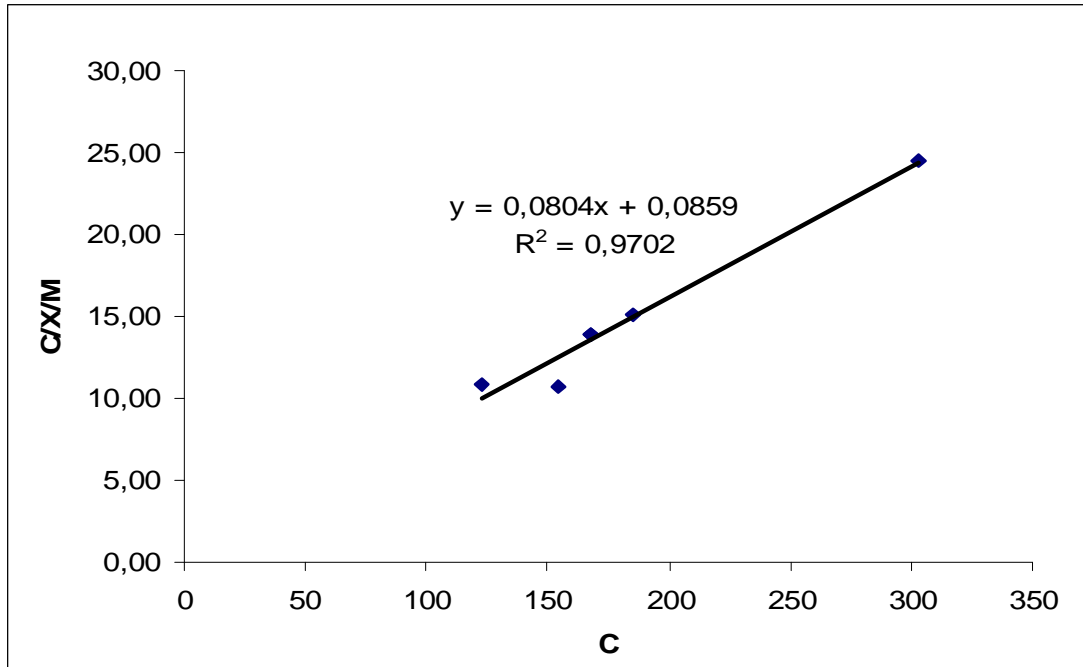
Şekil 5.1. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) (Başlangıç pH 5, Uçucu kül dozu 20 g/L)



Şekil 5.2. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) (Başlangıç pH 5, Uçucu kül dozu: 20 g/L)

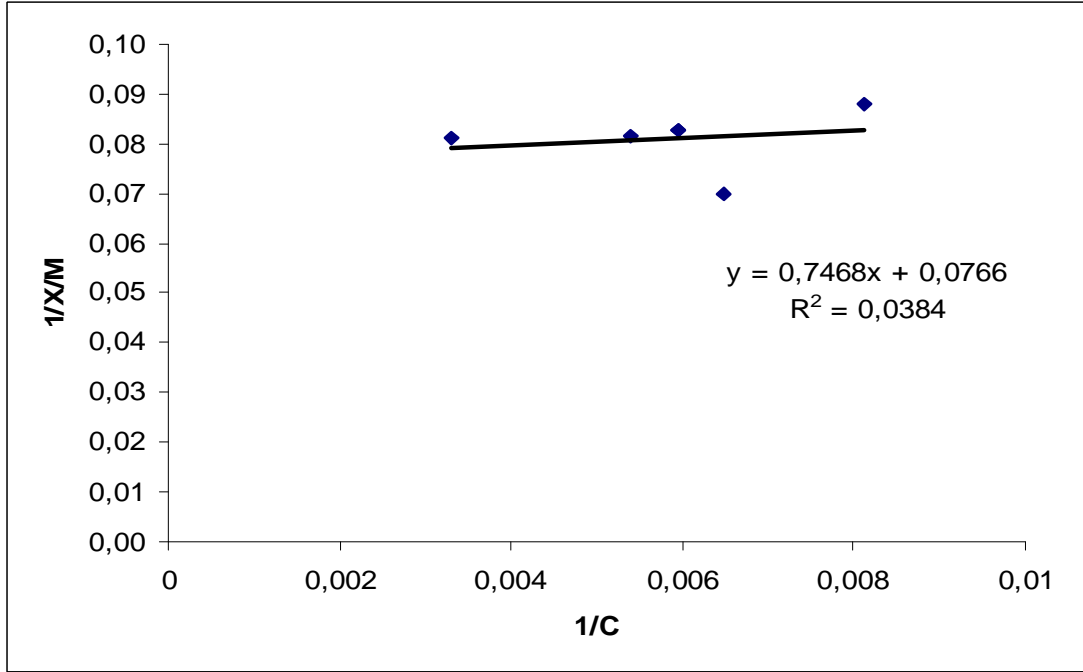
- **Başlangıç pH Değeri**

Afşin-Elbistan uçucu külü ile fenol gideriminde sabit temas (çalkalama) süresi ve adsorban dozunda değişen başlangıç pH değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler Eş. 5.1 e daha iyi uyum sağlamıştır. Çünkü Eş. 5.1 için  $R^2=0.9702$  iken Eş. 5.2 için  $R^2= 0.0384$  olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Uçucu kül dozu: 20 g/L)

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

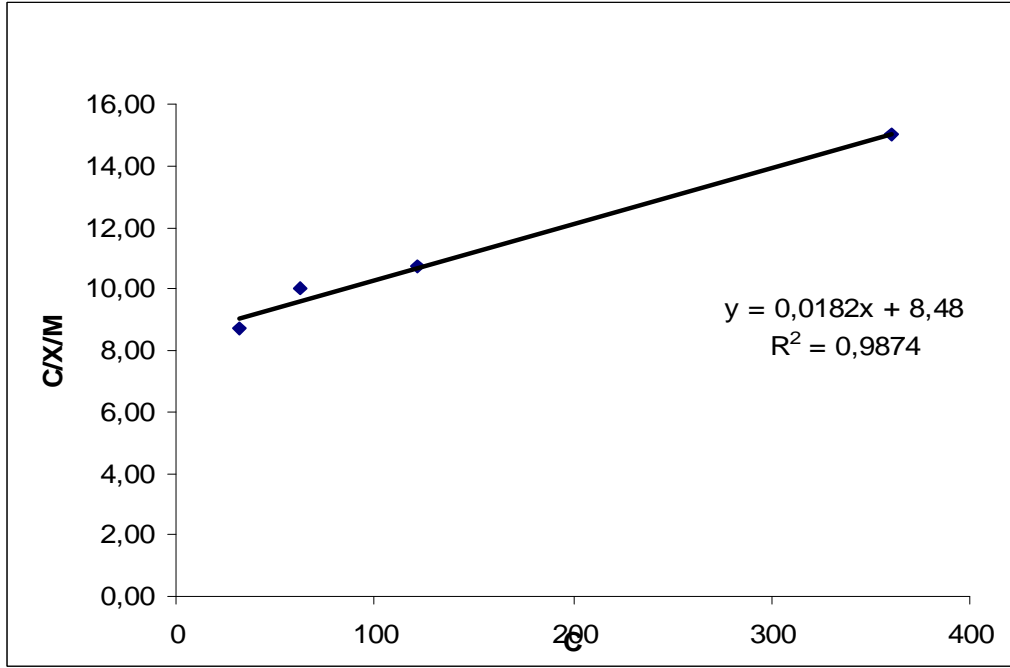


Şekil 5.4. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk , Uçucu kül dozu: 20 g/L)

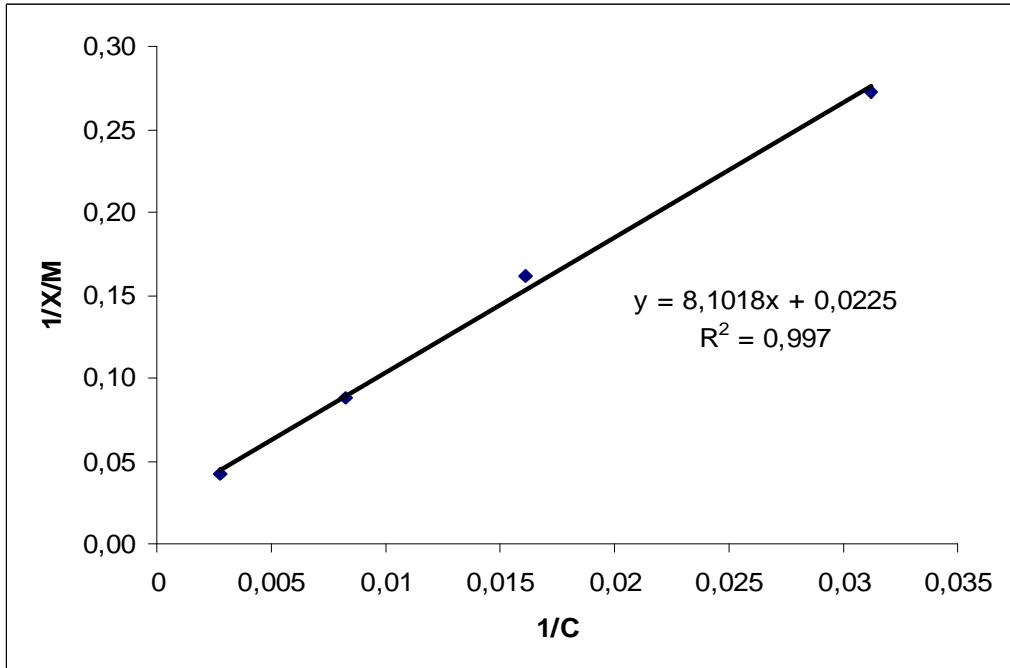
- **Asorban Dozu Değeri**

Afşin-Elbistan uçucu külü ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH değeri ve temas (çalkalama) süresinde değişen adsorban dozu değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulaması sırasıyla Şekil 5.5 ve 5.6 da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler Eş. 5.2 ye daha iyi uygunluk göstermiştir (Eş. 5.1 için  $R^2=0.9874 < Eş 5.2 için R^2= 0.997$ ).

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK



Şekil 5.5. Değişen Adsorban Dozlarında Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorbsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) (Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Başlangıç pH: 5)

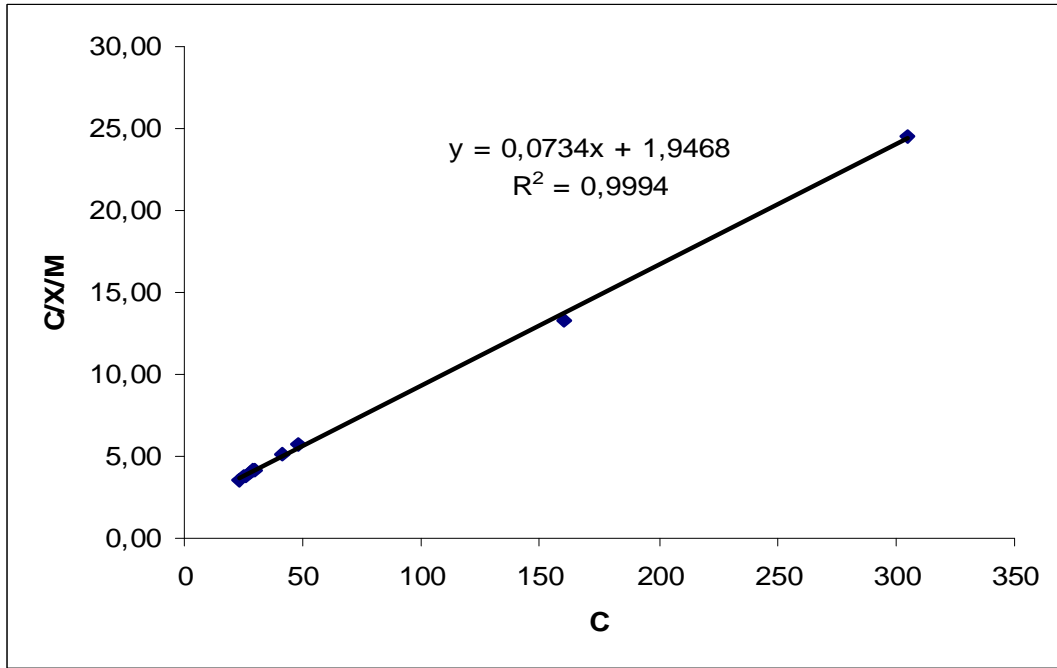


Şekil 5.6. Değişen Adsorban Dozlarında Afşin-Elbistan Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) (Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Başlangıç pH 5)

### 5.1.2. Seyit Ömer Uçucu Külü

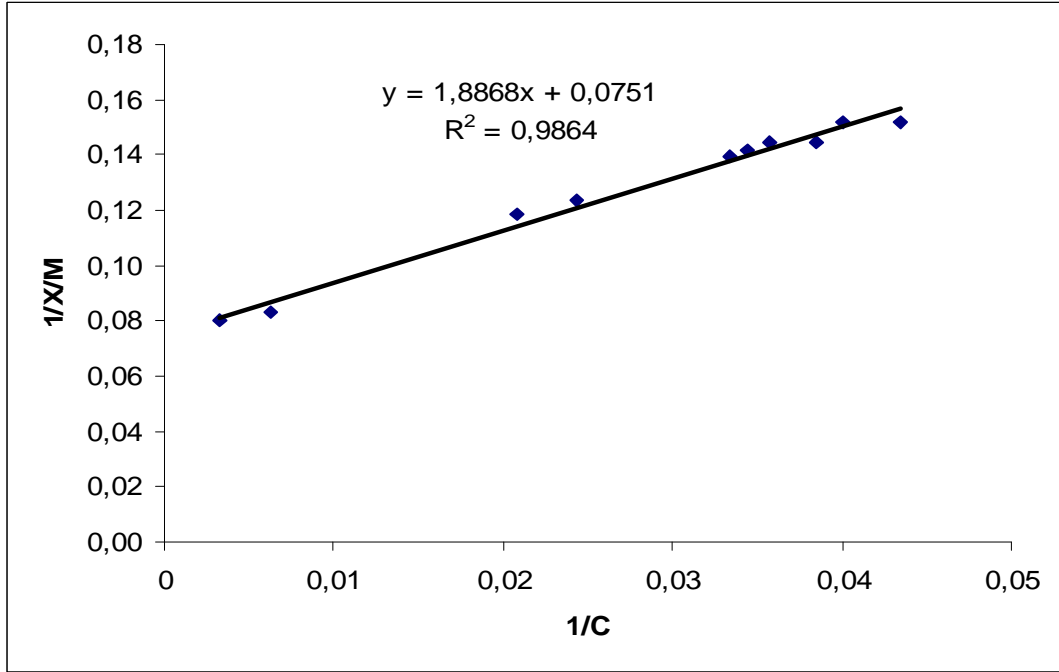
- **Temas (Çalkalama) Süresi**

Seyitömer uçucu külü ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH ve adsorban dozunda değişen temas (çalkalama) sürelerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması Şekil 5.7 ve 5.8 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler her iki eşitliğe de çok iyi uyum göstermiştir (Eş 5.1 için  $R^2=0.9994$  Eş. 5.2 için  $R^2= 0.9864$  olarak elde edilmiştir).



Şekil 5.7. Değişen Temas (çalkalama) Sürelerinde Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) ( Başlangıç pH 5 , Uçucu kül dozu: 20 g/L)

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

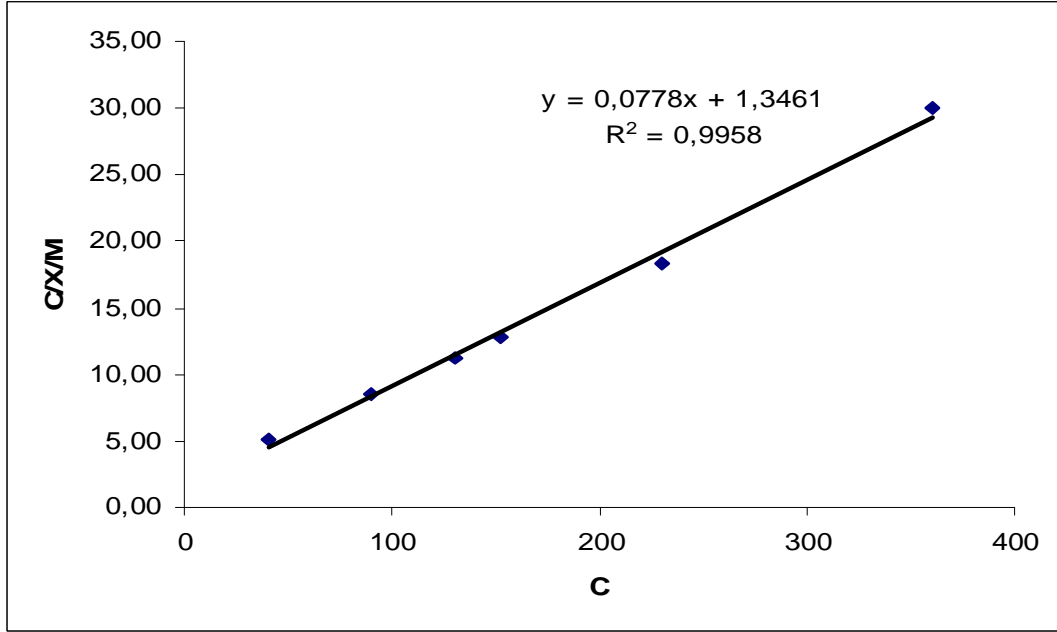


Şekil 5.8. Değişen Temas (çalkalama) Sürelerinde Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) ( Başlangıç pH: 5 , Uçucu kül dozu: 20 g/L)

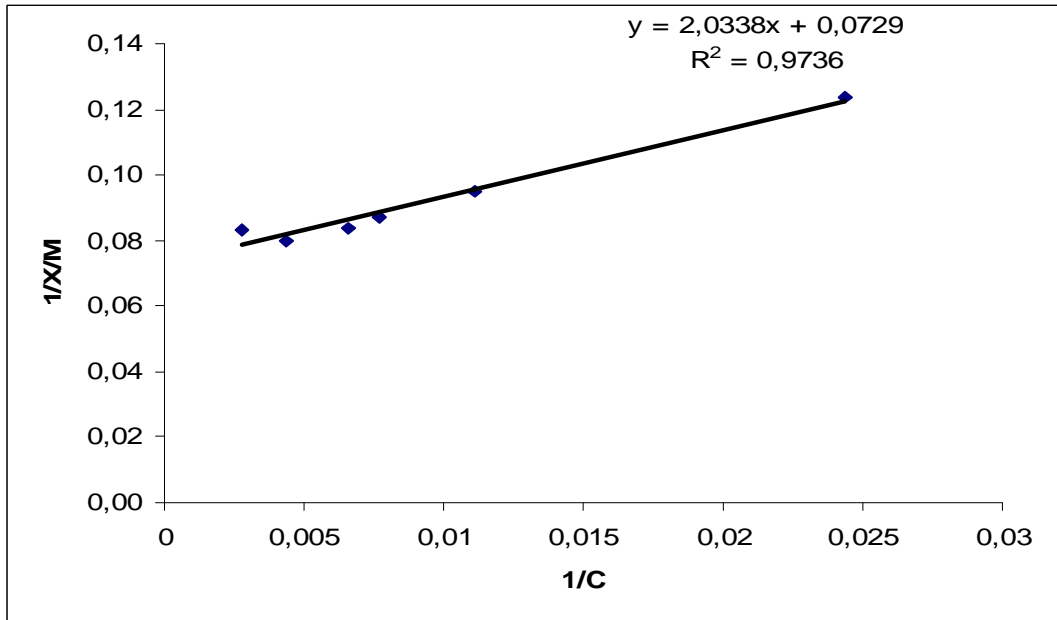
- **Başlangıç pH Değeri**

Seyitömer uçucu külü ile fenol gideriminde sabit temas (çalkalama) süresi ve adsorban dozunda değişen başlangıç pH değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş.5.1-5.2) uygulanması sırasıyla Şekil 5.9 ve 5.10 da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler Eş. 5.1 e daha iyi uyum sağlamıştır. Çünkü Eş 5.1 için bulunan  $R^2=0.9958$  değeri Eş 5.2 için bulunan  $R^2= 0.9736$  değerinden büyüktür.

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK



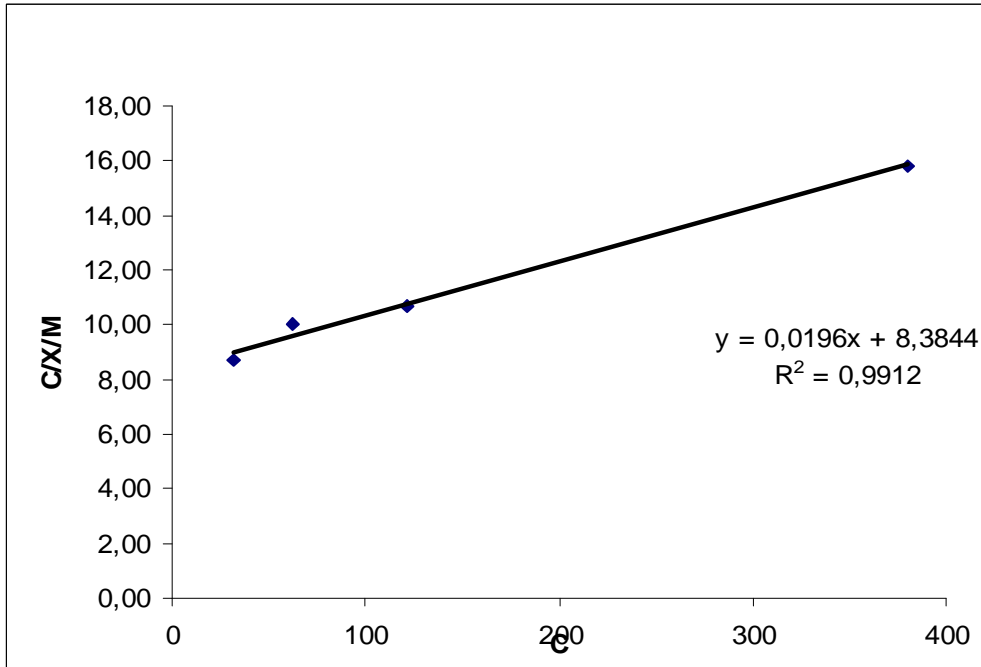
Şekil 5.9. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Uçucu kül dozu: 20 g/L)



Şekil 5.10. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Uçucu kül dozu: 20 g/L)

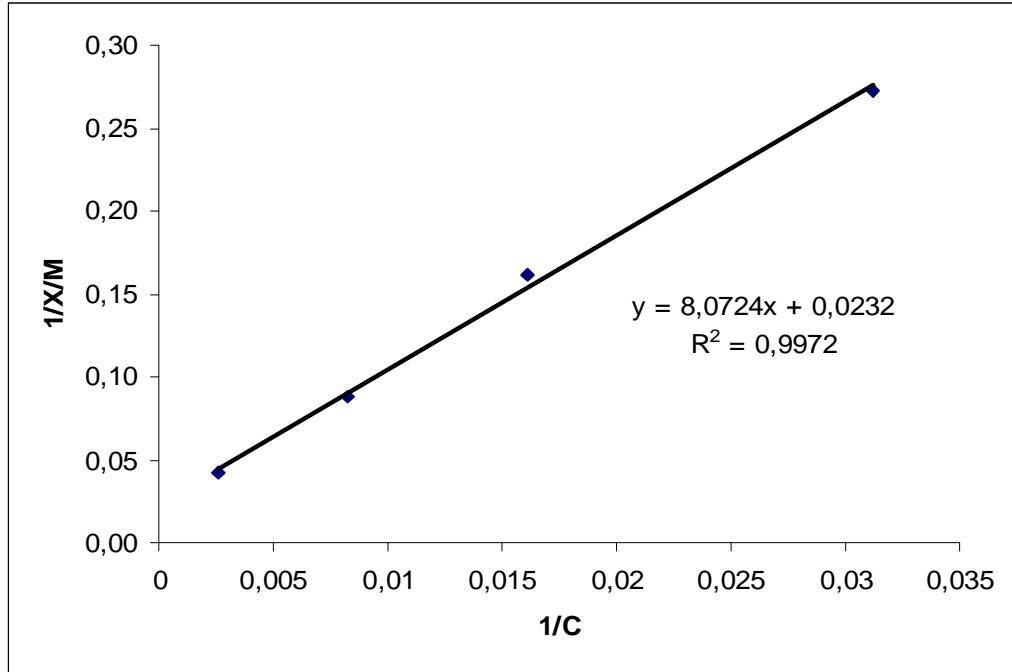
- **Asorban Dozu Değeri**

Seyitömer uçucu külü ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH değeri ve temas (çalkalama) süresinde değişen adsorban dozu değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması sırasıyla Şekil 5.11 ve 5.12 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler her iki eşitliğe de çok iyi uyum göstermiştir (Eş 5.1 için  $R^2=0.9912$ , Eş 5.2 için  $R^2= 0.9972$  olarak elde edilmiştir).



Şekil 5.11. Değişen Adsorban Dozlarında Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) (Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Başlangıç pH 5)

## 5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK



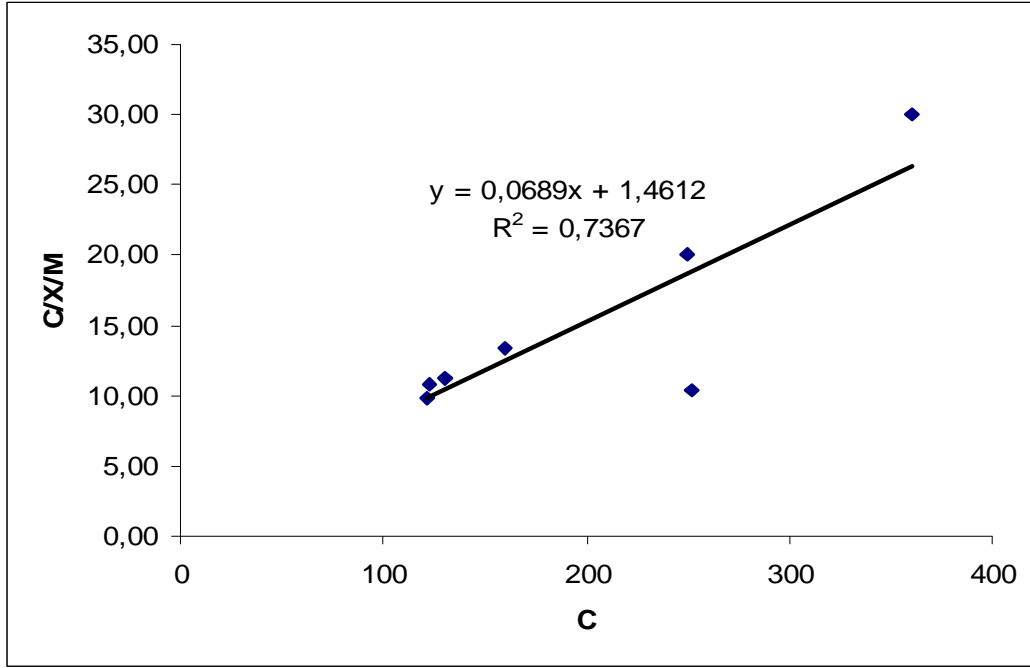
Şekil 5.12. Değişen Adsorban Dozlarında Seyitömer Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) (Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Başlangıç pH 5)

### 5.1.3. Soma Uçucu Külü

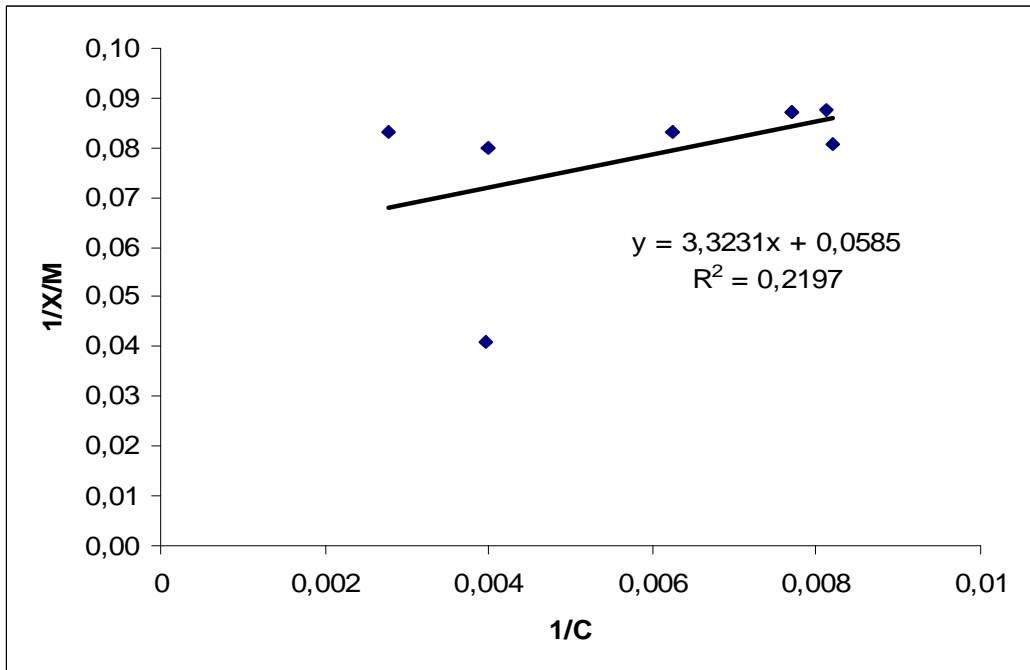
- **Temas (Çalkalama) Süresi**

Soma uçucu külü ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH ve adsorban dozunda değişen temas (çalkalama) sürelerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması Şekil 5.13 ve 5.14 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler Eş. 5.1 e daha iyi uyum göstermiştir (Eş. 5.1 için  $R^2=0.7367$  Eş. 5.2 için  $R^2= 0.2197$  olarak elde edilmiştir).

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK



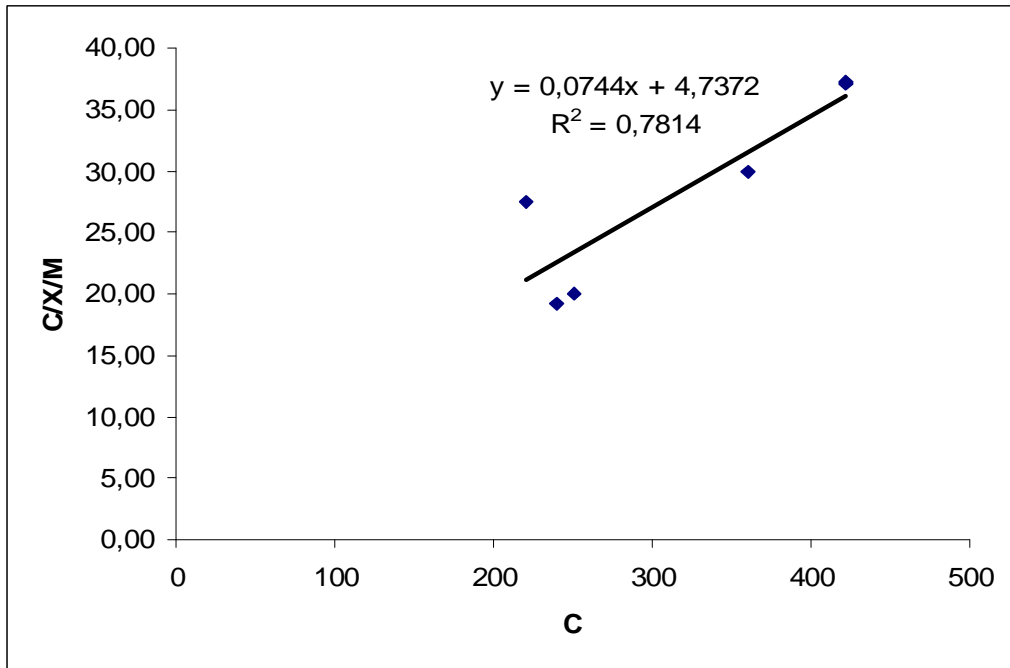
Şekil 5.13. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) (Başlangıç pH 6 , Uçucu kül dozu: 20 g/L)



Şekil 5.14. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) (Başlangıç pH 6 , Uçucu kül dozu: 20 g/L)

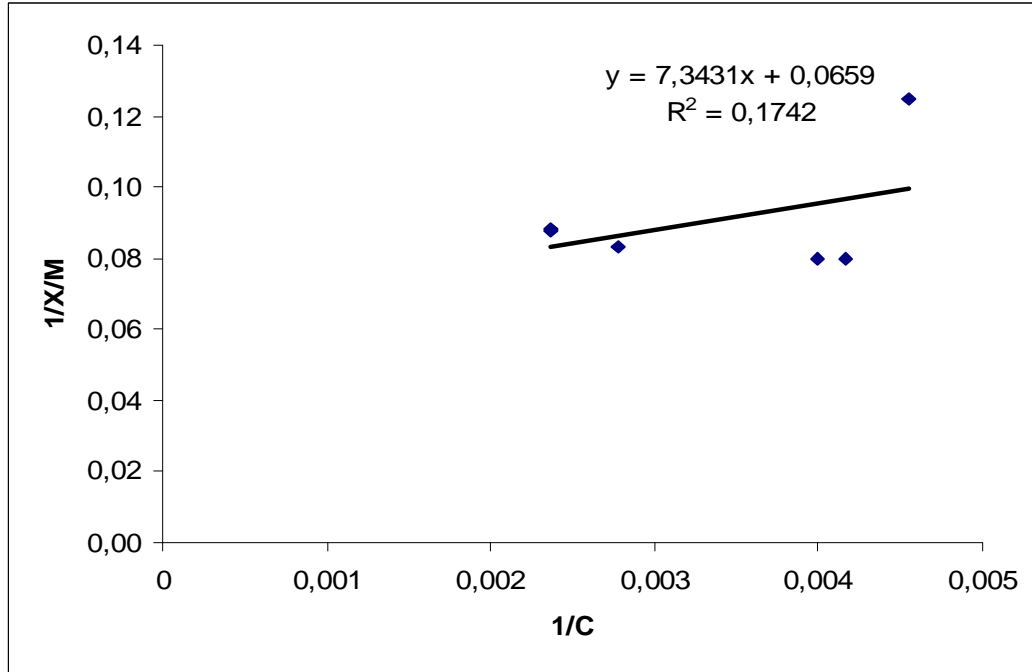
- **Başlangıç pH Değeri**

Soma uçucu külü ile fenol gideriminde sabit temas (çalkalama) süresi ve adsorban dozunda değişen başlangıç pH değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş.5.1-5.2) uygulanması sırasıyla Şekil 5.15 ve 5.16 da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler Eş. 5.1 e daha iyi uyum sağlamıştır. Çünkü Eş 5.1 için bulunan  $R^2=0.7814$  değeri Eş 5.2 için bulunan  $R^2= 0.1742$  değerinden büyüktür.



Şekil 5.15. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk , Uçucu kül dozu: 20 g/L)

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

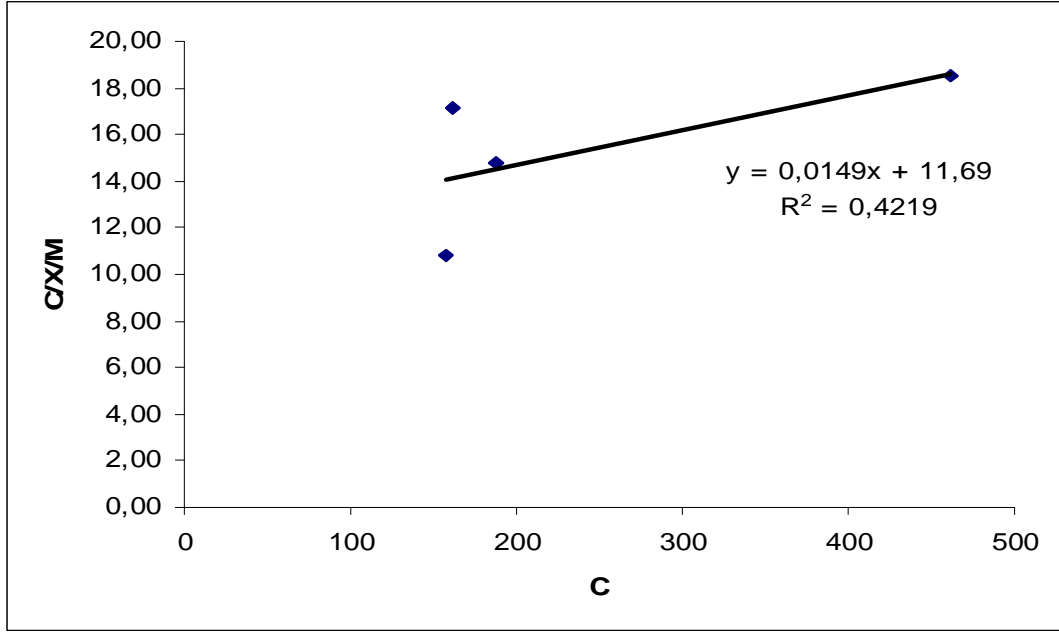


Şekil 5.16. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk , Uçucu kül dozu: 20 g/L)

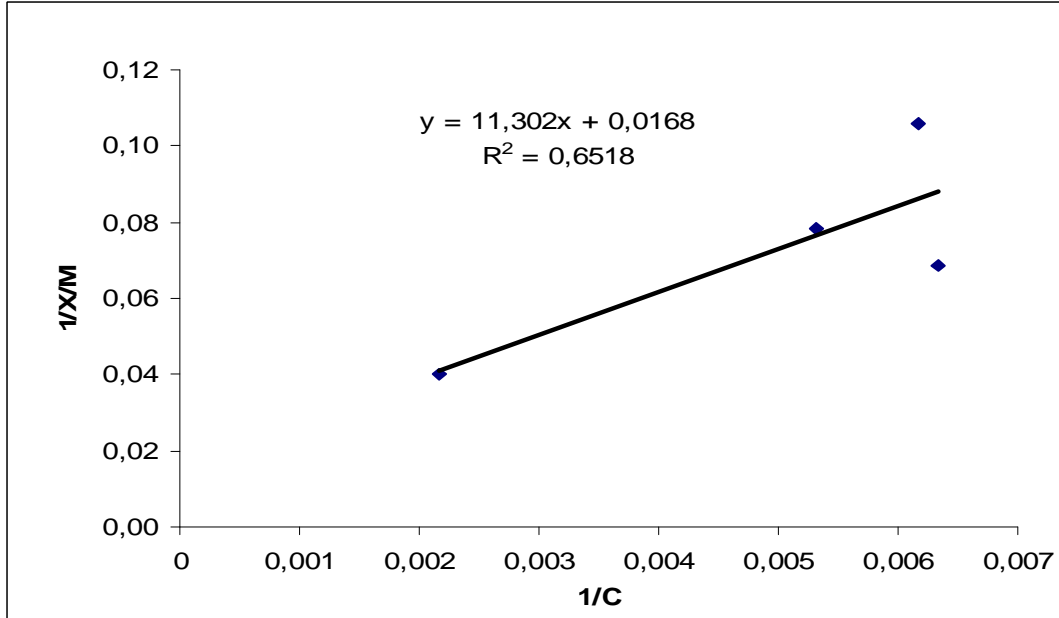
- **Asorban Dozu Değeri**

Soma uçucu külü ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH değeri ve temas (çalkalama) süresinde değişen adsorban dozu değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması sırasıyla Şekil 5.17 ve 5.18 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler Eş. 5.2 ye daha iyi uymuştur. (Eş. 5.1 için  $R^2=0.4219 < Eş. 5.2 için R^2= 0.6518$ )

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK



Şekil 5.17. Değişen Adsorban Dozlarında Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği(Eş. 5.1) (Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Başlangıç pH 6)

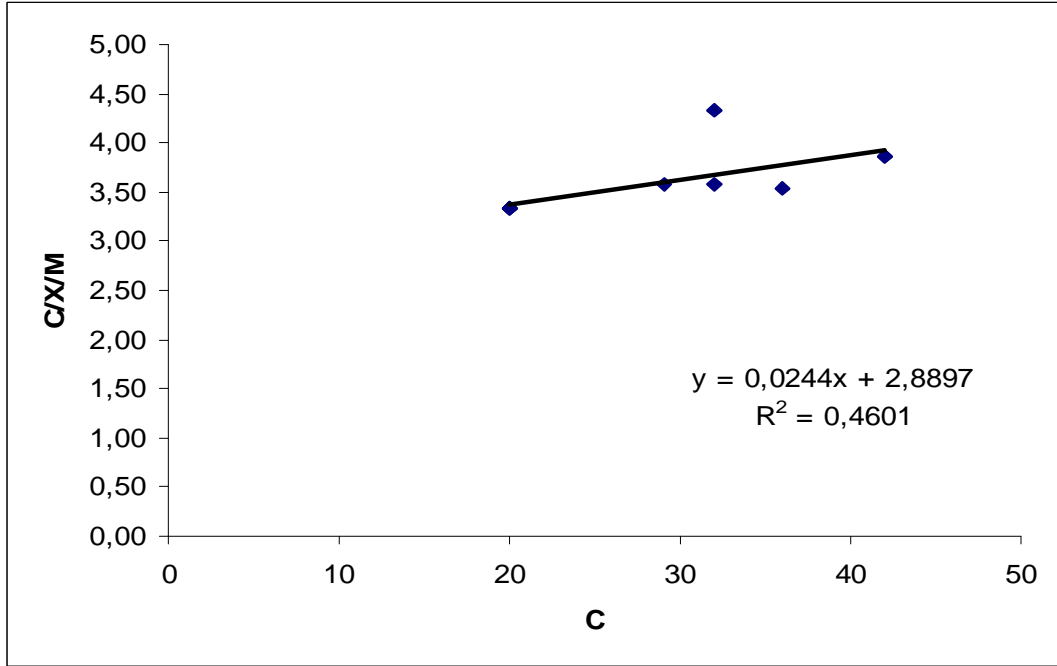


Şekil 5.18. Değişen Adsorban Dozlarında Soma Uçucu Külü ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) (Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Başlangıç pH 6)

#### 5.1.4. Toz Aktif Karbon

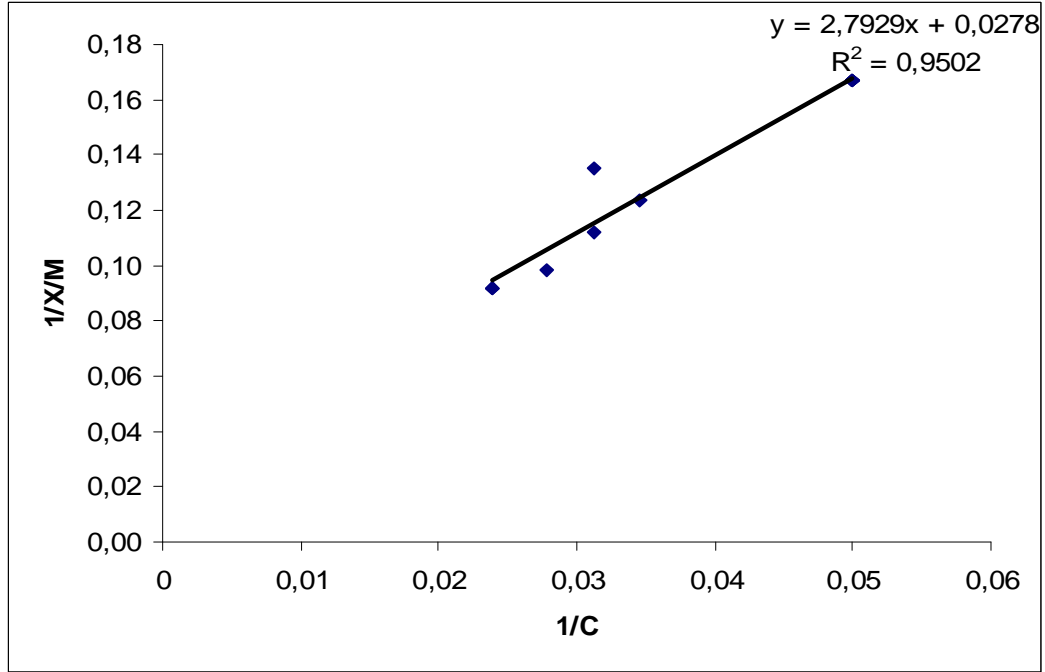
- Temas (Çalkalama) Süresi

Toz aktif karbon ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH ve adsorban dozunda değişen temas (çalkalama) sürelerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması Şekil 5.19 ve 5.20 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler Eş. 5.2 ye daha iyi uymuştur (Eş. 5.1 için  $R^2=0.4601 < \text{Eş. 5.2 için } R^2= 0.9502$ ).



Şekil 5.19. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği(Eş. 5.1) ( Başlangıç pH 5, Toz aktif karbon dozu: 20 g/L)

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

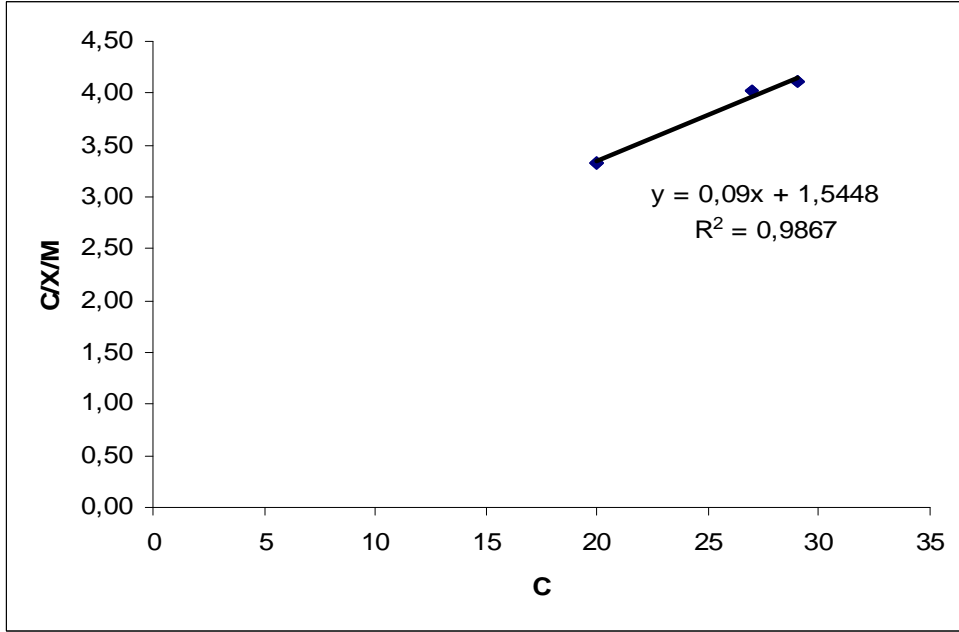


Şekil 5.20. Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerinde Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) ( Başlangıç pH 5, Toz aktif karbon dozu: 20 g/L)

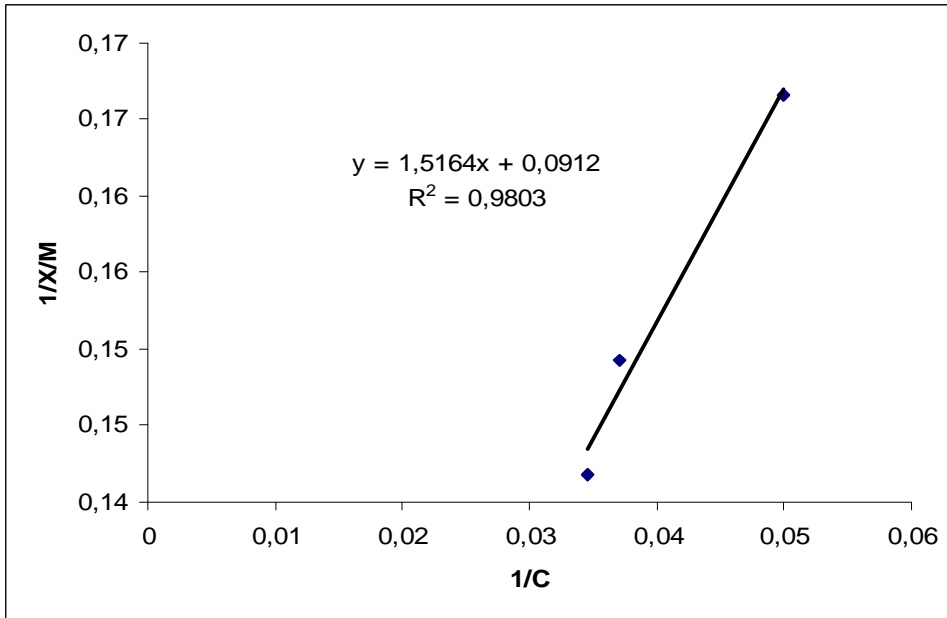
- **Başlangıç pH Değeri**

Toz aktif karbon ile fenol gideriminde sabit temas (çalkalama) süresi ve adsorban dozunda değişen başlangıç pH değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş.5.1-5.2) uygulanması sırasıyla Şekil 5.21 ve 5.22 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler her iki eşitliğe de çok iyi uyum göstermiştir (Eş. 5.1 için  $R^2=0.9867$  Eş. 5.2 için  $R^2= 0.9803$  olarak elde edilmiştir).

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK



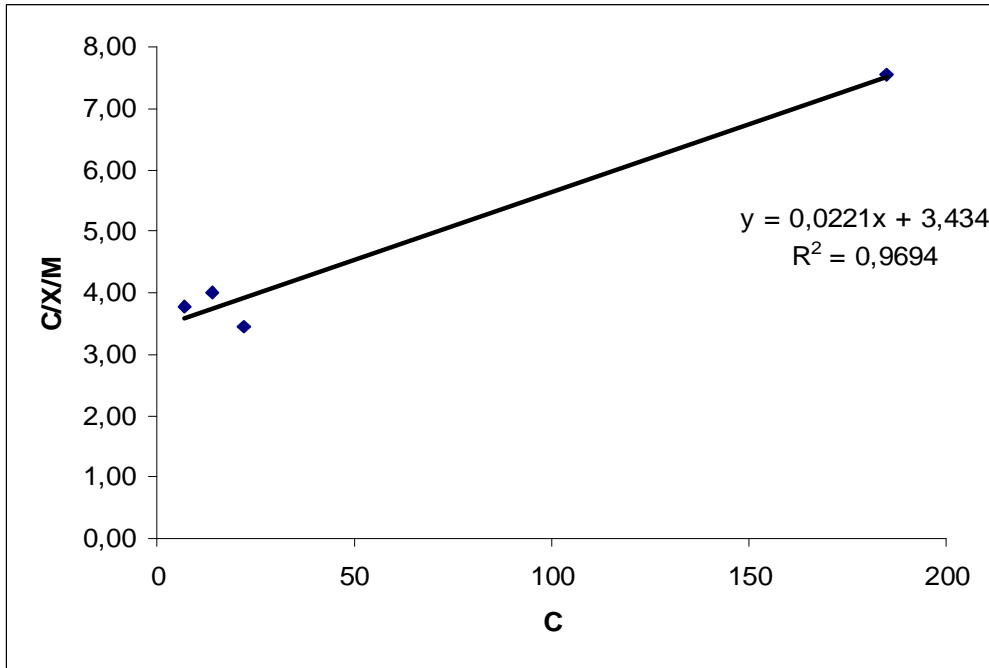
Şekil 5.21. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Toz aktif karbon dozu: 20 g/L)



Şekil 5.22. Değişen Başlangıç pH Değerlerinde Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.2) ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Toz aktif karbon dozu: 20 g/L)

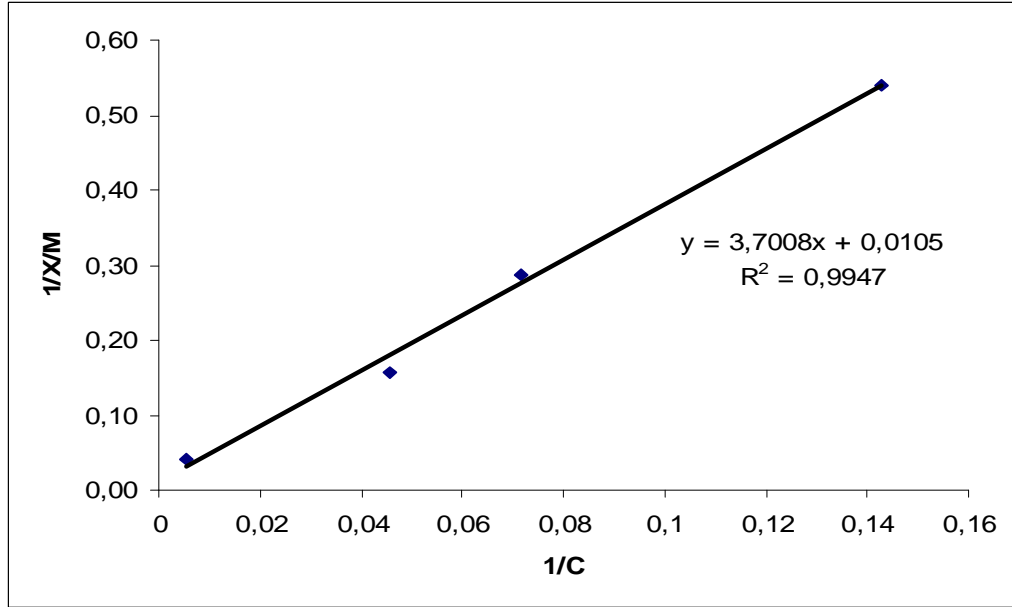
- **Asorban Dozu Değeri**

Toz aktif karbon ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH değeri ve temas (çalkalama) süresinde değişen adsorban dozu değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması sırasıyla Şekil 5.23 ve 5.24 de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi deneysel veriler Eş. 5.2 ye daha iyi uygunluk göstermiştir (Eş. 5.1 için  $R^2=0.9694 < \text{Eş. 5.2 için } R^2= 0.9947$ ).



Şekil 5.23. Değişen Adsorban Dozlarında Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği (Eş. 5.1) (Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Başlangıç pH 5)

## 5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK



Şekil 5.24. Değişen Adsorban Dozlarında Toz Aktif Karbon ile Fenol Adsorpsiyon Deneysel Verileri için Langmuir Adsorpsiyon İzoterm Grafiği(Eş. 5.2) (Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Başlangıç pH 5)

### 5.1.5. Adsorbanların (Uçucu Küller ve Toz Aktif Karbon) a ve b Langmuir Sabitlerine göre Değerlendirilmesi

- **Temas (Çalkalama) Süresi**

Uçucu küller (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) ve toz aktif karbon ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH ve adsorban dozunda değişen temas (çalkalama) sürelerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması doğrultusunda elde edilen grafiklerin denklemleri ile korelasyon değerleri ve bu denklemlerden bulunan a ve b Langmuir sabitleri sırasıyla Çizelge 5.1 ve 5.2 de verilmiştir. Çizelge 5.1 den de görüldüğü gibi korelasyon değerlerine göre Seyitömer > Afşin-Elbistan > toz aktif karbon > Soma sırasında Eş. 5.1 e Eş. 5.2 ye nazaran daha iyi uygunluk göstermiştir.

Çizelge 5.2 den görüldüğü gibi adsorbanları Langmuir sabitlerine göre değerlendirirsek tüm adsorbanlar için "a , adsorplama kapasitesi sabit değeri artıka " b , enerji ile ilgili sabit değeri azalmaktadır. Göz önüne alınan koşullara göre en iyi

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

adsorplama kapasitesi Eş. 5.1 için; toz aktif karbon > Afşin-Elbistan > Seyitömer > Soma, ve Eş. 5.2 için; toz aktif karbon > Soma > Afşin-Elbistan > Seyitömer sıralaması elde edilmektedir.

**Çizelge: 5.1.** Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerine göre Elde Edilen Langmuir Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için Başlangıç pH 5, Soma uçucu küllü için Başlangıç pH 6, adsorban dozu: 20 g/L)

Adsorban	Eş. 5.1		Eş.5.2	
	Denklemler	Kole rasyon	Denklemler	Kole rasyon
Afşin-Elbistan	$C/(X/M) = 0,073xC + 1,7634$	0,9841	$1/(X/M) = 1,8875x(1/C) + 0,0722$	0,9838
Seyitömer	$C/(X/M) = 0,0734xC + 1,9468$	0,9969	$1/(X/M) = 1,8868x(1/C) + 0,0751$	-0,9535
Soma	$C/(X/M) = 0,0689xC + 1,4612$	0,42624	$1/(X/M) = 3,3231x(1/C) + 0,0585$	0,4152
Toz Akif Karbon	$C/(X/M) = 0,0244xC + 2,8897$	0,92041	$1/(X/M) = 2,7929(1/C) + 0,0278$	0,9210

**Çizelge: 5.2.** Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerine göre Elde Edilen Langmuir Sabitleri ve R<sup>2</sup> Değerleri (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için Başlangıç pH 5, Soma uçucu küllü için Başlangıç pH 6, adsorban dozu: 20 g/L)

Adsorban	Eş.5.1			Eş.5.2		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Afşin-Elbistan	13,69863014	0,041397301	0,9994	13,85041551	0,038251656	0,9761
Seyitömer	13,6239782	0,037702897	0,9994	13,31557923	0,000003980	0,9864
Soma	1,45137881	0,471530249	0,7367	17,09401709	0,017604044	0,2197
Toz Akif Karbon	40,98360656	0,008443783	0,4601	35,97122302	0,009953811	0,9502

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

• **Başlangıç pH Değeri**

Uçucu küller (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) ve toz aktif karbon ile fenol gideriminde sabit temas (çalkalama) süresi ve adsorban dozunda değişen başlangıç pH değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması doğrultusunda elde edilen grafiklerin denklemleri ile korelasyon değerleri ve bu denklemlerden bulunan a ve b Langmuir sabitleri sırasıyla Çizelge 5.3 ve 5.4 de verilmiştir. Çizelge 5.3 den de görüldüğü gibi korelasyon değerlerine göre toz aktif karbon > Seyitömer > Soma > Afşin-Elbistan sırasında Eş. 5.1 e Eş. 5.2 ye nazaran daha iyi uygunluk göstermiştir.

Çizelge 5.4 den görüldüğü gibi adsorbanları Langmuir sabitlerine göre değerlendirirsek tüm adsorbanlar için "a , adsorplama kapasitesi sabit değeri artıka " b , enerji ile ilgili sabit değeri azalmaktadır. Ayrıca göz önüne alınan koşullara göre en iyi adsorplama kapasitesi her iki eşitlik için Soma > Seyitömer > Afşin-Elbistan > toz aktif karbon sıralaması elde edilir.

**Çizelge: 5.3.** Değişen Başlangıç pH Değerlerine göre Elde Edilen Langmuir Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri (Temas (çalkalama) süresi:180 dk, adsorban dozu: 20 g/L)

Adsorban	Eş. 5.1		Eş. 5.2	
	Denklemler	Kole rasyon	Denklemler	Kole rasyon
Afşin-Elbistan	$C/(X/M)=0,0804xC+0,0859$	0,13279	$1/(X/M)=0,7468x(1/C)+ 0,0766$	0,12704
Seyitömer	$C/(X/M)=0,0778xC+ 1,3461$	0,97703	$1/(X/M)= 2,0338x(1/C)+ 0,0729$	0,971471
Soma	$C/(X/M)= 0,0744xC+4,7372$	0,31403	$1/(X/M)= 7,3431x(1/C)+0,0659$	0,305091
Toz Akif Karbon	$C/(X/M)= 0,09xC + 1,5448$	0,98775	$1/(X/M)= 1,5164x(1/C)+0,0912$	0,98768

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

---

**Çizelge: 5.4.** Değişen Başlangıç pH Değerlerine göre Elde Edilen Langmuir Sabitleri ve  $R^2$  Değerleri ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, adsorban dozu: 20 g/L)

Adsorban	Eş. 5.1			Eş.5.2		
	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$
Afşin-Elbistan	12,4378000	0,093597288	0,9702	13,05483029	0.07468	0,0384
Seyitömer	12,85347044	0,057796598	0,9958	13,71742112	0,035844232	0,9736
Soma	13,44086022	0,01570548	0,7814	15,17450683	0,008974411	0,1742
Toz Akif Karbon	11,11111111	0,058259969	0,9867	10,96491228	0,060142443	0,9803

- **Adsorban Dozu Değeri**

Uçucu küller (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma) ve toz aktif karbon ile fenol gideriminde sabit başlangıç pH ve temas (çalkalama) süresinde değişen adsorban dozu değerlerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliklerinin (Eş. 5.1-5.2) uygulanması doğrultusunda elde edilen grafiklerin denklemleri ile korelasyon değerleri ve bu denklemlerden bulunan a ve b Langmuir sabitleri sırasıyla Çizelge 5.5 ve 5.6 da verilmiştir. Çizelge 5.5 den de görüldüğü gibi korelasyon değerlerine göre Seyitömer > toz aktif katbon > Afşin-Elbistan > Soma sırasında Eş. 5.1 e Eş. 5.2 ye nazaran daha iyi uygunluk sağlamıştır.

Çizelge 5.6 dan da görüldüğü gibi adsorbanları Langmuir sabitlerine göre değerlendirirsek tüm adsorbanlar için "a , adsorplama kapasitesi sabit değeri artıkça " b , enerji ile ilgili sabit değeri azalmaktadır. Ayrıca göz önüne alınan koşullara göre en iyi adsorplama kapasitesi Eş. 5.1 için Soma > Afşin-Elbistan > Seyitömer > toz aktif karbon sıralaması elde edilirken Eş. 5.2 için toz aktif karbon > Soma > Afşin-Elbistan > Seyitömer sıralaması elde edilir.

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

**Çizelge: 5.5.** Değişen Adsorban Dozu Değerlerine göre Elde Edilen Langmuir Denklemleri ve Korelasyon Değerleri (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için Başlangıç pH :5 , Soma uçucu küllü için Başlangıç pH 6, Temas (çalkalama) süresi: 180 dk)

Adsorban	Eş. 5.1		Eş. 5.2	
	Denklemler	Kole rasyon	Denklemler	Kole rasyon
Afşin-Elbistan	$C/(X/M)= 0,0182xC + 8,48$	0,99983	$1/(X/M)8,1018x (1/C)+0,0225$	0,9993
Seyitömer	$C/(X/M)= 0,0196xC+ 8,3844$	0,99901	$1/(X/M)=8,0724x(1/C)+0,0232$	0,99695
Soma	$C/(X/M)= 0,0149xC +11,69$	0,94230	$1/(X/M)= 11,302x(1/C)+ 0,0168$	0,94193
Toz Akif Karbon	$C/(X/M)= 0,0221xC + 3,434$	0,9962	$1/(X/M)= 3,7008x (1/C)+ 0,0105$	0,98978

**Çizelge: 5.6.** Değişen Adsorban Dozu Değerlerine göre Elde Edilen Langmuir Sabitleri ve R<sup>2</sup> Değerleri Değerleri (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için Başlangıç pH 5, Soma çucu küllü için Başlangıç pH 6, Temas (çalkalama) süresi: 180 dk)

Adsorban	Eş. 5.1			Eş. 5.2		
	a	b	R <sup>2</sup>	a	b	R <sup>2</sup>
Afşin-Elbistan	54,94505495	0,002146226	0,9874	44,44444444	0,002777161	0,997
Seyitömer	51,02040816	0,002337675	0,9912	43,10344828	0,00287399	0,9972
Soma	67,11409396	0,001274594	0,4219	59,52380952	0,001486463	0,6518
Toz Akif Karbon	45,24886878	0,006435644	0,9694	95,23809524	0,002837224	0,9947

## 5.2. Deney Sonuçlarının Freundlich Adsorpsiyon İzotermine göre Değerlendirilmesi

Fevzi Çakmak öğrenci yurdundan alınan atıksudaki fenolün Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma uçucu külleri ve toz aktif karbon ile yapılan adsorpsiyon işlemi ile atıksulardan giderilmesi başlangıç pH, temas (çalkalama) süresi ve adsorban dozu göz önüne alınarak incelenmiş ve elde edilen datalar Freundlich adsorpsiyon izotermine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede Freundlich denkleminin lineerize edilmiş hali kullanılmıştır (Eşitlik 5.3) (Şengül ve Küçükgül, 1990).

$$\text{Log } q_e = \log (X / M) = \text{Log } K_F + 1 / n \log C \quad (5.3)$$

Burada;

M = Adsorban maddenin ağırlığı (g)

X = Adsorblanan madde miktarı (g)

$K_F$  = Adsorpsiyon kapasitesi ile ilgili sabit

n = Enerji ile ilgili sabit (n > 1)

C = Adsorblanan maddenin çözeltideki kalıntı derişimi (mg/L)

Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma uçucu külleri ile toz aktif karbon kullanılarak yapılan adsorpsiyon deney sonuçlarında elde edilen verilerin değişen temas (çalkalama) süreleri, başlangıç pH ve adsorban dozu değerleri göz önüne alınarak Freundlich adsorpsiyon izotermine lineerize denkleme (Eş. 5.3) uygulanması sonucu elde edilen Freundlich denklemleri ile korelasyon değerleri ve Freundlich sabitleri ile  $R^2$  değerleri her bir adsorban için sırasıyla Çizelge 5.7-5.12 de verilmiştir.

Çizelge 5.8, 5.10 ve 5.12 den de görüldüğü tüm adsorbanlar (Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma uçucu külleri ve toz aktif karbon) için her bir parametre değerinde Freundlich adsorpsiyon izotermi enerji ile ilgili sabit değeri  $n < 1$  şeklinde elde edilmiştir. Bu nedenle Afşin-Elbistan, Seyitömer, Soma uçucu külleri ile toz aktif karbon kullanılarak yapılan adsorpsiyon deneyleri sonucunda elde edilen verilerin Freundlich adsorpsiyon izotermine uygun olmadığı belirlenmiştir.

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

---

**Çizelge: 5.7.** Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerine göre Elde Edilen Freundlich Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için Başlangıç pH 5, Soma uçucu küllü için Başlangıç pH 6, Adsorban dozu: 20 g/L)

Adsorban	Denklemler	Korelasyon
Afşin-Elbistan	$\log X/M = -0,0457x \log C + 1,1747$	0,4256
Seyitömer	$\log X/M = -0,1193x \log C + 1,862$	0,8256
Soma	$\log X/M = -0,6117x \log C - 0,0175$	0.9012
Toz Akif Karbon	$\log X/M = -0,1021x \log C + 1,829$	0,8765

**Çizelge: 5.8.** Değişen Temas (Çalkalama) Sürelerine göre Elde Edilen Freundlich Sabitleri ve R<sup>2</sup> Değerleri (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve Toz aktif karbon için Başlangıç pH 5, Soma uçucu küllü için Başlangıç pH 6, Adsorban dozu: 20 g/L)

Adsorban	Freundlich Sabitleri		R <sup>2</sup>
	K <sub>f</sub>	n	
Afşin-Elbistan	14, 952	-21,8818	0,08
Seyitömer	72.778	-8,3822	0,9127
Soma	0,961	-1,6348	0,991
Toz Akif Karbon	67,5772	-9,7943	0,8379

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

---

**Çizelge: 5.9.** Değişen Başlangıç pH Değerlerine göre Elde Edilen Freundlich Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Adsorban dozu: 20 g/L)

Adsorban	Denklemler	Korelasyon
Afşin-Elbistan	$\log X/M = -0,827x \log C + 0,627$	0,988111
Seyitömer	$\log X/M = -0,6165x \log C + 0,0565$	0,957675
Soma	$\log X/M = -1,2927x \log C + 1,8483$	0,965572
Toz Akif Karbon	$\log X/M = -0,196x \log C - 0,9451$	0,999656

**Çizelge: 5.10.** Değişen Başlangıç pH Değerlerine göre Elde Edilen Freundlich Sabitleri ve  $R^2$  Değerleri ( Temas (çalkalama) süresi: 180 dk, Adsorban dozu: 20 g/L)

Adsorban	Freundlich Sabitleri		$R^2$
	$K_f$	n	
Afşin-Elbistan	4,2400	-1,2092	0,9792
Seyitömer	1,1400	-1,6221	0,9181
Soma	70,5200	-0,7736	0,9286
Toz Akif Karbon	0,1135	-5,1020	0,9993

5. DENEY SONUÇLARININ ADSORBSİYON  
İZOTERMLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLEMESİ Özlem DİNÇYÜREK

---

**Çizelge: 5.11.** Değişen Adsorban Dozu Değerlerine göre Elde Edilen Freundlich Denklemleri ve Kolerasyon Değerleri (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için Başlangıç pH 5 , Soma uçucu küllü için Başlangıç pH 6, Temas (çalkalama) süresi: 180 dk)

Adsorban	Denklemler	Korelasyon
Afşin-Elbistan	$\log X/M = -1,4157x \log C + 2,2144$	-0,03031
Seyitömer	$\log X/M = 1,891x \log C - 5,759$	0,999282
Soma	$\log X/M = -0,602x \log C + 0,0012$	-0,99224
Toz Akif Karbon	$\log X/M = -0,3005x \log C - 0,7422$	-0,97481

**Çizelge: 5.12.** Değişen Adsorban Dozu Değerlerine göre Elde Edilen Freundlich Sabitleri ve  $R^2$  Değerleri (Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için Başlangıç pH 5 , Soma uçucu küllü için Başlangıç pH 6, Temas (çalkalama) süresi: 180 dk)

Adsorban	Freundlich Sabitleri		$R^2$
	$K_f$	n	
Afşin-Elbistan	163,8324	-0,7064	0,9696
Seyitömer	0,000002	0,5288	0,9966
Soma	1,0028	-1,6611	0,935
Toz Akif Karbon	0,1811	-3,3278	0,9501

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Evsel atıksulardaki fenolün toz aktif karbon ile karşılaştırılarak Afşin-Elbistan, Seyitömer ve Soma uçucu külleri ile adsorbsiyon yöntemiyle giderilmesini amaçlayan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Optimum fenol adsorbsiyonu için gerekli başlangıç pH değeri Afşin-Elbistan, Seyitömer uçucu külleri ve toz aktif karbon için 5, Soma uçucu küllü için 6, temas (çalkalama) süresi 180 dk ve adsorban dozunun 20 g/L olduğu saptanmıştır. Bu optimum koşullarda Afşin-Elbistan uçucu küllü için fenol giderimi %65, Seyitömer uçucu küllü için % 80, Soma uçucu küllü için % 55 ve toz aktif karbon için ise % 85 dir.
2. Afşin-Elbistan, Seyitömer ve Soma uçucu küllünün partikül boyutu ve yüzey alanının yanı sıra adsorban olarak etkinlikleri kimyasal bileşimlerine bağlıdır. Afşin-Elbistan uçucu, küllü magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) içeriği bakımından, Seyitömer uçucu küllü, alüminyum (Al), demir (Fe), silisyum (Si) içeriği bakımından, Soma uçucu küllü, alüminyum (Al), silisyum (Si) içeriği bakımından zengindir.
3. Bu çalışmada ortamın pH na bağlı olarak fenol gibi negatif yüklü kirleticilerin gideriminde magnezyum (Mg) ve kalsiyum (Ca) içeriği yüksek olan Afşin-Elbistan uçucu küllü, alüminyum (Al), demir (Fe), silisyum (Si) içeriği yüksek olan Seyitömer uçucu küllü ile alüminyum (Al), silisyum (Si) içeriği yüksek olan Soma uçucu külleri aktif karbon gibi adsorbanlarla mukayese edilebilir bir etkinliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.
4. Aktif karbon sahip olduğu büyük yüzey alanı ile yüksek verimde fenol adsorpsiyonunda kullanılabilir olmasına karşın pahalı ve rejenerasyonu zor bir malzemedir. Aktif karbona alternatif olarak önerilen uçucu küllerin ise termik santral çıkış fiyatı çok düşüktür. Yani çok daha ekonomik olan uçucu külleri bu avantajı sayesinde tercih sebebi olabilmektedir.

5. Deneysel verilerin adsorpsiyon izotermine göre değerlendirilmesi sonucunda her dört adsorbanında Langmuir izotermine daha iyi uyduğu belirlenmiş olup, Seyitömer uçucu külü verilerinin Langmuir adsorpsiyon izotermine uygunluğu Afşin-Elbistan ve Soma uçucu külünden, Afşin-Elbistan uçucu külü verilerinin Langmuir adsorpsiyon izotermine uygunluğunun Soma uçucu külünden daha iyi olduğu belirlenmiştir.
6. Uçucu küller için potansiyel bir kullanım alanının bulunması ve değerlendirilmesi, hem termik santral açısından uçucu külün stoklama problemini ortadan kaldırmakta hem de ilk elden çevresel sorunlara neden olmasını önlemektedir.

## KAYNAKLAR

- AKGERMAN, A., ve MINOO, Z., 1996. Adsorption of Phenolic Compounds on Fly Ash, *Journal of Chemical and Engineering*, 41 (2): 185-187
- AKSU, Z. ve YENER, J., 1997. Atıksudaki Fenol ve Klorofenollerin Aktif Karbon ve Kutulmuş Aktif Çamura Adsorbsiyonu, *Tr. J. of Engineering and Environmental Science*, 23: 93-104
- AKSU, Z., KUTSAL, T., GÜN, S., HACIOSMANOĞLU, N. ve GHOLAMINEVAD, M., 1991. Investigation of Biosorbption of Cu(II), Ni(II) and Cr (VI) Ions to Activated Sludge Bacteria, *Environmental Technology*, 12: 915-921
- ALEMANY, L.J., JIMENEZ, M.C., LARRUBIA, M.A., DELGADO, F., BLASCO, J.M., 1996. Removal of Phenol from Aqueous Solution by Adsorption on to Coal Fly Ash Science and Technology, 13:527-536
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1985 Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-SWWA-WPCF : 16
- ARDALI, Y., 1990. Endüstriyel Atıksulardan Ağır Metallerin Adsorbsiyonla Uzaklaştırılması, 19 Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 118s
- ARSLAN, M., BOYBAY, M. KAYA, M., CİCİ, M., ALKAN, C., 1990 Türkiye Termik Santralleri Uçucu Küllerinin Bazı Özellikleri İTÜ 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 37-53
- BAYAT, O., 1998. Characterisation of Turkish Fly Ashes *Fuel* 77 (9/10): 1059-1066
- BAYAT, B., BAYAT, O. ve SARI, B., 1997. Use of Fly Ashes in Wastewater Treatment., *Int. Con. on Water Problems in the Mediterranean Countries*, Near East University, Nicosia, North Cyprus, 1: 459-466
- BÜLBÜL, G., ve AKSU, Z., 1997. Atıksulardaki Fenol Kirliliğinin Serbest ve Ca-Aljinata Tutuklanmış P.Putita ile Giderilmesinin Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Karıştırmalı Olarak İncelenmesi, *Turkish J. Eng. Environ Sci.*, 21:175-181

- CALLEGA, G., SERRA, J., RODRIGUEZ, J., 1993. Kinetics of Adsorption Phenolic Compounds from Wastewater onto Activated Carbon, Carbon 3: 691-697
- CHEREMISINOFF, P., 1988. Coal Flyash : Power Plant Waste or by Product, Power Engineering. July :40-41
- CORBITT, R.A., 1990 Standart Handbook of Environmental Engineering, Mc Grwa Hill Inc. 1214s
- ERHAN, E., 2000. Katalitik Membran Prosesler Kullanılarak Atıksulardan Fenol Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 165s
- EYE, J.D. ve BASU, T.K; 1970. The Use of Fly Ash in Wastewater Treatment and Sludge Conditioning. Journal of WPCF, 42 (5): R125-R135
- FERRAIOLA, G., ZILLI, M. and CONVERTI, A., 1990. Fly Ash and Utilization, J. Chem. Tech. Biotechnol., 47: 281-305
- FISCHER, G.L. ve NATUSCH, D.F.S, 1978. Size Dependence of the Physical and Chemical Properties of Coal Flyash. Anal.Methods Coal Prod.,3 :489-541.
- FORSTNER, U. and WITTMAN, G. T. W., 1983 Metal Transfer between Solid and Aqueous Phases, In Springer-Verlag (ed.). The Aquatic Environment, New York, NY, USA, 207-210
- GATTRELL, M. ve KIRK, D. W., 1990. The Electrochemical Oxidation of Aqueous Phenol at a Glassy Carbon Electrode Canadian Journal of Chemical Engineering 68:997-1003
- GÖÇMEN, A., 1983. Haliç Sularında Fenoller, Eser Elementler, Sülfür Asidi ve "Oksitlenebilirlik Değerlerinin incelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 101s
- HAMERNİK, J.D. ve FRANTZ, G.C., 1991, Physical and Chemical properties of Municipal Solid Waste Flyash. ACI Materials Journal, 88 (3) : 294-301.
- HULLET, L.D., WEINBERGER, A.L., NORTHCUTT, K.J ve FERGUSON, M. 1980. Chemical Species in Flyash from Coal-Burning Power Plants. Science 210 : 1356-1358.

- LANOUILLE, K. H., 1977. Treatment of Phenolic Waste, Chemical Engineering, 64, (22), 99-106
- MAVROS, P., ZOUBOULIS, A.I. LAZARİDIS, N.K., 1993. Removal of Metal Ion from wastewater the Case of Nichel, Enviromental Technology, 14: 83-91
- McKEE, J.E. ve WOLF, H.W., 1963 Water Quality Criteria, Second Edition, A Report Prepared for the State of California Water Pollution Control Board.
- METCALF ve EDDY, 1991. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. McGraw-Hill Inc., McGraw-Hill Inc., 1334s
- PATTERSON, J.W., 1977 Wastewater Treatment Tecnology, Ann Arbor Science pub. Inc., USA, 532s
- PERRICH J.R., 1990 Activated Carbon Adsorbtion for Wastewater Treatment, CRC Pres, Boca Raton, Fl, 214s
- POLLARD, S.J.T., FOWER, G.D., SOLLARS, C.J. ve PERRY, R., 1992. Lowcost Adsorbents for Waste and Waste Water Treatment, A Review, Sci. Total Envir., 116: 31-52
- SOKOL, W., 1986. Oxidation of Phenol by P. Putida, Biotech. Bioeng., 32 : 1065-1075
- SKKY, 2004 Sukirliliği Kontrolü Yönetmeliği
- ŞENGÜL, F. ve KÜÇÜKGÜL, E.Y., 1990. Çevre Mühendisliğinde Fiziksel Kimyasal Temal İşlemler ve Süreçler. DEÜ Müh. Fak. Basım Ünitesi, İzmir, 211s
- TORAMAN, Ö.Y., 1995. Afşin-Elbistan Termik Santral Uçucu Küllerinden Linç Yöntemiyle Metal Oksitlerin Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 82s
- TZENG, J.H., ve HUANG, T.L., 2000. Removal of Chlorophenols from Aqueous Solution by Fly Ash, Journal of Hazardous Materials, 76: 237-249.
- UYAR , T., 1983. Organik Kimya, Hacettepe TAŞ Kitapçılık, Ankara, 127-130
- VADENBUSCH, M.B ve SELL, N.J., 1992 Flyash as a Sorbent for the Removal of Biologically Resistant Organic Matter, Resources, Conservation and Recycling, 6: 95-116

- VİRARAGHAVAN, T. ve DE MARIA ALFARO, F., 1998 Adsorbtion of Phenol from Wastewater by Peat, Fly Ash and Bentonite, Journal of Hazardous Materials, 57 :59-70
- VIRARAGHAVAN, T ve DRONOMRAJU, M., 1993 Use of Fly Ash in the Removal of Copper , Nickel and Zinc from Wastewater, Water Poll.Res. J. Canada, 28 (62) :369-384
- WATSON , J.S., 1985 Potantional Resources from Coal Fly Ash. Mat. Res. Soc. Symp . Proc., 43: 151-161
- WEBER, W.J. ve MORRIS, J.C., 1964. Kinetics of Adsorption on Carbon from Solution. J. San. Engt. Div., 89: 31-39
- WENG, C.H. ve HUANG, C.P., 1994 Ttreatment of Metal Endusrial Wastewater by Fly Ash and Cement Fixation, J. Enviromental Engineering, ASCE, 120 (6) : 1470-1487
- YENER, J. ve AKSU, Z., 1999. The Usage of Dried Activated Sludge and Fly Ash Wastes in Phenol Biosorption/Adsorption: Comparison with Granular Avtivated Carbon, J. of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Engineering Substance & Environmental Engineering, 34 (9): 1777-1796
- YILDIZ, G., 2001. Çeşitli Aktif Karbonlar Kullanılarak Atıksulardan Adsorbsiyon Yöntemi ile Fenol Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 48s

## **ÖZGEÇMİŞ**

1980 Yılında Adana'da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Adana'da tamamladım. 1998 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümüne girdim. 2002 yılında lisans öğrenimimi tamamladım ve aynı yıl mezun olduğum bölümde yüksek lisans öğrenimime başladım. Öğrenimime halen devam etmekteyim.