

**T.C.
SİİRT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEĞİŞİK KÖMÜR NUMUNELERİ ÜZERİNE SOĞUK PLAZMANIN
ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE ADSORPSİYON UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gülten ELÇİ ÖLÇENOĞLU
(163102011)**

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cafer SAKA

**Haziran-2019
SİİRT**

TEZ KABUL VE ONAYI

Gülten ELÇİ ÖLÇENOĞLU tarafından hazırlanan “Değişik Kömür Numuneleri Üzerine Soğuk Plazmanın Etkisinin İncelenmesi ve Adsorpsiyon Uygulamaları” adlı tez çalışması 27/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

Üye

Unvanı Adı SOYADI

İmza



Prof. Dr. Hasan TOGRUL



Prof. Dr. Cafer SAKA



Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KAYA

Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Fevzi HANSU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması Siirt Üniversitesi tarafından 2017-SİÜFEB-96 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında petrokok, Ukrayna ve Şırnak kömür numuneleri üzerine soğuk plazma etkilerini ve adsorpsiyon uygulamaları incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca; çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve deneyimiyle bana yol gösteren, yardımlarını ve zamanını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Cafer SAKA'ya,

Tezin yazımı, düzenlenmesi ve derlenmesi konularında bana her türlü yardım ve katkıyı sağlayan kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Asım BALBAY'a,

Yüksek lisans eğitimim boyunca başaracağıma inanan ve her konuda bana destek olan sevgili eşim İbrahim ÖLÇENOĞLU'na ve biricik oğlum Sefa Yuşa'ya,

Yüksek lisans çalışmamda bana her türlü desteği sağlayan arkadaşım Nuran SELVİTEPE'ye,

Beni bu yaşıma getiren, iyi ve kötü günümde yanımda olan sonsuza kadar güvenen başaracağıma inanan ve her türlü desteği sağlayan kıymetli aileme,

Tez çalışmamın başlangıcından bitimine kadar her aşamada emeği geçen herkese sonsuz TEŞEKKÜRLER...



Gülten ELÇİ ÖLÇENOĞLU
SİİRT-2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler ve Tezin Amacı.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Çevre Kirliliği.....	5
2.1.1. Çevre kirliliğinin tanımlanması	5
2.1.2. Çevre kirliliğinin sınıflandırılması.....	5
2.1.2.1. Fiziksel kirlenme	5
2.1.2.2. Kimyasal kirlenme	5
2.1.2.3. Biyolojik kirlenme	6
2.1.3. Çevre unsurlarına göre çevre kirliliği çeşitleri	6
2.1.3.1. Hava kirliliği	6
2.1.3.2. Su kirliliği	6
2.1.3.3. Toprak kirliliği	6
2.1.3.4. Gürültü kirliliği	7
2.1.3.5. Endüstriyel çevre kirliliği	7
2.2. Boya ve Boyar Maddenin Tanımı	7
2.2.1. Boyar maddelerin sınıflandırılması.....	8
2.2.1.1. Boyar maddelerinin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması	8
2.2.1.2. Boyar maddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması.....	8
2.2.1.3 Boyar maddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması	9
2.3. Adsorpsiyon	10
2.3.1. Adsorpsiyonun sınıflandırılması.....	10
2.3.1.1. Kimyasal adsorpsiyon(kemisorpsiyon)	10
2.3.1.2. Fiziksel adsorpsiyon.....	10
2.3.1.3. İyonik adsorpsiyon	11
2.3.1.4. Biyolojik adsorpsiyon.....	11
2.3.2. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler.....	12
2.3.2.1. pH.....	12
2.3.2.2. Sıcaklık	12

2.3.2.3. Karıştırma hızı	12
2.3.2.4. Yüzey alanı	12
2.3.2.5. Tanecik boyutu.....	13
2.3.2.6. Derişim	13
2.3.3. Adsorpsiyon izoterm çeşitleri	13
2.3.3.1. Langmuir izotermi.....	13
2.3.3.2. Freundlich izotermi	15
2.3.4. Adsorpsiyon kinetiği	16
2.3.4.1. Yalancı birinci dereceden kinetik modeli	16
2.3.4.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik modeli	16
2.3.5. Adsorpsiyon termodinamiği	17
2.4. Kömür	17
2.4.1. Kömürleşme.....	18
2.4.2. Kömür türleri	19
2.4.3. Kömürün sınıflandırılması	20
2.4.4. Kömürün makromoleküler yapısı	22
2.4.4.1. Kovalent model	23
2.4.4.2. Kovalent olmayan model.....	23
2.5. Plazma.....	24
2.5.1. Plazma nasıl oluşur?.....	24
2.5.2. Plazmaların özellikleri	25
2.5.3. Plazmaların sınıflandırılması	26
2.5.3.1. Sıcaklıklarına göre plazmalar	26
2.5.3.2. Basınçlarına göre plazmalar	27
2.5.4. Plazma türleri.....	27
2.5.5. Plazma uygulamaları.....	28
2.5.6.1. Yüzey aktivasyonu	28
2.5.6.2. Temizleme	29
2.5.6.3. Aşındırma	29
2.5.6.4. Aşılama	30
2.5.6.5. Çapraz bağlanma	30
3. MATERYAL VE METOD.....	32
3.1. Materyal	32
3.1.1. Kömür numuneleri (Şırnak kömürü, Ukrayna kömürü, petrokok)	32
3.1.2. Deneyde kullanılan kimyasal maddeler	32
3.1.3. Deneylerde kullanılan boyar maddenin özellikleri	32
3.1.4 Kullanılan cihazlar	34
3.1.5. Kullanılan çözeltilerin hazırlanması	34
3.1.6. Kömür numuneleri üzerinde zero point noktasının belirlenmesi	34
3.1.7. Kömür numunelerinin karakterizasyonu	35
3.2. Metod	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. XPS Analizleri.....	37
4.1.1. Petrokok numunesinin XPS analizi	37
4.1.2. Ukrayna kömürünün XPS analizi	38
4.1.3. Şırnak kömürünün XPS analizi	40
4.2. FTIR Analizleri	41

4.2.1. Petrokok numunesinin FTIR analizi	41
4.2.2. Ukrayna kömürünün FTIR analizi	42
4.2.3. Şırnak kömürünün FTIR analizi	43
4.3. SEM Analizleri.....	44
4.4. BET Yüzey Alanı Ölçümleri.....	51
4.5. Plazma Uygulanmış Kömür Numuneleri İle Sulu Çözeltilerden Malahit Yeşili Adsorpsiyon Çalışmaları.....	54
4.6. Sıfır Yük Noktası (zpc).....	56
4.7. pH Etkisi	57
4.8. Başlangıç Konsantrasyon Etkisi	60
4.9. Malahit Yeşili Adsorpsiyonu Üzerine Adsorban Miktarının Etkisi	62
4.10. Sıcaklık Etkisi Ve Termodinamik Parametreleri.....	63
4.11. Adsorpsiyon İzotermi	66
4.11.1. Langmuir izotermi.....	66
4.11.2. Freundlich izotermi	69
4.12. Adsorpsiyon Kinetiği	71
4.12.1. Yalancı birinci dereceden kinetik modeli	71
4.12.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik modeli	71
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
5.1. Sonuçlar	74
5.2. Öneriler	75
6. KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	81

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Fiziksel ve Kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması	11
Tablo 2.2. Bazı doğal yakıtların elementer bileşimi (saf kömür bazında).....	19
Tablo 2.3. Uluslararası genel kömür sınıflandırması.....	20
Tablo 2.4. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri.....	21
Tablo 3.1. Malahit yeşilinin fiziksel özellikleri.....	33
Tablo 4.1. Saf petrokok numunesi ve O ₂ plazma uygulanmış petrokok numunesinin yüzey özellikleri.....	51
Tablo 4.2. Saf Ukrayna kömür ve O ₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesinin yüzey özellikleri	52
Tablo 4.3. Saf Şırnak kömür ve O ₂ plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesinin yüzey özellikleri.....	53
Tablo 4.4. Saf petrokok numunesi, saf Ukrayna ve saf Şırnak kömür numunelerinin malahit yeşili konsantrasyonunun adsorpsiyonu	55
Tablo 4.5. 5 dakika 80 W'da oksijen plazma uygulanmış petrokok numunesi, Ukrayna ve Şırnak kömür numunelerinin malahit yeşili konsantrasyonunun adsorpsiyonu	55
Tablo 4.6. Tüm numuler için ΔG° , ΔH° ve ΔS° değerleri	66
Tablo 4.7. Plazma uygulanmış kömür numuneleri üstüne malahit yeşilinin uzaklaştırılması için Langmuir izotermi.....	68
Tablo 4.8. Plazma uygulanmış kömür numuneleri üstüne malahit yeşilinin uzaklaştırılması için Freundlich izotermi.....	71
Tablo 4.9. Plazma uygulanmış petrokok numunesi üstüne malahit yeşili adsorpsiyonunun yalancı I.ve II.dereceden hız reaksiyonu kinetiklerinin karşılaştırılması	72
Tablo 4.10. Plazma uygulanmış ukrayna kömür numunesi üstüne malahit yeşili adsorpsiyonunun yalancı I.ve II. Dereceden hız reaksiyonu kinetiklerinin karşılaştırılması.....	72
Tablo 4.11. Plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesi üstüne malahit yeşili adsorpsiyonunun yalancı I.ve II.dereceden hız reaksiyonu kinetiklerinin karşılaştırılması.....	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kömürün moleküler yapısı a.Kovalen model b.Kovalent olmayan model....	22
Şekil 2.2. Kovalent model ve moleküller arasındaki kovalent bağ.....	23
Şekil 2.3. Kovalent olmayan model ve moleküller arası kuvvetler	23
Şekil 2.4. Maddenin halleri.....	24
Şekil 2.5. Plazma oluşumunun 3 aşamalı adımı	25
Şekil 2.6. Plazma etkisiyle oluşan yüzey aktivasyonu	29
Şekil 2.7. Plazma ile elde edilen temizlenmiş yüzey temizleme	29
Şekil 2.8. Plazma etkisiyle oluşan aşınma.....	30
Şekil 2.9. Plazma etkisiyle meydana gelen aşılama.....	30
Şekil 2.10. Plazma etkisiyle meydana gelen polimerizasyon.....	31
Şekil 3.1. Malahityeşili'in karbinol ve lökomalahityeşili formunun kimyasal yapısı...	33
Şekil 4.1. Saf petrokok numunesinin XPS analizi.....	37
Şekil 4.2. Plazma uygulanmış petrokok numunesinin XPS analizi	37
Şekil 4.3. Saf Ukrayna kömürünün XPS analizi.....	38
Şekil 4.4. Plazma uygulanmış Ukrayna kömürünün XPS analizi.....	39
Şekil 4.5. Saf Şırnak kömürünün XPS analizi	40
Şekil 4.6. Plazma uygulanmış Şırnak kömürünün XPS analizi.....	40
Şekil 4.7. Saf petrokok numunesi (a) ve O ₂ plazma uygulanmış petrokok numunesi (b) için FTIR analizi	41
Şekil 4.8. Saf Ukrayna kömürü (a) ve O ₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömürü (b) için FTIR analizi	42
Şekil 4.9. Saf Şırnak kömürü (a) ve O ₂ plazma uygulanmış Şırnak kömürü (b) için FTIR analizi.....	43
Şekil 4.10. Saf petrokok numunesinin (a,b,c) SEM görüntüleri	45
Şekil 4.11. Plazma uygulanmış petrokok numunesinin (a,b,c) SEM görüntüleri	46
Şekil 4.12. Saf Ukrayna kömürünün (a,b,c) SEM görüntüleri	47
Şekil 4.13. Plazma uygulanmış Ukrayna kömürünün (a,b,c) SEM görüntüleri	48
Şekil 4.14. Saf Şırnak kömürünün (a,b,c) SEM görüntüleri	49
Şekil 4.15. Plazma uygulanmış Şırnak kömürünün (a,b,c) SEM görüntüleri	50
Şekil 4.16. Saf petrokok numunesi (a) ve O ₂ plazma uygulanmış petrokok numunesi(b) için BET yüzey alanı analizleri.....	51
Şekil 4.17. Saf Ukrayna kömürü (a) ve O ₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesi (b) için BET yüzey alanı analizleri	52
Şekil 4.18. Saf Şırnak kömürü (a) ve O ₂ plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesi (b) için BET yüzey alanı analizleri	53
Şekil 4.19. Petrokok numunesinin izoelektrik noktaları	56
Şekil 4.20. Ukrayna kömürünün izoelektrik noktaları	56
Şekil 4.21. Şırnak kömürünün izoelektrik noktaları.....	57
Şekil 4.22. Petrokok numunesinin pH etkisi	58
Şekil 4.23. Ukrayna kömürünün pH etkisi	58
Şekil 4.24. Şırnak kömürünün pH etkisi	59
Şekil 4.25. Petrokok numunesinin başlangıç konsantrasyon etkisi	60
Şekil 4.26. Ukrayna kömürünün başlangıç konsantrasyon etkisi	60
Şekil 4.27. Şırnak kömürünün başlangıç konsantrasyon etkisi	61
Şekil 4.28. Petrokok numunesinin malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine adsorban miktarının etkisi	62

Şekil 4.29. Ukrayna kömür numunesinin malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine adsorban miktarının etkisi	62
Şekil 4.30. Şırnak kömür numunesinin malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine adsorban miktarının etkisi	63
Şekil 4.31. Plazma uygulanmış petrokok numunesine malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine sıcaklık etkisi	64
Şekil 4.32. Plazma uygulanmış ukrayna kömür numunesine malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine sıcaklık etkisi	64
Şekil 4.33. Plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesine malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine sıcaklık etkisi	65
Şekil 4.34. Petrokok numunesi için Langmuir izotermi.....	67
Şekil 4.35. Ukrayna kömür numunesi için Langmuir izotermi	67
Şekil 4.36. Şırnak kömür numunesi için Langmuir izotermi	68
Şekil 4.37. Petrokok numunesi için Freundlich izotermi	69
Şekil 4.38. Ukrayna kömür numunesi için Freundlich izotermi.....	70
Şekil 4.39. Şırnak kömür numunesi için Freundlich izotermi.....	70

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Acıklama</u>
BET	: Brunauer Emmett Teller
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
HCl	: Hidroklorik Asit
IUPAC	: The International Union of Pure and Applied Chemistry
KNO₃	: Potasyum Nitrat
NaOH	: Sodyum Hidroksit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
S.K.KY.	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
zpc	: Sıfır Yük Noktası
XPS	: X-Işını Fotoelektron Spektroskopisi

<u>Simge</u>	<u>Acıklama</u>
b	:Langmuir sabiti(L/mg)
C_{ads}	:Denge anında adsorplanan boyar maddenin konsantrasyonu (mg/L)
C_e	:Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)
K_c	:Adsorpsiyon denge sabiti
K_F	:Adsorpsiyon kapasitesiyle ilişkili Freundlich izoterm sabiti (mg/g)
k₁	:Yalanci birinci dereceden hız sabiti(1/dak)
k₂	:Yalanci ikinci dereceden hız sabiti
L	:Litre
M	:Molarite
m	:Adsorbentın miktarı (g)
mL	:Mililitre
n	:Adsorpsiyon şiddetini ifade eden Freundlich izoterm sabiti
nm	:Nanometre
ppm	:mg/L
R²	:Korelasyon katsayısı
T	:Sıcaklık(K, °C)
t	:Temas süresi (dak)
V	:Çalışılan çözelti hacmi (mL)
q_t	:Herhangi bir anda adsorbentın gramı başına adsorplanan madde miktarı
λ_{max}	:Boyar maddenin gösterdiği maksimum dalga boyu (nm)
q_e	:Adsorbentın gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)
ΔG°	:Standart Gibbs serbest enerji değişimi
ΔH°	:Standart entalpi değişimi
ΔS°	:Standart entropi değişimi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEĞİŞİK KÖMÜR NUMUNELERİ ÜZERİNE SOĞUK PLAZMANIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE ADSORPSİYON UYGULAMALARI

Gülten ELÇİ ÖLÇENOĞLU

Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Cafer SAKA

2019, 93 Sayfa

Endüstrilerde gaz ayırma ve arıtma işlemleri için adsorpsiyon yöntemi damıtma ve gaz emme gibi diğer geleneksel ayırma işlemlerine daha yaygın kullanılmaktadır. Bununla birlikte, adsorpsiyon olayının daha etkili olabilmesi için kullanılan adsorbanların yüzey özellikleri etkilidir. Adsorbanların etkili yüzey uygulamaları için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden biri de plazma uygulamalarıdır. Plazma uygulamaları sıcak plazma ve soğuk plazma olarak iki kısımda değerlendirilir. Sıcak plazma uygulamalarında yüksek enerji tüketimi söz konusudur. Bundan dolayı yüzey modifikasyonlarında soğuk plazma yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Plazma modifikasyon ile yüzeylere değişik fonksiyonel gruplar bağlanması söz konusudur. Bu tez çalışmasında, mevcut yöntemlere alternatif olarak piyasada yaygın olarak bulunan petrokok, Ukrayna kömürü ve Şırnak kömürü numunelerinin oksijen soğuk plazma ile modifikasyonu ve elde edilen adsorbanlarla sulu ortamlardan malahit yeşili boyar maddesinin giderimi amaçlanmaktadır. Plazma uygulamasından sonra ve önce elde edilen kömür numunelerinin XPS, FTIR, SEM ve BET teknikleri ile karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan kömür numuneleri üzerine plazma uygulamasının etkili olduğu özellikle kömür numunelerinin yüzeyinde oksijenli grupların arttığı gözlenmektedir. Plazma uygulanmış kömür numuneleri kullanılarak malahit yeşili boyasının uzaklaştırılması, başlangıç pH'ı, adsorban dozu, başlangıç boya konsantrasyonu ve sıcaklık gibi farklı parametrelerin değiştirilmesiyle incelenmektedir. Elde edilen deneysel veriler için hem Langmuir hem de Freundlich izotermi kullanıldı. Yalancı birinci dereceden ve ikinci dereceden hız eşitlikleri kinetik veriler için kullanıldı. Termodinamik parametreler elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, kömür, malahit yeşili, soğuk plazma

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION AND ADSORPTION APPLICATIONS OF COLD PLASMA EFFECTS ON DIFFERENT COAL SAMPLES

Gülten ELÇİ ÖLÇENOĞLU

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University
The Degree of Master of Science
Chemical Engineering**

Supervisor : Prof. Dr. Cafer SAKA

2019, 93 Pages

The adsorption method for gas separation and treatment in industries is more widely used in other conventional separation processes such as distillation and gas extraction. However, the surface properties of the adsorbents used to make the adsorption event more effective are important. There are various methods for effective surface applications of the adsorbents. One of these methods is plasma applications. Plasma applications are evaluated in two parts as hot plasma and cold plasma. Hot plasma applications have high energy consumption. Therefore, cold plasma method is more preferred in surface modifications. Various functional groups can be attached to the surfaces by plasma modification. In this thesis, as an alternative to the existing methods, it was aimed to modify the petroleum coke, ukraine and sirnak coal samples commonly found in the market with oxygen cold plasma and to remove the malachite green dyestuff from the aqueous media with the resulting adsorbents. After the plasma application and before the charcoal samples were obtained by XPS, FTIR, SEM and BET techniques. It was observed that the plasma application on the coal samples was effective and the oxygen groups increased on the surface of the coal samples. The removal of malachite green dye using plasma samples was investigated by varying different parameters such as initial pH, adsorbent dose, starting dye concentration and temperature. Both Langmuir and Freundlich isotherms were used for the experimental data. Pseudo first order and second order rate equations were used for kinetic data. Thermodynamic parameters were obtained.

Keywords: Adsorption, coal, malachite green cold plazma

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler ve Tezin Amacı

Çevre kirliliği dünyamızda ve ülkemizde sürekli olarak artmaktadır. Artan çevre kirliliğine bağlı olarak doğadaki bütün canlılar olumsuz bir şekilde etkilenmekte ve zarar görmektedir. Çünkü çevre kirliliği evrensel bir sorundur. 1986 yılında meydana gelen Çernobil nükleer kazası yalnızca bulunduğu çevreyi değil tüm dünyayı olumsuz olarak etkileyen bir kaza olarak bilinmektedir. Yani bir bölgede oluşan çevre kirliliğinin etkisi önce yakın çevresini ve daha sonra tüm dünyayı etkileyebilecek nitelikte olabilmektedir. Bu sebeple çevre kirliliği ile mücadelede toplumsal bilinç ve uluslararası işbirliği gerekmektedir (Kuyucu, 2013).

Besin, su, hava, ısı vb. kaynaklar asırlardır insanlar tarafından konforlu bir yaşam sürdürmek için kullanılmaktadır. Bu kaynaklar kullanılırken çevrenin de temiz ve düzenli olması istenmektedir. Ancak sanayi devriminin günümüze kadar endüstri dallarındaki gelişimleriyle birlikte ortaya çıkan endüstriyel kirlenme ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Özellikle endüstrileşmenin etkisiyle meydana gelen atık sular nedeniyle çevre aşırı bir şekilde kirlenmekte ve çevre için kritik kirlilik değerini aşmaktadır (Aydoğdu, 2012). Bu nedenle adsorpsiyon uygulamalarına ihtiyaç vardır. Çünkü adsorpsiyon genellikle endüstriyel uygulamalar sonucunda oluşan kimyasal kirliliklerin uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Atık su arıtma yöntemleri ile imha edilemeyen özellikle farmasötikler, pestisitler, deterjanlar, boyarmaddeler ve kimyasal atıklar uygun bir katı adsorban kullanılarak adsorpsiyon yöntemi ile ortamdan uzaklaştırılabilirler (Alioğlu, 2013). Bu kirleticileri uzaklaştırmada kullanılan adsorbanın yapısı, yüzey alanı ve parçacık boyutu, karıştırma hızı, adsorbatın çözünürlüğü ve molekül büyüklüğü, pH değeri ve sıcaklık adsorpsiyona etki eden önemli parametrelerdir (Alioğlu, 2013). Kullanıldıkları endüstri kolu ve endüstriyel faaliyete göre çeşitlilik gösteren boyarmaddelerin en çok tekstil, kağıt, deri, kauçuk, ilaç, gıda kozmetik ve boya endüstrilerinde kullanılmaktadır. Ülkemizde genellikle tekstil endüstrisinde hızlı bir artış olduğundan, oluşan renkli atık suların arıtılması çevre ve insan hayatı açısından büyük önem arz etmektedir (Çakır, 2016).

Tekstilde, boya, kâğıt ve baskı endüstrilerinde genellikle sentetik boyalar kullanılmaktadır. Günümüzde sentetik boyaların kullanımı ve üretimi incelendiğinde

700.000 ton kadar sentetik boya üretilmekte ve 100.000'in üzerinde de ticari olarak kullanıldığı görülmektedir. Sentetik boyalar üretilirken veya kullanılırken meydana gelen suların ne denli kirli olduğu ve çevreye ne kadar olumsuz etki edebileceği çıplak gözle bile görülebilmektedir (Kapdan ve Kargı, 2000).

Organik maddelerin toprak altında milyonlarca yıl basınç ve sıcaklık etkisiyle kalması sonucu oluşan fosil kökenli yakıt kömür denilmektedir. Yenilenemeyen bir enerji kaynağı olduğundan insan ömrüyle kıyasladığımızda oluşumu çok uzun sürede gerçekleşen ve kömürün insanoğlunun hayatında önemli bir yeri sahiptir (Çetinkaya Özdoğan, 2016). Çoğu zaman bitkisel maddeler ya da bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip çökler ve jeolojik zaman içerisinde yer altında kalmaktadır. Yerin altında kalan bu organik kütleler gömüldükten sonra gömülmenin etkisiyle oluşan basınç şartları ve daha sonrada gelişen ısısal şartından etkilenmektedir. Bu etkilenmeden etkilenen organik maddede fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Kömürleşmenin ilk aşaması olarak bilinen bu organik maddeler önceleri turba olarak adlandırılırken zamanla daha koyu renklere ve daha sert yapıya sahip olurlar. Toprağın sıcaklığına bağlı olarak kömürün oluşum sürecinde sırasıyla turba, linyit, alt bitümlü kömür, taşkömürü, antrasit ve grafitir. Ancak grafitin oluşmasında sıcaklığın yanı sıra diğer uygun şartların da oluşması gerekmektedir. Sıralanan bu sürece olgunlaşma süreci "kömürleşme" olarak isimlendirilmekte ve her seviyedeki sürece de kömürleşme derecesi (Rank) olarak adlandırılmaktadır (Kuzuluk, 2014). Dünyada 70'den fazla ülkede kömür rezervleri bulunmaktadır. En büyük rezerv bakımından ele alındığında sırasıyla 247 milyar ton ile ABD, 157 milyar ton ile Rusya ve 114.5 milyar ton ile Çin bu sıralamanın ilk üçünü oluşturmaktadır. Dünya kömür ticareti ele alındığında ise kömür üretiminin %91.3'ünü: Avustralya (%29), Endonezya (%14), Çin (%11.4), Güney Afrika Cumhuriyeti (%8.9), Rusya (%8.6), Kolombiya (%6.9), ABD (%5.7), Kanada (%3.6) ve Kazakistan (%3) elinde bulundurmaktadır (Şengüler, 2006).

Maddenin dördüncü hali olarak bilenen plazma, maddenin katı, sıvı ve gaz hallerinden oldukça farklı özelliklere sahiptir. Genellikle güçlü bir radyasyon, elektrik alan veya elektriksel boşalım etkisiyle plazma oluşur veya oluşturulmaktadır. Plazmada uyarılma, iyonizasyon ve ayrılma reaksiyonları gerçekleşmektedir. Plazma ortamında enerji kazanan serbest elektronlar, ortamdaki diğer atomlar ve moleküllere çarparak enerjilerini onlara aktarırlar. Ortamda çok sayıda yeni moleküller, atomlar, radikaller,

iyonlar, vb. oluşmasının sebebi farklı türlerin birbirleriyle reaksiyona girmesidir. Plazma ortamında kullanılan gazın sıcaklığına bağlı olarak sıcak plazma ve soğuk plazma olmak üzere iki plazma türünden söz edilebilmektedir. Sıcak plazma ortamında yüksek iyonlaşma derecesine sahip çok sayıda iyon vardır. Soğuk plazmada ise düşük iyonlaşma derecesine sahip düşük sıcaklıklı partiküller ve atomlar ve göreceli olarak yüksek sıcaklığa sahip elektronlar bulunmaktadır. Sıcak plazmada çok yüksek enerji olduğu için sıcaklığa dayanıklı inorganik materyallerin modifikasyonları söz konusudur (Gülec, 2012).

Plazma işlemi uygulanırken meydana gelen reaktif parçacıklar materyalin temel özelliklerini bozmamaktadır. Ancak yüzeyde yüzey aktivasyonu, temizleme, aşındırma, aşılama ve çapraz bağlanma şeklinde çeşitli modifikasyonlara neden olabilmektedir. Bu etkiler sonucu tekstil mamullerinin hidrofilliği, lif yüzeyinin kimyasal reaktivitesi, lif yüzeyinin kaplamalara ve matrislere adhezyonunu arttırmakta, lif yüzeyinin temizlenmesi sağlanmaktadır. Ayrıca, klasik işlemlerle elde edilemeyen fonksiyonel özelliklere sahip mamullerin bitim işlemlerinde mamule güç tutuşurluk, keçeleşmezlik gibi özellikler kazandırmak amacıyla kullanılmaktadır (Karahana, 2007).

Plazmanın bir sürü avantajı bulunmaktadır. Bunlar su gereksinimine ihtiyaç duyulmaması, işlemin gaz fazında oluşması, kullanılacak kimyasal madde miktarının fazla olmaması, endüstriyel atığa neden olmaması, işlemin sadece lif yüzeyinde etkili olması, enerji tasarrufu sağlaması gibi avantajları sayabilmektedir (Karahana, 2007).

Adsorpsiyon, sıvı atıklardan kimyasal kirleticilerin alımı için kullanılan en etkili yöntemlerden birisidir. Adsorbentler için soğuk plazma tekniği, özellikle maliyet ve çevresel açıdan değerlendirilmesi gereken bir tekniktir. Plazma işlemleri, var olan yaş işlemlerin yerini alabilir. Çevresel açıdan avantajlı bir çalışma şekli olduğu plazma teknolojisinin en çok kabul gören avantajıdır. Çevreyle ilgili maliyetlerdeki artış, bu tekniğin önemini gün geçtikçe arttırmaktadır.

Adsorpsiyon yönteminde kullanılan adsorbentlerin yüzey yapısı ve özellikleri düşük sıcaklıkta plazma teknikleriyle modifiye edilebilir. Bu proje çalışmasının amacı, daha önce uygulanmamış olan soğuk plazma uygulanmış kömür numuneleri içeren adsorbent hazırlama koşullarını araştırma ve hazırlanan bu adsorbentler ile malahit yeşili boyar maddelerinin adsorpsiyon kapasitesini incelemektir.

Maliyetler açısından değerlendirildiğinde, plazma işlemini izleyen yaş işlemlerde gereken kimyasal miktarındaki azalma; kimyasalların boya banyosundan daha iyi alınması, yas işlem süresinin kısılması, gerekli yaş işlem sıcaklığında azalma gibi etkiler doğal olarak enerji, kimyasal ve su tasarrufu sağlayacak, bunun yanı sıra çevresel açıdan da avantaj oluşturmaktadır.

Çok düşük miktarlarda kimyasal gerektirdiğinden plazma işlemleri yaş kimyasal işlemlerin yerine geçebilir, işlemlerde atık su veya kimyasal atık meydana gelmemektedir.

Düşük sıcaklık ve alçak basınç plazma tekniği hali hazırda belirli metal ve polimer materyallerinde endüstriyel anlamda kullanılmaktadır. Kimya, ilaç, biyolojik ve tıbbi cihazlarda alçak basınç plazma tekniği, plastik yüzeylerin işlenmesi, polietilenden yapılan pet şişelerin, boruların ve taşıyıcıların şekillendirilmesinde kullanılmaktadır.

Yaş işlemler liflerin içerisine doğru penetrasyona dayanırken, plazma işlemlerinde sadece yüzeyde reaksiyon gerçekleşmektedir. Elde edilen özellikler yaklaşık 100 Å civarındaki yüzey tabakasıyla sınırlanmaktadır. Bu özellikler çok çeşitlidir ve adsorbent yüzeylere uygulanabilir, işlemlerde, iç yapıda herhangi bir etki söz konusu değildir Adsorbent yüzeyine hidrofilik-hidrofobik özellikler kazandırılabilir, tutuşma özelliği azaltılabilir, sentetik malzemelerin boyanması oldukça güçlü reaktif polar grupların yüzeyde oluşturulmasıyla boya pigmentinin fiksesi iyileştirilmektedir.

Soğuk plazma işlemi kullanılarak kömür numune yüzeyleri değiştirilmektedir. Bu amaçla karbondioksit, oksijen, argon, azot gibi gazların oluşturduğu plazma kullanılmaktadır. Plazmanın yüzeyde aktif türler oluşturma özelliğinden yola çıkarak bu çalışma kapsamında O₂, Ar, N₂, CO₂ gazlarından yola çıkarak adsorbent yüzeylerinde karbonil, C-N, C-O, C-O-C gibi adsorpsiyon işlemlerinde çok önemli olan fonksiyonel grupların oluşturulması amaçlanmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Çevre Kirliliği

Çevre kirliliği, tabiatın en önemli maddeleri olan suyun, havanın ve toprağın üzerinde olumsuz etkileri oluşturacak ve hayatta kalabilmesi için canlı varlıkların gerçekleştirdikleri etkinliklerin engellemesini sağlayıp çevre sorunlarının oluşmasını sağlayan olay olarak ifade edilmektedir (Öztürk, 2002).

2.1.1. Çevre kirliliğinin tanımlanması

Çevre sorunları günümüzde büyük sorunlardan biri ve en önemlisidir. Çevre kavramı tek bir anlamı kapsam etmemektedir. Hayatın gelişmesinde etki eden doğal, sosyal ve kültürel dış şartların bütününe çevre olarak ifade edilmektedir (Fındık, 2007). Günümüzdeki nüfus artış hızı, enerji ve besin kaynaklarının azalmasına, düzensiz kentleşmeye, tüketimin artmasına ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı insan odaklı çevre kirliliği oluşmuş ve oluşan bu kirlilik kendilerini de doğrudan etkileyerek sağlık problemleri yaşamalarına ve farkındalık duygusunun oluşmasına neden olmaktadır (Ertit Taştan, 2008).

2.1.2. Çevre kirliliğinin sınıflandırılması

Çevre kirliliğini 3 ana grupta incelenmektedir.

2.1.2.1. Fiziksel kirlenme

Fiziksel kirlenme; toprak, su ve hava gibi çevreyi oluşturan maddelerin fiziksel özellikler bakımından insan, hayvan ve bitki gibi canlıların hayatlarına zarar verecek kadar olumsuz bir şekilde bozulmasına ve değişmesi olarak ifade edilmektedir (Özcan, 2012).

2.1.2.2. Kimyasal kirlenme

Kimyasal kirlenme; toprak, su ve hava gibi çevreyi oluşturan maddelerin kimyasal olarak insan, hayvan ve bitki gibi canlıların hayatlarına zarar verecek kadar

olumsuz bir şekilde bozulmasına ve değişmesi olayı olarak ifade edilmektedir (Özcan, 2012).

2.1.2.3. Biyolojik kirlenme

Biyolojik kirlenme; toprak, su ve hava gibi çevreyi oluşturan maddelerin çeşitli patojen mikroorganizmalarla kirlenmesi ve dolayısıyla mikrobiyolojik yapının bozulması sonucu meydana gelen mikrobiyal kirlenmeyi tanımlamaktadır (Özcan, 2012).

2.1.3. Çevre unsurlarına göre çevre kirliliği çeşitleri

2.1.3.1. Hava kirliliği

Hava kirliliği; herhangi bir faaliyet sonucunda atmosfere bırakılan ve burada yayılarak biriken duman, gaz, kurum, is, koku ve benzeri gibi maddelerin insan hayatını, bitki, hayvan ve maddeler üzerinde olumsuz etkileyerek onlara zarar vermektedir (Oktar, 2010).

2.1.3.2. Su kirliliği

Su Kirliliği, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (S.K.KY)'nde belirtilen su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik yönlerinden dolayı su kirlenmektedir.

Yani, su kaynaklarının biyolojik olarak doğrudan veya dolaylı yoldan su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında insan hayatını olumsuz etkileyecek zararları olarak tanımlanmaktadır (Sülkü, 2012).

2.1.3.3. Toprak kirliliği

Toprağın yapısında meydana gelen fiziksel, kimyasal, biyolojik ve jeolojik yapısının, tarımsal faaliyetler, sanayileşme ve kentleşme gibi dış etkenlerle bozulması "Toprak Kirliliği" olarak tanımlanabilir.

Fakat toprak kirliliği üzerinde, iklim, bitki örtüsü, toprağın kimyasal bileşimi, fiziksel direnci ve benzeri türde olguların da etkili olduklarını göz ardı edilmemesi gerekmektedir (Oktar, 2010).

2.1.3.4. Gürültü kirliliği

İstenmeyen ve rahatsız edici sesler topluluğuna gürültü olarak ifade edilmektedir. Gürültü, insanların işitme duyularına zarar vererek seslerin uygun olarak algılanmasını zorlaştırmaktadır. Sesin maruziyet sınırı üzerinde olması veya sesle olan etkileşim süresinin fazlalığı insan için büyük bir olumsuzluktur. Bu olumsuzluklar çalışanın başarısını fizyolojik ve psikolojik bakımdan zarar vermektedir (Öztürk, 2002).

2.1.3.5. Endüstriyel çevre kirliliği

Sanayi kuruluşlarının sebep olduğu kirliliğe endüstriyel çevre kirliliği olarak ifade edilmektedir. Sanayi kuruluşlardan oluşan atıkların nehirlere, göllere, denizlere, toprağa ve atmosfere bırakması ile endüstriyel çevre kirliliği oluşmaktadır. Endüstriyel çevre kirliliğinin kimyasal olması durumunda çevre bakımından daha vahim sonuçları meydana getirmektedir (Özcan, 2012).

2.2. Boya ve Boyar Maddenin Tanımı

Boya, cisimlere farklı renklerde güzel görünüm kazandırmak ve cisimlerin yüzeyini dış etkilerden korumak için kullanılan maddelerdir olarak ifade edilmektedir. Bir bağlayıcı ile karıştırılarak oluşturulan çözünmemiş karışımlar olarak da ifade edilmektedir. Boyalar bir yüzeye uygulanırken fırça vb. çeşitli boyama aparatları kullanılmakta ve böylece boyalı yüzey kalın ve yeni bir tabaka ile kaplanmış olmaktadır (Tezcan, 2011).

Boyar madde, cisimlerin kendilerini renkli hale getirmede uygulanan maddeler olarak ifade edilmektedir. Fakat yüzeyi farklı renklerle renklendiren her madde boyar madde değildir. Boyar maddelerle yapılan renklendirme işlemi boyalarla yapılan renklendirme işleminden farklıdır. Boyam yöntemleri genellikle çözeltiler veya süspansiyonlar halinde uygulanan yöntemlerdir. Organik bileşikler olarak ele alınan boyar maddeler yüzeyde kimyasal veya fizikokimyasal bir reaksiyon oluşturarak yüzeyde yapışmaktadır. Böylece boyar madde yüzeye yapışarak renkli bir görünüm oluşturmakta ve yüzeyin yapısı fiziksel olarak değişmektedir (Tezcan, 2011).

Boyar maddeler kromofom ve fonksiyonel gruplar olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Kromofom, organik küçük bir molekül içinde renkli

görünümü sağlayan bileşen olarak ifade edilmektedir. Fonksiyonel gruplar ise boyayı ipliğe bağlayan bileşen olarak ifade edilmektedir (Karaca, 2008).

2.2.1. Boyar maddelerin sınıflandırılması

Boyar maddeler çözünürlüklerine, boyama özelliklerine ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmaktadır.

2.2.1.1. Boyar maddelerinin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması

Boyar maddeler yapıları gereği çözücüleri farklıdır. Suda ve suda çözünmeyen boyar maddeler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

a) Suda çözünen boyar maddeler

Boyarmadde molekülünün yapısında en az bir tane tuz grubunun yer alması gerekmektedir. Çözünürlük için boyar madde sentezlenirken kullanılan başlangıç maddeleri suda çözücü bir grup içermiyorsa, bu grup boyarmadde molekülüne sonradan eklenerek çözünürlük sağlamış olmaktadır. Ancak boyarmadde sentezinde başlangıç maddelerinin iyonik grup içermesini sağlayan yöntem daha çok tercih edilmektedir.

Tuz oluşturabilen grubun karakterine göre suda çözünebilir boyar maddelerin literatürde anyonik, katyonik ve zwitter iyon karakterli boyarmaddeler olmak üzere üç çeşidi kullanılmaktadır (Karaca, 2008).

b) Suda Çözünmeyen Boyar Maddeler

Organik çözücülerle çözünen veya çeşitli indirgeme maddeleri ile suda çözünebilir maddeler olarak ifade edilebilmektedir. Genellikle tekstil vb. alanlarda kullanılmaktadır.

Literatürde substratta çözünen boyar maddeler, organik çözücülerde çözünen boyar maddeler, geçici çözünürlüğü olan boyar maddeler, polikondensasyon boyar maddeler ve elyaf içinde oluşturulan boyar maddeler bu grupta yer almaktadır (Gülecan, 2011).

2.2.1.2. Boyar maddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması

Endüstride boyar madde kullanılırken kimyasal yapısından çok boyar maddenin hangi yöntemle elyafı boyayabildiğine bakılarak ele alınmaktadır. Bu işlemler

yapılırken bazik(katyonik), asit, direkt, dispers raktif, vat, mordan, kükürt, pigment, küpe ve azoik boyar maddeler kullanılmaktadır. Ancak bazik, asit ve direk boyar maddeler endüstride en çok kullanılan boyar maddeler olarak bilinmektedir (Bayrak, 2008).

Bazik Boyar Maddeler: Bazik boyar maddeler organik bazların hidroklorürleri veya asetat tuzları şeklinde olan boyar maddeler olarak adlandırılmaktadır. Parlak olmaları ve geniş renk şiddetlerine sahip olmaları en belirgin özellikleri arasında sayılabilmektedir. Bu özelliğinden dolayı pamuk boyamada pek tercih edilmez. Çünkü pamuk boyama işleminde reaktif boyar maddelerin kullanılması ile daha parlak renkler elde edilebilmektedir (Bahar, 2011).

Asit Boyar Maddeler: Renkli kısımda katyonik grubu olan ve organik bazların hidroklorürleri şeklinde olan boyar maddelerdir olarak adlandırılmaktadır. N ve S atomu içeren pozitif yük taşıyıcı olarak bilinmektedirler. Genellikle poliakrilonitril, yün ve pamuk elyafın boyanmasında tercih edilmektedir (Göze, 2013).

Direct Boyar Maddeler: Direct boyar maddeler sülfonik asitlerin ve karboksili asitlerin sodyum tuzlarıdır olarak ifade edilebilmektedir. Literatürde substantif boyar maddeler olarak da adlandırılmaktadır.

Yapısı gereği azo boyar maddeleri grubunda yer almaktadır. Selülozik elyafla doğrudan doğruya bağlanabilmektedir. Protein elyafı boyasalar da, özel durumlar dışında bu amaçla kullanılamamaktadır. Direkt boyar maddelerin endüstride kullanım alanı bulmasının nedenleri ucuz olmaları, boyama işlemlerinin kolay oluşu ve boyama sırasında elyafın yıpranmaması gibi özelliklere sahip olmaktadır. Boyama esnasında sıcaklık yüksektir bu nedenle boya banyolarına sodyum klorit veya sülfat eklenmesi gerekmektedir (Yılmaz, 2007).

2.2.1.3 Boyar maddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması

Boyar maddeler kimyasal yapısına bağlı olarak molekülün temel yapısı dikkate alınmaktadır. Ayrıca, molekülün kromojen ve renk verici özellikteki kısmı da dikkate alınması gerekmektedir (Dörtkol, 2014).

Sentez ve pratik uygulamalarda azo, nitro&nitrozo, polimetin, arilmetin, karbonil, aza (18) annulen, kükürt, aminoketon&hidroksiketon, onyum, ftalosiyanın, kinolin ve ksanten boyar maddeler kullanılmaktadır (Bahar, 2011).

2.3. Adsorpsiyon

Adsorpsiyonun tarihçesi incelendiğinde 18.yy'da Scheele ve A. Fontana tarafından ilk olarak ifade edildiği görülmektedir. 19.yy da Saussure adsorpsiyon üzerine ilk sistematik çalışmayı yapmıştır. Bu terim ilk olarak Kayser tarafından kullanılarak literatüre kazandırılmaktadır (Tözüm, 2009).

Adsorpsiyon; çözelti ortamındaki atom, iyon veya moleküllerin bir adsorbanın yüzeyine aktarımına dayanan ve genellikle faz yüzeylerinde oluşan bir ayırma işlemi olarak ifade edilebilmektedir. Atom, iyon veya moleküllerin bir katı yüzeyinde tutunması işlemine adsorpsiyon; tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına ise desorpsiyon olarak adlandırılmaktadır. Adsorpsiyon işlemindeki katı maddeye adsorplayıcı (adsorban); katı yüzeyinde tutunan maddeye ise adsorplanan (çözünen) adı verilmektedir (Avcı, 2017).

2.3.1. Adsorpsiyonun sınıflandırılması

Çözünmüş halde bulunan karışım ile adsorplama olayının gerçekleşmesi için adsorpsiyon türüne bağlı olarak dört tipte gerçekleşmektedir (Çoksöyler, 2018).

2.3.1.1. Kimyasal adsorpsiyon(kemisorpsiyon)

Kemisorpsiyon ise kimyasal adsorpsiyonun kısaltılmışını ifade etmektedir. Kemisorpsiyonda adsorban ile adsorbat molekülleri genelde kovalent bağlar meydana getirmektedir. Meydana gelen söz konusu kovalent bağlar sebebiyle adsorplanan moleküller ile adsorban arasında denge haline ulaşamamaktadır.

Bu duruma örnek olarak kömürü ele alacak olursak, kömürün bir gazı adsorplaması ve indirgemesi neticesinde, kömür üzerinde denge hali gözlemlenememekte olup bu olay geri dönüşümsüz ya da tersinmez adsorpsiyon olarak ifade edilmektedir (Terzi, 2018).

2.3.1.2. Fiziksel adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyon, adsorpsiyon, adsorban yüzeydeki dengelenmemiş Van Der Waals kuvvetleri sayesinde oluşması ile oluşmaktadır.

Fiziksel adsorpsiyon termodinamik olarak tersinirdir. Yüksek adsorpsiyon ısısı

gerektirmez ve düşük ısıyla karakterize olmaktadır.

Fiziksel adsorpsiyonda açığa çıkan ısı, adsorplanan gaz veya buharın yoğunlaşma ısısına çok yakındır ve genellikle bu ısı ortalama 5 kcal/mol' dur. Adsorpsiyonun derecesi sıcaklık yükseldikçe azalmaktadır (Varlıklıöz, 2018).

Tablo 2.1. Fiziksel ve Kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması

Fiziksel adsorpsiyon	Kimyasal adsorpsiyon
Adsorpsiyon ısı genellikle 20-40 kJ mol ⁻¹ aralığındadır.	Yüksek adsorpsiyon ısı 40-400 kJ mol ⁻¹ aralığındadır.
Çekim kuvveti Van der Waals kuvvetleridir.	Çekim kuvvetleri kimyasal bağ kuvvetleridir.
Genellikle düşük sıcaklıkta gerçekleşir ve sıcaklık arttıkça azalır.	Yüksek sıcaklıkta gerçekleşir.
Tersinirdir.	Tersinmezdir.
Fazla spesifik değildir.	Oldukça spesifiktir.
Çoklu moleküler tabakalar oluşturur.	Monomoleküler tabakalar oluşturur
Herhangi bir aktivasyon enerjisi gerektirmez	Aktivasyon enerjisi gerektirir.

2.3.1.3. İyonik adsorpsiyon

Belirlenmiş bir iyonun katı yüzeylerinde tutunmasının elektrostatik çekim kuvvetleri ile olması denilebilmektedir. İyon değişimi, bazı katılar ve elektrolit çözeltiler arasında iyonların tersinir bir biçimde değişmesi işlemidir. İyon değişim süreci adsorpsiyondan daha kompleks bir süreç olmasına rağmen, genel yöntemler ve bulunan sonuçlar benzerlik göstermektedir (Canbakış, 2018).

2.3.1.4. Biyolojik adsorpsiyon

Organik ve inorganik metallerin, boyaların ve kokuya sebep olan maddelerin canlı veya ölü biyokütle üzerindeki etkisine biyosorpsiyon olarak adlandırılmaktadır. Biyokütle olarak bakteriler, mantarlar, algler, biyolojik atık su arıtma tesislerindeki çamurlar ve fermantasyon endüstrisindeki yan ürünler kullanılabilir. Biyosorpsiyonun başlıca tercih sebepleri arasında yüksek seçicilik, ekonomiklik ve dolayısı ile verim sayılabilmektedir (Işık Arslanoğlu, 2012).

2.3.2. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler

2.3.2.1. pH

Sulu çözeltin asidik, bazik veya nötral olup olmadığını belirleyen bir parametredir. Metal spesiasyonunda en kritik belirleyicidir. Adsorpsiyonda pH'ın derecesi önemlidir. Çünkü çözeltinin asidik, bazik veya nötral olması adsorpsiyonu bütünüyle etkilemektedir.

Her iyonun maksimum adsorplandığı pH değeri ya da değerler aralığı vardır. Ortamdaki pH, adsorpsiyon süresince önemli bir faktördür.

Çözelti pH'sındaki değişimler adsorbentın yüzey yükünü değiştirmektedir. Çözelti pH'ı izoelektrik noktasında iken kirliliklerin adsorpsiyonu minimum düzeyde olduğu görülmektedir (Porgalı Tüzer, 2018). Çözünmüş bir maddenin pH'ı iyonlaşma derecesini ve iyon yüklerini de etkilemektedir. Böylece adsorbent yüzeyinde değişebilen bir elektriksel çekim kuvveti oluşmaktadır.

2.3.2.2. Sıcaklık

Sıcaklık, adsorbe edilecek maddenin difüzyon hızını arttırarak gözenekler içine adsorpsiyon miktarını artıran bir özelliktir. Adsorbe edilecek madde, adsorban yüzeyinde sınır tabakası oluşturmakta ve gözenekler içine girmektedir. Artan sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyonun miktarı ve hızı artmaktadır. İşlemin endotermik veya ekzotermik olması sıcaklığın adsorpsiyon işleminde önemliliğinin bir göstergesi olmaktadır (Yıldırım, 2016).

2.3.2.3. Karıştırma hızı

Karıştırma hızı adsorpsiyon işleminin seviyesinin belirlenmesinde önemli bir parametere olarak yer almaktadır (Öncel, 2015). Karıştırma hızının artırılması adsorpsiyon miktarının artmasına neden olmaktadır (Akdoğan, 2012).

2.3.2.4. Yüzey alanı

Adsorpsiyon işlemi sırasında, adsorplanan maddenin giderim yüzdesi adsorbentın yüzey alanı arttıkça artmaktadır. Genellikle adsorbentler kullanılmadan önce öğütülerek daha geniş yüzey alanı elde etmektir (Öztürk, 2018).

2.3.2.5. Tanecik boyutu

Adsorpsiyon hızını etkileyen faktörlerden biri de tanecik boyutunun büyüklüğüdür. Adsorpsiyon işlemlerinde toz halindeki adsorbentlerin absorblama hızı daha büyük taneli adsorbentlerin absorblama hızından yüksektir. Yani adsorbsiyon işleminde adsorbentın tanecik boyutunun küçülmesi adsorpsiyon hızının artmasına neden olmaktadır (Avcı, 2017).

2.3.2.6. Derişim

Adsorbsiyon işleminde derişim denge zamanın belirlenmesinde önemli bir parametredir. Düşük derişimlerde genellikle daha kısa zamanda dengeye varılırken daha yüksek derişimlerde ise daha uzun zamanda dengeye(daha yüksek bir seviyeye) varılmaktadır. Ancak bazı adsorbsiyon işlemlerinde adsorplanma süresinden bağımsız olarak daha kısa sürede en yüksek seviyeye ulaştığı da görülmektedir (Biçer, 2017).

2.3.3. Adsorpsiyon izoterm çeşitleri

Denge basıncı ile derişim arasındaki bağıntılar adsorpsiyon izoterm eğrileri ile açıklanabilmektedir. Çünkü, sabit sıcaklıkta adsorplayıcı tarafından adsorplanan madde miktarı, denge basıncına veya derişime bağlanmaktadır.

Yani denge anındaki adsorplanan madde miktarı, denge basıncının ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

$$V = f(p, T) \quad (2.1)$$

Literatürde adsorpsiyon süreçlerine bağılı olarak Langmuir ve Freundlich izotermi en çok kullanılan izoterm modelleri olarak bilinmektedir (Abak, 2008).

2.3.3.1. Langmuir izotermi

Bu izoterm modeli 1932 yılında Nobel Ödülü alan Amerikalı Bilim Adamı Irving Langmuir'in (1881-1957) yüzey kimyası alanındaki çalışmaları sonucu türetmektedir. Bu kuram, absorplanmış gazın katı yüzeyin her noktasına aynı özellikte etki etmekte, adsorbe olan moleküllerin katı yüzeyini mono moleküler olarak (tek tabakalı) örttüğü ve homojen bir adsorpsiyon modeli oluşturduğunu ifade etmektedir. Yani, katı yüzeyin her noktasının eşdeğer enerjili olmasının yanı sıra adsorplanan

moleküllerin birbiri ile etkileşmeyecek kadar da uzak olduğu düşünülmektedir (Türker, 2008).

Langmuir izotermi aşağıda maddeler halinde ifade edilmektedir.

- Adsorplanmış madde miktarı tek tabaka molekülüdür
- Adsorpsiyon dengesi dt zamanında adsorplanan madde miktarı, katı yüzeyden ayrılan madde miktarına eşit olarak kabul edildiğinden dinamik olarak denge halindedir.
- Adsorpsiyon hızı, maddenin miktarına ve katının açık yüzeyi ile orantılıdır.
- Desorpsiyon hızı tek tabaka molekül tarafından örtülmüş yüzey ile orantılıdır.
- Adsorplanmış moleküller ayrışık değildir; olması durumunda ise bir teori ile genelleştirilebilir.

Langmuir izotermi matematiksel olarak aşağıdaki Eşitlik (2.2) ile ifade edilmektedir.

$$q_e = \frac{b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.2)$$

Bu denklem doğrusal olarak ifade edilirse;

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} b} + \frac{1}{q_{max}} C_e \quad (2.3)$$

Burada;

b :Serbest enerji ya da adsorpsiyon entalpisi ile ilgili sabit, (L/mg)

C_e :Dengede çözültide adsorplanmadan kalan adsorbat miktarı, (mg/L)

q_e :Adsorbanın birim kütlesi başına adsorplanan madde miktarı, (mg/g)

q_{max} :Maksimum tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi, (mg/g)

Literatürde Langmuir izotermi grafiksel olarak ifade edilirken C_e değerlerine karşı C_e/q_e değerleri göz önünde tutularak çizilir. Grafikte elde edilen doğrunun eğimi ve kesim noktası sırası ile 1/q_{max} ve 1/(q_{max}b)'tır (Öter, 2018).

Langmuir izoterm modelinde ayırma faktörü veya denge parametresi olarak da ifade edilen boyutsuz bir sabit sayı olan R_L terimi önemli bir parametredir. Bu boyutsuz sayı adsorban-adsorbat ikilisi için adsorpsiyonun uygunluğunu ifade edilmektedir.

$$R_L = \frac{1}{1 + b C_0} \quad (2.4)$$

Burada;

C_0 :Başlangıç konsantrasyonu, (mg/L)

b : Langmuir sabitidir, (L/mg)

R_L değeri için olası dört durum söz konusudur.

- $0 < R_L < 1$ için adsorpsiyon uygun,
- $R_L > 1$ için adsorpsiyon uygun değil,
- $R_L = 1$ için adsorpsiyonun doğrusal,
- $R_L = 0$ için ise adsorpsiyon tersinmez (Öter, 2018).

2.3.3.2. Freundlich izotermi

Freundlich izotermi heterojen yüzeylerdeki adsorpsiyonun açıklanmasında kullanılan bir yöntemdir. Yüzeyde tutunan madde miktarı çözeltideki derişime bağılı olarak arttığından tek tabakalı adsorpsiyonun tanımlanması için bu yöntem geliştirilmektedir.

Bu yöntem Eşitlik (2.5) ile ifade edilmektedir.

$$q_e = K_f \times C_e^{1/n} \quad (2.5)$$

C_e : Adsorpsiyon çözeltide kalan adsorbat derişimi (mg/L),

q_e : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g),

K_f : Adsorpsiyon kapasitesi büyüklüğünü gösteren adsorpsiyon sabiti,

n : Adsorpsiyon yoğunluğu.

Freundlich izotermi ile Langmuir izotermi heterojen adsorpsiyon sistemleri için kıyaslandığında Freundlich izoterminin daha doğrucu sonuçlar verdiği görülmektedir. Freundlich izoterm denkleminin doğrusal eşitliği aşağıda gibidir.

$$\ln q_e = \ln K_f + n \ln C_e \quad (2.6)$$

Literatürde Freundlich izotermi grafiksel olarak ifade edilirken $\ln C_e$ değerlerine karşı $\ln q_e$ değerleri göz önünde tutularak çizilir. Grafikte elde edilen doğrunun eğimi ve kesim noktası sırası ile n ve K_f 'tır (Akçay, 2018).

2.3.4. Adsorpsiyon kinetiği

Adsorpsiyon prosesinde kullanılan maddenin adsorban yüzeyine adsorpsiyonu sırasında ne tür bir mekanizmanın gerçekleştiğini anlamak için literatüre mevcut çeşitli kinetik modeller kullanılmaktadır.

Bu kinetik modeller sırasıyla yalancı birinci dereceden (Pseudo- first order kinetic) ve yalancı ikinci dereceden (Pseudo second order kinetic) modelleri olmak üzere iki sınıfta ele alınmaktadır (Çulcu, 2008).

2.3.4.1. Yalancı birinci dereceden kinetik modeli

Adsorpsiyon kinetiği aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{1}{q_t} = \frac{k_1}{q_1} \cdot \frac{1}{t} + \frac{1}{q_1} \quad (2.7)$$

Burada;

q_t :Zamana bağlı adsorplanan madde miktarını (mol/g),

q_1 :Adsorpsiyon kapasitesi (mol/g),

k_1 :Adsorpsiyon için birinci-dereceden hız sabiti (1/dak) ifade etmektedir.

Literatürde birinci-dereceden adsorpsiyon kinetiği grafiksel olarak ifade edildiğinde $1/t$ değerlerine karşı $1/q_t$ değerleri göz önünde tutularak çizilir. Grafikte elde edilen doğrunun eğimi ve kesim noktası sırası ile k_1/q_1 ve $1/q_1$ 'dir (Uraz, 2015).

2.3.4.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik modeli

Adsorpsiyon kinetiği aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_2^2} + \frac{1}{q_2} \cdot t \quad (2.8)$$

Burada;

k_2 : İkinci-dereceden hız sabiti (g/mol.dak)),

q_t :Zamana bağlı adsorplanan madde miktarını (mol/g),

t :Zaman

Literatürde ikinci-dereceden adsorpsiyon kinetiği grafiksel olarak ifade edildiğinde t değerlerine karşı t/q_t değerleri göz önünde tutularak çizilir. Grafikte elde edilen doğrunun eğimi ve kesim noktası sırası ile 1/q₂ ve 1/(k₂.q₂²)'dir (Uraz, 2015).

2.3.5. Adsorpsiyon termodinamiği

Adsorpsiyon prosesindeki entalpi, entropi, serbest entalpi değişimleri ve denge sabiti adsorpsiyon termodinamiğini ifade eden parametrelerdir. ΔG değerleri aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta G = -RT \ln K_d \quad (2.9)$$

Burada

R :Evrensel gaz sabiti (8.314 J/mol.K),

T :Sıcaklık (K),

K_d :Dağılım katsayısı

K_d değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$K_d = \frac{C_{ads}}{C_e} \quad (2.10)$$

Burada

C_{ads} :Adsorban üzerindeki adsorbat konsantrasyonudur ve adsorbatın başlangıç ile denge konsantrasyonları (mg/L) arasındaki fark,

C_e :Adsorbatın denge konsantrasyonu(mg/L)

ΔG, ΔH ve ΔS arasındaki bağıntı Eşitlik (2.11) ve Eşitlik (2.12) ile ifade edilmektedir.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2.11)$$

$$\ln K_d = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (2.12)$$

ΔH ve ΔS değerleri, ln K_d'ye karşı 1/T arasındaki çizilen doğrunun sırasıyla eğiminden ve kesim noktasından hesaplanmaktadır (Şimşek, 2016).

2.4. Kömür

Kömür, organik ve inorganik maddeleri içeren yanabilir sedimanter bir kayaç olarak ifade edilebilmektedir. Kimyasal ve fiziksel olarak ele alındığında heterojen bir madde olmaktadır. En önemli fosil enerji kaynaklarından biri olarak da bilinmektedir.

Kömürün iyi bir enerji kaynağı olarak ele alınması kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Kömürleşme derecesi ise bir kömürün bileşimini, karakteristiğini ve kendisini oluşturan organik ve inorganik bileşiklerinin etkisini gösteren bir kavram olmaktadır (Kopuz, 2011).

Bir fosil enerji kaynağı olarak bilinen kömür; ısınmada, termik santrallerinde, demir-çelik ve çimento imalatında, endüstriyel proseslerde buhar üretiminde vb bir çok alanda kullanılmaktadır (Karaman, 2006).

2.4.1. Kömürleşme

Bataklıklar kömürün oluşumunda önemli alanlar olmaktadır. Çünkü kömür ilk olarak bu alanlarda şekillenmeye başlamaktadır. Kömürleşmenin ilk basamağı turba olarak bilinmektedir. Turba aşamasında bitkiler bataklıklarda öldükten sonra bakteri faaliyetleri sonucu, hidroliz, oksitlenme ve indirgenme süreçlerini içeren birçok biyokimyasal değişikliklere maruz kalmaktadır. Sıcaklığın ve basıncın artması ile su, uçucu maddeler (CO₂, CO, O₂, CH₄, NO_x, SO₂, H₂S, H₂ vs.) azalmakta; karbon oranı ve kalori değerleri artmaktadır. Uzun bir jeolojik zaman dilimi içerisinde turba aşamasındaki bitki kalıntıları zamanla antrasite ve grafitte dönüşebilmektedir. Yani kömürleşme turbanın linyit, alt bitümlü kömür ve bitümlü kömür aşamalarından geçerek antrasite dönüşmesi süreci olmaktadır. Kömür olgunlaştıkça yani kömürleşme derecesi artıkça, kömürün nem, uçucu madde, oksijen, hidrojen, azot ve kükürt içeriği azalmasına rağmen karbon içeriği ve ısıl değeri de artmaktadır (Yıldız, 2017).

Kömürleşmenin derecesi artarken kömürde meydana gelen belli başlı değişiklikler aşağıdaki gibi olmaktadır.

- Zamanla karbon miktar artmakta,
- Hidrojen miktarının karbon miktarına oranı %89'a ulaştığında kademeli olarak karbon miktarı azalmakta,
- Isıl değerinin hidrojen miktarı yaklaşık %4,5 değerine düşünceye kadar artmakta,
- Antrasit oluşuncaya kadar nem içeriği azalmakta
- Özgül ağırlığının artmakta,
- Koklaşma özelliği gelişmekte,
- Alkali kömürlerde erime derecesi azalmakta,

- Yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonlarına karşı olan hassasiyet azalmaktadır (Kopuz, 2011).

2.4.2. Kömür türleri

Kömürleşme derecesine bağlı olarak C, H, O, N ve S oranlarındaki ve üst ısı değerlerindeki değişim Tablo 2.2’de verilmektedir (Özgen, 2014).

Tablo 2.2. Bazı doğal yakıtların elementer bileşimi (saf kömür bazında) (Özgen, 2014)

	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	ÜİD (kcal/kg)
Linyin	63	5.5	31.5	-	-	-
Selüloz	44.4	6.2	49.4	-	-	3855
Odun	48-50	5.9-6.3	43-55	0.03-0.3	Eser	4620-5055
Turba	58-60	5.5-6.0	34-35	0.7-3.4	0.1-0.3	5065-5820
Linyit	63-69	4.2-6.5	29-27	0.3-3.4	2.7-2.4	5975-7000
Uzun alevli taşkömürü	83-87	5.8-5.2	10-5	1.0-1.8	0.8-1.2	8260
Yağlı taşkömürü	87-90	5.2-4.5	5-3	1.0-1.8	0.8-1.2	8730
Antrasit	95-97	2-3	3-2	1.0-1.5	0.7-1.1	8460

Kömürler kömürleşme derecesine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmada basıncın ve sıcaklığın etkisi büyüktür. Artan basınç ve sıcaklık ile karbon, kalori, sertlik miktarı artmakta ve dolayısı ile kömürleşme derecesini arttırmaktadır. Kömürleşme derecesine göre sırasıyla; turba, linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür (taşkömürü), antrasit, grafit kömür olarak sınıflandırılabilir (Özgen, 2014).

Turba: . Kömürleşmenin ilk basamağı turba olarak bilinmektedir. Genellikle bataklık yerlerde görüldüğünden bünyesindeki su miktarı yüksektir. Karbon miktarı ise % 60’ın altında olduğundan karbonlaşma safhasını tam olarak tamamlamamış genç kömür türü olarak ifade edilmektedir (Özgen, 2014).

Linyit: Oluşumunu daha tamamlamamış kömür olarak bilinmektedir. Linyitin oluşması için yaklaşık olarak 60 milyonu aşkın bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Bu süre sonunda oluşan linyitin bileşiminde su ve birçok yabancı maddeye rastlanılır. Karbon içeriği ise %65 ile %70 arasında yer almaktadır (Özgen, 2014).

Antrasit: Kömür türleri içerisinde karbonca en zengin ve en eski kömür olarak bilinmektedir. Antrasitin oluşması için yaklaşık olarak 300 milyonu aşkın bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Karbon içeriği ise %90 ile %95 arasında yer almaktadır (Özgen, 2014).

Taşkömürü: Taş kömürünün oluşması için yaklaşık olarak 200-250 milyon kadar bir sürenin geçmesi gerekmektedir. Yani antrasit kömürü kadar bir geçmişinin olmasına gerek yoktur. Karbon içeriği ise %80 ile %90 arasında yer almaktadır (Özgen, 2014).

2.4.3. Kömürün sınıflandırılması

Kömürlerin kalorifik değeri, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri dikkate alınarak yapılan sınıflandırmada kömürler sert (taş kömürü) ve kahverengi (alt-bitümlü ve linyit) kömürler olarak ikiye ayrılmaktadır (Çevik, 2013).

Tablo 2.3. Uluslararası genel kömür sınıflandırması

Taş kömürü	Kahverengi kömürler
1-)Koklaşabilir Kömürler (Yüksek fırınlarda kullanılabilir, kok üretimine uygun kalitede)	1-) Alt Bitümlü Kömürler (4,165-5,700 kcal/kg arasında kalorifik değere sahip, topraklaşma özelliği olmayan)
2-)Koklaşmayan Kömürler a-)Bitümlü Kömürler b-)Antrasit	2-)Linyit (4,165 kcal/kg'ın altında ısı değerine sahip olup topraklaşma özelliği göstermez)

1- Sert Kömürler(Taş kömürü): Nemli ve külsüz baz da kalorifik değeri 24MJ/kg(5700 Kcal/kg) üzerinde olan kömürlerdir. Kalorifik değerlerine, uçucu madde içeriklerine ve koklaşma özelliklerine bağlı olarak alt sınıfları da oluşturulabilir (Çevik, 2013).

2- Kahverengi kömürler: Nemli ve külsüz baz da kalorifik değeri 24 MJ/kg(5700 Kcal/kg) altında olan kömürlerdir. Kalorifik değerlerine ve toplam nem içeriklerine göre alt sınıfları da oluşturulabilir (Çevik, 2013).

Tablo 2.4. Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri

KAHVERENGİ KÖMÜRLER		TAŞKÖMÜRÜ	
LİNYİT	ALT BİTÜMLÜ	BİTÜMLÜ	ANTRASİT
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılğan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Blok şeklinde kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsli doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı
Isıl Değer: 4610 kcal/kg'ın altında	Isıl Değer: 4610-6390 kcal/kg arasında	Isıl Değer: 5390-7700 kcal/kg arasında	Isıl Değer: 7.000 kcal/kg'ın üstünde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük
Düşük karbon içeriği	Sabit karbon içeriği bitümlü kömürlerden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

IEA/OECD'ye göre kömür üretiminde ve ticaretinde iki alt sınıf kullanılmaktadır. IEA/OECD kömür istatistiklerinde taş kömürü ve kahverengi kömürler iki alt sınıf olarak 1978 yılından beri kömür pazar analizleri ve tahminlerinde kullanılmaktadır (Anonim, 2011). Taş kömürleri koklaşabilir(a) ve diğer bitümlü kömürler ve antrasit(b); kahverengi kömürleri ise yarı bitümlü kömür(a) ve linyit(b) olarak değerlendirilebilmektedir.

-Koklaşabilir kömür: Koklaşma özelliğine sahip yüksek fırınlarda kullanılmaktadır. Metalurjik kömür olarak da adlandırılmaktadır.

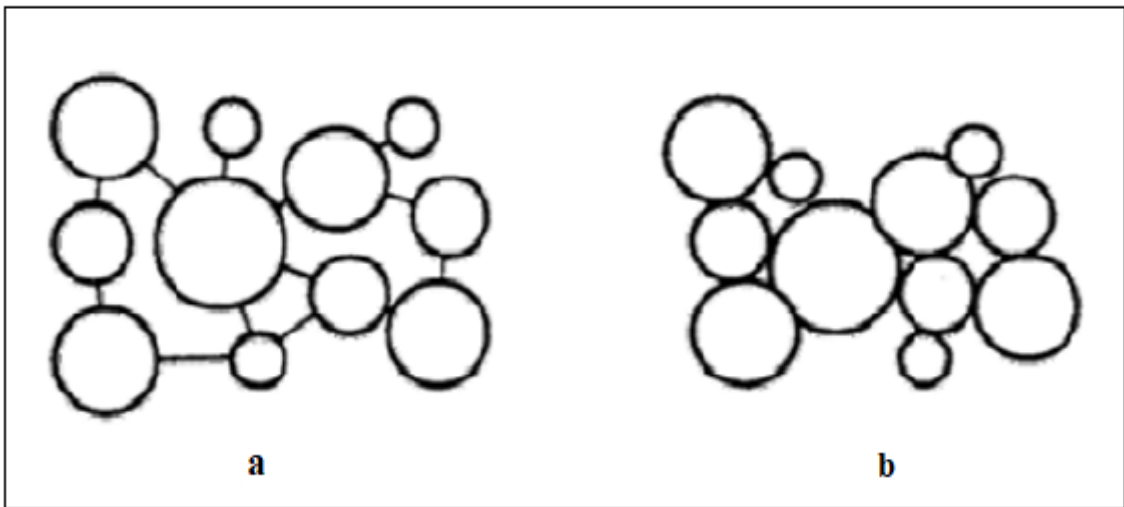
b-Diğer bitümlü kömürler ve antrasit: Koklaşabilir kömür olarak gruplandırılmayan taş kömürdür. Buhar kömürü (steam coal) olarak da adlandırılmaktadır. Şlam, mikst ve düşük kalitede diğer ürünler de bu sınıfa dahildir. Kahverengi kömürleri olarak:

a-Yarı bitümlü kömür 17-24 MJ/kg (4.165-5.700 kcal/kg) arasında kalorifik değere haiz olan kömürdür.

b-Linyit: 17 MJ/kg (4165 kcal/kg) altında kalorifik değere haiz olan kömürdür (Anonim, 2011).

2.4.4. Kömürün makromoleküler yapısı

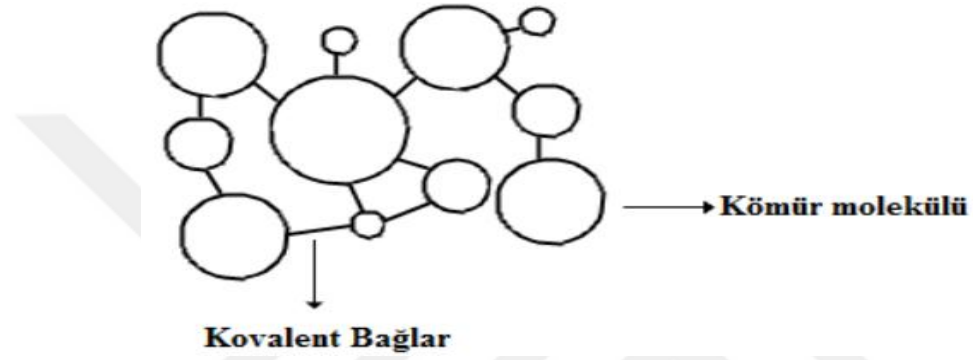
Kömürün heterojen özelliği ve kömür yapısının karmaşıklığı üzerinde yaklaşık 60-70 yıldan beri çalışmalar yapılmasına rağmen kömürün moleküler yapısının nasıl olduğu halen tam olarak anlaşılmış değildir. Kömürün makro moleküler yapısındaki değişimler genellikle kömürlerin ısı ile olan etkileşimini veya çözücü ile ekstraksiyonu sonucunda reaktifliğindeki ve ürün dağılımındaki değişimlerdir denilebilmektedir. Literatürde kömürün moleküler yapısı için iki tür model yapı önerilmektedir (Çakır, 2016).



Şekil 2.1. Kömürün moleküler yapısı a.Kovalen model b.Kovalent olmayan model

2.4.4.1. Kovalent model

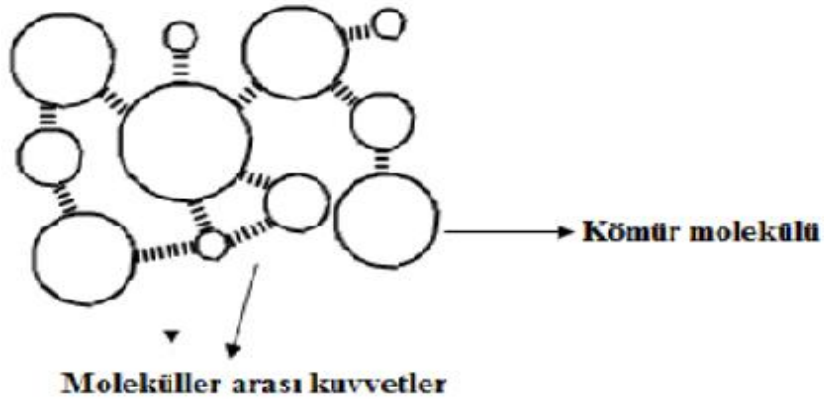
Kovalent modelde kömür molekülleri birbirlerine etil, eter ve sülfid köprüleri gibi kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak bir makromoleküler ağ yapısını oluşturmaktadır (Çakır, 2016). Kovalent model ve moleküller arasındaki kovalent bağ yapısı Şekil 2.2’de verildiği gibidir. Kovalent moleküler yapı diğer yapılara göre daha çok tercih edilen modeldir.



Şekil 2.2. Kovalent model ve moleküller arasındaki kovalent bağ

2.4.4.2. Kovalent olmayan model

Kovalent olmayan modelde kömür molekülleri birbirine moleküller arası kuvvetler ile çapraz olarak bağlanmaktadır. Bu kuvvetler hidrojen, Π - Π , yük transfer, London ve iyonik bağ kuvvetlerdir.



Şekil 2.3. Kovalent olmayan model ve moleküller arası kuvvetler

Bu kuvvet etkileşimleri, kömürleşme derecesine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Linyitler gibi kömürleşme derecesi düşük kömürlerde oksijen içeren

fonksiyonel gruplar fazla olduğundan hidrojen bağları; iyonik grupların fazla olduğu gruplarda da iyonik etkileşim bağlar daha etkindir.

Kömürleşme derecesi kömürün aromatik yapısının artmasına bağlıdır. Orta ranklı kömürlerde iyonlaşmayan ancak transfer olabilen elektronlardan dolayı yük transfer etkileşimleri etkindir.

Kömürleşme derecesi yüksek olan kömürlerde ise polisiklik aromatik yapıları Π - Π etkileşimleri baskın moleküller arası kuvvetlerdir (Çakır, 2016).

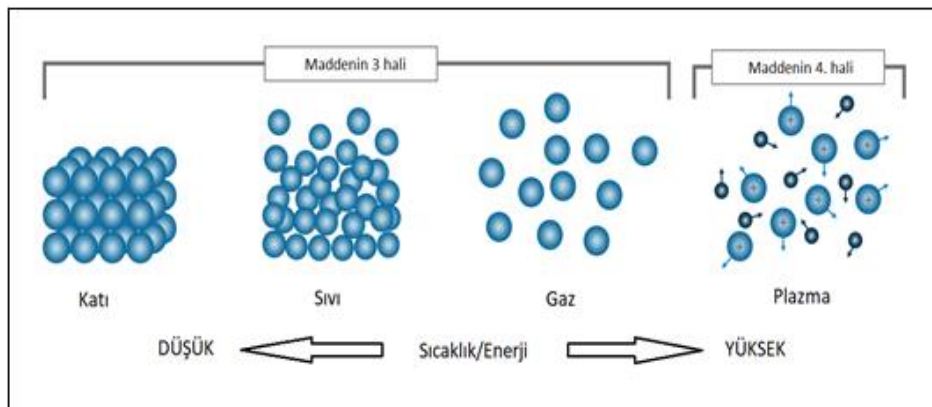
2.5. Plazma

Bir maddenin atomlarının iyonlaştırıldığı hale plazma denilmektedir. Maddenin katı, sıvı ve gaz hali gibi bir diğer dördüncü hali olarak görülebilmektedir. Yani maddenin atomlarının parçalandığı haldir (Akan, 2016).

Atmosferde maddelerin plazma haline sıklıkla karşılaşmaktadır. Van Allen kuşakları, kutup ışıkları, iyonosfer ve şimşek plazmaya örnek olarak verilebilmektedir (Keskin, 2017).

2.5.1. Plazma nasıl oluşur?

Maddenin genel olarak bilinen üç hali(katı, sıvı ve gaz) ve 4. Hali olan plazmanın oluşumu Şekil 2.4' te verilmektedir.



Şekil 2.4. Maddenin halleri

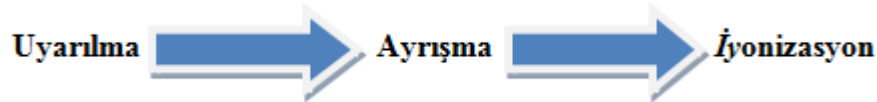
Katı bir malzemeye ısı verildiğinde malzemenin sıcaklığı artarak erime sıcaklığına ulaşmakta ve katı malzeme sıvı hale geçiş yapmaktadır. Oluşan sıvı malzemeye ısı vermeye devam edilirse, sıvı malzeme gaz haline geçmektedir. Gaz

haldeki malzemeye ısı vermeye devam edilirse sıcaklık artışından dolayı gaz malzemenin moleküllerinin kinetik enerjileri artarak birbirleriyle çarpışmaktalar. Verilen enerji belli bir sınırı aştığında, moleküllerin aldıkları enerji ortamda bulunan diğer moleküllerin uyarılmasına neden olmakta ve bunun sonucunda gaz ışıdamaya başlamaktadır.

Bu ışıdamanın nedeni yüksek enerjili elektronların diğer parçacıklarla elastik olmayan çarpışmaların bir sonucudur. Elektronlar hedef parçacıktaki elektronları bir üst enerji durumuna çıkarırlar. Uyarılmış elektronların tekrar düşük enerjili durumlara geçme ihtimalleri de söz konusu olabilmektedir. Elektronlar uyarılmış halden daha düşük enerjili durumlara geçiş yaparken, bir foton salınımı yaparak plazmanın ışıdamasına neden olmaktadır (Feizi Khanghah, 2014).

Moleküllere enerji verildikçe, bazı moleküller kendi atomlarına ayrılabilir. Yani, ortamdaki yüksek enerjili elektronlar ve hedef molekülleri eşleşmemiş elektronlar üretilecek şekilde kendi atomlarına veya moleküllerine ayrılmaktadır. Bu eşleşmemiş elektronlara radikal adı verilmektedir. Son yörüngelerinde eşleşmemiş elektronlara sahip olan radikaller oldukça aktiftirler. Aktif radikaller, Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme (PECVD) ve aşındırma (etching) reaksiyonları için oldukça önemlidir (Feizi Khanghah, 2014).

Enerji verilmeye devam edildikçe bazı elektronlar atom ya da moleküllerin dış yörüngesinden koparılacaktır ve gaz iyonize olmaya başlayacaktır. Böylelikle Plazma oluşması için gerekli olan uyarılma, ayrılma ve iyonizasyon aşamaları gerçekleşmiş olmaktadır.



Şekil 2.5. Plazma oluşumunun 3 aşamalı adımı

İyonizasyon başladığında maddenin dördüncü hali denilen plazma oluşmaktadır (Feizi Khanghah, 2014).

2.5.2. Plazmaların özellikleri

- Yüksek sıcaklık ve basınçta gazların iyonlaşması ile oluşmaktadır.

- Ortamda serbest halde dolaşan elektronlar ve iyonlaşmış haldeki maddeler ile birlikte bulunduğundan Nötrdürler.
- Serbest dolaşan Elektronları söz konusu olduğundan elektriği ve ısıyı çok iyi iletmektedir.
- Elektrik ve Manyetik alandan etkilenmektedir.

2.5.3. Plazmaların sınıflandırılması

Plazmaların enerjileri genel olarak, kinetik enerji teorisine dayanarak, enerji ya da sıcaklık birimleri ile ($1\text{eV} = 11600\text{K}$) ifade edilebilmektedir. Plazmalar;

- Sıcaklıklarına göre yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık plazmalar,
- Basınçlarına göre yüksek basınç plazmaları ve düşük basınç plazmaları olarak sınıflandırılmaktadır (Kutlu, 2008).

2.5.3.1. Sıcaklıklarına göre plazmalar

Sıcaklıklarına göre plazmaları 2 şekilde sınıflandırılmaktadır.

a) Yüksek sıcaklık plazmaları (ısı dengede olan plazmalar)

Gaz sıcaklığı 10^6 K'den fazla olan plazmalardır. Güneş sistemindeki nükleer patlamalar ve kontrollü füzyon reaksiyonları yüksek sıcaklık plazmasına örnek olarak verilebilmektedir (Günaydın, 2009).

b) Düşük sıcaklık plazmaları

Gaz sıcaklığı 10^6 K'den daha düşük olan plazmalardır. Düşük sıcaklık plazması iki başlık altında incelenmektedir (Günaydın, 2009).

• Sıcak plazmalar (bölgesel ısı dengede olan plazmalar)

Sıcak plazmada gaz sıcaklığı 10^3 K'den daha fazla olduğu bilinmektedir. Ancak, normal şartlar altında 10^4 K civarında olduğu ifade edilir. Sıcak plazmaya örnek olarak lamba ışması, elektrik arkı ve diğer yüksek-güç boşalımları verilebilmektedir (Günaydın, 2009).

• Soğuk plazmalar (ısı dengede olmayan plazmalar)

Soğuk plazmada gaz sıcaklığı 10^3 K'den daha az olduğu bilinmektedir. Ancak, normal şartlar altında 10^2 K civarında olduğu ifade edilir. Düşük basınçta gerçekleşen yük boşalım plazmaları soğuk plazmaya örnek olarak verilebilmektedir (Günaydın, 2009).

2.5.3.2. Basınçlarına göre plazmalar

Basınç, plazmaların sınıflandırılmasında kullanılan diğer bir parametredir. Basınç türüne göre plazmalar sınıflandırılırsa atmosferik ve vakum tipi olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır.

Atmosferik plazmalar

Atmosferik koşullar altında oluşturulan plazma türüne atmosferik plazma olarak da denilebilmektedir. Atmosferik plazmanın diğer plazmalardan ayrıcalığı ek bir tertibata ihtiyaç duyulmadan açık en kontinü bir şekilde çalışılabilmesidir. Ancak elde edilen etkiler diğer bir basınç plazması olan vakum plazmadaki kadar etkili değildir (Karahan, 2007).

Vakum plazmalar

Basınç değeri genellikle 10 mTorr'un altında olan plazma türüne vakum plazma denilmektedir (Karahan, 2007).

2.5.4. Plazma türleri

Plazma üretimi sırasında kullanılan donanım ve oluşan plazmanın özelliklerine göre plazmalar; dielektrik bariyer deşarj, parlak (glow) deşarj ve korona deşarj olarak sınıflandırılmaktadır (Teke, 2012).

Dielektrik bariyer deşarjında, elektrot çiftlerinden en az biri di-elektrik malzeme ile kaplı olacak şekilde voltaj uygulanan plazmadır. Elektrotların yüzeyinde oluşabilecek yalıtkan engeli elektrotlar arasında da yer almaktadır. Elektrotlardan birine düşük frekans, radyo frekansı (RF) ya da alternatif akım (AC) uygulanırken diğeri ise topraklanmaktadır. Plazmanın oluşturulabilmesi için uygulan voltaj değerinin gazların bozunması için gerekli voltajdan büyük olması gerekmektedir. Bu plazmada elektrotlar arası bölgede oluşan deşarjın ark'a dönüşümünü önlemek ve mikro düzeyde oluşabilecek deşarjları hızlı bir şekilde sınırlandırmak için yalıtkanlar kullanılmaktadır (Teke, 2012).

Parlak (glow) deşarj, düşük ve atmosferik bir basınç altında inert veya reaktif bir gazla üretilebilmektedir. Bu plazma, kapalı bir sistemde bir çift veya seri elektrota DC, AC, RF, MW gibi farklı voltajlar uygulanarak elde edilebilmektedir. Atmosferik basınç altında oluşan parlak deşarj, işlemin üniform ve stabil olması bakımından önemlidir. Gerilmeye bağlı olarak, katottan sürekli olarak yayılan kozmik radyasyondan etkilenen

elektronlar katottan uzaklaşması durumunda hızlanmaktadır. Ayrıca gaz atomları veya molekülleri ile çarpışmaya da sebep olmaktadır. Böylece uyarılma, iyonizasyon ve parçalanma oluşmaktadır. İyonizasyon çarpışmalarının sonucunda iyon- elektron çiftleri oluşmakta; iyonlar, katoda doğru hızlanarak ikincil elektronlarını serbest bırakmaktadır. Katottan uzaklaşan ve gittikçe hızlanan bu elektronlar daha fazla iyonize çarpışmaya neden olmaktadır (Teke, 2012).

Korona deşarjı atmosferik basınç altında, düşük frekansta veya puls şeklindeki yüksek gerilimlerde bir çift elektrot arasında oluşmaktadır. Yüksek voltajlı ve sivri uçlu elektrottan materyale doğru yönelmiş parlak iletken tellerle(filamanlarla) karakterize edilmektedir.

Korona deşarjı tam anlamıyla bir plazma değildir; iyonlaşma etkisi sonucunda elektronlar ve iyonlar meydana gelmektedir. Deşarjın üniform bir yapıda olmaması, yüzeyde küçük boşlukların oluşması, kontrolünün zor olması bu plazma işlemin olumsuzlukları olarak sayılabilmektedir. Üniform bir etkinin oluşmamasının temel nedeni, iyon ve elektron enerjilerindeki değişimler ve her birinin gelişigüzel bir halde yer almasıdır.

Ayrıca bu işlemde oluşan küçük arklar (korona darbeleri), yüzeyin bölgesel olarak ısınmasına ve dolayısı ile yüzeyde farklı oyukların oluşmasına neden olmaktadır (Teke, 2012).

2.5.5. Plazma uygulamaları

Plazma işlemi esnasında oluşan reaktif parçacıklar, polimerin temel özelliklerini bozmadan yüzeyde çeşitli modifikasyonlara neden olmaktadır.

Bu modifikasyonlar yüzey aktivasyonu, temizleme, aşındırma, aşılama, çapraz bağlanma şeklinde meydana gelmektedir (Karahan, 2007).

2.5.6.1.Yüzey aktivasyonu

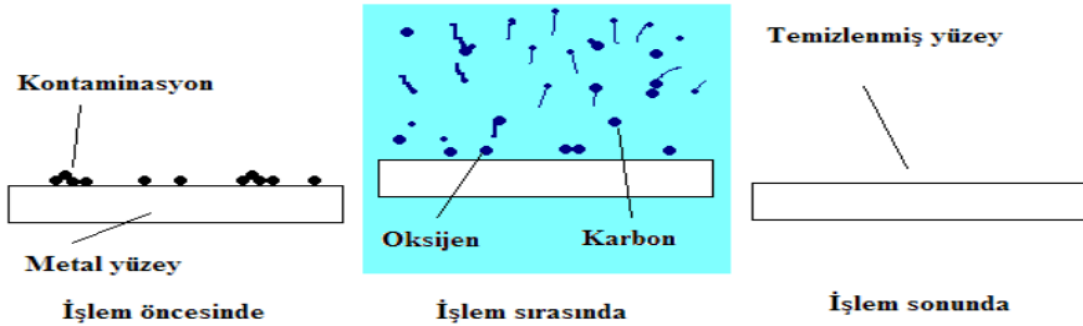
Zayıf bağların reaktif karbonil, karboksil ve hidroksil grupları ile yer değiştirmesi yüzey aktivasyonunu oluşturmaktadır. Plazma işleminden sonra yüzey süper aktifleşerek fonksiyonel gruplar(amino grubu) ile de aktivasyon gerçekleşmektedir (Gökalp, 2007).



Şekil 2.6. Plazma etkisiyle oluşan yüzey aktivasyonu

2.5.6.2. Temizleme

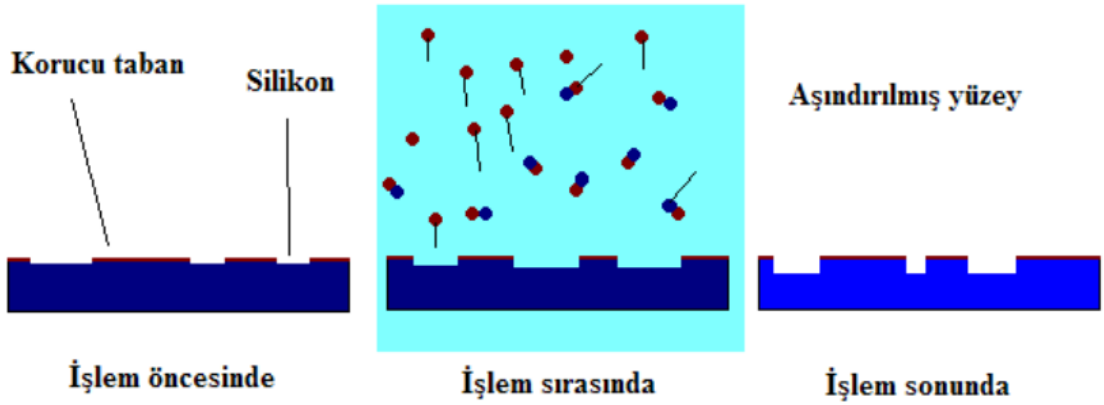
Plazma işleminde temizleme olayı yüzeylerde oluşan organik artıkların giderilmesi işlemidir. İyon bombardımanı ile yüzeyde gözle görülmeyen kirlilikler (yağ filmleri, kısmen absorbe edilmiş kirler vb) fiziksel olarak buharlaştırılarak uzaklaştırılmaktadır (Gökalp, 2007).



Şekil 2.7. Plazma ile elde edilen temizlenmiş yüzey temizleme

2.5.6.3. Aşındırma

Aşındırma ile plazma ile katı yüzey arasındaki etkileşim sonucu gazlı ürünler oluşmakta ve yüzeydeki zayıf kovalent bağlar koparılmaktadır. Materyalde oluşan aşınma, maddenin buharlaşması sonucunda meydana gelmektedir. Aşınma ile toplam yüzey alanı artmaktadır. Bu işlem materyalin adhezyon özelliğinin artırılmasına özellikle neden olmaktadır (Gökalp, 2007).

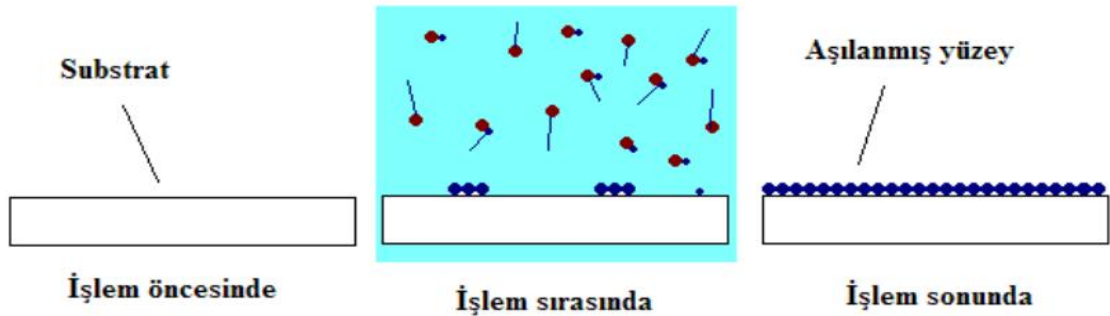


Şekil 2.8. Plazma etkisiyle oluşan aşınma

2.5.6.4. Aşılama

Aşılama, yüzeyde plazma polimerizasyonu etkisiyle ince bir polimer tabakasının oluşturulmasıdır.

Gaz seçimi ve işlem parametrelerine bağlı olarak farklı özelliklere sahip hidrofil, hidrofob gibi bir tabaka oluşturulmaktadır (Gökalp, 2007).

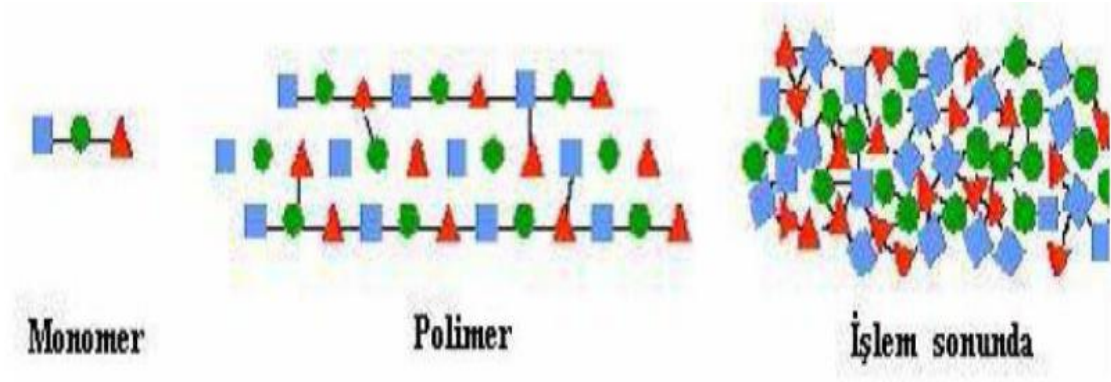


Şekil 2.9. Plazma etkisiyle meydana gelen aşılama

2.5.6.5. Çapraz bağlanma

Plazma işlemi sırasında polimer yapıda parçalanmalar meydana gelir. Bu parçalanmalar reaktif gruplar ile etkileşerek çapraz bağlanmayı meydana getirir. Çapraz bağlanmalar ile polimer zincirleri bağlanıp üç boyutlu bir ağ oluşturulmasına neden olmaktadır.

Bu işlemin gerçekleşmesi için uygulanacak gazda karbon, silisyum veya kükürt gibi bağ yapıcı atomlar bulunmaktadır. Çapraz bağlanma seviyesi gaz akışı, basınç ve uygulanan elektriksel güç gibi işlem parametrelerine bağlı olarak değişmektedir (Gökalp, 2007).



Şekil 2.10. Plazma etkisiyle meydana gelen polimerizasyon



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Kömür numuneleri (Şırnak kömürü, Ukrayna kömürü, petrokok)

Bu çalışmada Şırnak, Ukrayna kömür numuneleri ve petrokok numuneleri kullanılmaktadır. Şırnak kömürü Şırnak ilindeki kömür ocaklarından, Ukrayna kömürü Siirt ili Polis evi kalorifer kazanından ve Petrokok ise Limak çimento fabrikasındaki çimento değirmeninden temin edildi. Her üç kömür numunesi havanda öğütülerek kırıcı elek ile belirli bir boyuta getirilerek deneylerde kullanılmaktadır.

3.1.2. Deneyde kullanılan kimyasal maddeler

- Sodyum hidroksit (NaOH, Sigma Aldrich)
- Hidroklorik asit (HCl, Merck)
- Malahit yeşili (Merck)
- Potasyum nitrat (KNO₃, Merck)

3.1.3. Deneylerde kullanılan boyar maddenin özellikleri

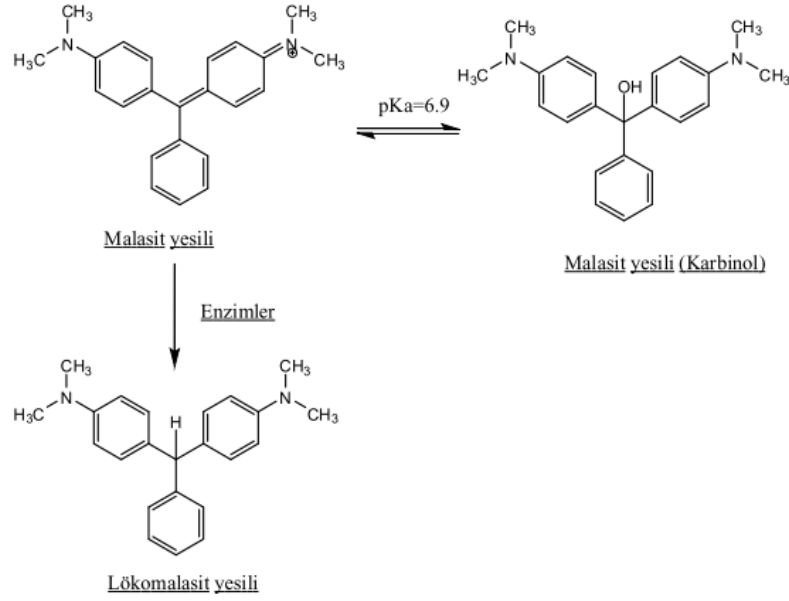
3.1.3.1. Malahit yeşili

Malahit yeşilinin Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC)'nce adı 4-[(4-dimetilaminofenil)-fenilmetil]-N,Ndimetil-anilin denilmektedir. Bu boya türü ticari piyasada Victoria green B, yeni Victoria green ekstra, Diamond green B, BX katı green, light green, astra malahit yeşili gibi farklı pek çok isimler ile bilinmektedir.

Bu boyar maddenin renk indeksindeki numarası ve türü sırasıyla CI.42000 ve CI basic green 4'tür. Malahit yeşili tekstil, deri, akrilik elyaf, su ve kağıt gibi endüstrinin bir çok alanında kullanılmaktadır.

Malahit yeşili farklı tuzlar halinde kullanılmasına bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir.

Malahit yeşilinin karbinol ve lökomalahitformu olmak üzere iki kimyasal yapısı vardır. Bu formlar Şekil 3.1' de verilmektedir.



Şekil 3.1. Malahityeşili'in karbinol ve lökomalahityeşili formunun kimyasal yapısı

Şekilde görüldüğü gibi malahit yeşilinin asitlik sabiti(pKa) 6.9'dur. Farklı asit derişimlerine bağı olarak pH değeri değışmektedir. % 100, % 50, % 25 ve % 0'da sırasıyla pH değeri, 4.0, 6.9, 7.4 ve 10.1'de iyonize olmaktadır. Alkali sularda kullanıldığında aktif yapısını kaybeder ve renksiz bir şekil olarak daha az çözünen karbinol formuna dönüşmektedir. (Kule, 2014). Malahit yeşilinin fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Malahit yeşilinin fiziksel özellikleri

Yaygın Adı	Malahit yeşili
Diğer adları	Aniline green; Basic green 4; Diamond green B; Victoria green B
IUPAC adı	4-[(4-dimetilaminofenil)fenil-metil]-N,N-dimetilanilin
Molekül formülü	C ₂₃ H ₂₅ ClN ₂
Molekül ağırlığı	364,91 [g/mol]
Sudaki Çözünürlüğü	25°C'de 4.104mg/L
Etanoldeki çözünürlüğü	Oldukça fazla
Renk	Yeşil
pH'a göre Rengi (indikatör özelliği)	Suda çözüldüğünde yeşil-mavi pH 2'nin altında sarı pH 2'de yeşil pH 14'de renksiz
Amax	620 nm

3.1.4 Kullanılan cihazlar

- ✓ Elek; analiz yapılacak malzemenin teknik özelliklerine bağlı olarak istenilen ebatlarda ürün elde edilmesinde,
- ✓ Spektrofotometre; boyar maddenin maksimum dalga boyundaki absorpsiyonunu okunmasında,
- ✓ Plazma Cihazı; yüzey modifikasyonun belirlenmesinde,
- ✓ pH metre; boya çözeltilerin pH'sının ayarlanmasında,
- ✓ Analitik Teraziler; maddelerin hassas bir şekilde tartılmasında,
- ✓ Sıcaklık Kontrollü Çalkalamalı Su Banyosu; adsorpsiyon çalışmalarının gerçekleştirilmesinde,
- ✓ Mikropipet; numunelerin alınmasında,
- ✓ Cam Malzemeler; çeşitli ebatlarda erlenmeyerler, beherler, mezürler, pipetler ve deney tüpleri kullanılmaktadır.

3.1.5. Kullanılan çözeltilerin hazırlanması

Kalibrasyon ve tüm deneyler için 1000 ppm'lik stok çözeltisi (1 gr malahiteyeşili 1000 mL saf suda çözündürülerek)

pH ayarlanması için 0.1 M HCl ve 0.1 M NaOH çözeltileri,

Zero point noktası için ise 0,01 M KNO₃ çözeltisi hazırlanmıştır.

3.1.6. Kömür numuneleri üzerinde zero point noktasının belirlenmesi

Katı maddenin sıfır noktası yükü (ZPC), adsorbanın yüzeyinin sıfır yük yoğunluğuna sahip olduğu ve bu pH'ın altında veya üstünde olduğu pH koşulunu açıklamaktadır. Yüzey, oksijenli grupların protonlanması ve deprotonasyonu nedeniyle pozitif ve negatif yük almaktadır. ZPC, katı yüzey ve yüklü molekül arasındaki etkileşimi kontrol etmektedir. Her ne kadar ZPC'nin belirlenmesi için çeşitli yöntemler mevcut olsa da, bu çalışmada tuz ekleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, 20 mL 0.1M KNO₃ çözeltisi bir dizi 50 mL erlenmeyer şişesine aktarıldı ve her çözeltinin pH değeri, 0.1M HCl veya 0.1M NaOH çözeltileri ilave edilerek 2'den 10'a ayarlandı. Bu çözeltilerin başlangıçtaki pH değeri, pH ölçüm cihazı kullanılarak pH_i olarak kaydedildi. Şişelerin her birine 0.1 g plazma uygulanmış kömür numune tozu ilave

edildi ve bu şişeler 24 saat boyunca bekletildi. Denge pH değeri, pHe olarak hesaplandı ve yüzeyin zpc değeri, psi (pHi-pHe) ile pHi'nin grafiğinden hesaplandı.

3.1.7. Kömür numunelerinin karakterizasyonu

Kömür numunelerinin yüzeyinde bulunan karbon, azot, oksijen silisyum ve kükürt atomlarının oranları oksijen plazma uygulamasından önce ve sonra XPS analizler için Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde, “Specs-Flex” cihazı kullanılmıştır.

Plazma uygulamasından önce ve sonra kömür numuneleri üzerinin yüzey morfolojisi için SEM analizleri Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde, “ZEISS SİGMA 300 cihazı” kullanılmıştır.

Plazma uygulamasından önce ve sonra kömür numuneleri üzerindeki yüzey fonksiyonel grupları için FTIR analizleri Siirt Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Anorganik Kimya Laboratuvarında yapılmıştır.

Plazma uygulamasından önce ve sonra kömür numuneleri üzerindeki yüzey alanını bulmak için BET analizleri, Atatürk Üniversitesi, Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde, “Micromeritics 3Flex 3 portlu BET yüzey alanı ve mikro gözenek boyutu ölçüm cihazı” kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ve bulgular sayısal ve grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen kömür numuneleri -196 °C sıcaklıkta azot gazı adsorpsiyonu ile yüzey alanları, gözenek hacimleri, ortalama gözenek çapları ve gözenek boyut dağılımları belirlenmiştir.

3.2. Metod

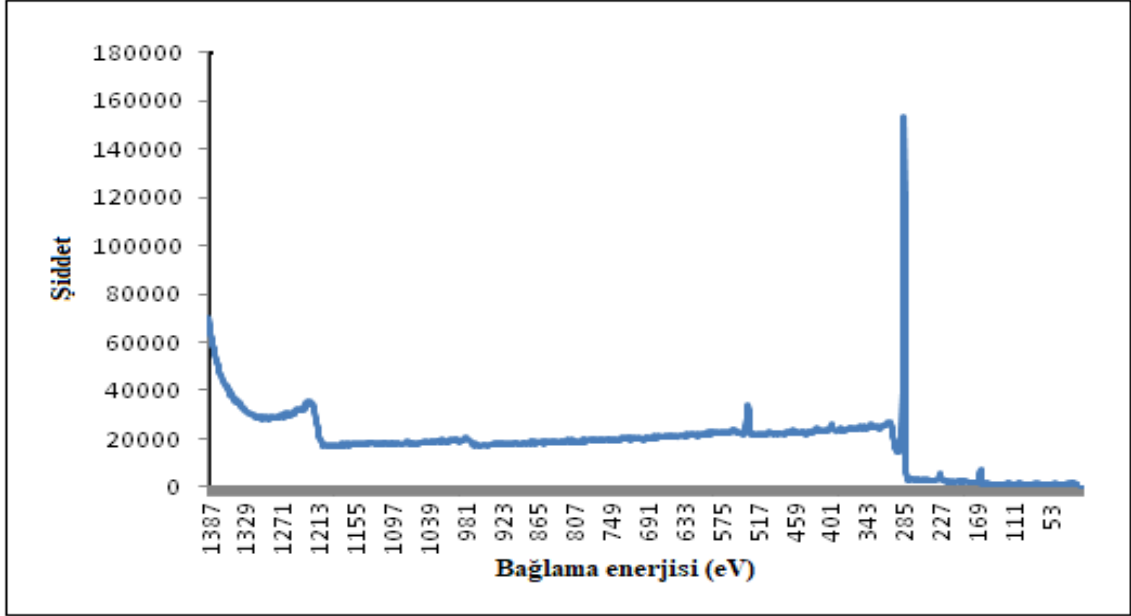
Öncelikle çalışmalarda kullanılan Ukrayna, Şırnak kömür numuneleri ve petrokok numunesi, kırıcı elek ile belirli bir boyuta getirildi. Daha sonra kömür numuneleri üzerindeki safsızlıkların giderilmesi için defalarca yıkandı ve etüvde 80 °C de kurutmaya bırakıldı. Belirli bir miktarda (3 g) alınan kömür numuneleri plazma kamarasına petri kapları içerisinde uygun bir biçimde yerleştirildi. Daha sonra kömür numuneleri üzerine oksijen plazma tekniği uygulandı. Bu işlem için plazma süresi olarak 5 dakika seçildi. Plazma gücü olarak % 80 güç kullanıldı. Plazma gazı olarak O₂ kullanıldı. Plazma uygulamasından sonra malahit yeşili boyar madde adsorpsiyonu

deneilerine geçildi. Belirli hacimlerde ve konsantrasyonlarda hazırlanan özeltieler belirli miktarda alınan adsorbentle beraber belirli pH da 250 ml lik erlenlere yerleştirilerek dengeye gelene kadar termostattı bir çalkalayıcıda sabit sıcaklıkta belirli rpm hızda çalkalandı. Dengeye gelme süresini tespit etmek için belirli zaman aralıklarında şişelerden pipetle numune alındı ve berrak fazın konsantrasyonu spektrofotometrede ölçüldü. Adsorpsiyon çalışmalarında pH'ın etkisi (4.0, 6.0, 8.0, ve 10.0), sıfır yük noktası tayini, temas zamanı (5, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 ve 180 dakika), sıcaklık (20, 30, 40, 50, 60 °C) ve başlangıç boyar madde konsantrasyonları (50, 100, 150, 200 ve 250 mg/L), adsorbent miktarları 0.05, 0.1, 0.2 ve 0.3 olarak incelendi. Çalışmalardan elde edilecek sonuçlar için Langmuir, Freundlich izotermiieri uygulandı. Aynı zamanda, yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetikler incelendi. Elde edilen kömür numunelerinin plazmadan önce ve plazma işleminde sonra XPS, SEM, FTIR ve BET ölçümleri alındı ve değerlendirildi.

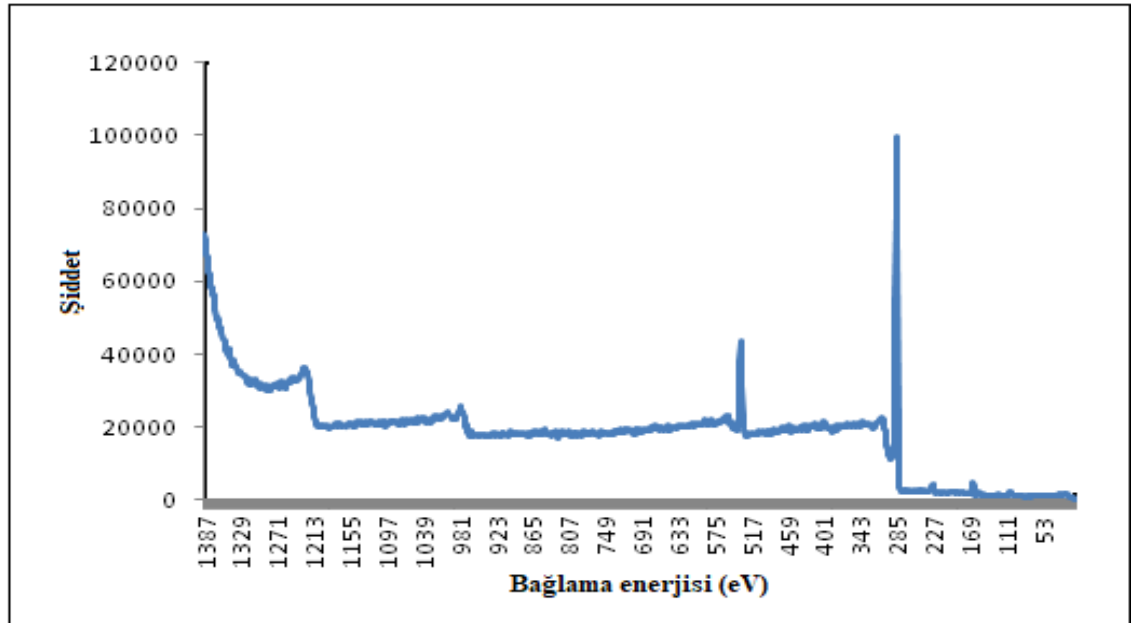
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. XPS Analizleri

4.1.1. Petrokok numunesinin XPS analizi



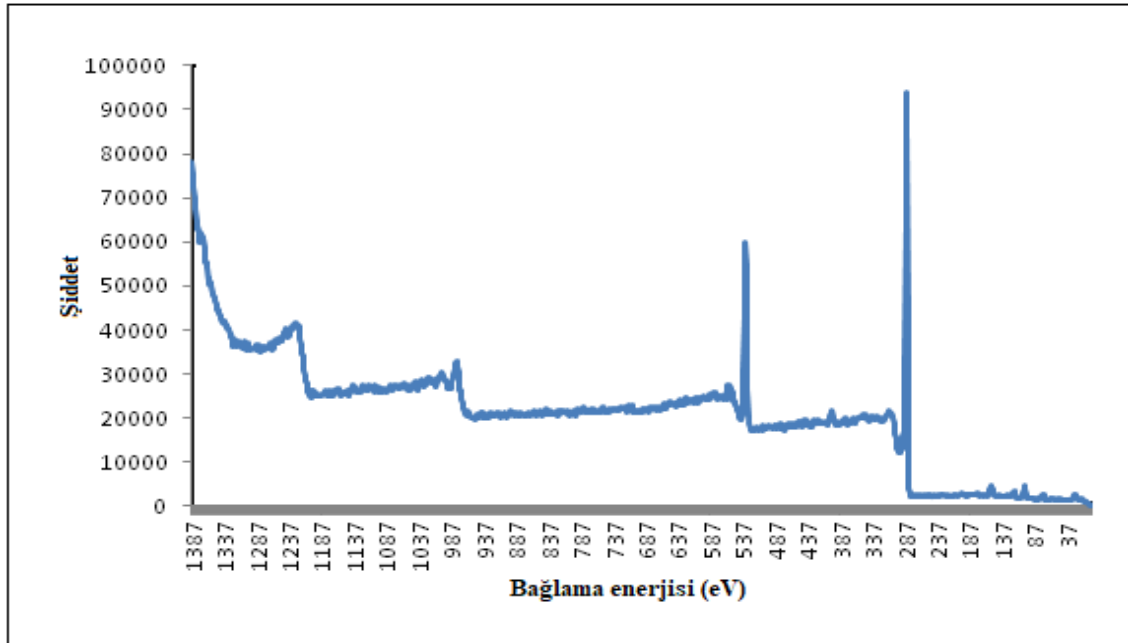
Şekil 4.1. Saf petrokok numunesinin XPS analizi



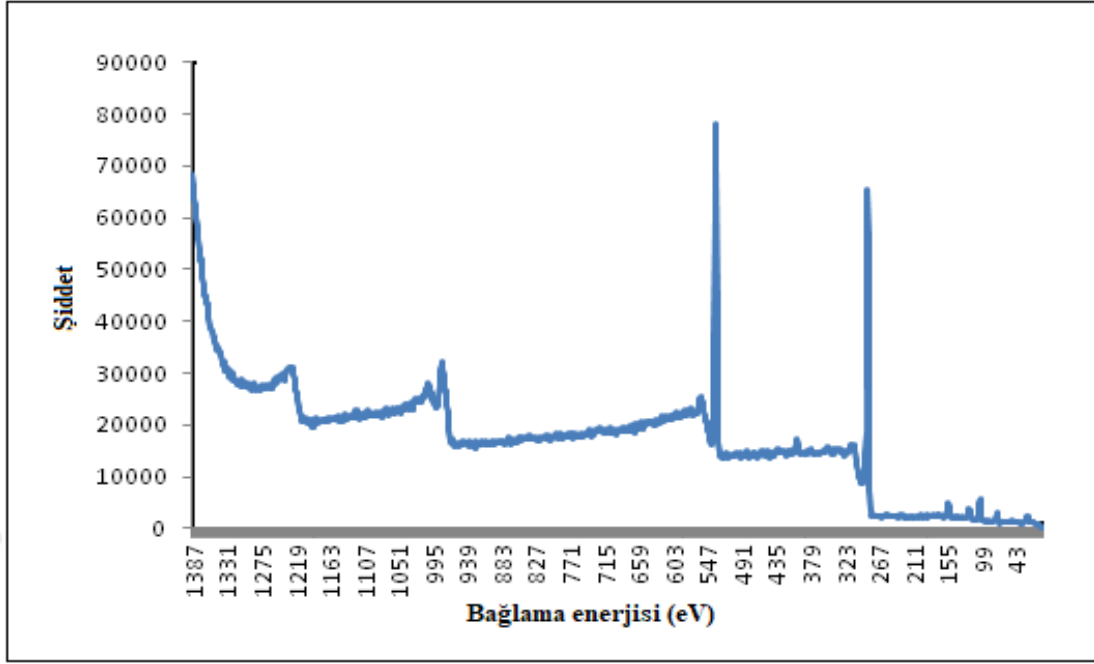
Şekil 4.2. Plazma uygulanmış petrokok numunesinin XPS analizi

Şekil 4.1 saf petrokok numunesi Şekil 4.2 ve plazma uygulanmış petrokok numunenin XPS sonuçlarını göstermektedir. Şekillerden görüldüğü plazma uygulanmış petrokok numunesine ait XPS spektrumu saf petrokok numunesine göre farklılıklar göstermektedir. Saf petrokok numunesi için O1s, C1s, N1s, S2p, Si 2p ve Al2p için pik pozisyonları sırası ile 531, 283, 398, 162,101 ve 76 eV olarak bulunmaktadır. Aynı zamanda aynı elementlerin atomik yüzdeleri sırası ile %4.021, %90.910, %1.097, %2.429, %0.822 ve %0.721 olarak bulunmaktadır. Bu değerlere karşılık plazma uygulanmış petrokok numunesi için O1s, C1s, N1s, S2p, Si 2p için pik pozisyonları sırası ile 533, 284, 401, 103 ve 163 eV olarak bulundu. Aynı elementlerin plazma uygulamasından sonra atomik yüzdeleri sırası ile %9.363, %85.013, %1.601, %2.026 ve %1.996 olarak bulunmuştur. Anlaşılabileceği gibi saf petrokok numunesi ile plazma uygulanmış petrokok numunesinde hem pik pozisyonlarında değişim hem de özellikle oksijen yüzdesinde artma söz konusudur. Bu sonuç O₂ plazma uygulamasının başarılı olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, petrokok numunesi üzerinde bulunan organik materyallerin (karbon) içeriğinin azaldığı buna karşılık O₂ plazma uygulamasından sonra organik maddelerinin oksitlendiği anlamına gelmektedir (Xia ve Yang, 2013; Desimoni ve ark., 1992; Xia ve ark., 2014).

4.1.2. Ukrayna kömürünün XPS analizi



Şekil 4.3. Saf Ukrayna kömürünün XPS analizi

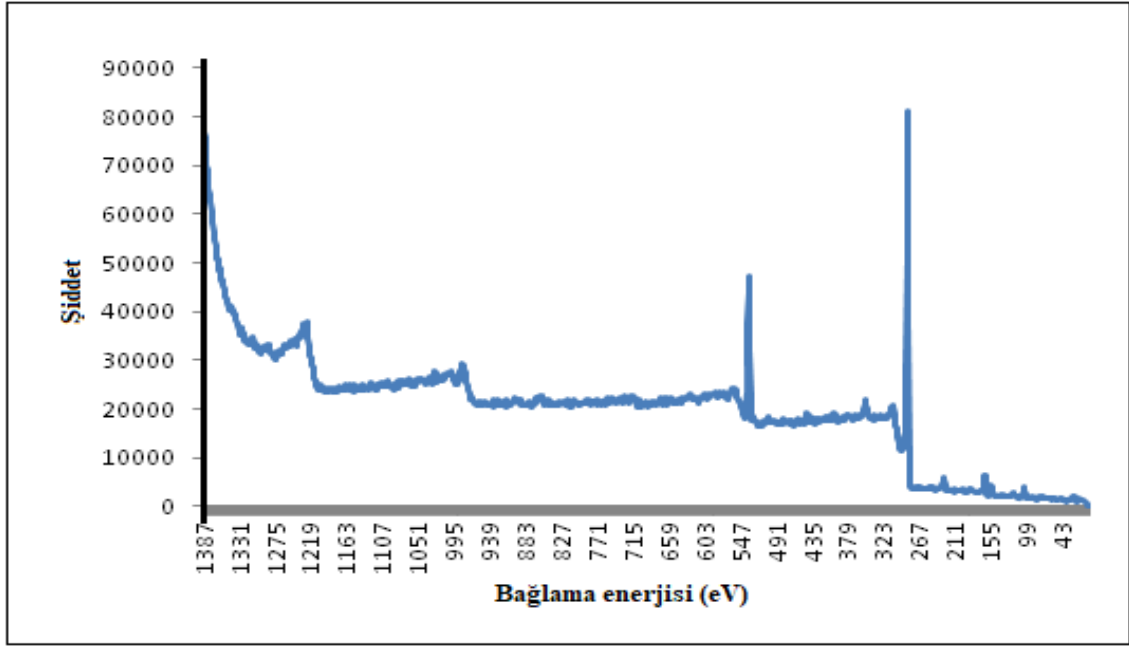


Şekil 4.4. Plazma uygulanmış Ukrayna kömürünün XPS analizi

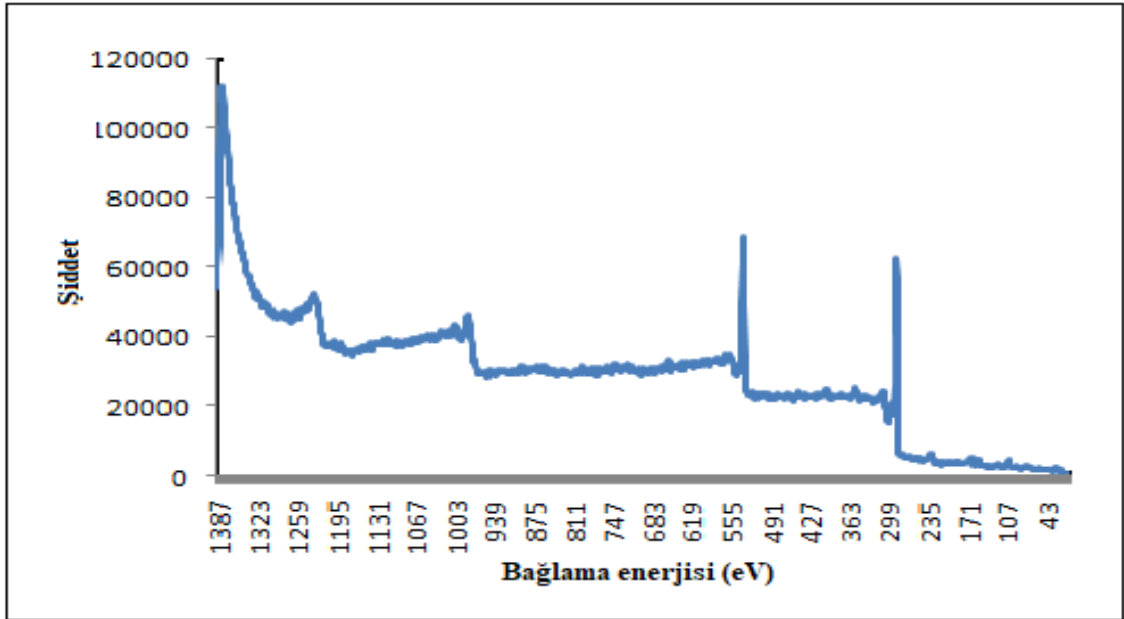
Şekil 4.3'te saf Ukrayna kömürünü ve Şekil 4.4'te plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesinin XPS sonuçlarını göstermektedir. Saf Ukrayna kömür numunesi için O1s, C1s, N1s, Si 2p ve Al2p için pik pozisyonları sırası ile 533, 285, 400, 102 ve 74 eV olarak bulunmuştur. Aynı zamanda aynı elementlerin atomik yüzdeleri sırası ile %16.238, %75.714, %2.385, %3.144, ve %2.519 olarak bulunmaktadır. Saf petrokok numunesine göre saf Ukrayna kömürü içinde daha az organik(karbon) madde bulunmasına karşın daha fazla inorganik madde bulunmaktadır. Bu değerlere karşılık plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesi için O1s, C1s, N1s, S2p, Si 2p için pik pozisyonları sırası ile 533, 285, 400, 102 ve 74 eV olarak bulundu. Görüldüğü gibi pik pozisyonları saf Ukrayna kömür numunesine kıyasla değişmemektedir. Bu sonuca karşılık aynı elementlerin plazma uygulamasından sonra atomik yüzdeleri sırası ile %25.305, %63.499, %2.092, %4.467 ve %4.337 olarak bulunmaktadır.

Anlaşılabileceği gibi saf Ukrayna numunesine göre plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesinin özellikle oksijen yüzdesinde artma söz konusudur. Bu sonuç O₂ plazma uygulamasının başarılı olduğunu gösterir. Bu sonuçlar, O₂ plazma uygulamasından sonra Ukrayna kömür numunesi üzerinde bulunan organik materyallerin (karbon) içeriğinin azaldığı buna karşılık organik maddelerinin oksitlendiği anlamına gelmektedir.

4.1.3. Şırnak kömürünün XPS analizi



Şekil 4.5. Saf Şırnak kömürünün XPS analizi



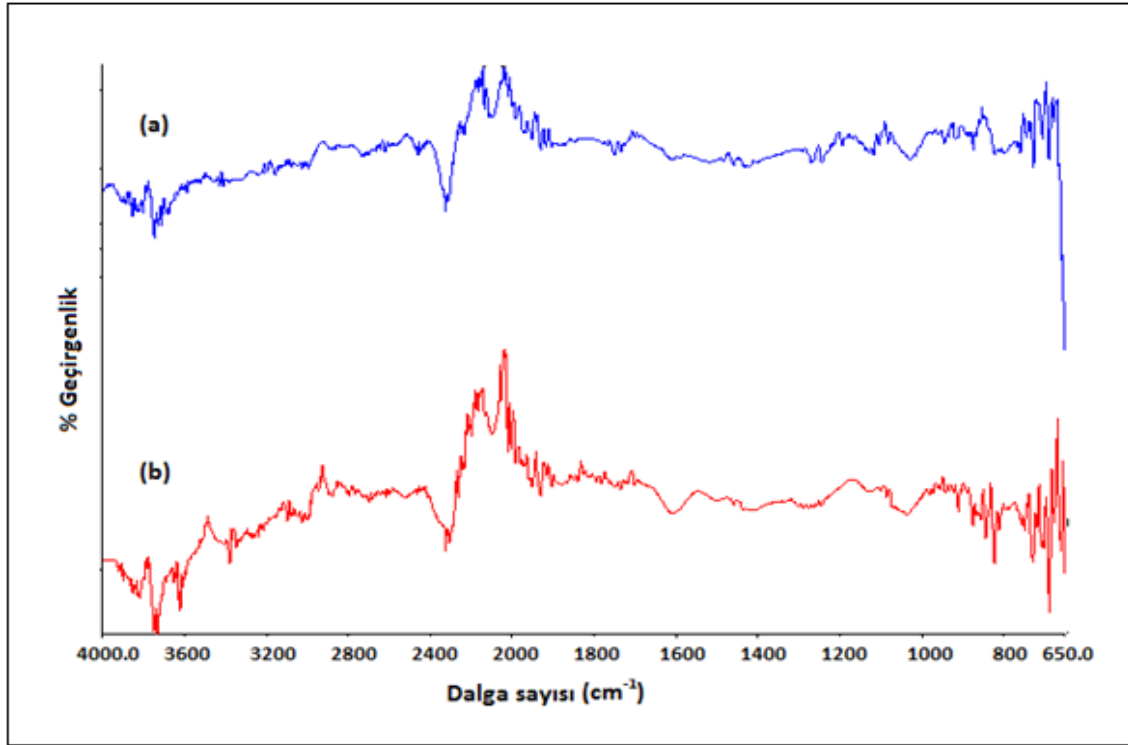
Şekil 4.6. Plazma uygulanmış Şırnak kömürünün XPS analizi

Şekil 4.5'te saf Şırnak kömürünü ve Şekil 4.6'da plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesinin XPS sonuçlarını göstermektedir. Saf Şırnak kömür numunesi için O1s, C1s, N1s, S 2p, Si 2p, Al2p ve B1s için pik pozisyonları sırası ile 532, 283, 400, 162, 101, 73 ve 186 eV olarak bulunmaktadır. Aynı zamanda aynı elementlerin atomik

yüzdeleri sırası ile %14.353, %74.756, %1.184, %2.487, %3.334, %1,479 ve %2.408 olarak bulunmaktadır. Bununla birlikte plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesi için O1s, C1s, N1s, S 2p, Si 2p, Al2p ve Ca 2p için pik pozisyonları sırası ile 532, 284, 399, 163, 102, 73 ve 351 eV olarak bulunmaktadır. Aynı zamanda aynı elementlerin atomik yüzdeleri sırası ile %21.807, %67.729, %1.848, %2.071, %5.802, %1,117 ve %1.626 olarak bulunmaktadır. Anlaşılabileceği gibi, elde edilen bu sonuç ile petrokok numunesi ve Ukrayna kömür üzerine plazma uygulaması ile elde edilen sonuçlar benzerlik göstermektedir. Yüzeydeki oksijen miktarında bir artma söz konusu iken karbon elementi yüzdesinde azalma söz konusu olmaktadır.

4.2. FTIR Analizleri

4.2.1. Petrokok numunesinin FTIR analizi

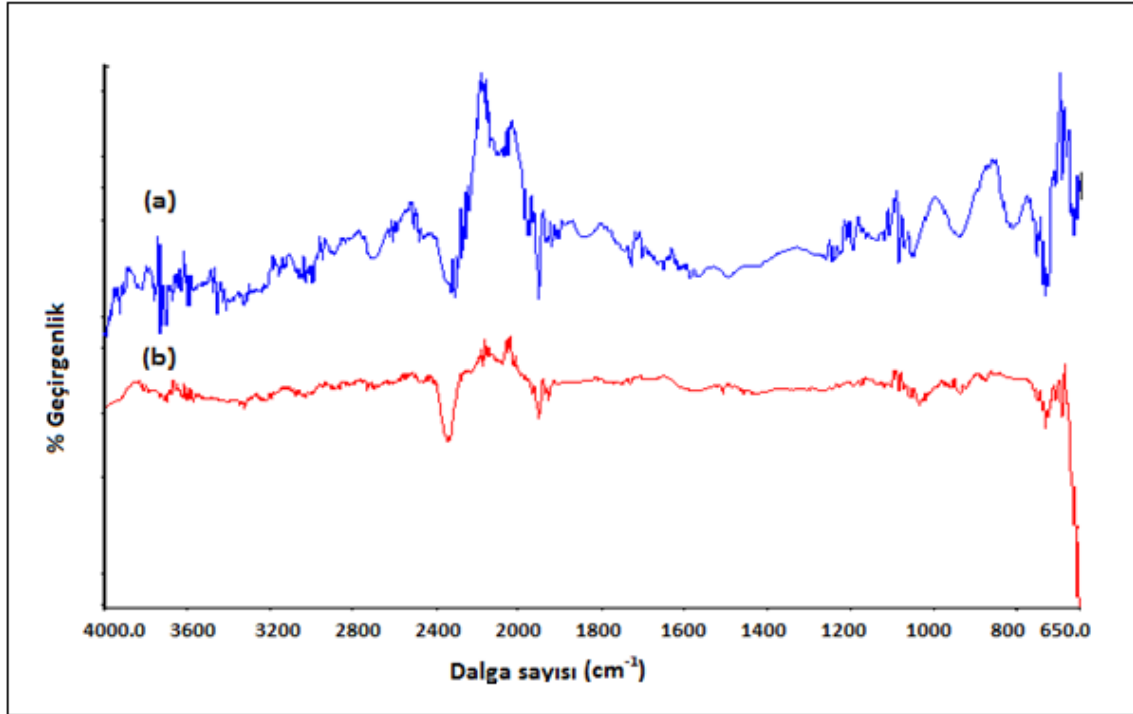


Şekil 4.7. Saf petrokok numunesi (a) ve O₂ plazma uygulanmış petrokok numunesi (b) için FTIR analizi

Şekil 4.7’de saf petrokok numunesi (a) ve O₂ plazma uygulanmış petrokok numunesi (b) için FTIR görüntüsünü vermektedir. Görüldüğü gibi, O₂ plazma uygulanmış petrokok numunesinin FTIR görüntüsü saf Ukrayna kömür numunesi görüntüsünden oldukça farklıdır. Piklerin şiddetlerinde artmalar söz konusudur.

Özellikle O₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesinin FTIR görüntüsünde 1750-1650 cm⁻¹ arasında ve C=O titreşimlerinden kaynaklanan pik şiddetlerinde artma söz konusudur. Bu sonuç saf petrokok numunesi içindeki karbon içeriğinin O₂ plazma uygulamasından sonra oksitlendiğini göstermektedir. XPS sonuçlar bu sonucu desteklemektedir. Aynı zamanda, petrokok numunesinin 2300-2200 cm⁻¹ de kükürtlü bileşiklere ait (sülfonik asit) pikler verdiği gözlenmektedir. Bu pik petrokok numunesinde oldukça belirgindir.

4.2.2. Ukrayna kömürünün FTIR analizi

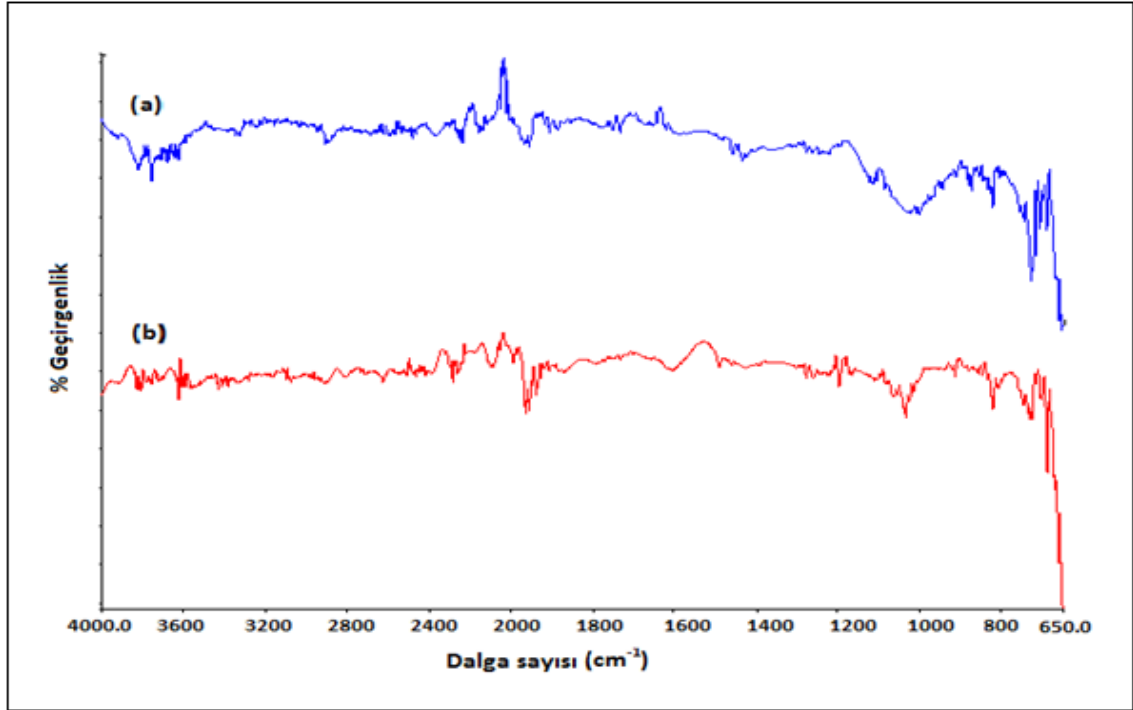


Şekil 4.8. Saf Ukrayna kömürü (a) ve O₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömürü (b) için FTIR analizi

Şekil 4.8’de saf Ukrayna kömürü (a) ve O₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numuneleri (b) için FTIR görüntüsünü vermektedir. Görüldüğü gibi, O₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesinin FTIR görüntüsü saf Ukrayna kömür numunesi görüntüsünden oldukça farklıdır. Piklerin şiddetlerinde artmalar söz konusudur. Saf Ukrayna kömür numunesinin FTIR görüntüsü incelendiğinde 3000-3800 cm⁻¹’de fazla belirgin olmayan –OH gerilim pikleri söz konusudur. 2900-2800 cm⁻¹’de görülen C-H gerilim bantları alifatik yapıların varlığını göstermektedir. 1050 cm⁻¹ ile 1300 cm⁻¹ arasında yer alan pikler numunenin yapısında bulunan asitler, alkoller, fenoller, eterler

ve esterlerde yer alan C-O gerilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca $850-650\text{ cm}^{-1}$ aralığında görülen düzlem dışı C-H bükülme bandı ham madde yapısındaki aromatik yapıların varlığını göstermektedir. O_2 plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunelerinin FTIR görüntüsünde $1750-1600\text{ cm}^{-1}$ arasında aromatik yapılarda bulunan olefinik C=C titreşimlerinden ve C=O titreşimlerinden kaynaklanan pik şiddetlerinde artmalar söz konusudur. Aynı zamanda Ukrayna kömür numunesinin $2300 - 2200\text{ cm}^{-1}$ de kükürtlü bileşiklere ait (sülfonik asit) pikler verdiği gözlenmektedir. Bu pik plazma uygulanmış Ukrayna kömüründe oldukça belirgindir. Bu sonuç saf kömür numunesi içindeki karbon içeriğinin O_2 plazma uygulamasından sonra oksitlendiğini göstermektedir. XPS sonuçları bu sonucu desteklemektedir.

4.2.3. Şırnak kömürünün FTIR analizi



Şekil 4.9. Saf Şırnak kömürü (a) ve O_2 plazma uygulanmış Şırnak kömürü (b) için FTIR analizi

Şekil 4.9’da saf Şırnak kömürü (a) ve O_2 plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesi (b) için FTIR görüntüsü verilmiştir. Saf Şırnak kömür maddesinin FTIR görüntüsü incelendiğinde $3600-3800\text{ cm}^{-1}$ ’de görülen geniş ve yaygın -OH gerilim bandı alkol, fenol veya karboksilik asitlerin varlığını; $2900-2800\text{ cm}^{-1}$ ’de görülen C-H gerilim bantları alifatik yapıların varlığını göstermektedir. 1050 cm^{-1} ile 1300 cm^{-1}

arasında yer alan pikler numunenin yapısında bulunan asitler, alkoller, fenoller, eterler ve esterlerde yer alan C-O gerilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca 850-650 cm^{-1} aralığında görülen düzlem dışı C-H bükülme bandı ham madde yapısındaki aromatik yapıların varlığını göstermektedir. 1700-1600 cm^{-1} arasında görülen keskin pik aromatik yapılarda bulunan olefinik C=C titreşimlerinden ve C=O titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. O₂ plazma uygulanmış Şırnak kömürü için FTIR spektrumu, saf Şırnak kömürü maddesinin FTIR spektrumu ile karşılaştırıldığında yapısal değişikliklerin olduğu görülmektedir.

O₂ plazma sonucunda Şırnak kömürü üstündeki fonksiyonel grupların pik şiddetlerine azalmalar söz konusudur. Aynı zamanda 3600 cm^{-1} 'deki pikler hemen hemen tamamen kaybolurken yaklaşık 1700 cm^{-1} bölgesinde bir pik oluştuğu gözlenmiştir. Bu sonuç saf kömür numunesi içindeki karbon içeriğinin O₂ plazma uygulamasından sonra oksitlendiğini göstermektedir. XPS sonuçlar bu sonucu desteklemektedir.

4.3. SEM Analizleri

Şekil 4.10'da saf petrokok numunenin (a, b, c) ve Şekil 4.11'de O₂ plazma uygulanmış petrokok numunesi (a, b, c) için SEM görüntülerini vermektedir.

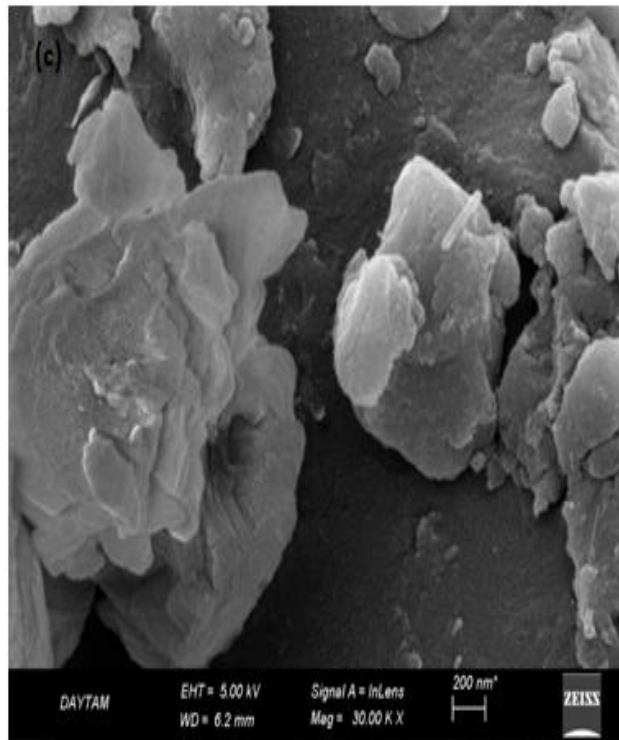
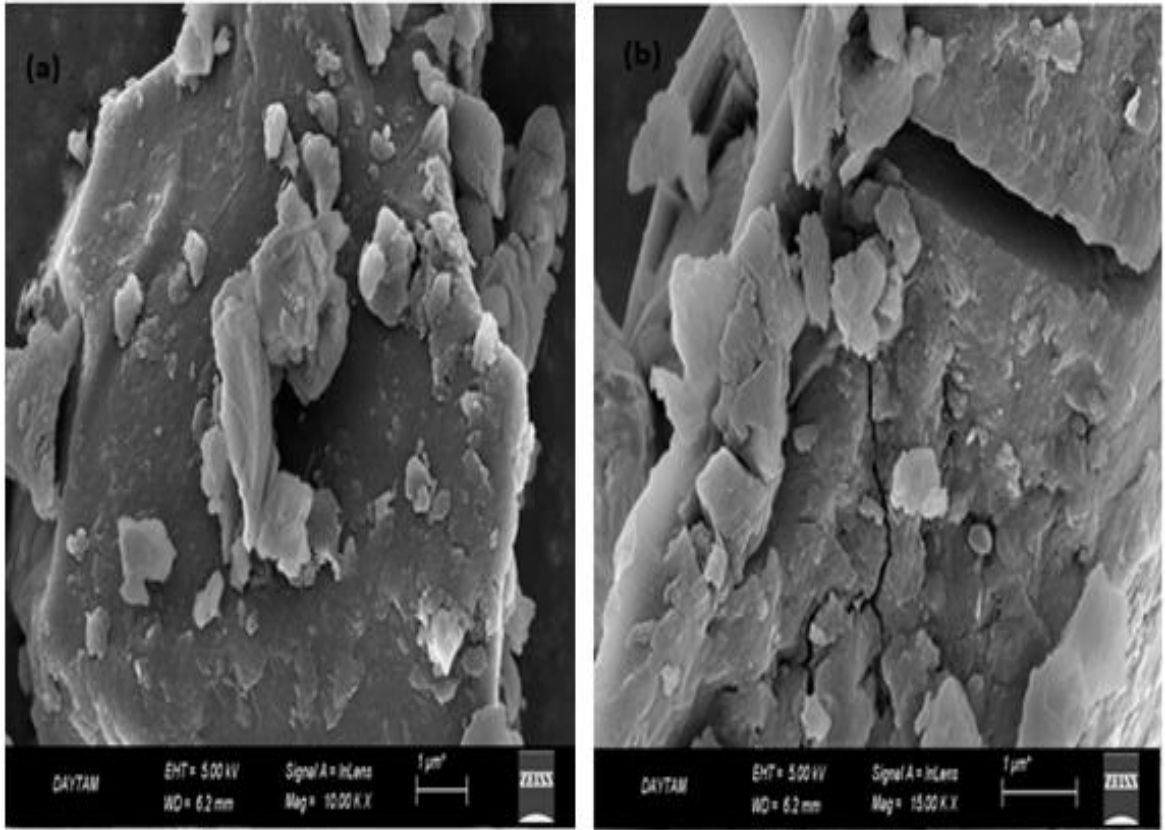
Şekil 4.12'de saf Ukrayna kömürü (a, b, c) ve Şekil 4.13'te O₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesi (a, b, c) için SEM görüntülerini vermektedir.

Şekil 4.14'te saf Şırnak kömürü (a, b, c) ve Şekil 4.15'te O₂ plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesi (a, b, c) için SEM görüntülerini vermektedir.

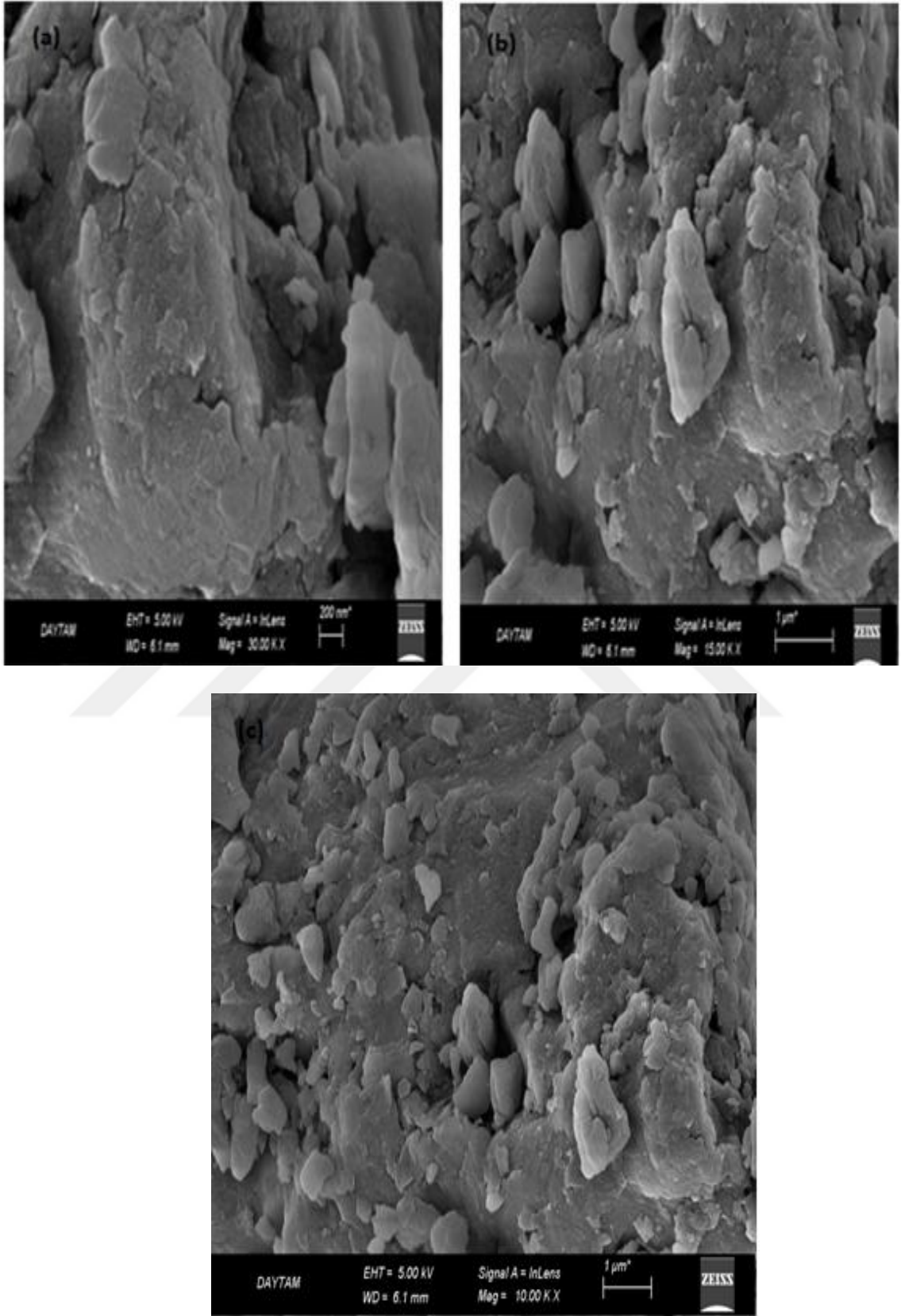
Görüldüğü gibi, O₂ plazma uygulanmış kömür numunelerinin SEM görüntüleri saf kömür numuneleri görüntülerine göre farklılıklar göstermektedir.

Daha önce aynı kömür numuneleri için elde edilen XPS ve FTIR görüntülerinde de bu farklılıklar söz konusuydu.

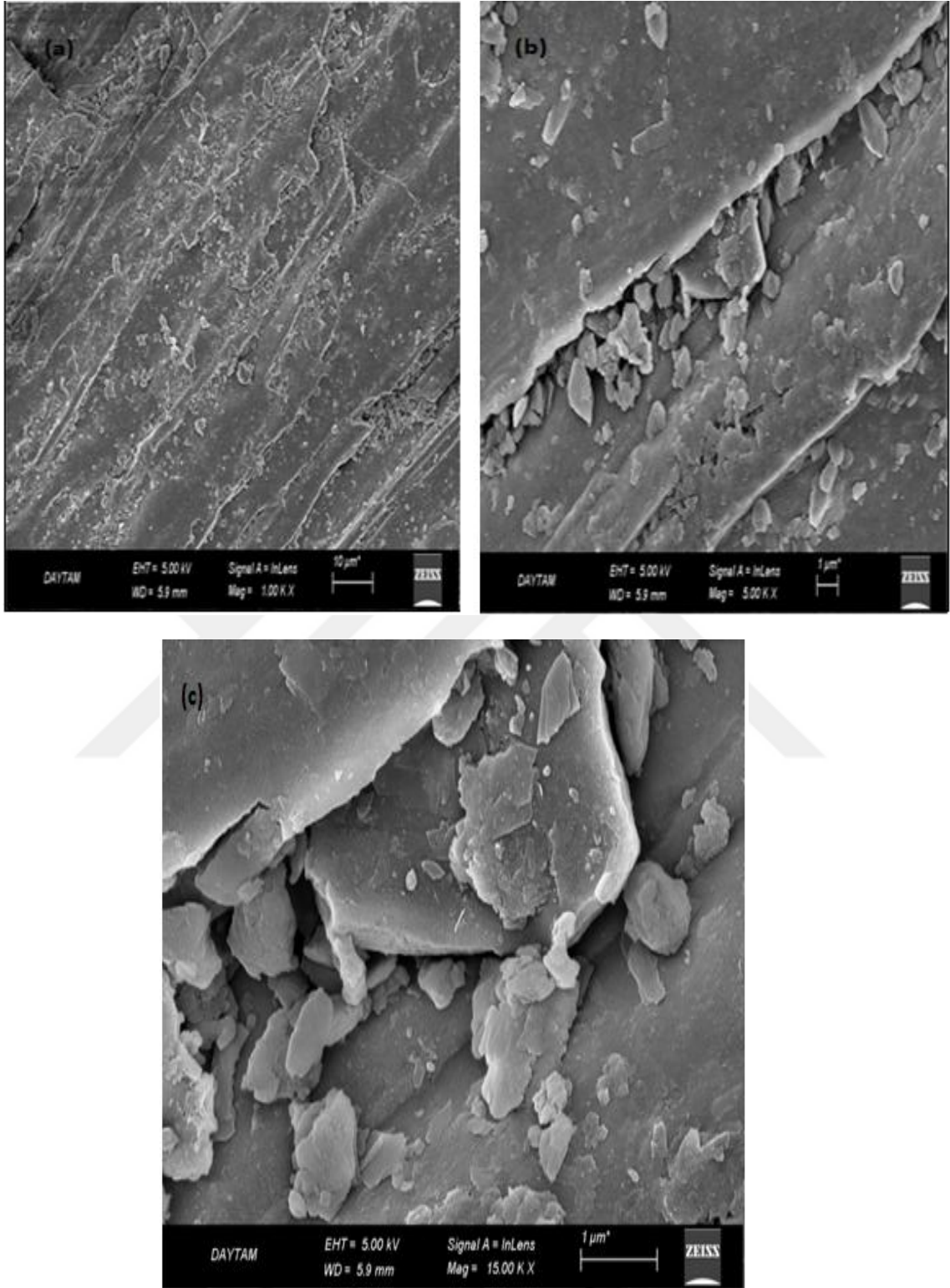
Şekillerde gösterildiği gibi, kömür numunelerinin yüzey morfolojisi, plazma uygulamasından sonra tüm kömüre numuneleri için değişmektedir. Plazma uygulamasından sonra kömür yüzeylerinin yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Doğal bozunma işlemlerinden sonra bazı hurdalar ve parçalar üretilmektedir. Yüzey morfolojisi, bitümlü kömür yüzeyinde skala olarak gösterilmektedir. Bu arada, doğal hava koşullarından kaynaklanan bitümlü kömür yüzeyinde çok fazla delik vardı.



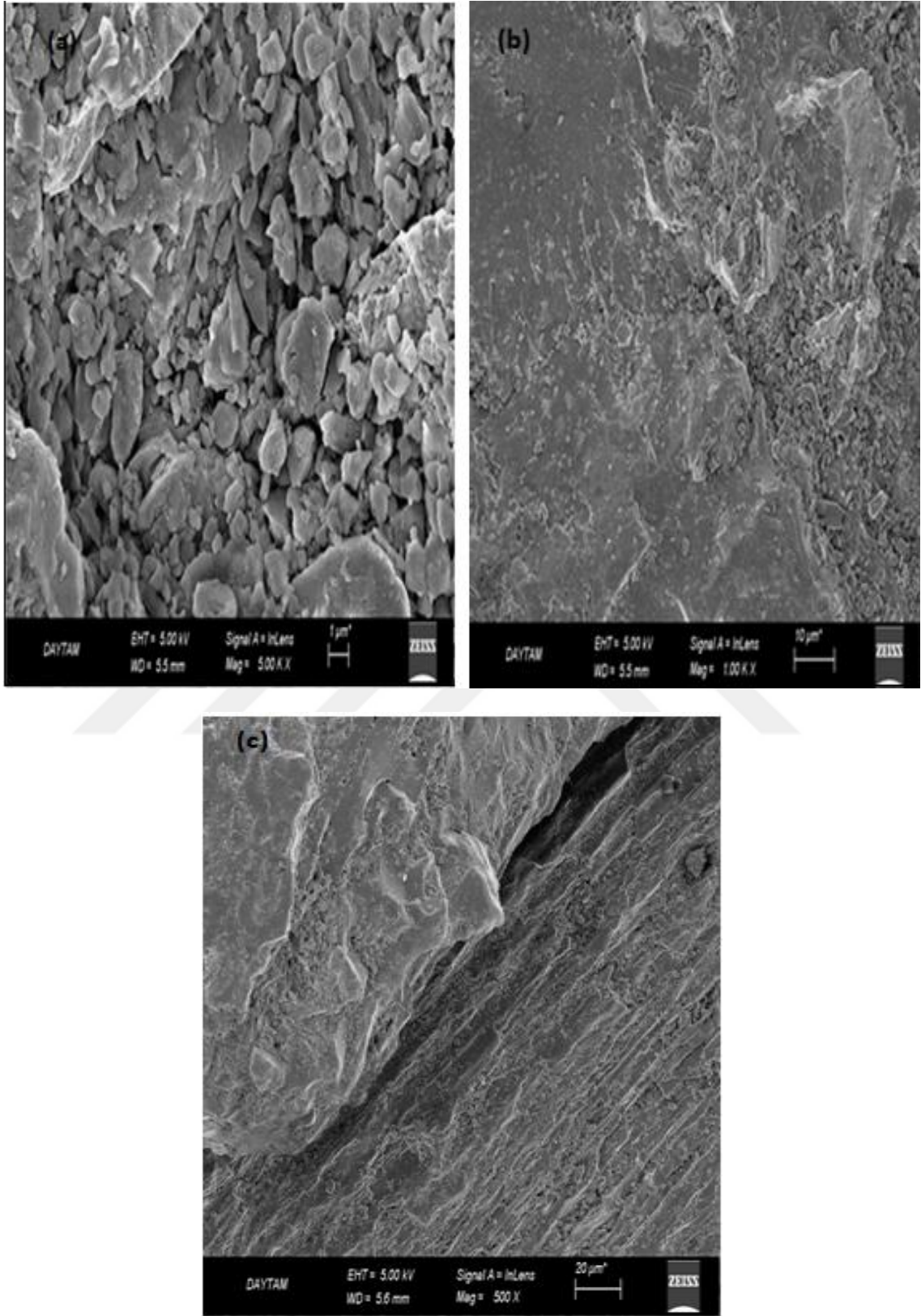
Şekil 4.10. Saf petrokok numunenin (a,b,c) SEM görüntüleri



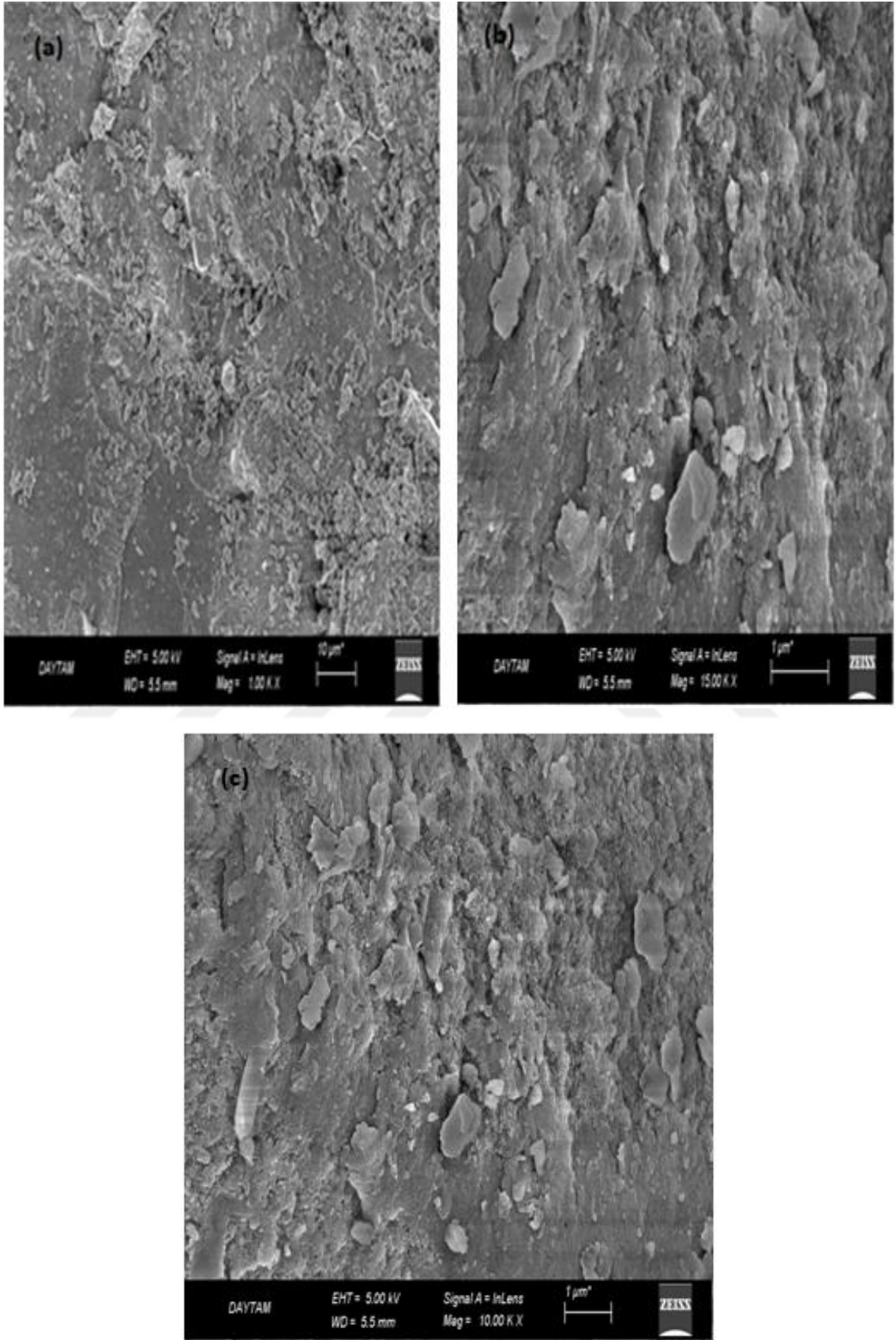
Şekil 4.11. Plazma uygulanmış petrokok numunenin (a,b,c) SEM görüntüleri



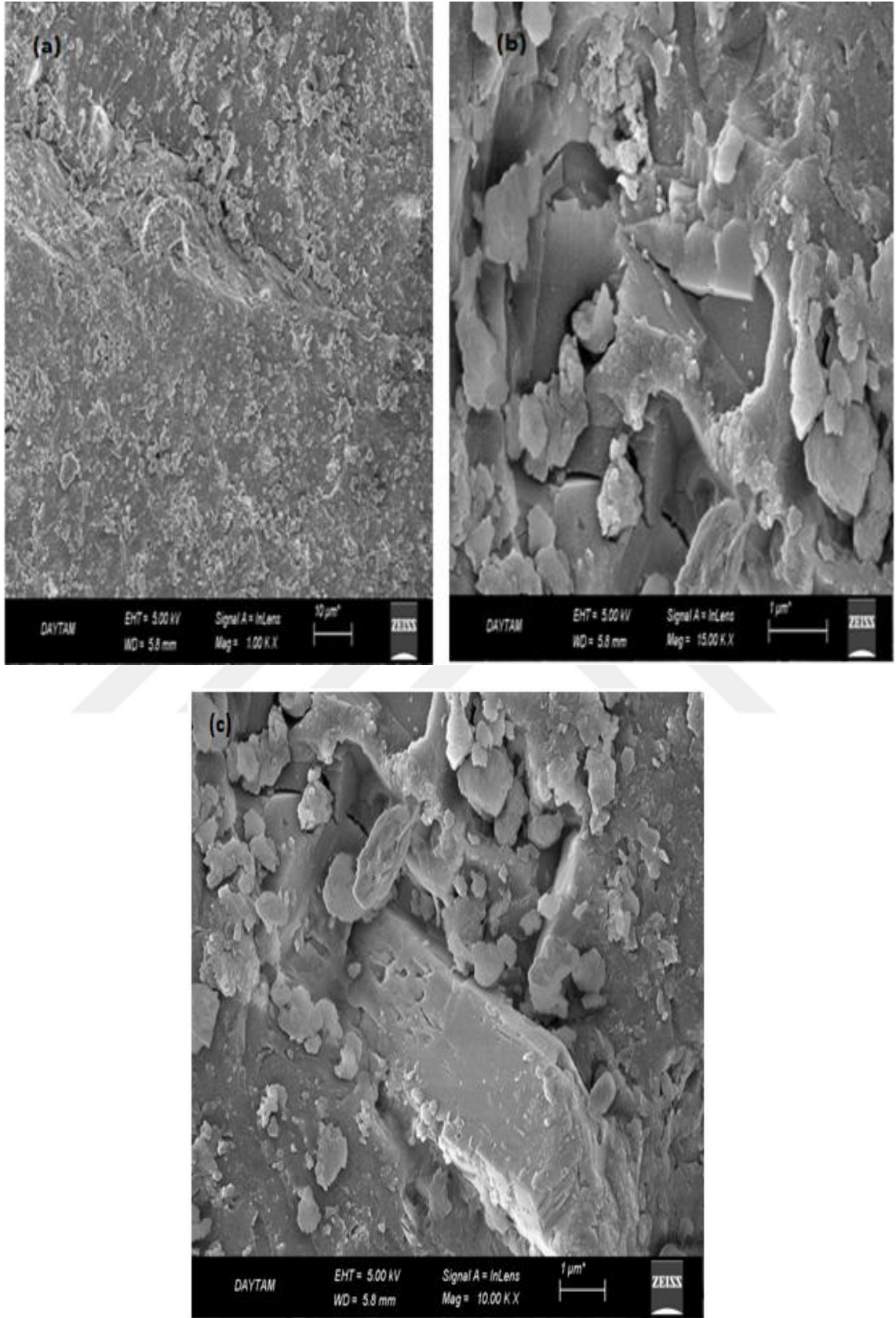
Şekil 4.12. Saf Ukrayna kömürünün (a,b,c) SEM görüntüleri



Şekil 4.13. Plazma uygulanmış Ukrayna kömürünün (a,b,c) SEM görüntüleri

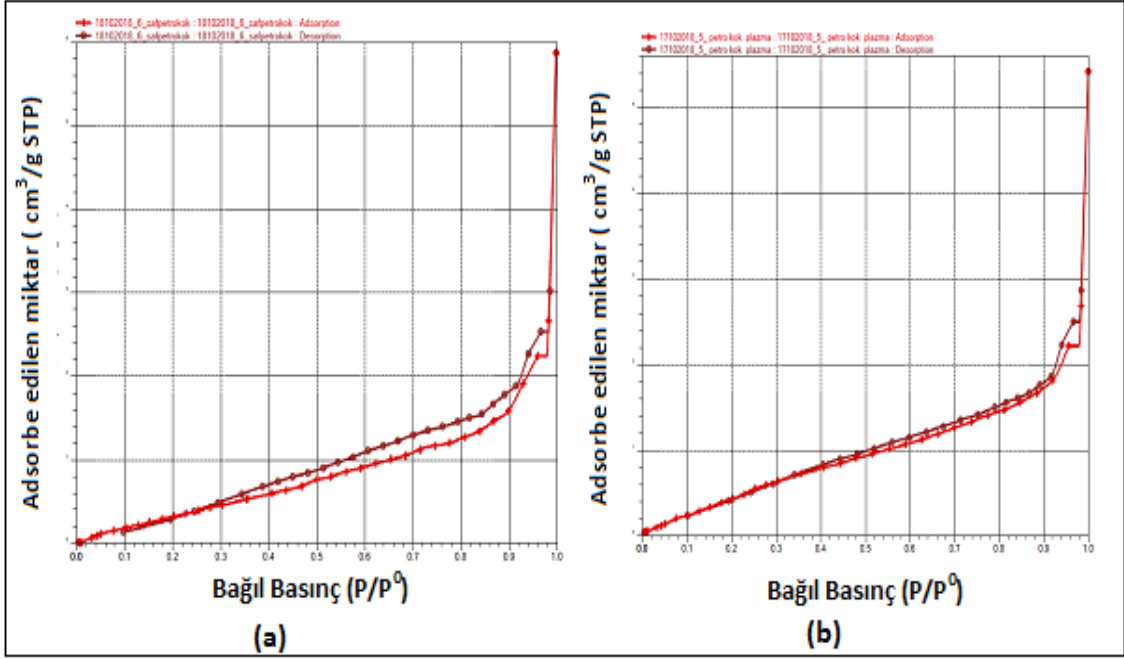


Şekil 4.14. Saf Şırnak kömürünün (a,b,c) SEM görüntüleri



Şekil 4.15. Plazma uygulanmış Şırnak kömürünün (a,b,c) SEM görüntüleri

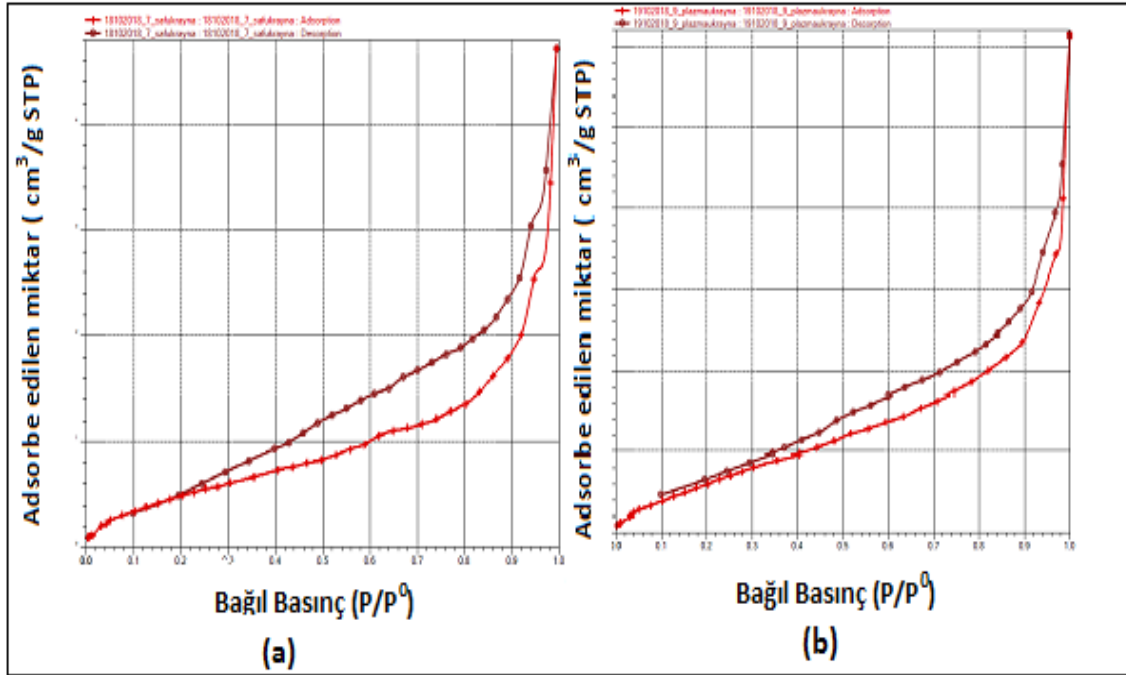
4.4. BET Yüzey Alanı Ölçümleri



Şekil 4.16. Saf petrokok numunesi (a) ve O₂ plazma uygulanmış petrokok numunesi(b) için BET yüzey alanı analizleri

Tablo 4.1. Saf petrokok numunesi ve O₂ plazma uygulanmış petrokok numunesinin yüzey özellikleri

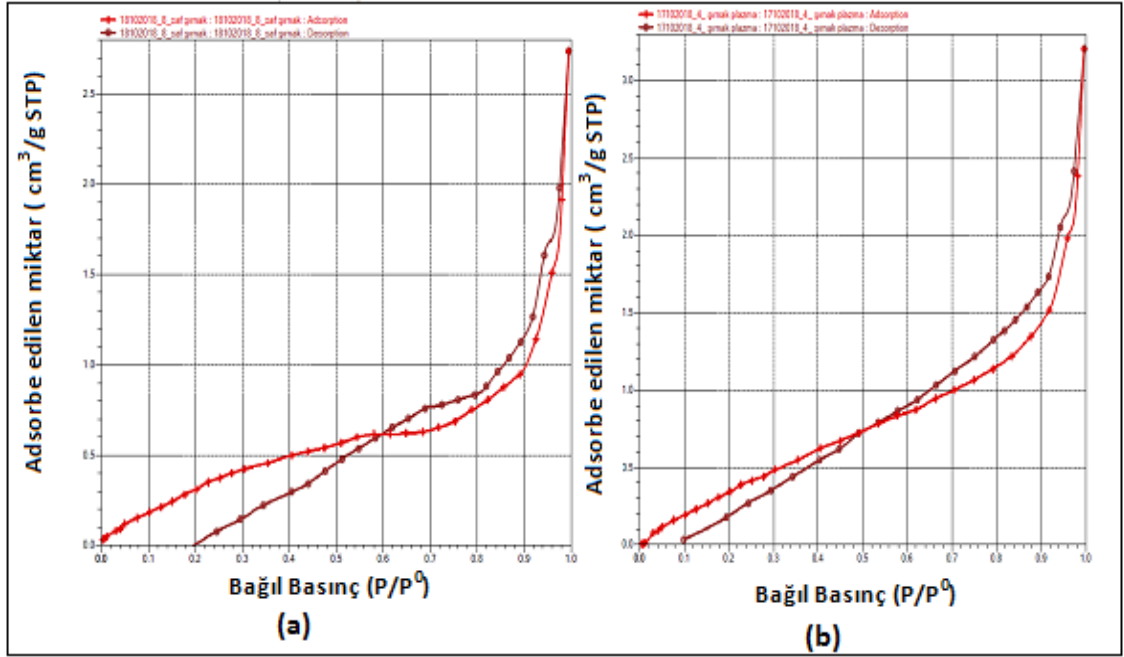
	Saf Petrokok	O ₂ Plazma Uygulanmış Petrokok
BET Yüzey Alanı	1,9264 m ² /g	2,9250 m ² /g
t-Plot Dış Yüzey Alanı	3,1922 m ² /g	4,6513 m ² /g
t -Plot Micropor Hacim	-0,000902 cm ³ /g	-0,001360 cm ³ /g
BJH Adsorpsiyon Kümülatif gözenek hacmi	0,003941 cm ³ /g	0,003830 cm ³ /g
BJH Adsorpsiyon Ortalama Gözenek Genişliği (4V/A):	7,8733 nm	6,6968 nm
Adsorpsiyon Ortalama Gözenek Çapı (4V/A BET)	6,8121 nm	4,4801 nm



Şekil 4.17. Saf Ukrayna kömürü (a) ve O₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesi (b) için BET yüzey alanı analizleri

Tablo 4.2. Saf Ukrayna kömür ve O₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesinin yüzey özellikleri

	Saf Ukrayna	O ₂ Plazma Uygulanmış Ukrayna
BET Yüzey Alanı	2,0867 m ² /g	2,9850 m ² /g
t-Plot Dış Yüzey Alanı	3,1016 m ² /g	4,9896 m ² /g
t -Plot Micropor Hacim	-0,000616 cm ³ /g	-0,001262 cm ³ /g
BJH Adsorpsiyon Kümülatif Gözenek Hacmi	0,005183 cm ³ /g	0,006107 cm ³ /g
BJH Adsorpsiyon Ortalama Gözenek Genişliği (4V/A):	9,6575 nm	8,1331 nm
Adsorpsiyon Ortalama Gözenek Çapı (4V/A BET)	7,6205 nm	6,3787 nm



Şekil 4.18. Saf Şırnak kömürü (a) ve O₂ plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesi (b) için BET yüzey alanı analizleri

Tablo 4.3. Saf Şırnak kömür ve O₂ plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesinin yüzey özellikleri

	Saf Şırnak	O ₂ Plazma Uygulanmış Şırnak
BET Yüzey Alanı	1,7685 m ² /g	2,1342 m ² /g
t-Plot Dış Yüzey Alanı	2,9308 m ² /g	3,3564 m ² /g
t -Plot Micropor Hacim	-0,000805 cm ³ /g	-0,000945 cm ³ /g
BJH Adsorpsiyon Kümülatif Gözenek Hacmi	0,004026 cm ³ /g	0,003442 cm ³ /g
BJH Adsorpsiyon Ortalama Gözenek Genişliği (4V/A):	12,1027 nm	7,7730 nm
Adsorpsiyon Ortalama Gözenek Çapı (4V/A BET)	4,8212 nm	5,3392 nm

Şekil 4.16'da saf petrokok numunesi (a) ve O₂ plazma uygulanmış petrokok numunesi (b) için BET yüzey alanı grafiğini, Şekil 4.17'de saf Ukrayna kömür (a) ve O₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesi (b) için BET yüzey alanı grafiğini, Şekil 4.18'de saf Şırnak kömür (a) ve O₂ plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesi (b) için BET yüzey alanı grafiğini vermektedir. Aynı zamanda Tablo 4.1'de saf petrokok numunesi ve O₂ plazma uygulanmış petrokok numunesi için yüzey özelliklerini, Tablo 4.2'de saf Ukrayna kömür ve O₂ plazma uygulanmış Ukrayna kömür numunesi için yüzey özelliklerini, Tablo 4.3'te saf Şırnak kömür ve O₂ plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesi için yüzey özelliklerini vermektedir. Görüldüğü üzere tüm numuneler için yüzey alanları oldukça düşüktür. Bu durumun, numunelerinin pürüzsüz bir yüzeye sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir ve SEM görüntüleriyle de örtüşmektedir. Plazma uygulanmış kömür numunelerinden elde edilen tüm yüzey alanlarında ise bir artma söz konusudur. Ukrayna ve petrokok numuneleri için artış miktarı %50 civarında iken Şırnak kömürü için bu artış %30 civarındadır. Aynı artış miktarları t-plot dış yüzey alanı ve t-plot micropor hacimleri için de söz konusudur. Numunelerinin BET izotermi Tip 1 izoterme uymaktadır. Tip 1 izoterme mikro gözenekli adsorbanlarda rastlanmaktadır. Gözenekli malzemelerin yapısal farklılıkları genellikle gözenek boyut dağılımı ile karakterize edilmektedir.

The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) adsorbanlar için gözenek büyüklüğünü yarıçaplarına göre dörde ayırmaktadır. Bunlar :

- Makro gözenekler ($r > 25$ nm)
- Mezo gözenekler ($1 < r < 25$ nm)
- Mikro gözenekler ($0,4 < r < 1$ nm)
- Submikro gözenekler ($r < 0,4$ nm)' dir.

Tablo 4.1'de, Tablo 4.2'de ve Tablo 4.3'te görüldüğü gibi saf kömür numuneleri ve plazma uygulanmış kömür numuneleri için gözenek yarı çapları $1 < r < 25$ nm aralığındadır. Bu değer bu numunelerin mezo gözenekli olduğunu ifade etmektedir.

4.5. Plazma Uygulanmış Kömür Numuneleri İle Sulu Çözeltilen Malahit Yeşili Adsorpsiyon Çalışmaları

Plazma yöntemiyle modifiye edilmiş olan kömür numuneleri yüksek miktarda üretilerek sulu çözeltiden malahit yeşili adsorpsiyon çalışmalarında kullanılmaktadır.

Aşağıda Tablo 4.4’de saf petrokok numunesinin, saf Ukrayna ve saf Şırnak kömürlerinin pH:8 ve 100 mg/g malahit yeşili konsantrasyonuna ait adsorpsiyon kapasite değerlerini vermektedir. Tablo 4.5’te ise sırası ile 5 dakika 80 W da oksijen plazma uygulanmış petrokok numunesini, plazma uygulanmış Ukrayna ve plazma uygulanmış Şırnak kömürlerinin pH:8 ve 100 mg/g malahit yeşili konsantrasyonuna ait adsorpsiyon kapasite değerlerini vermektedir.

Tablo 4.4. Saf petrokok numunesi, saf Ukrayna ve saf Şırnak kömür numunelerinin malahit yeşili konsantrasyonun adsorpsiyonu

Zaman(dak)	Saf Petrokok	Saf Ukrayna	Saf Şırnak
	qe	qe	Qe
1	19.32	19.85	22.33
5	21.69	22.98	26.21
10	23.52	26,10	34.08
15	26.75	28.91	38.82
30	32.25	32.46	49.70
45	32.68	35.69	60.80
60	33.32	36.66	68.23
90	36.12	42.80	81.05
120	36.88	43.45	87.2
150	38.71	47.65	95.06
180	38.82	50.67	100.34

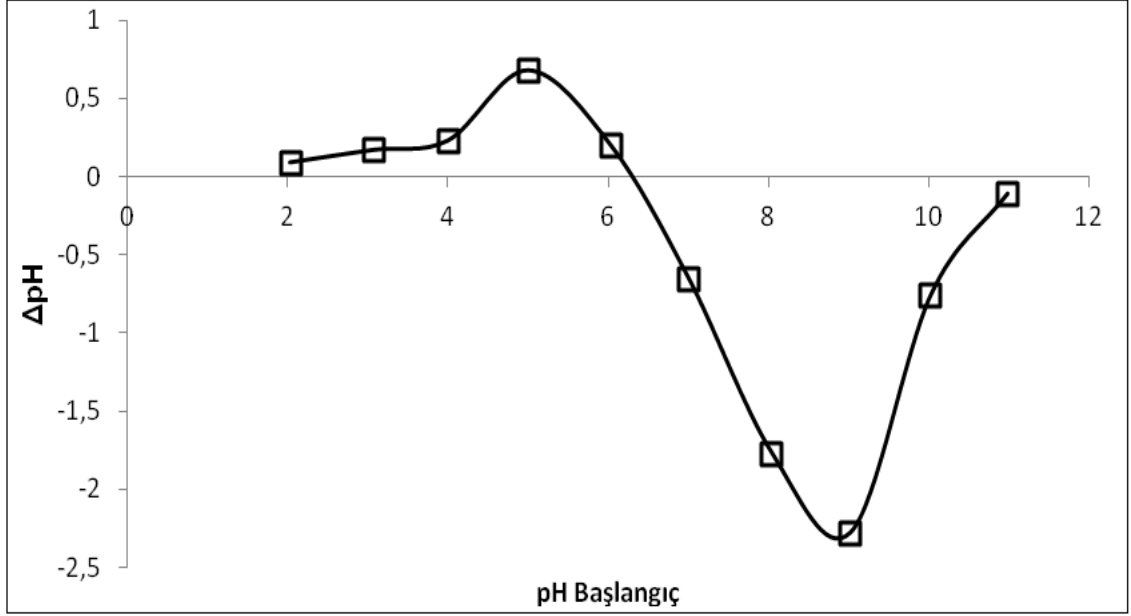
Tablo 4.5. 5 dakika 80 W’da oksijen plazma uygulanmış petrokok numunesi, Ukrayna ve Şırnak kömür numunelerinin malahit yeşili konsantrasyonun adsorpsiyonu

Zaman (dak)	Plazma Petrokok	Plazma Ukrayna	Plazma Şırnak
	qe	qe	Qe
1	29.84	29.95	34.80
5	31.39	29.29	33.48
10	34.03	37.45	40.76
15	40.21	39.44	53.55
30	42.30	49.14	73.07
45	43.63	53.33	85.64
60	43.07	56.42	92.70
90	45.83	59.72	106.59
120	47.71	63.69	112.65
150	47.93	67.88	114.53
180	49.25	71.41	117.51

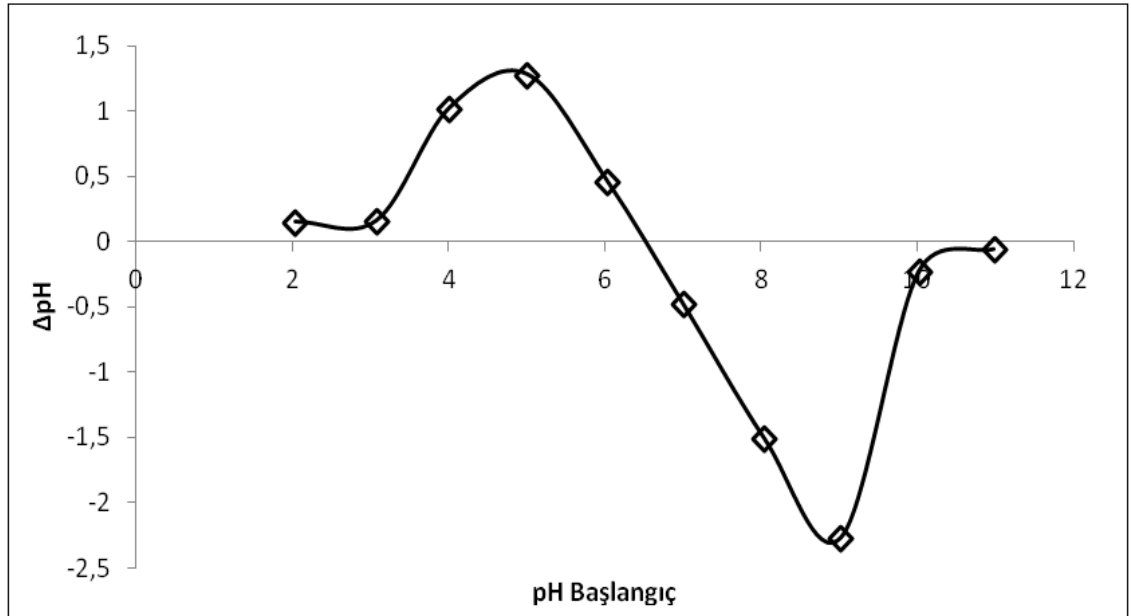
Elde edilen qe değerlerinden de anlaşılacağı üzere tüm saf numuneleri oksijen plazma uygulamasından sonra adsorpsiyon kapasitelerini arttırmışlardır. Daha önce elde

edilen XPS, FTIR, SEM ve BET sonuçları da bu sonucu desteklemektedir. Elde edilen bu sonuçlar göstermiştir ki plazma yöntemi adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır.

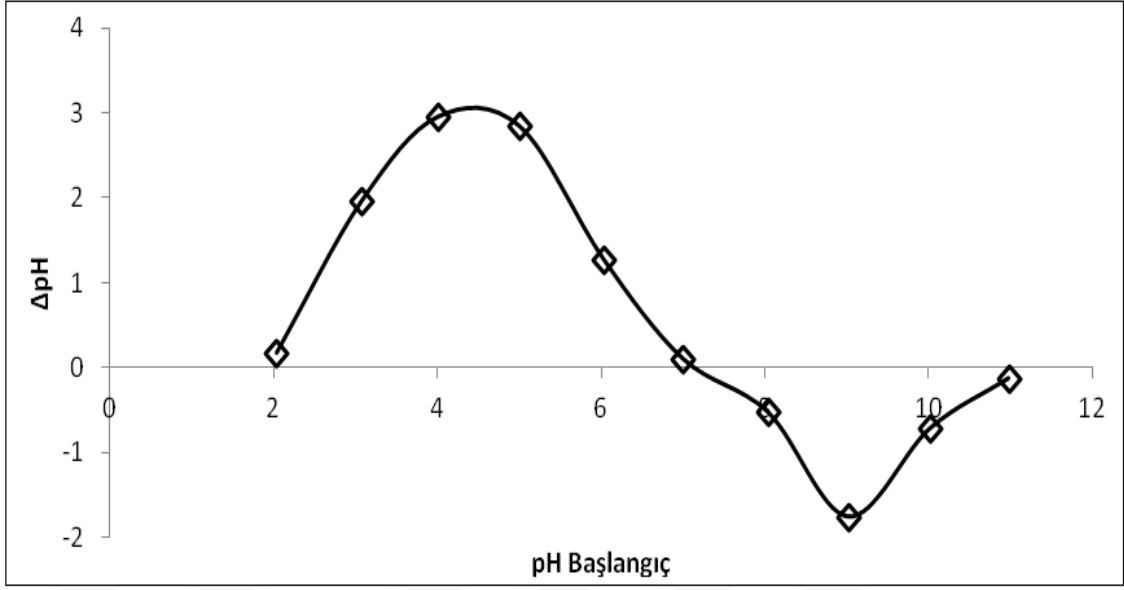
4.6. Sıfır Yük Noktası (zpc)



Şekil 4.19. Petrokok numunesinin izoelektrik noktaları



Şekil 4.20. Ukrayna kömürünün izoelektrik noktaları



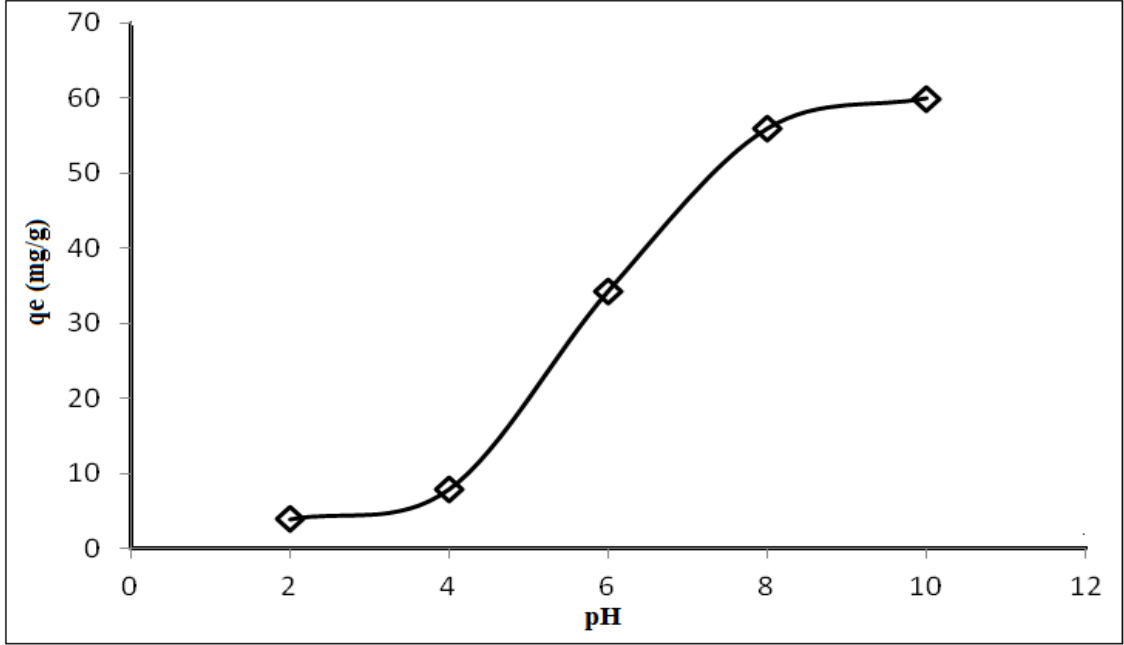
Şekil 4.21. Şırnak kömürünün izoelektrik noktaları

Adsorpsiyon mekanizmasını anlamak için sıfır yük noktasını (zpc) belirlenmesi çok önemlidir. Eğer, $pH < zpc$ ise, kationun boya adsorpsiyonunun olumlu olduğu, $pH > zpc$ ise, anyonun boya adsorpsiyonunun gerçekleştiği bilinmektedir. Burada, Şekil 4.19 petrokok numunesinin, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 sırasıyla Ukrayna ve Şırnak kömür numunelerinin izoelektrik noktaları 6.3, 6,5 ve 7,02 olduğu görülmektedir. Bu nedenle, alkali ortamda, adsorban ve adsorbat molekül arasında elektrostatik çekim gücü artmakta, bu da kationik boya adsorpsiyonunun daha yüksek yüzdesine neden olmaktadır. Diğer taraftan, asidik bir pH'ta ($pH < zpc$), boya molekülleri ve adsorban arasındaki itme kuvveti nedeniyle adsorpsiyonun daha düşük verimi gözlenmektedir. Dahası, asidik durumda, yüzeydeki H^+ iyonlarının adsorban üzerinde artması, boya molekülü ile H^+ iyonlarının rekabeti ile sonuçlanmaktadır. Sonuç olarak, boya adsorpsiyonu önemli ölçüde azalmaktadır. Böylece, boya adsorpsiyonunun daha yüksek verimliliğinden sorumlu olan kationik boya malahit yeşili molekülleri ve kullanılan adsorbanlar arasındaki iyonik kompleksin oluşturulduğu sonucuna varılmaktadır.

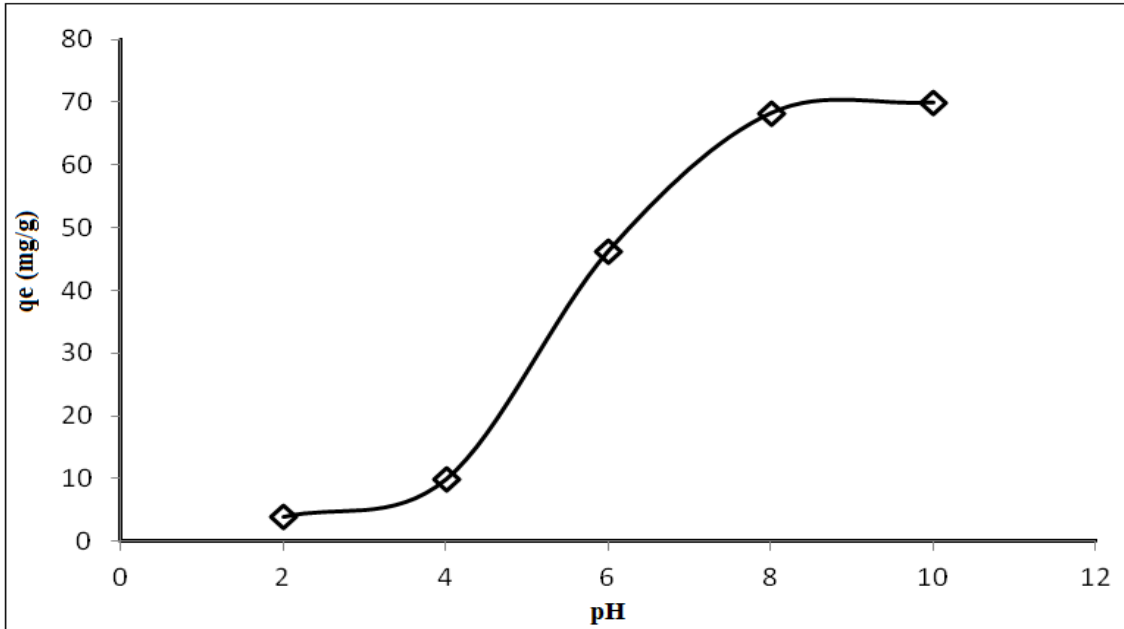
4.7. pH Etkisi

Çözeltinin başlangıç pH'ının çözülden malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine etkisi aralığında çözeltinin başlangıç pH'larında incelenmektedir. Malahit yeşili çözeltisinin pH ayarlamasında 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH çözeltileri kullanılmaktadır.

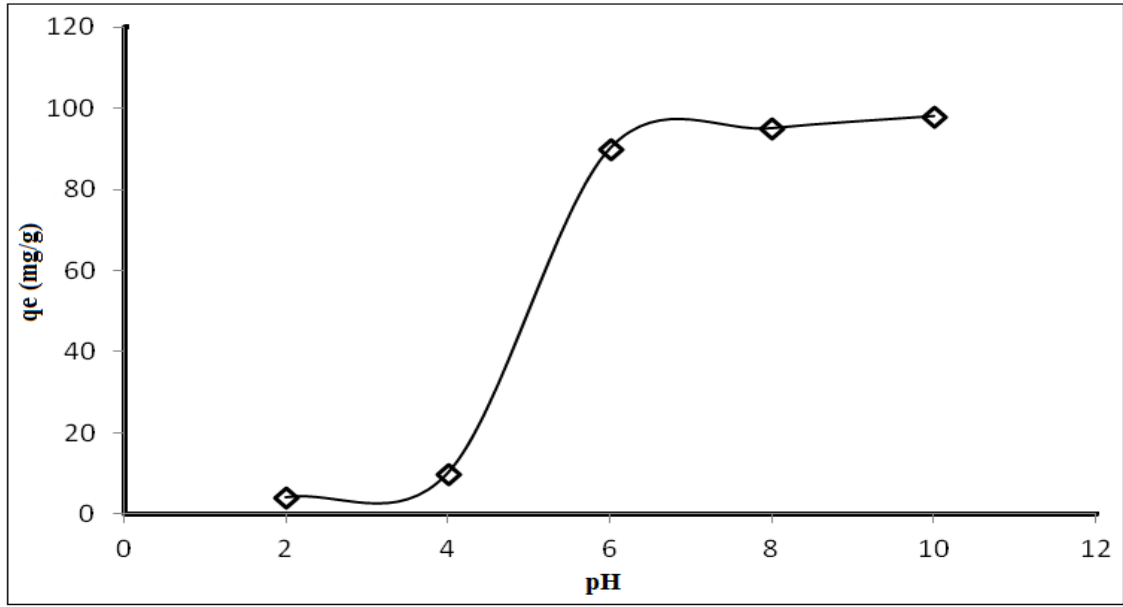
pH'nin malahit yeşili adsorpsiyonuna etkisi Şekil 4.22'de, Şekil 4.23'te ve Şekil 4.24'te verilmektedir.



Şekil 4.22. Petrokok numunesinin pH etkisi



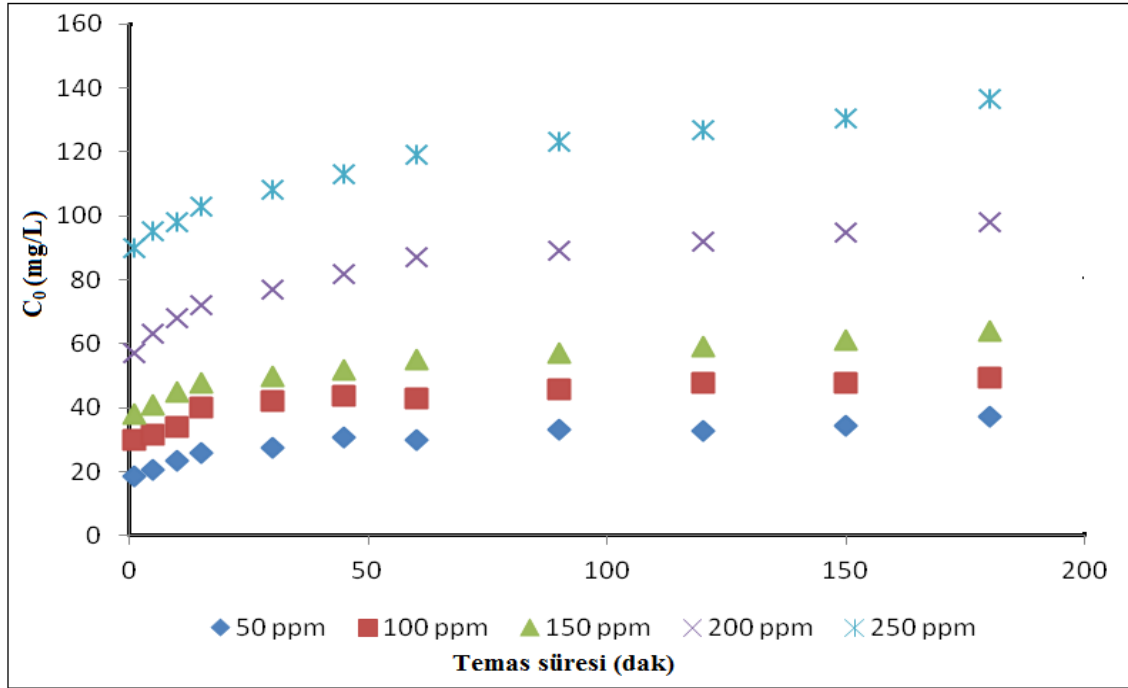
Şekil 4.23. Ukrayna kömürünün pH etkisi



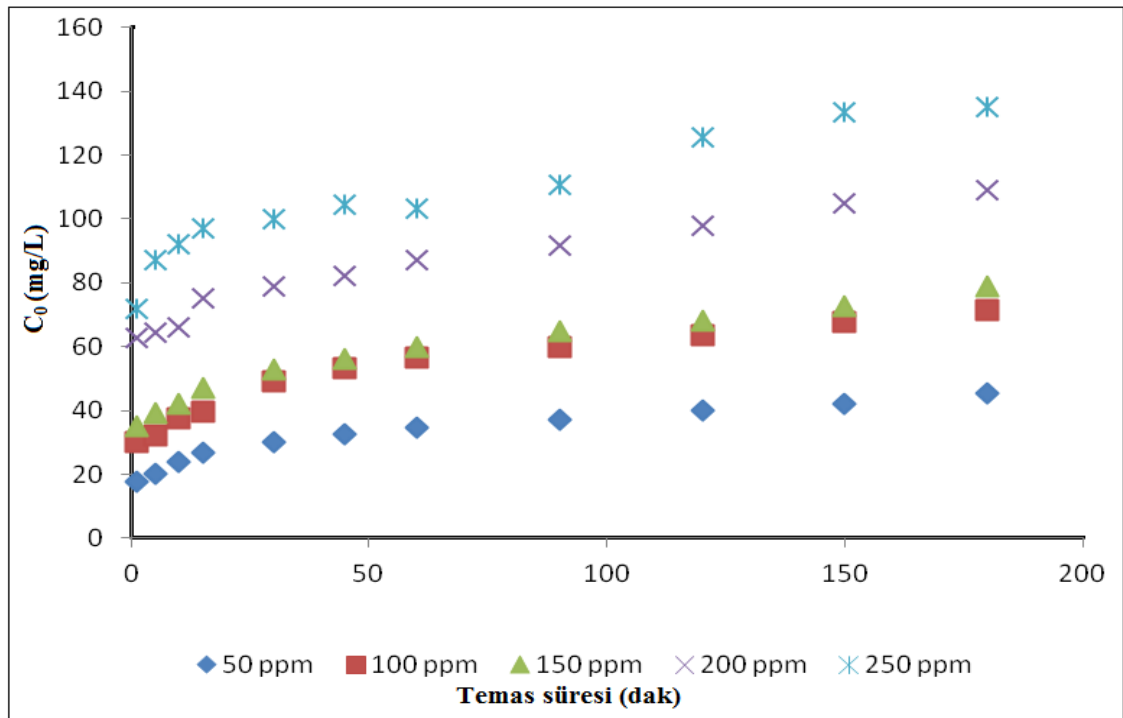
Şekil 4.24. Şırnak kömürünün pH etkisi

Plazma uygulanmış kömür numuneleri üzerine malahit yeşili adsorpsiyonu, 250 mg/L başlangıç konsantrasyonu ile 4-10 pH aralığında çalışılmaktadır. Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 incelendiğinde malahit yeşili çözeltisinin başlangıç pH'ının 4-10 arasında artmasıyla adsorpsiyonun arttığı görülmektedir. Çözelti pH'ındaki değişim adsorbat moleküllerinin yapısal olarak değişimine neden olmaktadır. Elektrostatik etkileşimler ve dispersiyon kuvvetleri adsorban ile adsorbat arasındaki etkileşimi sağlayan temel iki kuvvettir. Elektrostatik etkileşimler adsorban yüzeyindeki aktif merkezler ile adsorplanacak madde arasındaki birleşmeyi sağlamaktadır. Malahit yeşili adsorpsiyon kapasitesi, adsorban ve malahit yeşili çözeltisinin pH'sinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Plazma uygulanmış kömür numunelerinin yüzeylerinde adsorpsiyon alanları olarak farklı pH'larda farklı davranış gösteren oksijenli gruplara sahiptir. Pozitif yük protonasyona bağlı olarak asidik pH'da plazma uygulanmış kömür numunelerinin yüzey yüzeyi ile elde edilmekte ve alkali pH'da oksijenli grupların deprotonasyonundan dolayı negatif yük elde edilmektedir. Bu nedenle, asidik pH'ta ($pH < Pzpc$) pozitif yüklü malahit yeşili iyonları, negatif yüklü kömür numuneleri yüzeyi nedeniyle, alkali pH'ta hızla çekilirken, pozitif yüklü kömür numuneleri yüzeyi ile itilmektedir. Bu durumda, bazik pH7-10'da $pH > Pzpc$ olarak oksijenin deprotonasyonundaki artışa bağlı olarak, pH'ın artmasıyla birlikte malahit yeşilin adsorpsiyon eğiliminin arttığı gözlemlenmektedir.

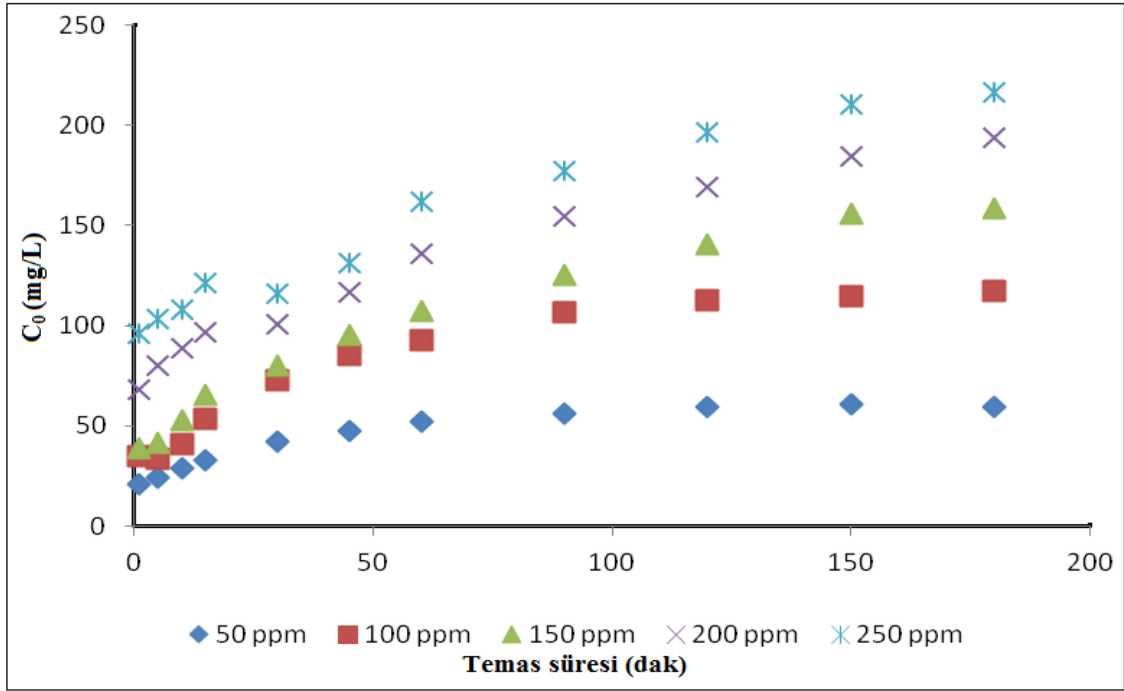
4.8. Başlangıç Konsantrasyon Etkisi



Şekil 4.25. Petrokok numunesinin başlangıç konsantrasyon etkisi



Şekil 4.26. Ukrayna kömürünün başlangıç konsantrasyon etkisi



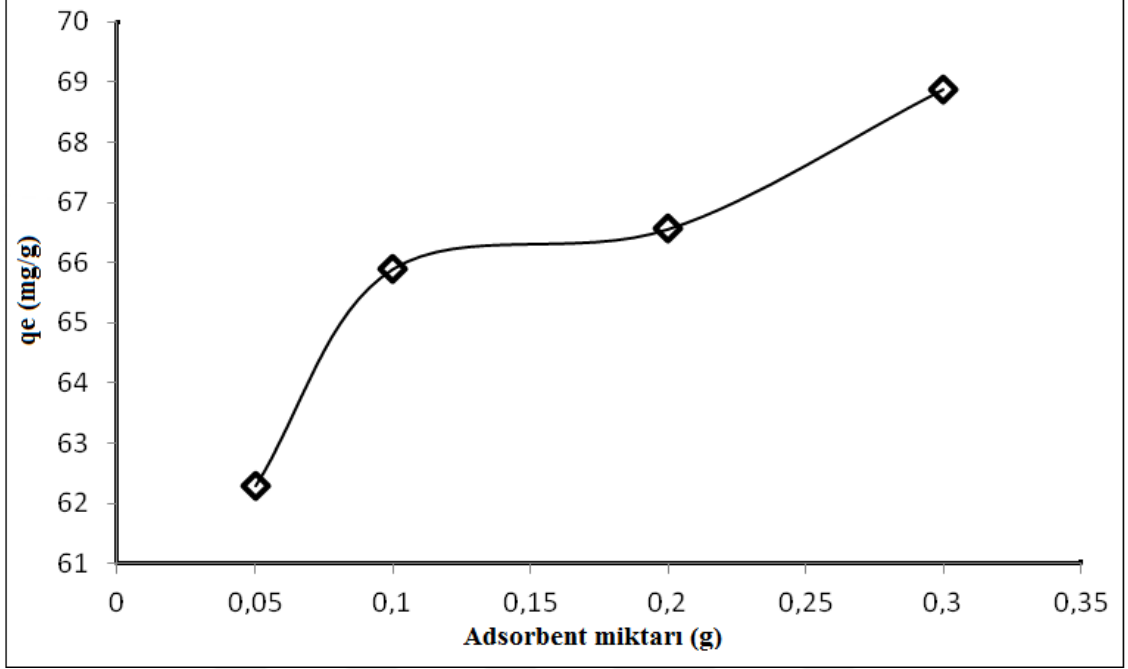
Şekil 4.27. Şırnak kömürünün başlangıç konsantrasyon etkisi

Malahit yeşilinin plazma uygulanmış petrokok, Ukrayna ve Şırnak numuneleri üzerinde konsantrasyon etkisi Şekil 4.25'te, Şekil 4.26'da ve Şekil 4.27'de verilmektedir.

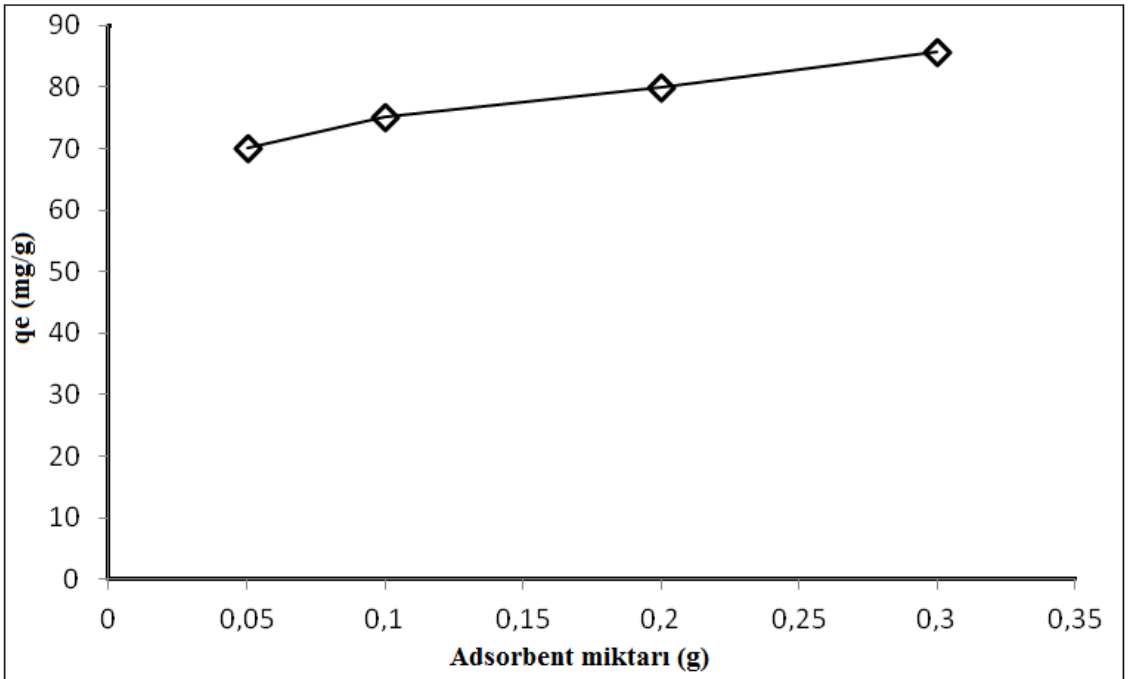
Malahit yeşili adsorpsiyon kapasitesi, yaklaşık olarak tüm numuneler için 150 dakikalık temas süresinden sonra maksimum bir değere ulaşmaktadır. Denge süreleri ortalama 150 dakikadır, ancak pratik nedenlerden dolayı adsorpsiyon deneyleri 180 dakikaya kadar çalıştırılmaktadır.

Şekillerden görüldüğü gibi başlangıç malahit yeşili konsantrasyonu (C_0) 50- 250 mg/L arasında yükseltildiğinde, adsorbe edilen malahit yeşili miktarı artmaktadır. Malahit yeşili iyonları başlangıçta adsorpsiyon hızını kolay ve hızlı hale getiren numunelerinin dış yüzey alanı üzerine adsorbe edilmektedir. Dış yüzey doygun olduğunda, malahit yeşili iyonları gözeneklerin içine girmekte ve parçacıkların iç yüzeyini emer ve bu olay nispeten daha uzun bir zaman almaktadır. Bu, sulu ve katı fazlar arasındaki malahit yeşili iyonlarının kütle transfer direncinin üstesinden gelmek için artan C_0 ile konsantrasyona bağlı olarak itici kuvvetin bir artışına yorumlanmaktadır. Bu nedenle, daha yüksek bir başlangıç malahit yeşili konsantrasyonu adsorpsiyon kapasitesini arttırmaktadır.

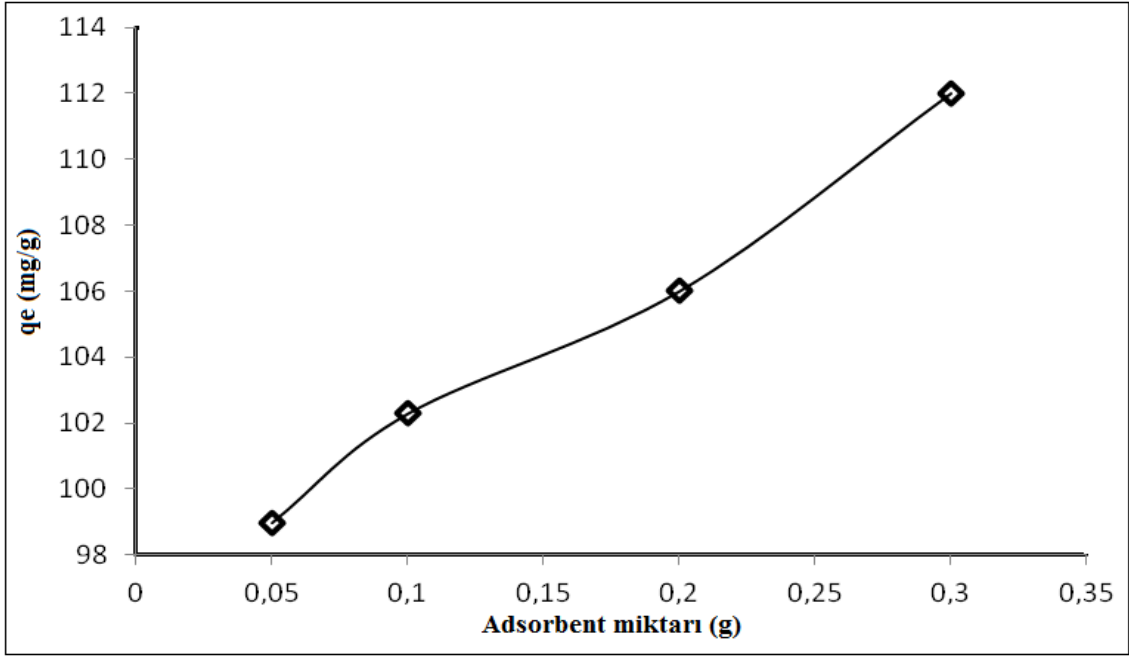
4.9.Malahit Yeşili Adsorpsiyonu Üzerine Adsorban Miktarının Etkisi



Şekil 4.28. Petrokok numunesinin malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine adsorban miktarının etkisi



Şekil 4.29. Ukrayna kömür numunesinin malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine adsorban miktarının etkisi



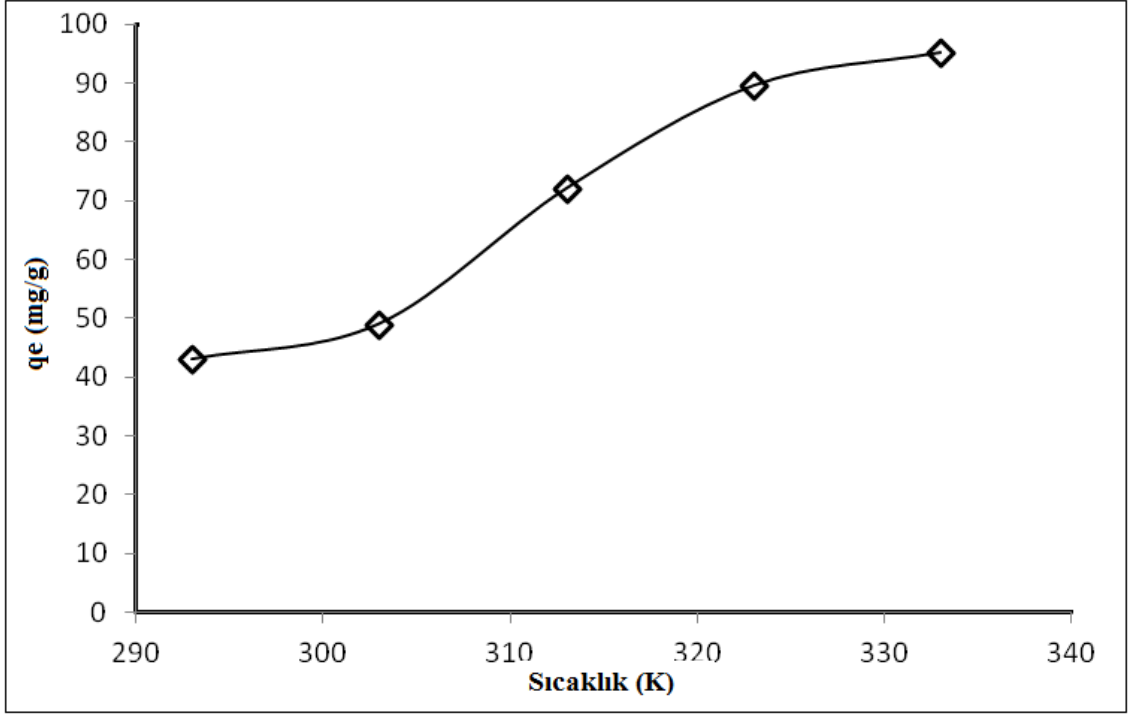
Şekil 4.30. Şırnak kömür numunesinin malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine adsorban miktarının etkisi

Şekil 4.28’de, Şekil 4.29’da ve Şekil 4.30’da sırası ile plazma uygulanmış petrokok numunesi, Ukrayna ve Şırnak kömür numuneleri ile çözeltilen malahit yeşili gideriminde adsorban miktarının etkisi başlangıç derişimi 100 mg/L olan 200 mL’lik malahit yeşili çözeltilerinin 0,05-0,30 g arasında değişen miktarlarda kömür numuneleri ile 30 °C’de temas ettirilerek incelenmektedir.

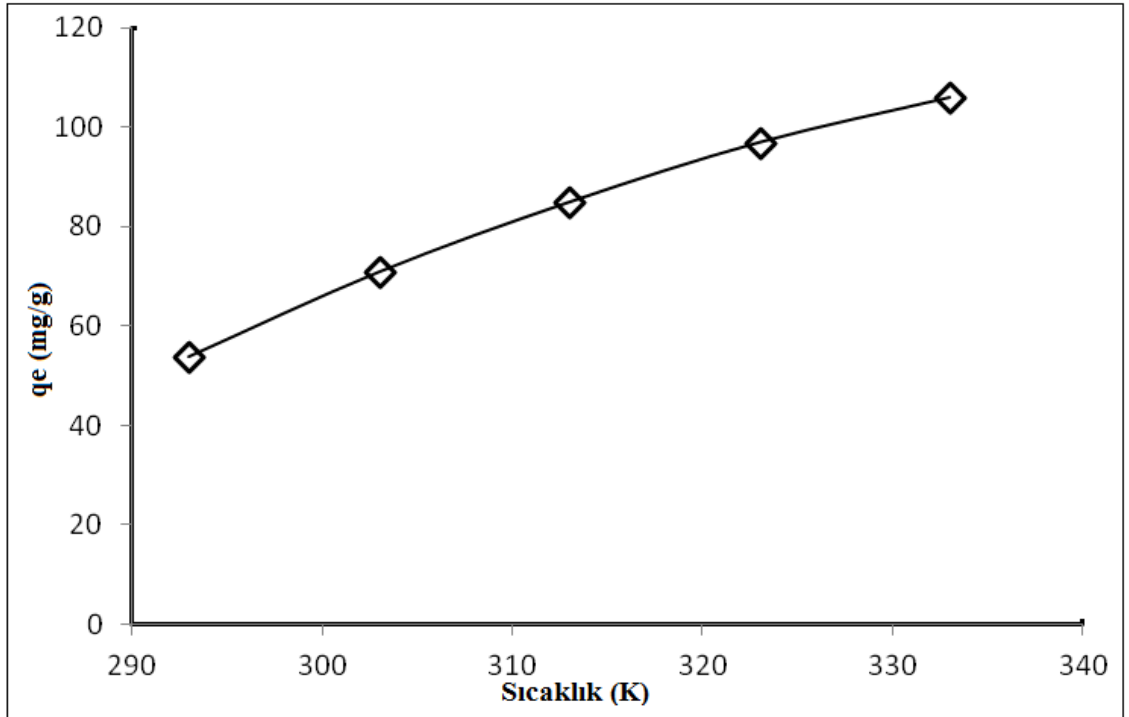
Şekil 4.28’de, Şekil 4.29’da ve Şekil 4.30’da görüldüğü gibi adsorban miktarının 0,30 g değerine kadar artmasıyla birlikte malahit yeşili adsorpsiyon değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Kömür numunelerinin miktarının artması sonucu adsorpsiyon yüzey alanının ve aktif bölgelerinin artmasının adsorpsiyonu arttırdığı söylenmektedir.

4.10. Sıcaklık Etkisi Ve Termodinamik Parametreleri

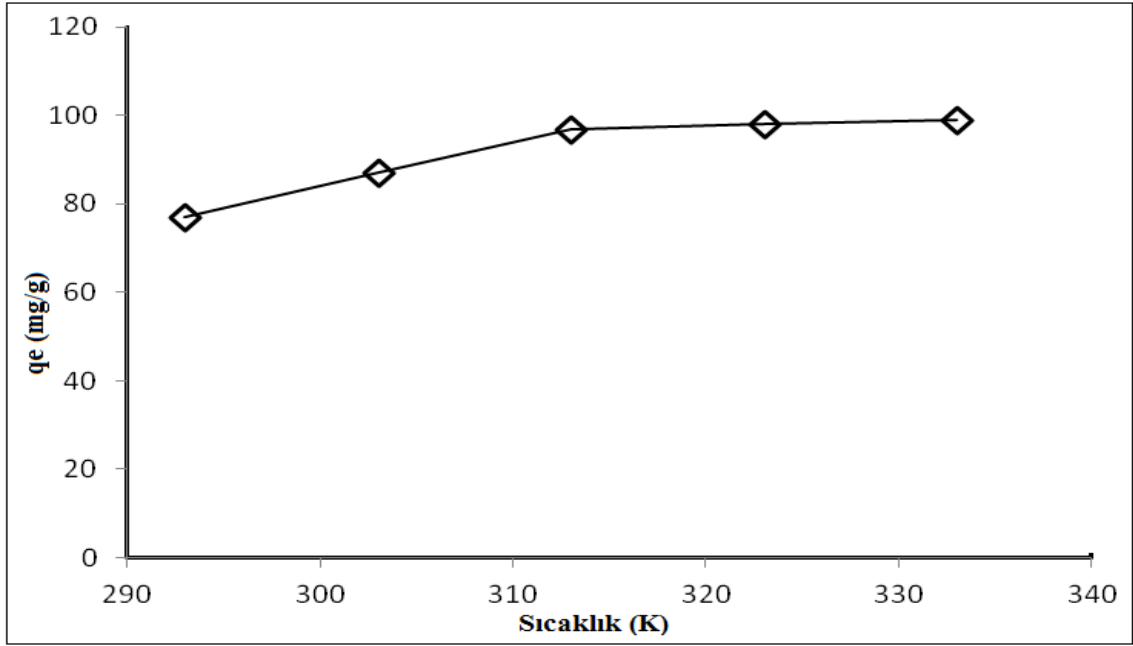
Çözelti sıcaklığının adsorpsiyon prosesine etkisi, 100 mg/L malahit yeşili konsantrasyonu ve 20, 30, 40, 50 ve 60 °C sıcaklıklarda 0,1 g kömür numuneleri ile test edilmektedir. Şekil 4.31’de, Şekil 4.32’de ve Şekil 4.33’te sırasıyla plazma uygulanmış petrokok numunesini, Ukrayna ve Şırnak kömür numuneleri ile malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine sıcaklık etkisini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, sıcaklık artışı ile malahit yeşili adsorpsiyon kapasitesinde bir artmayı ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 4.31. Plazma uygulanmış petrokok numunesine malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine sıcaklık etkisi



Şekil 4.32. Plazma uygulanmış ukrayna kömür numunesine malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine sıcaklık etkisi



Şekil 4.33. Plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesine malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine sıcaklık etkisi

Sıcaklığının boya adsorpsiyonu üzerindeki olumlu etkisi, adsorbanların yüzey bileşenlerinin yeniden oryantasyonu, hücre duvarındaki kimyasal parçaların iyonlaşması, dış sınır tabakası boyunca adsorbat difüzyon hızının adsorbentün gözeneklerine artmasından kaynaklanabilmektedir. Boya adsorpsiyonunun yüksek sıcaklıklarda, yani 60 °C'deki stabilitesi, adsorbe edilen boya iyonlarını kuvvetli bir şekilde tutan kompozitlerin stabil yapısına bağlı olabilir, bununla birlikte, doğal biyokütleler kullanılarak yapılan çalışmalar, daha yüksek sıcaklıkta adsorpsiyonun azaldığını ve bunun adsorpsiyondaki azalma, aktif bölgelerin zarar görmesi, adsorbanların ve adsorbat türlerinin aktif bağlanma bölgeleri arasında adsorptif kuvvetlerin zayıflaması ile ilişkili bulunmaktadır (Mushtaq ve ark., 2016; Rashid ve ark., 2016; Manzoor ve ark., 2017).

ΔG° , ΔH° ve ΔS° , adsorpsiyon sürecinin fizibilitesini ve kendiliğinden meydana gelip gelmediğini belirleyen termodinamik parametrelerdir. Bu parametreler, aşağıdaki ilişkiler kullanılarak araştırılmaktadır.

$$\Delta G^\circ = -RT \ln k \quad (4.1)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \quad (4.2)$$

$$\Delta G^\circ / RT = \Delta S^\circ / R - \Delta H^\circ / RT \quad (4.3)$$

k Langmuir sabitidir ve k'nin değeri Langmuir izoterminden hesaplandı ve ΔG° değerini hesaplamak için kullanıldı. ΔH° ve ΔS° değerleri, sırasıyla $\Delta G^\circ / RT$ 'ye karşılık $1/T$ 'ye karşılık eğim ve kesişme noktasından hesaplandı. ΔS° ve ΔH° değerleri $\ln k$ 'nin $1/T$ 'ye ait grafiğinin kesişim ve eğiminden belirlendi. Plazma uygulanmış petrokok, Ukrayna ve Şırnak kömür numuneleri için gözlenen ΔG° değerleri sırasıyla 168.76, 216.78 ve 148.11 kJ/mol olarak bulundu. ΔG° 'nin pozitif değerleri, reaktanları ürünlere dönüştürmek için adsorpsiyon reaksiyonunda enerjinin gerekli olduğunu ifade etmektedir. Tablo 4.6'da tüm kömür numuneleri için ΔH° ve ΔS° değerlerini vermektedir. ΔH° 'ın pozitif değeri endotermik süreci gösterir. ΔS° 'in negatif değeri, plazma ile modifiye edilmiş kömür numuneleri üzerine malahit yeşili adsorpsiyonunun bir ilişkisel mekanizma olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.6. Tüm numuler için ΔG° , ΔH° ve ΔS° değerleri

	Petrokok	Ukrayna	şırnak
ΔG° (kJ/mol)	168.76	216.78	148.11
ΔS° (J/mol K)	-278,19	-360,67	-253,41
ΔH° (kJ/mol)	84,49	107,5	71,36

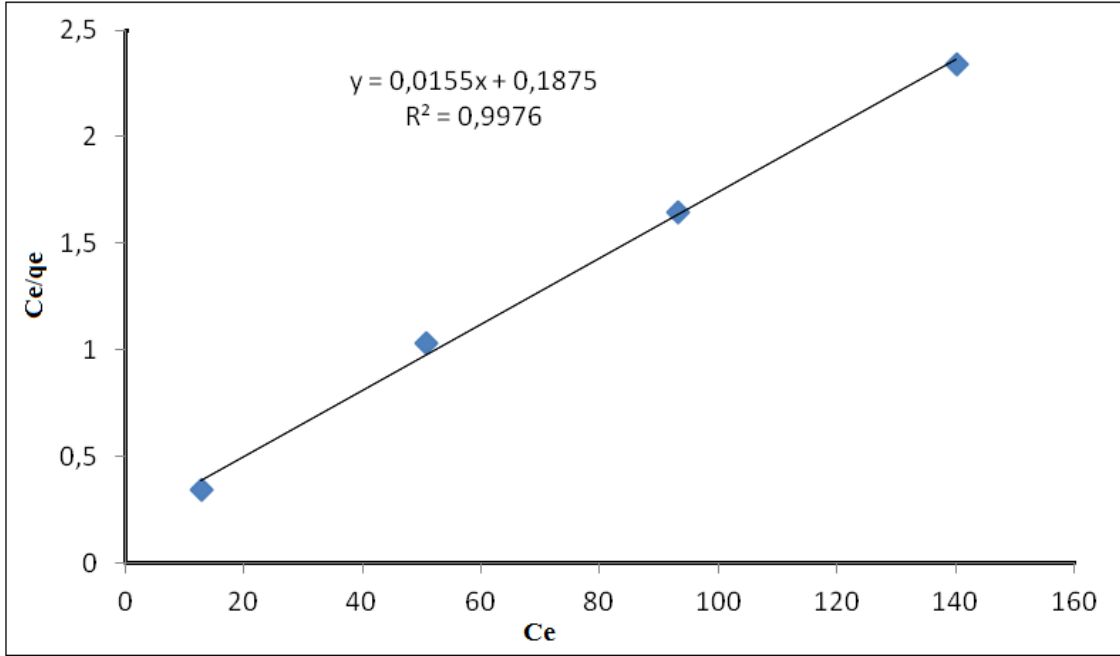
4.11. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon bir denge olayıdır. Elde edilen deneysel q_e ve C_e değerleri Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygulanmaktadır. Adsorpsiyon sabitlerinin elde edilmesinde Langmuir ve Freundlich eşitliklerinin lineer şekillerinden yararlanılmaktadır.

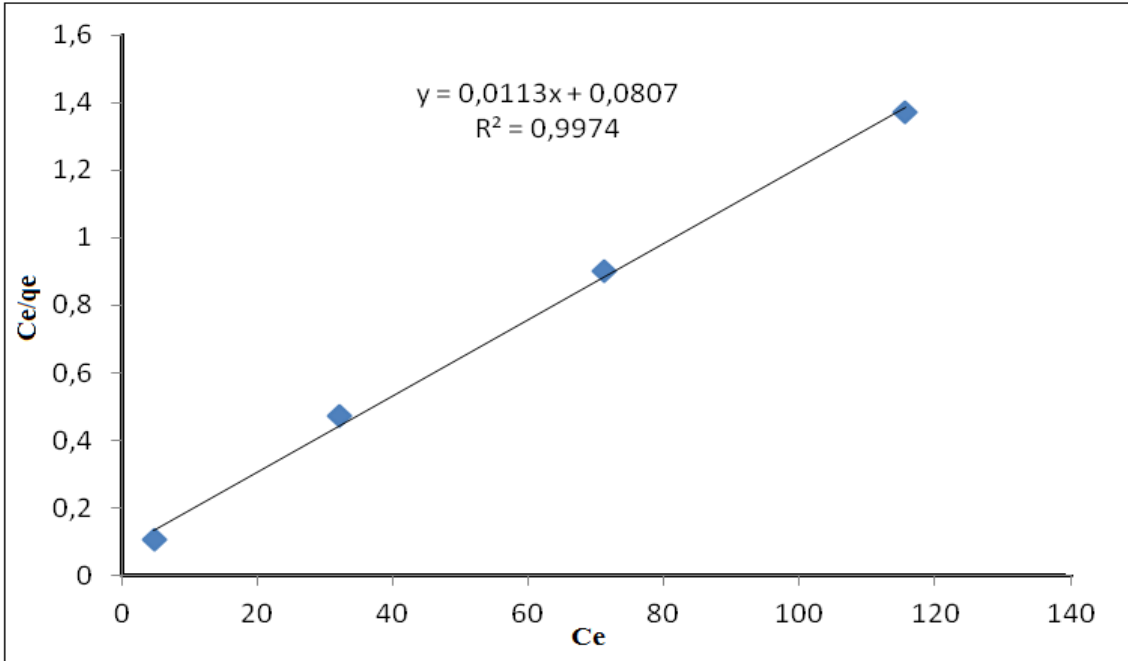
4.11.1. Langmuir izotermi

Langmuir adsorpsiyon modeline göre, adsorplanan moleküller adsorban yüzeyinde doymuş tek bir tabaka oluşturmaktadır. Eşitlik'den C_e değerlerine karşı q_e değerleri grafiğe geçirilirse eğrinin eğim ve kayması bize Langmuir sabitlerini vermektedir. Plazma uygulanmış petrokok numunesi, Ukrayna ve Şırnak kömür numuneleri için Langmuir adsorpsiyon izotermi Şekil 4.34'te, Şekil 4.35'te ve Şekil 4.36'daki gibi elde edilmiştir. Çizilen doğruların eğim ve kayma değerlerinden

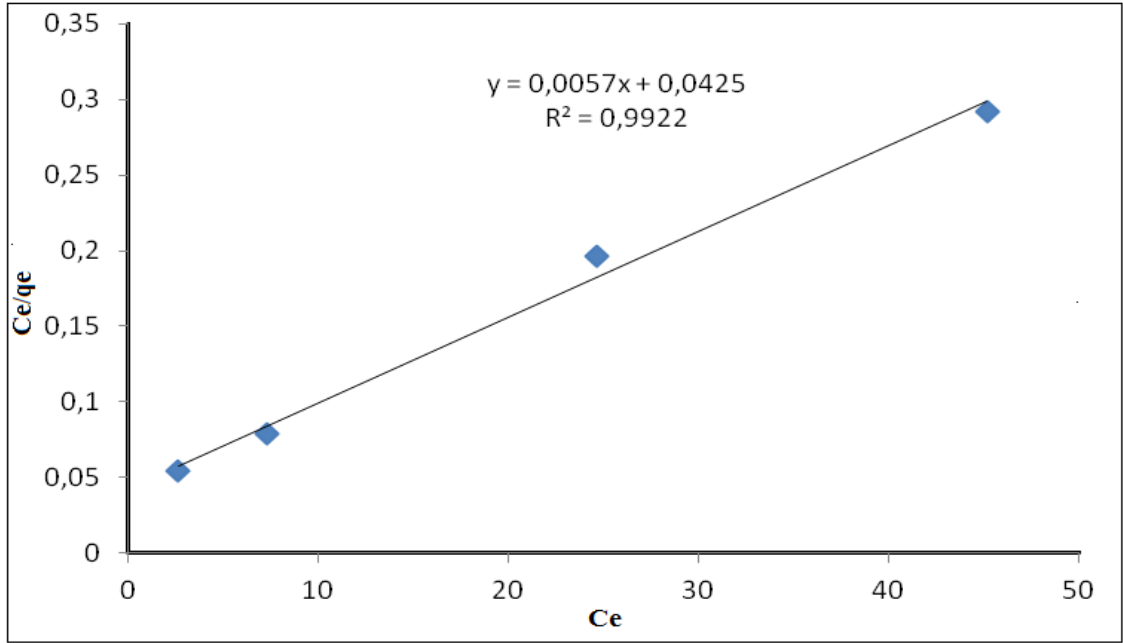
hesaplanan q_m ve b adsorpsiyon sabitleri ve korelasyon katsayıları Tablo 4.7'de sunulmaktadır.



Şekil 4.34. Petrokok numunesi için Langmuir izotermi



Şekil 4.35. Ukrayna kömür numunesi için Langmuir izotermi



Şıkil 4.36. Şırnak kömür numunesi için Langmuir izotermi

Tablo 4.7. Plazma uygulanmış kömür numuneleri üstüne malahit yeşilinin uzaklaştırılması için Langmuir izotermi

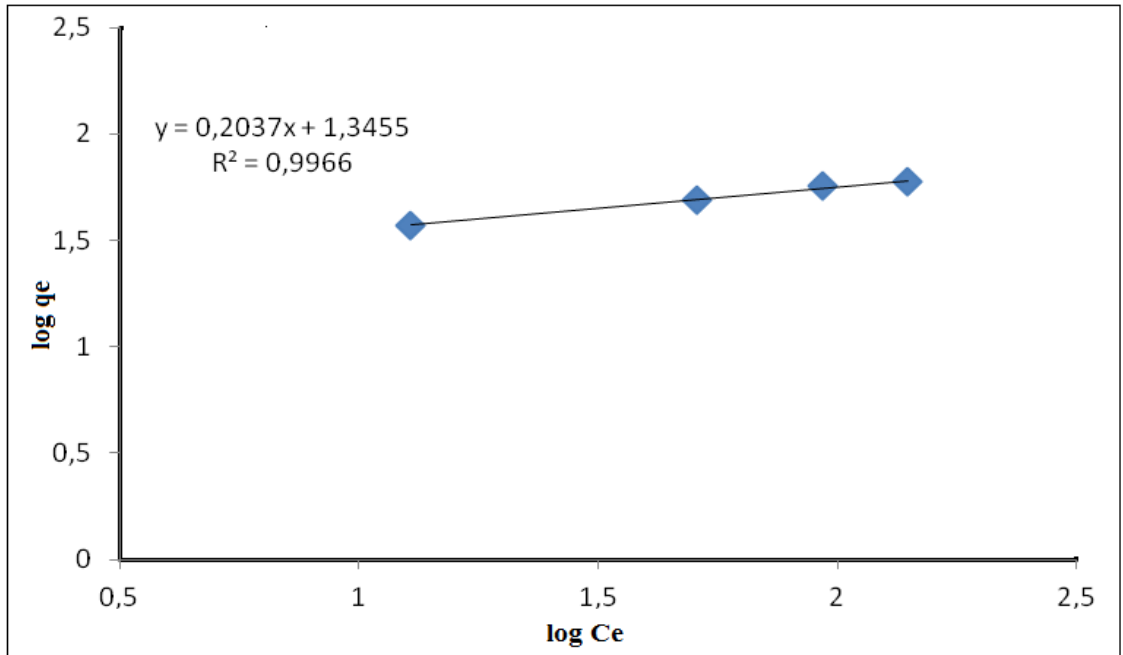
Langmuir İzoterm	Petrokok	Ukrayna	Şırnak
q_m (mg/g)	66.66	90.90	200
b (L/mg)	0.080	0.137	0.119
R_L	0.111	0.068	0.077
R^2	0.997	0.997	0.992

Plazma uygulanmış petrokok numunesi, Ukrayna ve Şırnak kömür numuneleri üstüne 30°C’de malahit yeşili adsorpsiyon kapasitesi (q_m) sırasıyla, 66.66, 90.90 ve 200 mg/g olarak elde edilmektedir. Malahit yeşilinin kömür numuneleri adsorbanına ilgisinin bir ölçütü olan ve Tablo 4.7’de gösterilen b sabitleri, yüksek korelasyon katsayıları, adsorpsiyon işleminin Langmuir modeline uygunluğunun yüksek olduğunu ifade etmektedir.

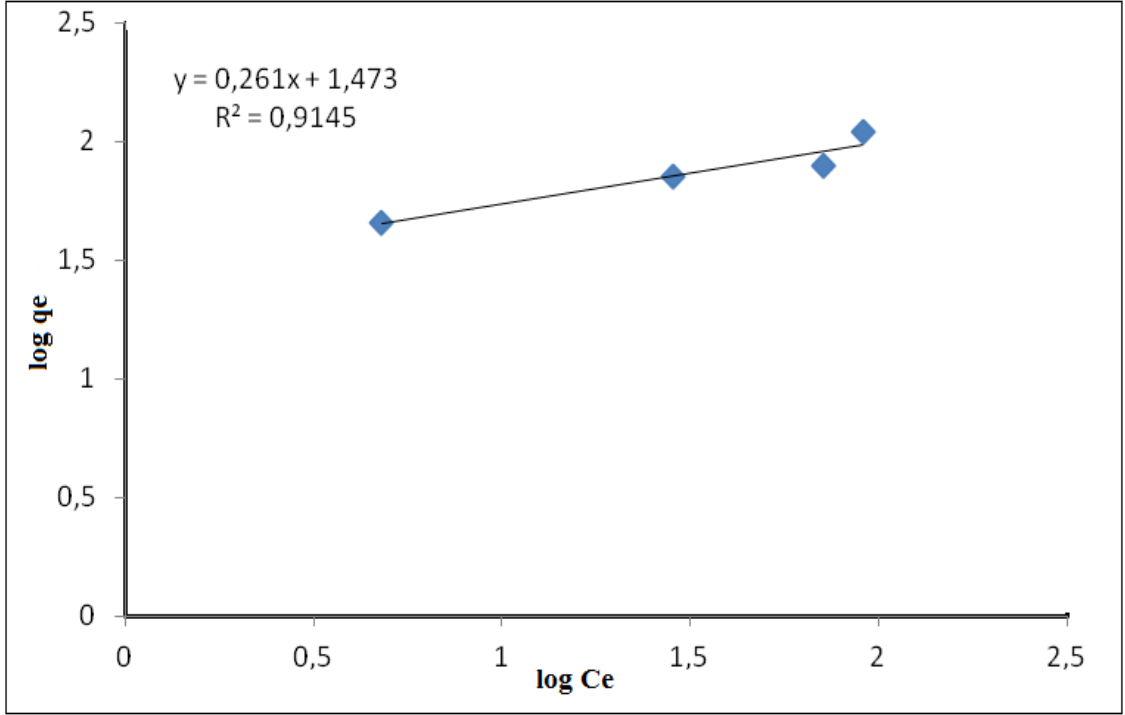
Ayrıca Tablo 4.7’de verilen adsorpsiyon sabiti, b değerleri kullanılarak boyutsuz sabit ayırma faktörü (R_L) değeri hesaplanmış ve sonuçları Tablo 4.7’de verilmektedir. R_L değeri ile Langmuir izoterminin önemli özellikleri açıklanabilmektedir. Bu sabitin 0 ile 1 arasında değerler alması adsorpsiyona elverişlilik durumunun sağlandığına işaret etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde R_L değerlerinin 0 ile 1 arasında kaldığı görülmektedir.

4.11.2. Freundlich izotermi

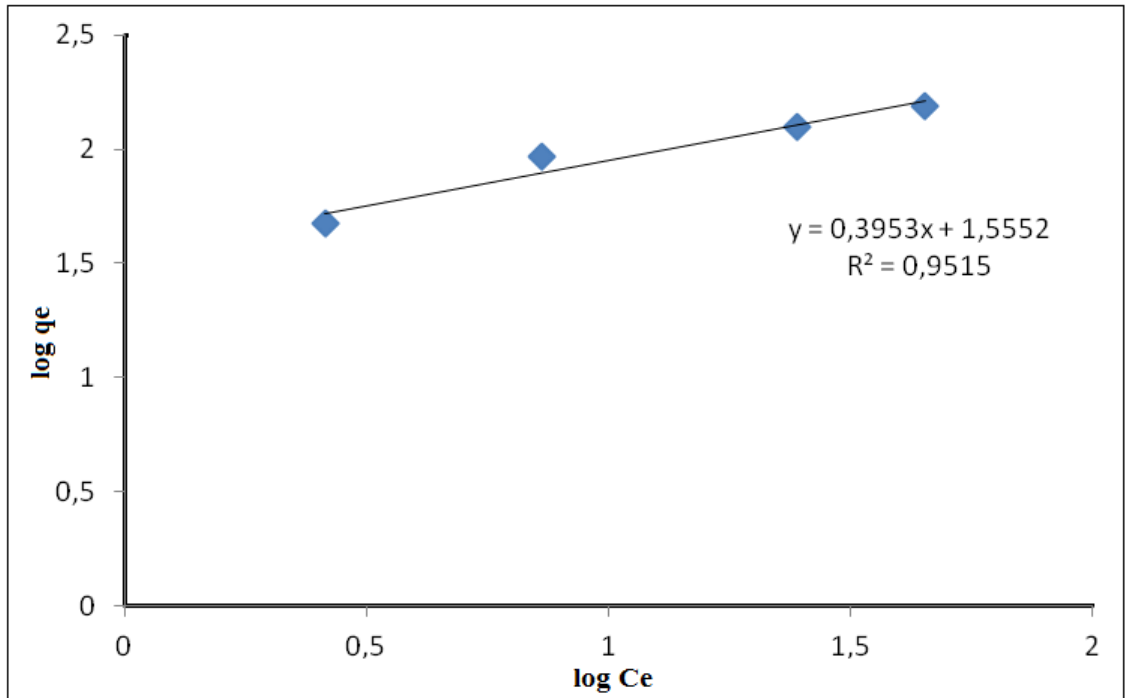
Freundlich izoterm modeli heterojen yüzey enerjileri için özel bir durum ifade etmektedir. Freundlich modeli de Langmuir modeli gibi tek tabakalı adsorpsiyonu tanımlamasına karşın Freundlich modeli daha gerçekçidir. $\log C_e$ ' ye karşı $\log q_e$ değerleri grafiğe geçirilerek eğrinin eğim ve kaymasından adsorpsiyon kapasitesini gösteren K_F ve adsorpsiyon şiddetini gösteren n değerleri bulunmaktadır. 30 °C sıcaklığında elde edilen Freundlich izotermi Şekil 4.37'de Şekil 4.38'de ve Şekil 4.39'da verilmektedir. Çizilen doğrunun ordinatı kesme noktasından hesaplanan K_F ve eğiminden hesaplanan n adsorpsiyon sabitleri ile korelasyon katsayıları Tablo 4.8'de sunulmaktadır. Adsorpsiyon kapasitesinin büyüklüğünü ifade eden K_F değeri plazma uygulanmış petrokok, Ukrayna ve Şırnak kömür numuneleri için sırasıyla 22.13, 29.71 ve 35.89 olarak bulunmaktadır. Adsorpsiyon şiddetinin göstergesi olan n değerleri ise tüm kömür numuneleri için 1'den büyük olup, geniş bir derişim aralığında iyi bir adsorpsiyonu ifade etmektedir. Tablo 4.8'de plazma uygulanmış kömür numuneleri üstüne çözültiden malahit yeşili adsorpsiyonunun Langmuir modeline kıyasla Freundlich adsorpsiyon modeline daha az uyduğu ve Freundlich modeli için daha düşük korelasyon katsayıları elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.37. Petrokok numunesi için Freundlich izotermi



Şekil 4.38. Ukrayna kömür numunesi için Freundlich izotermi



Şekil 4.39. Şırnak kömür numunesi için Freundlich izotermi

Tablo 4.8. Plazma uygulanmış kömür numuneleri üstüne malahit yeşilinin uzaklaştırılması için Freundlich izotermi

Freundlich İzotermi	Petrokok	Ukrayna	Şırnak
K_F	22.13	29.71	35.89
n	4.82	3.83	2.53
R^2	0.996	0.914	0.951

4.12. Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon sürecinin kinetiğini belirlemek amacıyla yalancı I. dereceden ve yalancı II. Dereceden kinetik modelleri uygulanmaktadır.

4.12.1. Yalancı birinci dereceden kinetik modeli

Plazma uygulanmış kömür numuneleri üzerine malahit yeşili adsorpsiyonunda, birinci dereceden adsorpsiyon hız sabitleri $\log(q_e - qt)$ 'ye karşı zaman değerlerinin grafiğinden elde edilen doğrunun eğiminden hesaplanmıştır. Elde edilen k_1 değerleri Tablo 4.9'da verilmektedir. Aynı tabloda elde edilen doğrunun korelasyon katsayısı ile birlikte, deneysel olarak bulunan ve grafiklerin çizilmesinde veri olarak kullanılan q_e , deneysel değerleri ile çizilen doğrunun kaymasından hesaplanan q_e , hesaplanan değeri de sunulmaktadır.

İdeal şartlarda, deneysel olarak bulunan q_e , deneysel değerinin q_e , hesaplanan değerine eşit olması gerekmektedir. Çizelgede sözü edilen değerler arasında bir miktar fark bulunduğu, korelasyon katsayısı değerinin 1'e yakın olmasına rağmen q_e , deneysel ve q_e , hesaplanan değerleri arasında oluşan bu fark nedeniyle adsorpsiyon sürecinin yalancı I. dereceden hız ifadesine uyduğunu söyleyemeyiz.

4.12.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik modeli

İkinci dereceden adsorpsiyon hız sabitini tayin etmek için t/qt 'ye karşı zaman değerleri grafiğe geçirilmektedir. Elde edilen doğrunun denklemi, eğim ve kayma değerlerinden hesaplanan hız sabiti k_2 ve q_e , hesaplanan değerleri Tablo 4.9'da Tablo 4.10'da ve Tablo 4.11'de sunulmaktadır.

Tablo 4.9’da Tablo 4.10’da ve Tablo 4.11’de görüldüğü gibi, yalancı II. dereceden kinetik model için çok yüksek korelasyon katsayısı elde edilmektedir. Aynı zamanda deneysel verilerden elde edilen q_e , deneysel değerleri ile teorik olarak bulunan q_e , hesaplanan değerleri birbirlerine yalancı II. dereceden kinetik modelde daha yakındır. Bu sonuçlara göre, plazma uygulanmış kömür numunelerinden elde adsorbanlar ile çözültiden malahit yeşili adsorpsiyonunun ikinci dereceden bir adsorpsiyon olduğu ifade edilebilmektedir.

Tablo 4.9. Plazma uygulanmış petrokok numunesi üstüne malahit yeşili adsorpsiyonun yalancı I.ve II.dereceden hız reaksiyonu kinetiklerinin karşılaştırılması

Başlangıç Konsantrasyonu (mg/L)	Yalancı I. Derece				Yalancı II. Derece		
	q_e,den (mg/g)	k_1 (1/min)	q_e,hes (mg/g)	R^2	k_2 (g/mgmin)	q_e,hes (mg/g)	R^2
50	37.17	0.012	15.02	0.929	0.014667	45.45455	0.994
100	49.25	0.017	15.79	0.951	0.004655	62.5	0.994
150	64.01	0.012	29.96	0.958	0.008895	76.92308	0.99
200	93.52	0.01	29.37	0.798	0.032	125	0.997
250	136.51	0.009	46.99	0.606	0.0045	166.6667	0.992

Tablo 4.10. Plazma uygulanmış ukrayna kömür numunesi üstüne malahit yeşili adsorpsiyonun yalancı I.ve II. Dereceden hız reaksiyonu kinetiklerinin karşılaştırılması

Başlangıç Konsantrasyonu (mg/L)	Yalancı I.Derece				Yalancı II. Derece		
	q_e,den (mg/g)	k_1 (1/min)	q_e,hes (mg/g)	R^2	k_2 (g/mgmin)	q_e,hes (mg/g)	R^2
50	45.21	0.013	24.72	0.988	0.01296	55.55	0.995
100	71.41	0.015	39.96	0.979	0.008643	90.90	0.996
150	78.90	0.01	41.72	0.916	0.00303	100	0.988
200	109.11	0.013	45.55	0.874	0.049	142.85	0.995
250	135.22	0.016	58.55	0.763	0,0045	166,66	0,995

Tablo 4.11. Plazma uygulanmış Şırnak kömür numunesi üstüne malahit yeşili adsorpsiyonun yalancı I.ve II.dereceden hız reaksiyonu kinetiklerinin karşılaştırılması

Başlangıç Konsantrasyonu (mg/L)	qe,den (mg/g)	Yalancı I.Derece			Yalancı II. Derece		
		k ₁ (1/min)	qe,hes (mg/g)	R ²	k ₂ (g/mgmin)	qe,hes (mg/g)	R ²
50	47.41	0.028	40.28	0.998	0.056333	76.92308	0.99
100	92.70	0.023	57.39	0.996	0.001385	166.6667	0.99
150	140.70	0.015	123.59	0.994	0.000568	200	0.985
200	193.51	0.013	125.21	0.988	0.000696	250	0.989
250	216.20	0.012	127.74	0.952	0.000563	333.3333	0.996

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında oksijen plazma uygulanmış kömür numunelerinin karakterizasyonu ve malahit yeşil boyar maddesinin sulardan uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Karakterizasyon için plazma uygulamasından önce ve sonra XPS, FTIR, SEM ve BET yöntemleri kullanılmıştır. Tüm karakterizasyon metodlarından sonra numunelerin yüzeyinde anlamlı değişiklikler görülmüştür. Plazma uygulaması ile kömür numunelerinin yüzeyinde oksijenli fonksiyonel grupların arttığı XPS ve FTIR analizlerinden bulunmuştur. Plazma uygulaması için oksijen gazı, beş dakika uygulama zamanı ve %80 plazma gücü kullanıldı. Modifiye edilen kömür numuneleri adsorbent olarak malahit yeşili boyar maddesinin gideriminde kullanılmıştır. Plazma uygulanmış kömür numuneleri kullanılarak malahit yeşili boyasının uzaklaştırılması, başlangıç pH'ı, adsorban dozu, başlangıç boya konsantrasyonu ve sıcaklık gibi farklı parametrelerin değiştirilmesiyle incelenmiştir. Aynı zaman plazma uygulanmış kömür numuneleri için sıfır yük noktası bulunmuştur. En uygun pH olarak 8 bulunmuştur. Elde edilen deneysel veriler için hem Langmuir hem de Freundlich izotermi kullanıldı. Korelasyon katsayılarından en uygun izoterm olarak Langmuir izotermi bulunmuştur. Plazma uygulanmış petrokok, Ukrayna ve Şırnak kömür numuneleri üstüne 30°C'de malahityeşili adsorpsiyon kapasitesi (qm) sırasıyla, 66.66, 90.90 ve 200 mg/g olarak elde edilmiştir. Adsorpsiyon sürecinin kinetiğini belirlemek amacıyla yalancı I. dereceden ve yalancı II. dereceden kinetik modelleri uygulanmıştır. Yalancı II. dereceden kinetik model için çok yüksek korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, plazma uygulanmış kömür numunelerinden elde adsorbanlar ile çözüldüden malahit yeşili adsorpsiyonunun ikinci mertebeden bir adsorpsiyon olduğu ifade edilmiştir. Termodinamik parametreler elde edildi. Plazma uygulanmış petrokok, Ukrayna ve Şırnak kömür numuneleri için gözlenen ΔG° değerleri sırasıyla 168.76, 216.78 ve 148.11 kJ/mol olarak bulundu. ΔG° 'nin pozitif değerleri, reaktanları ürünlere dönüştürmek için adsorpsiyon reaksiyonunda enerjinin gerekli olduğunu ifade etmiştir. ΔH° 'nin pozitif değeri endotermik süreci göstermiştir. ΔS° 'nin negatif değeri, plazma ile modifiye edilmiş kömür numuneleri üzerine malahit yeşili adsorpsiyonunun bir ilişki mekanizma olduğunu göstermiştir. Böylece, kömür numunelerinin yüzey

modifikasyonu için oksijen plazmanın uygun olduğu ve elde edilen adsorbanın malahit yeşili adsorpsiyonu için etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

5.2. Öneriler

Yeşil kimya, kimyasal ürünlerin tasarımında, üretiminde ve uygulamasında tehlikeli maddelerin kullanımını veya üretimini azaltan veya ortadan kaldıran bir dizi ilkenin kullanılmasıdır. 'Yeşil kimya'da yerleşik olan temel kavram, temel düzeyde kirliliğin önlenmesidir. Plazma teknolojisinin atıkların iyileştirilmesindeki uygulamaları "yeşil kimya" tanımını karşılamaktadır. Plazma kimyası, modern çevresel analizlerin ön saflarında yer almaktadır. Bununla birlikte, plazmanın benzersiz özellikleri, çevresel kirlilikleri azaltma ve çevresel analizler yapmada çok daha geniş uygulamalara neden olmalıdır. Plazmalar, gelecekteki çevresel alan araştırmalarında giderek daha değerli çevresel araçlar haline gelecektir. Bu tez kapsamında değişik kömür türleri üzerine belli plazma gücü ve plazma uygulama süresinde uygulanan plazma modifikasyonu ile çevre için kirlilik nedeni olan malahit yeşili boyar maddesinin giderilmesi amaçlanmıştır. Amaçlanan hedefe de ulaşılmıştır. Bununla birlikte, plazma işlemlerinin farklı uygulanması sonucu daha farklı sonuçlar elde edilebilir. Bunu sağlamak için plazma uygulama süresi, plazma uygulama gücü, farklı plazma gazları ve bunların akış hızları optimize edilmesi ile daha farklı adsorbentler elde edilebilir. Aynı zamanda, farklı ucuz ve bol doğal materyallere plazma modifikasyonu ile daha farklı materyaller elde edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abak, H., 2008. Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisinin Fındık Kabuğu Yüzeyine Adsorpsiyon ve Adsorpsiyon Kinetiği. Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 6–8.
- Akan, T., 2016. Maddenin 4. Hali Plazma ve Temel Özellikleri, *Elektronik Çağdaş Fizik Dergisi*, Çağdaş Fizik-e, 4. sayı, 2005.
- Akçay, E., 2018. Tirebolu Bentoniti Üzerine Adsorpsiyon İle Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisinin Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 16.
- Akdoğan, M., 2012. Tütün Tarla Atığı ve Tütün Tarla Atığı Aktif Karbonlarının, Atık Sulardan Boyar Madde, Fenol Ve Pestisit Gideriminde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 21.
- Alioğlu, E., 2013. Katyonik Boyarmaddelerin Aktif Kömür Üzerinde Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3–4.
- Anonim., 2011. Taşkömürü Sektör Raporu, *T.C Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü*, Mart, 6–7.
- Avcı, V., 2017. Elma Kabuğu (Van - Muradiye) Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Tekstil Boyar Maddelerin Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, 4.
- Aydoğdu, G., 2012. Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularında Renk Gideriminin Entegre Arıtım Yaklaşımıyla İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1–25.
- Bahar, N., 2011. Şeker Pancarı Küspesi Modifiye Ürünleriyle Sulu Ortamlardan Bazik Boyar Maddeleri Giderilmesi. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 11.
- Bayrak, E., 2008. Pirinç Kabuğu ve Pirinç Kabuğu Külü Kullanılarak Sulu Ortamdan Katyonik Boyar Madde Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 5.
- Biçer, G., 2017. Nio ve Zno Bazlı Nanomalzemeler İle Boyarmadde Adsorpsiyonu: Cevap Yüzey Yöntemi, Denge, Kinetik Ve Termodinamik Analiz Yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 22.
- Çakır, M.Ö., 2016. Zonguldak Kömürünün 1-Metilnaftalin İçindeki Çözünürlüğüne İyonik Sıvıların Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 1–8.
- Canbakış, A., 2018. Manyetit-Hidroksiapatit Nanokompozit İle Atıksulardan Adsorpsiyon Yöntemi İle Çinko Gideriminin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 19.

- Çetinkaya Özdoğan, M., 2016. Pliyosen Yaşlı Kömürlü Birimlerin (İstasyon Mevkii-Ilgın, Konya) Organik Fasiyes Özellikleri Ve Kömürlerin Çevresel Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya, 1.
- Çevik, T., 2013. Mikrodalga Ekstraksiyon Yöntemiyle Zonguldak Kömürünün N-Metil 2-Prolidon(Nmp) İçindeki Çözünürlüğünün Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 4–5.
- Çoksöyler, D.E., 2018. Kızılılık Çekirdeğinden Elde Edilen Aktif Karbonun Tekstil Boyar Maddesi Olan Rhodamine B'yi Adsorplama Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 13–14.
- Çulcu, L., 2008. Tekstil endüstrisinde kullanılan asit mavisi 62 boyar maddesinin çapraz bağlı kitosan üzerine adsorpsiyonunun incelenmesi. *Animal Genetics*, 39(5), 24.
- Desimoni, E., Casella, G.I., Salvi, A.M., 1992. XPS/XAES study of carbon fibres during thermal annealing under UHV conditions. *Journal of Carbon*. 30-35. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(92\)90170-2](https://doi.org/10.1016/0008-6223(92)90170-2) [Ziyaret Tarihi: 4 Ocak 2018].
- Dörtkol, M., 2014. Doğal ve Modifiye Kil İle Sulu Çözeltilerden Boyar Madde Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Nevşehir, 5–6.
- Ertit Taştan, B., 2008. Atıksulardan Bakır (II), Nikel (II), Krom (VI) Ve Reaktif Boyar Madde Gideriminde *Aspergillus* sp. Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (İi).
- Feizi Khanghah, M., 2014. Plazma Polimerizasyonu Tekniği İle Elde Edilen Nano Boyutlarda Polianilin İnce Filmlerin, Elektronik ve Optik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 22–29.
- Fındık, M.S., 2007. Türkiye’de Çevre Kirliliğine Yol Açan Unsurların Önlenmesi Çerçevesinde Yeşil Vergi. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul,
- Gökalp, S.M., 2007. Plazma Teknolojisinin Deri İşlentilerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 5(2), 24–27.
- <https://doi.org/10.13140/2.1.4222.1763> [Ziyaret Tarihi: 27 Kasım 2018].
- Göze, B., 2013. Removal Of Heavy Metal Ions And Dyes From Aqueous Media With The Adsorption Method By Using Micropolymeric Materials, Chitin and Chitosan. Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 13.
- Gülec, H. A., 2012. Gıda Endüstrisinde Isıl Olmayan Plazma Teknolojileri. *Trakya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, Edirne, 37, 295–302.
- Gülecan, Ö., 2011. Boyar Madde İçeren Sulu Çözeltilerin Fotokatalitik Oksidasyonu: Bentonit Ve Zeolit Minerallerinin Karşılaştırılmalı Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze, 20–21.

- Günaydın, B., 2009. Preparation of Electrochemical Sensor by Plasma Polymerization Technique for Phenolic Compounds. Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara. Ispc_19, 41–45.
- Işık Arslanoğlu, H., 2012. Çeşitli Yöntemlerle Tarımsal Atıklardan Üretilen Aktif Karbonların Karakterizasyonu ve Kesikli Sistemde Boyar Madde Giderimine Uygulanması. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 9.
- Kapdan, I., ve Kargı, F., 2000. Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi. *Turkish Journal Of Engineering & Environmental Sciences*, 24, 161–169.
- Karaca, D., 2008. Atıksudan Bazik Boyar Madde Astrazon Blue Fgrl Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4–5.
- Karahan, H.A., 2007. Atmosferik Plazma Kullanılarak Doğal Liflerinin Yüzeysel Özelliklerinin Değiştirilmesi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 36–54.
- Karaman, R., 2006. Türkiye'nin Enerji Sektörü Ekonomisinde Kömürün Yeri-Kömür Aramalarında Uygulanan Yeni Yöntemler. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1–2.
- Keskin, O., 2017. Argon Plazma Jet Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1–9.
- Kopuz, D., 2011. Kömür-Biyokütle Karışımlarının Yanma Davranımlarının İncelenmesi. *Journal of Strategic Studies*, 34(2), 5. <https://doi.org/10.1080/01402390.2011.569130> [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2018].
- Kule, L., 2014. Elma ve Portakal Kabuğu Üzerine Malaşit Yeşilinin Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kilis, 39–40.
- Kutlu, B., 2008. Plazma teknolojisi kullanılarak çeşitli doğal ve sentetik liflerin buruşmazlık ve güç tutuşurluk özelliklerinin geliştirilmesi. Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 3-15.
- Kuyucu, A.E., 2013. Zivzik narı (siirt)'ndan elde edilen aktif karbonun karakterizasyonu ve boyar madde adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, 1.
- Kuzuluk, E., 2014. Farklı Miktar Ve Özellikteki Kömür Yığınlarının Kendiliğinden Yanma Davranışları, Önlenmesi Ve Önceden Tespit Edilmesine Bir Örnek; Çayırhan Kömür Stokları. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 3–4.
- Manzoor, Q., Sajid, A., Hussain, T., Iqbal, M., Abbas, M., Nisar, J., 2017. Efficiency of immobilized Zea mays biomass for the adsorption of chromium from simulated media and tannery wastewater. *Journal of Materials Research and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.05.016>
- Mushtaq, M., Bhatti, H. N., Iqbal, M., Noreen, S., 2016. Eriobotrya japonica seed biocomposite efficiency for copper adsorption: Isotherms, kinetics, thermodynamic and desorption studies. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.013> [Ziyaret Tarihi: 4 Ocak 2018].

- Oktar, T., 2010. Çevre Kirliliği Sorunu ve Katı Artıkların Ekonomik Değerlendirilmesi (İstanbul Örneği). Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*, İstanbul,
- Öncel, M., 2015. Zeytin Posası (Pirina) Üzerine Metil Viyoletin Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyonu. *Journal of applied microbiology*, 119(3), 859-867.
- Öter, Ç., 2018. Sulu Çözeltilerden U(VI) İle Th(IV)'ün Farklı Adsorbanlarla Adsorpsiyonunun İncelenmesi ve Sentetik Radyoaktif Atık Sulara Uygulanması. Doktora Tezi, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, (VI), 38.
- Özcan, Ö., 2012. Tekstil Atık Sularındaki Boyar Maddelerin Modifiye Killer İle Adsorpsiyon Yöntemi İle Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-13.
- Özgen, S., 2014. Linyit Kömürlerinden Organik Kükürdün Uzaklaştırılabilirliğinin Araştırılması. *British Journal of Psychiatry*, 205(01), 76-77. <https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a> [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2018].
- Öztürk, G., 2018. Farklı Adsorbanlar Kullanılarak Atık Sulardan Reaktif Boyaların Gideriminde Adsorpsiyon Koşullarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik, 17.
- Öztürk, Ö., 2002. Çevre Kirliliği ve Hukuki Sorumluluk. Yüksek Lisans Tezi, *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Mersin, 803, 2-3. <https://doi.org/10.1306/0329171621117056> [Ziyaret Tarihi: 21 Ekim 2018].
- Porgalı Tüzer, E., 2018. Edta Modifiye Edilmiş Bifonksiyonel Tio²'in Sentezi Ve Metal İyonlarının Adsorpsiyonu İle Organik Bileşiklerin Fotokatalitik Yıkımı Amacıyla Kullanımı. Doktora Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, 42-43.
- Rashid, A., Bhatti, H. N., Iqbal, M., Noreen, S., 2016. Fungal biomass composite with bentonite efficiency for nickel and zinc adsorption: A mechanistic study. *Ecological Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.03.014> [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2018].
- Şengüler, İ., 2006. Ülkemiz Enerji Bütünleşmesinde Marmara ve Trakya Bölgesi Kömürlerinin Yeri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Enerji Dairesi Başkanlığı 06520 Ankara, 1-7.
- Şimşek, G., 2016. Fındık Çotanağından Sülfürik Asitle Hazırlanan Aktif Karbon Üzerinde Metilen Mavisinin Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (July 2012), 7. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3343.4640> [Ziyaret Tarihi: 22 Ekim 2018].
- Sülkü, A.S., 2012. Atıksulardan Boyar Maddelerin Adsorpsiyon Yöntemi İle Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11.
- Teke, E., 2012. Vakum Ortamında Plazma Kaplama Ve Plazma Parametrelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 8-10.

- Terzi, S.M., 2018. Aktif Karbon Üzerinde Nikotinik Asit Adsorpsiyonunun İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 8.
- Tezcan, C., 2011. Doğal Ve Gemini Yüzey Aktif Maddelerle Modifiye Edilmiş Klinoptilolit Üzerinde Boyar Madde Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 43–44.
- Tözüm, S., 2009. Pomza İle Zeytin Atıksularından (Karasu) Adsorpsiyonla Kirleticilerin Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 15–16.
- Türker, M.İ., 2008. Farklı Fonksiyonel Gruplar İçeren Polimerik Filmlerin Tasarımı Ve Katalaz Enziminin Tersinir Adsorpsiyonu Çalışmaları. *Animal Genetics*, 39(5), 561–563.
- Uraz, E., 2015. Çinkonun Bentonit İle Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 58.
- Varlıklöz, H., 2018. Adsorpsiyon Denge Ve Kinetik Çalışmalarında Adsorbent Olarak Kayısı Çekirdeğinin Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, 7.
- Xia, W. ve Yang, J., 2013. Effect of pre-wetting time on oxidized coal flotation. *Powder Technology*, 250, 63–66. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.10.009> [Ziyaret Tarihi: 24 Aralık 2018].
- Xia, W., Yang, J., Liang, C., 2014. Investigation of changes in surface properties of bituminous coal during natural weathering processes by XPS and SEM. *Applied Surface Science*. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.12.151> [Ziyaret Tarihi: 24 Aralık 2018].
- Yıldırım, Ö., 2016. Metilen Yeşilinin Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyon Yöntemi İle Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12.
- Yıldız, Ö., 2017. Çözücü Ekstraksiyonu İle Zonguldak Kömüründen Kül İçeriği Azaltılmış Katı Ekstraktların Hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 2–3.
- Yılmaz, N., 2007. Doğal Kil Minareli Bentonit İle Boyar Maddelerin Adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, 9–10.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı Gülten ELÇİ ÖLÇENOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi 29.06.1993 SİİRT
Telefon
E-posta elcigulten@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: 14 Eylül Anadolu Lisesi, Merkez, SİİRT	2011
Üniversite	: Siirt Üniversitesi, Merkez, SİİRT	2015
Yüksek Lisans	: Siirt Üniversitesi, Merkez, SİİRT	2019
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Gülten Elçi Ölçenoğlu, Cafer SAKA. Plazma Yöntemi ile Modifiye Edilmiş Şırnak Kömür Numunesi ile Metilen Mavisi Boyar Maddesinin Adsorpsiyonu, Uluslararası Bilim ve Mühendislik Sempozyumu'19, 20-22 Haziran 2019, Siirt, Türkiye. 2019

Gülten Elçi Ölçenoğlu, Cafer SAKA. Petrokok Modifikasyonu İçin Soğuk Plazma Uygulamasının Etkileri, Uluslar arası Bilim ve Mühendislik Sempozyumu'19, 20-22 Haziran 2019, Siirt, Türkiye. 2019