T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ORMAN GÜLÜ YAPRAĞI İLE AKTİF KARBON ÜRETİMİ VE EVSEL ATIKSULARDA KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

DOĞAN ÇAKIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOÇ. DR. AYDIN TÜRKYILMAZ

TEMMUZ - 2023
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Doğan ÇAKIR tarafından hazırlanan "**ORMAN GÜLÜ YAPRAĞI İLE AKTİF KARBON ÜRETİMİ VE EVSEL ATIKSULARDA KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **11.07.2023** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Aydın TÜRKYILMAZ Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Yasemin TURHAN Balıkesir Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Kaan IŞINKARALAR Kastamonu Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü V. Doç. Dr. Osman ÇİÇEK .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Doğan ÇAKIR

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORMAN GÜLÜ YAPRAĞI İLE AKTİF KARBON ÜRETİMİ VE EVSEL ATIKSULARDA KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

DOĞAN ÇAKIR

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BLİM DALI
DANIŞMAN: DOÇ. DR. AYDIN TÜRKYILMAZ

Aktif karbon, büyük kristal ve amorf yapıda olan, genişletilmiş yüzey alanı bulunan, karbon içeriği yüksek adsorbent malzemelere verilen genel bir tanımdır. Gözenekli bir yapıya sahip olan aktif karbonun 1 gramındaki yüzey alanı, 300 – 2000 m^2 kadar olabilmektedir. Aktif karbonu, bu denli önemli bir adsorbent haline getiren özelliklerin başında yüzey alanının büyüklüğü gelmektedir. Birçok farklı maddeden aktif karbon üretilebilmektedir. Üretimde kullanılacak olan aktif karbona ait ham madde seçimi yapılırken yüksek karbon içeriği, düşük inorganik bileşeni, kolay elde edilir olması, maliyetinin düşük olması depolanma esnasında herhangi bir bozulma meydana gelmemesi gibi kriterleri sağlaması gerekmektedir. Kömür, odun, talaş, mısır koçanı, fındıkkabuğu, zeytin çekirdeği, meyve kabukları gibi maddelerden aktif karbon üretilebilir. Aktif karbon, fiziksel ve kimyasal aktivasyon olmak üzere iki şekilde üretilmektedir. Fiziksel aktivasyon ham maddenin pirolizi ya da karbonizasyonu ve karbonize yapının aktivasyonu olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Kimyasal aktivasyon işlemi ise ham madde ile kimyasal aktivasyon ajanının belirli bir sıcaklıkta bozundurulması esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada orman gülü bitkisinin yapraklarından kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon elde edilmiştir. Orman gülü bitkisinin farklı sıcaklıklarda $ZnCl_2$ ve LiOH aktivasyonu ile üretilen aktif karbonlar, BET yüzey alanı ölçümleri, FTIR-ATR analizleri ve SEM-EDX görüntüleri kullanılarak karakterizyonu elde edilmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında adsorbentin adsorplama kapasitesinin ölçen en önemli parametrelerden biri BET yüzey alanıdır. Dolayısıyla bu çalışmada orman gülü bitkisinden elde edilen aktif karbonların yüzey alanlarını belirlemek için yüzey alanına aktivasyon ajanı ve sıcaklığın etkileri araştırılmıştır. Elde edilen aktif karbonlardan en yüksek yüzey alanına sahip örnek ile evsel atıksu örneğinden KOİ giderim verimi araştırılmıştır. Farklı sıcaklıklarda ve farklı pH ortamında gerçekleştirilen adsorpsiyon sonucunda aktif karbonların yüzey alanları, 3M $ZnCI_2$ ile 1227 m^2/g ve 5 M LiOH ile de 205 m^2/g olarak bulunduğu ve aktif karbonların KOİ gideriminin artan sıcaklığı ile arttığı ve artan pH ile azaldığı sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Aktif Karbon, Adsropsiyon, Orman Gülü

Temmuz 2023, 60 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

INVESTIGATION OF THE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON AND THE REMOVAL OF CHEMICAL OXYGEN REQUIREMENTS IN DOMESTIC WASTEWATER BY RHODODENDRON

DOĞAN ÇAKIR

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPAERTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
SUPERVISOR: DOÇ. DR. AYDIN TÜRKYILMAZ

Activated carbon is a general definition given to adsorbent materials with large crystalline and amorphous structure, expanded surface area, and high carbon content. The surface area of 1 gram of activated carbon, which has a porous structure, can be 300 – 2000 m^2. The main feature that makes activated carbon such an important adsorbent is the size of its surface area. Activated carbon can be produced from many different materials. When choosing the raw material of the activated carbon to be used in production, it is necessary to meet the criteria such as high carbon content, low inorganic component, easy to obtain, low cost, and no deterioration during storage. Activated carbon can be produced from materials such as coal, wood, sawdust, corn cobs, nutshells, olive seeds, fruit peels. Activated carbon is produced in two ways: physical and chemical activation. Physical activation is carried out in two stages: pyrolysis or carbonization of the raw material and activation of the carbonized structure. The chemical activation process is based on the decomposition of the raw material and the chemical activation agent at a certain temperature. In this study, activated carbon was obtained from the leaves of the rhododendron plant by chemical activation method. The characterization of the rhododendron plant was obtained by using activated carbons, BET surface area measurements, FTIR-ATR analyzes and SEM-EDX images produced by the activation of $ZnCl_2$ and LiOH at different temperatures. BET surface area is one of the most important parameters measuring the adsorption capacity of the adsorbent in adsorption studies. Therefore, in this study, the effects of activation agent and temperature on the surface area were investigated in order to determine the surface areas of activated carbons obtained from the rhododendron plant. COD removal efficiency was investigated from the sample with the highest surface area of the obtained activated carbons and the domestic wastewater sample. As a result of the adsorption carried out at different temperatures and in different pH environments, the surface areas of activated carbons were found to be 1227 m^2/g with 3M $ZnCl_2$ and 205 m^2/g with 5 M LiOH, and it was concluded that the COD removal of activated carbons increased with increasing temperature and decreased with increasing pH.

KEYWORDS: Activated Carbon, Adsorption, Rhododendron

July 2023, 60 Page

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve birikimleriyle çalışmalarıma yön veren, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Aydın Türkyılmaz'a bana gösterdiği sabır ve ilgiden dolayı en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tüm eğitim öğrenim hayatım boyunca beni destekleyerek bugünlere gelmemi sağlayan, her türlü fedakârlığı gösteren, haklarını asla ödeyemeyeceğim kıymetli annem Gamze ŞENOL'a ve kıymetli babam Cumhur ÇAKIR'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Her koşulda yanımda olarak bana güç veren, bu süreçteki en büyük destekçim olan değerli kardeşim Kadir ÇAKIR'a ve en zor anlarımda yanımda olan, kardeş bildiğim, kadim dostum Emre YALÇIN'a teşekkürlerimi sunarım.

DOĞAN ÇAKIR

Kastamonu, 2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **ix**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **xi**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Evsel Nitelikli Atıksular 2
1.1.1 Atık Suların Kirlilik Parametreleri 3
1.1.2 Atık Su Karakterizasyonunda Başlıca Parametreler 4
1.1.2.1 Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) 4
1.1.2.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 4
1.1.2.3 Toplam organik karbon (TOK) 5
1.2 Aktif Karbon 6
1.2.1 Tanımı 6
1.2.2 Aktif Karbonun Tarihçesi 7
1.2.3 Aktif Karbon Üretiminde Kullanılan Ham Maddeler 8
1.2.4 Aktif Karbon Türleri 9
1.2.4.1 Toz aktif karbon 9
1.2.4.2 Granüler aktif karbon 9
1.2.4.3 Pellet aktif karbon 10
1.2.5.1 Sıvı faz uygulamaları 11
1.2.5.2 Gaz fazı uygulamaları 11
1.2.6 Aktif Karbon Üretimi 12
1.2.6.1 Fiziksel aktivasyon 12
1.2.6.2 Kimyasal aktivasyon 13
1.3 Adsorpsiyon 15
1.3.1 Adsorpsiyon Türleri 15
1.3.1.1 Fiziksel adsorpsiyon 15
1.3.1.2 Kimyasal adsorpsiyon 16
1.3.2 Adsorpsiyona Etki Eden Parametreler 17
2. LİTERATÜR ÖZETİ **19**
3. MATERYAL VE METOT **24**
3.1 Materyal 24
3.2 Metot 25
3.2.1 Aktif Karbon Sentezi 25
3.2.2 Adsorpsiyon Çalışmaları 28
3.2.3 KOİ Giderim Çalışmaları 29
4. BULGULAR **31**
4.1 Elde edilen Aktif Karbonların Karakterizasyonu 31
4.1.1 BET Yüzey Alanı 31

4.1.1.1 BET yüzey alanının belirlenmesi 31
4.1.2 SEM-EDX Analizi 32
4.1.3 FTIR-ATR Analizi 40
4.2 Aktif Karbona Adsorpsiyon ile Kimyasal Oksijen İhtiyacı Giderimi 44
4.2.1 Sıcaklığın Adsorpsiyon Üzerine Etkisi 44
4.2.1.1 pH'nın etkisi 45
5. SONUÇ VE TARTIŞMA 47
5.1 Aktif karbonların Yüzey Karakterizasyonu 47
5.1.1 BET Yüzey Alanı Sonuçları 47
5.1.1.1 $ZnCl_2$ ile aktivasyonlu orman gülü bitkisi 47
5.1.2 FTIR-ATR Analizi 48
5.1.2.1 Orman gülü bitkisi ve aktif karbonların FTIR-ATR analizleri 48
5.1.3 SEM Analizleri 49
5.1.3.1 Orman gülü bitkisi ve aktif karbonların SEM-EDX sonuçları 49
5.2 Aktif Karbon ile KOİ Giderimi 50
5.2.1 Aktif Karbon ile KOİ Giderimine Sıcaklığın Etkisi 50
5.2.1.1 Aktif karbon ile KOİ giderimine pH'nın etkisi 50
5.3 Adsorpsiyon İzoterm Sonuçları 51
5.3.1 Freundlich İzotermi Sonuçları 51
5.3.2 Langmuir İzotermi 52
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 54
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ 60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Toz Aktif Karbon 9
Şekil 1.2 Granüler Aktif Karbon 10
Şekil 1.3 Pellet Aktif Karbon 10
Şekil 1.4 Fiziksel Aktivasyon Yöntemiyle Aktif Karbon Üretim Şeması 13
Şekil 1.5 Kimyasal Aktivasyon Yönetimiyle Aktif Karbon Üretim Şeması 14
Şekil 3.1 Paslanmaz Çelik Reaktör 26
Şekil 3.2 Karbonizasyon İşlemi 26
Şekil 3.3 Örneklerin Saf Su ile Yıkanması İşlemi 27
Şekil 3.4 Ham Orman Gülü Yaprakları 27
Şekil 3.5 Karbonizasyon Sonrası Orman Gülü Yaprakları 28
Şekil 3.6 Termoreaktörde İşlem Görüp Soğumaya Bırakılan KOİ Kitleri 30
Şekil 4.1 Ham orman gülü bitkisinden oda sıcaklığında elde edilen SEM-EDX ve elementel analiz verileri 33
Şekil 4.2 Orman Gülü bitkisinden 600°C'de 3M $ZnCI_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri 34
Şekil 4.3 Orman Gülü bitkisinden 700°C'de 3M $ZnCI_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri 35
Şekil 4.4 Orman Gülü bitkisinden 800°C'de 3M $ZnCI_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri 36
Şekil 4.5 Orman Gülü bitkisinden 600°C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri 37
Şekil 4.6 Orman Gülü bitkisinden 700°C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri 38
Şekil 4.7 Orman Gülü bitkisinden 800°C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri 39
Şekil 4.8 Ham orman gülü bitkisinden oda sıcaklığında elde edilen FTIR-ATR spektrumu 40
Şekil 4.9 Orman Gülü bitkisinden 600°C'de 3M $ZnCI_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu 41
Şekil 4.10 Orman Gülü bitkisinden 700°C'de 3M $ZnCI_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu 41
Şekil 4.11 Orman Gülü bitkisinden 800°C'de 3M $ZnCI_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu 42
Şekil 4.12 Orman Gülü bitkisinden 600°C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu 42
Şekil 4.13 Orman Gülü bitkisinden 700°C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu 43
Şekil 4.14 Orman Gülü bitkisinden 800°C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu 43
Şekil 4.15 Sulu çözeltilerden Orman Gülü bitkisinden elde edilen aktif karbon yüzeyine KOİ gideriminin sıcaklıkla değişimi 45
Şekil 4.16 Sulu çözeltilerden Orman Gülü bitkisinden elde edilen aktif karbon yüzeyine KOİ gideriminin pH ile değişimi 46
Şekil 5.1 Şekil 4.15'deki verilere ait Freundlich adsorpsiyon izotermi 53

Şekil 5.2 Şekil 4.16'daki verilere ait Freundlich adsorpsiyon izotermi 53

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1 Evsel Atık Suların Karakterizasyonu 2
Tablo 1.2 Nüfusa Göre KOİ Deşarj Sınır Değerleri 5
Tablo 1.3 Evsel nitelikli atıksuların KOİ, BOİ ve TOK ilişkileri 5
Tablo 1.4 Aktif karbon üretiminde kullanılan ham maddelerin başlıcaları 8
Tablo 1.5 Fiziksel ve Kimyasal Adsorpsiyon Arasındaki Farklar 16
Tablo 4.1 Farklı $ZnCl_2$ ve LiOH konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarında Orman Gülü bitkisinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları 31
Tablo 4.2 Aktif karbon yüzeyinde KOİ adsorpsiyonun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 6,8) ($ZnCl_2$) 44
Tablo 4.3 Aktif karbon yüzeyinde KOİ adsorpsiyonun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 ^oC) ($ZnCl_2$) 45
Tablo 5.1 Orman gülü bitkisinden $ZnCI_2$ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde KOİ adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri 52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	**:** Derece santigrat
%	**:** Yüzde
gr	**:** Gram
L	**:** Litre
mL	**:** Mililitre
g/L	**:** Gram/Litre
mg/L	**:** Miligram/Litre
mol/L	**:** Mol/Litre
mg/g	**:** Miligram/gram
M	**:** Mol
dk	**:** Dakika
sa	**:** Saat
m^2 /g	**:** Metrekare/gram
kcal/mol	**:** Kilokalori/mol

Kısaltmalar

TOK	**:** Toplam Organik Karbon
KOİ	**:** Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	**:** Biyolojik Oksijen İhtiyacı
O_2	**:** Oksijen
CO_2	**:** Karbondioksit
H_2O	**:** Su
NH_3	**:** Amonyak
P	**:** Fosfat
Cr^6	**:** Krom
$K_2Cr_2O_7$	**:** Potasyum Dikromat
$Mn_2(SO_4)_3$	**:** Manganez (III) sülfat
LiOH	**:** Lityum Hidroksit
$ZnCl_2$	**:** Çinko Klorür
H_3PO_4	**:** Fosforik Asit
KOH	**:** Potasyum Hidroksit
SKKY	**:** Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
M.Ö.	**:** Milattan önce
M.S.	**:** Milattan sonra
yy	**:** Yüzyıl

1. GİRİŞ

Çevre; insanların ve diğer canlıların yaşamlarını sürdürdükleri ve iki taraflı olarak etkileşim içinde bulundukları fiziki, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamların bütünüdür. Geçmişten bugüne insanlar, yaşamlarının her döneminde çevre ile birebir etkileşimde bulunmuş, doğal kaynaklardan yararlanmış, çevreyle belirli bir düzen ve ahenkli bir şekilde yaşamını sürdürmüştür. Bu düzen, sanayileşmenin hızla artış göstermesi, hızlı nüfus artışı ve şehirleşmeye bağlı olarak günden güne bozulmuş ve tüm insanlığın aleyhine bir hâl almaya başlamıştır (Kayan, 2018).

Hızlı nüfus artışı ve sanayileşmenin bir etkisi olarak insanoğlunun enerji ihtiyacının giderilmesi amacıyla fosil yakıt (kömür, petrol, doğal gaz) tüketimine yol açmış ve yıllar süren bu tüketim sonucu çevre kirliliği problemi doğmuştur.

Çevre kirliliği problemi, özellikle 18. yy ile başlayan sanayi devrimi ile başlayıp günümüze kadar gelen sorunların başlıcası haline gelmiştir (Şencan, 2011). Bu sorunlar, sanayi kuruluşlarının üretim aşamasında ve tüketim sonucunda meydana getirdiği atıklardır. Baca gazlarının etkisi olarak hava kirliliği, atıksuların oluşturduğu kirlilik neticesinde su kirliliği, katı atıkların düzenli veya düzensiz bir şekilde toprakla temas halinde olması sonucunda toprak kirliliği meydana gelir. Bu durum günümüzde küresel çapta çevre kirliliğe neden olmakta ve doğaya karşı geri dönülemez bir hal almaktadır (Özdemir, 2013; Çetingürbüz, 2022).

Bu atıkların kendi başına doğada çözülme işlemi yıllar, hatta yüzyıllar sürmektedir. Çevre kirliliği açısından atıkların temizlenmesi için geliştirilen yöntemlerin başlıcası adsorpsiyon metodudur. Adsorpsiyon metodu hem atıksulardaki kirleticilerin, hem de doğayı kirleten zararlı gazların temizlenmesinde tercih edilen en yaygın yöntemdir. Bu yöntemde adsorbent olarak aktif karbonların kullanımı oldukça yaygındır. Geçmiş yıllarda adsorbent olarak kullanılan aktif karbonların kömürden elde edilmesinin maliyetli olması sebebiyle, bitkisel materyallerden elde edilen aktif karbonların kullanımı günümüzde daha fazla tercih edilmektedir. Bitkisel atıkların aktif karbon olarak kullanımının daha ekonomik olmasının yanı sıra, atıkların ekonomiye

kazandırılması açısından da bir hayli önem arz etmektedir (Çetingürbüz, 2022; Türkyılmaz, 2011).

İnsanların yaşamsal faaliyetleri sonucu oluşan veya endüstriyel tesislerin üretim ve üretim sonucu meydana getirdikleri atıklar, su ile birleşerek atık suları oluşturur. Atık sular faaliyetin türüne göre sınıflandırılmakta olup, evsel, endüstriyel ve kentsel atık sular olmak üzere 3'e ayrılır. Evsel nitelikli atık sular genellikle insanların yaşamsal faaliyetleri sonucu oluşan atık sulardır. Endüstriyel atık sular, maden ocakları, fabrikalar veya atölye vb. gibi sanayi kuruluşlarının soğutma suyu ve yıkama suyu gibi sularının tamamını kapsar. Kentsel atık sular ise evsel ve endüstriyel atık suların, yağmur suları ile karışımı sonrasında meydana gelen atık sulardır (Köymen, 2019; Yılmaz, 2018).

1.1 Evsel Nitelikli Atıksular

Evsel nitelikli atık sular; evler, siteler, oteller, okullar, iş yerleri gibi yerleşim alanlarında, insanların günlük yaşamsal faaliyetleri sonucu meydana gelen atık sulardır. Evsel nitelikli atıksulardaki kirleticilerin çoğunluğu organik maddeler, yağlar ve deterjanlar oluşturmaktadır. Atıksu içeriğindeki patojen mikroorganizma ve mikro kirleticilerin su ortamından arındırılması, atıksuların arıtılması ve yeniden kullanımı konusunda hayati önem taşır (Bingül vd., 2017). Evsel nitelikli atıksuların bileşikleri, iklimsel farklılıklara, toplumun sosyo-ekonomik durumuna, kültürüne hatta saatlik durumuna göre farklılık göstermektedir (Kul Erdoğan , 2022)

Evsel nitelikli atık sular, kirlilik konsantrasyonlarına göre zayıf, orta ve kuvvetli olarak 3 şekilde sınıflandırmak mümkün olup, aşağıda tabloda gösterildiği şekildedir (Fesleğen, 2017).

Tablo 1.1 Evsel Atık Suların Karakterizasyonu (Fesleğen, 2017)

İçerik	**Konsantrasyon, mg/L**		
	Zayıf	**Orta**	**Kuvvetli**
Toplam Katı Madde	350	720	1200
Çözünmüş Katı Madde	250	500	850

Tablo 1.1'in devamı

İçerik	Konsantrasyon, mg/L		
	Zayıf	**Orta**	**Kuvvetli**
• Sabit	145	300	525
• Uçucu	105	200	325
Askıda Katı Madde			
• Toplam	100	220	350
• Sabit	20	55	75
• Uçucu	80	165	275
Çökebilen Madde (mL/L)	5	10	20
Biyolojik Oksijen İhtiyacı ($BOİ_5$)	110	220	400
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	250	500	1000
Toplam Organik Karbon (TOK)	80	160	290
Toplam Azot	20	40	85
Organik Azot	8	15	35
Amonyum Azotu	12	25	50
Toplam Fosfor	4	8	15
Organik Fosfor	1	3	5
İnorganik Fosfor	3	5	10
Klorür	30	50	100
Sülfat	20	30	50
Alkalinite ($CaCO_3$)	50	100	200
Yağ – Gres	50	100	150

1.1.1 Atık Suların Kirlilik Parametreleri

Atık sular fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine göre üç başlık altında gruplandırılırlar. Fiziksel parametreler; koku, renk, sıcaklık ve toplam katı madde olarak, kimyasal parametreler; pH, toplam organik karbon, azot, fosfor, klorür, asidite ve alkalinite, yüzey aktif maddeler, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyolojik oksijen ihtiyacı olarak, biyolojik parametreler ise; bakteriler, virüsler olarak sınıflandırılır (Köymen, 2019).

1.1.2 Atık Su Karakterizasyonunda Başlıca Parametreler

Atık su karakterizasyonunda başlıca parametreler aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır.

1.1.2.1 Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ)

Atıksuların içerisindeki organik maddelerin miktarı ve konsantrasyonları, kirlilik seviyesinin ölçüsünü belirler. Biyolojik oksijen ihtiyacı, mikroorganizmalar tarafından atık sudaki organik maddelerin, aerobik ortamda oksitlemesi (biyokimyasal oksidasyon) sırasında harcanan oksijen miktarıdır. Biyokimyasal oksidasyon, su içinde gerçekleşen bir yanma olayı olup, bu yanma sırasında suda bulunan çözünmüş oksijen kullanılır. Oksitlenme sırasında kullanılan oksijen miktarının fazla olması, atık sudaki organik madde yükünün de fazla olması anlamına gelir (Köymen, 2019).

1.1.2.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Kimyasal oksijen ihtiyacı, atıksu içerisinde bulunan organik maddelerin, kimyasal olarak oksitlenebilmesi için gerekli olan oksijen miktarıdır. KOİ testi, organik maddelerin potasyum dikromat gibi kuvvetli oksitleyicilerle, asidik bir ortamda yüksek sıcaklık altında oksitlenmesi vasıtasıyla ölçülür. Oksidasyon esnasında karbon içeren organik maddeler karbondioksit (CO_2) ve suya (H_2O), azot içeren organik maddeler ise amonyak a (NH_3) dönüşür. KOİ değeri, BOİ değerinden daha büyüktür (Köymen, 2019).

Bir atık suyun KOİ deney sonucu, BOİ deney sonucundan her zaman yüksektir. Bunu sebebi kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşiklerin, biyolojik olarak oksitlenebilecek bileşiklerden daha fazla olmasıdır. BOİ testleri en az 5 gün sürmekteyken, KOİ testleri ise 3 saat gibi kısa sürede sonuç vermektedir (Fesleğen, 2017).

Evsel nitelikli atıksuların alıcı ortama deşarj standartlarındaki KOİ değerleri, her nüfus aralığı için değişkenlik göstermektedir. Deşarj edilecek atık suyun yönetmelikteki sınır değerleri tabloda gösterildiği şekildedir.

Tablo 1.2 Nüfusa Göre KOİ Deşarj Sınır Değerleri (SKKY – 2022)

Parametre	Birim	Nüfus	Kompozit Numune 2 Saatlik
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	Eşdeğer Nüfus < 2.000	160

1.1.2.3 Toplam organik karbon (TOK)

Toplam organik karbon, organik kirlenmeyi gösteren önemli parametrelerden biri olup, çok küçük organik madde konsantrasyonu için uygulanabilmektedir. Toplam organik karbon testlerinin en önemli özelliği hızlı sonuç vermesidir. TOK tayinlerinin hızlı olmasının yanında, analiz sonucu elde edilen verilerin doğru ve kabul edilebilir olması ve analiz sonunda az miktarda tehlikeli atık oluşması sebebiyle KOİ ve $BOİ_5$ yerine alternatif bir su kalite parametresi olarak yerini almıştır. Evsel nitelikli atık sular için KOİ/TOK oranı çoğunlukla 3 olarak kabul edilir (Köymen, 2019; Yılmaz, 2018). Evsel nitelikli atıksuların KOİ, BOİ ve TOK ilişkileri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1.3 Evsel nitelikli atıksuların KOİ, BOİ ve TOK ilişkileri (Yılmaz, 2018)

Parametre	**KOİ**	**BOİ**	**TOK**
Kullanılan Oksidan	$K_2Cr_2O_7$ (Potasyum Dikromat) $Mn_2(SO_4)_3$ (Manganez (III) sülfat)	Mikroorganizmalar	O_2 $K_2Cr_2O_7$ Sıcaklık Yukarıdaki maddelerin çeşitli katalizörlerle kombinasyonu
Kullanımı	Arıtma tesisi verimliliği ve su kalitesinin hızlı ve sık olarak izlenmesi	Arıtma tesisi prosesini ve organik bileşiklerin alıcı suların çözünmüş oksijen içeriği üzerindeki etkilerini modelleme	Numunelerin toplam organik karbon miktarını ölçme
Analizin Tamamlanma Süresi	2-3 Saat	5 Gün	Birkaç dakikadan birkaç saate

Tablo 1.3'ün devamı

Parametre	KOİ	BOİ	TOK
Hassasiyet	% 5 – 10 nispi standart sapma (Bu yüzde numunedeki akm içeriğine göre artabilir)	% 15 nispi standart sapma (Hassas sayılmaz)	% 5 – 10 nispi standart sapma (Bu yüzde numunedeki akm içeriğine göre artabilir)
Avantajlar	Kısa analiz süresi Toksit maddeler oksidanı etkilemez Giriş ve çıkış atık suyunda KOİ değerindeki değişiklikler BOİ sonuçlarıyla paralel olabilir.	Uygun aşı ile doğal ortamdaki gibi seyreder.	Kısa analiz süresi BOİ ile ilişkilendirilebilir ancak KOİ kadar ilişkili değildir.
Dezavantajlar	Klorür girişimi Bazı organik bileşikler tamamen okside olmaz.	Zehirli maddeler mikroorganizmaları öldürür Mikroorganizmalar atık sudaki tüm mataryelleri okside etmez.	Pahalı ekipman gerektirir. Bazı organik bileşikler tamamen okside olmaz. Oksijen talebini değil, toplam organik karbonu ölçer.

1.2 Aktif Karbon

1.2.1 Tanımı

Aktif karbon, büyük kristal ve amorf yapıda olan, genişletilmiş yüzey alanı bulunan, karbon içeriği yüksek adsorbent malzemelere verilen genel bir tanımdır. Gözenekli bir yapıya sahip olan aktif karbonun 1 gramındaki yüzey alanı, 300 – 2000 m^2 kadar olabilmektedir. Aktif karbonu, bu denli önemli bir adsorbent haline getiren özelliklerin başında yüzey alanının büyüklüğü gelir (Karataş, 2017; Özdemir, 2013).

Aktif karbonun ana bileşeni %85 ile %95 arasında değişen karbon olmakla beraber geri kalan kısımlarında azot, sülfür, hidrojen ve oksijen içerebilir (Güngör, 2013).

1.2.2 Aktif Karbonun Tarihçesi

Eski çağlarda karbonlu maddeler yakıt olmanın dışında başka türlü amaçlar için de kullanılmıştır.

M.Ö. 3750 yılında odun kömürünün Mısırlılar ve Sümerliler tarafından bronz üretiminde, bakır, çinko ve kalayın indirgenmesinde kullanıldığı bilinmektedir. Mısır Papirüslerinden elde edilen bilgilere göre, Mısırlıların M.Ö. 1550 yıllarında odun kömürünün tıp alanında kullanıldığı tespit edilmiştir. Çürüyen yaralardaki kötü kokuları adsorplamak için odun kömüründen yararlanmışlardır. M.Ö. 450 yılında Portekiz gemilerinde içme sularının odun kömürü kaplı varillerde saklandıkları ve Hindistan'a ait belgelerde ise içme sularının arıtılması için kum ve odun kömürü filtrelerinin kullanıldığı belgelenmiştir. M.S. 157 yılında Claudius Galen, hem bitki hem de hayvan kaynaklı üretmiş olduğu aktif karbonları hastalıkların tedavisi için kullanmak üzere 500 farklı tıbbi uygulama gerçekleştirmiştir. 1773 yılında Carl Wilhelm Scheele, farklı kaynaklardan üretmiş olduğu aktif karbonları gaz adsorpsiyon işleminde kullanmıştır. 1785 yılında Johann Tobias Lowitz, odun kömürünün ticari uygulamalarını tartarik asit üretim sürecinde uygulamıştır. Odun kömürünün tıbbi uygulamalar sonucu meydana gelen kokuları adsorplama özelliğini tekrardan incelemiştir. 1793 yılında Kehl, hayvansal dokulardan elde etmiş olduğu aktif karbonları çözeltilerdeki rengin giderilmesi amacıyla kullanmıştır. 1794 yılında odun kömüründen elde edilen aktif karbonun endüstriyel alandaki ilk kullanımı, İngiliz bir şeker üreticisi tarafından şeker şurubunun ağartılması ve renginin giderilmesi amacıyla kullanılmıştır. 1800'lü yılların başında Avrupa'daki birçok şehirde yine şeker rafinelerinde renk giderilmesi ve şeker pancarı şurubunun ağartılmasında odun kömürünü kullanmaya başlamışlardır. 1822 yılında Bussy, aktif karbonun renk giderme özelliği üzerine üretim aşamasındaki sıcaklık ve süresiyle alakalı, çok yüksek sıcaklığın ve çok uzun süren karbonizasyon işlemlerinin adropsiyon özelliklerini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varmıştır. 1900'lü yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda şu anki aktif karbon üretiminin temel prensiplerini oluşturan

patentler ilan edilmiştir. Bu patentler halen geçerliliğini koruyan aktif karbonun iki temel prensibi olan kimyasal aktivasyon ve gaz aktivasyondur. 1914 yılında Çek Cumhuriyeti'nde üretilmiş olan, Carboraffin adı verilen ve ham maddesi talaş olup aktivasyon ajanının $ZnCl_2$ olduğu aktif karbon, ilk ticari aktif karbon olarak literatüre geçmiştir. 1914-1918 yıllarında gerçekleşen 1. Dünya Savaşı sırasında zehirli gazların kullanılması sebebiyle, gaz maskelerinde kullanılmak için adsorbent karbonların üretimine ve çeşitli metotların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Hindistan cevizi ve badem kabuğundan üretilmiş aktif karbonların üretildiği ve $ZnCl_2$ 'nin aktivasyon ajanı olduğu çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Aktif karbonun ilk olarak su arıtılmasında kullanılması 1920 yılından sonra gerçekleştirilmiştir (Aydın, 2013; Güngör, 2013; Sarıcı, 2008).

1.2.3 Aktif Karbon Üretiminde Kullanılan Ham Maddeler

Birçok farklı maddeden aktif karbon üretilebilmektedir. Üretimde kullanılacak olan aktif karbona ait ham madde seçimi yapılırken, ilgili ham maddenin bazı kriterleri sağlaması gerekmektedir. Kullanılacak olan ham maddenin;

- Yüksek karbon içeriği
- Düşük inorganik bileşeni
- Kolay elde edilir olması
- Maliyetinin düşük olması
- Depolanma esnasında herhangi bir bozulma meydana gelmemesi gibi kriterleri sağlaması gerekmektedir (Döşemen, 2009).

Tablo 1.4 Aktif karbon üretiminde kullanılan ham maddelerin başlıcaları (Döşemen, 2009)

• Kömür	• Odun	• Talaş
• Petrol	• Linyit	• Grafit
• Kemik	• Kan	• Fındık kabuğu
• Çay atığı	• Mısır koçanı ve püskülü	• Şeker kamışı
• Kahve telvesi	• Hindistan cevizi kabuğu	• Zeytin çekirdeği
• Kahve çekirdeği	• Mandalina kabuğu	• Üzüm sapları

1.2.4 Aktif Karbon Türleri

Aktif karbonlar, IUPAC'a göre gözenek yapılarına göre 3 farklı şekilde sınıflandırılır (Türkyılmaz, 2011).

- Mikro Gözenekler – Yarıçapı 2 nm'den küçük olanlar
- Mezo Gözenekler – Yarıçapı 2 – 50 nm arasında olanlar
- Makro Gözenekler – Yarıçapı 50 nm'den büyük olanlar

Piyasada bulunan fiziksel ve kimyasal aktivasyonla en uygun ham maddeden üretilmiş aktif karbonlar yüzey alanları ve boyutlarına göre toz, granüler ve pellet formunda bulunurlar (Küçükgül, 2004). Aktif karbon üretiminin yılda 400.000 ile 500.000 ton civarında olduğu ve bu aktif karbonların neredeyse %55'i toz, %35'i granül ve %10'u pellet formunda olduğu varsayılır (Belen, 2019).

1.2.4.1 Toz aktif karbon

Genel olarak tanecik boyutu 0,18 mm'den küçük boyuttaki öğütülmüş aktif karbon çeşididir. Toz aktif karbonlar çoğunlukla sıvı ve gaz fazı uygulamalarında kullanılırlar. Geniş yüzey alanı ve kısa difüzyon mesafelerinin olması sebebiyle adsorplama kapasite oldukça yüksek olan aktif karbon çeşididir (Bozbeyoğlu, 2020; Döşemen, 2009).

Şekil 1.1 Toz Aktif Karbon (Bozbeyoğlu, 2020)

1.2.4.2 Granüler aktif karbon

Tanecik boyutu 0,2 mm ve 5 mm arasında değişkenlik gösteren, düzensiz şekilleri olan aktif karbon çeşididir. Direkt olarak granül halindeki ham maddelerden üretilebileceği

gibi, öğütülmüş numunelerin granül haline getirilmesiyle de üretilebilir. Gaz ve sıvı adsorpsiyon işlemlerinde kullanılabilir (Bozbeyoğlu, 2020).

Şekil 1.2 Granüler Aktif Karbon (Bozbeyoğlu, 2020)

1.2.4.3 Pellet aktif karbon

Basınçla sıkıştırılmış, silindirik formda bulunan ve tanecik boyutu 0,8 mm ve 5 mm arasındaki aktif karbon çeşididir. Pellet aktif karbonlar, düşük toz içeri sağlaması ve yüksek mekanik dayanıklılığına sahip olması nedeniyle genellikle gaz fazı uygulamalarında kullanılır (Bozbeyoğlu, 2020).

Şekil 1.3 Pellet Aktif Karbon (Bozbeyoğlu, 2020)

1.2.5 Aktif Karbonların Uygulama Alanları

Aktif karbon çok iyi bir adsorbent olup, karbon içeriği yüksek tüm ham maddelerden üretilebilmektedir. Bu sebeple de endüstriyel çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanım alanına sahiptir. (Özlem Akçakal 2017). Bu uygulamalar sıvı faz uygulamaları ve gaz fazı uygulamaları olarak ikiye ayrılmış olup, söz konusu aktif karbonlar %21 oranında gaz fazı uygulamalarında, %79 oranında ise sıvı fazı uygulamalarında kullanılır (Yapıcı, 2022).

1.2.5.1 Sıvı faz uygulamaları

Yerküredeki su kaynakları kısıtlı olduğundan dolayı, su canlılar için hayati bir öneme sahiptir. Bu sebeple kullanılmış suların tekrar kullanımı söz konusu olabilmektedir. Atık suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak arıtmaya tabi tutarak doğaya yeniden verilmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin biri veya hepsi birden atıksu arıtımında uygulanabilir (Uzun, 2008).

Aktif karbonlar, atıksu içeriğindeki katı maddelerin uzaklaştırılması, ağır metal giderimi, renk giderimi, koku giderimi, boyar madde giderimi, azot ve fosfor giderimi, biyolojik oksijen içeriğinin ve kimyasal oksijen içeriğinin azaltılması ve patojen maddelerin giderilmesi gibi konularda kullanılır. Medikal uygulamalarda ise diş macunu, duş jeli, parfüm ve ilaç yapımında saflaştırma ve bağlama amacıyla kullanılmaktadır. Bunun yanında aktif karbonlar maden sektöründe altın, gümüş ve bakır gibi değerli madenlerin siyanür ile çözdürülmesinden sonra, siyanürlü çözeltiden değerli madenlerin ayrıştırılması işleminde kullanılmaktadır (Karataş, 2017; Yapıcı, 2022).

Sıvı faz uygulamalarında kullanılan aktif karbonların %24'ü içme suyu iyileştirmede tat, koku ve renk giderimi işlemlerinde kullanılmaktadır. Dezenfeksiyon sırasında kullanılan klor gazı, içme sularındaki organik maddelerle reaksiyona girerek kanserojen bileşiklere dönüşebilmektedir. Burada da aktif karbonlar organik maddelerin adsorpsiyonunda kullanılmaktadır (Karataş, 2017; Türkyılmaz, 2011).

1.2.5.2 Gaz fazı uygulamaları

Gaz fazı uygulamalarında dayanıklılığı daha yüksek olan granül halde veya şekillendirilmiş aktif karbonlar tercih edilmekte olup, toplam aktif karbon kullanımının %20'sini gaz fazı uygulamaları oluşturmaktadır (Seydioğu, 2019). En fazla kullanıldıkları alanlar; çözücü geri kazanımı, koruyucu filtreler, vakum teknolojisi ve taşıtlardaki emisyon kontrol ekipmanlarıdır (Uzun, 2008)

Organik bileşikler, kuru temizleme, tohumlardan yağ çıkarma, patlayıcı maddelerin üretimi, boya ve yapıştırıcı maddeler gibi endüstriyel faaliyetlerde kullanılır. Uçuculuk

özelliği son derece yüksek olan organik çözücüler, atmosfere doğrudan verildiği zaman yangın, patlama ve türlü sağlık sorunlarına neden olur. Buhar toplama ve çözücülerin geri kazanımı sayesinde bu problemlerin önüne geçilmesi sağlanmış olur (Uzun, 2008).

Benzen, toluen, etilbenzen, ksilen, metanol aseton vb. çözücüler hem sıvı formda hem de gaz formda insan sağlığı için son derece zararlı kimyasallardır. Bu çözücülerin aktif karbonlar sayesinde geri kazanımı oldukça kolaydır (Aydın Şamdan, 2013).

Aktif karbonlar fermantasyon işlemleri sırasında da kullanılabilmektedir. Mikroorganizmalar için zararlı olan maddeleri adsorplayarak fermantasyon işlemini hızlandırırlar. Fakat mikroorganizmalar için gerekli olan besinleri de adsorplayabilirler (Kumaş, 2015).

1.2.6 Aktif Karbon Üretimi

Aktif karbonun üretilmesi için seçilecek olan ham maddenin, inorganik madde içeriğinin düşük olması, karbon içeriğinin yüksek olması, maliyetinin düşük ve kolay elde edilir olması ve depolama ömrünün uzun olması gerekmektedir (Işınkaralar, 2020). Aktif karbon, fiziksel ve kimyasal aktivasyon olmak üzere iki şekilde üretilmektedir (Gündüzoğlu, 2008).

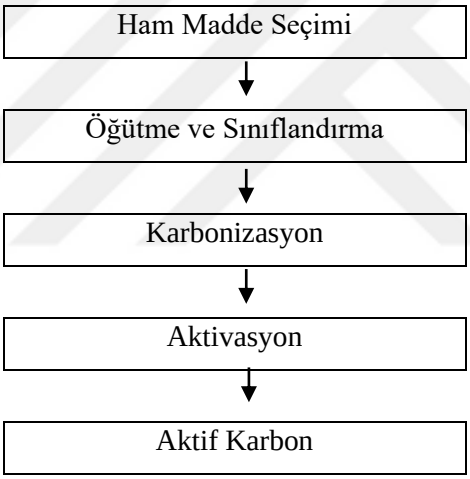
1.2.6.1 Fiziksel aktivasyon

Fiziksel aktivasyon ham maddenin pirolizi ya da karbonizasyonu ve karbonize yapının aktivasyonu olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir (Aydın, 2002).

Karbonizasyon organik maddelerin inert ortamda ısıl işlem görmesiyle gerçekleştirilen termo kimyasal bir olaydır. Bu işlemde hidrojen ve oksijen gazlarının ham maddeden uzaklaştırılarak, gözenekli bir karbonik yapının oluşturulması sağlanır. Karbonun gözenek yapısı, ham materyalin çeşidine, doğallığına, fiziksel özelliğine, karbonizasyon sıcaklığına ve süresine göre değişkenlik gösterebilir (Özüsoy, 2022; Yapıcı, 2022).

Aktivasyon işlemi; karbonizasyon sonucu meydana gelmiş kömürleşmiş maddenin, buhar ve karbondioksit gibi oksitleyici gazlar yardımıyla 1200 ^{o}C'ye varan sıcaklıklarda aktive edilmesidir. Bu sayede geniş yüzey alanı ve büyük gözeneklere sahip aktif karbonların meydana getirilmesi sağlanmış olur. Buhar ve karbondioksit gibi oksitleyici gazlarla yapılan aktivasyon işlemi karşılaştırıldığında, buhar ile yapılan aktivasyon işleminde daha verimli sonuçların elde edildiği görülmüştür (Özüsoy, 2022; Yapıcı, 2022).

Karbonizasyon işlemi sıcaklığı bezen 1000 ^{o}C'ye kadar ulaşırken genellikle 600 – 900 ^{o}C arasında, aktivasyon işlemi sıcaklığı ise 600 – 1200 ^{o}C arasında değişkenlik gösterir. Fiziksel aktivasyon sonucu üretilen aktif karbonlar adrosbent olarak fazla kullanılmazlar (Sabaz, 2018).



Şekil 1.4 Fiziksel Aktivasyon Yöntemiyle Aktif Karbon Üretim Şeması (Şehriban Zeybek, 2019)

1.2.6.2 Kimyasal aktivasyon

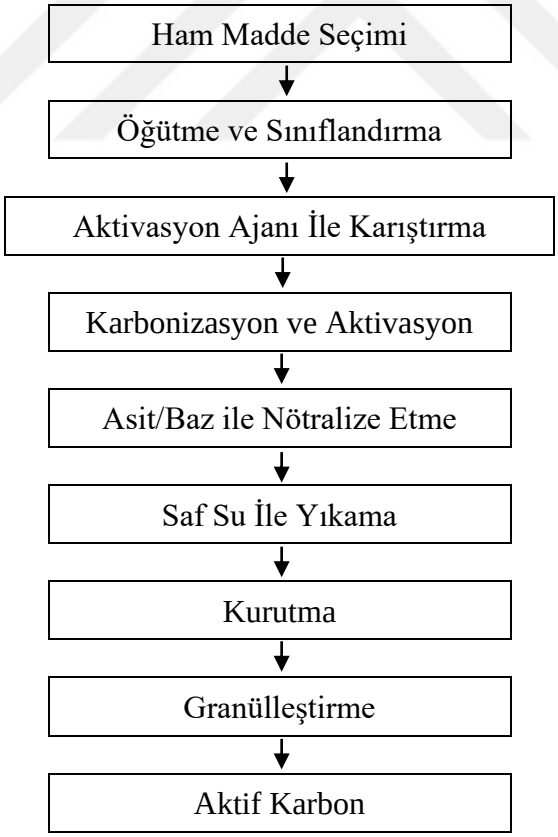
Kimyasal aktivasyon işlemi, ham madde ile kimyasal aktivasyon ajanının belirli bir sıcaklıkta bozundurulması esasına dayanmaktadır (Seydioğu, 2019).

Kimyasal aktivasyonda belirli gramajdaki başlangıç malzemesi, belirli orandaki aktivasyon ajanı ile karıştırılarak, ham maddenin aktivasyon ajanını tamamen emmesi sağlanır. Daha sonra elde edilen bu karışım 400 – 1000 ^{o}C karbonizasyon işlemine tabii tutulur. Karbonizasyon işlemi sonrası elde edilen ürünün aktifleştirici kimyasaldan arındırılmak için asit/baz çözeltileri ile nötralize edilerek bolca saf su ile

yıkanması ve ardından kurutulması gerekmektedir. Magnezyum klorür, kalsiyum klorür, fosforik asit, sülfürik asit, çinko klorür, potasyum hidroksit ve potasyum karbonat, literatürde karşımıza çıkan en fazla aktivasyon ajanlarıdır (Türkyılmaz, 2011).

Fiziksel aktivasyona kıyasla kimyasal aktivasyon daha basit bir yöntem olup daha düşük aktivasyon sıcaklığına sahiptir. Daha geniş gözenek yapısı ve daha geniş yüzey alanının oluşması, daha düşük aktivasyon süresine sahip olması, aktivasyon işleminin tek basamakta gerçekleşmesi ve ürün veriminin daha yüksek olması, kimyasal aktivasyon yöntemin önemli avantajlarıdır (Şencan, 2011; Uzun, 2008).

Karbonizasyon süresi ve sıcaklığı, kimyasal aktivasyon maddesinin oranı ve derişimi, kullanılan ham maddenin miktarı ve boyutu kimyasal aktivasyonu etkileyen başlıca etmenlerdir (Geylan, 2016).



Şekil 1.5 Kimyasal Aktivasyon Yönetimiyle Aktif Karbon Üretim Şeması (Aydın Şamdan, 2013)

1.3 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, bir fazdaki iyon ya da moleküllerin başka bir faz yüzeyine tutunması işlemidir. Adsorpsiyon işleminde taneciklerin tutunduğu katı yüzeye adsorban, adsorbent ya da adsorplayıcı, yüzeyde tutunan taneciklere ise adsorbat ya da adsorplanan adı verilmektedir. Yüzeyde tutunan taneciklerin, yüzeyden ayrılma işlemine ise desorpsiyon adı verilir (Çetingürbüz, 2022).

Adsorbentler çevre için zararsız, zehirsiz, ucuz, kolay elde edilebilir, suda çözünmeyen ve geniş yüzey alanına sahip olmalıdır. İki türlü adsorbent çeşidi bulunmakta olup bunlar, doğal adsorbentler ve yapay adsorbentlerdir. Doğal adsorbentler doğada kolayla bulunabilmeleri, ön işlem gerektirmeden üretilebilmeleri ve çevre dostu olmaları nedeniyle daha yararlı ürünlerdir. Her malzemeye uygulanamayışı tek olumsuzluğu olarak kabul edilir. Yapay adsorbentler ise fabrikalarda üretilmelerinin zor, maliyetli ve çevre sağlığını olumsuz etkileyebilen maddelerdir. Tek olumlu özelliği ise istenilen formda üretilebilmeleridir (Demir vd., 2014).

Adsorpsiyon proseslerinin çevre mühendisliği için kullanım alanları son derece geniştir. Atıksu arıtımı, su arıtımı, hava kirliliği kontrolü gibi işlemlerde adsorpsiyon metodu en yaygın arıtım prosesleridir. Kullanım alanları genellikle, renk giderimi, koku giderimi, organik madde giderimi, KOİ giderimi, BOİ giderimi ve ağır metal giderimi şeklindedir (Kutlu, 2021).

1.3.1 Adsorpsiyon Türleri

Adsorpsiyon işleminde adsorplayıcı yüzey ile adsorplanan moleküller arasındaki çekim türüne bağlı olarak literatürde üç farklı adsorpsiyon tipi bulunmaktadır. Bunlar fiziksel adsorpsiyon, kimyasal adsorpsiyon ve iyonik adsorpsiyondur (Atalay Sönmez, 2014).

1.3.1.1 Fiziksel adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyon, adsorplayıcı yüzey ve adsorplanan moleküller arasındaki zayıf çekim kuvvetlerine bağlı olarak gerçekleşir. Van der Waals kuvvetlerinin etkili olduğu

adsorpsiyon çeşididir. Adsorbe edilen molekül, katı yüzeyin belirli bir alanına bağlanmak yerine, yüzeyde hareketli haldedir. Zayıf çekim kuvveti ile bağ kurdukları için tersinirdir yani iki yönlüdür (Arslanoğlu Işık, 2012; Çetingürbüz, 2022).

Fiziksel adsopsiyonda adsorplanan moleküller, katının kristal örgüsü içerisine girmez ve çözünmez fakat katı maddenin yüzeyine tamamen yayılır. Fiziksel adsorpsiyonun gerçekleşebilmesi için ilaveten bir aktivasyon enerjisine gerek yoktur (Çelik, 2022; Türkyılmaz, 2011).

Bu adsorpsiyon türünde adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığında yani çoklu tabaka halinde oluşur. Adsorpsiyon ısı veren bir proses olup bu reaksiyon sırasında ortaya çıkan ısı, 10 kcal/mol'den daha düşüktür (Atalay Sönmez, 2014; Yıldız Tongur, 2010).

1.3.1.2 Kimyasal adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyon, adsorplanan molekülle, adsorplayıcı yüzey arasındaki elektron alışverişiyle gerçekleşen kimyasal bir bağdır. Bu bağ sayesinde gerçekleşen etkileşim, fiziksel aktivasyonla gerçekleşen etkileşime göre çok daha kuvvetlidir. Kimyasal aktivasyonda ekstradan aktivasyon enerjisine ihtiyaç vardır ve bu aktivasyon enerjisi, kimyasal reaksiyon ısısı düzeyindedir. Ortaya çıkan ısı, 10 – 50 kcal.mol^{-1} 'dir. Bu adsorpsiyon türü tek tabaka halinde gerçekleşir. Adsorbatla ve adsorbent arasındaki bağ oldukça kuvvetli olmasından dolayı tersinir değildir (Belen, 2019; Çelik, 2018).

Tablo 1.5 Fiziksel ve Kimyasal Adsorpsiyon Arasındaki Farklar (Aydın Şamdan, 2013; Çelik, 2022)

FİZİKSEL ADSORPSİYON	**KİMYASAL ADSORPSİYON**
Adsorpsiyon ısısı buharlaşma gizli ısısından yaklaşık iki veya üç kat daha küçüktür.	Adsorpsiyon ısısı buharlaşma gizli ısısının neredeyse üç katıdır.
Reaksiyon hızlı gerçekleşir.	Adsorplanma hızını aktifleştirme enerjisinin büyüklüğü belirler.
Ekstra bir aktivasyon enerjisi gerekmez.	Aktivasyon enerjisine ihtiyaç vardır.
Tek ya da çok tabakalı olabilir.	Sadece tek tabakalı adsorplama olabilir.
Seçici değildir.	Yüksek derecede seçicidir.

Tablo 1.5'in devamı

FİZİKSEL ADSORPSİYON	KİMYASAL ADSORPSİYON
Tamamen tersinirdir.	Tersinmezdir.
Elektron transferi gerçekleşmez.	Elektron transferi sayesinde kimyasal bağlar oluşur.
Adsorplayıcı olarak tüm katı maddeler kullanılabilir.	Adsorplayıcı olarak bazı katı maddeler kullanılabilir.

1.3.2 Adsorpsiyona Etki Eden Parametreler

Adsorpsiyon prosesini etkileyen birçok parametreler mevcut olup, bu parametreler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Özüsoy, 2022).

- Sıcaklık
- pH
- Temas süresi
- Karıştırma hızı
- Adsorbent miktarı
- Adsorbentin yüzey alanı
- Adsorbentin asidik, bazik ya da nötr olması
- Adsorbe olan maddenin çözünürlüğü

Bu çalışmada, adsorpsiyon tekniğiyle orman gülü bitkisinin yaprağından üretilmiş aktif karbonlar yardımıyla, evsel nitelikli atık sudan KOİ giderimi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan atıksu, Kastamonu Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilmiştir. Aktivasyon ajanı olarak lityum hidroksit (LiOH) ve çinko klorür ($ZnCl_2$) kullanılarak, farklı sıcaklıklarda aktif karbon üretilmiş olup, en fazla yüzey alanına sahip aktif karbonlar, evsel nitelikli atık sudaki KOİ giderimi için adsorpsiyon işlemine tabii tutulmuştur. Aktif karbon üretimi için ham madde olarak orman gülü bitkisinin yaprakları kullanılmıştır.

Ormangülü, tohumlu bitkiler sınıfının, fundagiller (Ericaceae) familyasından, Rhododendron cinsinin, 800'e varan türünün içerdiği bitkilere verilen genel bir addır. Türkiye'de ise yalnızca birkaç Rhododendron türü mevcuttur. Orman gülleri

Karadeniz Bölgesinin yağışı bol olan dağlık bölgelerinde bulunur. Mor orman gülü, sarı orman gülü, beyaz (Kafkas) orman gülü, pembe çiçekli ormangülü ve beyaz çiçekli orman gülü ülkemizde bulunan başlıca ormangülü türleridir (Akgün, 2019; İskefiyeli, 2010). Ormancılar tarafından ‘‘inatçı bir diri örtü’’ olarak anılan orman güllerinin bitkisel döküntüleri, çoğu zaman bulundukları alandan ayrışamaz. Bu sebeple hem toprak faunasının fakirleşmesine, hem de yayılış alanındaki bitkilerin büyümesine engel olurlar (Yazıcı, 2010).

Ormangülü bitkisinin yaprak ve çiçeklerinde toksik bileşikler bulunması sebebiyle, bu yaprak ve çiçeklerle beslenen keçi ve koyunlarda zehirlenmelere rastlanmıştır. Geniş alanlara yayılım gösteren ormangüllerinin yaşam şekilleri de birbirinden farklıdır. Bazı türlerinin epifik (doğrudan toprağa bağlı olmayan) yaşam şekillerine sahip olduğu görülmektedir. Epifik yaşam şekline sahip türler, genellikle ağaçların gövdeleri veya dalları üzerine yayılarak, gıda emici organları yardımıyla üzerine yerleştikleri bitkiden beslenirler (Karakaya, 2010).

Karadeniz bölgesinde fazlaca bulunan orman gülü bitkisinin nektarları da bol miktarda bulunup bölge arıcılığında kullanılmaktadır. Halk arasında “deli bal” olarak bilinen bu bal çeşidi, içerisinde bulundurduğu zararlı toksinlerden dolayı, fazla tüketimi sonucu ölümlere neden olabilmektedir (Akgün, 2019).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ayla Aslan ve Şehriban Zeybek (2022), yaptıkları çalışmada ceviz kabuklarından $ZnCl_2$ aktivasyonu ile aktif karbon elde edip sulu çözeltilerden fosfat (P) giderim kapasitesini analiz etmişlerdir. Elde ettikleri aktif karbonları nem içeriği, kül içeriği SEM, BET, XRD, FTIR ile karakterize etmişlerdir. Aktif karbonun yüzey alanı 415,433 m^2/g olarak bulunmuş olup, 6,5 pH ortamında, 25 ^oC sıcaklıkta 150 rpm karıştırma hızı ve 0,5 gr adsorbent miktarıyla yapılan adsorpsiyon işlemi sonucunda ceviz kabuğundan elde edilmiş aktif karbonun fosfat giderimi için etkili bir adsorbent olduğu sonucuna varmışlardır (Aslan ve Zeybek, 2022).

(Ferreira vd., 2022) hint tohumu kekinden aktif karbon elde edip, adsorpsiyon metodu ile boyar madde olan metilen mavisi giderim verimini incelemişlerdir. Ham madde olarak hint tohumu kekini kullanılmış olup, aktivasyon ajanı olarak fosforik asit (H_3PO_4) kullanmışlardır. %20'lik ve %40'lık fosforik asit çözeltili numuneyi farklı sıcaklıklarda ve sürelerde karbonizasyon işlemine tabii tutmuşladır. En yüksek verimli aktif karbon, %40'lık fosforik asit çözeltili, 800 ^oC sıcaklıkta 1 saat süreli karbonizasyon işlemine tabii tuttukları numune olmuştur. Bu aktif karbonun BET yüzey alanı 254,91 m^2/g olarak bulunmuş olup, metilen mavisi adsorplama kapasitesini %89 olarak tespit etmişlerdir (Ferreira vd., 2022).

(Raut vd., 2022), tarımsal biyoatık olan şeker kamışı küspesi ve pirinç kabuğundan fosforik asit (H_3PO_4) ve çinko klörür ($ZnCl_2$) kullanılarak kimyasal aktivasyonu ile aktif karbon üretmişlerdir. Farklı sıcaklıklarda ve emdirme oranıyla aktif karbon elde edilmiş olup, en verimli karbonun 900 ^oC sıcaklıkta ve 1:2 emdirme oranıyla elde etmişlerdir. Çinko klorür ile hazırlanan karbonların fosforik aside göre daha fazla yüzey alanı verdiği sonucuna ulaşmışlardır. Çinko klorür ($ZnCl_2$) ile emdirilmiş aktif karbondan yapılan şeker kamışı küspesinin en yüksek yüzey alanı 1386,58 m^2/g olarak bulunmuş olup, pirinç kabuğunun çinko klorür ($ZnCl_2$) ile maksimum 749,51 m^2/g yüzey alanı verdiği sonucuna varmışlardır. (Aslan, 2021) zirai endüstryel bir atık olan çörek otu posasını aktif karbon üretimi amacıyla hammadde olarak kullanmıştır. Aktivasyon ajanı olarak çinko klorür ($ZnCl_2$) kullanmıştır. Çörek otu posası $ZnCl_2$ ile

farklı emdirme oranlarında aktifleştirilmiştir. 1:1 emdirme oranlarında elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanları sırasıyla 505,073 m^2/g olarak bulunmuştur. Elde edilen verilere göre çörek otu posasının aktif karbon üretiminde öncül materyal olarak kullanılabileceğini sonucuna varılmıştır.

(Aliyev, 2021), yaptığı çalışmada fındık kabuklarından elde ettiği aktif karbonları, sulu çözeltide krom (Cr^{+6}) giderim kapasitesini incelemiştir. Kimyasal aktivasyon metodu ile elde ettikleri aktif karbonlarda, aktivasyon ajanı olarak fosforik asit (H_3PO_4) kullanıldığı görülmüştür. 400 ^oC gibi düşük bir sıcaklıkta elde ettiği aktif karbonu SEM – EDX, BET, TGA, FTIR analizleri yapılarak karakteristik özelliklerini incelemiştir. Aktif karbonun yüzey alanı 581,07 m^2/g olarak bulunmuş olup, daha sonra sulu çözeltilerden kromun farklı koşullarda adsorpsiyon yöntemiyle giderilmesini incelemiştir. %99 giderim verimiyle pH: 2, adsorbent dozajı 0,3 g/L, başlangıç konsantrasyonu 50 mg Cr^{6+}/L ve optimum sıcaklığın 23 ^oC olduğu sonucuna varmıştır. Elde edilen verilere göre, fındıkkabuğundan üretilmiş aktif karbonların krom gideriminde son derece başarılı olduğunu tespit etmiştir.

(Işınkaralar, 2020), atkestanesi kabuğundan üretilmiş aktif karbonlar ile iç ortam havasından formaldehit ve BTEX giderimini amaçlamıştır. Bu doğrultuda hazırlamış olduğu atkestanesi kabuklarını, farklı konsantrasyonlardaki çinko klörür ile ($ZnCl_2$) aktive ederek, farklı sıcaklıklarda karbonizasyon işlemine tabii tutmuştur. En verimli aktif karbonu, 600 ^oC sıcaklıkta ve 3 M $ZnCl_2$ kullanımında elde ettiği görülmüştür. Elde edilen aktif karbonların, formaldehit ve BTEX gazlarının giderimi konusunda ticari aktif karbonlara göre daha verimli bir sonuç alındığını tespit etmiştir.

(Rai vd., 2016), mango çekirdeklerinden elde edilen aktif karbonları sulu çözeltilerden Cr^{+6} adsorpsiyonunda kullanmışlardır. Kurutulmuş mango çekirdeklerini toz haline getirdikten sonra H_3PO_4 ile aktive edilip, inert ortamda 600 ^oC sıcaklıkta 1 saat boyunda karbonize etmişlerdir. Elde edilen aktif karbonun yüzey alanı 490,43 m^2/g bulunmuş olup, en yüksek Cr^{+6} adsorpsiyonu 35 ^oC sıcaklıkta pH'2 de elde edildiği görülmüştür.

(Schaefer vd., 2015), ham madde olarak hidrokarbonları tercih etmişlerdir. Kimyasal aktivasyon metodu uygulamışlar olup, aktivasyon ajanı olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanarak 0,2 – 1,6 M arası değişen konsantrasyonları 750 ^{o}C sıcaklıkta karbonize ederek aktif karbon üretmişlerdir. Elde ettikleri aktif karbonların BET yüzey alanlarının 790 ile 2.240 m^2/g aralığında bulduklarını bildirmişlerdir.

(Yang vd., 2012), ham madde olarak kenevir sapından elde ettikleri aktif karbonların, hidrojen depolama kapasitesini incelemişlerdir. Kimyasal aktivasyon yönetimi uygulanmış olup, aktivasyon ajanı olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanmışlardır. Aktif karbonun yüzey alanı, 3.241 m^2/g ve gözenek hacmi 1,98 cm^3/g olarak bulunmuştur. Elde ettikleri aktif karbonun kriyojenik sıcaklıktaki hidrojen depolama kapasitesinin ağırlıkça %3,28 olarak bulmuşlardır.

(Dubber vd., 2010), atıksulardaki KOİ parametresinin, iç izlemede, atıksu arıtma tesisi dizaynında ve işletilmesinde etkili bir parametre olarak kullanıldığını belirtmiştir. Ancak KOİ analizi sonucunda tehlikeli atıklarının meydana gelmesi sebebiyle KOİ analizi yerine TOK analizinin kullanılabilirliğini incelemiştir. 11 farklı evsel atıksu arıtma tesisinden gelen giriş ve çıkış suyu numunelerini alarak analiz sürecini başlatmıştır. Bu analizlere BOİ deneyini de ekleyerek, KOİ, BOİ ve TOK arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu KOİ analizinin yerine TOK analizinin, arıtma tesisi performansı izlenmesinde güvenilir bir şekilde kullanılabileceği sonucunu elde etmişlerdir.

(Olgun, 2009), cam endüstri atık sularında adsorpsiyon yöntemi ile KOİ giderimini incelemiştir. Adsorbent olarak türlü boyutta zeolitler, pomza taşı, Çankırı bentoniti gibi 16 farklı adsorbent ile çalışmış olup, KOİ giderimi konusunda en verimli sonucu aktif karbonla elde edildiği sonucuna varılmıştır. Optimum koşullarda, 3 gr aktif karbon, 210 dk ve 150 rpm hız ile yapılan adsorpsiyon sonucu, atık suda KOİ giderim veriminin %55,4 olduğunu bildirmiştir.

(Uçar vd., 2009), aktif karbon üretiminde ham madde olarak meyve suyu endüstrisinin bir yan ürünü olan nar tanelerini kullanmışlardır. Kimyasal aktivasyon ile aktif karbon üretmiş olup, aktivasyon ajanı olarak çinko klorür ($ZnCl_2$) kullanmışlardır. 600 ^{o}C

sıcaklığında 2,0 emprenye oranı kullanıldığında elde ettiği aktif karbonun BET yüzey alanının 978,8 m^2/g olduğu sonucuna varmışlardır. En düşük emprenye oranı ve karbonizasyon sıcaklığında aktif karbonların yüzey alanının 709,4 m^2/g gibi bir sonuç elde etmişlerdir. Bu verilere göre aktif karbon yüzey alanının, aktivasyon ajanı ile emprenye oranı ve karbonizasyon sıcaklığıyla, direkt olarak etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. (Zabaniotou vd., 2008), zeytin çekirdeklerinden aktif karbon elde edilmiş olup adsorpsiyon özelliklerini incelemişlerdir. Hem kimyasal aktivasyon, hem de fiziksel aktivasyon metodu uygulayarak iki farklı aktif karbon elde etmişlerdir. Kimyasal aktivasyon metodunda, aktivasyon ajanı olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanılmışlardır. Kimyasal aktivasyonla üretilen aktif karbonun BET yüzey alanının 3.049 m^2/g olduğu, fiziksel aktivasyon metoduyla üretilen aktif karbonun ise BET yüzey alanını ise 1000 – 1200 m^2/g olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Aktif karbonların metilen mavisi adsorplama kapasitesinin ticari aktif karbonlarla karşılaştırılabilir olduğunu bildirmişlerdir.

(Bouchelta vd., 2008), aktif karbon üretimi için hammadde olarak bitkisel bir atık olan hurma çekirdeklerini kullanmıştırlar. Aktif karbon üretimi için fiziksel aktivasyon metodunu uygulanmış ve karbonize yapının aktive edilmesi için su buharını kullanmışlardır. Elde ettikleri aktif karbonları SEM, BET, XRD, FTIR ile karakterize etmişlerdir. 700 ^oC gerçekleşen işlemlerde en verimli yüzey alanını 635 m^2/g olarak bulmuşlardır.

(Guo vd., 2005) aktif karbon üretimi için ham madde olarak pirinç kabuklarını kullanmışlardır. Tek aşamalı fosforik asit (H_3PO_4) aktivasyonu ile hazırlanan numuneleri 170 – 450 ^oC sıcaklıklar arası karbonize ederek aktif karbon üretmişlerdir. 300 ^oC nin altındaki aktivasyon sıcaklığında gözenek gelişiminin ihmal edilebilir olduğu sonucuna varılmış olup, 450 ^oC ürettikleri aktif karbonların ise BET yüzey alanının 1.295 m^2/g olduğunu tespit etmişlerdir.

(Hayashi vd., 2005), poliüretan köpükten, potasyum karbonat (K_2CO_3) ile kimyasal aktivasyon metodu ile aktif karbon üretmişlerdir. Hazırlanan aktif karbonun gözenek yapısının karbonizasyon sıcaklığının ve aktivasyon ajanı emdirme oranının etkileri araştırılmıştır. 1073 K sıcaklığında, 1:0 emdirme oranında maksimum değere

ulaştıklarını ve elde edilen aktif karbonun yüzey alanının 2.800 m^2/g olduğu sonucuna varmışlardır. Elde edilen aktif karbonlar, ticari aktif karbonlar ile karşılaştırıldığında çok keskin bir mikro gözenek boyutu dağılımına sahip olduğunu görmüşlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Bu çalışmada ham örnek olarak orman gülü bitkisinin yaprakları kullanılmıştır. 1800 devirde yaklaşık 3 dakika boyunda Waring marka 8011EB model blender ile farklı boyutlarda öğürülmüştür. Öğütülen orman gülü yapraklarının kimyasal aktivasyonu için LiOH ve $ZnCI_2$ kimyasalları kullanılmıştır. Kimyasal aktivasyon sonrasında etüvde 24 saat boyunca kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir ve orman gülü yaprakları Şekil 3.1'de gösterilen paslanmaz çelik reaktörde piroliz edilmiştir. Kurutma işlemi Memmert – UF 110 markalı etüvde gerçekleştirilmiştir. pH ayarlaması için HCl ve NaOH kullanılmıştır. Elde edilen her örnek 1 – 2 litre saf su ile yıkanıp etüvde kurutma işlemi işlemi gerçekleştirilmiştir. Örneklerin BET ölçümleri Quantachrome marka, Nova Touc Lx4 model yüzey alanı ölçüm cihazında, SEM ölçümleri Fei marka, Quanta Feg 250 model taramalı elektron mikroskobunda yapılmıştır.

Evsel nitelikli atık sularda KOİ giderimi çalışması için, Kastamonu Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisinden atıksu temin edilmiştir. Adsorpsiyon çalışmaları, farklı konsantrasyonlarda, farklı sıcaklıklarda ve pH larda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin pH ayarlamasında Hanna HI 2211 pH ölçer cihazı kullanılmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki numunelerle birlikte aktif karbonların karıştırma işlemi, IKA KS 3000 i control marka karıştırıcıda gerçekleştirilmiştir. Aynı cihazda adsorpsiyon prosesinin sıcaklığa olan etkisi de incelenmiştir. Daha sonra KOİ testi için LCK 314 marka kitler kullanılmıştır. Potasyum dikromat içeren bu kitlere 0,2 ml çözelti ekleyip, karıştırıldıktan sonra Lange LT 200 marka termoreaktörde 2 saat boyunda 150 ^{o}C de ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. 2 saatin sonunda elde edilen KOİ testleri, Lange DR 3900 Vis marka spektrofototmetrede okutma işlemi gerçekleştirilerek KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

3.2 Metot

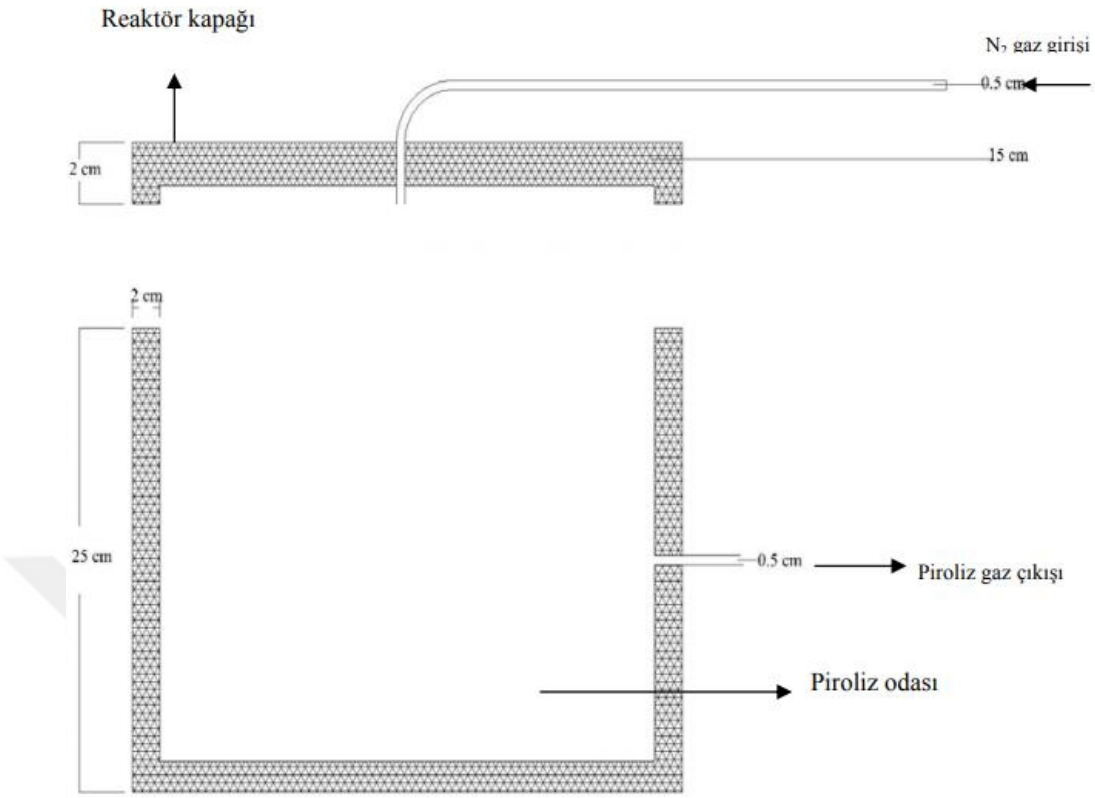
3.2.1 Aktif Karbon Sentezi

Laboratuvar çalışmalarında aktif karbon üretmek amacıyla ham madde olarak kullanılan orman gülü bitkisinin yaprakları önce saf su ile yıkama işlemi gerçekleştirildikten sonra 110 ^{o}C sıcaklıkta 24 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Daha sonradan farklı boyutlarda öğütülmüştür. Öğütülen orman gülü yapraklarının kimyasal aktivasyonu için LiOH ve $ZnCI_2$ kullanılmıştır. Deney ortamında kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır.

Kimyasal aktivasyon için 100 ml'lik balon jojelere, 1M; 3M; ve 5M'lık $ZnCI_2$ ve LiOH çözeltileri hazırlanmıştır. 10'ar gram öğütülmüş orman gülü yaprakları ile 40 mL'lik $ZnCI_2$ ve LiOH çözeltileri ıslatılarak, 24 saat 25^{o}C'de bekletilmiştir. Devamında aktivasyon ajanı ile muamale edilen örnekler, 110 ^{o}C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuştur. 24 saatin sonunda etüvden alınan kurutulmuş örnekler, Şekil 6 ve 7'de ki paslanmaz çelik kapalı reaktör kabında 800 ^{o}C'de 10 psi'lik N_2 azot akışı altında 1 saat piroliz edilip, yine 10 psi'lik N_2 azot akışında soğumaya bırakılmıştır.

Soğuyan örnekler reaktörden çıkarılarak $ZnCI_2$ ve LiOH kimyasallarının nötralize edilmesi amacıyla 1 M'lık NaOH çözeltisi ve 1 M'lık HCI çözeltileri hazırlanarak, LiOH çözeltili örnekler hazırlanan HCI ile, $ZnCI_2$ çözeltili örnekler ise hazırlanan NaOH ile yıkanmışlardır.

Daha sonra nötralize işlemi tamamlanan örnekler, oda sıcaklığında yaklaşık 1–2 litre saf su ile yıkanarak 110 ^{o}C'deki etüvde 24 saat boyunca kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma işleminin ardından BET yüzey alanı ölçümleri yapılmıştır. Yüzey alanı en yüksek çıkan örnekler üzerinde aynı işlemler farklı sıcaklıklar için optimize edilmiştir.



Şekil 3.1 Paslanmaz Çelik Reaktör (Türkyılmaz, 2011)

Şekil 3.2 Karbonizasyon İşlemi

Şekil 3.3 Örneklerin Saf Su ile Yıkanması İşlemi

Şekil 3.4 Ham Orman Gülü Yaprakları

Şekil 3.5 Karbonizasyon Sonrası Orman Gülü Yaprakları

3.2.2 Adsorpsiyon Çalışmaları

Adsorpsiyon işlemleri sıcaklık ve pH'a bağlı olarak 2 aşamalı gerçekleştirilmiştir. İlk olarak sıcaklık üzerine yapılan adsorpsiyon çalışmaları yürütülmüş olup, daha sonra pH' ın adsorpsiyona etkisi incelenmiştir.

Üretilen aktif karbonlar, evsel nitelikli atık sulardaki KOİ giderimi için adsorbent olarak kullanılmıştır. Ham atık suyun KOİ si 703 mg/L olarak tayin edilmiş olup, deneylerde bir grafik oluşturmak adına ham atık su seyreltilerek devam edilmiştir. 700 mg/L, 600 mg/L, 500 mg/L, 400 mg/L, 300 mg/L, 200 mg/L, 100 mg/L ve 50 mg/L olacak şekilde 8 farklı konsantrasyona sahip atık sularda adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Seyreltme işlemi için gerekli hesaplamalar yapılıp, KOİ değeri 700 mg/L'den başlayıp, 50 mg/L'ye varana kadar, 8 farklı konsantrasyona sahip atıksu numuneleri elde edilmiş olup, ilgili hesaplamalar, atık su numunesi 50 ml olacak şekilde yapılmıştır. Hazırlanan bu numunelerin her birine 0,05 gr orman gülü yapraklarından elde edilmiş aktif karbonlar ilave edilmiştir. Adsorpsiyon işlemi için karıştırıcının

sıcaklığı 25 ^{o}C'ye ayarlandıktan sonra 24 saat atık su ile aktif karbonların karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Aynı işlem 45 ^{o}C ve 60 ^{o}C sıcaklıklarda da devam etmiştir.

3 farklı sıcaklıkta yapılan adsorpsiyon işleminde, en verimli sonucun 25 ^{o}C sıcaklıkta alındığı görülmüş olup, daha sonrasında pH'ın adsorpsiyona etkisi incelenmiştir. 25^{o}C ortamda pH değerleri, 3 – 5 ve 9 olacak şekilde 3 farklı pH ortamında adsorpsiyon çalışması devam etmiştir.

3.2.3 KOİ Giderim Çalışmaları

Evsel nitelikli atık suların, aktif karbonlarla birlikte adsorpsiyon işlemine tabii tutulması akabinde KOİ giderim verimi araştırılmıştır. KOİ giderimini tespit edebilmek adına LCK 314 kitleri kullanılmıştır. Bu kitlerin çalışma prensibi, kitlerin içerisine 0,2 ml numune ilave edilerek karıştırılması sonrasında, 150 ^{o}C sıcaklıkta, 2 saat boyunca termoreaktörler vasıtasıyla kaynatılması esasına dayanır. 2 saatin sonunda soğumaya bırakılan KOİ kitleri, spektrofotometrede okutularak KOİ giderim verimi elde edilmiş olur.

Aktif karbonlarla yapılan adsorpsiyon işlemi sonrası 8 farklı konsantrasyona sahip atık suların her birinden otomatik pipet yardımıyla 0,2 ml alınarak KOİ kitlerine aktarılmıştır. Bu kitler daha sonra karıştırılarak 150 ^{o}C sıcaklığa ayarlanmış termoreaktörde 2 saat boyunca kaynatma işlemi uygulanmıştır. 2 saatin sonunda termoreaktörden alınan KOİ kitleri soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra KOİ kitleri ayrı ayrı spektrofotometrede okutularak KOİ giderim verimi hesaplanmıştır.

Aktif karbonlarla birlikte yapılan her adsorpsiyon işlemi sonucunda KOİ giderim çalışması yürütülmüş olup, KOİ giderim verimleri, adsorpsiyon deneylerine yön verici etken olmuştur. Farklı sıcaklıklarda yapılan adsorpsiyon deneylerindeki KOİ giderim sonuçlarına göre optimum sıcaklık elde edilmiştir. Bu deneyler için optimum sıcaklık 25 ^{o}C olarak tespit edilmiştir. Deneylere 25 ^{o}C sıcaklıkta devam edilmiş olup, pH'ın adsorpsiyona etkisi çalışılmıştır.

Şekil 3.6 Termoreaktörde İşlem Görüp Soğumaya Bırakılan KOİ Kitleri

4. BULGULAR

Orman gülü bitkisinden elde edilen aktif karbonların yüzey karakterizasyonuna ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) için adsorpsiyona ait deneysel sonuçlar bu bölümde verilmektedir.

4.1 Elde edilen Aktif Karbonların Karakterizasyonu

Aktif karbon üretimi için seçilen orman gülü bitkisi ve bu materyallerden üretilen aktif karbonların, BET yüzey alanı, SEM-EDX ve FTIR-ATR cihazları ile yüzey morfolojisi karakterize edildi. Daha sonra en iyi yüzey özelliği gösteren örnek ile KOİ adsorpsiyonu çalışıldı.

4.1.1 BET Yüzey Alanı

Orman gülü bitkisinin ham materyal olarak seçilmesi ve daha sonra $ZnCI_2$ ve LiOH aktivasyon ajanlarının kullanılmasıyla 600 ^oC, 700 ^oC ve 800 ^oC'de piroliz sonucundan elde edilen aktif karbonlara ait BET yüzey alanı sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir**.**

4.1.1.1 BET yüzey alanının belirlenmesi

Orman gülü bitkisinin ham haldeyken yüzey alanı 0,18 m^2/g olarak bulunmuştur ve $ZnCI_2$ ve LiOH aktivasyonundan sonra yüzey alanlarının belirlenmesi için BET yüzey alanı ölçümleri yapılmıştır. $ZnCI_2$ ve LiOH ile elde edilen BET yüzey alanı tayinine ait sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir. BET yüzey alanı sonuçlarına göre en iyi yüzey özelliği gösteren örnek ile KOİ adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır.

Tablo 4.1 Farklı $ZnCl_2$ ve LiOH konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarında Orman Gülü bitkisinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

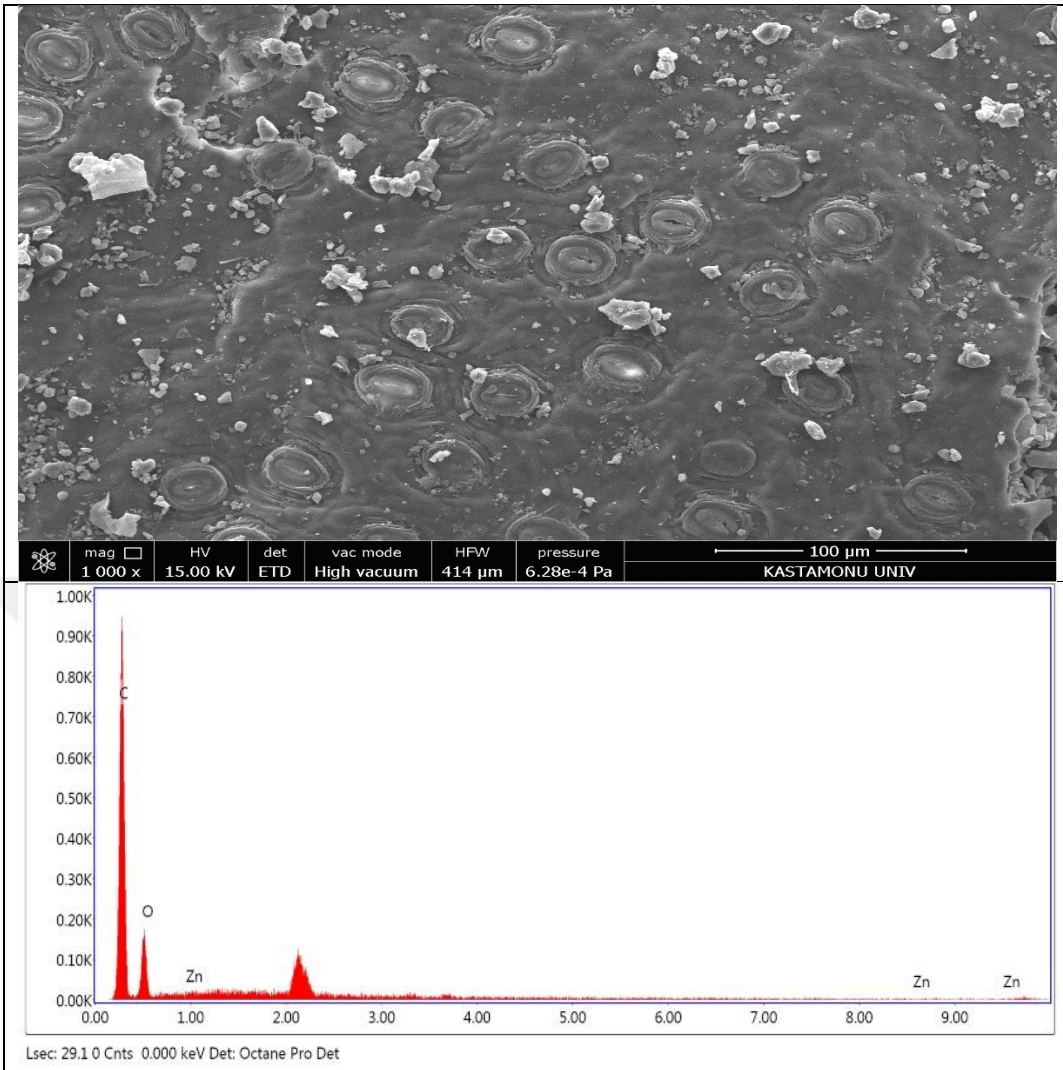
Aktivasyon ajanı Derişimi (M)/ham madde	**Yüzey alanı (m^2/g)**	**Sıcaklık (^oC)**
Ham orman gülü	0,18	25
3M $ZnCI_2$/orman gülü	1227	600
3M $ZnCI_2$/orman gülü	1161	700

Tablo 4.1'in devamı

Aktivasyon ajanı Derişimi (M)/ham madde	Yüzey alanı (m^2/g)	Sıcaklık (^oC)
3M $ZnCI_2$/orman gülü	973	800
5M LiOH/orman gülü	95,7	600
5M LiOH/orman gülü	205,9	700
5M LiOH/orman gülü	130	800

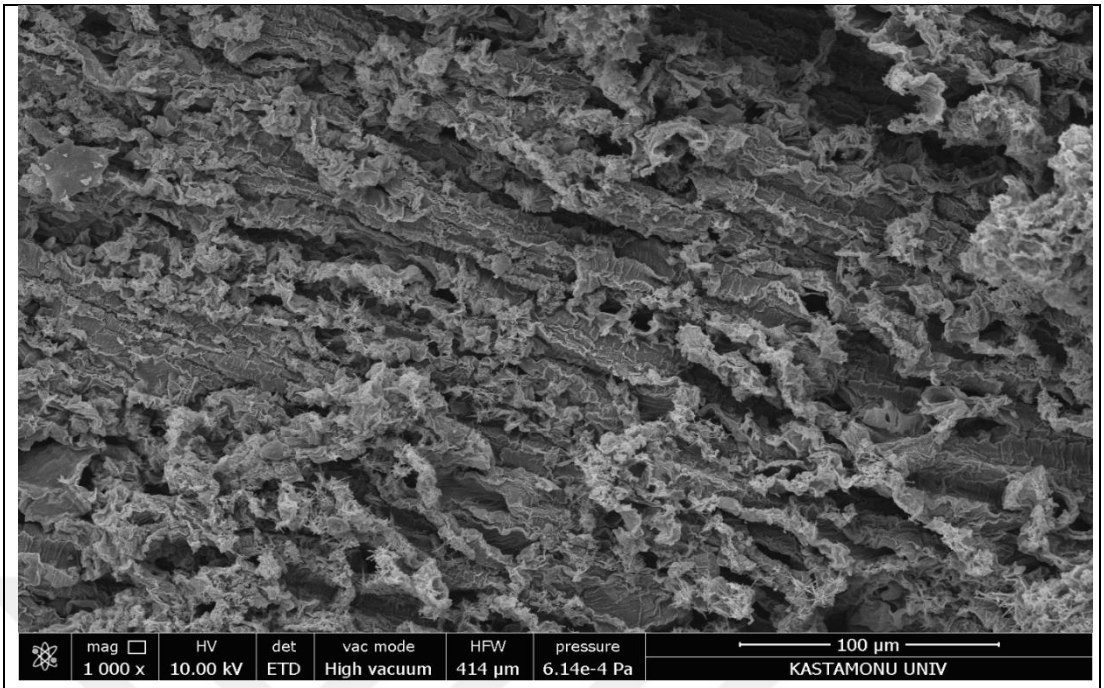
4.1.2 SEM-EDX Analizi

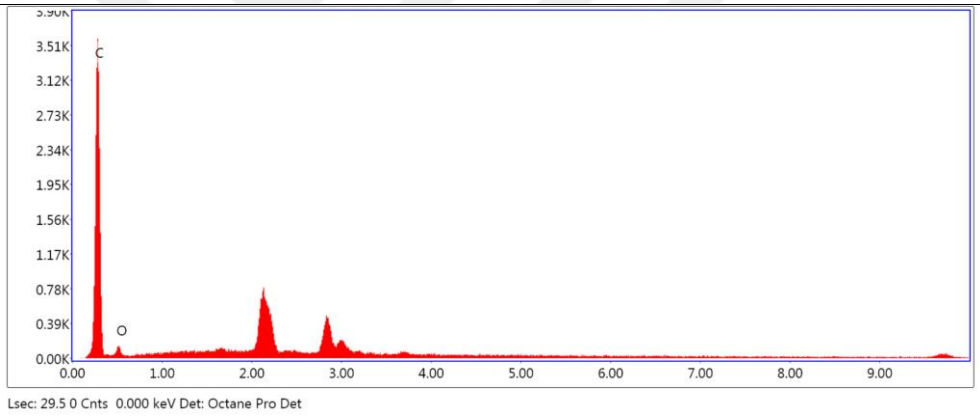
Aktif karbon eldesi için kullanılan orman gülü bitkisi ve ondan elde edilen aktif karbonlara ait SEM, Aktif karbonların yapıları ve % elementel analiz sonuçları EDX dedektörü ile incelenmiş ve sonuçlar, Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



Element	Weight %	Atomic %
C K	72,62	78,44
O K	26,32	21,35

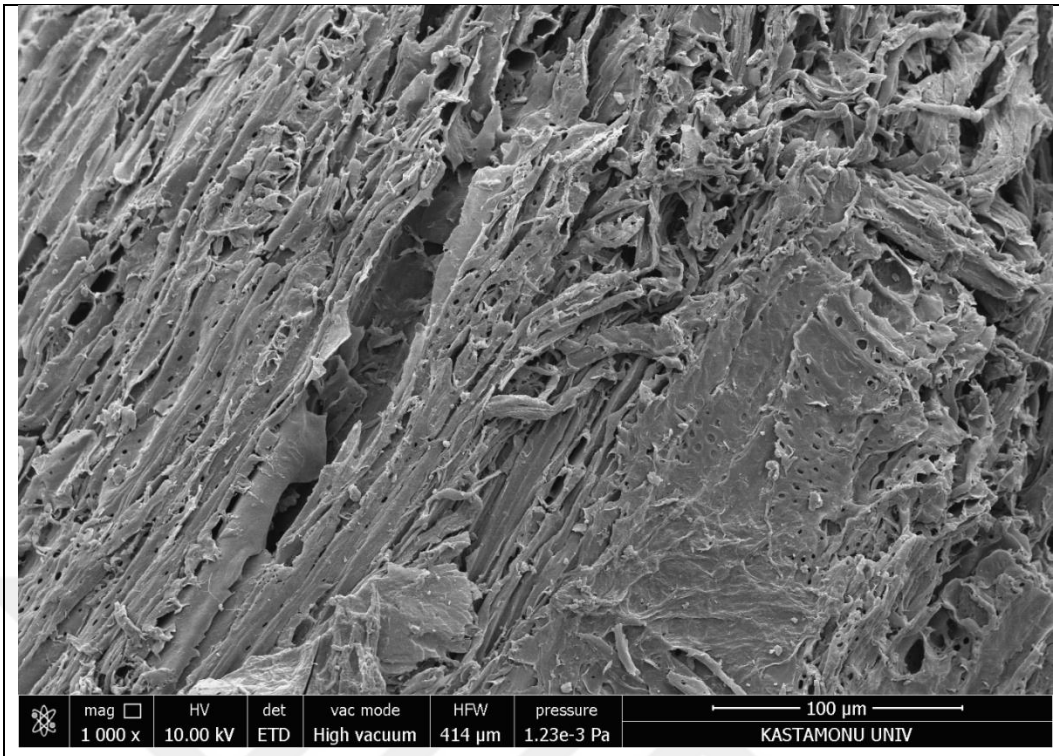
Şekil 4.1 Ham orman gülü bitkisinden oda sıcaklığında elde edilen SEM-EDX ve elementel analiz verileri

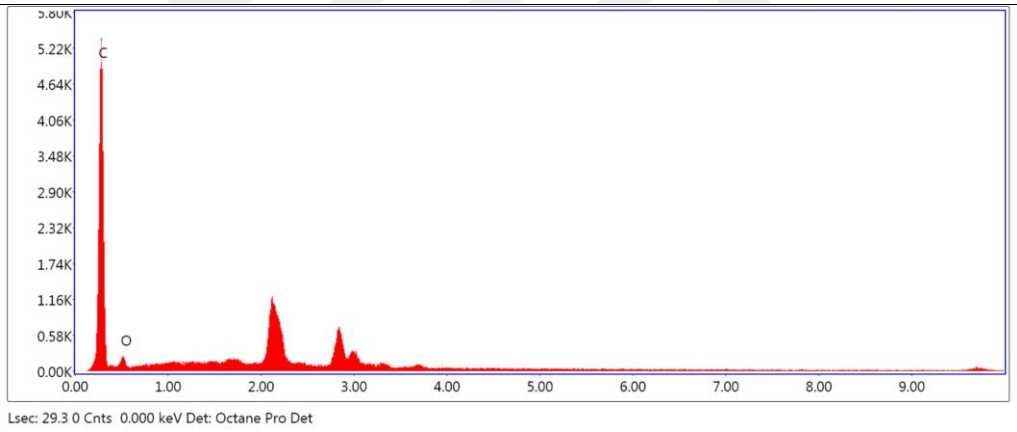




Element	Weight %	Atomic %
C K	92,82	94,52
O K	7,18	5,48

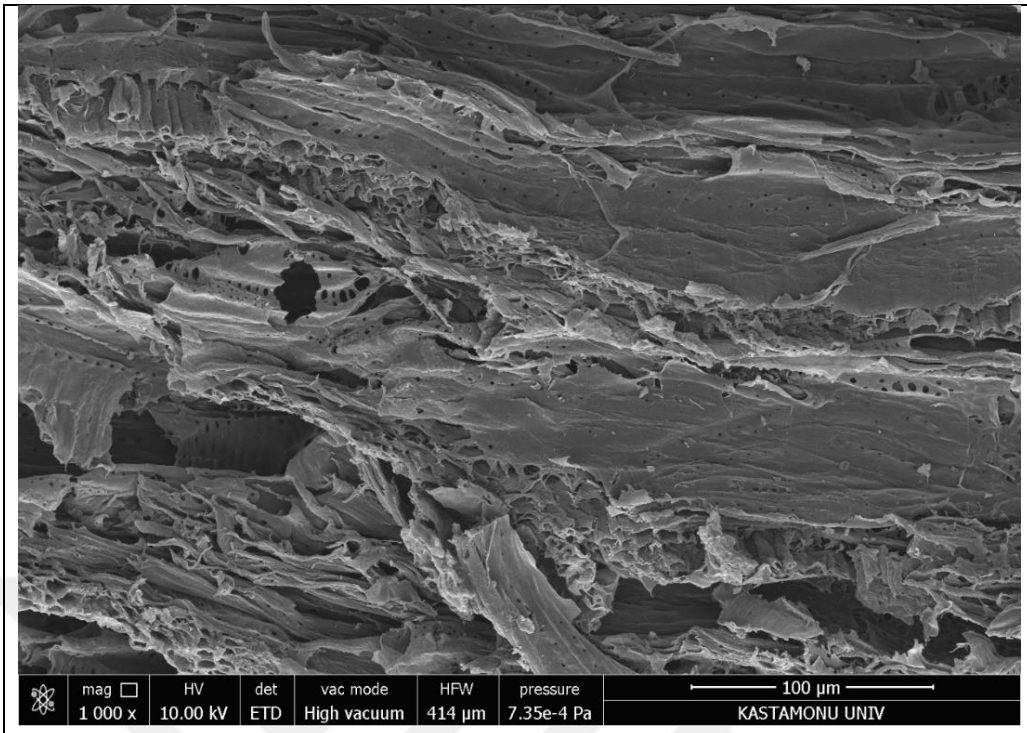
Şekil 4.2 Orman Gülü bitkisinden 600 °C'de 3M $ZnCI_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri

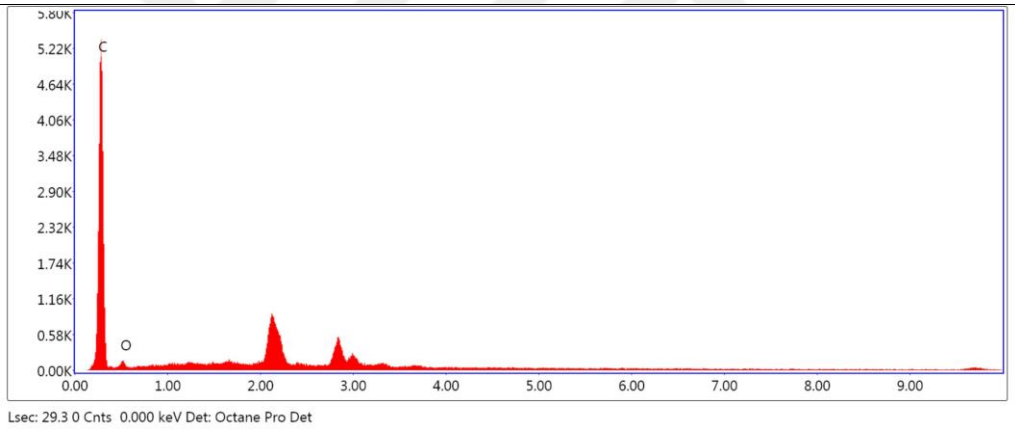




Element	Weight %	Atomic %
C K	88,13	94,52
O K	11,87	5,48

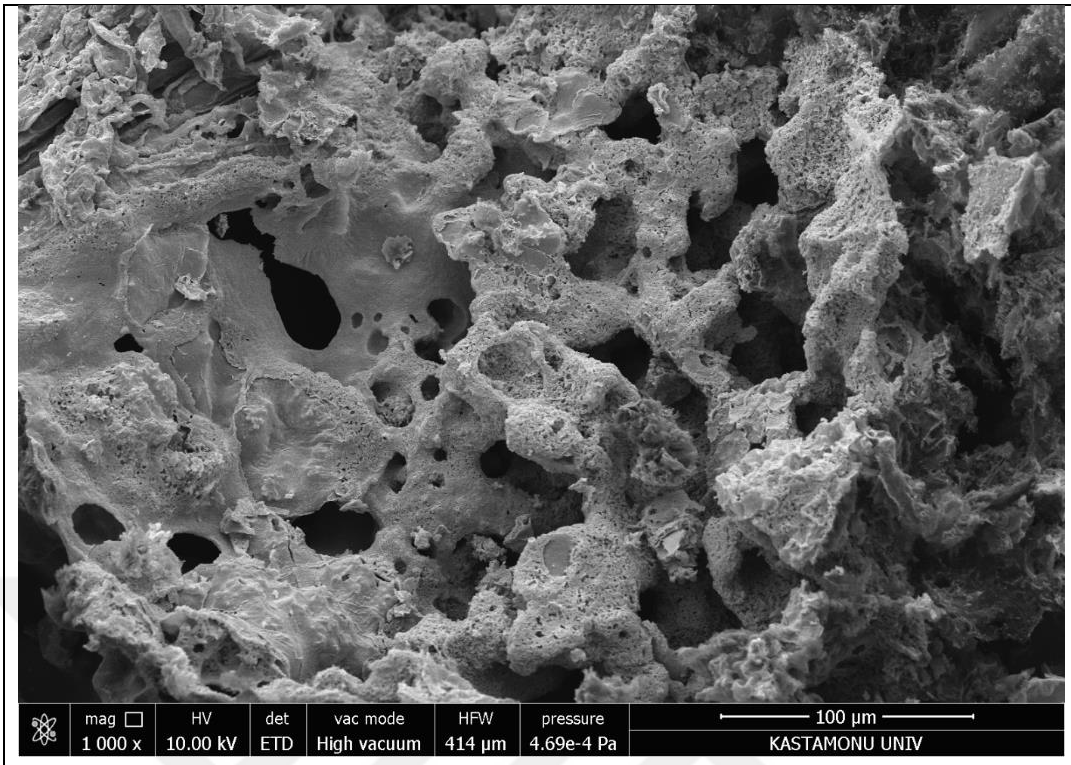
Şekil 4.3 Orman Gülü bitkisinden 700 °C'de 3M $ZnCl_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri

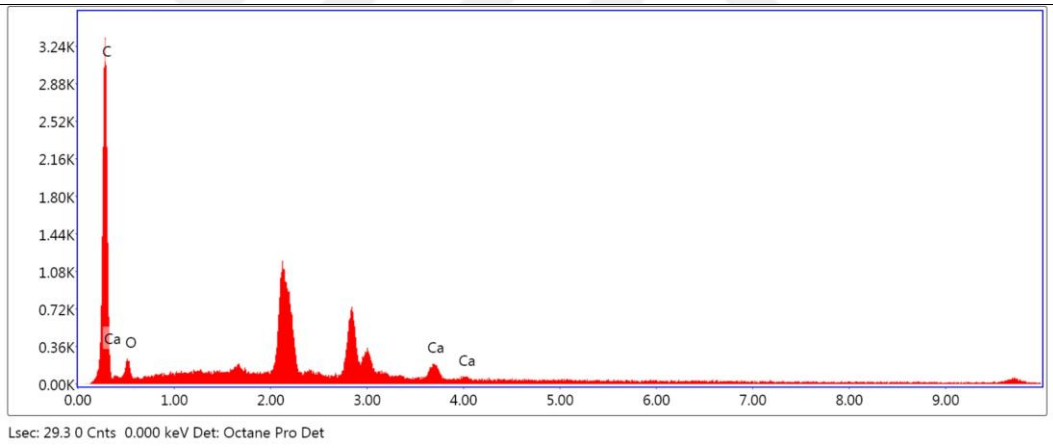




Element	Weight %	Atomic %
C K	93,13	94,75
O K	6,87	5,25

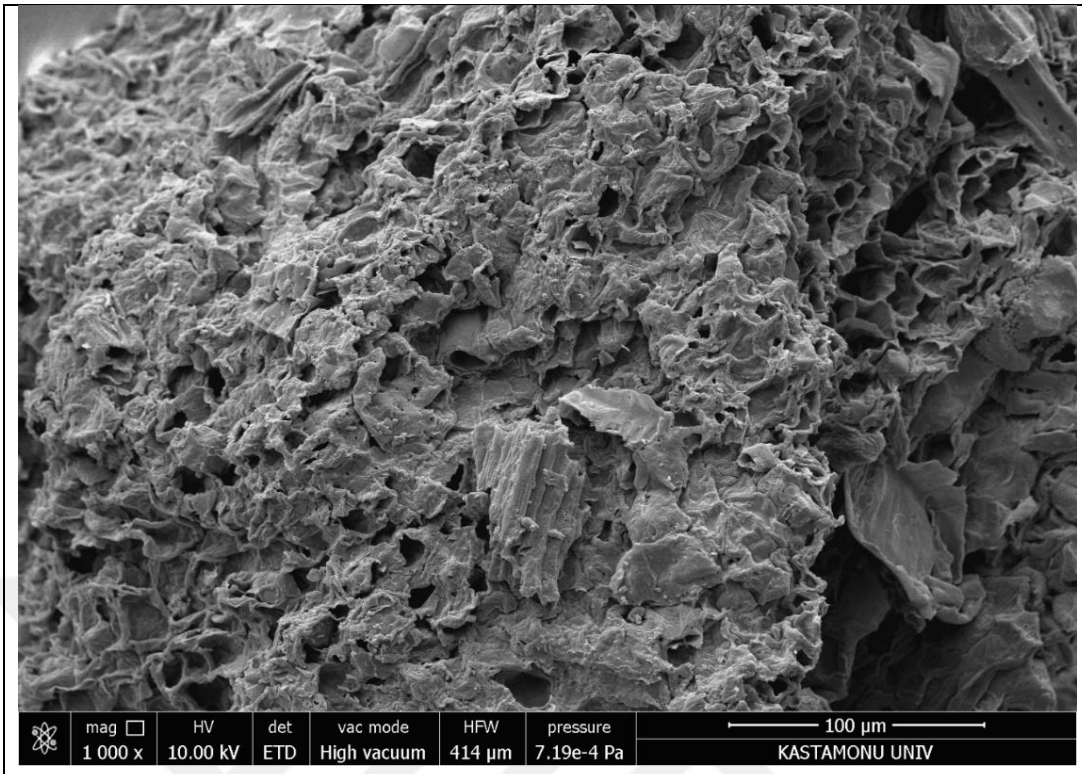
Şekil 4.4 Orman Gülü bitkisinden 800 °C'de 3M $ZnCl_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri

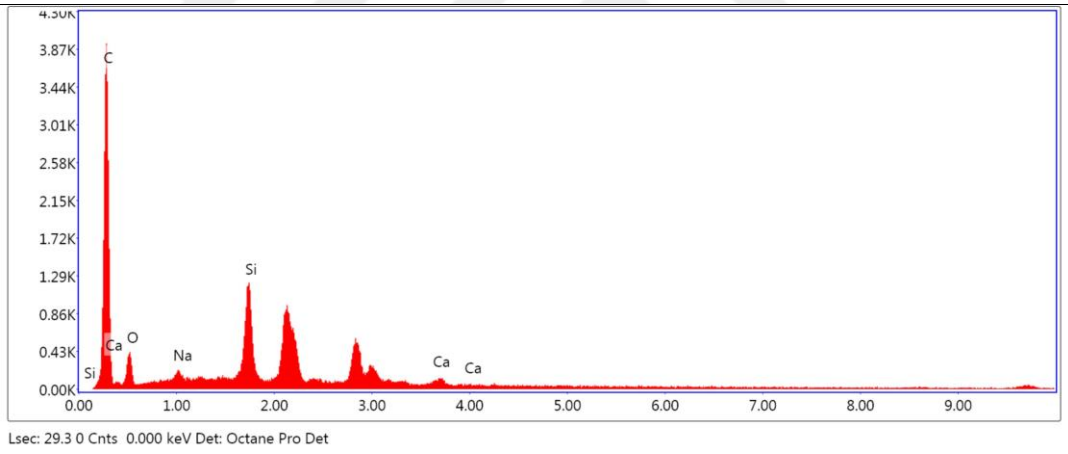




Element	Weight %	Atomic %
C K	78,82	85,56
O K	15,42	12,57

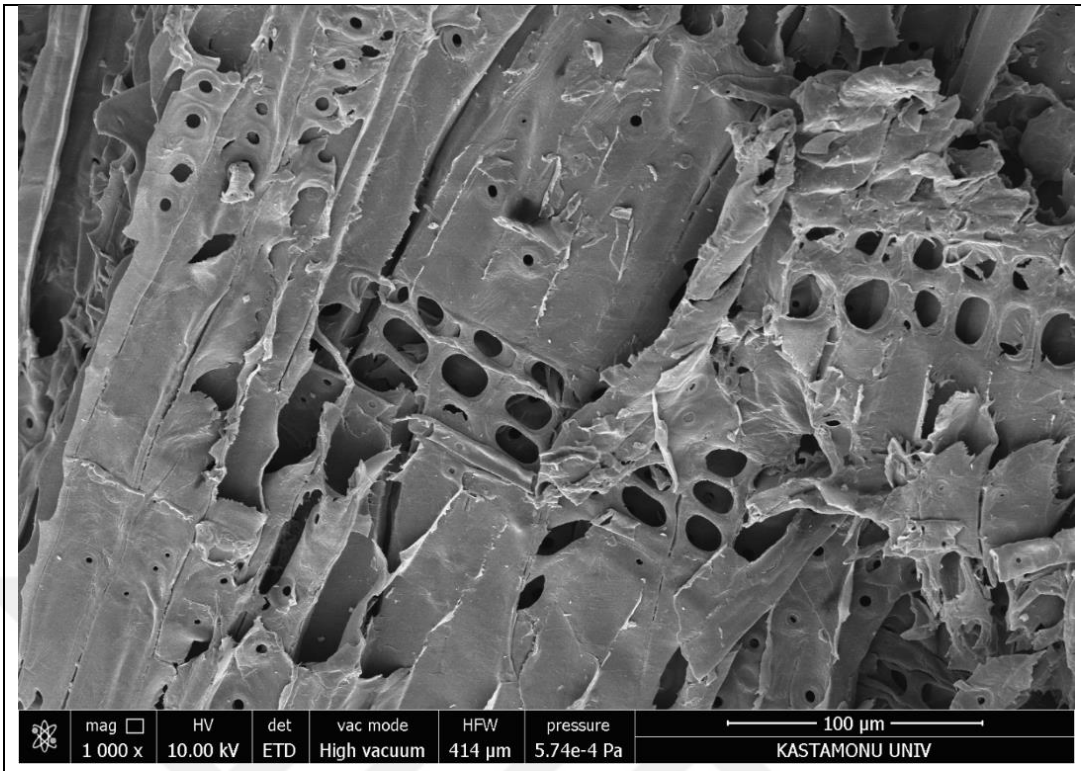
Şekil 4.5 Orman Gülü bitkisinden 600 °C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri

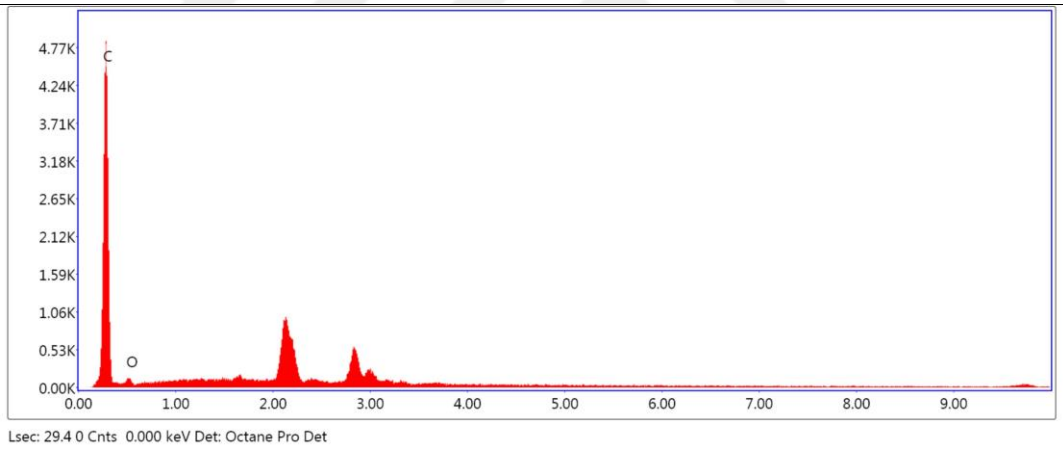




Element	Weight %	Atomic %
C K	77,15	84,83
O K	12,92	10,67

Şekil 4.6 Orman Gülü bitkisinden 700 °C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri



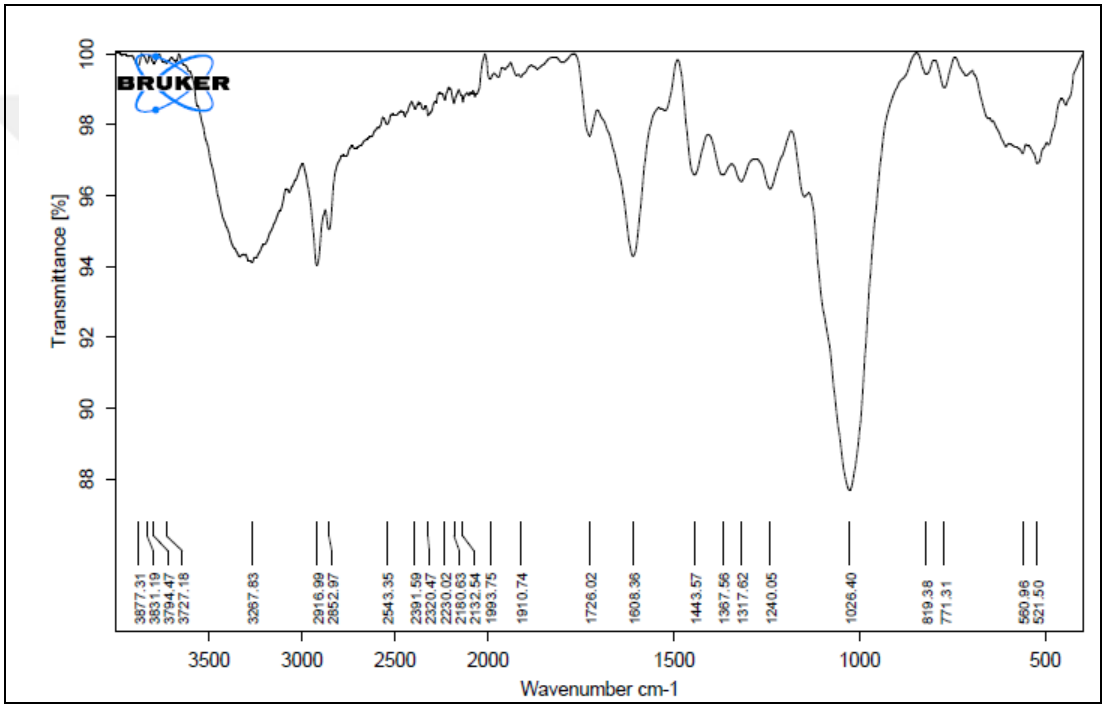


Element	Weight %	Atomic %
C K	92,73	94,44
O K	7,27	5,56

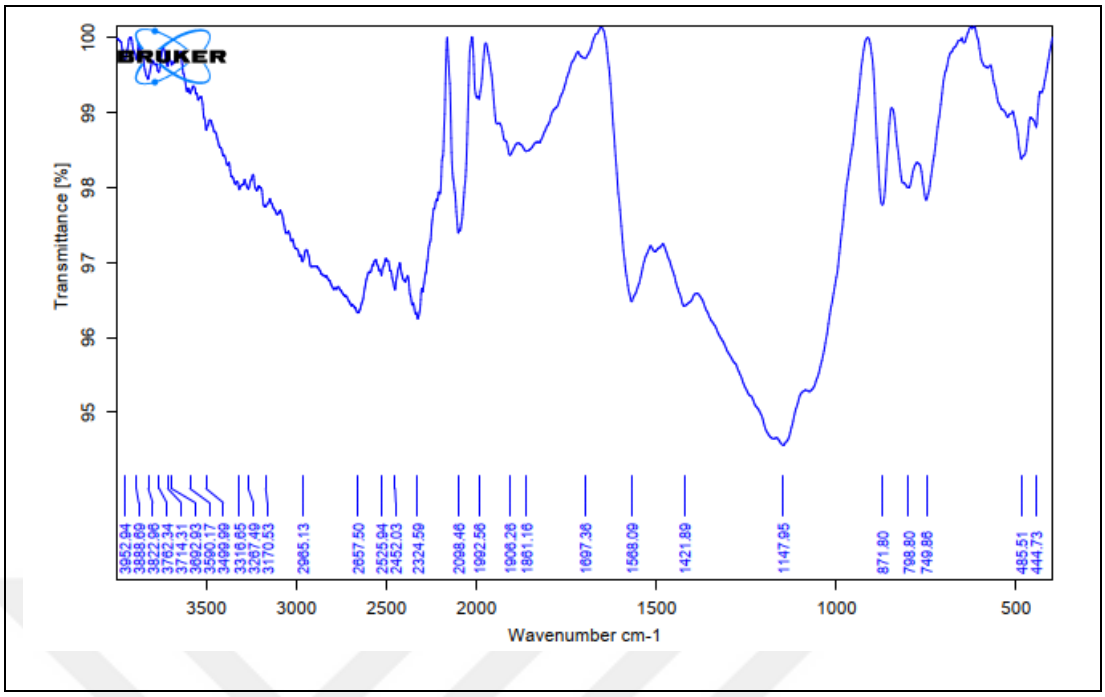
Şekil 4.7 Orman Gülü bitkisinden 800 °C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların SEM-EDX ve elementel analiz verileri

4.1.3 FTIR-ATR Analizi

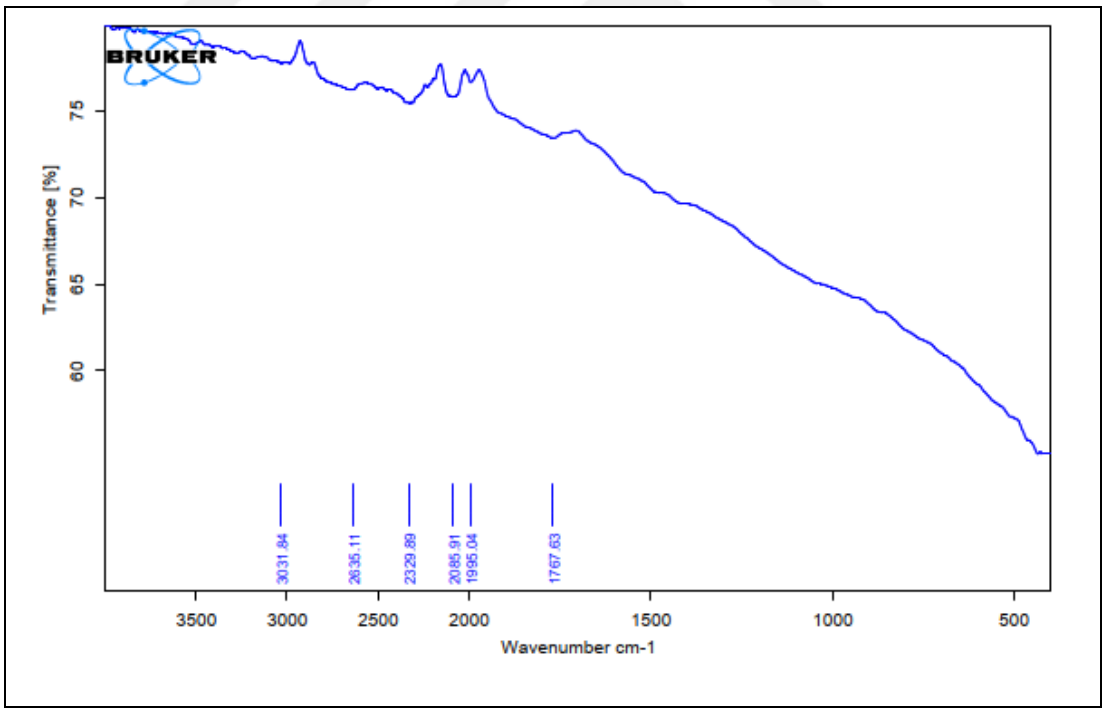
Orman gülü bitkisine ve ondan $ZnCI_2$, LiOH ile farklı sıcaklıklarda aktivasyon ile elde edilen aktif karbonlara ait örneklerin FTIR-ATR spektrumları Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmektedir. Şekiller incelendiğinde orman gülünün yapısında bulunan fonksiyonel grupların sıcaklık artışıyla beraber yapıdan uzaklaştığı ve özellikle 700 ve 800 ^oC'de hemen hemen yapıda fonksiyonel grubun kalmadığı görülmektedir.



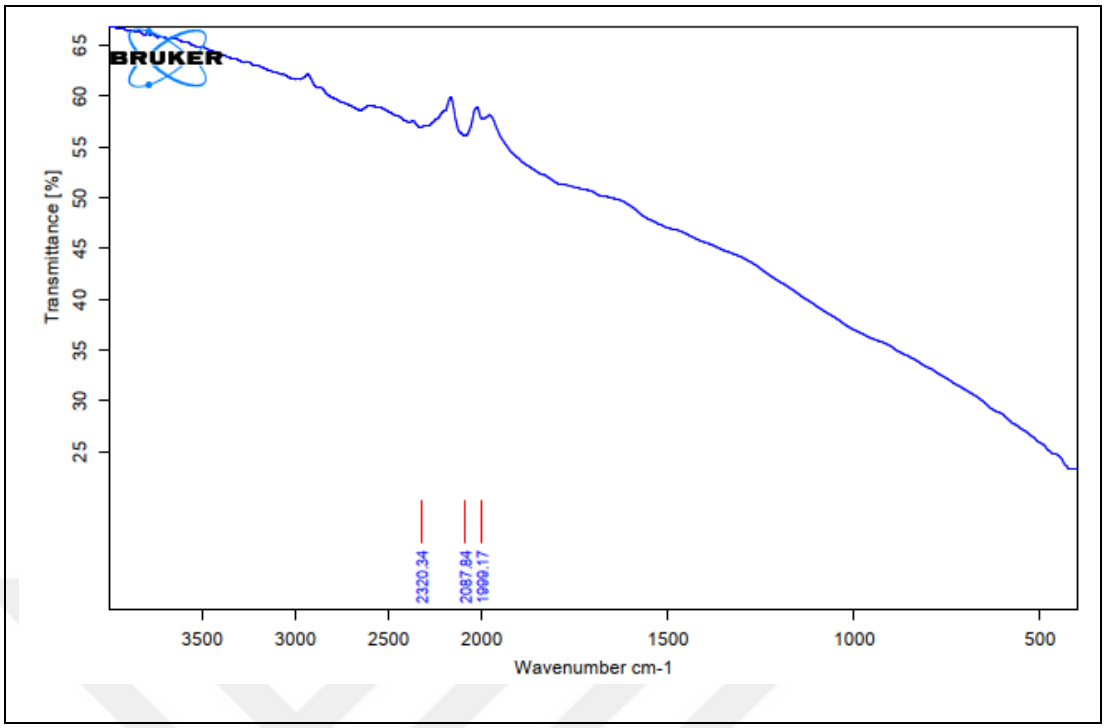
Şekil 4.8 Ham orman gülü bitkisinden oda sıcaklığında elde edilen FTIR-ATR spektrumu



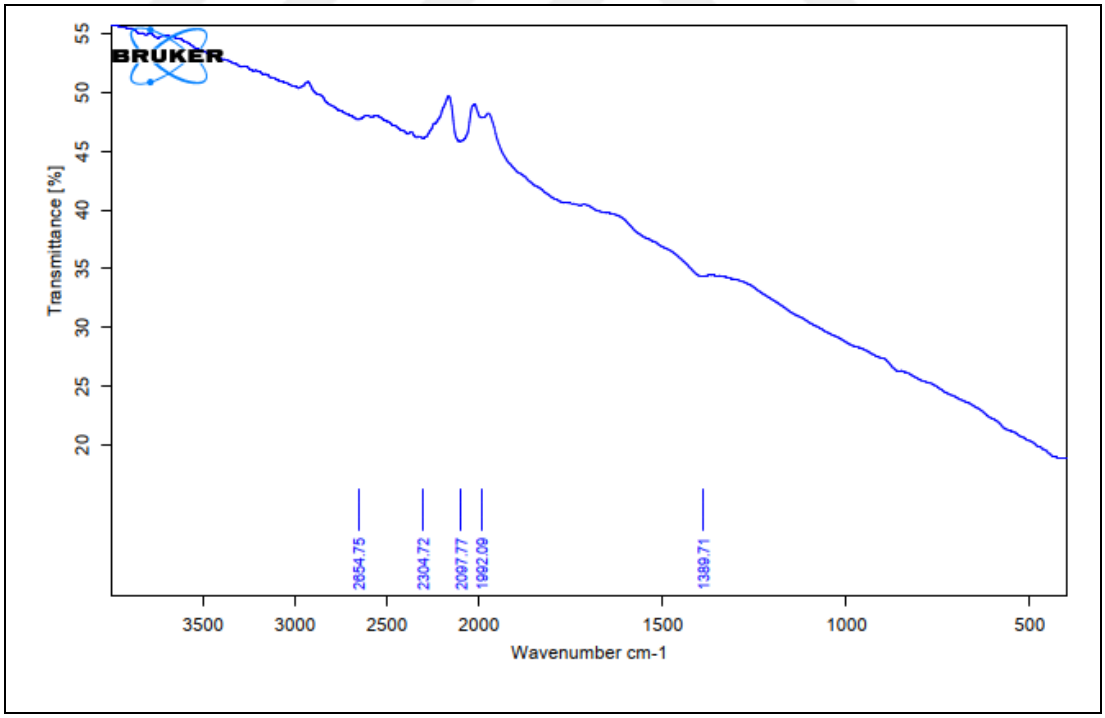
Şekil 4.9 Orman Gülü bitkisinden 600 °C'de 3M $ZnCl_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu



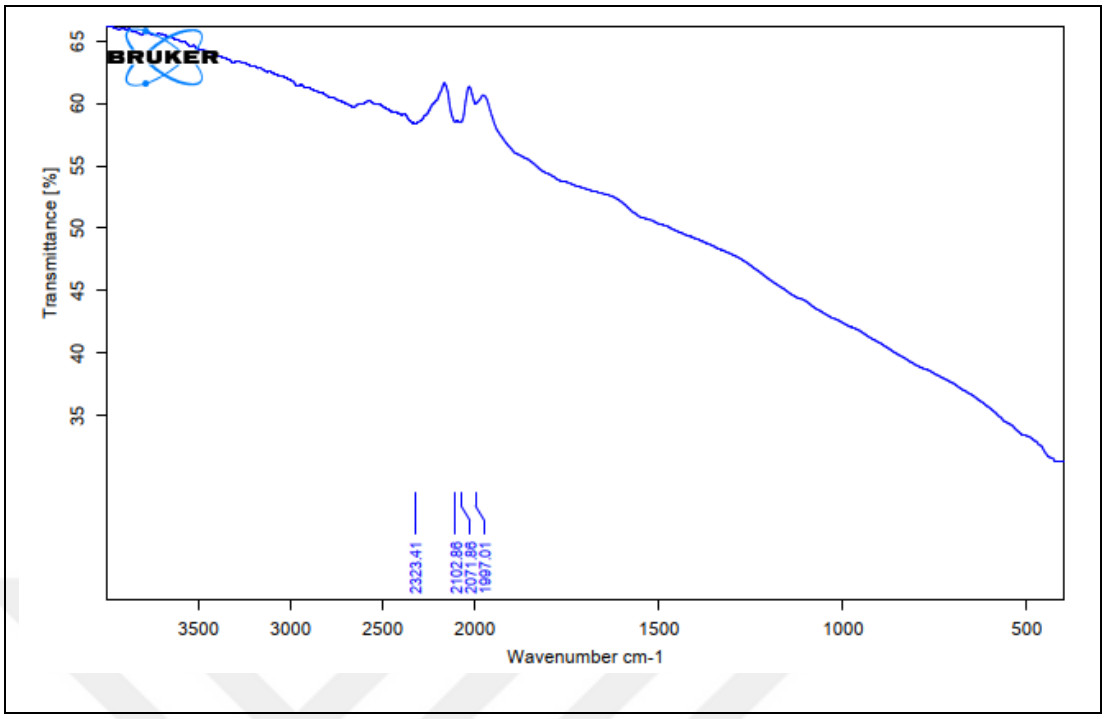
Şekil 4.10 Orman Gülü bitkisinden 700 °C'de 3M $ZnCl_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu



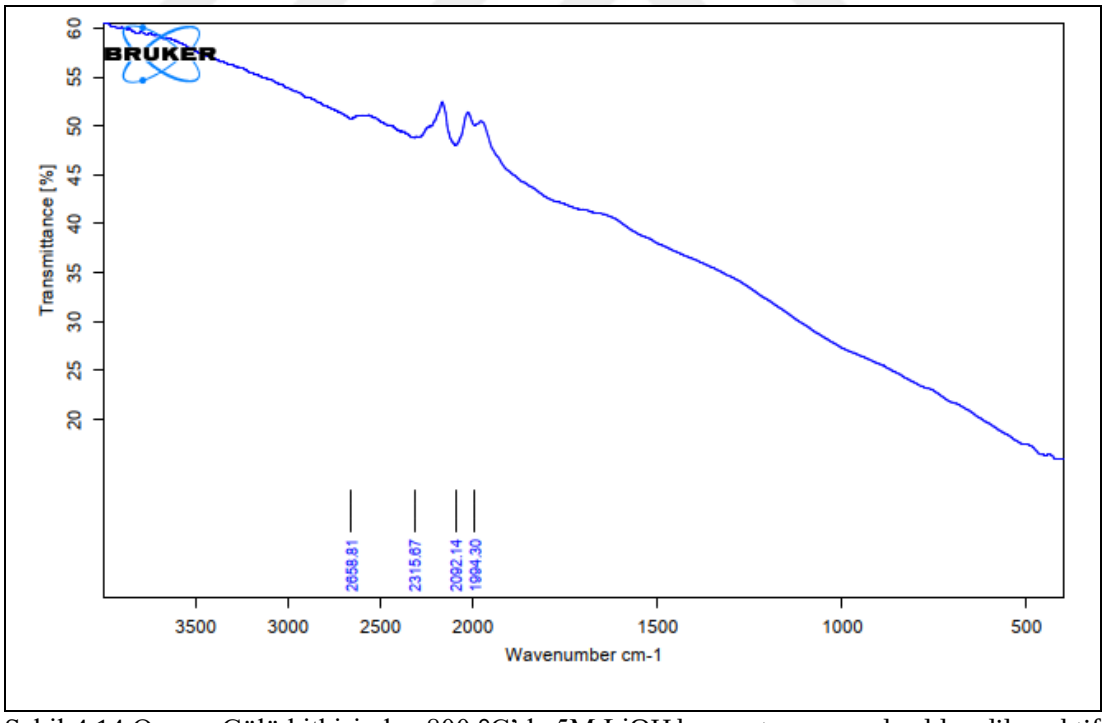
Şekil 4.11 Orman Gülü bitkisinden 800 °C'de 3M $ZnCl_2$ konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu



Şekil 4.12 Orman Gülü bitkisinden 600 °C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu



Şekil 4.13 Orman Gülü bitkisinden 700 °C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu



Şekil 4.14 Orman Gülü bitkisinden 800 °C'de 5M LiOH konsantrasyonunda elde edilen aktif karbonların FTIR-ATR spektrumu

4.2 Aktif Karbona Adsorpsiyon ile Kimyasal Oksijen İhtiyacı Giderimi

Ham atık sudan orman gülü bitkisi kullanılarak elde edilen aktif karbon yüzeyine KOİ adsorpsiyonu sıcaklık ve pH'nın etkilerinin incelenmesi olarak yapıldı.

4.2.1 Sıcaklığın Adsorpsiyon Üzerine Etkisi

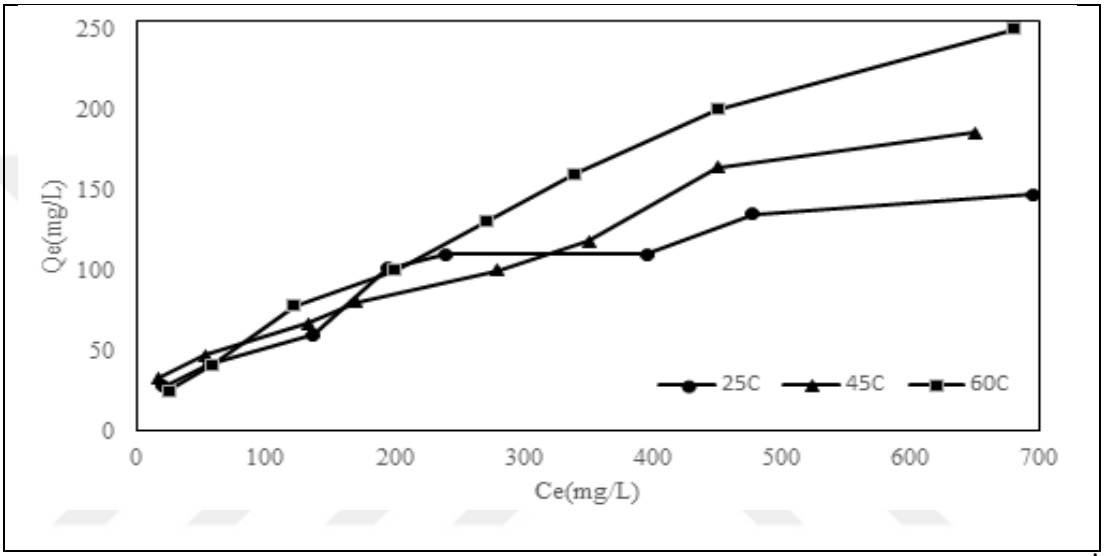
Aktif karbon üzerine evsel atık sulardan KOİ adsorpsiyonu, çözeltinin değişen sıcaklıklarda (25; 45; 60 ^{o}C) doğal pH'sında incelendi. Deneysel sonuçlar Tablo 4.2'de verilerek Şekil 4.15'de grafiği çizildi. Artan sıcaklık ile evsel atık sulardan aktif karbon yüzeyine KOİ adsorpsiyonunun arttığı bulundu.

Tablo 4.2 Aktif karbon yüzeyinde KOİ adsorpsiyonun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 6,8) ($ZnCl_2$)

C_o (mg/L)	**t (^{o}C)**	**C_e (mg/L)**	**q_e (mg/g)**	**C_e/q_e (mg/L)**
50	25	21,04	27,80	0,756
100		56,97	41,32	1,379
200		137,5	60,12	2,291
300		194,79	101,1	1,928
400		240,23	110,2	2,183
500		395,6	110,4	3,596
600		478,3	135,2	3,542
700		695,5	182,6	3,801
50	45	17,3	32,7	0,529
100		53,2	47,0	1,127
200		133,3	66,7	1,998
300		170,2	80,2	2,127
400		280,5	100	2,805
500		350,6	118	2,971
600		450,2	164	2,745
700		600,8	220	2,730
50	60	24,9	25,1	0,992
100		59,1	40,9	1,444
200		122	78	1,564

Tablo 4.2'nin devamı

C_o (mg/L)	t (^oC)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (mg/L)
300	60	200,3	100	2,003
400		270,6	130	2,081
500		340,1	160	2,125
600		450,3	200	2,251
700		680,5	250	2,722



Şekil 4.15 Sulu çözeltilerden Orman Gülü bitkisinden elde edilen aktif karbon yüzeyine KOİ gideriminin sıcaklıkla değişimi

4.2.1.1 pH'nın etkisi

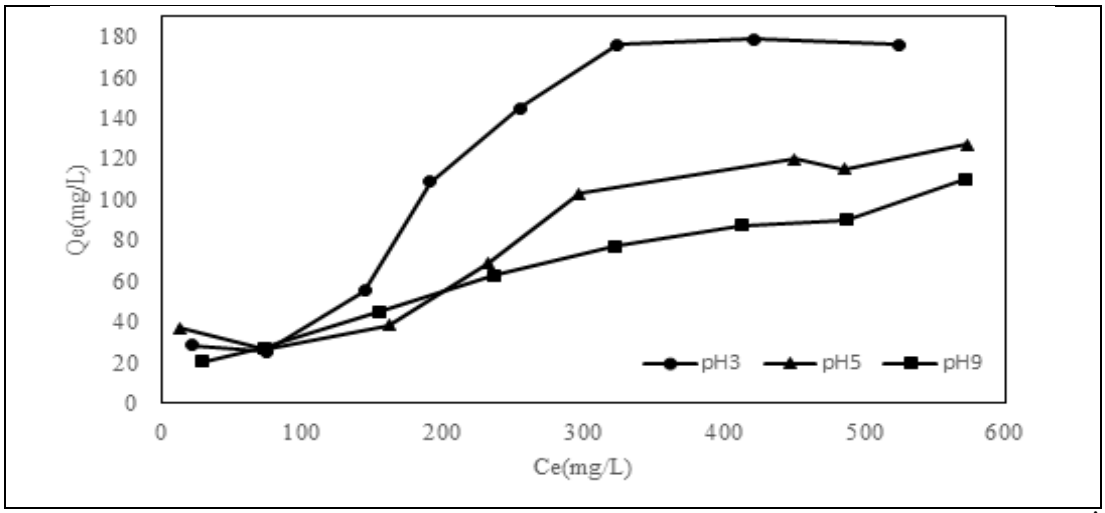
Adsorpsiyon üzerine pH'nın etkisinin incelenmesi için 25 ^oC'de pH 3,5 ve 9'da yapıldı. Elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 4.3'de verilerek Şekil 4.16'da grafik edildiği ve elde edilen sonuçlara göre çözeltilerin pH artışıyla ile aktif karbon üzerine KOİ adsorpsiyonunun azaldığı görülmüştür.

Tablo 4.3 Aktif karbon yüzeyinde KOİ adsorpsiyonun pH ile değişimine ait deneysel veriler (t: 25 ^oC) ($ZnCl_2$)

C_o (mg/L)	pH	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (mg/L)
50	3	21,5	28,5	0,754
100		74,4	25,6	2,906
200		144,7	55,3	2,616

Tablo 4.3'ün devamı

C_o (mg/L)	pH	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e (mg/L)
300	3	191,1	109	1,752
400		255,5	145	1,758
500		324,4	176	1,840
600		421,0	179	2,351
700		524,7	176	2,977
50	5	13,00	37,0	0,351
100		73,4,0	26,6	2,759
200		161,70	38,3	4,221
300		231,50	68,5	3,379
400		297,21	103	2,883
500		450,21	120	3,750
600		485,14	115	4,217
700		573,01	127	4,511
50	9	29,40	20,6	1,427
100		72,91	27,1	2,690
200		154,93	45,1	3,434
300		237,10	62,9	3,769
400		323,22	77,0	4,194
500		412,44	87,6	4,707
600		487,21	90,0	5,411
700		572,23	110	5,200



Şekil 4.16 Sulu çözeltilerden Orman Gülü bitkisinden elde edilen aktif karbon yüzeyine KOİ gideriminin pH ile değişimi

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

5.1 Aktif karbonların Yüzey Karakterizasyonu

Orman gülü bitkisinin farklı sıcaklıklarda $ZnCl_2$ ve LiOH aktivasyonu ile üretilen aktif karbonlar, BET yüzey alanı ölçümleri, FTIR-ATR analizleri ve SEM-EDX görüntüleri kullanılarak karakterizyonu elde edilmiştir.

5.1.1 BET Yüzey Alanı Sonuçları

Adsorpsiyon çalışmalarında adsorbentin adsorplama kapasitesini ölçen en önemli parametrelerden biri BET yüzey alanıdır. Dolayısıyla çalışmamızda orman gülü bitkisinden elde edilen aktif karbonların yüzey alanlarını belirlemek için yüzey alanına aktivasyon ajanı ve sıcaklığın etkileri araştırılmıştır. Elde edilen aktif karbonlardan en yüksek yüzey alanına sahip örnek ile evsel atıksu örneğinden KOİ giderim verimi araştırıldı. Aşağıda her orman gülü bitkisinden elde edilen aktif karbonun deneysel sonuçları ve elde edilen sonuçlar literatür ile tartışılmaktadır.

5.1.1.1 $ZnCl_2$ ile aktivasyonlu orman gülü bitkisi

Orman gülü bitkisinin ayrı ayrı $ZnCI_2$ ve LiOH aktivasyonu ile 600, 700 ve 800 ^oC'de elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanları Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablo 4.1 incelendiğinde aktivasyon ajanının etkisinden ziyade artan piroliz sıcaklığının yüzey alanına olan etkisi daha belirgin olarak görülmektedir. Hem LiOH hem de $ZnCI_2$ ile aktive edilen örneklerde 700 ^oC'nin üzerindeki sıcaklıklarda gözeneklerin sıcaklık artışıyla beraber çökmesinden dolayı yüzey alanında azalma görülmüştür. Uçar ve arkadaşlarının, nar çekirdeği ile aktivasyon ajanı olarak kullandıkları $ZnCl_2$ ile yaptıkları çalışmada piroliz sıcaklığı artışıyla BET yüzey alanının azaldığını göstermişlerdir (Uçar vd., 2009). $ZnCl_2$ ile 700 ^oC'de hurma çekirdeği ile yapılan başka bir çalışmada elde edilen aktif karbonların sinterleşmesinden dolayı karbon duvarlarında meydana gelen büzülmeler BET yüzey alanının azaltarak karbon yapısının tekrar düzenlenmesine sebep olmuştur (Alhamed vd, 2009).

$ZnCl_2$'nin su tutma kapasitesi diğer aktivasyon ajanlarına göre daha fazla olmasından dolayı, ham materyal ile emdirme esnasında ham materyalin iç suyunu tutarak piroliz işleminde yapıdaki suyun diğer aktivasyon ajanlarına göre daha fazla yapıdan uzaklaşmasına sebep olduğu için mikropor oluşumunu destekleyerek BET yüzey alanını büyütmektedir. Bu durumun $ZnCI_2$ aktivasyonunun kullanılan aktivasyon ajanı derişiminden çok, optimum piroliz sıcaklığının ve optimum aktivasyon ajanının etkisinin BET yüzey alanın büyümesinde etkili olduğu görülmektedir (Qian vd., 2007) LiOH aktivasyonlu örneklerin BET yüzey alanı sonuçları da yine $ZnCI_2$ ile benzerlik göstermiş olup artan sıcaklık ile beraber nispeten artış göstermiş ve 700 ^oC'nin üzerinde yine por göçmesiyle beraber yüzey alanında küçülme meydana gelmiştir.

5.1.2 FTIR-ATR Analizi

5.1.2.1 Orman gülü bitkisi ve aktif karbonların FTIR-ATR analizleri

FTIR-ATR spektroskopisi ile ham orman gülü bitkisi ve ondan elde edilen aktif karbonların yüzeylerinde bulunan fonksiyonel grupları ve bu grupla karşılık gelen dalga boyu aralıklarının ölçülmesiyle yapının yüzey fonksiyonel grupları belirlenmektedir. Orman gülü bitkisinden $ZnCI_2$ ve LiOH aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonların FTIR-ATR Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. FTIR-ATR spektrumunda ki 3300-3500 cm^{-1} aralığındaki band, hidrojen bağlı O-H gerilme titreşimi bandı, lignoselülozik yapıdaki orman gülü bitkisindeki –OH gruplarının olduğuna işarettir. 2924 cm^{-1} civarında, tersiyer C-H asimetrik ve simetrik olarak gerilmiş bağları, 1733 cm^{-1} civarında, C=O titreşim bandı; 2000 cm^{-1} civarındaki pikler C-N ve C-O gerilme titreşimleri mevcuttur. Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de FTIR-ATR spektrumunda, orman gülü bitkisinin ham yapısındaki piklerinin hemen hemen çoğu piroliz sıcaklığı artışıyla beraber kaybolmuştur. Selülozik yapıdaki örneklerin yüksek sıcaklıkta piroliz edilmesi, ham örneğin sahip olduğu fonksiyonel grupların, CO_2 ve CO'a dönüşmesine ve yapıdan ayrılmasına sonuçta, aktif karbonun iskeletini oluşturarak sadece karbonların kalmasına sağlamaktadır. Bu da KOİ adsorpsiyonu için pH artışıyla beraber adsorpsiyonun düşüşünü açıklamaktadır. Yapıdaki fonksiyonel gruplar azaldıkça ilave edilen OH, KOİ adsorpsiyonun düşüşüne

sebep olmaktadır. Bu sonuç adsorpsiyona pH'nın etkisinde görülmektedir. Aynı durum Kalavathy ve arkadaşlarının H_3PO_4 aktivasyonu ile kauçuk ağacını ham materyal olarak kullandıkları ve sulu çözeltilerden Ni ve Zn adsorpsiyonu için kullandıkları aktif karbon örneklerinde bulunmuştur (Kalavathy, vd., 2010). FTIR-ATR görüntülerinde görüldüğü gibi orman gülü bitkisinde olan fonksiyonel gruplar sıcaklık artışıyla beraber kaybolarak aktif karbonunda sadece elementel karbonun kalmıştır. Literatürde benzer çalışmalarda da örneğin, Antep fıstığı kabuğundan KOH emdirilmiş aktif karbonların artan sıcaklık ile fonksiyonel gruplara ait piklerin kaybolduğunu görülmüştür (Lua vd., 2004).

5.1.3 SEM Analizleri

SEM görüntüleri, ham orman gülü ve ondan elde edilen aktif karbonların yüzeyin fiziksel yapısı hakkında bilgiler vermektedir. Orman gülü bitkisi ve ona uygulanan aktivasyondan sonra yüzeydeki değişmeler, oluşan porlar SEM resimlerinden elde edilmektedir. EDX analizlerinde ise piroliz öncesi ve sonrasında yapıdaki % elementel içerikler verilmektedir.

5.1.3.1 Orman gülü bitkisi ve aktif karbonların SEM-EDX sonuçları

Orman Gülü bitkisi ve ondan LiOH ve $ZnCl_2$ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7'de verilmiştir. Orman gülü bitkisinin SEM görüntüleri ve BET yüzey alanı incelendiğinde yüzeyinde herhangi bir por görünmemektedir. Ve BET yüzey alanı sonucunda bunu desteklemektedir. Ancak orman gülü bitkisinin aktivasyon ve pirolizinden sonra elde edilen SEM görüntüleri ve EDX sonuçlarına bakıldığında özellikle 800 ^oC'de LiOH ile aktive örneğin makro porlarının oldukça belirgin olduğu, bunun yanında mezo porların da varlığı görülmektedir. Ve yüzey morfolojisinde oldukça önemli değişimler meydana gelmiştir. Orman gülü bitkisinin yüzeyinde gözenek yokken, pirolizinden sonra elde edilen aktif karbonda gözenekli bir yapıya oluştuğu, ancak yüzeydeki gözeneklerin hetorojen dağılım gösterdiği SEM fotoğraflarından görülmektedir. Ayrıca elde edilen EDX sonuçları incelendiğinde, Ham orman gülü bitkisinde yaklaşık %72 civarında olan Karbon içeriği aktivasyondan

sonra piroliz sıcaklığı ve aktivasyon ajanı türü ile artış göstermektedir. Ayrıca bu sonuçları FTIR-ATR sonuçları da desteklemektedir. EDX sonuçlarına göre en yüksek karbon içeri olan örnekler yaklaşık %93 C içeren $ZnCI_2$ aktivasyonlu ve %92 C içeren LiOH aktivasyonlu 800 ^oC'de piroliz edilen örneklerden elde edilmektedir. Ve bu sonuçlardan görülmektedir ki elde edilen örneklerin karbon içeriklerinin artışını aktivasyon ajanından ziyade piroliz sıcaklığındaki artış sebep olmaktadır.

5.2 Aktif Karbon ile KOİ Giderimi

Orman Gülü bitkisinden $ZnCI_2$ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonlar ile evsel atık sudan KOİ giderimine sıcaklığın ve pH değişiminin etkisi araştırılmış ve sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

5.2.1 Aktif Karbon ile KOİ Giderimine Sıcaklığın Etkisi

Adsorbent yüzeyinde meydana gelen adsorpsiyon reaksiyonlarında sıcaklık değişimleri, adsorpsiyon olayında meydana gelen ısı değişimi hakkında bize fikir verir. Orman gülü bitkisinden $ZnCl_2$ aktivasyonu elde edilen aktif karbonların KOİ gideriminde sıcaklıkla değişimi sırasıyla Tablo 4.1'de verilmektedir. Sıcaklık değişimi ile yüzeyde adsorplanan KOİ miktarlarının (25 ^oC, 45 ^oC ve 60 ^oC) arttığı görülmüştür. Sıcaklık artışıyla adsorbentin yüzeyinde tutunan KOİ için bu olayın endotermik bir ısı değişimi olduğunu ifade etmektedir.

5.2.1.1 Aktif karbon ile KOİ giderimine pH'nın etkisi

Lignoselülozik malzemelerin genellikle, karboksil, fenol, laktonik asit gibi fonksiyonel grupları içerirler. Ancak yüksek sıcaklıklarda yapılan piroliz ile bu fonksiyonel grupların çoğu kaybolur. Daha sonra elde edilen aktif karbonlarda eğer bu fonksiyonel gruplardan karboksilik asit aktif karbonun yapısında kalır ise aktif karbonun asidik ya da bazik olmasında etkili olurlar. Oluşan aktif karbonun yüzeyine sulu çözeltilerden kirletici maddelerin adsorpsiyonunda pH değişmeleri aktif karbonun yüzey fonksiyonel gruplarının asidik veya bazik bileşenlerin iyonlaşma yüzdelerini etkileyen en önemli olgudur (Türkyılmaz, 2011) Orman gülü bitkisinden elde edilen aktif karbonlar ile KOİ giderimi oda sıcaklığında pH 3; 5 ve 9'da gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.16'da, $ZnCl_2$ ile aktive edilen aktif karbon ile KOİ giderimi üzerine çözelti pH'sının etkisini görülmektedir. Grafik incelendiğinde pH artışıyla KOİ gideriminin azaldığı görülmektedir. Özellikle sularda kirletici miktarının bir göstergesi olan KOİ negatif yüzeye sahip olması adsorbent yüzeyindeki asidik karakterin artması ile elektrostatik çekim gücünün etkinliğini arttırdığından dolayı, adsorbentin yüzeyinin pozitif olması sulu çözeltilerden KOİ gideriminde oldukça önemlidir. Won ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da, başlangıç pH'ının 8'den daha fazla yükseltilmesi, esasen çözünen türler olan ve kirleticilerin azaltılmasına katkıda bulunmayan $Al(OH)_4$ ve $Fe(OH)_4$ türlerinin oluşumu nedeniyle renk giderme ve KOİ giderim etkinliğini azalttığını göstermişlerdir (Jung, 2015). Çözelti pH'ındaki artışla çözeltideki OH^- derişimi artarak adsorbent yüzeyini negatif yapmaktadır. Dolayısıyla anyonik KOİ aktif karbonun pozitif yüzeyi ile elektrostatik olarak daha etkin bir şekilde etkileşerek KOİ giderimi artacaktır.

5.3 Adsorpsiyon İzoterm Sonuçları

Sulu çözeltilerde kirlilik giderim veriminin hesaplanmasında, elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde, adsorpsiyon izotermleri oldukça yaygın kullanılmaktadır. Literatürde deneysel sonuçları analiz etmek için yaygın olarak kullanılan Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermlerini kullanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

5.3.1 Freundlich İzotermi Sonuçları

Homojen olmayan katı adsorbent yüzeylerde adsorpsiyon verilerinin hesaplanması için Freundlich izotermi hesaplaması aşağıda verilmiştir. Freundlich izoterm sabitleri K_f, n ve R^2 için hesaplanan değerler Tablo 5.1'de verilmektedir. Sonuçlar bize sulu çözeltilerden aktif karbon ile KOİ gideriminde Freundlich İzoterminin daha uyumlu olduğunu göstermektedir.

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \tag{5.1}$$

Yukarıdaki eşitliğin Ln'i alınıp çizilen grafiğin eğiminden Kf değeri, kayım değerinden de n değeri hesaplanmıştır (Türkyılmaz, 2011)

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \tag{5.2}$$

5.3.2 Langmuir İzotermi

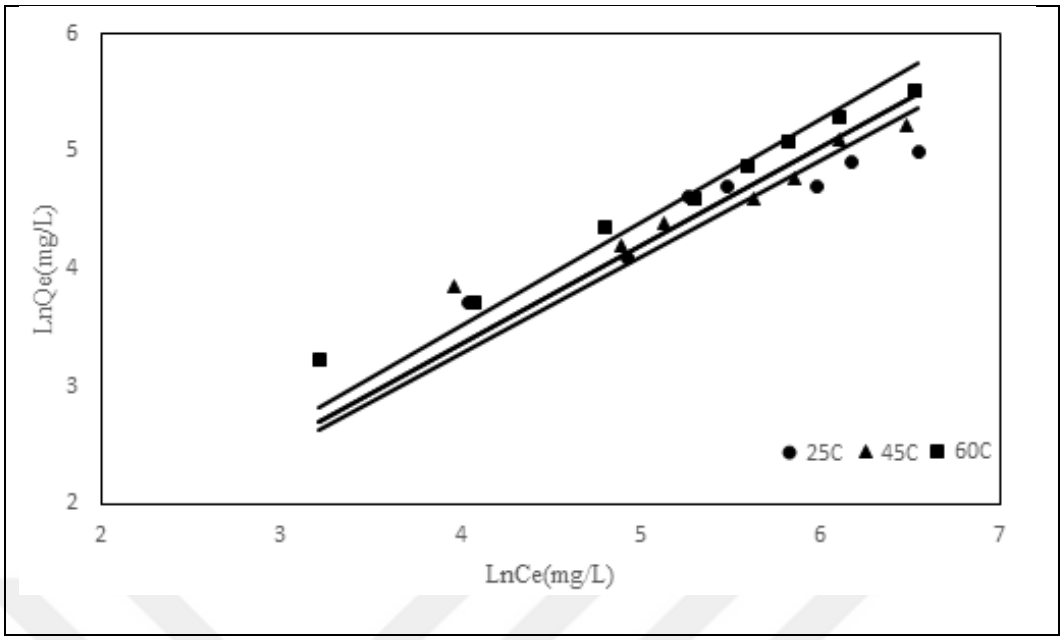
Adsorbent yüzeyinde tutunan kirliliğin Langmuir İzotermi için elde edilen sonuçlar Tablo 5.1'de verilmektedir. KOİ giderimi için hesaplanan, R^2 sonuçları 0,54 ile 0,90 aralığında değiştiği görülmektedir. Hesaplanan regrasyon değerlerinin 1'e oldukça uzak olduğundan dolayı sonuçlarımızın Langmuir İzotermi'nin, adsorpsiyonu ile uyumlu olmadığı görülmektedir. Elde edilen deneysel sonuçların hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K} + \frac{C_e}{q_m} \tag{5.3}$$

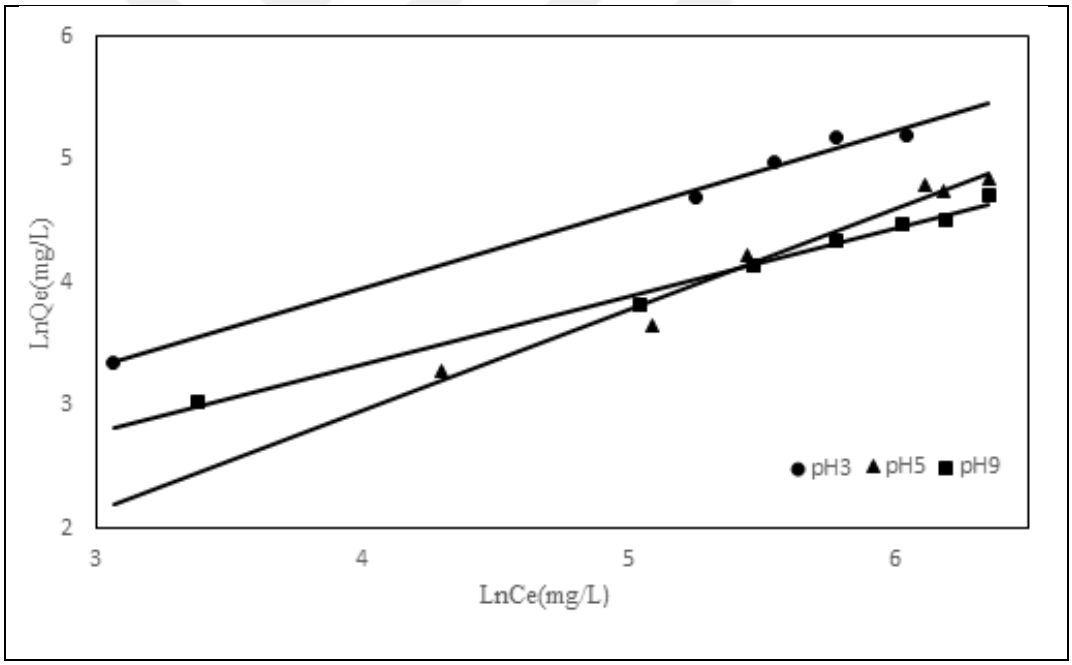
C_e/q_e'nin C_e ile çizilen grafiğinde elde edilen, eğimi $1/q_m$ ve kayımı $1/q_mK$ olan doğrusal bir grafik elde edilerek K ve q_m sabitleri hesaplanmış ve Tablo 5.1'de verilmiştir (Türkyılmaz, 2011).

Tablo 5.1 Orman gülü bitkisinden $ZnCI_2$ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde KOİ adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	**pH**	**Langmuir izotermi**			**Freundlich izotermi**		**R^2**
		q_m (mg/g)	**K (L/mg)**	**R^2**	**K_f**	**n**	
25	Tabii	222,2	0,003	0,86	5,053	1,86	0,96
45	Tabii	277,7	0,002	0,66	6,35	1,95	0,94
60	Tabii	434,8	0,002	0,88	2,38	1,38	0,99
25	3	526,31	0,001	0,19	4,52	1,64	0,98
25	5	204,08	0,003	0,54	1,39	1,204	0,95
25	9	153,84	0,003	0,90	2,66	1,72	0,98



Şekil 5.1 Şekil 4.15'deki verilere ait Freundlich adsorpsiyon izotermi



Şekil 5.2 Şekil 4.16'daki verilere ait Freundlich adsorpsiyon izotermi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir:

1. Orman Gülü bitkisinin ham materyal olarak seçilmesi ve $ZnCl_2$, LiOH'in aktivasyon ajanı olarak kullanılması ve farklı sıcaklıklarda piroliz sonucunda elde edilen aktif karbonların yüzey alanları, 3M $ZnCI_2$ ile; 1227 m^2/g ve 5 M LiOH ile de 205 m^2/g olarak bulunmuştur Ayrıca;

2. FTIR-ATR sonuçları sıcak artışıyla ham orman gülünün yapısındaki fonksiyonel grupların kaybolduğunu göstermiştir.

3. BET yüzey alanı artışıyla beraber adsorbatın KOİ gideriminin arttığı,

4. Sıcaklık artışıyla beraber evsel atık sulardan aktif karbon yüzeyine KOİ adsorpsiyonunun arttığı,

5. Artan pH değerleri ile aktif karbon yüzeyine KOİ adsorpsiyonunun azaldığı,

6. Deneysel verilerin Freundlich izotermi uyumlu olduğu,

Son olarak ham materyal olarak seçilen orman gülü bitkisinin ormanlarda istilacı tür olmasından dolayı hem ormandan temizlenmesi hem de ekonomiye kazandırılması adına bu bitkinin kullanılarak aktif karbon üretiminde kullanılarak ülke ekonomisinde yararlı bir ürün haline getirilmesi açısından bu tez çalışması ile oldukça önemli sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Akgün , M. (2019). *Farklı Orman Gülü (Rhododendron L.) Türlerinden Elde Edilen Balların Antimikrobiyal, Antioksidan ve Biyoaktif Özelliklerinin Belirlenmesi.* Ordu: Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Alhamed, Y., & Bamufleh, H. (2009). 'Sulfur removal from model diesel fuel granular activated carbon from dates stones activated by $ZnCl_2$. *Elsevier*, 87.

Aliyev, E. (2021). *Fındıkkabuğundan Hazırlanan Aktif Karbon İle Sulu Çözeltilerden Krom Giderimi.* İstanbul: İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Arslanoğlu Işık, H. (2012). *Çeşitli Yöntemlerle Tarımsal Atıklardan Üretilen Aktif Karbonların Karakterizasyonu ve Kesikli Sistemde Boyar Madde Giderimine Uygulanması,.* Elazığ: Fırat Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aslan, A., & Zeybek, Ş. (2022). Using Walnut Shell Based Activated Carbon for the Efficient Removal of Phosphate from Aqueous Solutions. *Sinop Üniveristesi Fen Bilimleri Dergisi* , 22-40.

Aslan, S. (2021). Çörek Otu Posasının Aktif Karbon Üretiminde Değerlendirilmesi. *Fırat Üniveristesi Müh. Bil. Dergisi*, 193-201.

Atalay Sönmez, N. (2014). *Sulardan Adsorpsiyon Yöntemi İle Bor Giderimi.* Denizli: Pamukkale Eniveristesi Fen Bilimler Enstitüsü.

Aydın , A. (2002). *Yerli Doğal Hammaddelerden Aktif Karbon Üretimi ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi.* İstanbul : İstanbul Teknik Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü .

Aydın Şamdan, C. (2013). *Kabak Çekirdeği Kabuğundan Kimyasal Aktivasyonla Aktif Karbon Üretimi.* Eskişehir : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstiüsü .

Aydın, C. (2013). *Kabak Çekirdeği Kabuğundan Kimyasal Aktivasyonla Aktif Karbon Üretimi. Boya ve Ağır Metal Gideriminde Değerlendirilmesi.* Eskişehir : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Belen, S. N. (2019). *Çay Atığı ve Kahve Telvesiyle Aktif Karbon Üretimi, Üretilen Adsorbentin Ağır Metal Adsorpsiyonu Proseslerinde İncelenmesi.* Sivas: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bingül, Z., & Altıkat, A. (2017). *Evsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Tarımsal Sulamada Kullanılabilirliği.* Iğdır: Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bouchelta, C., Mediram M.S., Bertrand, O., & Bellat, J.-P. (2008). Preparation and characterization of activated carbon from date stones by physical activation with steam. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 70-77.

Bozbeyoğlu, P. (2020). *Karadeniz Bölgesinde Yetişen Mısırların (Zea Mays L.) Koçanından Aktif Karbon Üretimi, Karakterizasyonu Ve Atık Sulardan Çeşitli Kirleticilerin Uzaklaştırılmasında Kullanımının İncelenmesi.* Gümüşhane : Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstiüsü.

Çelik , A. (2018). *Yüzeysel Su Kaynaklarından Diyabetik İlaç Kalıntılarının Adsorbsiyon İle Giderilmesi.* Kocaeli : Gebze Teknik Üniveritei Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çelik, A. (2022). *Tarımsal Esaslı Biyokütle Karışımı ve Bundan Hazırlanan Aktif Karbonla Sulu Çözeltilerden Cr^{+6} Giderimi.* Elazığ: Fırat Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çetingürbüz, E. (2022). *Orman Endüstrisi Kabuklarından Aktif Karbon Eldesinin Hidrojen Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi.* Kastamonu: Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demir , E., & Yalçın, H. (2014). Adsorbentler: Sınıflandırma, Özellikler, Kullanım ve Öngörüler, Derleme. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* , 70-79.

Döşemen, Y. (2009). *Kestane Kabuğundan Aktif Karbon Üretimi.* İstanbul : İstanbul Teknik Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Dubber , D., & Gray, N. (2010). Replicement of Chemical Oxygen Demond (COD) with Total Organic Carbon (TOC) for Monitoring Wastewater Treatment Performance to Minimize Disposal of Toxic Analytical Waste. *Journal of Environmental Science and Health* , 1595-1600.

Ferreira, L., Melo, R., Pimenta, A., Azevedo, T., & Souza, C. (2022). Adsorption Performance of Activated Charcoal from Castor Seed Cake Prepared by Chemical Activation with Phosphoric Acid . *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1181-1192.

Fesleğen, K. (2017). *Evsel Atıksuların Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması.* Bursa: Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Geylan, F. (2016). *Zeytin Yaprağından Nanoaktif Karbon Üretimi Ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi,.* Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstiüsü .

Guo, Y., & Rockstraw, D. (2005). Activated carbons prepared from rice hull byone-step phosphoric acid activation, Microporous and Mesoporous Materials. *Elsevier*, 437-443.

Gündüzoğlu, G. (2008). *Şeker Pancarı Küspesinden Aktif Karbon Üretimi ve Karakterizasyonu.* Eskişehir: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstiüsü.

Güngör, S. (2013). *Tarımsal Atıklardan Aktif Karbon Üretimi.* İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hayashi, J., Yamamova, N., Horikowa, T., Muroyama, K., & Gomes, V. (2005). Preparation and characterization of high-specific-surface-area activated carbons from K_2CO^3-treated waste polyurethane,. *Jornal of Colloid and Interface Science* , 437-443.

İskefiyeli , Z. (2010). *Ormangülü (Rhododendron) Uçucu Yağ ve Ekstraktlarının Kimyasal Bileşimleri ve Biyolojik Aktiviteleri.* Trabzon : Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Işınkaralar, K. (2020). *At Kestanesi (Aesculus hippocastanum L.) Kabuğundan Üretilmiş Aktif Karbon İle İç Ortam Havasından Formaldehit ve BTEX Giderimi.* Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Jung, K.-W. (2015). Combining fluidized metal-impregnated granular activated carbon in three-dimensional electrocoagulation system: Feasibility and optimization test of color and COD removal from real cotton textile wastewater. *Separation and Purification Technology*, 154-167.

Kalavathy, H., Karthik, B., & Miranda, L. (2010). Removal and recovery of Ni and Zn from aqueous solution using activated carbon from Hevea brasiliensis: Batch and column studies'', Colloids and Surface B: Biointerfaces. *Elsevier*, 291.

Karakaya, S. (2010). *Ormangülü Humusundaki Fulvik Asit Karakterizasyonu.* Sakarya : Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karataş, G. (2017). *Zeytin Çekirdeğinden Aktif Karbon Üretimi.* Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kayan, A. (2018). Çevre Sorunlarına Eğitimle Farkındalık Oluşturma . s. 2149-6544.

Köymen, S. (2019). *Aksaray İli Evsel Atıksu Karakteristiğine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi.* Aksaray: Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kul Erdoğan , Ö. (2022). *Antalya İli Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Azot-Fosfor Giderim Performanslarının Değerlendirilmesi Ve Optimizasyonu.* Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kumaş, C. (2015). *Fındık Kabuğundan Aktif Karbon Elde Edilmesinde Fosforik Asit ve Bor Kullanılması.* Afyon : Afyon Kocatepe Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kutlu , G. (2021). *Sulu Çözeltilerden Bazı Boyar Maddelerin Gideriminde Atık Döküm Kumlarının Kullanımı,.* Eskişehir : Eskişehir Tknik Üniveristesi Lisansüsü Eğitim Enstitüsü .

Küçükgül, E. (2004). Ticari Aktif Karbon Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* , 41-56.

Lua, A., & Yang, T. (2004). ’Effect of activation temperature on the textural and chemical properties of potassium hydroxide activated carbon prepared from pistachio-nut shell. *Journal Of Colloid and Interface Science*, 594.

Olgun, A. (2009). *Cam Kırığı Üretim Atık Suyunda Adsorpsiyon Yöntemiyle Koi Gideriminin İncelenmesİ.* Kocaeli : Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özdemir, I. (2013). *Şarap Endüstrisi Artığı Üzüm Saplarından Aktif Karbon Eldesi Ve Karakterizasyonu.* Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özüsoy, M. (2022). *Atık Biyokütleden Elde Edilen Aktif Karbonun Metilen Mavisi Adsorpsiyonunda Kullanımı.* Afyon : Afyon Kocatepe Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü .

Qian, Q., Machida, M., & Tatsumoto, H. (2007). ’Preparation of activated carbon from cattle-manure compost by zinc chloride activation. *Bioresource Technology*, 353.

Rai, M., Shahi, V., Meena, R., Meena S., Chakrabotry, R., & Singh, B. (2016). Removal of hexavalent chromium Cr (VI) using activated carbon prepared from mango kernel activated with H_3PO_4. *Resources Efficient Techonlogies* , 63-70.

Raut, E., Archana, M., & Chaudhari, R. (2022). Comparative study of preparation and characterization of activated carbon obtained from sugarcane bagasse and rice husk by using H_3PO_4 and $ZnCl_2$. *Materialstoday Proceedings*, 1875-1884.

Sabaz, P. (2018). *Hidrojen Depolama İçin Mandalina Kabuğundan Aktif Karbon Üretimi.* Balıkesir: Balıkesir Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sarıcı, Ç. (2008). *Çeşitli Polimerik Temelli Atıklardan Yüksek Yüzey Alanlı Aktif Karbon Eldesi Karakterizasyonu Ve Uygulama Alanları,.* Malatya: İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Schaefer, S., Fierro, V., Izquierdo, M., & Celzard, A. (2015). Assessment of hydrogen storage in activated carbons produced from hydrothermally treated organic materials. *Elsevier*, 12146-12156.

Seydioğu, G. (2019). *Bitkisel Atıkların Granül Aktif Karbon Üretimnde Değerlendirilmesi* . Eskişehir : Anadolu Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Şencan, A. (2011). *Fındıkkabuğu Ve Fındıkkabuğundan Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Aktif Karbonun Kurşun (II) Sorpsiyon Potansiyelinin Belirlenmesi.* Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Türkyılmaz, A. (2011). *Bazı Bitkisel Atıklardan Aktif Karbon Eldesi Ve Yüzey Özellikleri.* Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Türkyılmaz, A. (2011). *Bazı Bitkisel Atıklardan Aktif Karbon Eldesi Ve Yüzey Özellikleri.* Balıkesir: Balıkesir Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Uçar , S., Erdem, M., Tay, T., & Karagöz, S. (2009). Preparation And Characterization Of Activated Carbon Produced From Pomegranate Seeds By $ZnCl_2$. *Activation Applied Surface Science* , 8890-8896.

Uzun, I. (2008). *Kavak Ağacı Artıklarından Aktif Karbon Üretimi.* Eskişehir : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yang, R., Liu, G., Li, M., Zhang, J., & Hao, X. (2012). Preparation and N_2, CO_2 and H_2 adsorption of super activated carbon derived from biomass source hemp (Cannabis sativa L.). *Elsevier* , 108-116.

Yapıcı, M. (2022). *Koyun Gübresinden Aktif Karbon Üretimi Ve Naproksen Sodyum Mikrokirleticisinin Adsorpsiyonu.* Şanlıurfa: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü .

Yazıcı, G. (2010). *Ormangülü Humusundaki Humik Asit Karakterizasyonu.* Sakarya: Sakarya Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yıldız Tongur, Z. (2010). *Konya ve Çevresi Linyitlerinin Aktifleştirilmesi ve Organik Bileşiklerin Adsorpsiyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması.* Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleir Enstitüsü.

Yılmaz, B. (2018). *Evsel Atıksulardaki Koi, Boi, Tok Ve Akm Parametreleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi.* Adana : Çukurova Üniversitei Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zabaniotou , A., Stavropoulos, G., & Skoulou, V. (2008). 'Activated carbon from olive in a two-stage process : Industrial improvement. *Bioresource Techonology*, 320.