T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİRLETİCİLERİN SULU ÇÖZELTİLERDEN ADSORPSİYON METODUYLA UZAKLAŞTIRILMASI İÇİN AKTİF KARBON ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

OSMAN ÜNER

DOKTORA TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yüksel BAYRAK

EDİRNE-2017

Osman ÜNER'in hazırladığı "Kirleticilerin sulu çözeltilerden adsorpsiyon metoduyla uzaklaştırılması için aktif karbon üretimi ve karakterizasyonu" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Kimya Anabilim Dalında bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri: İmza

Prof. Dr. Yüksel BAYRAK .....

Prof. Dr. Murat ATEŞ .....

Doç. Dr. Yelda YALÇIN GÜRKAN .....

Doç. Dr. Çiğdem BATIGÖÇ .....

Yrd. Doç. Dr. Sedat ŞENGÜL .....

Tez Savunma Tarihi: 28/12/2017

Bu tezin Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Yüksel BAYRAK
Tez Danışmanı .....

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

.....
Prof. Dr. Murat YURTCAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA DOKTORA PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

28/12/2017

Osman ÜNER

Doktora Tezi

Kirleticilerin Sul

u Çözeltilerden Adsorpsiyon Metoduyla Uzaklaştırılması için Aktif Karbon Üretimi ve Karakterizasyonu

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

ÖZET

Kirleticilerin sulu çözeltilerden adsorpsiyon metoduyla uzaklaştırılması için üç ana yöntem kullanılarak çeşitli üretim şartlarında $ZnCl_2$ aktivasyonu ile kargıdan (*Arundo donax*) aktif karbonlar elde edildi. Elde edilen aktif karbonların en yüksek yüzey alanları 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile yaklaşık 1475 m^2/g olarak tespit edildi. Bununla beraber, daha ekonomik ve zaman tasarruflu olduğu tespit edilen yöntem III ile farklı üretim şartlarında (karbonizasyon sıcaklığı, karbonizasyon süresi ve aktifleyici madde oranı) aktif karbonlar üretilerek daha detaylı incelendiler. Ayrıca, TGA, elemental analiz, BET yüzey alanları, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri, gözenek hacimleri, gözenek boyut dağılımları, SEM görüntüleri ve FTIR spektrumları kullanılarak aktif karbonlar karakterize edilmeye çalışılmıştır. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların en yüksek yüzey alanları aktifleyici madde oranı (a/a) 1,5 kullanıldığında karbonizasyon sıcaklığı 400 °C'ta ve karbonizasyon süresi 60, 90 ve 120 dakika alındığında sırasıyla 1784,41, 1781,01 ve 1784,71 m^2/g olarak ölçülmüştür. Yöntem III ile elde edilen N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri genellikle Tip I ve Tip IV izotermlerinin karışımı oldukları görülürken yeterli karbonizasyon sıcaklığı verildiğinde ve kimyasal aktivasyon oranı arttırıldığında N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri daha çok Tip IV izotermine benzemeye başlamıştır.

Yıl : 2017

Sayfa Sayısı : 144

Anahtar Kelimeler : *Arundo donax*, aktif karbon, kimyasal aktivasyon, karbonizasyon, karakterizasyon.

Doctoral Thesis

The Production of Activated Carbons and Their Characterizations for the Removal of Contaminants from Aqueous Solutions by Adsorption Method
Trakya University Institute of Natural Sciences

Chemistry

ABSTRACT

By using three main methods, the activated carbons were obtained from *Arundo donax* by the chemical activation of $ZnCl_2$ at various production conditions for the removal of contaminants from aqueous solutions by adsorption method. The highest surface areas of the activated carbons obtained were determined to be around 1475 m^2/g at the carbonization temperature of 600 °C for an hour. Moreover, the activated carbons were investigated in detail at different production conditions (carbonization temperature, carbonization time, and impregnation ratio) *via* the method III determined to be more economic and time saving. Furthermore, the activated carbons were characterizated by using TGA, elemental analysis, BET surface areas, N_2 adsorption-desorption isotherms, pore volumes, pore size distributions, SEM images, and FTIR spectra. The highest surface areas of the activated carbons obtained with method III were measured as 1784.41, 1781.01, and 1784.71 m^2/g subsequently with the carbonization times of 60, 90, and 120 minutes at the carbonization temperature of 400 °C by using 1.5 impregnation ration (w/w). While N_2 adsorption-desorption isotherms obtained with method III were usually seen to be the mixture of Type I and Type IV, they started to resemble more like Type IV when given sufficiently high carbonization temperature and when increased the impregnation ratio.

Year : 2017

Number of Pages : 144

Keywords : *Arundo donax*, activated carbon, chemical activation, carbonization, characterization.

TEŞEKKÜRLER

Doktora eğitimi süresince tecrübesiyle beni yönlendiren, tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve tezimle ilgili değerli tartışmalar yaptığım sayın Doç. Dr. Ünal GEÇGEL'e, tez danışmanım ve Trakya Üniversitesi Fen Fakültesi Fizikokimya Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Yüksel BAYRAK'a,

Tezimin 6 aylık izlemelerinde değerli yorumlarda bulunan jüri üyeleri sayın Prof. Dr. Halide AKBAŞ, Doç. Dr. Çiğdem BATIGÖÇ ve Yrd. Doç. Dr. Sedat ŞENGÜL'e, bana eğitimim boyunca katkı sağlıyan ismini sayamadığım tüm öğretmenlerime, bana göstermiş olduğu sabrından dolayı eşim Öznur ÜNER'e ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma, TÜBAP 2016/05 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iii

ABSTRACT iv

TEŞEKKÜRLER v

İÇİNDEKİLER vi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix

ŞEKİLLER DİZİNİ x

TABLOLAR DİZİNİ xx

BÖLÜM 1 1

GİRİŞ 1

BÖLÜM 2 3

KURAMSAL BİLGİLER 3

2.1. Aktif karbon üretim mekanizmaları 3

2.1.1. Fiziksel aktivasyon 5

2.1.2. Kimyasal aktivasyon 7

2.1.3. Fizikokimyasal aktivasyon 8

2.2. Aktif karbonun özelliklerine etki eden faktörler 10

2.2.1. Aktivasyon kimyasalının etkisi 10

2.2.2. İmpregnasyon oranının etkisi 12

2.2.3. Sıcaklığın yüzey alanı ve gözenek hacmi üzerine olan etkisi 13

2.2.4. Karbonizasyon süresinin yüzey alanı ve gözenek hacmi üzerine olan etkisi 16

2.2.5. Isıtma hızının yüzey alanı ve gözenek hacmi üzerine olan etkisi 17

2.2.6. Azot gazı akış hızının yüzey alanı ve gözenek hacmi üzerine olan etkisi 17

2.2.7. Başlangıç maddesinin tanecik büyüklüğü etkisi 18

2.3. Aktif karbonun uygulama alanları 18

BÖLÜM 3 21

KAYNAK ARAŞTIRMASI 21

BÖLÜM 4 33

MATERYAL ve YÖNTEM 33

4.1. Kullanılan maddeler 33

4.1.1.Kargı bitkisi (*Arundo donax*) 33

4.2. Aktif karbonların hazırlanması 34

4.3. Karakterizasyon teknikleri 35

4.3.1. Fiziksel adsorpsiyon izotermlerinin sınıflandırılması 36

4.3.2. Adsorpsiyon histerisisleri 39

BÖLÜM 5 43

SONUÇLAR ve TARTIŞMA 43

5.1. Aktif karbon eldesi için uygun yöntemin belirlenmesi 43

5.1.1. Termogravimetrik analiz 43

5.1.2.Yöntem I ile aktif karbon hazırlanması 45

5.1.2.1. 10 saat 25 °C'ta çalkalama ile aktivasyondan sonra saf su ile yıkamadan ve yıkayarak aktif karbon eldesi 46

5.1.2.2. 24 saat 25 °C'ta çalkalama ile aktivasyondan sonra saf su ile yıkamadan ve yıkayarak aktif karbon eldesi 50

5.1.2.3. 188 saat 25 ve 50 °C'larda çalkalamasız işlem ile aktivasyondan sonra saf su ile yıkamadan aktif karbon eldesi 54

5.1.3. Yöntem II ile aktif karbon hazırlanması 59

5.1.4. Yöntem III ile aktif karbon hazırlanması 64

5.2. Yöntem III kullanılarak farklı karbonizasyon ve aktivasyon şartlarında aktif karbon eldesi 68

5.2.1. Yöntem III ile elde edilen aktif karbon verimleri 68

5.2.2. Yöntem III ile elde edilen aktif karbon BET yüzey alanları 69
5.2.2.1. Aktifleyici madde oranının yüzey alanına etkisi 73
5.2.2.2. Karbonizasyon sıcaklığının yüzey alanına etkisi 73
5.2.2.3. Karbonizasyon süresinin yüzey alanına etkisi 74
5.2.3. N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri 75
5.2.4. Gözenek hacimleri 88
5.2.5. Gözenek dağılımı 101
5.2.6. Elemental analiz 106
5.2.7. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri 109
5.2.8. FTIR spektrumları 117
5.3. Sonuç ve gelecek çalışmalar için öneriler 124
KAYNAKLAR 126
ÖZGEÇMİŞ 143
TEZ ÖĞRENCİSİNE AİT TEZ İLE İLGİLİ BİLİMSEL FAALİYETLER 144

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

P	: Basınç
a	: Ağırlık
a/a	: Oranca ağırlık/ağırlık
w	: Ağırlık
w*/*w	: Oranca ağırlık/ağırlık
%	: Yüzde
K	: Derece Kelvin
°C	: Derece Santigrat
L	: Litre
mL	: Mililitre
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
m	: Metre
cm	: Santimetre
nm	: Nanometre
g	: Gram
µV	: Mikrovolt
TG	: Termogravimetrik
TGA	: Termogravimetrik Analiz
STP	: Standart Sıcaklık ve Basınçta
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
FTIR	: Fourier transform infrared spektroskopisi
BET	: Brauner-Emmett-Teller modeli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Kargılar ve tedarik edildikleri bölge…….…….....34

Şekil 4.2. Fiziksel adsorpsiyon izotermlerinin sınıflandırılması……...…..37

Şekil 4.3. Histerisis döngülerin sınıflandırılması……..…….....40

Şekil 4.4. Gaz adsorpsiyon histerisisleri ve gözenek şekilleri…….……...42

Şekil 5.1. 50 mesh ve daha küçük büyüklüğe sahip kargının TG analizi ve diferansiyali…….44

Şekil 5.2. 50 mesh ve daha küçük büyüklüğe sahip kargının TG analizi ve ısı akışı.....44

Şekil 5.3. Yöntem I ile değişik sıcaklıklarda (25 ve 50 °C) ve çeşitli süreler (10, 24 ve 188 saat) boyunca çalkalayarak (130 rpm) veya çalkalamadan aktivasyon ile aktif karbon üretim işlemi……46

Şekil 5.4. Kargının $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan ve yıkayarak etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanları……48

Şekil 5.5. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……49

Şekil 5.6. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)…….50

Şekil 5.7. Kargının $ZnCl_2$ ile 24 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan ve yıkayarak etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanları……52

Şekil 5.8. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 24 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……53

Şekil 5.9. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 24 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)…….54

Şekil 5.10. Kargının $ZnCl_2$ ile 188 saat 25 ve 50 °C'larda çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanları……..56

Şekil 5.11. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 188 saat 25 °C'ta çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……...57

Şekil 5.12. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 188 saat 25 °C'ta çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)……58

Şekil 5.13. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 188 saat 50 °C'ta çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……...58

Şekil 5.14. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 188 saat 50 °C'ta çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)……59

Şekil 5.15. Yöntem II ile aktif karbon eldesi……...…..…...60

Şekil 5.16. Yöntem II kullanılarak elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanları…….62

Şekil 5.17. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat geri soğutucu yardımıyla aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……63

Şekil 5.18. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat geri soğutucu yardımıyla aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)…….64

Şekil 5.19. Yöntem III ile aktif karbon eldesi……...……..65

Şekil 5.20. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların karışım oranına karşı yüzey alanları…….66

Şekil 5.21. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……...67

Şekil 5.22. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)……67

Şekil 5.23. 300 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları…….70

Şekil 5.24. 400 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları…….71

Şekil 5.25. 500 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları…….71

Şekil 5.26. 600 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları…….72

Şekil 5.27. 700 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları…….72

Şekil 5.28. *Arundo donax*'tan 400 °C karbonizasyon sıcaklığında ve çeşitli karbonizasyon sürelerinde elde edilen aktif karbonların aktifleyici madde oranlarına karşı yüzey alanları……..73

Şekil 5.29. *Arundo donax*'tan aktifleyici madde oranı 1,5 kullanılıp çeşitli karbonizasyon sürelerinde elde edilen aktif karbonların karbonizasyon sıcaklıklarına karşı yüzey alanları……..74

Şekil 5.30. Aktifleyici madde oranı 1,5 olduğunda *Arundo donax*'tan çeşitli karbonizasyon sıcaklıklarında elde edilen aktif karbonların karbonizasyon sürelerine karşı yüzey alanları……..75

Şekil 5.31. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……76

Şekil 5.32. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……76

Şekil 5.33. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……77

Şekil 5.34. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……77

Şekil 5.35. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……78

Şekil 5.36. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……79

Şekil 5.37. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……79

Şekil 5.38. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……80

Şekil 5.39. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……81

Şekil 5.40. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……81

Şekil 5.41. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……82

Şekil 5.42. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……82

Şekil 5.43. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……83

Şekil 5.44. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……84

Şekil 5.45. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……84

Şekil 5.46. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……85

Şekil 5.47. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……86

Şekil 5.48. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……86

Şekil 5.49. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……87

Şekil 5.50. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri……87

Şekil 5.51. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..88

Şekil 5.52. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..89

Şekil 5.53. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..89

Şekil 5.54. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..90

Şekil 5.55. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..91

Şekil 5.56. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..91

Şekil 5.57. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..92

Şekil 5.58. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..92

Şekil 5.59. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..93

Şekil 5.60. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..94

Şekil 5.61. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..94

Şekil 5.62. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..95

Şekil 5.63. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..96

Şekil 5.64. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..97

Şekil 5.65. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..97

Şekil 5.66. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..98

Şekil 5.67. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……..99

Şekil 5.68. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……100

Şekil 5.69. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……100

Şekil 5.70. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri……101

Şekil 5.71. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta a) 30 dakika, b) 60 dakika, c) 90 dakika ve d) 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)……...102

Şekil 5.72. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta a) 30 dakika, b) 60 dakika, c) 90 dakika ve d) 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)……...103

Şekil 5.73. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta a) 30 dakika, b) 60 dakika, c) 90 dakika ve d) 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)……...104

Şekil 5.74. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta a) 30 dakika, b) 60 dakika, c) 90 dakika ve d) 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)……...105

Şekil 5.75. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta a) 30 dakika, b) 60 dakika, c) 90 dakika ve d) 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)……...106

Şekil 5.76. Başlangıç maddesi olan kargının SEM görüntüleri (a) 100x ve (b) 500x...110

Şekil 5.77. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...110

Şekil 5.78. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...111

Şekil 5.79. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...111

Şekil 5.80. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...111

Şekil 5.81. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...112

Şekil 5.82. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...112

Şekil 5.83. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...112

Şekil 5.84. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...113

Şekil 5.85. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...113

Şekil 5.86. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...113

Şekil 5.87. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...114

Şekil 5.88. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...114

Şekil 5.89. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...114

Şekil 5.90. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...115

Şekil 5.91. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...115

Şekil 5.92. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...115

Şekil 5.93. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...116

Şekil 5.94. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...116

Şekil 5.95. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...116

Şekil 5.96. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x……...117

Şekil 5.97 .Kargının FTIR spektrumu……...……119

Şekil 5.98. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları……119

Şekil 5.99. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları……120

Şekil 5.100. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları……120

Şekil 5.101. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları……121

Şekil 5.102. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları……121

Şekil 5.103. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 30 dakika farklı sıcaklıklarda karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları..…122

Şekil 5.104. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 60 dakika farklı sıcaklıklarda karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları…..122

Şekil 5.105. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 90 dakika farklı sıcaklıklarda karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları..…123

Şekil 5.106. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 120 dakika farklı sıcaklıklarda karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları…..123

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Ticari aktif karbonların çeşit ve tanımları……...……4

Tablo 2.2. Aktif karbon üretimi için fiziksel aktivasyon metodu uygulanan çeşitli tarımsal atıklar……...6

Tablo 2.3. Aktif karbon üretimi için kimyasal aktivasyon metodu uygulanan çeşitli tarımsal atıklar……...9

Tablo 2.4. Aktif karbon üretimi için fizikokimyasal aktivasyon uygulanan bazı tarımsal atıklar……...10

Tablo 2.5. Tarımsal atık maddelerden üretilen aktif karbonların farklı uygulamaları…20

Tablo 3.1. Farklı şartlarda (aktifleyici madde, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklığı ve süresi) üretilen aktif karbonlar…….26

Tablo 5.1. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamadan) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri……...…….…...47

Tablo 5.2. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkayarak) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri……...…….…...47

Tablo 5.3. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (24 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamadan) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri……...…….……...51

Tablo 5.4. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (24 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkayarak) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri……...…….……...51

Tablo 5.5. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (188 saat 25 °C'ta çalkalamasız aktivasyondan sonra yıkamadan) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri……...55

Tablo 5.6. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (188 saat 50 °C'ta çalkalamasız aktivasyondan sonra yıkamadan) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri……...55

Tablo 5.7. Kargının $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat reflux yapıldıktan sonra etüvde 95 °C'ta kurutuldu) ve 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile aktif karbon eldesi……..61

Tablo 5.8. Önce kargılar aktive edilmeden 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldı ve elde edilen aktif karbondan 2 g alınarak $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat reflux yapıldıktan sonra etüvde 95 °C'ta kurutuldu) ile aktif karbon eldesi……61

Tablo 5.9. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri...65

Tablo 5.10. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların verimleri (%)……...…..69

Tablo 5.11. Farklı karbonizasyon sıcaklıkları ve sürelerde $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 alındığında üretilen aktif karbonların ve *Arundo donax*'ın elemental analiz sonuçları (Oksijen farktan hesaplandı)……..108

Tablo 5.12. Farklı $ZnCl_2$/kargı oranlarında 400 °C karbonizasyon sıcaklığında elemental analiz sonuçları (Oksijen farktan hesaplandı)……...109

Tablo 5.13 Fonksiyonel grupların frekans aralıkları…….118

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Aktif karbonlar, kontrollü termal işleme maruz bırakılıp çeşitli gözeneklere ve yüksek yüzey alanlara sahip karbonlu maddeler oluşturularak elde edilirler. Yüksek yüzey alanları ve gözenek hacimlerinden dolayı, aktif karbonlar güçlü adsorbentlerdir. Aktif karbonun özellikleri milattan önce 1500 yıllarında Mısırlılar tarafından anlaşılmış olup, tedavi amaçlı ve su iyileştirmeleri için kullanılmıştır. Fakat ilk ticari aktif karbon yaklaşık 1900 yıllarında şeker rafine endüstrisi için kullanılmıştır (Bansal ve Goyal, 2005). Bugün aktif karbon çoğu endüstri sektörlerinde kullanılan önemli bir ticari meta olmuştur. Aktif karbonlar, sıvı ve gazların ayırma/saflaştırma işlemlerinde, kataliz desteği (Fuente, Pulgar, González, Pesquera & Blanco, 2001), süper kapasitörler (Ates vd., 2016; Gamby, Taberna, Simon, Fauvarque & Chesneau, 2001), pil ve elektrotlar (Osaka, Liu, Nojima & Momma, 1999; Xie vd., 2016; Zhang vd, 2014) gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla beraber, çeşitli kaynaklardan çıkan değişik fazlardaki zararlı maddelerin (ağır metaller, boyalar, gazlar) su ve havada aşırı oranlarda birikmesiyle oluşan çevre kirliliğini (Belala, Jeguirim, Belhachemi, Addoun & Trouvé, 2011; Chiu vd., 2016; Myers vd., 2014; SaifulIslam, Ahmed, Raknuzzaman, Habibullah-Al-Mamun & KamrulIslam, 2015) ve bunun neden olduğu olumsuz etkileri (Aflanie, Muhyi & Suhartono, 2015; Belala vd., 2011; Fowler, Dise & Sheppard, 2016; Larr & Neidell, 2016) önlemek için aktif karbonlar kullanılmaya ve geliştirilmeye devam etmektedir. Kirleticileri uzaklaştırmak için silika, lağım çamuru, endüstriyel katı katıklar, kil, tarımsal atıklar, aktif karbonlar gibi daha birçok adsorbent yaygın şekilde kullanılmaktadır (Baig, Sheng, Hu, Xu & Xu, 2015; Rafatullah, Rafatullah, Sulaiman, Hashim & Ahmad, 2010). Pahalı olmasına rağmen, spesifik

yüzey reaktivite göstermesi ve üretim şartlarına bağlı olarak yüksek spesifik yüzey alanına sahip olması bakımından aktif karbon, çevre kirliliğini kontrol altına almak amacıyla yaygın olarak kullanılan endüstriyel adsorbentler arasında en önemli yere sahiptir. Son zamanlarda aktif karbon üretim maliyetini düşürmek ve atık maddelerin geri dönüşümünü sağlamak için, aktif karbon hammaddesi olarak pigeon pea kabuğu (Ramana & Min, 2016), Avustralya fındığı kabuğu (Martins vd., 2015), Catalpa bignonioides (Geçgel, Kocabıyık & Üner, 2015), karpuz kabuğu (Üner, Geçgel & Bayrak, 2015), bambu (González, Hernández-Quiroz & Garcia-González, 2014), yün atıkları (Gao vd., 2013), yer fıstığı kabuğu (Zhong vd, 2012), elyaf (Kavitha & Namasivayam, 2007) ve talaş (Hamdaoui, 2006) gibi çeşitli atık maddeler kullanılmaktadır.

Literatür araştırmasında verileceği gibi, çoğu çalışmada, ya sadece karbonizasyon sıcaklığının etkisi, yâda karbonizasyon sıcaklığı ve aktifleyici madde oranı etkisi veya karbonizasyon sıcaklığı ve karbonizasyon süresinin etkisi incelenmiştir. Yani, karbonizasyon sıcaklığı, aktifleyici madde oranı ve karbonizasyon süresinin etkisini birlikte inceleyen detaylı bir araştırma yapılmadığı görülmektedir. Ayrıca, aktif karbon üretimi için yöntem karşılaştırması yapan çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bundan dolayı, ilk olarak bu çalışmada $ZnCl_2$ aktivasyonu ile kargı başlangıç maddesinden aktif karbon üretimi için en uygun üretim yöntemi tespit edilecektir. Ardından, çeşitli kimyasal madde oranları kullanılarak, farklı karbonizasyon sıcaklıklarında (300-700 °C) ve karbonizasyon sürelerinde (30-120 dakika) aktif karbonlar elde edilecektir. Ayrıca, termogravimetrik analiz (TGA), BET (Brauner-Emmett-Teller) yüzey alanları, gözenek hacimleri, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri, gözenek boyut dağılımları, elemental analiz, taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve Fourier transform infrared (FTIR) ölçümleri yapılarak elde edilen aktif karbonlar karakterize edilecektir.

BÖLÜM 2

KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Aktif karbon üretim mekanizmaları

Aktif karbonlar, fiziksel ve kimyasal aktivasyon olan iki teknik yardımı ile üretilebilirler. Aktivasyondan önce, başlangıç maddeleri yıkama, güneş veya fırında kurutma, parçalamak, öğütmek ve istenen boyutlarda elde etmek için elekten geçirmek gibi ön muamele işlemlerinden geçirilmeleri gerekmektedir.

Organik bileşikleri, tozu, kumu ve safsızlıkları uzaklaştırıp, kül bileşimlerini azaltmak için suyla yıkama çok önemlidir. Örneğin, yıkanmış ve yıkanmamış palmiye yağı atıkları arasındaki farklar incelenmiş ve suyla yıkandığı zaman, sırasıyla palmiye kabuğunda, yaprağında ve gövdesindeki kül bileşenleri yaklaşık %43.16, %52.18 ve % 7.42'lere düştüğü bulunmuştur (Sulaiman, Abdullah & Rahman, 2011). Sıcak veya soğuk suyla yapılan yıkama işlemi mineral içeriklerinin önemli miktarlarını başlangıç maddelerinden uzaklaştırır (Abdullah & Sulaiman, 2013). Sonuç olarak, yüksek kül içerikli başlangıç maddeleri, üretilen aktif karbonun mekanik gücünü ve adsorpsiyon kapasitesini düşürdüğü için istenmez ve bundan dolayı suyla yıkama işlemi önemlidir (Soleimani & Kaghazchi, 2007). Su ile yıkama işleminin etkinliği karışım çeşidi, hammadde boyutu, su miktarı ve ıslatma zamanı gibi çeşitli faktörler tarafından etkilenir (Abdullah & Gerhauser, 2008). Fakat suyla yıkama işlemi sadece yapıdaki gevşek kül bileşimleri için etkilidir ve aktif karbona güçlü bir şekilde bağlı kül elementleri ise asitle yıkama gibi daha sert yıkama işlemlerine gerek duyar (Sulaiman & Abdullah, 2014).

Yıkama ve kurutma işlemlerinden sonra, başlangıç maddelerinin boyutunu küçültülmesi parçalama, öğütme ve değirmenden çekme gibi birkaç teknik ile başarılabilir. Etüvde 80 °C'ta 2 gün kurutma işlemi yapıldığında parçalama ve öğütme işlemleri kolaylaşır (Girgis & El-Hendawy, 2002). Bu ön adımların masraflara neden olmasına rağmen, atıkların çevreye atılması veya diğer uygunsuz teknikler tarafından oluşan zayıf atık boşaltılmasının neden olduğu çevresel zararların maliyetini telafi edebilir (Bamaga, Hussin & Ismail, 2013). Bununla birlikte, üretilen aktif karbonun uygun uygulamaları için başlangıç maddelerinin boyutu ve şekli de önemlidir. Ticari aktif karbonlar toz, taneli ve pelet (sıkılmış) olarak sınıflandırılırlar ve biçimlerin tanımları tablo 2.1'de verilmektedir (Rashidi & Yusup, 2016).

Tablo 2.1. Ticari aktif karbonların çeşit ve tanımları

Çeşit	**Tanım**
Toz	• Tanecik boyutu < 0,18 mm •Genel olarak sıvı faz ve baca gazı işlemlerine uygulanır. •Batch deneyinde kullanılır ve filtrasyon ile takip edilir.
Taneli	• 0,2–5 mm tanecik boyutuna sahip düzensiz şekillidir. • Sıvı ve gaz/buhar faz uygulamasında adsorpsiyon kolonunda kullanılır.
Pelet	• Silindirik bir biçim olması için kaynaşık ve bağlayıcılı toz edilmiş aktif karbonun bir bileşimi •0,8'den 5,0 mm arasında çapa sahip. • Genellikle gaz faz uygulamalarına uygulanır. • Düşük basınç düşmesi, düşük toz içeriği ve yüksek mekanik dayanıklılık

İşlem görmüş atıklar fiziksel veya kimyasal yaklaşım sayesinde aktive edilir. Genel olarak, biyokütle ön işlem prosesi aşağıdaki kriterleri takip etmelidir (Puligundla, Oh & Mok, 2016).

(a) Fiyatı, düşük enerji ve kaynak tüketme açısından uygun

(b) Sıvı atık akışı üretmemesi için düşük su ve kimyasal tüketimli

(c) Düşük kullanım riski ve güvenle kullanılabilme

(d) Düşük maliyetli maddeler

2.1.1. Fiziksel aktivasyon

Fiziksel aktivasyon iki aşamalı bir mekanizmadır. Bu iki aşamalı mekanizma inert atmosfer altında karbonizasyon işlemini (piroliz) içerir ve karbonizasyon işlemini buhar, karbondioksit (CO_2), CO_2 ve nitrojenin (N_2) ikili karışımı veya 800 ve 1100 °C aralığında yükseltilmiş sıcaklıktaki hava gibi oksitleyici gaz atmosferi altındaki aktivasyon işlemi takip eder (Arami-Niya, Daud & Mjalli, 2011; Hesas, Arami-Niya, Daud & Sahu, 2013; Nasri, Hamza, Ismail, Ahmed & Mohsin, 2014; Hesas, Arami-Niya, Daud & Sahu, 2015).

Karbonizasyon işleminin amacı aktivasyon işleminden önce daha yüksek bağlanmış karbon içerikli kömür (char) üretmek için başlangıç maddesindeki uçucu bileşimleri azaltmaktır (McDougall, 1991). İlk adım sırasında, sentezlenen kömür (char) karbon içeriği bakımından zengindir ve bu sentezlenen char gelişmemiş bir gözenek yapısına sahiptir (Hidayu, Mohamad, Matali & Sharifah, 2013). Bu karbonizasyon aşaması dört aşamadan oluşur: (a) ilk aşama 200 °C'tan daha düşük sıcaklıktadır ki bu aşamada dehidratasyon işlemi olarak atık yapıdan nemin uzaklaştırılması yapılır. (b) ikinci aşamada ise 170–270 °C aralığında hafif katran ve organik asitler uzaklaştırılırken biyokütle bozunmaya başlar. (c) üçüncü aşamada 270–350 °C'larda biyokütle bozunarak sıvı ve gazların önemli miktarı bio-char üretimi yapar. (d) son aşamada (sıcaklık >350 °C) kalan uçucu maddeler uzaklaştığından karbon içeriğinde artış olur (Nizamuddin, Shrestha, Athar, Ali & Siddiqui, 2016).

Fakat üretilen bu charın yüzey alanı oldukça düşük ve pratik olarak uygulanabilirliği yetersizdir. Bir charın yüzey alanı çoğunlukla 300 m^2/g'dan daha düşük bir değere sahiptir ve bu daha düşük adsorpsiyon kapasitesi anlamına gelir (Khezami, Ould-Dris & Capart, 2007). Bu üretilen charın zayıf yapısı katran maddelerinin gelişmiş gözeneklere tıkanmasından kaynaklanmaktadır (Nizamuddin vd., 2016). Sonuç olarak, karbonizasyon ile hazırlanan charların yüzeysel özelliklerini geliştirmek için aktivasyon işlemine maruz bırakılmalıdır (Nasri vd., 2014; Pietrzak vd., 2014). Karbonizasyon sıcaklığı çoğunlukla 400-850 °C'larda alınırken, aktivasyon sıcaklığı genellikle 600-900 °C civarlarında olur (Ioannidou & Zabaniotou, 2007).

Aktivasyonun amacı temelde daha fazla gözenek geliştirmek ve yapının bazı sıralamasını oluşturmaktır; bu da aktif karbonun oldukça gözenekli bir katı halini verir

(Guo vd., 2009). Aktivasyon işleminde gözenek gelişimi 3 aşamaya ayrılır: (a) önceden ulaşılamayan gözeneklerin açılması, (b) seçici aktivasyonla yeni gözeneklerin gelişimi ve (c) varolan gözeneklerin genişlemesidir (Li vd., 2008).

Fiziksel aktivasyon metodu ticari skalada geniş bir şekilde uygulandı ve uygulanmaya devam etmektedir. Fiziksel aktivasyon işlemi iyi geliştirilmiş gözenek yapılı ve iyi fiziksel dayanıklılığa sahip aktif karbon üretmekte başarılı bir yöntemdir (Lim, Srinivasakannan & Balasubramanian, 2010; Yang vd., 2010). Bununla beraber, ikincil atık problemi oluşturabileceği ihtimali veren kimyasallar kullanılmadığından dolayı, bu metodun pahalı olmayan ve çevresel (green) bir yaklaşım olduğu düşünülür (Shoaib & Al-Swaidan, 2015). Fakat iki aşamalı işlemle ilişkili olarak uzatılan aktivasyon zamanı, düşük karbon verimi ve yüksek güç tüketimi bu yöntemin sınırlayıcıları olmuştur. Tablo 2.2 aktif karbon üretimi için fiziksel aktivasyon metodu uygulanan çeşitli tarımsal atıkları gösterir.

Tablo 2.2. Aktif karbon üretimi için fiziksel aktivasyon metodu uygulanan çeşitli tarımsal atıklar

Başlangıç maddesi	Aktivasyon aracı	Kaynaklar
Vetiver kökü, jüt çubuğu, Hindistan cevizi kabuğu, şeker kamışı küspesi, badem kabuğu, ceviz kabuğu, badem ağacı budağı, zeytinyağı, fındık kabuğu, siyah likör lignini, mısır taneleri	Buhar	(Altenor vd., 2009; Asadullah, Rahman, Motin & Sultan, 2007; Cagnon, Py, Guillot & Stoeckli, 2003; Devnarain, Arnold & Davis, 2002; Fu, Yue, Gao, Sun & Zhu, 2013; Gonzalez, Roman, Encinar & Martinez, 2009; Khalkhali & Omidvari, 2005; Li vd., 2008; Shim, Kim, Lee, Balathanigaimani & Moon, 2016)
Pirinç kamış, pirinç gövde, şeker kamışı küspesi, pekan cevizi kabuğu, palmiye kabuğu, Hindistan cevizi kabuğu, badem kabuğu, Antep fıstığı kabuğu, hurma çekirdeği	CO_2	(Ahmedna, Marshall & Rao, 2000; Daud & Ali, 2004; Guo vd., 2009; Hasar, 2003; Lua, Yang & Guo, 2004; Sekirifa vd., 2013; Younas, Leong, Mohamed & Sethupathi, 2016)

2.1.2. Kimyasal aktivasyon

Kimyasal aktivasyon tek aşamalı bir işlem olup, inert atmosferde 300-800 °C'ta ısı uygulamasından önce emme, içine işleme (impregnasyon) adımını içerir (Alhamed, 2006; Giraldo & Moreno-Pirajan, 2012; Hui & Zaini, 2015; Pragya, Sripal & Maheshkumar, 2013). Fiziksel aktivasyon ile karşılaştırıldığında, kimyasal aktivasyon ekonomik olarak daha uygulanabilirdir çünkü kimyasal aktivasyon daha düşük aktivasyon sıcaklığına, daha kısa işlem zamanına ve daha yüksek karbon verimine sahiptir (Hui & Zaini, 2015; Yang vd., 2010). Aktivasyon sıcaklığı inorganik katkı maddelerinin etkisine; başlangıç maddesini içinde bulunan selülozik maddelerin suyunu uzaklaştırmak ve aşınmaya uğratmasına bağlıdır (Bello & Ahmad, 2011). Aktivasyon kimyasalları aslında dehidrasyon kimyasalı ve oksidantlar olarak hareket ederler (Ioannidou & Zabaniotou, 2007; Mahapatra, Ramteke & Paliwal, 2012), ki bu kimyasallar prolitik bozunmayı etkileyebilir. Ayrıca, bu kimyasallar katran ve kül oluşumunu engelleyebilir ve sonuç olarak yüksek karbon verimi sağlayabilir (Mahapatra vd., 2012; Malik, Ramteke & Wate, 2006; Mozammel, Masahiro & Bhattacharya, 2002). Genellikle, potasyum hidroksit (KOH) ve potasyum karbonat (K_2CO_3) gibi alkali grup içeren kimyasallar, fosforik asit (H_3PO_4) ve sülfürik asit (H_2SO_4) gibi asidik grup içeren kimyasallar ve çinko klorür ($ZnCl_2$) gibi transition metal tuzları kimyasal aktivasyon ile aktif karbon üretiminde potansiyel aktivatörler olarak uygulanan kimyasallardır. Değişik kimyasallar değişik başlangıç maddeleriyle farklı şekillerde reaksiyon verirler ve sonuç olarak bu da adsorpsiyon davranışını etkileyecektir. Tablo 2.3, aktif karbon üretimi için kimyasal aktivasyon metodu uygulanan çeşitli tarımsal atıkları ve hangi aktivasyon kimyasallarının kullanıldığını gösterir.

Dikkat çekici bir şekilde, aktivasyon kimyasalı ile başlangıç maddesini karıştırma teknikleri de aktif karbonun özelliklerini etkileyebilir. Örneğin, Pietrzak vd. (2014), aktif karbon üretiminde iki prosedür denediler. İlkinde, başlangıç maddeleri ve katı kimyasal fiziksel ve kuru halde direk karışımı hazırlanıp, termal muamele işlemi (karbonizasyon/aktivasyon) uygulandı. İkincisinde, kimyasalların sulu çözeltisi içine başlangıç maddesi eklenerek, ıslak impregnasyon yaklaşımı yapıldı ve termal muamele işlemi (karbonizasyon/aktivasyon) yapıldı. Sonuç olarak, aktif karbonun sorpsiyon ve

fizikokimyasal özelliklerinin uygulanan aktivasyon metoduna ve termal uygulamanın değişkenlerine bağlı olduğu tespit edildi.

Kimyasal aktivasyonun son aşaması genellikle yıkama adımıdır. Bu adımda, aktif karbonun hazırlamasında kullanılan kimyasallara bağlı olarak, aktif karbon genellikle asit ve alkaliler ile yıkanır ve ardından saf suyla yıkama işlemine tabii tutulur. Yıkama adımının önemi aktif karbonun gözeneklerinde ve yüzeyinde tutulan safsızlıkları ve üretim aşamasında adsorplanan istenmeyen kimyasal bileşimleri uzaklaştırmaktır. Sonuç olarak, aktif karbondaki gözeneklerin geliştirilmesi adına yıkama adımı kimyasal aktivasyonda en önemli adımlarından birisidir (Ahmadpour & Do, 1997).

2.1.3. Fizikokimyasal aktivasyon

Kimyasal ve fiziksel aktivasyondan başka, aktif karbon ayrıca fizikokimyasal aktivasyon metodu kullanılarak da üretilebilir. Fizikokimyasal aktivasyon işlemi; ham başlatıcılar/char impregnasyon ve ardından oksitleyici gaz varlığında ısı uygulaması veya yüksek sıcaklıkta N_2 gazının oksitleyici gaz atmosferi ile değiştirmesini takip eden bir aktivasyon işlemi olarak tanımlanabilir (Rashidi & Yusup, 2016). Diğer bir tanımla, fizikokimyasal aktivasyon fiziksel ve kimyasal aktivasyon metotlarının bir birleşimidir. Fizikokimyasal aktivasyon başlangıç maddesi/char üzerindeki kimyasal impregnasyonu ve N_2 karbonizasyonunu içerir ve bunu oksitleyici gaz varlılığında ilave fiziksel aktivasyon adımı takip eder (Rashidi & Yusup, 2016). Fiziksel ve kimyasal aktivasyonların birleşimi, farklı yüzeysel ve kimyasal karakteristiklere sahip aktif karbonların gelişimine tek aktivasyon metoduyla üretilen aktif karbonlardan daha fazla katkı sağlar (Bashir, Ibrahim, Ismail & Jaya, 2015). Gözenek tıkanıklığına neden olan kimyasalların yıkamadan sonra bile tamamen giderilmediği zamanlarda fizikokimyasal aktivasyon uygulanır. Bundan dolayı, buhar veya CO_2 varlığında daha ileri gasifikasyon gözenek oluşumunu geliştirmek için gereklidir (Chowdhury vd., 2013). Tablo 2.4 aktif karbon üretimi için fizikokimyasal aktivasyon metodu uygulanan çeşitli tarımsal atıkları ve hangi aktivasyon kimyasallarının kullanıldığını gösterir.

Tablo 2.3. Aktif karbon üretimi için kimyasal aktivasyon metodu uygulanan çeşitli tarımsal atıklar

Başlangıç maddesi	Aktivasyon kimyasalı	Kaynaklar
Fındıkkabuğu, palmiye kabuğu, mango kabuğu, palmiye çekirdeği kabuğu, hindistancevizi kabuğu, yer fıstığı kabuğu, obeche ağacı, kakao pod kabuğu	K_2CO_3	(Adinata, Daud & Aroua, 2007; Bello & Ahmad, 2011; Cruz vd., 2012; Imamoglu vd., 2016; Gimba & Turoti, 2006; Olowoyo & Orere, 2012)
Bağ çubuğu, karpuz kabuğu, mango tohumu kabuğu, palmiye sapı, ahşap elma dış kabuğu, pirinç kabuğu, Hindistan cevizi kabuğu, zeytin değirmeni atığı, yer fıstığı kabuğu, prosopis, mısır koçanı, kakao pod kabuğu	$ZnCl_2$	(Akpen, Orhan, Şahin & Aydın, 2011; Alothman, Habila & Ali, 2011; Bhadusha & Ananthabaskaran, 2011; Cruz vd., 2012; Daffalla, Mukhtar & Shaharun, 2012; Erdem, Orhan, Şahin & Aydın, 2016; Gimba & Turoti, 2006; Gokce, Guneysu, Aydin & Arayici, 2009; Hassan, Itodo & Umar, 2010; Kailappan, Gothandapani & Viswanathan, 2000; Ketcha, Dina, Ngomo & Ndi, 2012; Üner vd., 2015)
Zeytin çekirdeği, vetiver kökü, üzüm sapı, zeytin atıkları, şeker kamışı küspesi, pirinç kabuğu, kıyamet fasulyesi (petai), yer fıstığı kabuğu, hurma ağacı, durian kabuğu	H_3PO_4	(Altenor vd., 2009; Amaya vd., 2005; Baccar, Bouzid, Feki & Montiel, 2009; Chen, Huang, Li & Wu, 2012; Daffalla vd., 2012; Foo & Lee, 2010; Hassan vd., 2010; Houache, Al-Maamari, Al-Rashidi & Jibril, 2008; Jun, Arumugam, Latip, Abdullah & Latif, 2010; Limousy, Ghouma, Ouederni & Jeguirim, 2017)
Hindistan cevizi yaprakları, badem kabuğu, alev ağacı kabuğu, yer fıstığı kabuğu	H_2SO_4	(Hasar, 2003; Ho, Malaryvizhi & Sulochana, 2009; Idris, Iyaka, Dauda, Ndamitso & Umar, 2012; Jawad, Rashid, Ishak & Wilson, 2016)
Mısır koçanı, bambu, hurma ağacı, yağlı palmiye kabuğu, hindistancevizi kabuğu, kakao pod kabuğu	KOH	(Cruz vd., 2012; Hiremath, Shivayogimath & Shivalingappa, 2012; Hirunpraditkoon, Tunthong, Ruangchai & Nuithitikul, 2011; Houache vd., 2008; Joseph, Zain & Dek, 2006; Lee, Park, Choung & Choi, 2002)
Tütün kökü	$CaCl_2$	(Jambulingam, Karthikeyan, Sivakumar, Kiruthika & Maiyalagan, 2007)
Tütün kökü	Na_2SO_4	(Jambulingam vd., 2007)
Tütün kökü	Na_2CO_3	(Jambulingam vd., 2007)

Tablo 2.4. Aktif karbon üretimi için fizikokimyasal aktivasyon uygulanan bazı tarımsal atıklar

Başlangıç maddesi	Aktivasyon kimyasalı	Kaynaklar
Hurma çekirdeği	HNO_3/buhar	(Hazourli, Ziati & Hazourli, 2009)
Hurma çekirdeği	H_3PO_4/buhar	(Hazourli vd., 2009)
Zeytin çekirdeği	$CaCl_2$/CO_2	(Juárez-Galán, Silvestre-Albero, Silvestre-Albero & Rodríguez-Reinoso, 2009)
Hindistan cevizi kabuğu	$ZnCl_2$/buhar	(Azevedo vd., 2007)
Hint kamışı talaşı	KOH/CO_2	(Hameed, Ahmad & Latiff, 2007)
Kenaf tahtası	KOH/CO_2	(Chowdhury, Zain, Khan, Arami-Niya & Khalid, 2012)

2.2. Aktif karbonun özelliklerine etki eden faktörler

Bazı örnekleri Tablo 2.2, 2.3 ve 2.4'te görülen, aktif karbon üretiminde kullanılan başlangıç maddeleri üretilen aktif karbonun fizikokimyasal özelliklerini oluşturmada önemli bir etkene sahiptir çünkü her başlangıç maddesi farklı kimyasal yapılara ve fonksiyonel gruplara sahip olduğundan dolayı üretilen aktif karbonun fiziksel ve kimyasal yapısında çeşitlilik gösterecektir. Başlangıç maddesinin yanında, aktivasyon kimyasalı, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklıklığı, karbonizasyon süresi, üretim metodu gibi birçok değişken aktif karbonun fizikokimyasal özelliklerine etki eden faktörler arasındadır.

2.2.1. Aktivasyon kimyasalının etkisi

Kimyasal aktivasyon kimyasalları içinde, lignoselülozik maddeler için aktivasyon işleminde çoğunlukla $ZnCl_2$ ve H_3PO_4 kimyasalları kullanılır (Williams & Reed, 2004). $ZnCl_2$ ve H_3PO_4 kimyasallarına ek olarak diğer aktivasyon kimyasalı örnekleri Tablo 2.3'de verilmektedir. H_3PO_4 ile karşılaştırıldığında, $ZnCl_2$ aktivasyon kimyasalı olarak kullanılırsa daha yüksek yüzey alanına sahip aktif karbonlar üretilebilir (Al-Qodah & Shawabkah, 2009). Ayrıca, $ZnCl_2$ mikro gözenekli ve daha büyük yüzey alanlı yapı üretiminde etkili olduğu rapor edilmiştir (Donald, Ohtsuka & Xu, 2011). Oysa H_3PO_4 etkili bir şekilde mezogözenek oluşturur ve bu daha yüksek gözenek hacimli ve çapa sahip aktif karbonların olmasına neden olur (Yahya, Al-Qodah & Ngah, 2015). Fakat

$ZnCl_2$'ye nazaran H_3PO_4 daha çok tercih edilen bir aktivasyon kimyasalıdır, çünkü $ZnCl_2$'nin çevreye zarar verebileceği düşünülür (Asadullah vd., 2007) ve $ZnCl_2$ kullanılarak üretilen aktif karbonun yiyecek ve famasotik endüstrilerde kullanılabilemeyeceği rapor edilmiştir (Al-Qodah & Shawabkah, 2009). Bununla birlikte, sadece su ile yıkama işlemleri yapılan karbon üretimlerini iyileştirmede, H_3PO_4 daha kolay bir kullanım yolu sağlar (Foo & Lee, 2010; Wang vd., 2010). İlaveten, H_3PO_4 kullanımı daha yüksek aktif karbon verimleri verir ve toksik olmayan özelliklere sahiptir (Romero-Anaya, Lillo-Rodenas, Lecea & Linares-Solano, 2012).

Farklı aktivasyon kimyasalı kullanılan aktivasyon işlemlerinde, mekanizmalarda farklı oluşur. Örneğin, $ZnCl_2$ kullanımı, ana materyallerin veya başlangıç maddelerinin lignoselülozik yapılarından su moleküllerinin ekstraksiyonunu arttırabilirken, H_3PO_4 lignoselülozik yapılarla kimyasal olarak birleşebilir. H_3PO_4 ile aktivasyon, direk olarak gözenek gelişimi ile ilişkili olan fosfat esterinin içindeki çapraz bağlı yapıların oluşumunu içerebileceği önerilmiştir (Donald vd., 2011). Bu çapraz bağlar 450-500 ˚C sıcaklıkta termal stabilitenin limitine ulaşır ve daha yüksek sıcaklıklarda bu çapraz bağlar kasılma ve büzülmelere neden olacaktır (Yahya vd., 2015). Sonuç olarak, gözenek gelişmesi azalacaktır.

Wang vd. (2010), H_3PO_4'ün prolitik bozulmayı ve çapraz bağlı yapıyı arttırdığını rapor etmişlerdir. Bozulma H_3PO_4'ün bağ ayrılma reaksiyonları üzerindeki katalitik etki olarak atfedilirken, çapraz bağlama ise biyo kütledeki gruplar arasında fosfat bağ oluşumuna neden olan H_3PO_4 ve biyokütle etkileşimleri olarak atfedilir. Bu arada, $ZnCl_2$ aktivasyonunda, selüloz molekülleri içinde yan bağların kırılması $ZnCl_2$'nin şişme etkilerini meydana getirir ve bu durum ara ve iç boşlukların artmasına neden olur. $ZnCl_2$ tarafından oluşturulan karbon tabakaları arasındaki aralık mikrogözenekliliği geliştirecektir. Yüksek sıcaklıkların kullanılması, matriks yapıdan düşük moleküler ağırlıklı uçucu bileşikleri uzaklaştırarak örneklerin gözeneklerini geliştirmektedir (Allwar, Noor & Nawi, 2008). Ayrıca, aktivasyonda $ZnCl_2$ kullanımı piroliz işlemi esnasında ısı enerjisini arttırabileceği ki bu aktif karbonun gözenek gelişmesine yardım edebileceği açıklanmıştır (Allwar vd., 2008).

Alothman vd. (2011) arkadaşları $ZnCl_2$'nin Lewis asiti olarak hareket edebileceğini rapor etmişlerdir. $ZnCl_2$'nin Lewis asiti olarak hareket etmesi, $ZnCl_2$ başlangıç

maddesinin hidroaromatik yapısından moleküler hidrojenin gelişmesine izin vererek, aromatik kondenzasyon reaksiyonlarını arttırır ve sonuç olarak, polimerizasyon (aromatizasyon) reaksiyonları geçirebilecek komşu moleküllerin üzerinde aktif bölgeler bırakır (Yahya vd., 2015). Kısaca, $ZnCl_2$ uçucu maddeler üzerine engelleyici etkiler verir ve uçucu maddeleri stabilize ederek karbon verimini arttıracaktır (Yahya vd., 2015). Bununla beraber, $ZnCl_2$ aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonun yüksek mekanik dayanıklılığa ve gaz veya buhar adsorpsiyonu için yüksek kapasiteye sahip olabileceğini ifade edilmektedir (Çeçen & Aktaş, 2011). Diğer taraftan, Al-Swaidan ve Ahmad (2011), H_3PO_4 kullanımının düşük aktivasyon sıcaklığına (çoğunlukla yaklaşık 400 ˚C) gerek duyduğunu ve hala daha yüksek derecede bir aktif karbonun üretilebileceğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, H_3PO_4 iyi bir katyon değişim yeteneğine, kimyasal ve termal stabiliteye sahiptir (Yahya vd., 2015).

Bazı çalışmalarda, KOH'in aktivasyon kimyasalı olarak kullanımı, iyi gelişmiş gözenekli ve dar gözenek boyut dağılımlı aktif karbon üretiminde etkili olduğu bulunmuştur (Kawano, Kubota, Onyango, Watanabe & Matsuda, 2008; Khezami vd., 2007). KOH gibi alkali metal ile yapılan aktivasyonun mekanizmasında alkali metal, karbon kafesinin içine eklenir ve elektron donorü olarak hareket eder ve bu elektron donürlüğü gasifikasyon esnasında reaksiyonu geliştirir. Oksijen varlığı, kristaller içindeki çapraz bağlanan karbon atomlarını uzaklaştırabilir. Yüksek sıcaklıkta serbest kalan potasyum metali aralara eklenir ve kristalin ayrı tabakalarını birbirinden uzaklaştırır (Khezami vd., 2007).

2.2.2. İmpregnasyon oranının etkisi

İmpregnasyon oranı aktivasyon kimyasalının başlangıç maddesine oranı olarak tanımlanır. Kimyasal aktivasyon işleminde, impregnasyon oranı en önemli faktörlerden birisidir (Ahmadpour & Do, 1997). İmpregnasyon oranı, gözenek gelişmesi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bir çalışmada, 2/1 ve 3/1 impregnasyon oranları alınarak, aktivasyon kimyasalı olarak $ZnCl_2$ ve KOH kullanıldı (Giraldo & Moreno-Pirajan, 2012). İmpregnasyon oranının 2'den 3'e artması ile yüzey alanı ve toplam gözenek hacimleri arttı. Gözeneklilikteki artış, kimyasal reaktantlardan dolayı çapraz bağlandırılmış yapıdan varolan katranın (tar) serbest kalmasına ve salınmasına atfedildi.

Akpen vd. (2011), atık sudan renk uzaklaştırması için susuz $ZnCl_2$ ile kimyasal aktivasyon yaparak aktif karbon üretmişlerdir. Başlangıç maddesi olarak iki çeşit mango çekirdeği (local ve dausha) kullanmış olup, impregnasyon oranlarını 1/2 ve 1/3 almışlardır. Aktif karbonların metilen mavisi uzaklaştırma etkisi şu şekilde bulunmuş: local 1/2 > local 1/3 > dausha 1/2 > dausha 1/3 ve impregnasyon oranının aktif karbon adsorpsiyon verimini etkilediği ifade edilmiştir.

İmpregnasyon oranının, aktif karbonun yüzey alanı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, karpuz kabuğunun $ZnCl_2$ ile kimyasal aktivasyon yapılarak aktif karbon eldesi çalışmasında görülmektedir (Üner vd., 2015). Diğer bir örnek, Ucar vd. tarafından yapılan nar çekirdeğinin $ZnCl_2$ kimyasal aktivasyonu ile aktif karbon eldesidir ve impregnasyon oranının aktif karbon yüzey alanına güçlü bir etkisi olduğu gösterilmiştir (2009). Bununla beraber, Wang vd. (2010), pruning dut filizlerinden aktif karbon hazırlamışlar ve aktif karbonun verimi ve iyot adsorpsiyon kapasitesi üzerinde impregnasyon oranının önemli bir etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. H_3PO_4 ile yapılan aktivasyonda impregnasyon oranının 1/1'den 2/1'e arttırıldığında, aktif karbonun veriminin 35,59'dan 37,80'e ve iyot sayısının ise 886,14'ten 1067,77'e arttığı bulunmuştur. Fakat impregnasyon oranının 3/1 olması durumunda aktif karbon verimi ve iyot sayısı düşmüştür. Malik vd. tarafından da benzer sonuçlar elde edildi (2006). İmpregnasyon oranında, $ZnCl_2$ arttırılması aktif karbonun yüzey alanının, gözenek hacminin ve iyot sayısının artmasına neden oldu. Fakat aktif karbon verimini düşürmüştür. Diğer bir çalışmada, KOH kimyasal aktivasyonu ile pirinç kabuklarından aktif karbon üretilerek özellikleri incelenmiştir (Mdoe & Mkayula, 2002). İmpregnasyon oranı arttırıldığında aktif karbonun yüzey alanı ve adsorpsiyon kapasitesi arttı. Bununla beraber, karbonizasyon sıcaklıklığı arttırıldığında da aynı sonuçlar elde edildi.

2.2.3. Sıcaklığın yüzey alanı ve gözenek hacmi üzerine olan etkisi

Piroliz sıcaklığının artışı, aktif karbonda kül ve sabitlenmiş karbon yüzdesini arttırken, uçucu madde miktarını azaltır (Ioannidou & Zabaniotou, 2007). Asadullah vd. (2007), fiziksel aktivasyon yaparak hint keneviri çubuğundan hazırladıkları aktif karbonun özelliklerine ve verimine, sıcaklığın nasıl etkilediğini araştırdılar. Beş ayrı sıcaklık kullandılar: 700, 750, 800, 850 ve 900 ˚C. Aktif karbonun veriminin aktivasyon

sıcaklığının yükselmesi ile düştüğü tespit edildi. Aktivasyonda kütle kaybının kullanılan buhardan dolayı olduğu; kullanılan buharın, charı geliştirdiği ve yeniden düzenlediği ve ayrıca karbonmonoksit ve hidrojen oluşturduğu rapor edilmiştir. Bununla beraber, aktif karbon BET yüzey alanının 750 ˚C'tan sonra azaldığı ve diğer sıcaklıklar karşılaştırıldığında en yüksek BET yüzey alanı 750 ˚C'ta tespit edilmiştir.

Mozammel vd. (2002), aktivasyon kimyasalı olarak $ZnCl_2$ kullanarak hindistan cevizi kabuğundan ürettikleri aktif karbonun verimi üzerine sıcaklığın, aktivasyon zamanının ve impregnasyon oranının etkilerini çalıştılar. Çalışmada, sıcaklığın artması ile daha iyi aktivasyon sonucu elde ettiler, fakat sıcaklığın artışı aktif karbon verimini düşürdü. Diğer bir çalışma, Tsai vd. tarafından mısır koçanından aktif karbon hazırlanmasıdır (2001). Bu çalışmada, daha yüksek sıcaklıklar aktif karbonun BET yüzey alanı, toplam gözenek hacmi, yoğunluk ve gözeneklilik açısından elverişli bulundu, fakat artan sıcaklıkla aktif karbonu verimi düşmüştür.

Hayashi, Kazehaya, Muroyama ve Watkinson (2000), ligninden üretilen aktif karbonun gözenek yapısı üzerine karbonizasyon ve aktivasyon kimyasallarının ($ZnCl_2$, H_3PO_4, K_2CO_3 ve diğer alkali metal bileşikleri) etkilerini incelediler. Çalışmada, her iki $ZnCl_2$ ve H_3PO_4 aktivasyon kimyasalı kullanıldığında maksimum yüzey alanı 600 ˚C'ta elde edildi. Ayrıca, bu kullanılan aktivasyon kimyasalları arasında en yüksek yüzey alanı alkali metal bileşikleri ile 800 ˚C'ta elde edildi. $ZnCl_2$ 600 ˚C'ın altındaki sıcaklıklarda dehidrasyon reaktanı olarak çalıştığı rapor edildi. Bununla beraber, K_2CO_3 500 ˚C'ın altındaki karbonizasyon sıcaklıklarında dehidrojenasyon reaktanı olarak hareket ettiği ifade edildi.

Hayashi, Horikawa, Takeda, Muroyama ve Ani (2002), K_2CO_3 kimyasal aktivasyonu ile beş farklı karbonizasyon sıcaklığında (773K ve 1173K aralığında) fındık kabuğundan aktif karbonlar hazırladı. Karbonizasyon sıcaklığın 773K'den 1073K'e kadar arttırılması üretilen her beş örneğin spesifik yüzey alanlarını arttırdığı, fakat 1173K'de yüzey alanlarının düştüğü bulundu. Ayrıca, çalışmada antep fıstığı kabuğundan ve yağ palmiye kabuğundan hazırlanan aktif karbonların gözenek hacim gelişmesi üzerine sıcaklık etkisi çalışıldı. Tüm karbonizasyon sıcaklıklarında mikropor hacimleri mezopor hacimlerinden daha yüksek olduğu bulundu, fakat her iki örnek için de mikropor hacimleri 1173K'de düştü.

Alau, Gimba, Kagbu ve Nale (2010), üç farklı aktivasyon kimyasalı ($ZnCl_2$, H_3PO_4, and KOH) kullanarak neem ağacı kabuğundan (Azadirachta indica) aktif karbonlar hazırladılar. Çalışmada, her aktivasyon kimyasalının farklı optimum aktivasyon sıcaklıklarına (sırasıyla $ZnCl_2$, H_3PO_4, and KOH için 400, 500 ve 350 ˚C) sahip oldukları tespit edildi. Allwar vd. (2008), $ZnCl_2$ ile aktive ederek yağ palmiye kabuklarından üretilen aktif karbonun yüzey karakteristiklerini çalıştı. Piroliz, 400-800 ˚C aralığında farklı aktivasyon sıcaklıklarında yapıldı. Piroliz sıcaklığının 400'den 500 ˚C'a arttırılması ile aktif karbonun mikropor hacminde artış ve 500 ˚C'ın üzerinde ise genel olarak mikropor hacminde düşüş görüldü. Maksimum mikropor hacmi 500 ˚C piroliz sıcaklığında 0,74 cm^3/g olarak tespit edildi. Sonuç olarak, piroliz sıcaklığı olarak 400 ˚C kullanılmasının, gözenekleri geliştirmek için yeterli olmadığı ve aktif karbonun düşük mikropor hacmine sahip olmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Fakat piroliz sıcaklığının 600-800 ˚C aralığında arttırıldığında, aktif karbonun gözenekli duvarların bazılarının büzülmesinden veya kırılmasından (gözenekleri bloke edebilir) dolayı gözenek hacminin düşmesine neden olduğu belirtilmiştir.

Foo ve Lee (2010), farklı sıcaklıklarda başlangıç maddesi olarak "petai" kullanarak H_3PO_4 (1/1 ve 2/1 impregnasyon oranlarında) ile aktif karbonlar hazırlamış ve bu aktif karbonların özelliklerini incelediler. Bu çalışmada sıcaklığın 450'den 600 ˚C'tan kadar arttırılması ile aktif karbonun yüzey alanı yavaş bir artış gösterdi ve 650 ˚C'tan daha ileri ki sıcaklıklarda yüzey alanı düşmeye başlamıştır. Ayrıca, sıcaklığın artmasıyla gözeneklilik artmıştır. Bu durumun nedeni olarak aktivasyon kimyasalı tarafından üretilen çapraz bağlı kafes yapıdan katranın salınıvermesi gösterilmiştir.

Daffalla vd. (2012), fenol'ü uzaklaştırmak için aktivasyon kimyasalı olarak $ZnCl_2$ ve H_3PO_4'ü kullanıp pirinç kabuğundan aktif karbon hazırladılar. Bu çalışmada karbonizasyon sıcaklığının, karbonun gözenek yapısı üzerinde önemli etkilere sahip olduğu bulundu. Karbonizasyon 500 ve 600 ˚C'larda 1 saat süreyle yapıldı. Yüksek sıcaklığın artan uçucuları salabileceğinden dolayı yüksek sıcaklık kullanımının karbon verimini düşürdüğü ifade edildi. Ayrıca çalışma gösterdi ki, sıcaklığın 500'den 600 ˚C'a arttırılması fenol uzaklaştırmasını düşürdü. Sonuç olarak, aktivasyon sıcaklığının 500 ˚C'tan fazla olması durumunda şiddetli gazlaştırma reaksiyonları oluştuğu ve bu reaksiyonların mikropor yapıları yıkarak veya birleştirerek zarar verdiğinden dolayı fenol uzaklaştırma veriminde düşüş görüldüğü ifade edilmiştir.

Gonzalez-Serrano, Cordero, Rodriguez-Mirasol, Cotoruelo ve Rodriguez (2004), aktivasyon sıcaklığının mezopor boyut dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını gösterdiler. Ayrıca, bu çalışmada, kraft siyah likörlerden üretilen aktif karbonların içindeki karbon-oksijen yüzey gruplarının toplam miktarının aktivasyon sıcaklığının artması ile arttığı tespit edilmiştir.

Diğer bir çalışmada, palmiye kabuklarından üretilen aktif karbonun gözenek gelişmesi üzerine karbonizasyon sıcaklığının etkileri incelendi (Daud, Ali & Sulaiman, 2000). İlk olarak, palmiye kabukları 3 farklı sıcaklıkta (500, 800 ve 900 ˚C) karbonize edildikten sonra 820 ˚C'ta aktive edildiler. Daha yüksek sıcaklıkta char'dan üretilen aktif karbonun mikropor hacminde artış olduğu gözlendi. Bununla beraber, tüm 3 karbonizasyon sıcaklıkları için hem mikropor hem de mezopor hacimleri, ara karbon tükenmesinde maksimum değerlere sahip oldu. Ayrıca, mezopor ve makropor hacimleri üzerine karbonizasyon sıcaklıklarının etkilerinin düzenli bir eğilime sahip olmadıkları tespit edildi.

Diğer bir çalışmada, Hindistan cevizi kabuğu char'ından üretilen aktif karbon ve Hindistan kabuğu char'ının gözenek gelişmeleri üzerine karbonizasyon sıcaklığının etkileri incelendi (Li vd., 2008). Hindistan kabuğu 4 farklı sıcaklıkta (400, 600, 800 ve 1000 ˚C) karbonize edildikten sonra elde edilen char'lar 4 farklı aktivasyon süresinde (30, 60, 90 ve 120 dakika) 900 ˚C'ta fiziksel aktivasyona tabii tutuldu. Çalışmada, daha yüksek sıcaklıklarda hem char'ın hem de aktif karbonun daha yüksek BET yüzey alanlarına, mikropor hacimlerine ve verimlere sahip oldukları bulunmuştur.

2.2.4. Karbonizasyon süresinin yüzey alanı ve gözenek hacmi üzerine olan etkisi

Karbonizasyon süresi ve sıcaklığındaki artışın tepkime kinetiğini artırması, böylece karbon matrisi içindeki nanopor yapıyı geliştirmesi beklenir. Joshi vd. yaptığı bir çalışmada, karbonizasyon süresi ve sıcaklığının artmasıyla grafitik yapı yavaş yavaş gelişti ve yüzey alanı büyük oranda azaltıldı (2015). Üner vd. yaptığı bir çalışmada ise, karpuz kabuğundan elde edilen aktif karbonları 30, 60, 90 ve 120 dakika süre ile karbonizasyonu yapıldı ve optimum karbonizasyon süresi olarak 60 dakika belirlendi (2015). Gözenekli yapıları oluşturmak için 30 dakikanın karbonizasyon süresi olarak yeterli bulunmadığı ve karbonizasyon süresinin 90 ve 120 dakika olduğunda ise elde edilen aktif karbonun yüzey yapısının bozulduğu rapor edilmiştir.

2.2.5. Isıtma hızının yüzey alanı ve gözenek hacmi üzerine olan etkisi

Low, Teng, Alkarkhi, Morad ve Azahari (2015), *Elaeis guineensis* fiberlerinden karbonizasyon sıcaklığı 900 ˚C, karbonizasyon süresi 1 saat, nitrojen gaz akışı 100 cm^3/dakika ve ısıtma hızı 10-30 ˚C/dakika şeklinde düzenleyerek aktif karbonlar ürettiler. Isıtma hızı 10'dan 30 ˚C/dakika'ya çıkarıldığında, elde edilen charın BET yüzey alanı 555,53'ten 398,23 m^2/g'a, toplam hacmi 0,31'den 0,17 cm^3/g'a ve toplam mikropor hacmi 0,14'ten 0,13 cm^3/g'a düşmüştür. Yüzey alanındaki ve gözenek hacimlerindeki bu düşüşün nedeni olarak, düşük ısıtma hızının karbonizasyon esnasında oluşabilecek büzülme, çatlama ve termal stresler gibi olumsuz etkileri azaltabileceği ifade edilmektedir. Yüksek ısıtma hızı kütle transferinin sınırlandırılmış etkilerini azalttığı ve biochar'ın sıvı ürüne bozulmasını arttırdığı ve ayrıca C/C bileşiklerinin mekanik performansının bozulduğu ifade edilmektedir.

2.2.6. Azot gazı akış hızının yüzey alanı ve gözenek hacmi üzerine olan etkisi

Süpürme gazı uçucu ürünleri char'ın yüzeyinden uzaklaştırır ve yeniden polimerizasyon ve yeniden kondenzasyon gibi ikinci reaksiyonları azaltır. Azot gazının akış hızının adsorbent özellikleri üzerine olan etkisi *Elaeis guineensis* fiberlerinden karbonizasyon sıcaklığı 900 ˚C, karbonizasyon süresi 1 saat, ısıtma hızı 10 ˚C/dakika ve nitrojen gaz akışı 100-500 cm^3/dakika şeklinde düzenlenip incelendi (Low vd., 2015). Azot gazı akış hızı 100 cm^3/dakika olduğunda elde edilen aktif karbonun BET yüzey alanı (555,53 m^2/g), toplam gözenek hacmi (0,31 cm^3/g), mikropor gözenek hacmi (0,14 cm^3/g) ve rodamin B boya uzaklaştırma yüzdesi (%99,11) değerleri elde edildi. Azot gazı akış hızı 500 cm^3/dakika olduğunda ise BET yüzey alanı (98,97 m^2/g), toplam gözenek hacmi (0,05 cm^3/g), mikropor gözenek hacmi (0,03 cm^3/g) ve rodamin B boya uzaklaştırma yüzdesi (% 43,41) değerlerinin çok az oldukları tespit edildi.

Demiral ve Ayan (2011), azot akış hızının piroliz yoluyla üretilen adsorbentin kalış süresini etkilediği rapor etmiştir. Termal parçalama, kısmi oksidasyon, yeniden polimerizasyon ve yeniden yoğunlaşma gibi ikinci reaksiyonları minimize etmek ve sıvı ürünü arttırmak için, hızlı gaz akışının ürünü sıcak bölgeden soğuk bölgeye hızlı bir şekilde uzaklaştırdığı ifade edilir.

2.2.7. Başlangıç maddesinin tanecik büyüklüğü etkisi

Moreno vd. (2013), resorsinol-formaldehit organik kserojellerin karbonizasyonunu yaparak parçacık büyüklüğünün yüzey alanı üzerine olan etkisini incelediler. Karbonizasyon işlemi esnasında, organik kserojellerin tanecik büyüklüğünün önemli bir rol oynadığını tepit ettiler. Karbonizasyon sıcaklığına bağlı olarak, tanecik büyüklüğündeki bir düşüşün (< 212 mikron) karbon kserojellerin BET yüzey alanında bir artışa (% 12-27 arasında) ve karbon kserojellerin veriminde ise bir düşüşe (%15-24 arasında) neden olduğu tespit edilmiştir.

2.3. Aktif karbonun uygulama alanları

Aktif karbonlar su arıtması (Cermakova, Kopecka, Pivokonsky, Pivokonska & Janda, 2017; Yu vd., 2016), kimyasal ve petrol endüstrileri (El-Naas, Alhaija & Al-Zuhair, 2014; Hariz, Al Ayni & Monser, 2014), ayırma (Liu, Zhang, Sun & Hu, 2016), saflaştırma (Dhabhai, Ahmadifeijani, Dalai & Reaney, 2016), kataliz (Beswick vd., 2017), enerji depolama (Lota vd., 2016; Wang vd., 2017), piller (Kim vd., 2016), yakıt hücreleri (Zhang vd., 2017), nükleer enerji santralleri (Sinha, Subramanian, Jose & Venkatraman, 2016), elektrik çift tabaka kapasitörler için elektrotlar (Chang & Qin, 2017), farmasötik (Song, Bhadra & Jhung, 2017), hidrometalurji (Zazycki, Tanabe, Bertuol & Dotto, 2017) gibi birçok uygulama alanlarına sahiptir.

Yiyecek endüstrilerinde, renk giderme, koku giderme ve tad uzaklaştırma amaçları için kullanılabilir (Sahu, Acharya & Meikap, 2010). Tıbbi alanda zararlı kimyasal ve ilaç adsorpsiyonu amacıyla kullanılır (Sarici-Özdemir & Önal, 2016). Gaz temizleme uygulamalarında, aktif karbon hava filtreleri ve klima amaçlı kullanılır (Yusufu, Ariahu & Igbabul, 2012). Mineral sanayiinde, aktif karbon, süzünmüş sıvılardan altının geri kazanılması için kullanılmıştır (Qureshi, Bhatti, Kazi & Ansari, 2008). Aktif karbonun fiziksel özellikleri, en iyi uygulama alanının belirlenmesinde çok önemlidir. Örneğin, aktif karbon sık sık geri yıkama yapılması gereken bir uygulama için tasarlandıysa, sertlik veya aşınma direnci özellikleri aktif karbon için çok önemlidir (Yusufu vd., 2012). Aktive edilmiş karbon gaz ve buharlar için kullanılıyorsa, yarıçapı 16-20 Å 'den daha az gözenekliliğe gerek duyar. Aktif karbon sıvı faz sisteminde renk giderme amaçlı ise, yarıçapı 20-500 Å olan gözenekliliğe gerek duyar (Khalili, Campbell, Sandi

& Golas, 2000). Kısaca, aktif karbon, adsorpsiyon işleminde kimyasal, farmasötik ve gıda endüstrisi de dâhil olmak üzere sıvı fazdan gaz fazlı uygulamalara kadar çok yararlı olmuştur (Guo vd., 2009; Khezami vd., 2007; Valdes, Sanchez-Polo, Rivera-Utrilla & Zaror, 2002; Yusufu vd., 2012). Tablo 2.5, tarımsal atık maddelerden üretilen aktif karbonun farklı uygulamaları sunmaktadır.

Tablo 2.5. Tarımsal atık maddelerden üretilen aktif karbonların farklı uygulamaları

Başlangıç maddesi	Uygulamalar	Kaynaklar
Hindistan cevizi kabuğu	Heksamin kobaltın (III) indirgenmesi	(Sodeinde, 2012)
Fındıkkabuğu ve kayısı çekirdeği	Bakır (II) adsorpsiyonu	(Ozcimen & Ersoy-Mericboyu, 2010)
Pirinç kabuğu	Bakır (II) adsorpsiyonu	(Yahaya, Latiff, Abustan & Ahmad, 2010)
Şeftali çekirdeği	Altın adsorpsiyonu	(Masiya & Gudyanga, 2009)
Fındıkkabuğu	Cıva (II) adsorpsiyonu	(Khalkhali & Omidvari, 2005)
Demirhindi tohumları	Depolama için metan alımı	(Munusamy, Somani & Bajaj, 2011)
Nar kabuğu (*Punica granatum*)	Direct red-28 boyasının adsorpsiyonu	(Venckatesh, Amudha, Sivaraj, Chandramohan & Jambulingam, 2010)
Şeker kamışı bageti	Şekerin renksizleştirilmesi	(Qureshi vd., 2008)
Hindistan cevizi fiberlerinden yapılmış süngersi madde	Metal iyonlarının ve toksik boyanın uzaklaştırılması	(Ash vd., 2006)
Zeytinyağı değirmeni artıkları	Tekstil atık suyundaki rengin uzaklaştırılması	(Pala vd., 2006)
Hindistan cevizi kabuğu	Okzalik asit ve maleik asitin adsorpsiyonu	(Rahman vd., 2006)
Yer fıstığı kabuğu	Pestisit (Dichlorvos) uzaklaştırılması	(Gimba vd., 2010)
Bamya atıkları	Rodamin B adsorpsiyonu	(Üner, Geçgel, Kolancılar & Bayrak, 2017)
Boş meyve demeti	Hidrojen depolama	(Arshad vd., 2016)
İğde çekirdeği	Süperkapasitör üretimi	(Ates vd., 2016)

BÖLÜM 3

KAYNAK ARAŞTIRMASI

Farklı şartlarda (aktifleyici madde, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklığı ve süresi) üretilen aktif karbonların yüzey ve gözenek özellikleri Tablo 3.1'de verilmektedir. Tablo 3.1'de görüldüğü gibi, çeşitli hammaddelerden aktif karbon üretiminde karbonizasyon sıcaklığının, aktifleyici madde oranının (impregnasyon oranı) ve karbonizasyon süresinin etkilerini birlikte kapsamlı bir şekilde inceleyen bir çalışma görülmemektedir. Okman, Karagöz, Tay ve Erdem (2014), K_2CO_3 ve KOH gibi iki tür aktifleyici madde kullanarak üzüm çekirdeklerinden aktif karbonlar elde etmişlerdir. Yapılan bu çalışma aktifleyici maddeler 0,25, 0,50 ve 1 oranında alınarak, sadece 1 saat karbonizasyon süresi ile 600 ve 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığında yapılmıştır. Üzüm çekirdeğinden elde edilen en yüksek yüzey alanına sahip aktif karbonu, aktifleyici madde olarak K_2CO_3 kullanıldığında 0,5 aktifleyici madde oranında ve 1 saat 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığında (1238 m^2/g) elde ettiler. Aktifleyici madde olarak KOH kullanıldığında ise, 0,25 aktifleyici madde oranında ve 1 saat 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığında (1222 m^2/g) elde ettiler. Fakat diğer taraftan düşünülmesi gereken soru; diğer karbonizasyon sıcaklıklarında (300, 400, 500, 700 ve 900 ˚C gibi) ve karbonizasyon sürelerinde (30, 90 ve 120 dakika gibi) aktif karbonun yüzey alanları ve aktif karbon üzerindeki fonksiyonel grupların (adsorpsiyon işleminde etkin) nasıl değişeceğidir.

Açıkyıldız, Gürses ve Karaca (2014), $ZnCl_2$ aktifleyici maddesi kullanarak çam talaşı, gül çekirdekleri ve cornel çekirdeklerinden aktif karbonlar elde etmişlerdir. Üretimler,

aktifleyici madde oranları 0,5, 0,75, 1, 1,5 ve 2 alınıp, 1 saat karbonizasyon süresi ile 400 ˚C karbonizasyon sıcaklığında yapılmıştır. En yüksek yüzey alanlı aktif karbonlar;

a) başlangıç maddesi çam talaşı kullanıldığında, aktifleyici madde oranı 1,5 ve 400 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1824,71 m^2/g olarak,
b) başlangıç maddesi gül çekirdekleri kullanıldığında, aktifleyici madde oranı 1,5 ve 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1238,49 m^2/g olarak,
c) başlangıç maddesi cornel çekirdekleri kullanıldığında, aktifleyici madde oranı 1,5 ve 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1355,09 m^2/g olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada merak edilen en önemli soru; farklı karbonizasyon sürelerinde (30, 90 ve 120 dakika gibi) üretilecek aktif karbonların yüzeyinin ve yüzey alanının nasıl değişeceği olmalıdır. Diğer taraftan, karbonizasyon sıcaklıkları (300, 500, 600, 700 ve 800 ˚C) için sadece 1,5 aktifleyici madde oranı kullanılmıştır.

Moreno-Barbosa, Lopez-Velandia, Maldonado, Giraldo ve Moreno-Pirajan (2013), H_3PO_4 aktifleyici maddesi kullanarak karpuz ve ceviz kabuklarından aktif karbonlar elde etmişlerdir. Aktif karbonlar, aktifleyici madde oranı 2 alınıp, 120 mL/dakika azot gazı akışı altında 1,12 saat karbonizasyon süresi ile 500-700 ˚C karbonizasyon sıcaklığında üretilmiştir. Elde edilen aktif karbonların BET yüzey alanları karpuz kabuğundan ve ceviz kabuğundan sırasıyla 710 m^2/g ve 789 m^2/g olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, diğer farklı aktifleyici madde oranları ve karbonizasyon süreleri gözardı edilmiştir.

Hayashi vd. (2000), $ZnCl_2$, H_3PO_4, K_2CO_3, Na_2CO_3, KOH ve NaOH aktifleyici maddelerini kullanarak ligninden aktif karbonlar elde ettiler. Bu çalışmada üretilen aktif karbonların yüzey ve gözenek ölçüm değerleri Tablo 3.1'de yaklaşık olarak verilmektedir, çünkü verilen değerler yayında şekil olarak verilmekte olup kesin değerleri tablo halinde sunulmamaktadır. Aktif karbonlar, tüm örnekler için aktifleyici madde oranı 1 alınıp, azot gazı akışı altında 1 saat karbonizasyon süresi ile 500, 600, 700, 800 ve 900 ˚C karbonizasyon sıcaklığında elde edilmiştir. En yüksek yüzey alanlı aktif karbonlar;

a) aktifleyici madde $ZnCl_2$ kullanıldığında, 600 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1350 m^2/g,

b) aktifleyici madde H_3PO_4 kullanıldığında, 600 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1020 m^2/g,

c) aktifleyici madde K_2CO_3 kullanıldığında, 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 2000 m^2/g,

d) aktifleyici madde Na_2CO_3 kullanıldığında, 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 780 m^2/g,

e) aktifleyici madde KOH kullanıldığında, 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1480 m^2/g,

f) aktifleyici madde NaOH kullanıldığında, 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1410 m^2/g olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada merak edilen en önemli soru; farklı karbonizasyon sürelerinde (30, 90 ve 120 dakika gibi) üretilecek aktif karbonların yüzeyinin ve yüzey alanının nasıl değişeceği olmalıdır. Ayrıca, tüm örnekler için, aktifleyici madde oranı sadece 1 olarak uygulanmıştır.

Köseoğlu ve Akmil-Başar tarafından yapılan bir çalışmada, $ZnCl_2$ ve K_2CO_3 aktifleyici maddeleri kullanılarak portakal kabuğundan aktif karbonlar elde edildi (2015). Aktif karbonlar, tüm örnekler için aktifleyici madde oranı 1 alınıp, 100 mL/dakika azot gazı akışı altında 1 saat karbonizasyon süresi ile 400-1000 ˚C karbonizasyon sıcaklıkları arasında elde edilmişlerdir. En yüksek BET yüzey alanları, aktifleyici madde $ZnCl_2$ kullanıldığında, 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1215 m^2/g ve aktifleyici madde K_2CO_3 kullanıldığında ise 950 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1352 m^2/g olarak bulunmuştur. Fakat tüm örnekler için, aktifleyici madde oranı sadece 1 ve karbonizasyon süresi de sadece 1 saat olarak uygulanmıştır.

Vernersson, Bonelli, Cerrella ve Cukierman tarafından yapılan bir çalışmada, H_3PO_4 aktifleyici maddesi kullanarak kargı konilerinden aktif karbonlar elde edilmiştir (2002). Yapılan bu çalışma aktifleyici maddeler 1,5 ve 2 oranında alınarak, 400, 450, 500 ve 550 ˚C karbonizasyon sıcaklıklarında ve aktifleyici madde 2,5 oranında alınarak, sadece 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığında yapılmıştır. Karbonizasyon aşamasında, sıcaklık, oda sıcaklığından arttırılmaya başlanmış, istenilen sıcaklığa ulaştırılmış ve bu sıcaklıkta 1 saat karbonize edilmiştir. En yüksek BET yüzey alanlı aktif karbonlar;

a) aktifleyici madde oranı 1,5 alındığında, 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1151 m^2/g,

b) aktifleyici madde oranı 2 alındığında, 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1114 m^2/g,
c) aktifleyici madde oranı 2,5 alındığında, 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 841 m^2/g olarak tespit edilmiştir.

Diğer yandan, aktifleyici madde oranı 2 alınmış ve karbonizasyon aşamasında, sıcaklık, oda sıcaklığından arttırılmaya başlanmış, 500 ˚C sıcaklığa ulaştırılmış ve bu sıcaklıktaki süreleri (0, 15, 30 ve 60 dakika) değiştirilerek aktif karbonlar üretilmiştir. En yüksek yüzey alana sahip aktif karbonun bu sıcaklıkta 0 dakika beklenildiğinde 1333 m^2/g olduğu bulunmuştur. Karbonizasyon sürelerinin değişiminin sadece 500 ˚C sıcaklık ve aktifleyici madde oranının sadece 2 için yapılması diğer sıcaklık ve aktifleyici madde oranlarında elde edilecek sonuçları gözardı etmektedir. Ayrıca, karbonizasyon süresi incelemesinde, aktifleyici madde oranı 2 neye göre seçildiği değinilmemektedir, çünkü aktifleyici madde oranı 1,5 alındığında, 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1151 m^2/g yüzey alanı, aktifleyici madde oranı 2 alındığında, 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1114 m^2/g yüzey alanından daha büyüktür (1151 > 1114). Burada, aktifleyici madde oranı 1,5 alınsaydı belki de daha büyük yüzey alanlı aktif karbonlar üretilebilirdi.

Abechi, Gimba, Uzairu ve Dallatu tarafından yapılan bir çalışmada, KOH aktifleyici maddesi kullanılarak palm çekirdeği kabuklarından aktif karbonlar elde edilmiştir (2013). Bu çalışmada, palm çekirdekleri 1 saat 400 ˚C sıcaklıkta karbonize edildikten sonra, aktifleyici madde oranı (KOH peleti/palm çekirdeği kabuğu) 1 alınarak hazırlanan karışım 2 saat 80 ˚C sıcaklıkta karıştırıldı. Karışım kurutulduktan sonra, çeşitli karbonizasyon süreleri (15, 30 ve 45 dakika) ile 800, 900 ve 1000 ˚C karbonizasyon sıcaklıklarında karbonize edilmişlerdir. En yüksek yüzey alanlı aktif karbonlar 1000 ˚C karbonizasyon sıcaklığında, 15 dakika karbonizasyon süresi ile 141 m^2/g, 30 dakika karbonizasyon süresi ile 155 m^2/g ve 45 dakika karbonizasyon süresi ile 217 m^2/g olarak elde edilmiştir. Ancak, aktifleyici madde oranının sadece 1 alınması ve karbonizasyon süresinin arttırılarak aktif karbon üretilmemesi belki de daha yüksek yüzey alanlı aktif karbon elde etme olasılığını ortadan kaldırmıştır.

Hirunpraditkoon vd. tarafından yapılan bir çalışmada, KOH aktifleyici maddesi kullanılarak bambudan aktif karbonlar elde edildi (2011). Aktif karbonlar, tüm örnekler için aktifleyici madde oranı 0,5 alınıp, 150 mL/dakika azot gazı akışı altında 1, 2 ve 3

saat karbonizasyon süreleri ile 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığında elde edilmişlerdir. En yüksek yüzey alanına sahip aktif karbon, 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığında 3 saat karbonizasyon süresi ile 1532,8 m^2/g olarak elde edilmiştir. Fakat 3 saatten fazla karbonizasyon süresi ile aktif karbon üretilmemesi ve 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığından başka bir sıcaklıkta çalışılmaması bu çalışmanın eksiğidir.

Nahil ve Williams'ın yaptığı bir çalışmada, H_3PO_4 aktifleyici maddesi kullanılarak pamuk sapından aktif karbonlar elde edildi (2012). Yapılan bu çalışma aktifleyici maddeler 0,3, 0,75, 1,5 ve 3 oranında alınarak, 500 ve 800 ˚C karbonizasyon sıcaklıklarında ve aktifleyici madde sadece 1,5 oranında alınarak, 600 ve 700 ˚C karbonizasyon sıcaklıklarında yapılmıştır. Karbonizasyon aşamasında, sıcaklık, oda sıcaklığından arttırılmaya başlanmış, istenilen sıcaklığa ulaştırılmış ve bu sıcaklıkta 2 saat karbonize edilmiştir. En yüksek BET yüzey alanlı aktif karbonlar;

a) aktifleyici madde oranı 1,5 uygulandığında, 500 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1720 m^2/g,
b) aktifleyici madde oranı 1,5 uygulandığında, 600 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1400 m^2/g,
c) aktifleyici madde oranı 1,5 uygulandığında, 700 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1160 m^2/g,
d) aktifleyici madde oranı 1,5 uygulandığında, 800 ˚C karbonizasyon sıcaklığı ile 1400 m^2/g olarak tespit edilmiştir.

Ancak, karbonizasyon süresi olarak sadece 2 saat kullanıldığından süre ile ilgili bir karşılaştırma yapılmamıştır.

Sonuç olarak, literatürdeki çoğu çalışmada, ya sadece karbonizasyon sıcaklığının etkisi, yâda karbonizasyon sıcaklığı ve aktifleyici madde oranı etkisi veya karbonizasyon sıcaklığı ve karbonizasyon süresinin etkisi incelenmiştir. Yani, karbonizasyon sıcaklığı, aktifleyici madde oranı ve karbonizasyon süresinin etkisini birlikte inceleyen tam kapsamlı bir araştırma yapılmadığı görülmektedir.

Tablo 3.1. Farklı şartlarda (aktifleyici madde, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklığı ve süresi) üretilen aktif karbonlar

Hammadde	Aktifleyici madde	Karbonizasyon sıcaklığı (˚C)	Aktifleyici madde oranı (a/a)	BET yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor yüzey alanı (m^2/g)	Mezopor yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor hacmi (cm^3/g)	Mezopor hacmi (cm^3/g)	Ortalama gözenek çapı (nm)	Kaynaklar
Üzüm çekirdekleri	K_2CO_3	600	0,25	33	28,2	4,4	0,11	0,0015	2,4	(Okman vd., 2014)
	K_2CO_3	800	0,25	918	878,3	39,8	0,35	0,0254	1,6	
	K_2CO_3	600	0,50	511	468,7	42,1	0,19	0,0438	1,9	
	K_2CO_3	800	0,50	1238	1198,0	40,4	0,47	0,0437	1,7	
	K_2CO_3	600	1	358	321,0	37,2	0,06	0,0525	1,9	
	K_2CO_3	800	1	1166	1156,0	9,8	0,46	0,0161	1,6	
	KOH	600	0,25	654	523,3	130,5	0,19	0,0510	1,8	
	KOH	800	0,25	1222	1175,0	47,1	0,47	0,0504	1,7	
	KOH	600	0,50	146	137,1	8,6	0,06	0,0118	1,9	
	KOH	800	0,50	1143	1127,0	15,5	0,44	0,0127	1,6	
	KOH	600	1	784	734,1	49,4	0,29	0,0565	1,8	
	KOH	800	1	1090	1040,0	49,8	0,41	0,0566	1,7	
Çam talaşı	$ZnCl_2$	300	1,5	4,47	-	-	-	-	-	(Açıkyıldız vd., 2014)
	$ZnCl_2$	400	0,5	721,76	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	0,75	782,36	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	1	1297,39	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	1,50	1824,71	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	2	1004,89	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	500	1,50	1677,67	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	600	1,50	1603,75	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	700	1,50	1313,09	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	800	1,50	1344,52	-	-	-	-	-	

Tablo 3.1. Farklı şartlarda (aktifleyici madde, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklığı ve süresi) üretilen aktif karbonlar devamı

Hammadde	Aktifleyici madde	Karbonizasyon sıcaklığı (^{O}C)	Aktifleyici madde oranı (a/a)	BET yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor yüzey alanı (m^2/g)	Mezopor yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor hacmi (cm^3/g)	Mezopor hacmi (cm^3/g)	Ortalama gözenek çapı (nm)	Kaynaklar
Gül çekirdekleri	$ZnCl_2$	300	1,50	18,41	-	-	-	-	-	(Açıkyıldız vd., 2014)
	$ZnCl_2$	400	0,50	522,46	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	0,75	500,24	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	1	856,70	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	1,50	824,56	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	2	1057,98	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	500	1,50	1238,49	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	600	1,50	1044,52	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	700	1,50	1047,55	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	800	1,50	986,93	-	-	-	-	-	
Cornel çekirdekleri	$ZnCl_2$	300	1,50	12,10	-	-	-	-	-	(Açıkyıldız vd., 2014)
	$ZnCl_2$	400	0,50	477,70	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	0,75	533,99	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	1	729,08	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	1,50	845,51	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	400	2	779,12	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	500	1,50	1355,09	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	600	1,50	1044,80	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	700	1,50	964,67	-	-	-	-	-	
	$ZnCl_2$	800	1,50	1238,44	-	-	-	-	-	

Tablo 3.1. Farklı şartlarda (aktifleyici madde, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklığı ve süresi) üretilen aktif karbonlar devamı

Hammadde	Aktifleyici madde	Karbonizasyon sıcaklığı (^{O}C)	Aktifleyici madde oranı (a/a)	BET yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor yüzey alanı (m^2/g)	Mezopor yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor hacmi (cm^3/g)	Mezopor hacmi (cm^3/g)	Ortalama gözenek çapı (nm)	Kaynaklar
Karpuz kabuğu	H_3PO_4	500-700	2	710	-	-	-	-	-	(Moreno-Barbosa vd., 2013)
Ceviz Kabuğu	H_3PO_4	500-700	2	789	-	-	-	-	-	
Lignin	$ZnCl_2$	500	1	1050	-	-	0,42	0,03	-	
		600	1	1350	-	-	0,52	0,06	-	
		700	1	900	-	-	0,35	0,03	-	(Hayashi vd., 2000)
		800	1	700	-	-	0,3	0,02	-	
		900	1	690	-	-	0,29	0,02	-	
	H_3PO_4	500	1	750	-	-	0,29	0,02	-	
		600	1	1020	-	-	0,43	0,03	-	
		700	1	950	-	-	0,38	0,02	-	(Hayashi vd., 2000)
		800	1	750	-	-	0,34	0,02	-	
		900	1	680	-	-	0,28	0,01	-	
	K_2CO_3	500	1	20	-	-	0,01	0,02	-	
		600	1	550	-	-	0,25	0,03	-	
		700	1	1650	-	-	0,74	0,06	-	(Hayashi vd., 2000)
		800	1	2000	-	-	0,84	0,24	-	
		900	1	1620	-	-	0,75	0,25	-	

Tablo 3.1. Farklı şartlarda (aktifleyici madde, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklığı ve süresi) üretilen aktif karbonlar devamı

Hammadde	Aktifleyici madde	Karbonizasyon sıcaklığı (^{O}C)	Aktifleyici madde oranı (a/a)	BET yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor yüzey alanı (m^2/g)	Mezopor yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor hacmi (cm^3/g)	Mezopor hacmi (cm^3/g)	Ortalama gözenek çapı (nm)	Kaynaklar
Lignin	Na_2CO_3	500	1	20	-	-	0,01	0,02	-	(Hayashi vd., 2000)
		600	1	25	-	-	0,004	0,01	-	
		700	1	210	-	-	0,17	0,02	-	
		800	1	780	-	-	0,31	0,08	-	
		900	1	720	-	-	0,31	0,11	-	
	KOH	500	1	250	-	-	0,12	0,03	-	
		600	1	720	-	-	0,3	0,02	-	
		700	1	1220	-	-	0,52	0,03	-	(Hayashi vd., 2000)
		800	1	1480	-	-	0,58	0,03	-	
		900	1	1390	-	-	0,53	0,09	-	
	NaOH	500	1	18	-	-	0,01	0,02	-	
		600	1	640	-	-	0,28	0,04	-	
		700	1	970	-	-	0,42	0,04	-	(Hayashi vd., 2000)
		800	1	1410	-	-	0,51	0,05	-	
		900	1	750	-	-	0,35	0,15	-	
Portakal kabuğu	$ZnCl_2$	400	1	1151	376	-	0,16	0,49	2,2	(Köseoğlu & Akmil-Başar, 2015)
		500	1	1215	327	-	0,13	0,55	2,2	
		600	1	1144	306	-	0,13	0,52	2,3	
		700	1	882	213	-	0,09	0,41	2,3	
		800	1	836	275	-	0,12	0,40	2,3	
		1000	1	804	231	-	0,10	0,36	2,2	

Tablo 3.1. Farklı şartlarda (aktifleyici madde, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklığı ve süresi) üretilen aktif karbonlar devamı

Hammadde	Aktifleyici madde	Karbonizasyon sıcaklığı (^{O}C)	Aktifleyici madde oranı (a/a)	BET yüzey alanı	Mikropor yüzey alanı	Mezopor yüzey alanı	Mikropor hacmi (cm^3/g)	Mezopor hacmi (cm^3/g)	Ortalama gözenek çapı	Kaynaklar
Portakal kabuğu	K_2CO_3	500	1	9	6	-	0,01	0,00	2,6	(Köseoğlu & Akmil-Başar, 2015)
		700	1	477	442	-	0,21	0,02	1,8	
		800	1	621	479	-	0,22	0,08	1,9	
		850	1	987	798	-	0,37	0,11	1,9	
		900	1	1177	864	-	0,40	0,19	2,0	
		950	1	1352	505	-	0,22	0,57	2,3	
		1000	1	1228	365	-	0,16	0,62	2,5	
Kargı konileri (500 ^{O}C'de 1 saat BET yüzey alanı aktivasyonsuz 38 m^2/g)	H_3PO_4	400	1.5	1089	-	-	0,55	0,17	1,3	(Vernersson vd., 2002)
		450	1.5	1104	-	-	0,56	0,33	1,6	
		500	1.5	1151	-	-	0,56	0,44	1,7	
		550	1.5	1001	-	-	0,45	0,35	1,6	
		400	2	688	-	-	0,35	0,20	1,6	
		450	2	733	-	-	0,37	0,27	1,7	
		500	2	1114	-	-	0,56	0,66	2,2	
		550	2	907	-	-	0,45	0,51	2,1	
		500	2.5	841	-	-	0,42	0,51	2,2	
Kargı konileri	H_3PO_4	Karbonizasyon Süresi(500 ^{O}C)								
		0 dk	2	1333			0,67	0,38	1,6	(Vernersson vd., 2002)
		15 dk	2	1312			0,66	0,44	1,7	
		30 dk	2	1309			0,65	0,69	2,0	
		60 dk	2	1114			0,56	0,66	2,2	

Tablo 3.1. Farklı şartlarda (aktifleyici madde, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklığı ve süresi) üretilen aktif karbonlar devamı

Hammadde	Aktifleyici madde	Karbonizasyon sıcaklığı (^{O}C)	Aktifleyici madde oranı (a/a)	BET yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor yüzey alanı (m^2/g)	Mezopor yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor hacmi (cm^3/g)	Mezopor hacmi (cm^3/g)	Ortalama gözenek çapı (nm)	Kaynaklar
Palm çekirdeği kabuğu	KOH (karbonizasyon süresi 15 dakika)	800	1	20	-	-	0,011	-	-	(Abechi vd., 2013)
		900	1	73	-	-	0,038	-	-	
		1000	1	141	-	-	0,067	-	-	
	KOH (karbonizasyon süresi 30 dakika)	800	1	17	-	-	0,0092	-	-	
		900	1	54	-	-	0,03	-	-	
		1000	1	155	-	-	0,078	-	-	
	KOH (karbonizasyon süresi 45 dakika)	800	1	127	-	-	0,063	-	-	
		900	1	72	-	-	0,038	-	-	
		1000	1	217	-	-	0,11	-	-	
Bambu	KOH (karbonizasyon süresi 1 saat)	800	0.5	1281,7	-	-	-	-	-	(Hirunpraditkoon vd., 2011)
	KOH (karbonizasyon süresi 2 saat)	800	0.5	1493,4	-	-	-	-	-	
	KOH (karbonizasyon süresi 3 saat)	800	0.5	1532,8	-	-	-	-	-	

Tablo 3.1. Farklı şartlarda (aktifleyici madde, impregnasyon oranı, karbonizasyon sıcaklığı ve süresi) üretilen aktif karbonlar devamı

Hammadde	Aktifleyici madde	Karbonizasyon sıcaklığı (^{O}C)	Aktifleyici madde oranı (a/a)	BET yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor yüzey alanı (m^2/g)	Mezopor yüzey alanı (m^2/g)	Mikropor hacmi (cm^3/g)	Mezopor hacmi (cm^3/g)	Ortalama gözenek çapı (nm)	Kaynaklar
Pamuk sapı (karbonizasyon 2 saat)	H_3PO_4	500	0,3	330	-	-	0,15	0,01	-	Nahil & Williams, 2012)
		500	0,75	1200	-	-	0,46	0,06	-	
		500	1,5	1720	-	-	0,71	0,18	-	
		500	3	1160	-	-	0,50	0,29	-	
		600	1,5	1400	-	-	0,62	0,17	-	
		700	1,5	1160	-	-	0,53	0,17	-	
		800	0,3	350	-	-	0,15	-	-	
		800	0,75	1100	-	-	0,45	0,04	-	
		800	1,5	1400	-	-	0,60	0,17	-	
		800	3	1360	-	-	0,59	0,61	-	

BÖLÜM 4

MATERYAL ve YÖNTEM

4.1. Kullanılan maddeler

Aktif karbon başlangıç maddesi olarak kargı bitkisi (*Arundo donax*) kullanılmıştır. Kimyasal aktivasyon maddesi olarak $ZnCl_2$ ve üretilen aktif karbonların üzerlerindeki safsızlıkları gidermek amacı ile HCl kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal maddeler analitik saflıkta olup, hepsi Merck'ten tedarik edilmiştir.

4.1.1.Kargı bitkisi (*Arundo donax*)

Aktif karbon başlangıç maddesi olarak, Şekil 4.1'de görülen kuru haldeki kargı konileri Manisa'nın Ahmetli ilçesinden tedarik edilmiştir. Kargılar (*Arundo donax*), buğdaygiller (Poaceae) familyasından olup, sık kümeler halinde oluşan, çok yıllık uzun otsu bitkilerdir ve masura kamışı olarak da bilinir. Kargılar 2 ila 7 m arasındaki uzunluklara sahip olabilirler. Kargıların kullanım alanları, oldukça sınırlı olup, kargıların borumsu gövdelerinden ney ve flüt gibi bazı üflemeli çalgıların yapımında ve güneşten korunmak için kamelya çatısı yapımında kullanılır.



Şekil 4.1. Kargılar ve tedarik edildikleri bölge (Ahmetli/MANİSA)

4.2. Aktif karbonların hazırlanması

Kargılar (*Arundo donax*) tedarik edildikten sonra, kargı gövdeleri yapraklarından ve kargıların ucundaki püsküllerden ayrılarak, üretilmesi amaçlanan aktif karbonların hammaddesi olarak ayrıldı. Kargı gövdelerinin üzerlerindeki toz, toprak, çamur ve diğer kirliliklerden arındırmak için iyice yıkandı ve ardından kurutuldu. Kurutulan hammaddeler bıçaklı öğütücüde öğütüldü ve öğütülen kargı gövdeleri 50 mesh büyüklüğündeki elekten geçirildi. Ardından, aktif karbon üretim işlemlerinde 50 mesh ve daha küçük büyüklüğe sahip parçacıklar başlangıç maddesi olarak aktif karbon üretiminin diğer aşamalarında kullanılmak üzere kapalı bir kapta depolandı (aktif karbon başlangıç maddesi).

Kimyasal aktivasyon basamağında 5 g alınan başlangıç maddesi 50 mL saf su içinde ayrı ayrı 0,5/1, 1/1, 1,5/1, 2/1, 2,5/1, 3/1 (a/a) oranlarında $ZnCl_2$/kargı kullanılarak muamele edildiler. Muamele işlemleri, geri soğutucu bağlanmış cam balonlar içinde (reflux ile) bir saat kaynama sıcaklığının hemen altında veya su banyosu (WiseBath) içine yerleştirilen 100 mL'lik ağzı kapalı cam şişeler içinde değişik sıcaklıklarda (25 ve 50 °C) ve çeşitli süreler boyunca çalkalayarak (130 rpm) veya çalkalamadan yapılmıştır. Muamele sonrası elde edilen karışımlar petri kaplarına alınarak 95°C'ta etüvde kurutuldu veya hiç muamele işlemi yapmadan karıştırılan maddeler petri kaplarına alınarak 95 °C'ta etüvde kurutuldu. Kurutulan karışımlar petri kaplarından kapalı krozelere alınarak oksijensiz ortamda çeşitli sıcaklık ve sürelerde fırına (nüve, MF 120) alınıp karbonizasyon işlemine tabii tutuldular. Karbonizasyon aşamasından sonra elde edilen aktif karbonların üzerindeki serbest klor ve çinko iyonlarını ve diğer safsızlıkları uzaklaştırmak için aktif karbonlar 0,1 N HCl içinde çözüldükten sonra destile suyla yıkandı ve bu yıkama işlemi süzüntü pH'ı nötral olana kadar devam edildi. Ardından, yıkanan aktif karbonlar 70 °C'ta etüvde kurutuldu ve yüzey özelliklerini tespit etmek amacıyla ağzı kapalı cam şişelere havanda öğütüldükten sonra konuldu.

Elde edilen aktif karbonların verimi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$verim\ (\%) = \frac{W_B}{W_A}\ x\ 100 \qquad (4.1)$$

Bu formüldeki W_A aktif karbon üretiminde başlangıç maddeleri olarak kullanılan kargı gövdelerinin ağırlığını simgelerken, W_B üretim sonunda elde edilen aktif karbonların ağırlığını simgeler.

4.3. Karakterizasyon teknikleri

Başlangıç maddesinin TGA analizi, termogravimetrik analiz (SETARAM instrumentation Labsys Evo) cihazı kullanılarak yapıldı. TGA analizinde, başlangıç maddesi 20 mL/dakika azot akış hızı altında 10 ^{0} C /dakika hız ile 20 ^{0} C'tan 950 ^{0} C'a ısıtılmıştır.

Aktif karbonların yüzey alanı ölçümleri sıvı nitrojen sıcaklığında (-196 °C) N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri kullanılarak yüzey ölçümü cihazı (Micromeritics TriStar II 3020) ile yapılmıştır. Yüzey ölçümleri yapmadan önce aktif karbon yüzeyinde

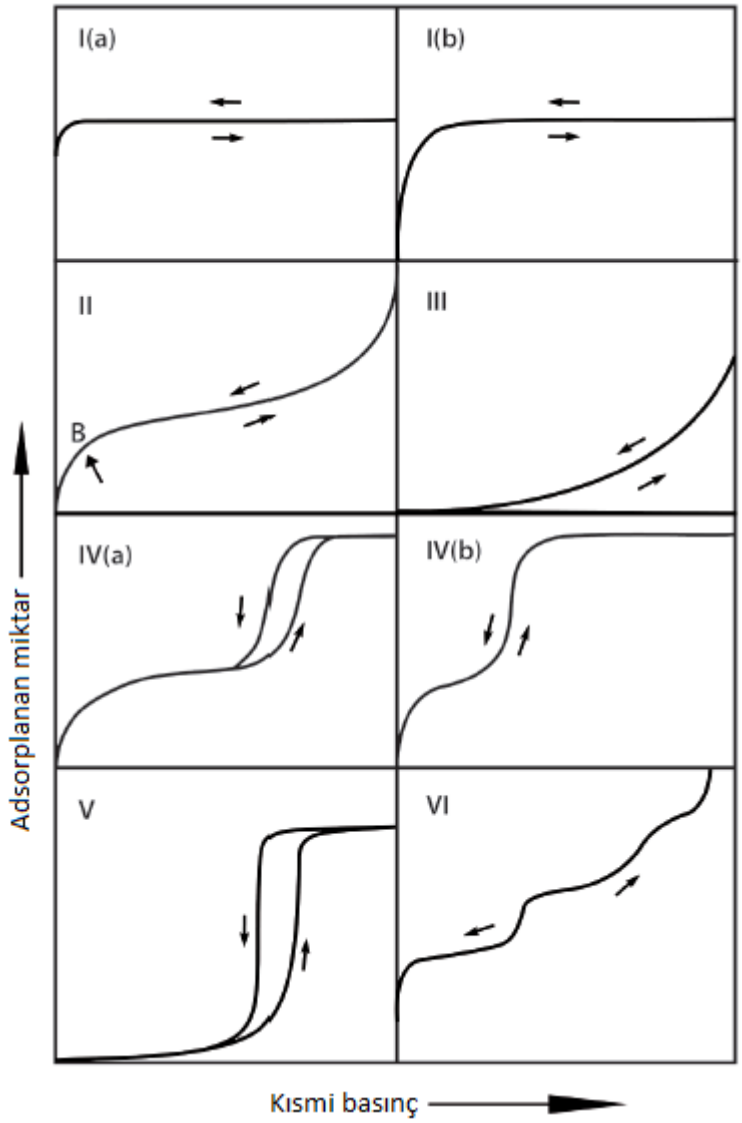
adsorplanan uçucu safsızlıkları uzaklaştırmak için sırasıyla 1 saat 105 °C'ta ve 2 saat 350 °C'ta nitrojen atmosferinde degaz işlemi yapılmıştır. Yüzey alanı ve özelliklerinin değiştirilmemesi için, 300 °C karbonizasyon sıcaklığında üretilen aktif karbonun degaz işleminde sıcaklık 350 °C yerine 200 °C kullanılmıştır. Aktif karbonların yüzey alanlarını hesaplamak için Brauner-Emmett-Teller (BET) modeli (Lowell & Shields, 1991) izoterm verilerine relative basınç oranı $p/p_0 < 0.21$'de uygulandı.

Toplam gözenek hacimleri yaklaşık 0,98'lik bir kismi basınçta elde edildi ve mikropor yüzey alanları ve mikropor hacimleri, t-plot yöntemi (Lowell & Shields, 1991) kullanılarak tespit edilmiştir. Mezopor alanları ve mezopor hacimleri, toplam değerlerden mikropor değerlerinin çıkarılmasıyla hesaplandı. Ortalama gözenek çapı (Dp), BET ile 4V/A kullanılarak hesaplandı ve gözenek boyutu dağılımlarını bulmak için diferensiyal fonksiyone teori yöntemi uygulanmıştır (Leofanti, Padovan, Tozzola & Venturelli, 1998).

Aktif karbonların elemental içerikleri (karbon, hidrojen, azot ve kükürt) elemental analiz cihazı (Leco True-Spec Micro) kullanılarak tespit edilmiştir. Oksijen içerikleri diğer elemental içerik yüzdelerinden hesaplandı. Aktif karbon üzerindeki yüzey foksiyonel gruplarının tespiti için, FTIR spektroskopisi (Perkin Elmer, FT-IR/FIR Spectrometer Frontier) kullanıldı. Ayrıca, aktif karbonların yüzey morfolojileri üzerindeki değişimi gözlemlemek için, taramalı elektron mikroskopu (ZEISS, EVO-LS10) kullanılarak aktif karbonlar analiz edilmiştir.

4.3.1. Fiziksel adsorpsiyon izotermlerinin sınıflandırılması

1985 yılında verilen IUPAC tavsiyesinde, fiziksel adsorpsiyon izotermleri altı tipe ayrılmıştı (Sing vd., 1985). Fakat son 30 yılda, çeşitli yeni karakteristik izoterm çeşitleri tanımlanmış ve belirli gözenek yapılarıyla yakından ilişkili olduğu gösterildiğinden dolayı, IUPAC fiziksel adsorpsiyon izotermlerini güncellemiştir (Thommes vd., 2015). Önerilen güncellenmiş fiziksel adsorpsiyon izotermlerinin sınıflandırması Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Fiziksel adsorpsiyon izotermlerinin sınıflandırılması (Thommes vd., 2015)

Reversible Tip I izotermleri nispeten küçük dış yüzeylere sahip mikrogözenekli katılar (bazı aktif karbonlar, moleküler elek zeolitleri ve belirli gözenekli oksitler gibi) tarafından verilir. Bir tip I izotermi p/p^0 eksenine iç bükeydir ve adsorbe edilen miktar sınırlayıcı bir değere yaklaşır. Bu sınırlayıcı adsorpsiyon, iç yüzey alanından ziyade erişilebilir mikro gözenek hacmi tarafından yönetilir. Çok düşük p/p^0 değerindeki dik adsorpsiyon, dar mikrogözenekler içindeki artmış adsorban-adsorplayıcı etkileşimlerinden dolayıdır ve çok düşük p/p^0 değerinde mikro gözenek dolumuna neden olur.

Sırasıyla 77 K ve 87 K'deki azot ve argon adsorpsiyonu için, Tip I(a) izotermleri, genel olarak dar mikro gözeneklere (yaklaşık 1 nm'den küçük genişliktekiler) sahip mikro gözenekli malzemeler tarafından verilir. Tip I(b) izotermleri, daha geniş mikro gözenekler ve muhtemelen dar mezo gözenekleri (yaklaşık 2,5 nm'den küçük genişlikteler) içeren daha geniş bir aralıkta gözenek boyutu dağılımına sahip olan malzemeler tarafından verilir.

Reversible Tip II izotermleri, gözeneksiz veya makro gözenekli adsorbanlar üzerine çoğu gazın fiziksel adsorpsiyonu ile verilir. Şekli sınırsız tek tabaka-çok tabaka adsorpsiyonunun (yüksek p/p^0'a kadar) sonucudur. Dirsek keskin ise, B noktası (neredeyse doğrusal orta bölümün başlangıcı) genellikle tek tabakalı kaplamanın tamamlanmasına karşılık gelir. Daha kademeli bir eğrilik (diğer bir deyişle, daha az belirgin B noktası), tek katmanlı kaplamanın örtüşmesinin önemli miktarda ve çok katmanlı adsorpsiyonun başlangıcının bir göstergesidir. Adsorbe edilen çok katlı tabakanın kalınlığı genellikle $p/p^0 = 1$ olduğu zaman sınırsızca arttığı görülür.

Tip III izoterminde B noktası yoktur ve bundan dolayı tanımlanabilir tek katmanlı bir oluşum yoktur. Adsorban-adsorbat etkileşimleri artık nispeten zayıf olup, adsorbe edilmiş moleküller, gözeneksiz veya makro-gözenekli bir katı yüzeyindeki en elverişli alanların çevresinde kümelenmektedir. Tip II izoterminin aksine, adsorbe edilen miktar doyum basıncında (yani $p/p^0 = 1$'de) sınırlı kalır.

Tip IV izotermleri, mezo gözenekli adsorbentler (örneğin; mezo gözenekli moleküler elekler, endüstriyel adsorbentler ve birçok oksit jeller) tarafından verilir. Mezoporlardaki adsorpsiyon davranışı, adsorbent-adsorplayıcı etkileşimleri ve ayrıca yoğunlaştırılmış haldeki moleküller arasındaki etkileşimler tarafından belirlenir. Bu durumda, mezo-gözenekli duvarlar üzerindeki başlangıçtaki tek tabakalı-çok tabakalı adsorpsiyon (bir Tip II izoterminin ilgili kısmı ile aynı yolu alan), gözenek yoğuşması ile takip edilir. Gözenek yoğuşması, bir gazın, hacimsel sıvının p^0 doyma basıncından daha düşük bir p basınçta, bir gözenek içindeki sıvı benzeri bir faza yoğunlaşması fenomenidir (Thommes vd., 2015). Tip IV izotermlerin tipik özelliği, değişken uzunluktaki son doyma platosudur.

Bir Tip IV izoterminde, kılcal yoğunlaşmaya histerisis eşlik eder. Histerisis, gözenek genişliği adsorpsiyon sistemi ve sıcaklığa bağlı olan belirli bir kritik genişliği aştığında

ortaya çıkar. Örneğin, sırasıyla 77 K ve 87 K'de silindirik gözeneklerindeki azot ve argon adsorpsiyonu için, histeresis 4 nm'den daha geniş gözenekler için oluşmaya başlar (Thommes vd., 2015). Daha küçük genişlikte mezo gözenekli adsorbanlar ile tamamen tersinir Tip IVb izotermleri gözlemlenir. Tip IVb izotermleri konik ve silindirik mezo gözenekleri tarafından da verilir ve bu gözenekler konik ucunda kapatılır.

Düşük p/p^0 aralığında, Tip V izoterminin şekli Tip III izoterminin şekline çok benzerdir ve bu nispeten zayıf adsorban-adsorbat etkileşimlerine dayandırılabilir. Daha yüksek p/p^0 değerlerinde, moleküler kümelenme gözenek doldurma ile takip edilir. Örneğin, Tip V izotermleri, hidrofobik mikro gözenekli ve mezo gözenekli adsorbanlar üzerindeki su adsorpsiyonu için gözlemlenir.

Tersinir basamaklı Tip VI izotermi, oldukça üniform gözeneksiz bir yüzey üzerindeki tabaka-tabaka adsorpsiyonu temsil eder. Basamağın keskinliği sisteme ve sıcaklığa bağlı iken, basamak yüksekliği her bir adsorbe edilen katmanın kapasitesini gösterir. Tip VI izotermlerinin en iyi örnekleri, grafit karbon karaları üzerinde düşük sıcaklıkta argon veya kripton ile elde edilen izotermlerdir.

4.3.2. Adsorpsiyon histerisisleri

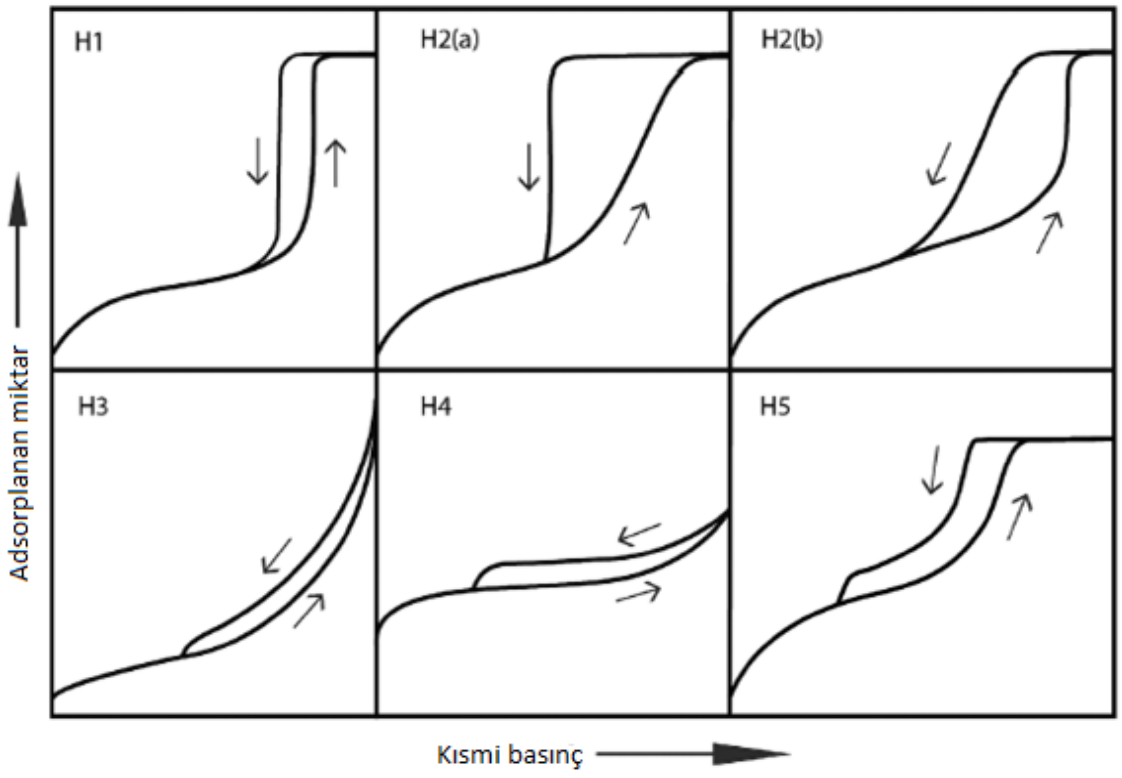
Fiziksel adsorpsiyon izotermlerinin çok katmanlı aralığında bulunan tekrarlanabilir, kalıcı histeresis döngüleri genellikle kılcal yoğunlaşma ile ilişkilidir. Histerisisin bu oluşumu, adsorpsiyon metastabilitesi ve/veya ağ etkilerine dayandırılır. Açık uçlu bir gözenekte (örn., silindir geometrisi), gecikmeli yoğunlaşma, adsorbe edilmiş çok tabakanın metastabilitesinin bir sonucudur.

Daha karmaşık gözenek yapılarında, desorpsiyon yolu sıklıkla ağ etkilerine ve çeşitli gözenek bloke edilme biçimlerine bağlıdır. Bu olaylar, geniş gözeneklerin dış yüzeye yalnız dar boyunlardan (örn., mürekkep şişesi gözenek şekli) erişime sahip olması durumunda ortaya çıkar. Önceden doldurulan geniş gözenekler, daha düşük buhar basıncında dar boyunlar boşalana kadar desorpsiyon esnasında dolu kalır. Bir gözenek ağında, desorpsiyon buhar basınçları boyun büyüklüğüne ve bölgesel dağılımına bağlıdır. Boyun çapları çok küçük değilse, karakteristik bir sızdırma (perkolasyon)

eşiğine karşılık gelen göreceli bir basınç ile ağ boşaltılabilir. Ayrıca, boyun boyutu ile ilgili faydalı bilgiler izotermin desorpsiyonundan elde edilebilir.

Teorik ve deneysel çalışmalar gösterdi ki, boyun çapı kritik bir boyuttan (77 K azot için yaklaşık 5-6 nm) daha küçükse, daha geniş gözeneklerden desorpsiyon mekanizması kavitasyon içerir; örneğin, kendiliğinden gelişen çekirdeklenme ve metastabil yoğunlaşmış sıvıdaki gaz kabarcıklarının büyümesi gibi (Thommes vd., 2015). Kavitasyon kontrollü buharlaşma, örneğin belirli mikro-mezo gözenekli silikalar, mezo-gözenekli zeolitler, killer ve ayrıca bazı aktif karbonlar ile bulunmuştur. Gözenek bloklaması/sızdırma (perkolizasyon) kontrollü buharlaştırma durumunun aksine, kavitasyon durumunda boyun boyutu ve boyun büyüklüğü dağılımı hakkında niceliksel bilgi elde edilemez.

Histeresis döngülerinin ana tipleri Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Tip H1, H2(a), H3 ve H4 türleri 1985 yılında orijinal IUPAC sınıflamasında tanımlanmış olup, daha yeni bulgular ışığında genişletilmiştir (Thommes vd., 2015). Bu altı karakteristik tipin her biri, gözenek yapısının ve adsorpsiyon mekanizmasının belirli özellikleri ile oldukça yakından ilişkilidir.



Şekil 4.3. Histerisis döngülerin sınıflandırılması (Thommes vd., 2015)

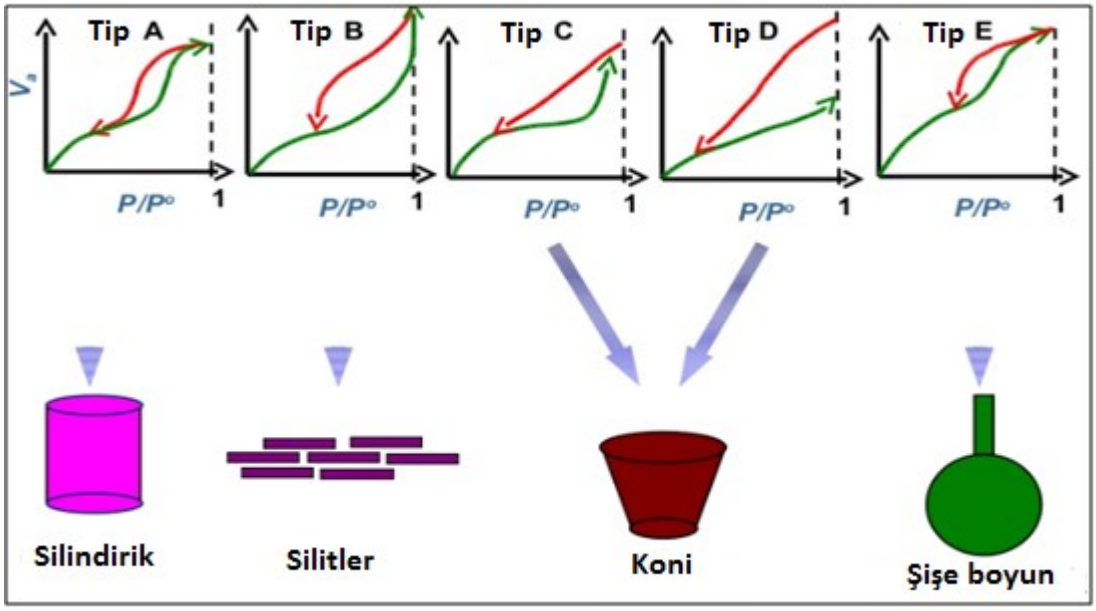
Tip H1 döngüsü aynı tip mezogözeneklerin dararalığını sergileyen materyallerde bulunur; örneğin şablonlu silikalar (örneğin, MCM-41, MCM-48, SBA-15), bazı kontrollü gözenek camlar ve düzenli mezo gözenekli karbonlar. Çoğunlukla, ağ etkileri çok az ve diktir, dar döngü adsorpsiyonda gecikmeli yoğunlaşmanın net bir işaretidir. Bununla beraber, Tip H1 histeresisi, boyun büyüklüğü dağılımının genişliğinin gözenek/boşluk boyut dağılımının genişliğine benzer olduğu mürekkep şişesi ağlarında bulunmuştur; örneğin 3DOm karbonları (Thommes & Cychosz, 2014).

Tip H2 histerisis döngüleri, ağ etkilerinin önemli olduğu daha karmaşık gözenek yapılar tarafından verilir. H2(a) döngülerinin karakteristik bir özelliği olan çok dik desorpsiyon yolu, ya gözenek boyunlarının dar bir aralıktaki gözenek bloklaması/perkolasyonuna ya da kavitasyona bağlı buharlaşmaya dayandırılabilir. H2(a) döngüleri çoğu silikajel jeller, bazı gözenekli camlar (örneğin Vycor) ve bazı düzenli mezo gözenekli malzemeler (örneğin, SBA-16 ve KIT-5 silikaları) tarafından verilir (Thommes vd., 2015). Tip H2(b) döngüsü de gözenek bloklaması ile ilişkilidir, fakat boyun genişliklerinin boyut dağılımı çok daha büyüktür. Tip H2(b) döngüleri hidrotermal işlemden sonra mezoselüler silika köpükleri ve bazı mezogözenekli silikalar ile gözlemlenmiştir (Thommes vd., 2015).

Tip H3 döngüsünün iki belirgin özelliği vardır; adsorpsiyon yolu tip II izotermine benzer ve desorpsiyon yolunun alt sınırı normalde kavitasyona bağlı p/p^{0}'da bulunur. Bu türden döngüler, plaka benzeri parçacıkların (örneğin belirli killer) rijit olmayan agregaları tarafından verilir, ancak gözenek ağı, gözenek yoğunlaşmasıyla tamamen doldurulmayan makro gözeneklerden oluşuyorsa da verilir.

H4 döngüsü bir miktar H3 döngüsüne benzerdir, ancak adsorpsiyon yolu Tip I ve II'nin bir bileşimi halidir, düşük P/P_0'da daha belirgin adsorpsiyon mikrogözeneklerin doldurulması ile ilişkilidir. H4 döngüleri çoğunlukla zeolitlerin agregat edilmiş kristalleri, bazı mezo gözenekli zeolitler ve mikro-mezo gözenekli karbonlar ile bulunur (Thommes vd., 2015).

Tip H5 döngüsü olağandışı olmasına karşın, hem açık hem de kısmen bloke edilmiş mezo gözenekleri (örneğin tıkalı altıgen şablonlu silikalar) içeren bazı gözenek yapılarıyla ilişkili ayırt edici bir biçime sahiptir (Thommes vd., 2015). Bunlara ek olarak, gaz adsorpsiyon histerisisleri ve gözenek şekilleri şekil 4.4'te verilmektedir.



Şekil 4.4. Gaz adsorpsiyon histerisisleri ve gözenek şekilleri (Bakar, 2013)

BÖLÜM 5

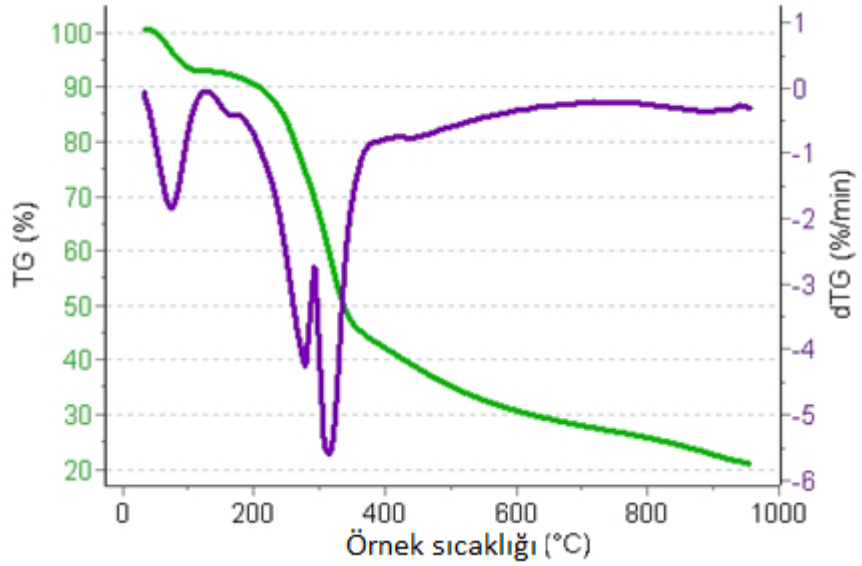
SONUÇLAR ve TARTIŞMA

5.1. Aktif karbon eldesi için uygun yöntemin belirlenmesi

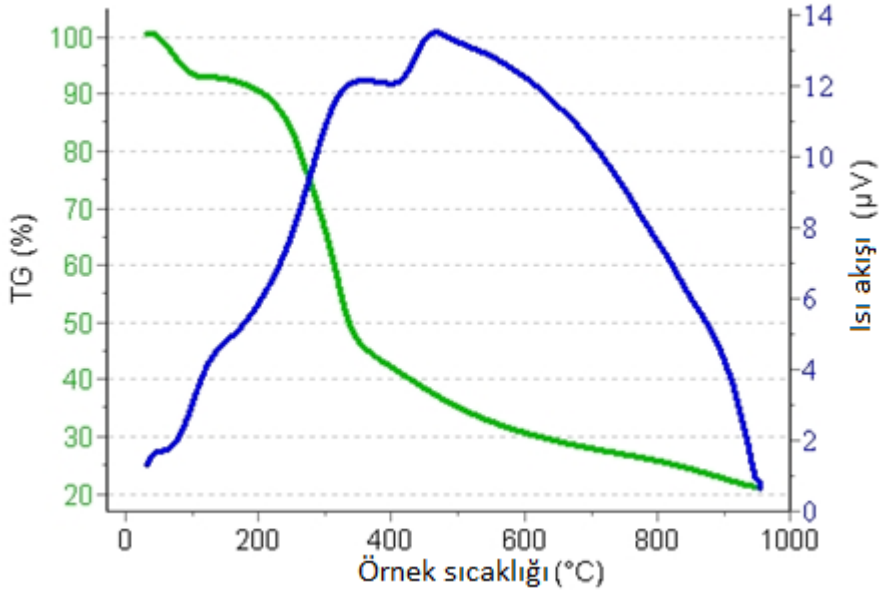
Bölüm 2'de bahsedildiği gibi aktif karbon eldesinde kullanılan birçok yöntem vardır, fakat hangi yöntemin aktif karbon üretiminde daha uygun olacağını (maliyet, zaman veya aktif karbonun yüzey özellikleri açısından) kestirmek zordur. Bu bölümde, aktif karbon başlangıç maddemiz olan kargının termogravimetrik analizi yapıldıktan sonra, kargının $ZnCl_2$ ile kimyasal aktivasyon metodu için üç farklı yöntem uygulanarak aktif karbonlar elde edilecektir. Ayrıca, bu üç ana yöntem içinde bazı değişikliklere gidilerek karbonizasyon öncesi adımların yüzey özelliklerini nasıl etkiledikleri açıklanacaktır.

5.1.1. Termogravimetrik analiz

Karbonizasyon ve aktivasyon esnasında, başlagıç maddesinin termal davranışını değerlendirmek için, başlangıç maddesine termogravimetrik analiz (TG) uygulandı. Şekil 5.1 ve şekil 5.2, 50 mesh ve daha küçük büyüklüğe sahip kargının (aktif karbon başlangıç maddesi) TG analizini (%), diferansiyalini (%/dakika) ve ısı akışını (µV) göstermektedir.



Şekil 5.1. 50 mesh ve daha küçük büyüklüğe sahip kargının TG analizi ve diferansiyali (DTG)



Şekil 5.2. 50 mesh ve daha küçük büyüklüğe sahip kargının TG analizi ve ısı akışı

Şekil 5.1 veya 5.2'deki, ilk kütle kaybı, başlangıç maddesinin dehidratasyonundan dolayı 30 ve 100 °C arasında olduğu görülüyor ki bu bize kargı başlangıç maddesinin kolayca havadaki nemi tuttuğunu (yaklaşık olarak % 8) ve başlangıçta kargının gözeneklerinde bulunan fiziksel olarak tutulan suyun mevcut olabileceğini gösterir

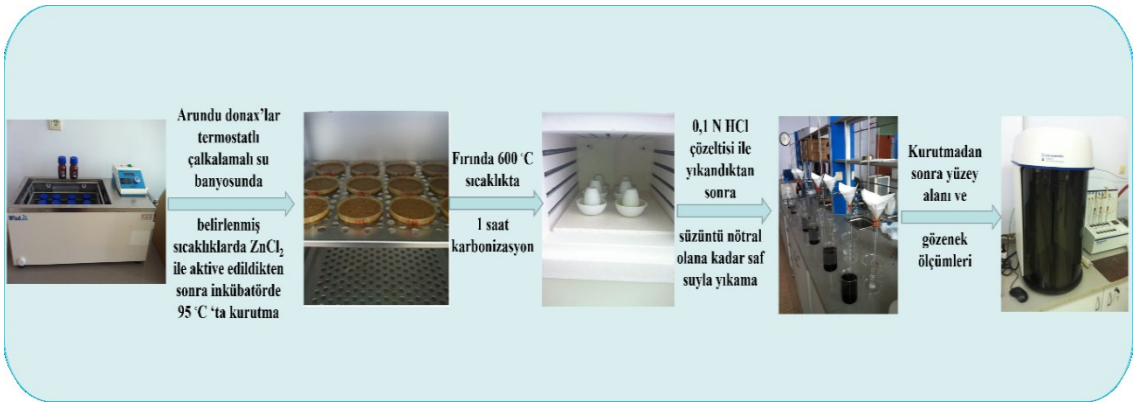
(Sellin, Clacens & Coutanceau, 2010). Kütlede hızlı bir düşüş 200 °C dolaylarında başlıyor ve 350 °C'a kadar yaklaşık % 47 lik bir kütle kaybı oluşuyor ki bu lignin, selüloz, pektin ve hemiselülozun termal bozunmasından kaynaklandığını gösterir (Üner, Geçgel & Bayrak, 2016). Ayrıca, Cagnon Py, Guillot, Stoeckli ve Chambat tarafından yapılan bir çalışmada, TG eğrisinin 220-400 °C aralığında hemiselüloz ve selülozun termal bozunmadan kaynaklandığı belirtilmiştir (2009). Bununla beraber çalışmada, 295 °C dolaylarında hemiselülozun ve 345 °C dolaylarında sellülozun termal bozunmasının, DTG eğrisindeki iki belirgin pikin oluşmasıyla ilişkilendirilmiştir. Şekil 5.1'deki kargının DTG eğriside iki belirgin pike 280 °C ve 315 °C dolaylarında sahip olduğu görülüyor ki bu hemiselülozun ve sellülozun termal bozunması ile ilişkilendirilebilir. Kargının TG eğrisinin eğimi 350 °C'tan sonra belirgin bir şekilde azalmaya başlıyor. Bu 350 °C'tan sonraki son bozunma aşaması genellikle kül oluşturan inorganiklerin bölgesel değişimleriyle beraber meydana gelen lignin bozunması ile ilişkilendirilebilir. Ligninin düşük bozunma hızı, ligninin yüksek miktarda aromatikliğine dayandırılabilir (Xie vd., 2009). Sonraki aşamada, ani kütle düşüşünün olmaması inorganiklerin erimediği veya belirgin bir şekilde bu ısıtma hızında değişmediğini önerir. Bundan dolayı, TG analiz deneyinin sonuna kadar, bozunma oldukça düşük hızlar ile devam eder (Haykiri-Acma, Yaman & Kucukbayrak, 2010).

Kargının termal bozunmasında ısı akış eğrisi şekil 5.2'de verilmektedir. Biyokütlenin termal analizindeki endotermik reaksiyonlar, selüloz ve hemiselülozun bozunmasına ve dehidrasyona dayandırılır (Pappa, Tzamtzis, Statheropoulos & Parissakis, 1995; Wang vd., 2006,). Yüksek sıcaklıklardaki (400-500 °C) ekzotermik reaksiyonlar ligninin parçalanmış ürünlerinin (fenol ve fenolik türevleri gibi) tekrar bir araya gelmesine dayandırılır ve bunlar sonuç olarak char oluşumuna neden olur. Örnek ekzotermik reaksiyonlar Kifani-Sahban vd. tarafından açıklanmıştır (1997).

5.1.2.Yöntem I ile aktif karbon hazırlanması

Kimyasal aktivasyon basamağında 5 g alınan başlangıç maddesi 50 mL saf su içinde ayrı ayrı 0,5/1, 1/1, 1,5/1, 2/1, 2,5/1, 3/1 (a/a) oranlarında $ZnCl_2$/kargı kullanılarak muamele edildiler. Muamele işlemleri, su banyosu (WiseBath) içine yerleştirilen 100 mL'lik ağzı kapalı cam şişeler içinde değişik sıcaklıklarda (25 ve 50 °C) ve çeşitli süreler (10, 24 ve 188 saat) boyunca çalkalayarak (130 rpm) veya çalkalamadan

yapılmıştır. Muamele sonrası elde edilen karışımlar petri kaplarına alınarak 95 °C'ta etüvde kurutuldu. Kurutulan karışımlar petri kaplarından kapalı krozelere alınarak oksijensiz ortamda 600 °C'ta 1 saat fırında karbonizasyon işlemine tabii tutuldular. Karbonizasyon aşamasından sonra elde edilen aktif karbonların üzerindeki serbest klor ve çinko iyonlarını ve diğer safsızlıkları uzaklaştırmak için aktif karbonlar 0,1 N HCl içinde çözüldükten sonra destile suyla yıkandı ve bu yıkama işlemi süzüntü pH'ı nötral olana kadar devam edildi. Ardından, yıkanan aktif karbonlar 70 °C'ta etüvde kurutuldu ve yüzey alanları, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri ve gözenek hacimleri dağılımları tespit edildi. Şekil 5.3, yöntem I için, aktif karbon üretim işlemlerini özetlemektedir.



Şekil 5.3. Yöntem I ile değişik sıcaklıklarda (25 ve 50 °C) ve çeşitli süreler (10, 24 ve 188 saat) boyunca çalkalayarak (130 rpm) veya çalkalamadan aktivasyon ile aktif karbon üretim işlemi

5.1.2.1. 10 saat 25 °C'ta çalkalama ile aktivasyondan sonra saf su ile yıkamadan ve yıkayarak aktif karbon eldesi

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 kargının 10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamadan ve saf suyla yıkandıktan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapılarak elde edilen aktif karbonların yüzey özelliklerinin ve verimleri vermektedir. Tablo 5.1'de ortalama gözenek genişliği (1,965 – 4,777 nm), aktivasyonda $ZnCl_2$ miktarı arttığında artmakta iken, Tablo 5.2'de ortalama gözenek genişliğinde önemli miktarda bir değişim gözlenmemektedir. Bunun nedeni, karbonizasyon aşaması öncesi saf suyla yıkama işleminin $ZnCl_2$'yi kargıdan uzaklaştırdığı ve karbonizasyon aşamasında $ZnCl_2$'nin etkisinin azalması şeklinde

yorumlanabilir. Diğer taraftan, kargının 10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamadan işleme devam edildiğinde yüzey alanı 1474,56 m^2/g'a kadar çıkarken, kargının 10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkayarak işleme devam edildiğinde ise en fazla 403,82 m^2/g'a kadar çıkabilmektedir. Aktif karbon verimlerine bakıldığında ise, kargının 10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamayarak işleme devam edildiğinde elde edilen aktif karbonlar, kargının 10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkayarak işleme devam edildiğinde elde edilen aktif karbonlardan yaklaşık iki katı olduğu elde edilmiştir.

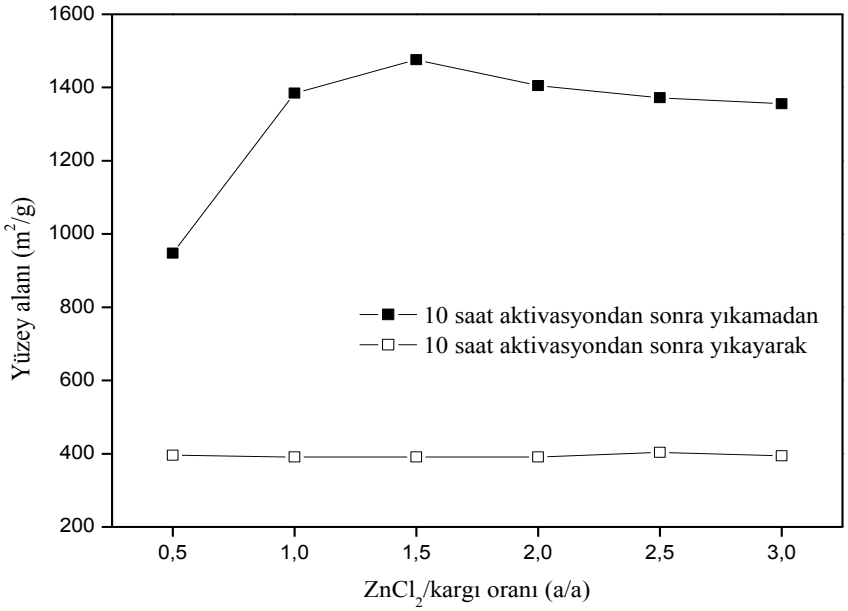
Tablo 5.1. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamadan) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri

$ZnCl_2$/kargı oranı	**Verim (%)**	**BET Yüzey alanı (m^2/g)**	**t-Plot mikropor alanı (m^2/g)**	**124 nm den daha az (P/P_0=0,984) toplam gözenek hacmi (cm^3/g)**	**t-Plot mikropor hacmi (cm^3/g)**	**Ortalama gözenek genişliği 4V/A by BET (nm)**
0,5/1	34,76	947,52	627,65	0,4449	0,2880	1,965
1/1	35,82	1384,75	397,29	0,7256	0,1680	2,165
1,5/1	36,03	1475,61	91,29	0,9461	0,0258	2,644
2/1	35,21	1405,42	28,85	1,1899	0,0138	3,316
2,5/1	35,78	1371,82	17,65	1,4853	0,0077	4,099
3/1	34,68	1355,42	9,31	1,6952	0,0037	4,777

Tablo 5.2. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkayarak) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri

$ZnCl_2$/kargı oranı	**Verim (%)**	**BET Yüzey alanı (m^2/g)**	**t-Plot mikropor alanı (m^2/g)**	**124 nm den daha az (P/P_0=0,984) toplam gözenek hacmi (cm^3/g)**	**t-Plot mikropor hacmi (cm^3/g)**	**Ortalama gözenek genişliği 4V/A by BET (nm)**
0,5/1	18,42	395,64	350,65	0,1881	0,1624	1,902
1/1	17,58	391,03	346,05	0,1862	0,1604	1,905
1,5/1	17,78	391,11	346,54	0,1868	0,1604	1,910
2/1	18,36	391,23	343,17	0,1887	0,1587	1,929
2,5/1	17,80	403,82	347,55	0,1947	0,1605	1,928
3/1	18,90	394,34	337,13	0,1906	0,1555	1,933

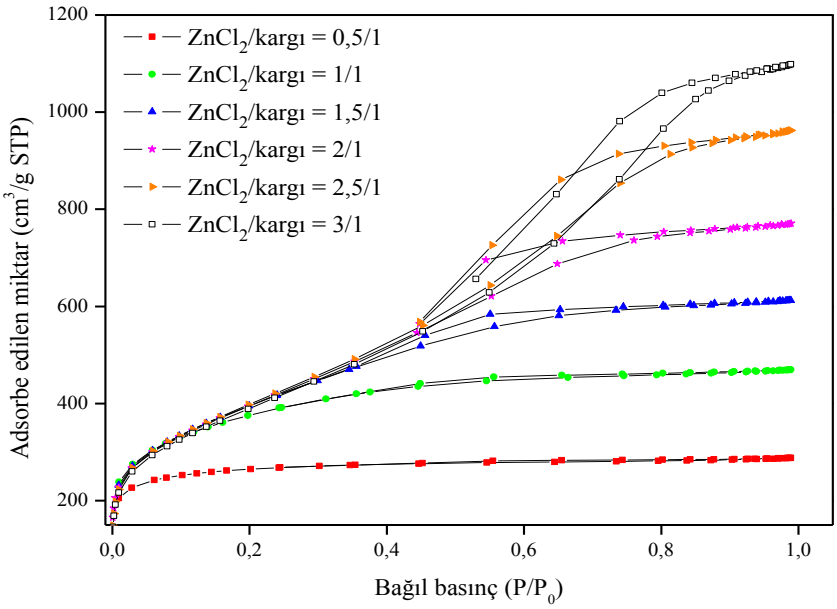
Şekil 5.4 kargının $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan ve yıkayarak etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanlarını vermektedir. Grafikten, kargının aktivasyondan sonra yıkamayarak işleme devam edildiğinde elde edilen aktif karbonların, kargının aktivasyondan sonra saf su ile yıkanarak işleme devam edildiğinde elde edilen aktif karbonlardan çok daha fazla BET yüzey alanına sahip olduğu görülmektedir. Buradan, $ZnCl_2$'nin karbonizasyon aşamasında serbest halde bulunması ve başlangıç maddesiyle etkileşim halinde olmasının yüzey alanına ne kadar etkili olduğunu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.4. Kargının $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan ve yıkayarak etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanları

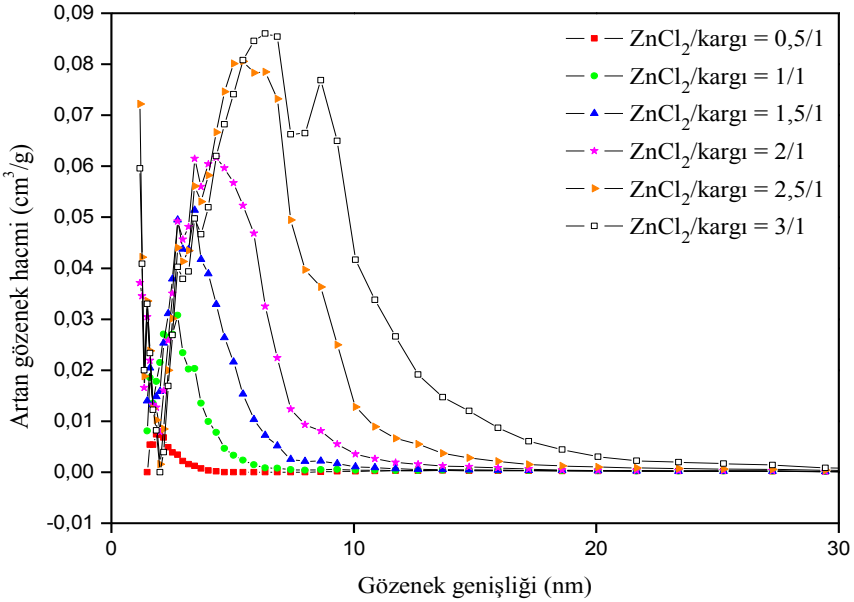
Şekil 5.5'de kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermlerini verilmektedir. Kimyasal aktivasyonda, $ZnCl_2$/kargı oranı 0,5 olduğunda, grafikte görüldüğü gibi, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon

izotermi Reversible Tip I (a) izotermlerine daha çok benzemekte olup, nispeten daha geniş mikrogözenekler ve muhtemelen dar mezo gözenekleri (yaklaşık 2,5 nm'den küçük genişlikteler) olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça gözenek boyutu artmakta ve gitgide Tip IV izotermlerine benzemektedir; yani mezo gözeneklilik artmaktadır. Histerisis yapılarına bakıldığında, H4 tip döngüye sahip olduğu ve genellikle mikro-mezo gözenekli karbonlarda bu histerisis türünün görüldüğünü biliyoruz. Bununla beraber, histerisis şeklinden yapının gözenek şeklinin genel olarak silindirik olduğu açıktır.



Şekil 5.5. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

Şekil 5.6, kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimlerini (Gözenek dağılımı) verir. Grafikten açıkça görüldüğü gibi, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça, gözenek genişliğinin arttığı; yani mikro gözenek yapısından mezo gözenek yapısına bir kayış olduğu açıkça anlaşılmaktadır.



Şekil 5.6. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)

5.1.2.2. 24 saat 25 °C'ta çalkalama ile aktivasyondan sonra saf su ile yıkamadan ve yıkayarak aktif karbon eldesi

Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 kargının 24 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamadan ve saf suyla yıkandıktan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapılarak elde edilen aktif karbonların yüzey özelliklerinin ve verimleri vermektedir. Bölüm 4.2.1'dekine benzer şekilde, Tablo 5.3'te ortalama gözenek genişliği (2,008 – 4,775 nm), aktivasyonda $ZnCl_2$ miktarı arttığında artmakta iken, Tablo 5.4'de ortalama gözenek genişliğinde önemli miktarda bir değişim gözlenmemektedir. Bununla beraber, kargının 24 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamadan işleme devam edildiğinde yüzey alanı 1466,34 m^2/g'a kadar çıkarken, kargının 24 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkayarak işleme devam edildiğinde ise en fazla 423,40 m^2/g'a kadar çıkabilmektedir. Ayrıca bir önceki bölümdeki gibi, kargının 24 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamayarak işleme devam edildiğinde elde edilen aktif

karbonların veriminin, kargının 24 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkayarak işleme devam edildiğinde elde edilen aktif karbonlardan yaklaşık iki katı olduğu elde edilmiştir.

Tablo 5.3. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (24 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamadan) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri

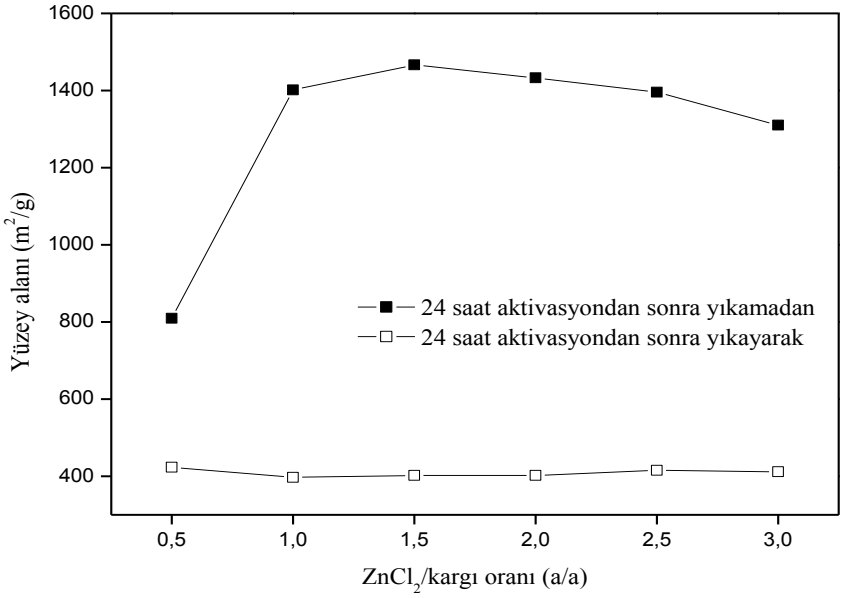
$ZnCl_2$/kargı oranı	**Verim (%)**	**BET Yüzey alanı (m^2/g)**	**t-Plot mikropor alanı (m^2/g)**	**124 nm den daha az (P/P_0=0,984) toplam gözenek hacmi (cm^3/g)**	**t-Plot mikropor hacmi (cm^3/g)**	**Ortalama gözenek genişliği 4V/A by BET (nm)**
0,5/1	36,57	809,39	614,11	0,4062	0,2833	2,008
1/1	36,46	1401,23	424,89	0,7570	0,1804	2,161
1,5/1	35,93	1466,34	88,48	0,9925	0,0246	2,707
2/1	36,29	1432,58	21,16	1,2123	0,0096	3,385
2,5/1	36,14	1395,65	22,37	1,5368	0,0080	4,194
3/1	33,12	1310,09	44,36	1,4793	0,0092	4,775

Tablo 5.4. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (24 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkayarak) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri

$ZnCl_2$/kargı oranı	**Verim (%)**	**BET Yüzey alanı (m^2/g)**	**t-Plot mikropor alanı (m^2/g)**	**124 nm den daha az (P/P_0=0,984) toplam gözenek hacmi (cm^3/g)**	**t-Plot mikropor hacmi (cm^3/g)**	**Ortalama gözenek genişliği 4V/A by BET (nm)**
0,5/1	16,73	423,40	368,76	0,2033	0,1706	1,921
1/1	16,86	396,82	347,23	0,1920	0,1607	1,936
1,5/1	17,55	402,16	352,99	0,1936	0,1633	1,926
2/1	16,50	401,88	351,55	0,1933	0,1628	1,924
2,5/1	17,16	415,34	349,50	0,2048	0,1615	1,973
3/1	16,90	411,33	355,15	0,1978	0,1641	1,924

Şekil 5.7 kargının $ZnCl_2$ ile 24 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan ve yıkayarak etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanlarını vermektedir. Kargının aktivasyondan sonra yıkamayarak işleme devam edildiğinde elde edilen aktif karbonların, kargının aktivasyondan sonra saf su ile yıkanarak işleme devam edildiğinde elde edilen aktif karbonlardan çok daha fazla BET yüzey alanına sahip olduğu görülmektedir. $ZnCl_2$'nin

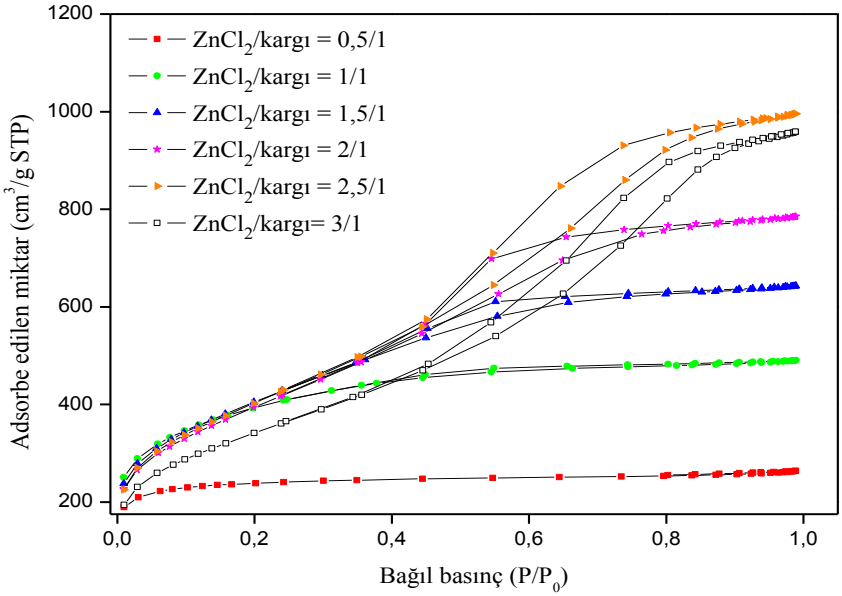
karbonizasyon aşamasında serbest halde bulunması ve başlangıç maddesiyle etkileşim halinde olması, bir önceki bölümdeki verilerdeki gibi, yüzey alanına ne kadar etkili olduğunu tekrar vermektedir.



Şekil 5.7. Kargının $ZnCl_2$ ile 24 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan ve yıkayarak etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanları

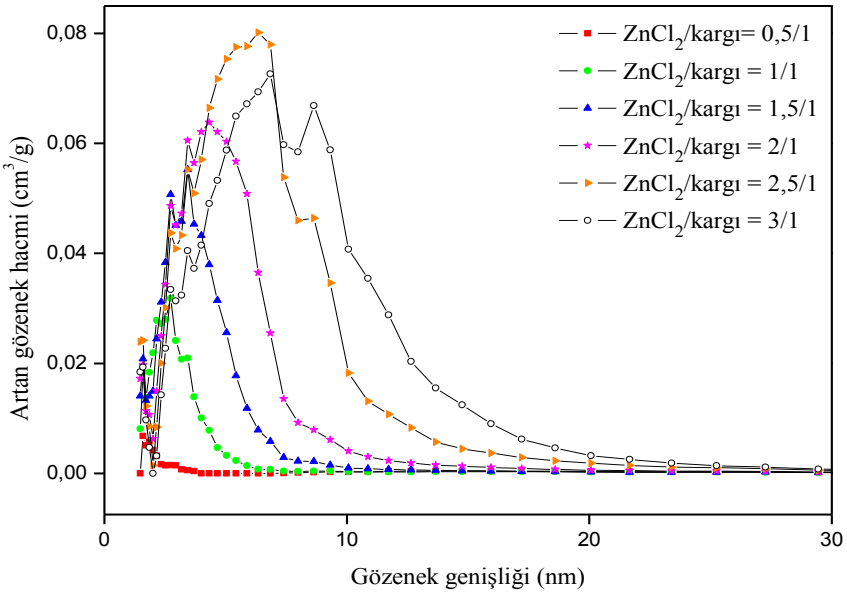
Şekil 5.8'de kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 24 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermlerini verilmektedir. Şekil 5.5'deki gibi şekil 5.8'de benzer sonuçlar vermektedir. Kimyasal aktivasyonda, $ZnCl_2$/kargı oranı 0,5 olduğunda, grafikte görüldüğü gibi, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi Reversible Tip I izotermlerine daha çok benzemekte olup, daha geniş mikrogözenekler ve muhtemelen dar mezo gözenekleri (yaklaşık 2,5 nm'den küçük genişlikteler) olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça gözenek boyutu artmakta ve gitgide Tip IV izotermlerine benzemektedir; yani mezo gözeneklilik artmaktadır. Histerisis yapılarına bakıldığında, H4 tip döngüye sahip olduğu ve genellikle mikro-mezo gözenekli karbonlarda bu histerisis türünün görüldüğünü biliyoruz. Ayrıca,

histerisis şeklinden yapının gözenek şeklinin genel olarak silindirik olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.8. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 24 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

Şekil 5.9'da, kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı) verilmektedir. Grafikten açıkça görüldüğü gibi, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça, gözenek genişliğinin arttığı; yani mikro gözenek yapısından mezo gözenek yapısına bir kayış olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, 24 saat 25 °C'ta çalkalama ile aktivasyondan sonra saf su ile yıkamadan ve yıkayarak aktif karbon eldesini, 10 saat 25 °C'ta çalkalama ile aktivasyondan sonra saf su ile yıkamadan ve yıkayarak aktif karbon eldesi ile karşılaştırdığımızda, çalkalama süresinin yüzey özelliklerine ve verimine pek fazla etki etmediğini çıkartırız. Ayrıca, karbonizasyon öncesi karışımın saf su ile yıkanmasının elde edilecek aktif karbonun yüzey alanını düşürdüğünden, yıkama aşamasının gereksiz olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.9. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 24 saat 25 °C'ta 130 rpm hızla çalkalanarak aktivasyonundan sonra saf suyla yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)

5.1.2.3. 188 saat 25 ve 50 °C'larda çalkalamasız işlem ile aktivasyondan sonra saf su ile yıkamadan aktif karbon eldesi

Önceki deneyde, karbonizasyon öncesi karışımın saf su ile yıkanmasının elde edilecek aktif karbonun yüzey alanını düşürdüğünden dolayı, bu yöntemde saf su ile yıkama işlemi yapılmamıştır. Karbonizasyon aşamasından önce, daha fazla süre $ZnCl_2$-kargı etkileşimi yapıldığında ve farklı aktivasyon sıcaklığı kullanıldığında aktif karbonun nasıl etkilendiğini görmek için, kargının 188 saat 25 ve 50 °C'larda çalkalamasız aktivasyondan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapılarak aktif karbonlar elde edilmiştir. Sırasıyla, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 kargının 188 saat 25 ve 50 °C'larda çalkalamasız aktivasyondan sonra her hangi bir yıkama işlemi yapmadan etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapılarak elde edilen aktif karbonların yüzey özelliklerini ve verimlerini vermektedir. Aktivasyonda $ZnCl_2$ miktarı arttığında, Tablo 5.5'de ortalama gözenek genişliği 1,982'den 5,193 nm'ye ve Tablo 5.6'de ise ortalama gözenek genişliği 1,961'den 5,128'e artmaktadır.

Ayrıca, elde edilen aktif karbonun verimleri % 36,96 ile % 40,24 arasında değerler almaktadır. Bu verim değerleri şimdiye kadar yapılan karbonizasyondan önce yıkamasız işlem yapılarak elde edilen aktif karbonların verim değerlerine yakındır. Bununla beraber, kargının 188 saat 25 °C'ta çalkalamadan aktivasyondan sonra yıkama işlemi yapılmadan en yüksek yüzey alanı 1415,07 m^2/g elde edilirken, kargının 188 saat 50 °C'ta çalkalamadan aktivasyondan sonra yıkama işlemi yapılmadan en yüksek yüzey alanı 1409,14 m^2/g elde edilmiştir. Buradan çıkarılan sonuç, karbonizasyon öncesi yapılan aktivasyon sıcaklığının aktif karbonun yüzey alanına çok fazla etkimediğidir. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen yüzey alanı değerleri (aktivasyonda çalkalama yapılmadı) aktivasyonda çalkalama yapıldığında elde edilen yüzey alan değerlerine çok yakındır.

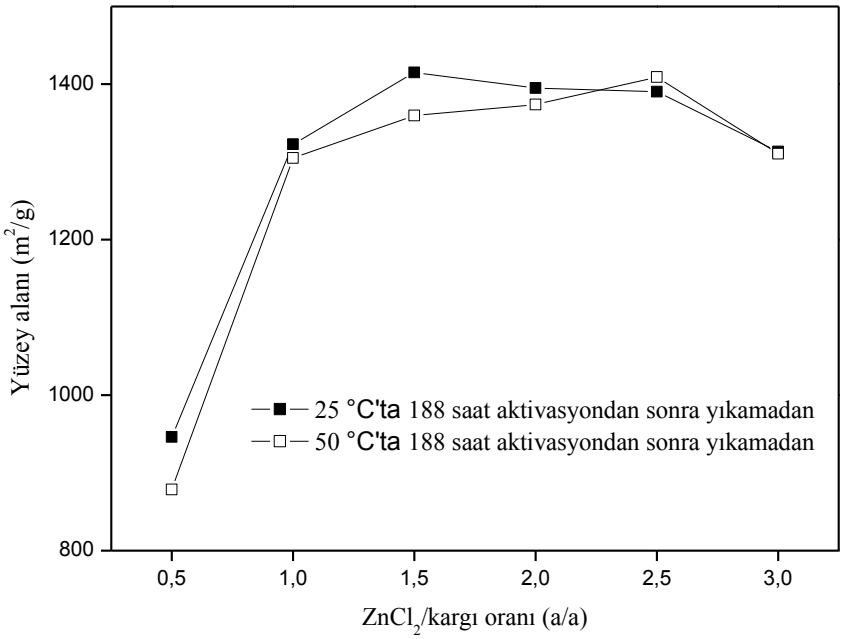
Tablo 5.5. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (188 saat 25 °C'ta çalkalamasız aktivasyondan sonra yıkamadan) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri

$ZnCl_2$/kargı oranı	**Verim (%)**	**BET Yüzey alanı (m^2/g)**	**t-Plot mikropor alanı (m^2/g)**	**124 nm den daha az (P/P_0=0,984) toplam gözenek hacmi (cm^3/g)**	**t-Plot mikropor hacmi (cm^3/g)**	**Ortalama gözenek genişliği 4V/A by BET (nm)**
0,5/1	37,81	946,35	672,25	0,4689	0,3087	1,982
1/1	38,96	1322,81	426,63	0,7398	0,1829	2,237
1,5/1	37,90	1415,07	113,67	0,9860	0,0362	2,787
2/1	36,96	1395,18	55,56	1,2103	0,0099	3,470
2,5/1	38,42	1390,31	23,69	1,5024	0,0090	4,231
3/1	40,24	1313,17	18,36	1,7049	0,0072	5,193

Tablo 5.6. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (188 saat 50°C'ta çalkalamasız aktivasyondan sonra yıkamadan) sonrası etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri

$ZnCl_2$/kargı oranı	**Verim (%)**	**BET Yüzey alanı (m^2/g)**	**t-Plot mikropor alanı (m^2/g)**	**124 nm den daha az (P/P_0=0,984) toplam gözenek hacmi (cm^3/g)**	**t-Plot mikropor hacmi (cm^3/g)**	**Ortalama gözenek genişliği 4V/A by BET (nm)**
0,5/1	38,92	878,72	620,87	0,4309	0,2851	1,961
1/1	36,96	1304,99	407,50	0,7253	0,1739	2,223
1,5/1	37,90	1359,57	76,24	0,9449	0,0195	2,780
2/1	37,71	1373,73	41,16	1,2083	0,0121	3,518
2,5/1	39,85	1409,14	20,74	1,4890	0,0082	4,227
3/1	38,40	1310,45	20,50	1,6799	0,0095	5,128

Şekil 5.10 kargının 188 saat 25 ve 50 °C'larda çalkalamasız aktivasyondan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapılarak elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanlarını vermektedir. Aktivasyon sıcaklığının 25 °C'tan 50 °C'a çıkarılması aktif karbonun yüzey alanında önemli bir değişikliğe neden olmamış olup, az da olsa çoğu kimyasal madde oranlarında düşüşe neden olmuştur.

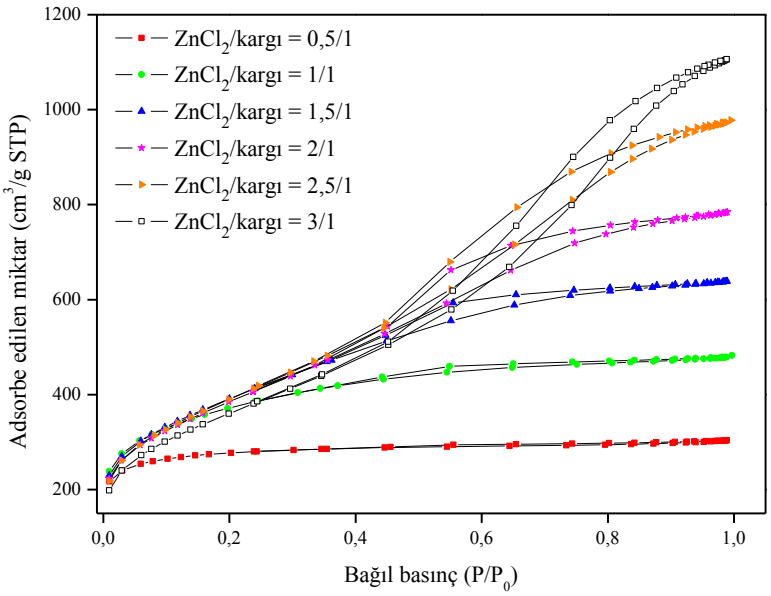


Şekil 5.10. Kargının $ZnCl_2$ ile 188 saat 25 ve 50 °C'larda çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanları

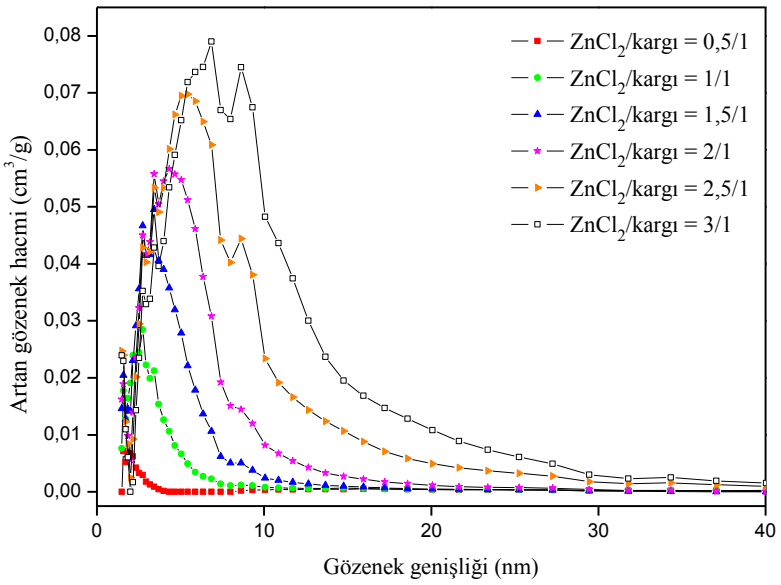
Şekil 5.11 ve şekil 5.13'da kargının 188 saat 25 ve 50 °C'larda çalkalamasız aktivasyondan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapılarak elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermlerini verilmektedir. Önce ki elde edilen N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri gibi, şekil 5.11 ve şekil 5.13'lerde benzer sonuçlar vermektedir. Kimyasal aktivasyonda, $ZnCl_2$/kargı oranı 0,5 olduğunda, grafikte görüldüğü gibi, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi Reversible Tip I izotermlerine daha çok benzemekte olup, nispeten daha geniş mikrogözenekler ve muhtemelen dar mezo gözenekleri (yaklaşık 2,5 nm'den küçük genişlikteler) olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça

gözenek boyutu artmakta ve gitgide Tip IV izotermlerine benzemektedir; yani mezo gözeneklilik artmaktadır. Histerisis yapılarına bakıldığında, H4 tip döngüye sahip olduğu ve genellikle mikro-mezo gözenekli yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bununla beraber, histerisis şeklinden yapının gözenek şeklinin genel olarak silindirik olduğu görülmektedir.

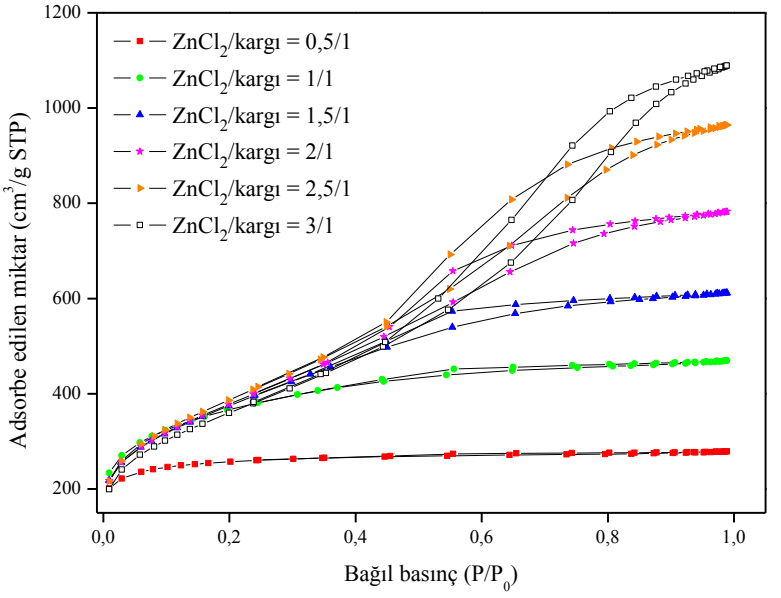
Şekil 5.12 ve şekil 5.14'lerde, kargının 188 saat 25 ve 50 °C'larda çalkalamasız aktivasyondan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapılarak elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı) verilmektedir. Grafiklerden, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça, gözenek genişliğinin arttığı; yani mikro gözenek yapısından mezo gözenek yapısına bir kayış olduğu açıkça anlaşılmaktadır.



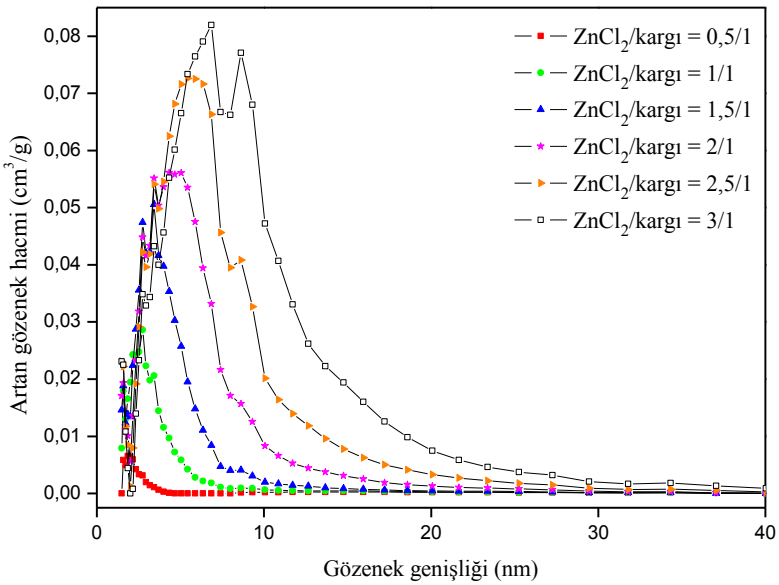
Şekil 5.11. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 188 saat 25 °C'ta çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



Şekil 5.12. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 188 saat 25 °C'ta çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)



Şekil 5.13. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 188 saat 50 °C'ta çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

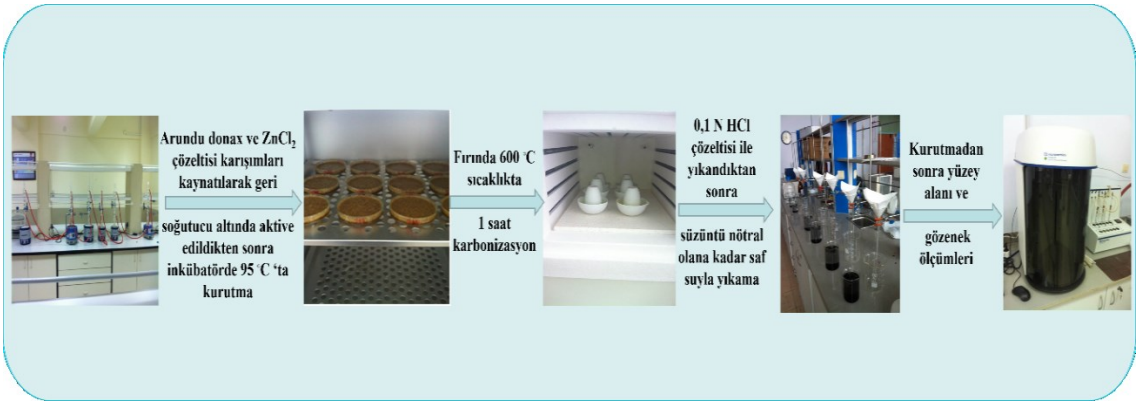


Şekil 5.14. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile 188 saat 50 °C'ta çalkalamasız aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)

5.1.3. Yöntem II ile aktif karbon hazırlanması

5 g alınan başlangıç maddesi 50 mL saf su içinde ayrı ayrı 0,5/1, 1/1, 1,5/1, 2/1, 2,5/1, 3/1 (a/a) oranlarında $ZnCl_2$/kargı kullanılarak muamele edildiler. Muamele işlemleri, geri soğutucu bağlanmış cam balonlar içinde (reflux ile) 5 saat kaynama sıcaklığının hemen altında yapılmıştır. Muamele sonrası elde edilen karışımlar petri kaplarına alınarak 95 °C'ta etüvde kurutuldu. Kurutulan karışımlar petri kaplarından kapalı krozelere alınarak oksijensiz ortamda 600 °C'ta 1 saat fırında karbonizasyon işlemine tabii tutuldular. Karbonizasyon aşamasından sonra elde edilen aktif karbonların üzerindeki serbest klor ve çinko iyonlarını ve diğer safsızlıkları uzaklaştırmak için aktif karbonlar 0,1 N HCl içinde çözüldükten sonra destile suyla yıkandı ve bu yıkama işlemi süzüntü pH'ı nötral olana kadar devam edildi. Ardından, yıkanan aktif karbonlar 70 °C'ta etüvde kurutuldu ve yüzey alanları, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri ve gözenek hacimleri dağılımları tespit edildi. Şekil 5.15, yöntem II için, aktif karbon üretim işlemlerini özetlemektedir.

Önce karbonizasyon ve ardından aktivasyon işlemi yapılarak da aktif karbonlar elde edildi. Bunun için, 5 g başlangıç maddesi hiçbir işleme tabii tutmadan kapalı krozelere alınarak oksijensiz ortamda 600 °C'ta 1 saat fırında karbonizasyon yapıldı. Karbonize edilen maddeler yıkanıp kurutulduktan sonra 2 g alınıp 50 mL saf su içinde ayrı ayrı 0,5/1, 1/1, 1,5/1, 2/1, 2,5/1, 3/1 (a/a) oranlarında $ZnCl_2$/karbonize edilmiş kargı kullanılarak muamele edildiler. Muamele işlemleri, geri soğutucu bağlanmış cam balonlar içinde (reflux ile) 5 saat kaynama sıcaklığının hemen altında yapılmıştır. Muamele sonrası elde edilen karışımlar petri kaplarına alınarak 95 °C'ta etüvde kurutuldu. Ardından, elde edilen aktif karbonların üzerindeki serbest klor ve çinko iyonlarını ve diğer safsızlıkları uzaklaştırmak için aktif karbonlar 0,1 N HCl içinde çözüldükten sonra destile suyla yıkandı ve bu yıkama işlemi süzüntü pH'ı nötral olana kadar devam edildi. Yıkanan aktif karbonlar 70 °C'ta etüvde kurutuldu ve yüzey alanları, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri ve gözenek hacimleri dağılımları tespit edildi.



Şekil 5.15 Yöntem II ile aktif karbon eldesi

Tablo 5.7 kargının $ZnCl_2$ ile kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat reflux yapıldıktan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyona tabii tutularak elde edilen aktif karbonların yüzey özelliklerini ve verimlerini göstermektedir. Burada elde edilen aktif karbonların verimleri yaklaşık % 40'tır ve en yüksek yüzey alanı 1411,87 m^2/g olarak bulunmuştur. Ayrıca, ortalama gözenek genişliği (2.025 – 5.000 nm), aktivasyonda $ZnCl_2$ miktarı arttığında artmaktadır. Bununla beraber, aktivasyonda $ZnCl_2$ miktarı arttığında, mikropor hacminde gözle görülür bir

düşüş görülmektedir. Tablo 5.8'te aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri, kargılar herhangi bir ön işlem yapılmadan 600 °C'ta 1 saat karbonizasyonun ardından elde edilen aktif karbondan 2 g alınıp $ZnCl_2$ ile kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat reflux yapıldıktan sonra etüvde 95 °C'ta kurutularak elde edilmiştir. Tablo 5.8'teki aktif karbonların verimleri yaklaşık %20'dir ve en yüksek yüzey alanı 32,35 m^2/g olarak bulunmuştur. İlaveten, aktivasyonda $ZnCl_2$ miktarı arttığında, ortalama gözenek genişliği 2,664'ten 4,651'ye nm artmaktadır.

Tablo 5.7. Kargının $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat reflux yapıldıktan sonra etüvde 95 °C'ta kurutuldu) ve 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile aktif karbon eldesi

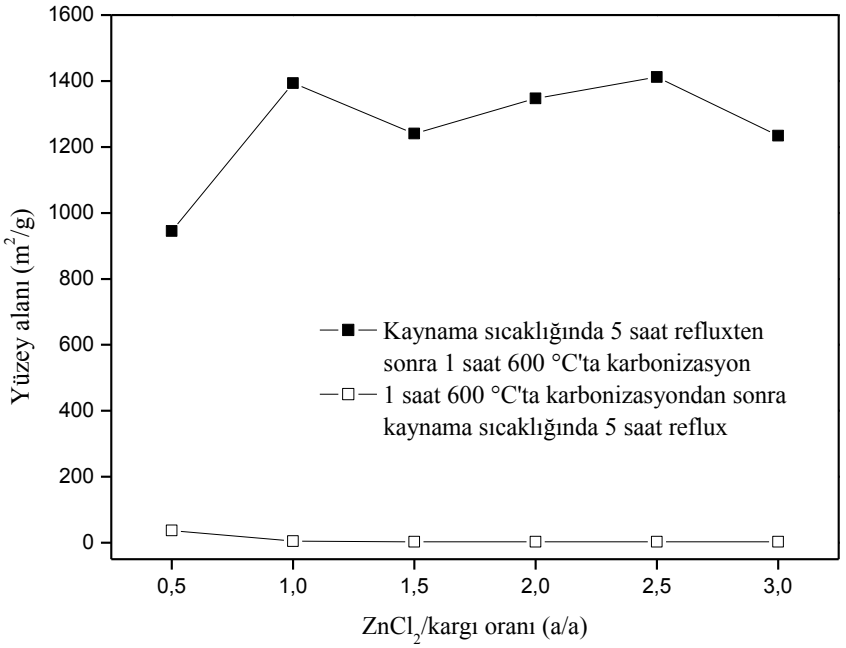
$ZnCl_2$/Kargı oranı	Verim (%)	BET Yüzey alanı (m^2/g)	t-Plot mikropor alanı (m^2/g)	124 nm den daha az (P/P_0=0,984) toplam gözenek hacmi (cm^3/g)	t-Plot mikropor hacmi (cm^3/g)	Ortalama gözenek genişliği 4V/A by BET (nm)
0,5/1	36,60	945,34	660,62	0,4787	0,3032	2,025
1/1	37,01	1393,65	440,60	0,7776	0,1902	2,232
1,5/1	41,36	1240,92	83,55	0,8555	0,0235	2,758
2/1	39,69	1347,43	10,53	1,1173	0,0117	3,317
2,5/1	41,04	1411,87	3,04	1,4382	0,0050	4,075
3/1	43,53	1234,26	2,45	1,5429	0,0047	5,000

Tablo 5.8. Önce kargılar aktive edilmeden 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldı ve elde edilen aktif karbondan 2 g alınarak $ZnCl_2$ ile aktivasyonu (kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat reflux yapıldıktan sonra etüvde 95 °C'ta kurutuldu) ile aktif karbon eldesi

$ZnCl_2$/Kargı oranı	Verim (%)	BET Yüzey alanı (m^2/g)	t-Plot mikropor alanı (m^2/g)	124 nm den daha az (P/P_0=0,984) toplam gözenek hacmi (cm^3/g)	t-Plot mikropor hacmi (cm^3/g)	Ortalama gözenek genişliği 4V/A by BET (nm)
0,5/1	21,43	37,37	32,35	0,0249	0,0148	2,664
1/1	17,84	5,02	9,95	0,0057	0,0046	3,247
1,5/1	20,44	2,89	9,98	0,0017	0,0046	4,552
2/1	20,46	2,75	9,98	0,0015	0,0046	4,566
2,5/1	22,11	1,45	9,97	0,0015	0,0045	4,642
3/1	22,20	1,44	9,96	0,0015	0,0046	4,651

Şekil 5.16, yöntem II ile elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanlarını vermektedir. Grafikten görüldüğü gibi, başlangıç maddesine herhangi bir ön işlem yapmadan önce karbonizasyonun yapılıp ardından $ZnCl_2$ ile muamele edilmesi, elde edilen aktif karbonların yüzey alanların çok düşürmüştür. Diğer taraftan,

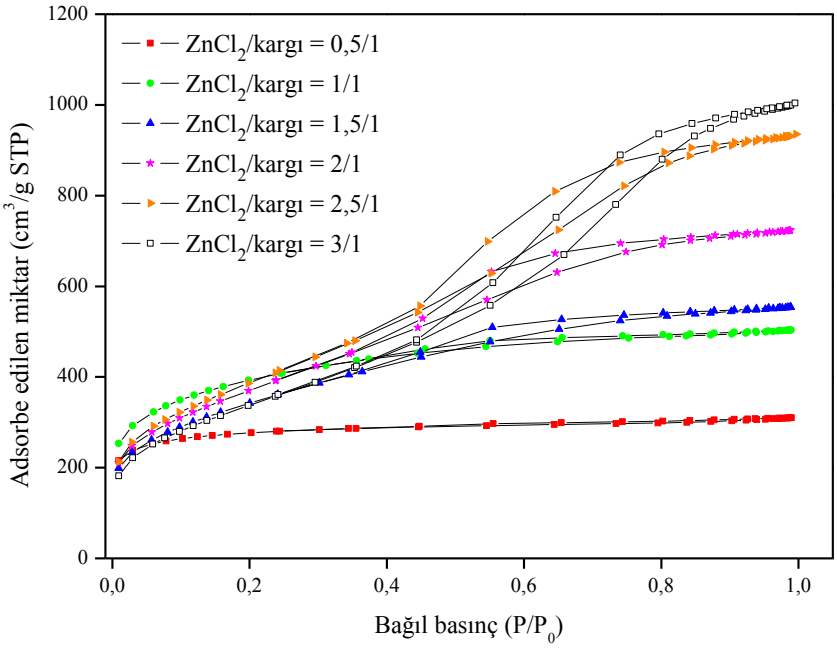
yöntem II ile kargının $ZnCl_2$ ile kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat reflux yapıldıktan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyona tabii tutularak elde edilen aktif karbonların yüzey alanları, yöntem I ile elde edilen aktif karbonların yüzey alanlarına değer olarak yakındır.



Şekil 5.16. Yöntem II kullanılarak elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanları

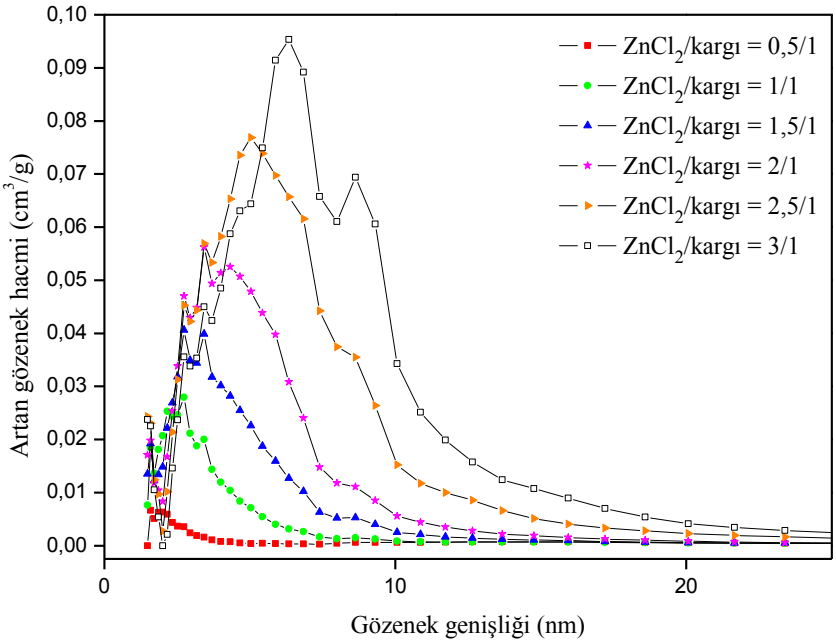
Şekil 5.17 kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat geri soğutucu yardımıyla aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermlerini vermektedir. Yöntem I'de elde edilen N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm sonuçlarına benzerdir. Kimyasal aktivasyonda, $ZnCl_2$/kargı oranı 0,5 olduğunda, grafikte görüldüğü gibi, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi Reversible Tip I izotermlerine daha çok benzemekte olup, nispeten daha geniş mikrogözenekler ve muhtemelen dar mezo gözenekleri (yaklaşık 2,5 nm'den küçük genişlikteler) olduğunu göstermektedir. Bununla beraber, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça gözenek boyutu artmakta ve gitgide Tip IV izotermlerine benzemektedir; yani mezo gözeneklilik artmaktadır. Histerisis yapılarına bakıldığında, H4 tip döngüye sahip

olduğu ve genellikle mikro-mezo gözenekli karbonlarda bu histerisis türünün görüldüğünü biliyoruz.



Şekil 5.17. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat geri soğutucu yardımıyla aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

Şekil 5.18, kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat geri soğutucu yardımıyla aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı) verir. Grafikten, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça, gözenek genişliğinin arttığı; yani mikro gözenek yapısından mezo gözeneklere dönüştüğü ve $ZnCl_2$'in aktif karbonun gözeneklerinin oyarak genişlettiği söylenebilir.



Şekil 5.18. Kargının çeşitli oranlarda $ZnCl_2$ ile kaynama sıcaklığının hemen altında 5 saat geri soğutucu yardımıyla aktivasyonundan sonra etüvde 95 °C'ta kurutulup, ardından 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon yapıldığında elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)

5.1.4. Yöntem III ile aktif karbon hazırlanması

5 g alınan başlangıç maddesi 50 mL saf su içinde ayrı ayrı 0,5/1, 1/1, 1,5/1, 2/1, 2,5/1, 3/1 (a/a) oranlarında $ZnCl_2$/kargı petri kaplarında karıştırıldı ve bu petri kapları herhangi bir işlem yapılmaksızın direk etüve alınarak 95°C'ta kurutuldu. Kurutulan karışımlar petri kaplarından kapalı krozelere alınarak oksijensiz ortamda 600 °C'ta 1 saat fırında karbonizasyon işlemine tabii tutuldular. Karbonizasyon aşamasından sonra elde edilen aktif karbonların üzerindeki serbest klor ve çinko iyonlarını ve diğer safsızlıkları uzaklaştırmak için aktif karbonlar 0,1 N HCl içinde çözüldükten sonra destile suyla yıkandı ve bu yıkama işlemi süzüntü pH'ı nötral olana kadar devam edildi. Ardından, yıkanan aktif karbonlar 70°C'ta etüvde kurutuldu ve yüzey alanları, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri ve gözenek hacimleri dağılımları tespit edildi. Şekil 5.19, yöntem III için, aktif karbon üretim işlemlerini özetlemektedir.

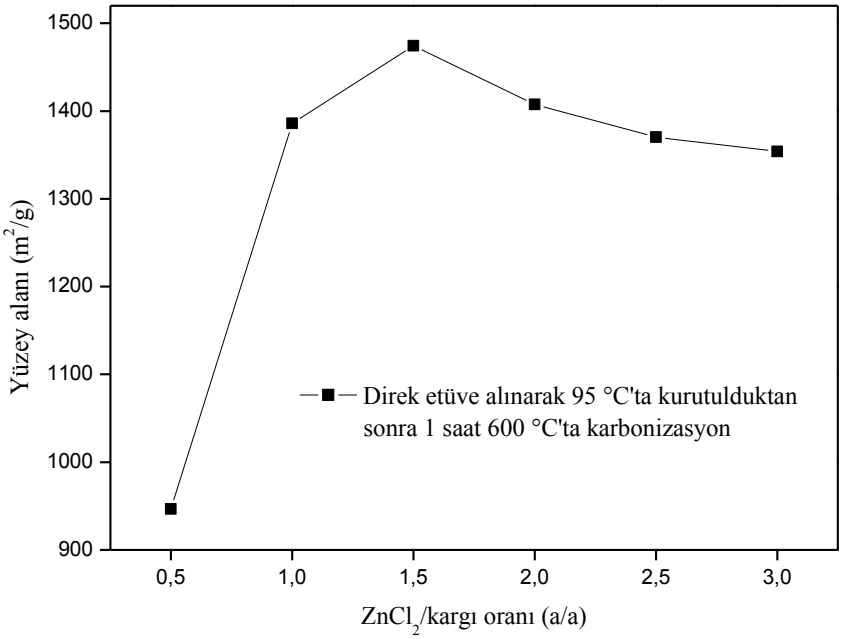


Şekil 5.19. Yöntem III ile aktif karbon eldesi

Tablo 5.9 yöntem III ile elde edilen aktif karbonların yüzey özelliklerini ve verimlerini vermektedir ve Şekil 5.20 yöntem III ile elde edilen aktif karbonların kimyasal karışım oranına karşı yüzey alanlarını karşılaştırmaktadır. Tablodaki aktif karbonların verimleri yaklaşık %35'tir ve en yüksek yüzey alanı 1474,56 m^2/g olarak bulunmuştur. Bu yüzey alanı değeri yöntem I ve yöntem II ile elde edilen aktif karbonların yüzey alan değerlerinden hiç de farksız değildir, çünkü önceki aktif karbon yüzey alanlarıda 1400 m^2/g dolaylarında bulunmuştu. Ayrıca, ortalama gözenek genişliği (1,955 – 4,792 nm), aktivasyonda $ZnCl_2$ miktarı arttığında artmaktadır.

Tablo 5.9. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların yüzey özellikleri ve verimleri

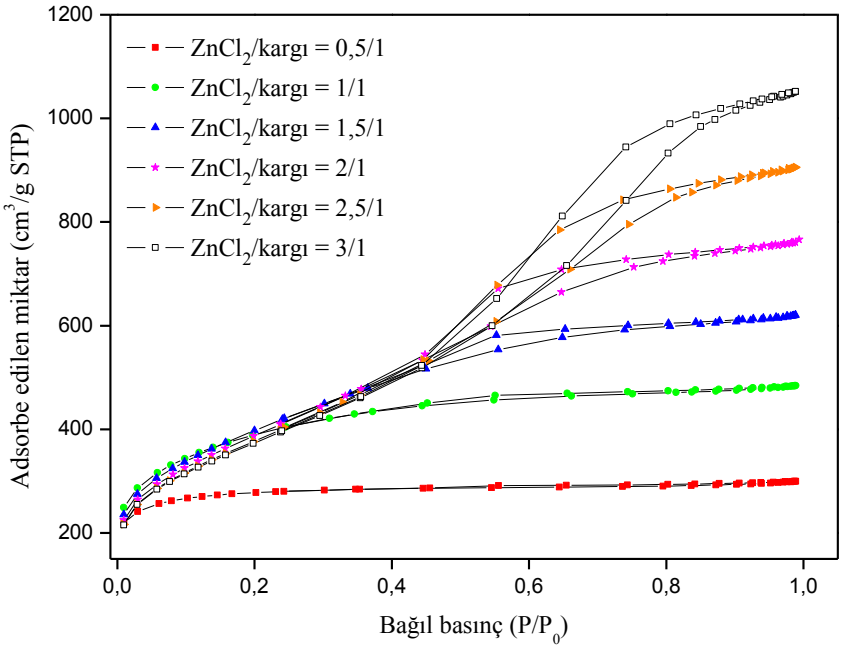
$ZnCl_2$/Kargı oranı	**Verim (%)**	**BET Yüzey alanı (m^2/g)**	**t-Plot mikropor alanı (m^2/g)**	**124 nm den daha az (P/P_0=0,984) toplam gözenek hacmi (cm^3/g)**	**t-Plot mikropor hacmi (cm^3/g)**	**Ortalama gözenek genişliği 4V/A by BET (nm)**
0,5/1	34,76	946,72	701,09	0,4627	0,3222	1,955
1/1	35,82	1385,86	404,71	0,7478	0,1725	2,158
1,5/1	36,03	1474,56	109,97	0,9571	0,0349	2,663
2/1	35,21	1407,50	30,66	1,1749	0,0016	3,339
2,5/1	35,78	1370,22	35,10	1,3967	0,0080	4,077
3/1	29,68	1354,07	14,28	1,6222	0,0023	4,792



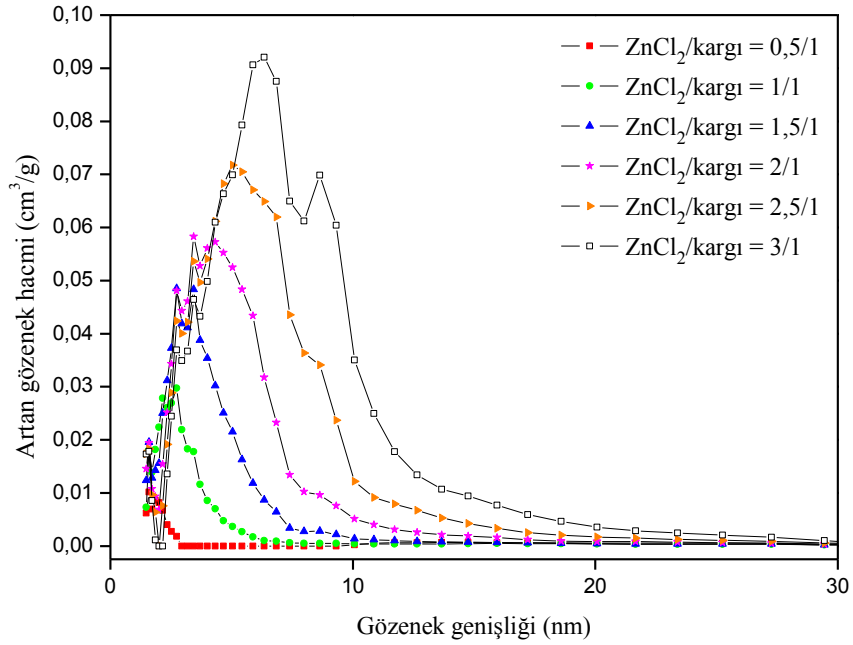
Şekil 5.20. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların karışım oranına karşı yüzey alanları

Şekil 5.21'de yöntem III ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermlerini verilmektedir. Kimyasal aktivasyonda, $ZnCl_2$/kargı oranı 0,5 olduğunda, grafikte görüldüğü gibi, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi Reversible Tip I izotermlerine daha çok benzemekte olup, nispeten daha geniş mikrogözenekler ve muhtemelen dar mezo gözenekleri (yaklaşık 2,5 nm'den küçük genişlikteler) olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça gözenek boyutu artmakta ve gitgide Tip IV izotermlerine benzemektedir; yani mezo gözeneklilik artmaktadır. Histerisis yapılarına bakıldığında, H4 tip döngüye sahip olduğu ve genellikle mikro-mezo gözenekli karbonlarda bu histerisis türünün görüldüğünü biliyoruz. Bununla beraber, histerisis şeklinden yapının gözenek şeklinin genel olarak silindirik olduğu görülmektedir.

Şekil 5.22, yöntem III ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimlerini (Gözenek dağılımı) verir. Grafikten, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça, gözenek genişliği de arttmaktadır.



Şekil 5.21. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



Şekil 5.22. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımı)

5.2. Yöntem III kullanılarak farklı karbonizasyon ve aktivasyon şartlarında aktif karbon eldesi

Karbonizasyon sıcaklığı ve karbonizasyon süresinin elde edilecek aktif karbonun yüzey özelliklerine nasıl etki edebileceği bölüm 2'de detaylı olarak sunulmuştu. Bu başlık altında, karbonizasyon sıcaklığının, karbonizasyon süresinin ve kimyasal madde oranının elde edilecek aktif karbonların yüzey alanları, gözenek yapıları ve aktif karbon yüzeyindeki fonksiyonel grupları nasıl etkilendiği araştırılacak ve karşılaştırmalara gidilecektir.

5.2.1. Yöntem III ile elde edilen aktif karbon verimleri

Yöntem III ile farklı karbonizasyon sıcaklıkları (300-700 °C), karbonizasyon süreleri (30-180 dakika) ve $ZnCl_2$/kargı oranları (0,5-3) kullanılarak aktif karbonlar elde edildi. Elde edilen aktif karbonların verimleri Tablo 5.10'da verilmektedir. Tablo 5.10'dan görüldüğü gibi, karbonizasyon sıcaklığının artması ile (örneğin; $ZnCl_2$/kargı oranı 0,5 ve karbonizasyon süresi 30 dakika için, 300 °C'tan 700 °C'a) yöntem III ile elde edilen aktif karbonların verimlerinde (% 46,16'den % 33,29'e) önemli miktarlarda düşüşler gözlenmektedir. Ayrıca, karbonizasyon süresinin artması ile de (örneğin; $ZnCl_2$/kargı oranı 0,5 ve karbonizasyon sıcaklığı 300 °C için, 30 dakikadan 180 dakikaya) aktif karbonların verimlerinde (% 46,16'den % 42,84'e) azalmalar görülmektedir.

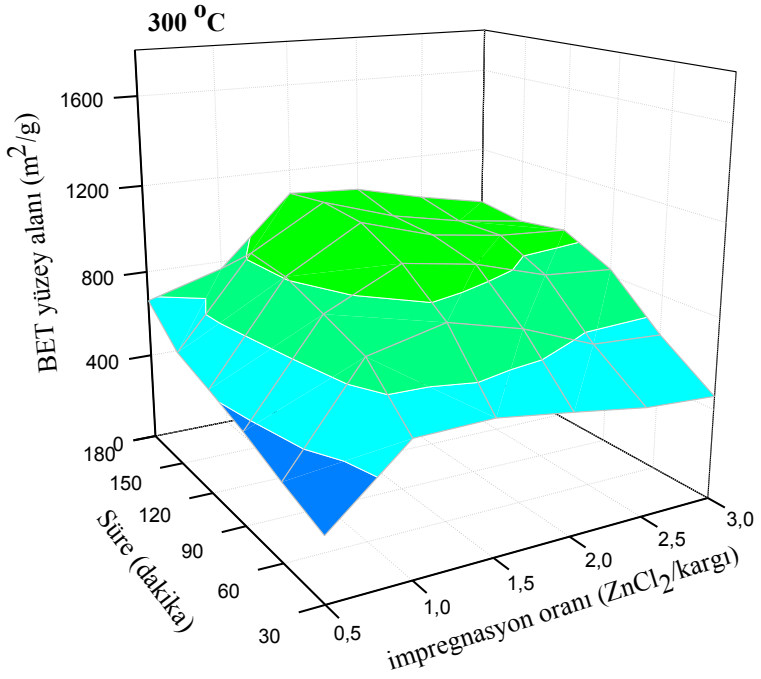
Tablo 5.10. Yöntem III ile elde edilen aktif karbonların verimleri (%)

Karbonizasyon sıcaklığı (°C)	Karbonizasyon süresi (dakika)	$ZnCl_2$/kargı oranı (a/a)					
		0,5	1	1,5	2	2,5	3
300	30	46,16	44,51	43,87	41,24	44,33	43,14
	60	44,02	42,99	42,37	41,33	41,30	38,64
	90	43,81	42,51	41,92	40,04	39,63	40,77
	120	43,58	42,42	41,21	41,57	40,79	41,32
	150	43,17	42,33	41,10	41,47	38,45	29,32
	180	42,84	42,16	40,82	41,11	33,00	30,65
400	30	39,59	41,19	41,35	39,03	39,39	41,42
	60	38,47	40,91	40,40	40,28	38,79	41,34
	90	38,39	38,77	39,66	38,95	38,55	41,23
	120	36,05	37,58	38,02	38,16	38,29	39,80
500	30	37,80	37,83	37,92	39,07	38,51	38,83
	60	36,47	37,45	37,35	37,64	38,47	38,40
	90	35,92	37,10	37,03	37,61	38,39	37,97
	120	34,15	36,09	36,85	37,54	38,00	37,83
600	30	37,14	37,78	37,84	38,37	37,71	37,69
	60	34,76	35,82	36,03	35,21	35,78	36,68
	90	32,90	35,69	35,78	33,67	33,98	35,07
	120	31,61	32,57	33,18	33,39	33,18	33,91
	150	28,08	31,93	31,77	30,65	32,65	33,39
	180	23,90	31,13	27,09	28,66	29,89	28,71
700	30	33,29	33,70	35,26	33,74	34,16	34,75
	60	31,58	31,69	34,74	32,79	33,86	33,26
	90	27,71	31,83	34,02	32,38	31,16	30,92
	120	27,13	29,09	29,81	29,89	29,60	30,88

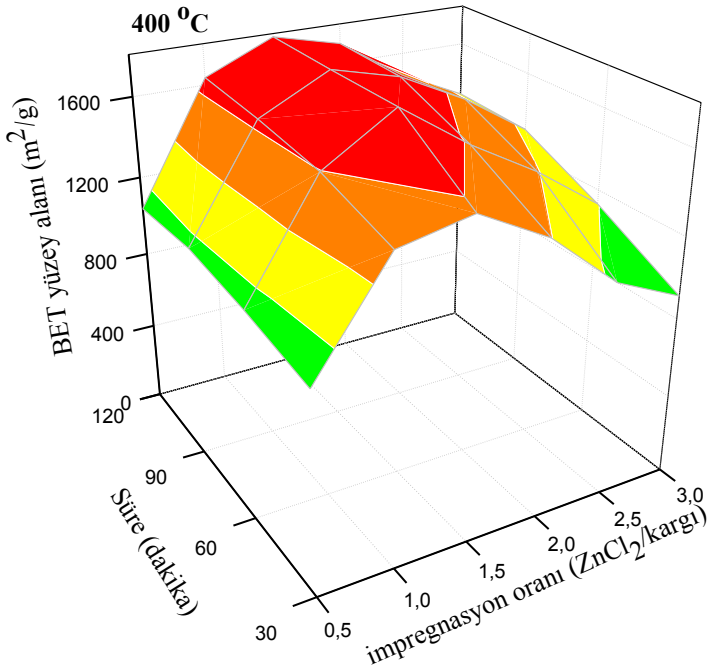
5.2.2. Yöntem III ile elde edilen aktif karbon BET yüzey alanları

Şekil 5.23-5.27, farklı karbonizasyon sıcaklıkları (300-700 °C) kullanılarak elde edilen aktif karbonlara, karbonizasyon süresi ve aktifleyici madde oranlarının birlikte nasıl aktif karbonun yüzey alanına etki ettiğini göstermektedir. *Arundo donax*'tan üretilen en yüksek yüzey alanlı aktif karbon, 400 °C karbonizasyon sıcaklığı ve aktifleyici madde

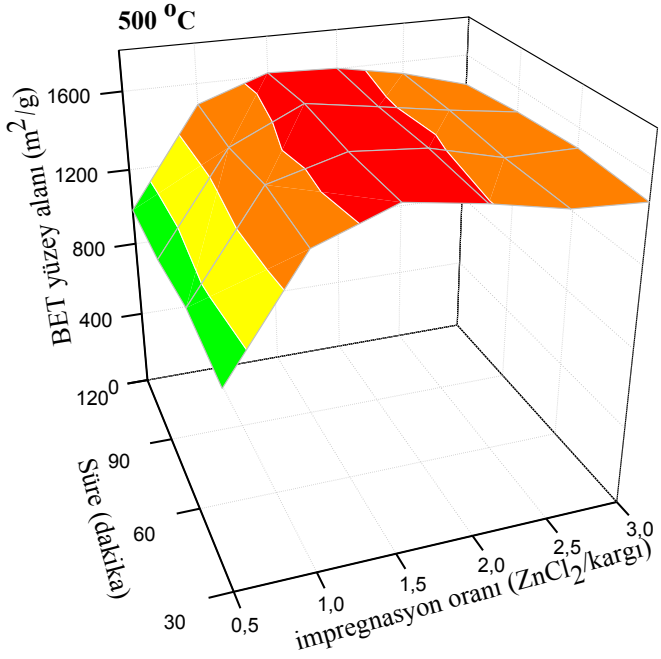
oranı ($ZnCl_2$/kargı oranı) 1,5 olarak kullanıldığında elde edilmiştir. Bu şartlar altında, karbonizasyon süresi 60 dakika alındığında aktif karbonun yüzey alanı 1784,41 m^2/g, karbonizasyon süresi 90 dakika alındığında aktif karbonun yüzey alanı 1781,01 m^2/g ve karbonizasyon süresi 120 dakika alındığında aktif karbonun yüzey alanı 1784,71 m^2/g olarak ölçülmüştür.



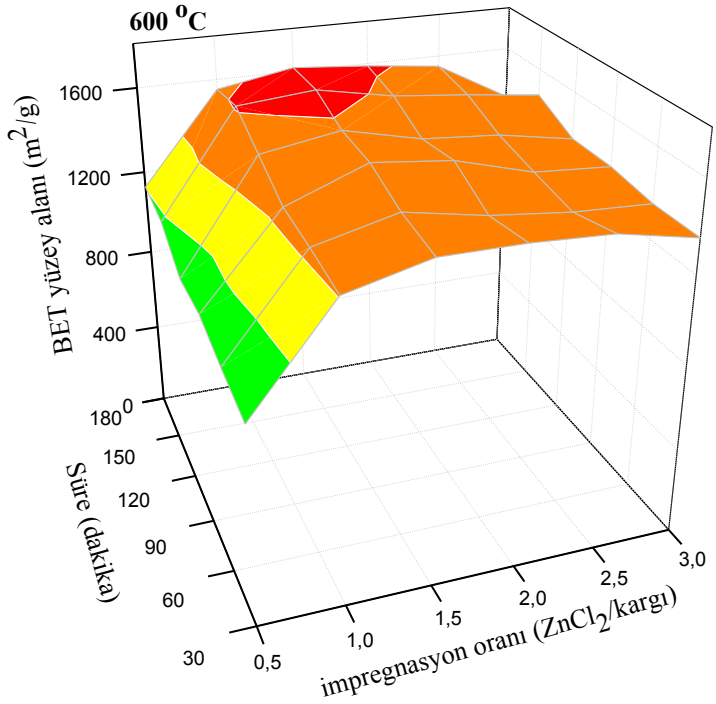
Şekil 5.23. 300 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları



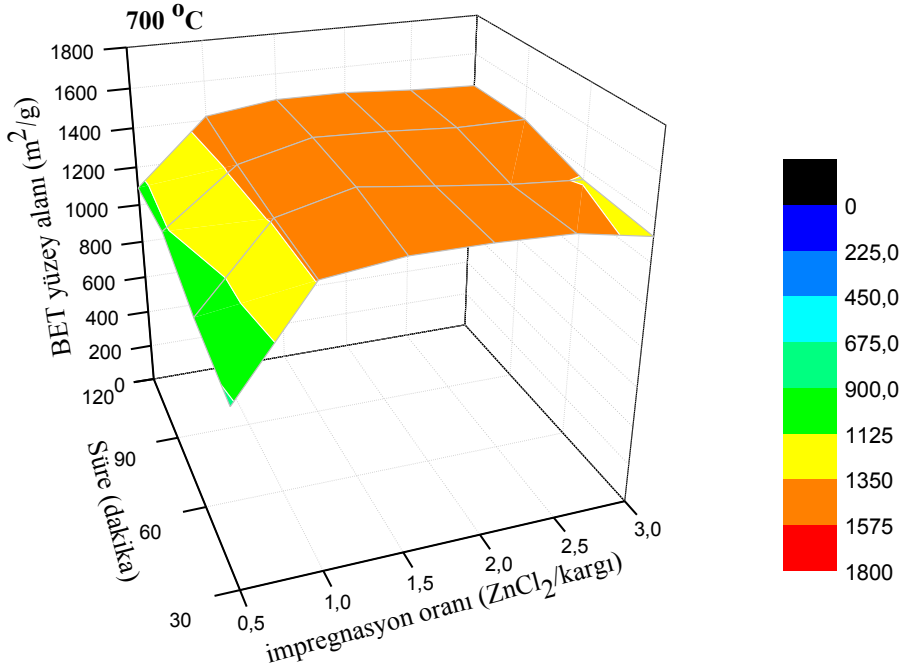
Şekil 5.24. 400 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları



Şekil 5.25. 500 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları



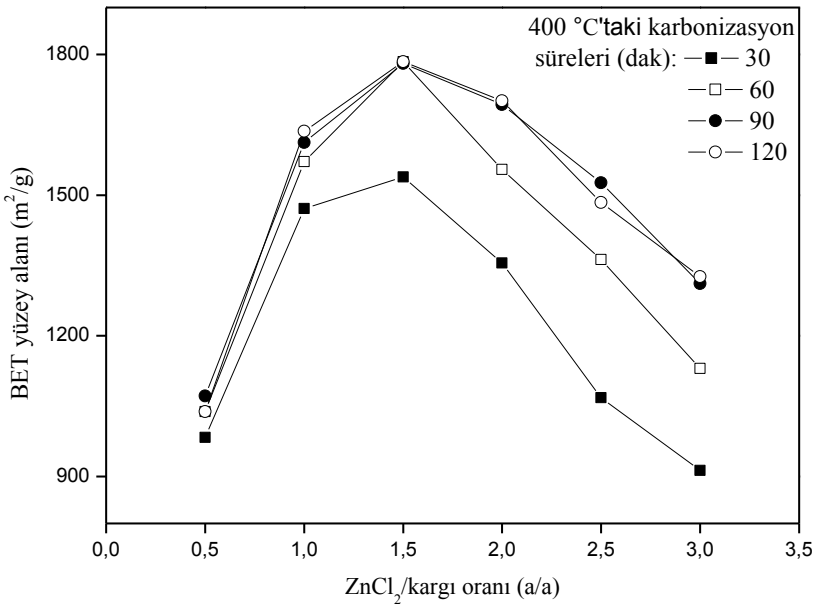
Şekil 5.26. 600 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları



Şekil 5.27. 700 °C karbonizasyon sıcaklığında, farklı karbonizasyon süreleri ve aktifleyici madde oranları kullanıldığında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları

5.2.2.1. Aktifleyici madde oranının yüzey alanına etkisi

Şekil 5.28'de *Arundo donax*'tan 400 °C karbonizasyon sıcaklığında ve çeşitli karbonizasyon sürelerinde elde edilen aktif karbonların aktifleyici madde oranlarına karşı yüzey alanları sunulmaktadır. 400 °C karbonizasyon sıcaklığında üretilen tüm aktif karbonların, aktifleyici madde oranlarının 0,5'ten 1,5'e kadar arttırıldığında aktif karbonların yüzey alanlarında artış olurken, aktifleyici madde oranlarının 1,5'ten 3'e doğru çıkarıldığında ise aktif karbonların yüzey alanlarında düşüş görülmektedir. Grafikten anlaşıldığı gibi, 400 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların optimum aktifleyici madde oranının 1,5 olduğu görülmektedir. Ayrıca, şekil 5.23-5.27 incelendiğinde, diğer karbonizasyon sıcaklıklarında elde edilen aktif karbonların yüzey alanları, aktifleyici madde oranı 1,5 olduğunda en yüksek değerleri almaktadır.

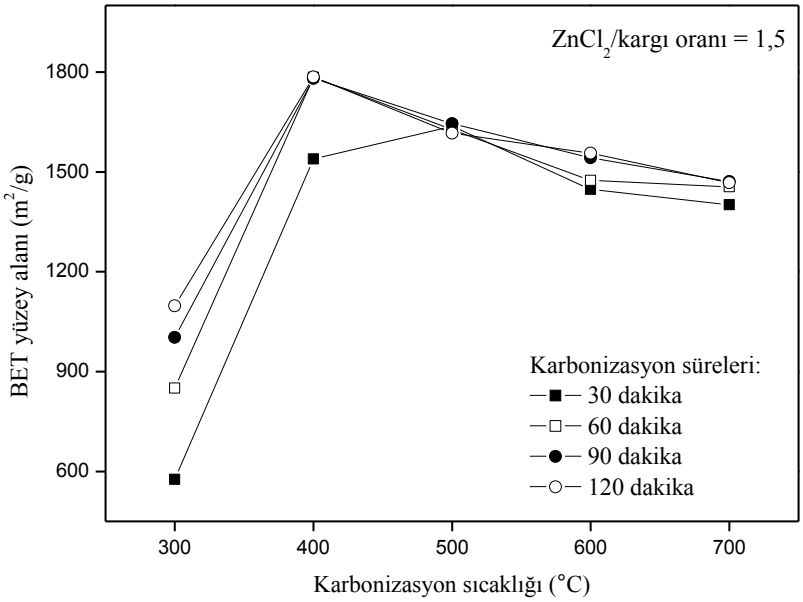


Şekil 5.28. *Arundo donax*'tan 400 °C karbonizasyon sıcaklığında ve çeşitli karbonizasyon sürelerinde elde edilen aktif karbonların aktifleyici madde oranlarına karşı yüzey alanları

5.2.2.2. Karbonizasyon sıcaklığının yüzey alanına etkisi

Aktifleyici madde oranı 1,5 olduğunda, *Arundo donax*'tan çeşitli karbonizasyon süreleri kullanılarak elde edilen aktif karbonların karbonizasyon sıcaklıklarına karşı

yüzey alanları şekil 5.29'da verilmektedir. Karbonizasyon sıcaklığı 300 °C'tan 400 °C sıcaklığa yükseltildiğinde, aktif karbonların BET yüzey alanlarında yüksek bir şekilde artış görülmektedir. Karbonizasyon sıcaklığı 400 °C sıcaklıktan 700 °C sıcaklığa artırıldığında ise aktif karbonların BET yüzey alanlarında düşüş görülmektedir, fakat diğerlerinden farklı olarak, yalnızca karbonizasyon süresi 30 dakika olan aktif karbonun karbonizasyon sıcaklığı 400 °C'tan 500 °C sıcaklığa artırıldığında BET yüzey alanında bir artış gözlenmektedir. Karbonizasyon süresi 30 dakika olan aktif karbonun 400 °C'tan 500 °C sıcaklığa artırıldığında BET yüzey alanındaki artış karbonizasyon için 400 °C sıcaklıkta 30 dakikanın yetersiz olacağı şeklinde açıklanabilir.

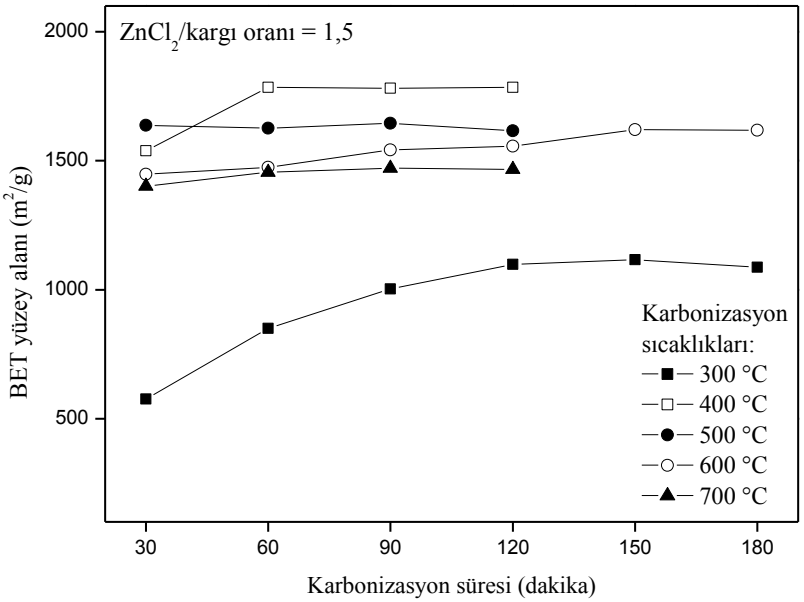


Şekil 5.29. *Arundo donax*'tan aktifleyici madde oranı 1,5 kullanılıp çeşitli karbonizasyon sürelerinde elde edilen aktif karbonların karbonizasyon sıcaklıklarına karşı yüzey alanları

5.2.2.3. Karbonizasyon süresinin yüzey alanına etkisi

Aktifleyici madde oranı 1,5 olduğunda, *Arundo donax*'tan çeşitli karbonizasyon sıcaklıkları kullanılarak elde edilen aktif karbonların karbonizasyon sürelerine karşı yüzey alanları Şekil 5.30'da verilmektedir. Grafikten görüldüğü gibi, karbonizasyon süresi 30 dakikadan 60 dakikaya çıkarıldığında, aktif karbonların yüzey alanlarında

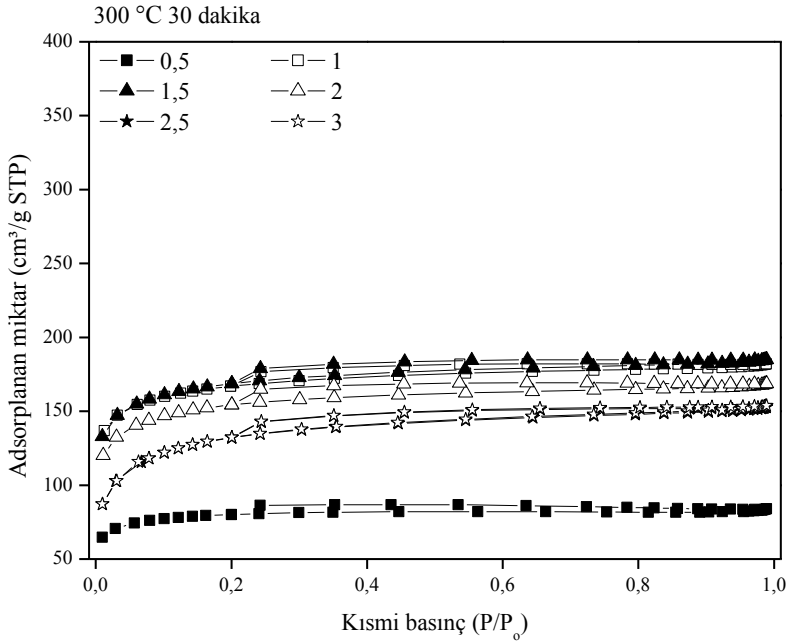
genel olarak bir artma gözlenmektedir. Fakat karbonizasyon süresi 60 dakikadan fazla uygulandığında, hemen hemen her eğri için farklı eğilimler oluşmaktadır. Örneğin, karbonizasyon süresinin 150 dakikaya kadar çıkarılması, 300 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonun yüzey alanının artmasına neden olurken, karbonizasyon süresinin 180 dakika olması yüzey alanını düşürmektedir.



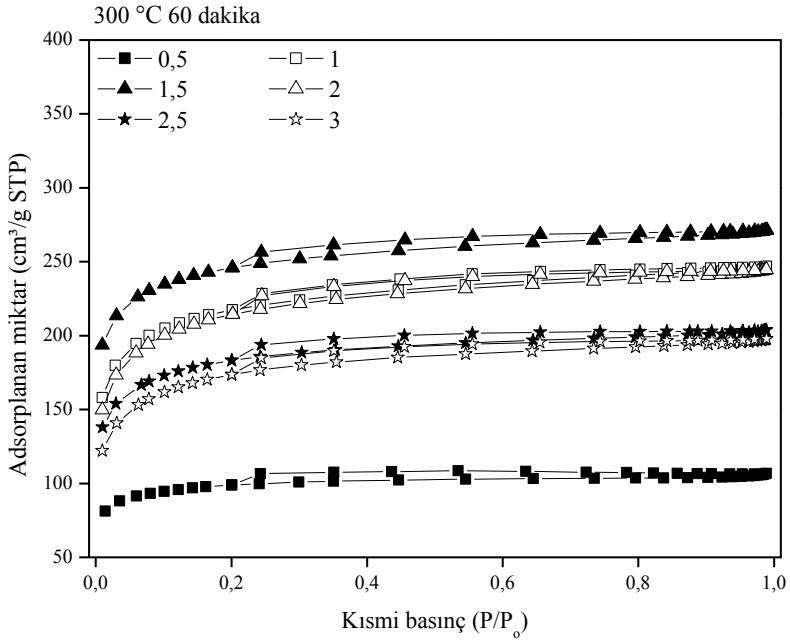
Şekil 5.30. Aktifleyici madde oranı 1,5 olduğunda *Arundo donax*'tan çeşitli karbonizasyon sıcaklıklarında elde edilen aktif karbonların karbonizasyon sürelerine karşı yüzey alanları

5.2.3. N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

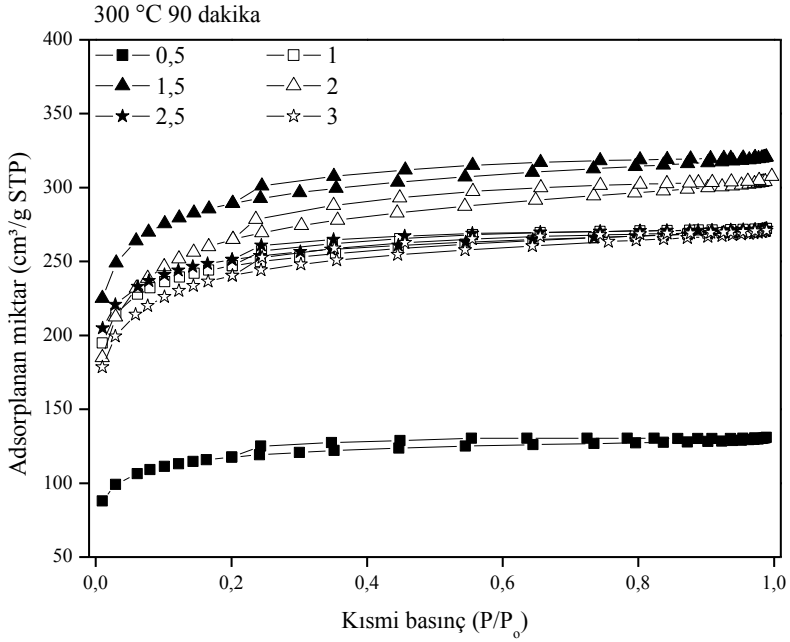
Şekil 5.31-5.34'lerde kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'tasırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri verilmektedir. Genel olarak, izotermler Reversible Tip I ve Tip IV izotermlerinin karışımı niteliğindedir. Daha geniş mikrogözenekler ve dar mezo gözenekler mevcuttur. Diğer yandan, histerisis yapılarına bakıldığında, H4 tip döngüye sahip olduğu ve genellikle mikro-mezo gözenekli karbonların olduğu görülür. Histerisis aralıklarının dar olması mezo gözeneğin az olması şeklinde yorumlanabilir. Bununla beraber, histerisis şeklinden yapının gözenek şeklinin genel olarak silindirik olduğu gözüküyor. Ayrıca, şekil 5.31-5.34'te görüldüğü gibi, karbonizasyon süresinin artması adsorplanan N_2 miktarını da arttırmaktadır.



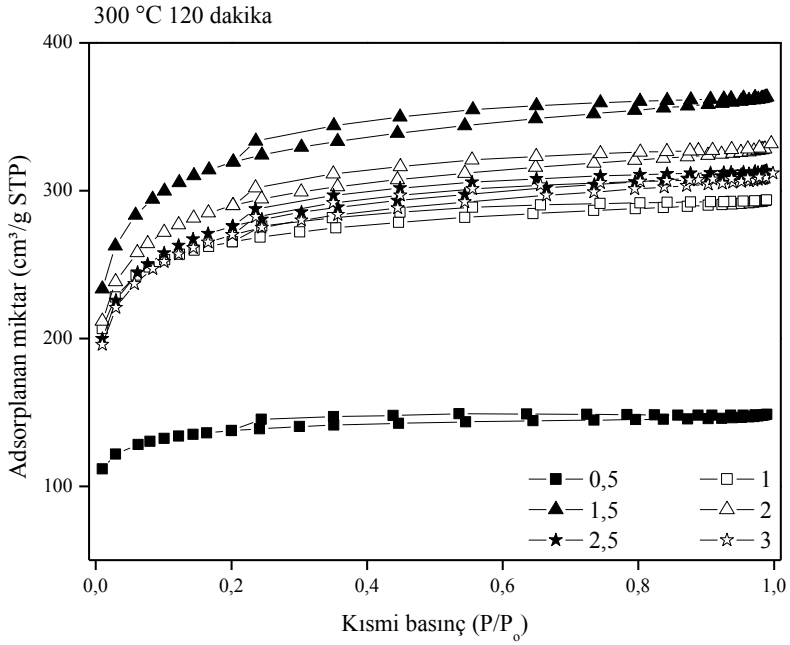
Şekil 5.31. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



Şekil 5.32. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

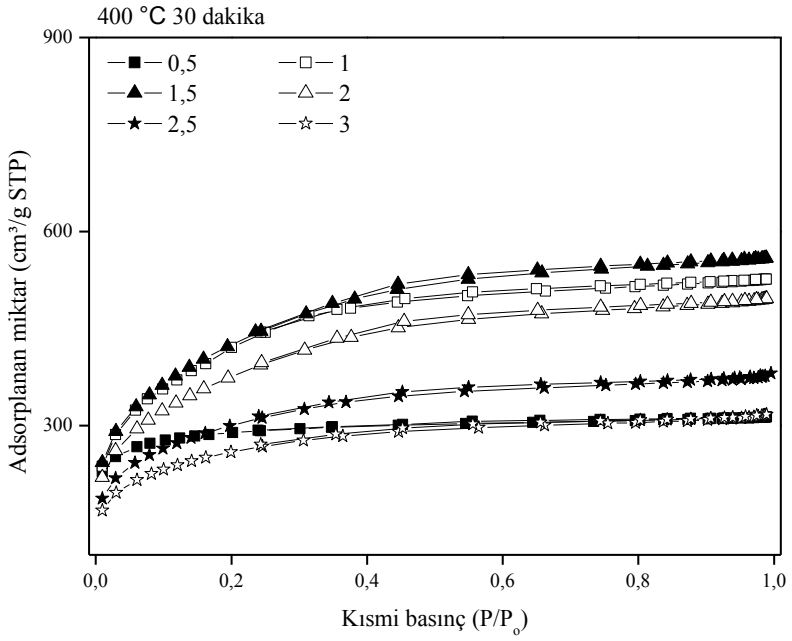


Şekil 5.33. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

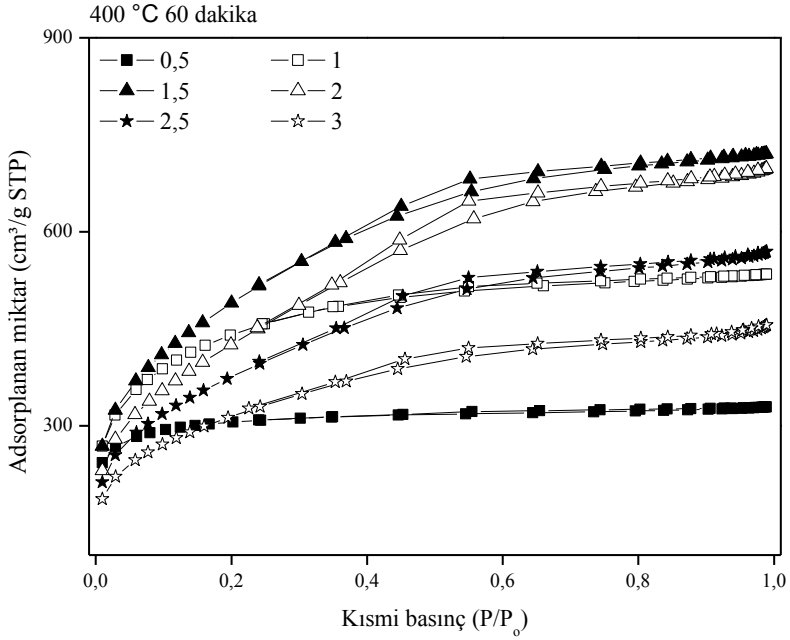


Şekil 5.34. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

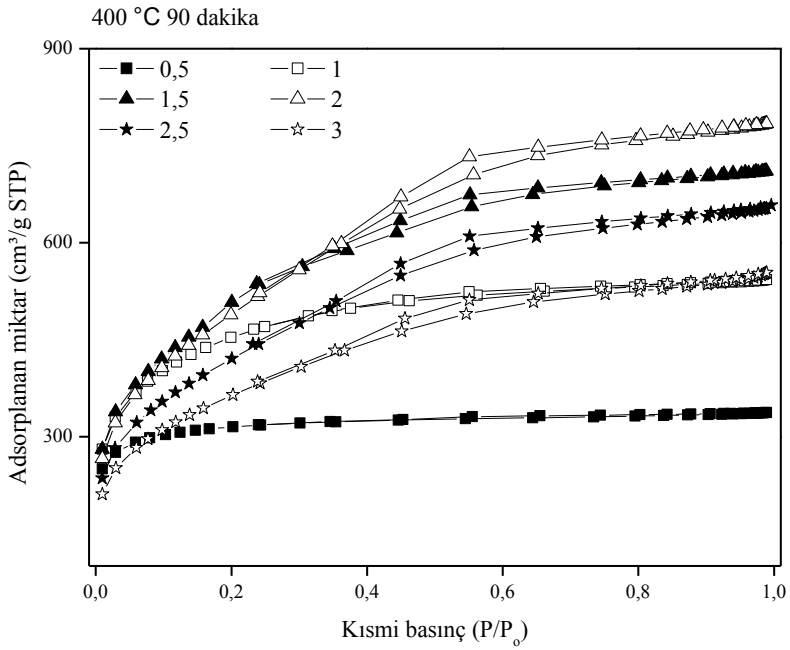
Şekil 5.35-5.38'lerde kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri verilmektedir. Genel olarak, bu izotermler de Reversible Tip I ve Tip IV izotermlerinin karışımı gibidir. Histerisis yapılarına bakıldığında, H4 tip döngüye sahip olduğu ve genellikle mikro-mezo gözenekli karbonların olduğu görülür. Aktifleyici madde oranı 0,5 iken histerisis aralığı, diğer aktifleyici madde oranları yüksek olanlara göre daha dardır. Buradan çıkarılacak sonuç, mikro gözeneklerin $ZnCl_2$ tarafından mezo gözeneklere dönüştürüldüğü olabilir. Bununla beraber, Şekil 5.35-5.38'lerde görüldüğü gibi, karbonizasyon süresinin artması histerisis aralıklarını genel olarak genişletmektedir. Buradan, gözeneklerin oluşturulmasında yeterli termal enerjinin sağlandığında, $ZnCl_2$'nin daha aktif olması ve gözeneklerin daha fazla genişletilmesini sağladığı sonucuna varılabilir. Ayrıca, karbonizasyon süresinin artması adsorplanan N_2 miktarını da arttırmaktadır.



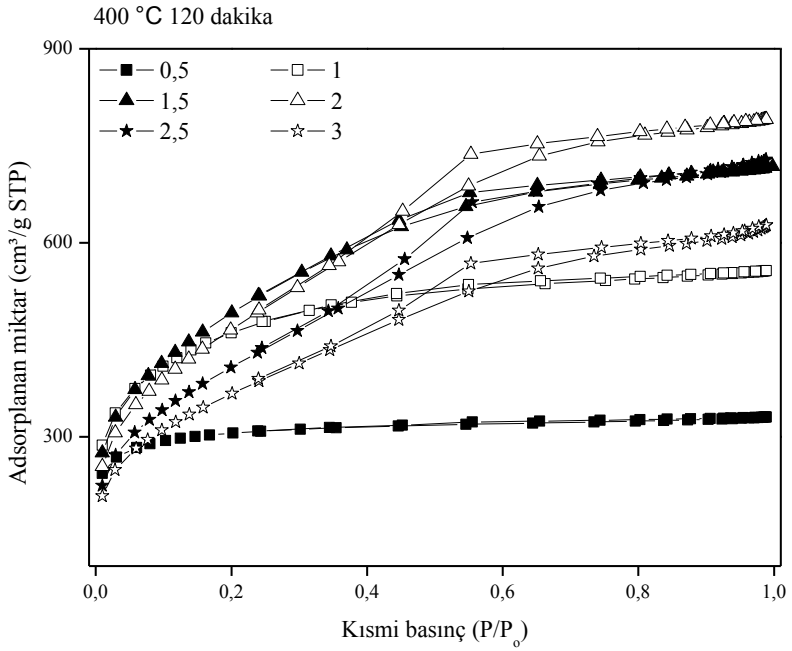
Şekil 5.35. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



Şekil 5.36. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

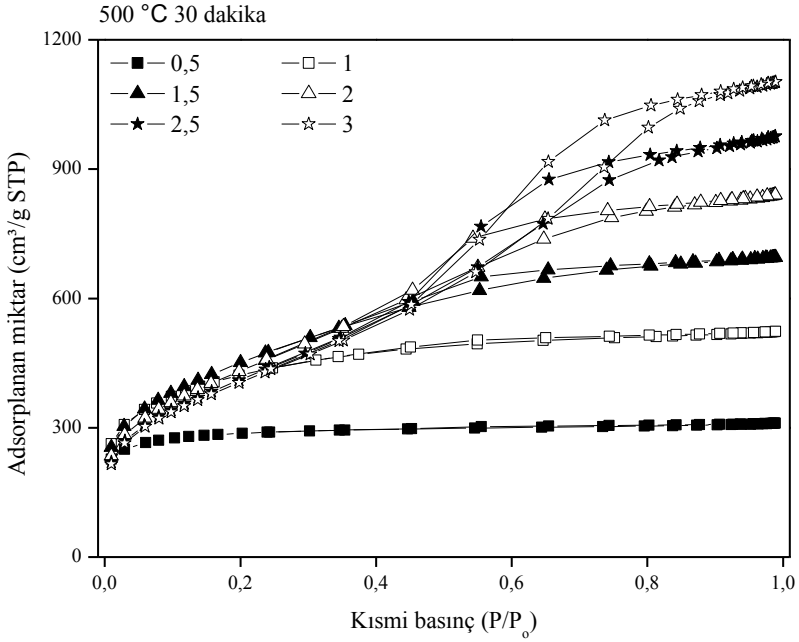


Şekil 5.37. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

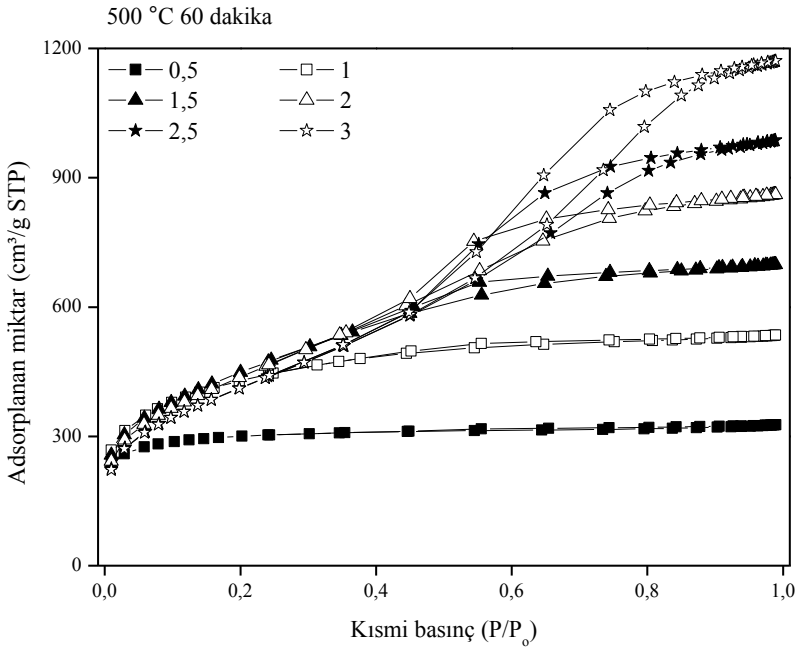


Şekil 5.38. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

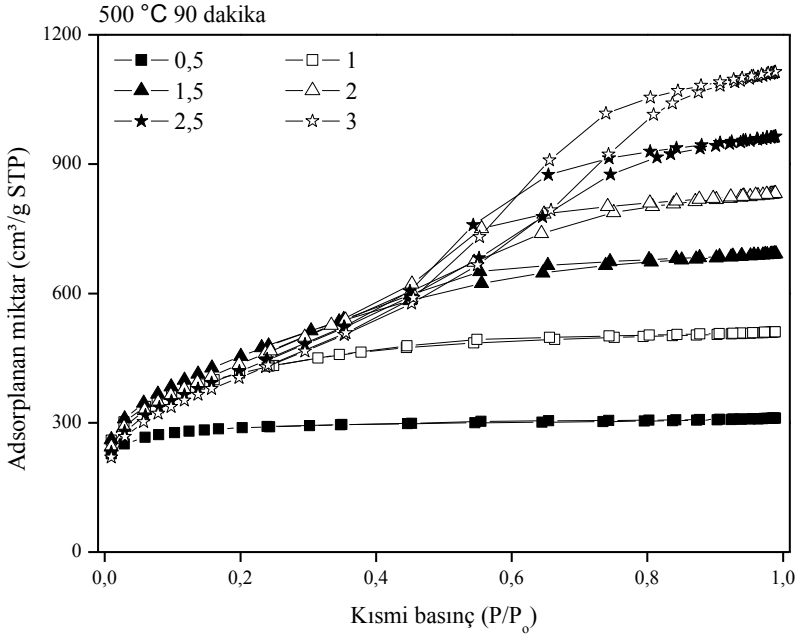
Şekil 5.39-5.42'lerde kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri verilmektedir. Aktifleyici madde oranı 0,5 ve 1 olan izotermler Tip I ve Tip IV izotermlerinin karışımına benzerken, aktifleyici madde oranı arttıkça daha çok Tip IV izotermlerine benzemektedir. Bu da bize aktifleyici madde oranının 0,5 olduğunda aktif karbonun yapısında daha fazla mikro gözenek olduğunu gösterir. Ayrıca, aktifleyici madde oranı arttıkça histerisis aralığı genişlemektedir. Buradan, aktifleyici madde oranı arttıkça, 500 °C karbonizasyon sıcaklığında $ZnCl_2$'ün mezo gözenekleri arttırdığını görebiliriz. Grafiklerdeki histerisisler H4 histerisis türüne benzemektedir ve histerisis şeklinden yapının gözenek şeklinin genel olarak silindirik olduğu görülür.



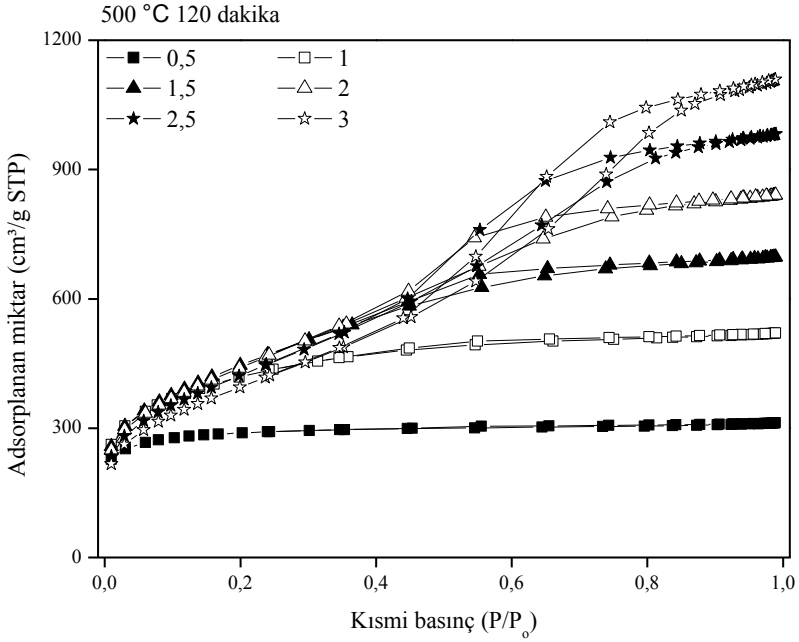
Şekil 5.39. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



Şekil 5.40. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

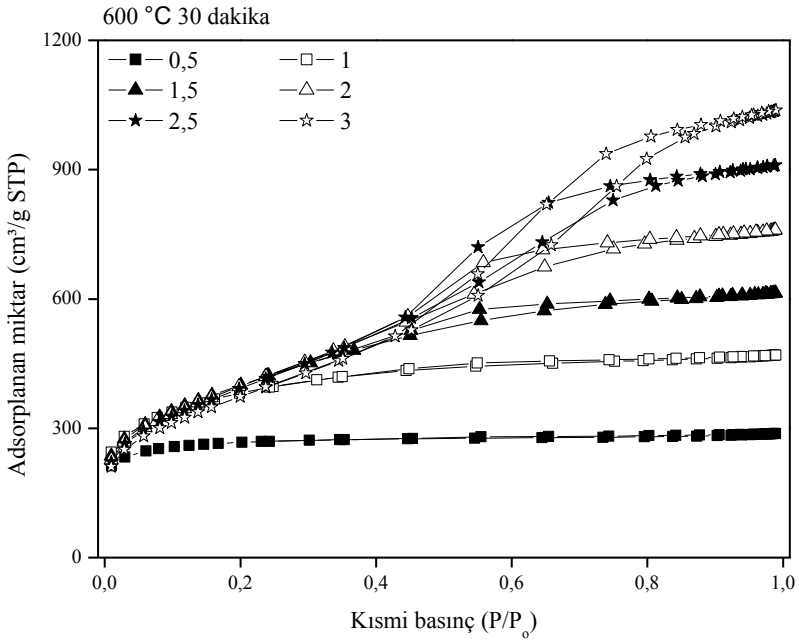


Şekil 5.41. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

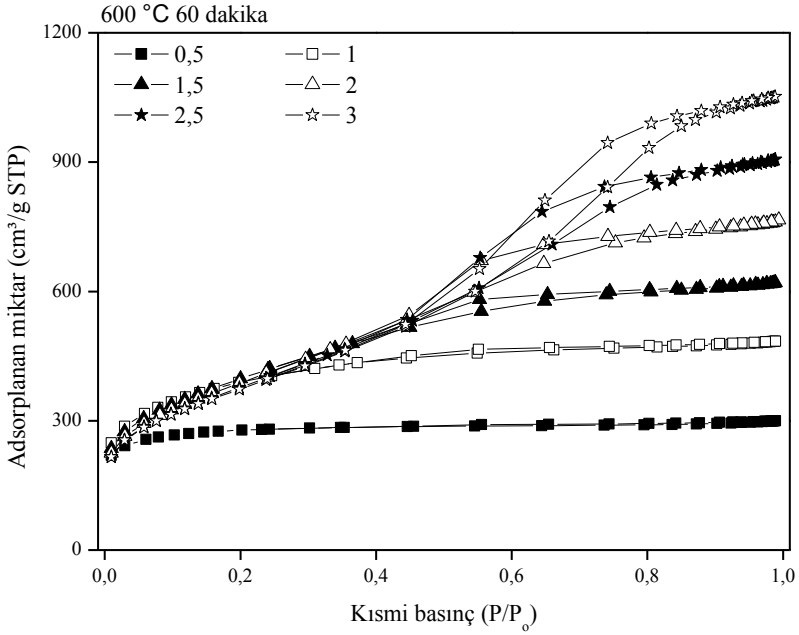


Şekil 5.42. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

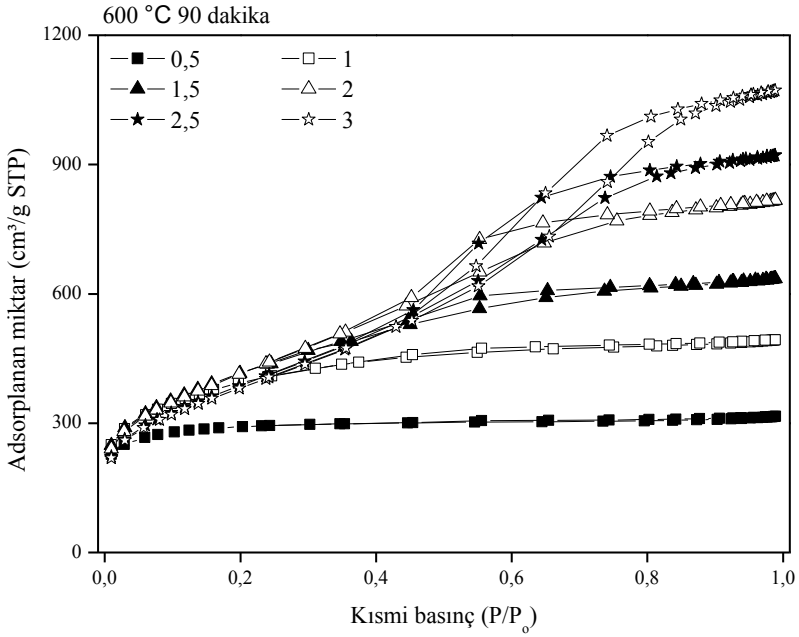
Şekil 5.43-5.46'larda kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri verilmektedir. 500 °C karbonizasyon yapıldığında elde edilen izotermlere oldukça benzemektedirler. Ancak 600 °C sıcaklıkta karbonizasyon yapıldığında elde edilen izotermler ile 500 °C karbonizasyon yapıldığında elde edilen izotermlerin arasındaki en büyük fark kısmi basınç (P/P_0) 1 olduğunda, 500 °C karbonizasyon yapılarak elde edilen aktif karbonun daha fazla miktarda N_2 adsorplamasıdır. Şekil 5.43-5.46'larda, yine 500 °C karbonizasyonda elde edilen N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri gibi, aktifleyici madde oranı 0,5 ve 1 olan izotermler Tip I ve Tip IV izotermlerinin karışımına benzerken, aktifleyici madde oranı arttıkça daha çok Tip IV izotermlerine benzemektedir. Burada aktifleyici madde oranının 0,5 olduğunda aktif karbonun yapısında daha fazla mikro gözenek olduğunu görürüz. Ayrıca, aktifleyici madde oranı arttıkça histerisis aralığı genişlemektedir. Aktifleyici madde oranı arttıkça, 600 °C karbonizasyon sıcaklığında $ZnCl_2$'ün mezo gözenekleri arttırdığını görebiliriz. Histerisisler H4 histerisis türüne benzemektedir ve histerisis şeklinden yapının gözenek şeklinin genel olarak silindirik olduğu görülür.



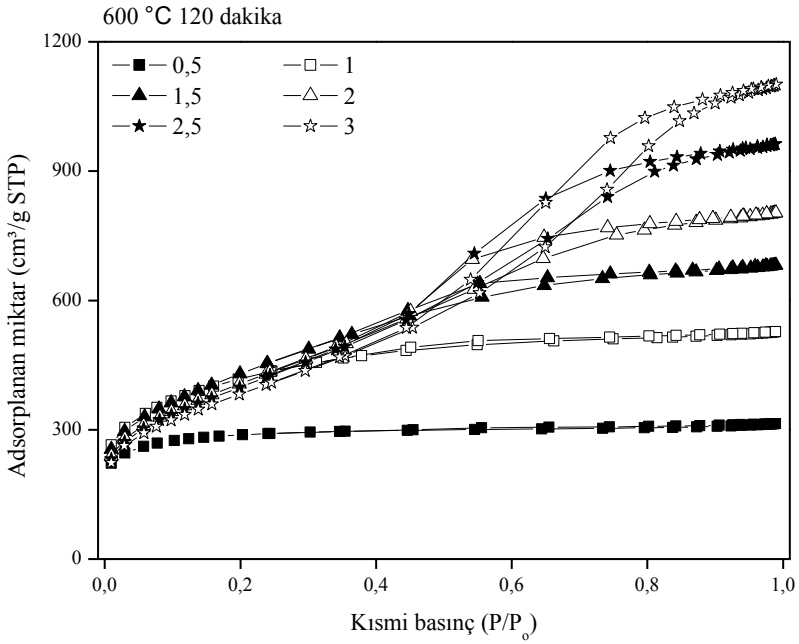
Şekil 5.43. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



Şekil 5.44. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



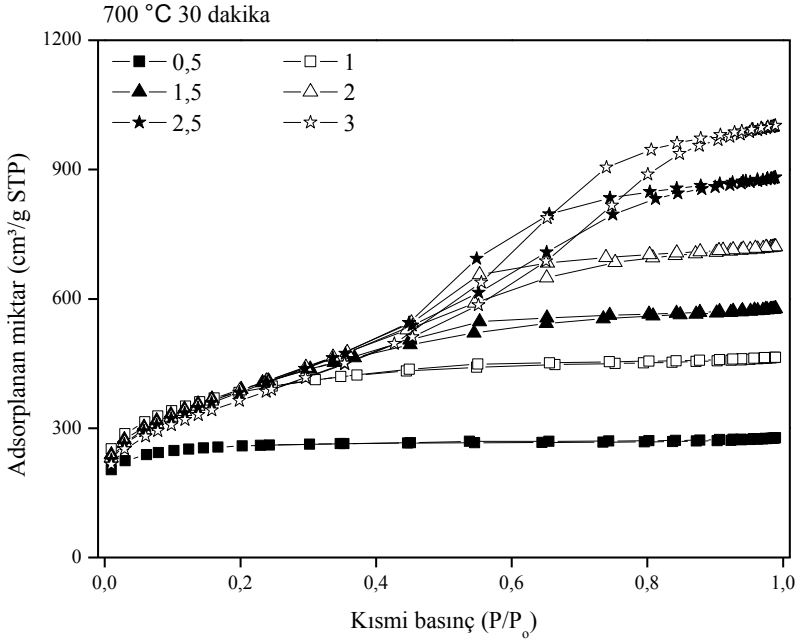
Şekil 5.45. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



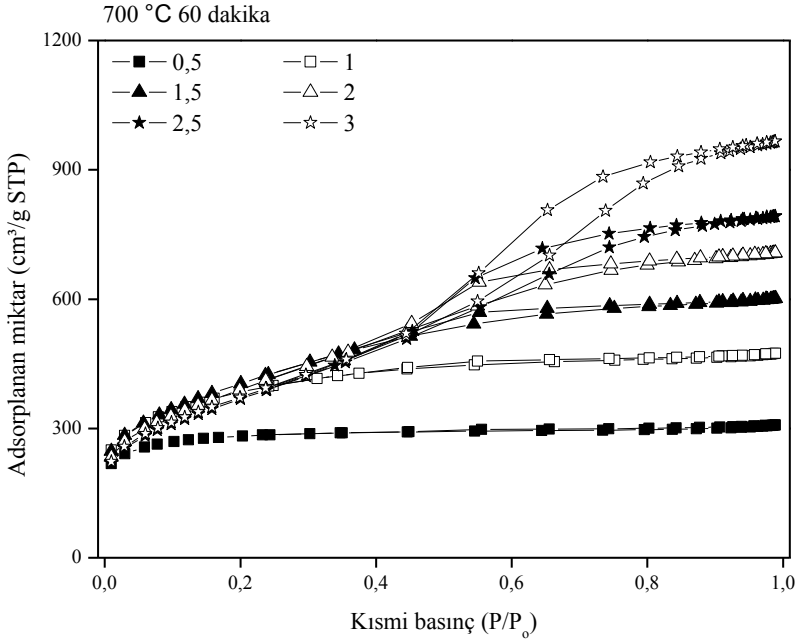
Şekil 5.46. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

Şekil 5.47-5.50'lerde kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri verilmektedir. 600 °C sıcaklıkta karbonizasyon yapıldığında elde edilen izotermlere oldukça benzemektedirler. Fakat 700 °C karbonizasyon yapıldığında elde edilen izotermler ile 600 °C karbonizasyon yapıldığında elde edilen izotermlerin arasındaki en büyük fark kısmi basınç (P/P_0) 1 olduğunda 600 °C karbonizasyon yapılarak elde edilen aktif karbonun daha fazla miktarda N_2 adsorplamasıdır. Şekil 5.47-5.50'lerde, yine 600 °C karbonizasyonda elde edilen N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri gibi, aktifleyici madde oranı 0,5 ve 1 olan izotemler Tip I ve Tip IV izotermlerinin karışımına benzerken, aktifleyici madde oranı arttıkça daha çok Tip IV izotermlerine benzemektedir. Yani, aktifleyici madde oranının 0,5 olduğunda aktif karbonun yapısında daha fazla mikro gözenek olduğunu gösterir. Ayrıca, aktifleyici madde oranı arttıkça histerisis aralığı genişlemektedir. Buradan, aktifleyici madde oranı arttıkça, 700 °C karbonizasyon sıcaklığında $ZnCl_2$'ün mezo gözenekleri arttırdığını görebiliriz. Histerisisler H4 histerisis türüne

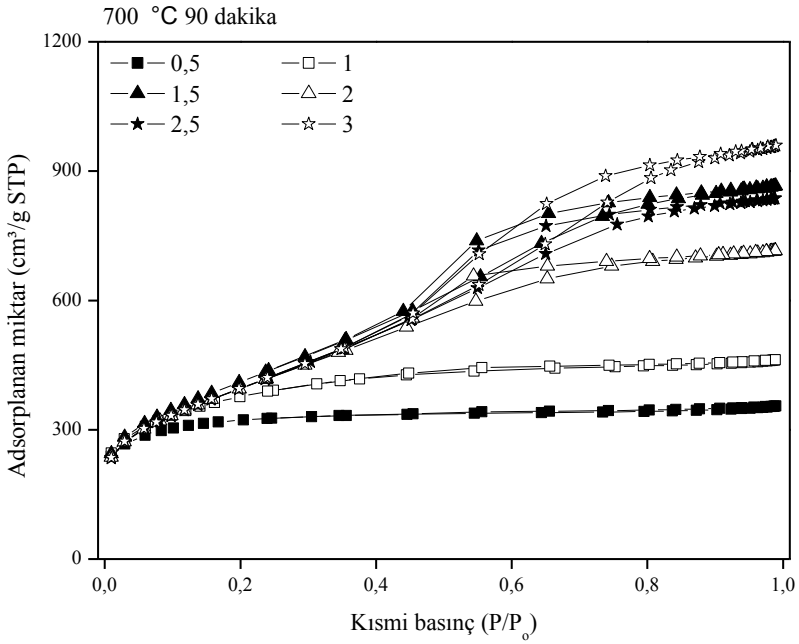
benzemektedir ve histerisis şeklinden yapının gözenek şeklinin genel olarak silindirik olduğu görülür.



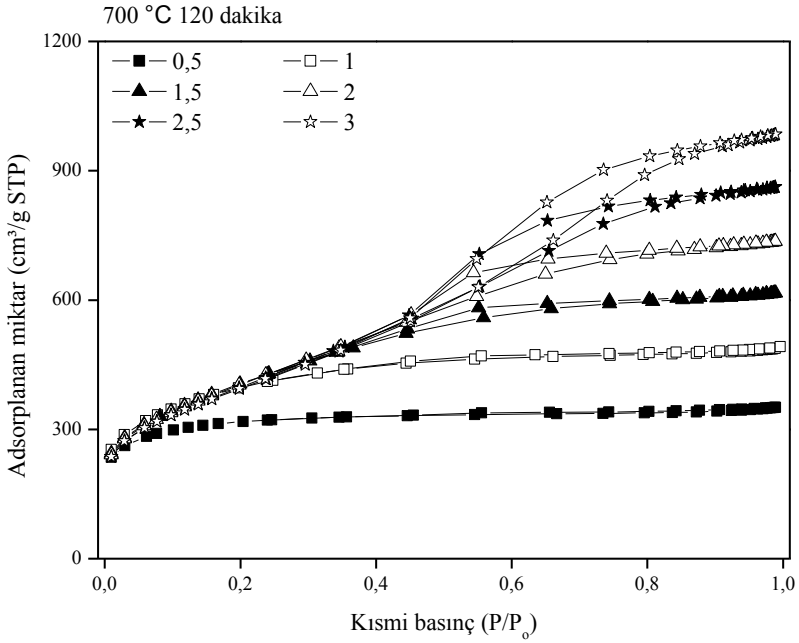
Şekil 5.47. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



Şekil 5.48. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



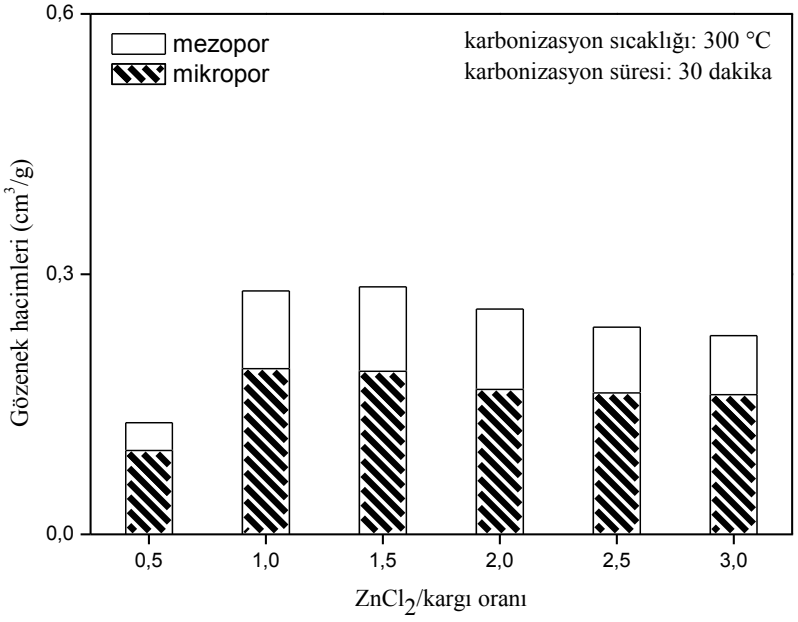
Şekil 5.49. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri



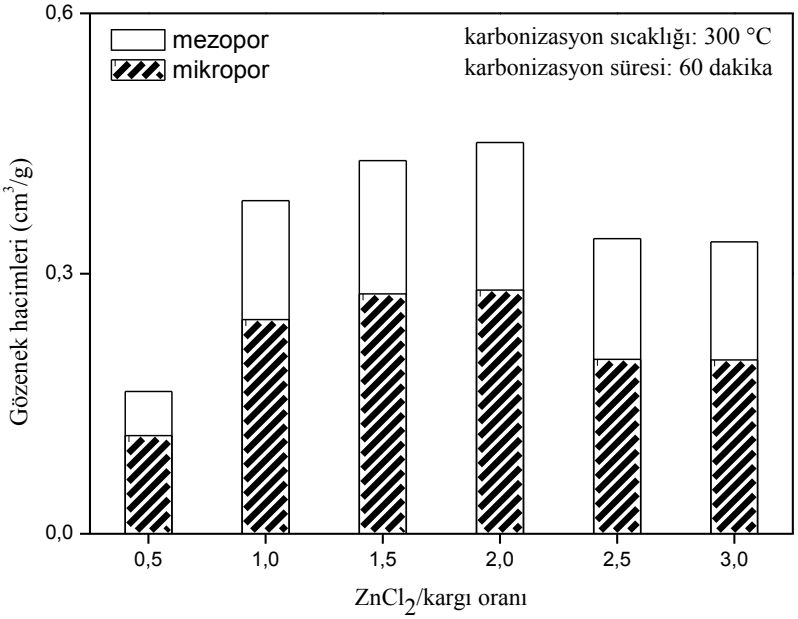
Şekil 5.50. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların 77 K'de N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri

5.2.4. Gözenek hacimleri

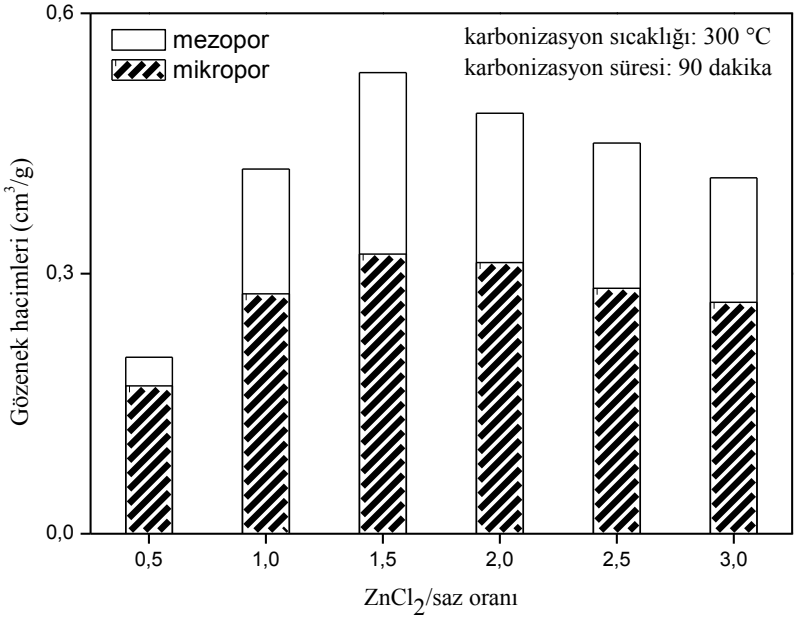
Şekil 5.51-5.54'lerde kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri verilmektedir. Karbonizasyon süresi arttığında, genellikle mikro ve mezo gözenek hacimlerinde bir artış gözlenmektedir. Örneğin, kargı 1,5 oranında $ZnCl_2$ ile aktive edildiğinde, 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon için sırasıyla, mikro gözenek hacmi 0,188, 0,277, 0,294 ve 0,311cm^3/g olurken, mezo gözenek hacmi 0,097, 0,153, 0,168 ve 0,250 cm^3/g oluyor. Diğer taraftan, karbonizasyon sıcaklığı 30 ve 120 dakika için $ZnCl_2$ oranı 1,5'e kadar arttığında, toplam gözenek hacmi artarken, karbonizasyon sıcaklığı 60 ve 90 dakika için $ZnCl_2$ oranı 2'ye kadar arttırıldığında toplam gözenek hacmi artıyor. Bu $ZnCl_2$ oranlarının daha fazla arttırılmasında ise gözenek hacimlerinde düşüşler görülüyor. Bu düşüşün nedeni olarak, yüksek oranlarda olan $ZnCl_2$'nin aktif olması için yeterli termal enerjinin sağlanmaması olduğu düşünülebilir ve ayrıca çinko ve klor iyonları ortamda arttığında birbirlerine olan etkileşimlerinden dolayı gözenek oluşumlarını da etkileyebilirler.



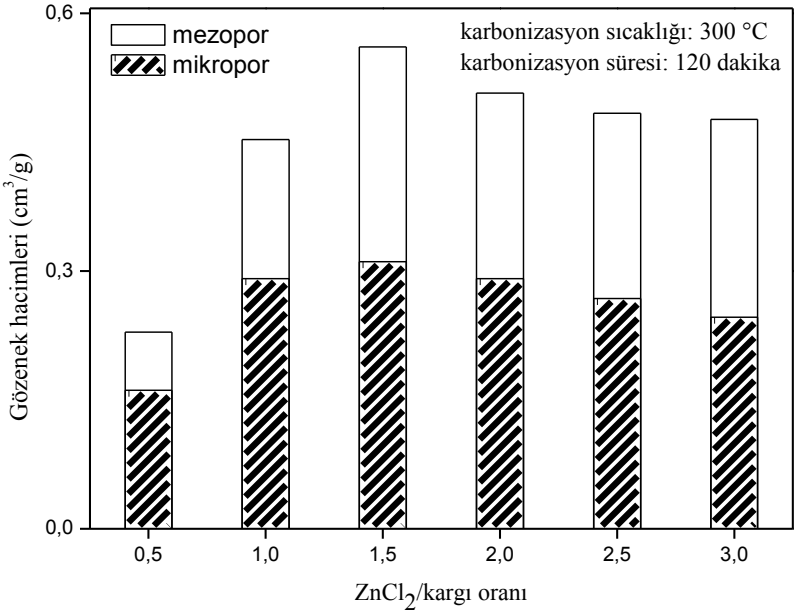
Şekil 5.51. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



Şekil 5.52. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri

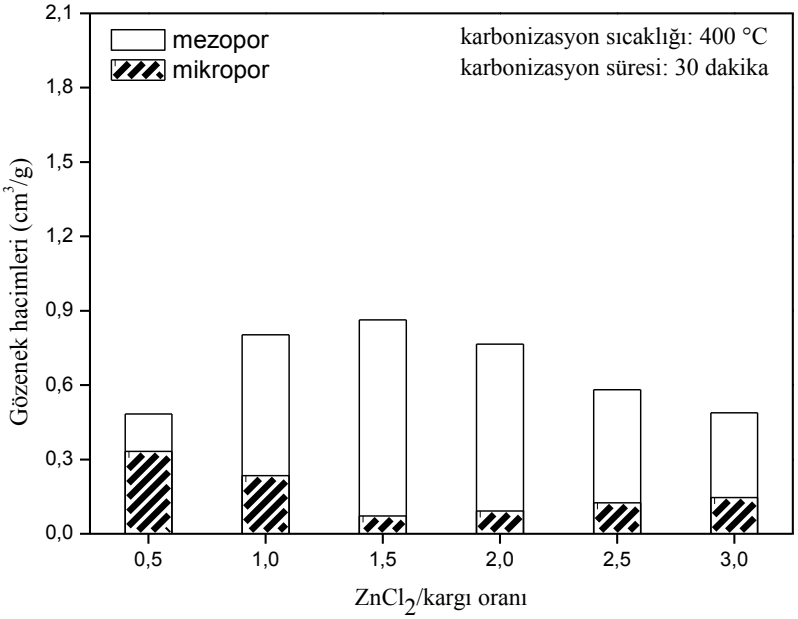


Şekil 5.53. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri

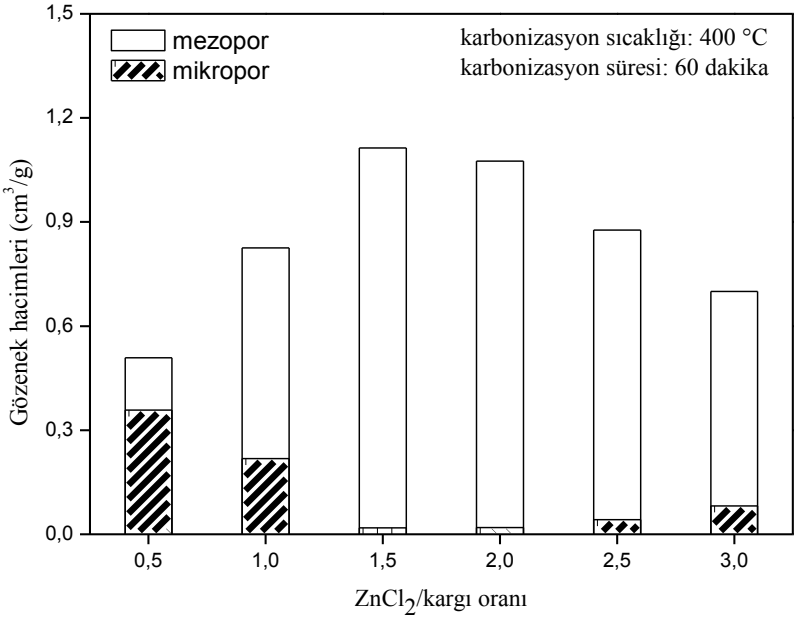


Şekil 5.54. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri

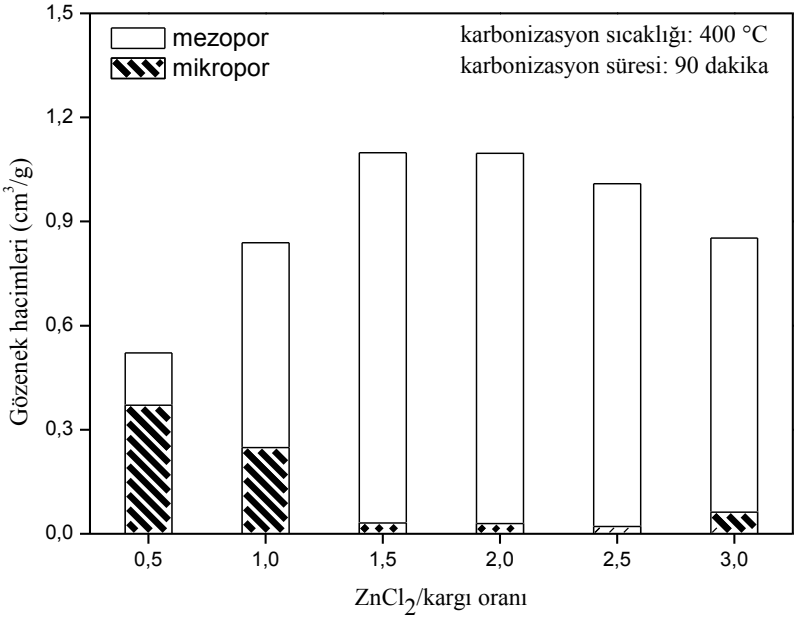
Şekil 5.55-5.58'lerde kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri verilmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi, $ZnCl_2$ /kargı oranı 1,5 veya 2'ye kadar arttığında, toplam gözenek hacmi artmakta iken, bu oranlardan daha yukarılara gidildikçe toplam gözenek hacminde düşüşler görülüyor. Ayrıca, $ZnCl_2$/kargı oranının artması mikro gözenek hacimlerini düşürürken, belli bir $ZnCl_2$/kargı oranından sonra mikro gözenek hacminde artmalar oluşuyor. Mikro gözenek hacimlerinin düşmesinin nedeni, $ZnCl_2$'nin mikro gözenekleri oyarak hacmini genişletmesi ve mikro gözeneklerin mezo gözeneklere dönüştürülmesi olabilir. Bununla beraber, yüksek $ZnCl_2$/kargı oranlarında mikro gözenek hacmindeki artmaların sebebi, $ZnCl_2$'nin yeni mikro gözenekler oluşturmaya başlaması olabilir. İlaveten, 400 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların toplam gözenek hacimleri, 300 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların gözenek hacimlerinden fazla iken, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça mikro gözenek hacimleri çoğunlukla azalmaktadır.



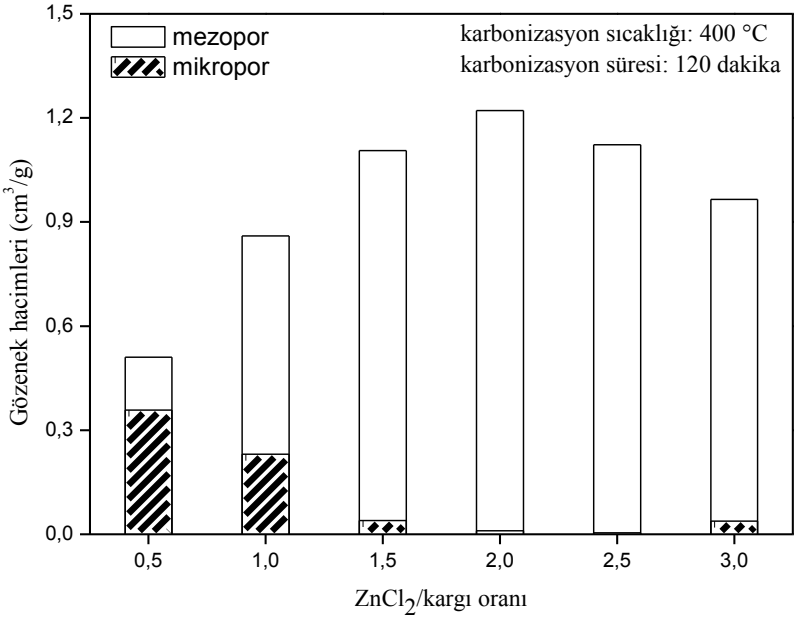
Şekil 5.55. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



Şekil 5.56. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri

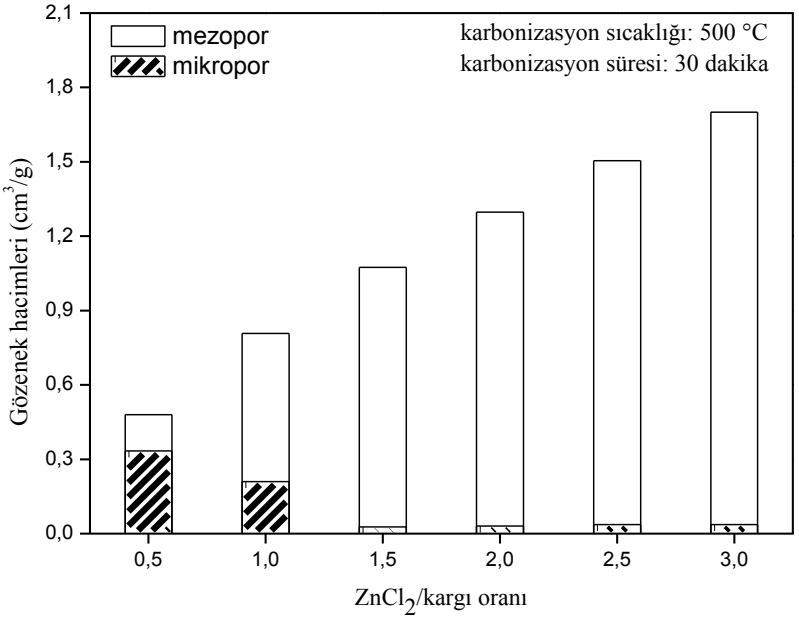


Şekil 5.57. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri

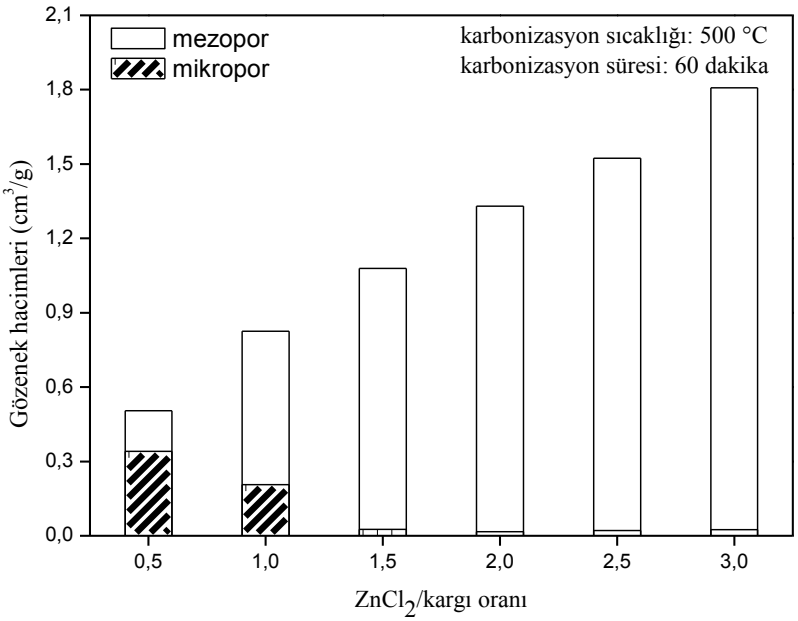


Şekil 5.58. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri

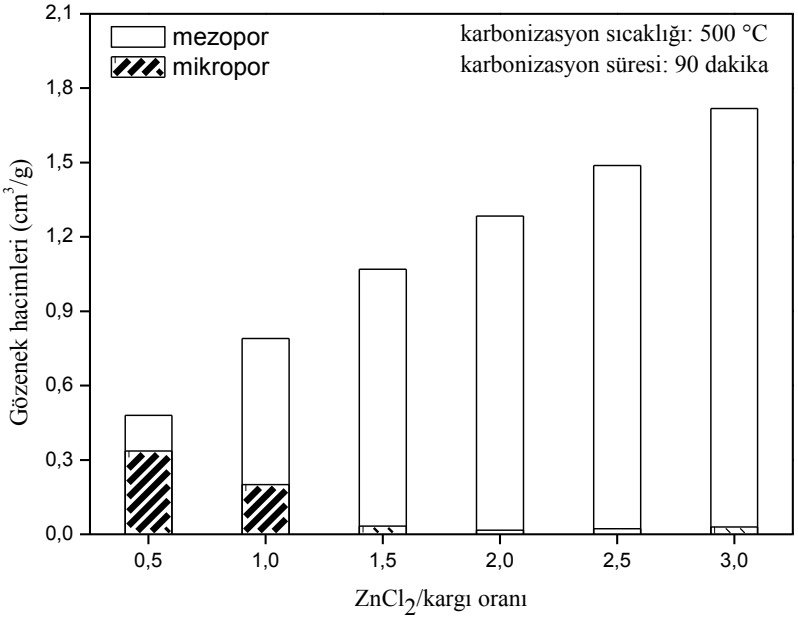
Şekil 5.59-5.62'lerde kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri verilmektedir. Grafiklerden, $ZnCl_2$ /kargı oranı arttığında, aktif karbonları mezo gözenek hacimlerinin arttığı ve mikro gözenek hacimlerinin azaldığı açıktır. Yani, $ZnCl_2$ mikro gözenekleri oyarak hacmini genişletiyor ve mikro gözenekler mezo gözeneklere dönüşüyor. Ayrıca, 500 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların mezo gözenek hacimlerinin, 400 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların mezo gözenek hacimlerinden daha fazla olduğu aşikârdır.



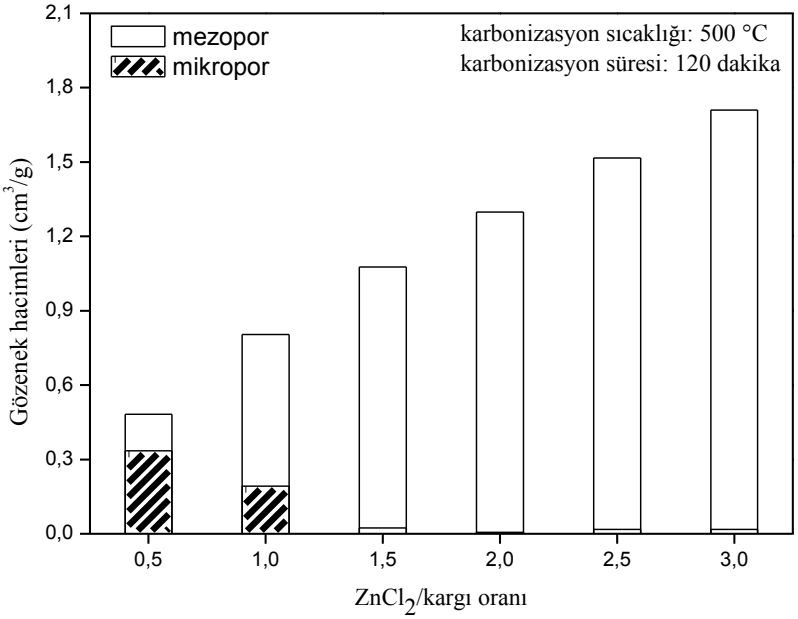
Şekil 5.59. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



Şekil 5.60. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



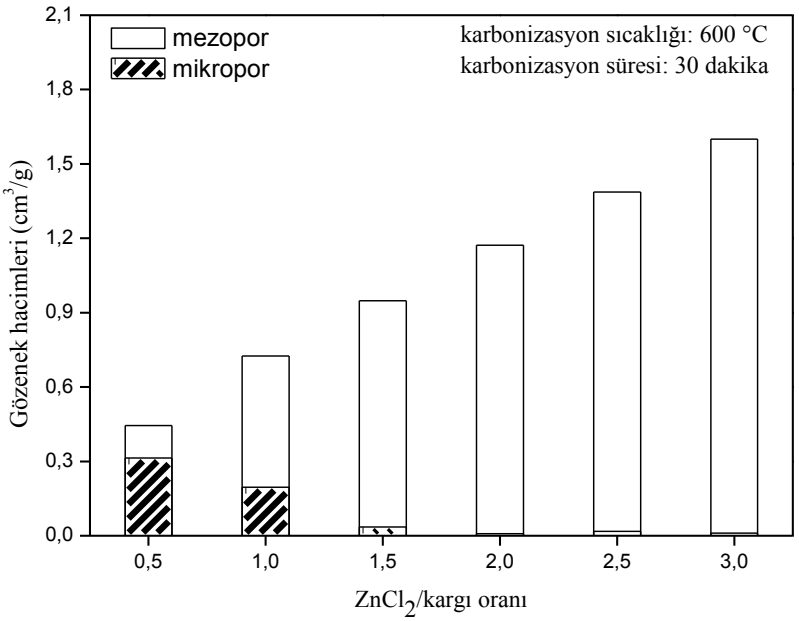
Şekil 5.61. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



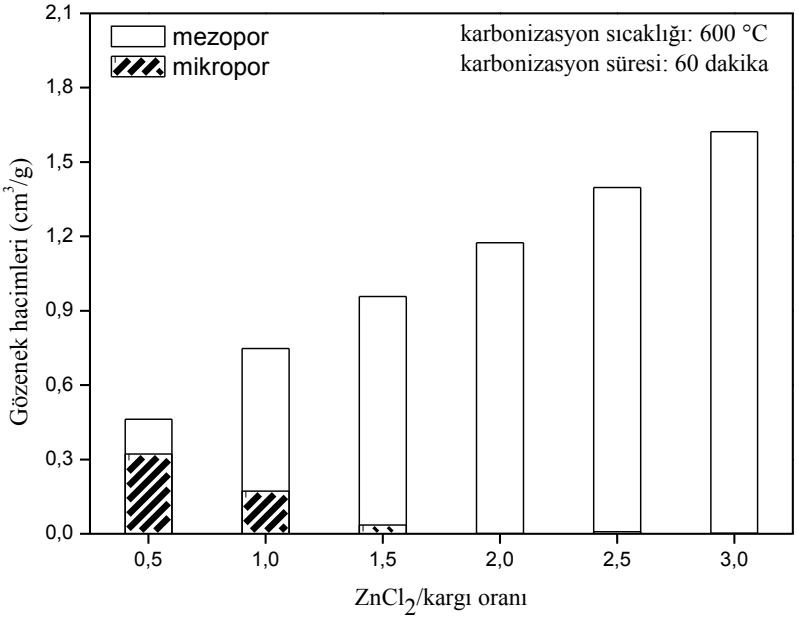
Şekil 5.62. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri

Şekil 5.63-5.66'larda kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri verilmektedir. Grafiklerden, $ZnCl_2$ /kargı oranı arttığında, aktif karbonları mezo gözenek hacimlerinin arttığı ve mikro gözenek hacimlerinin azaldığı görülmektedir. $ZnCl_2$ mikro gözenekleri oyarak hacmini genişletiyor ve mikro gözenekler mezo gözeneklere dönüşüyor. Ayrıca, 600 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların toplam gözenek hacimlerinin, 500 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların toplam gözenek hacimlerinden daha az olduğu görülmektedir. Kargı başlangıç maddesi için, karbonizasyon sıcaklığı 500 °C'tan 600 °C'a arttırıldığında, gözeneklerinde azda olsa bozulmaların olabileceği ve bunun aktif karbondaki gözenek hacimlerini azalttığı şeklinde açıklanabilir. Örnek olarak, $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 alındığında, karbonizasyon sıcaklığı 500 °C'ta 30 dakika için toplam gözenek hacmi 1,074 cm^3/g iken, karbonizasyon sıcaklığı 600 °C'ta 30 dakika için toplam gözenek hacmi 0,947 cm^3/g'a düşmüştür. Karbonizasyon sıcaklığı 500 °C'ta 60 dakika için ise toplam gözenek hacmi 1,079 cm^3/g iken, karbonizasyon sıcaklığı 600 °C'ta 60 dakika için toplam gözenek hacmi 0,957 cm^3/g'a düşmüş. Karbonizasyon

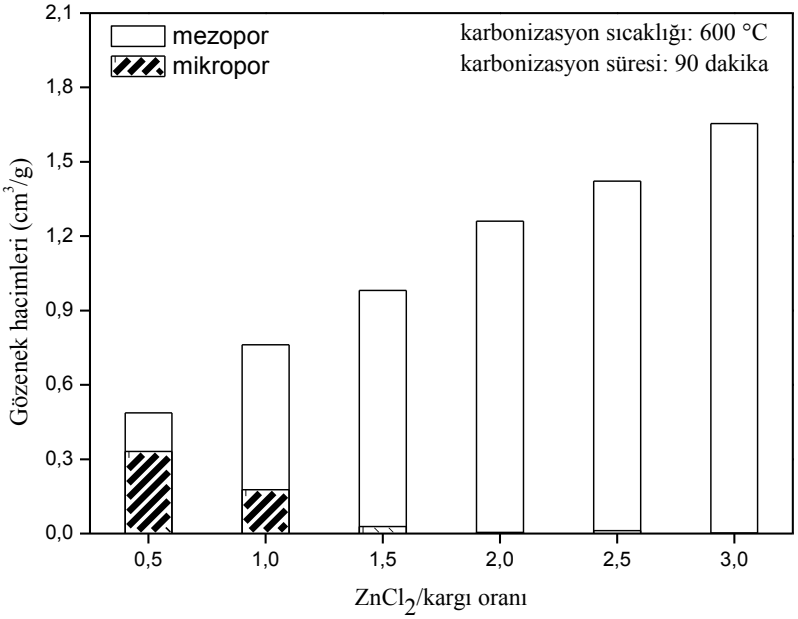
sıcaklığı 500 °C'ta 90 dakika için ise toplam gözenek hacmi 1,069 cm^3/g iken, karbonizasyon sıcaklığı 600 °C'ta 90 dakika için toplam gözenek hacmi 0,980 cm^3/g'a düşmüş. Son olarak, karbonizasyon sıcaklığı 500 °C'ta 120 dakika için ise toplam gözenek hacmi 1,077 cm^3/g iken, karbonizasyon sıcaklığı 600 °C'ta 120 dakika için toplam gözenek hacmi 1,052 cm^3/g'a düşmüştür.



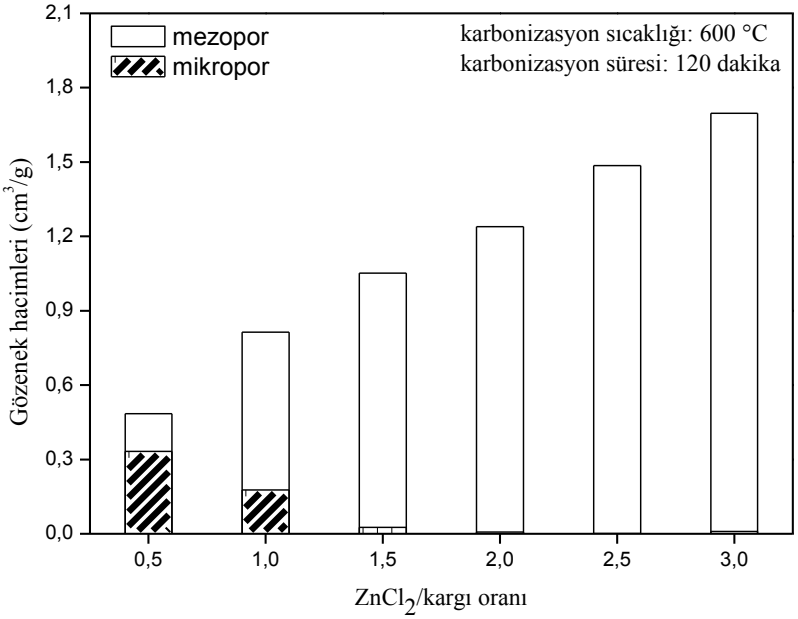
Şekil 5.63. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



Şekil 5.64. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



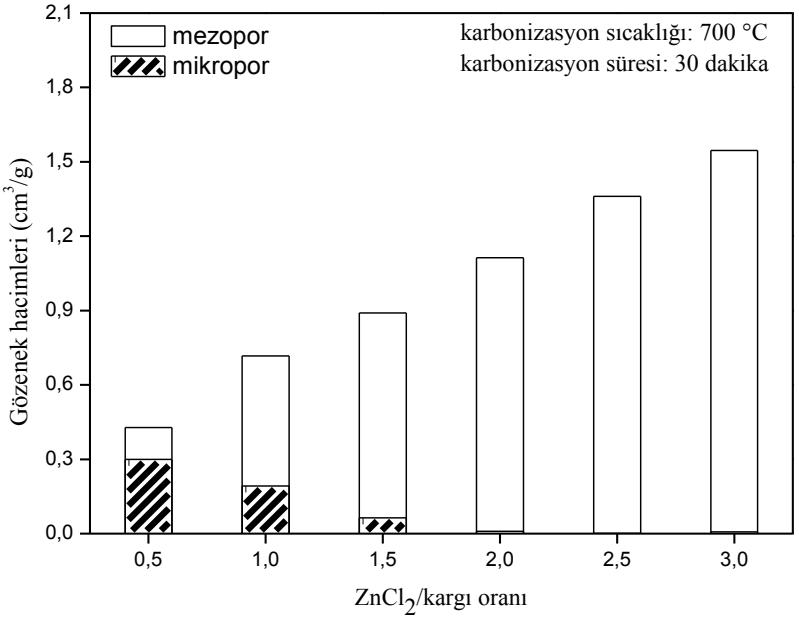
Şekil 5.65. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



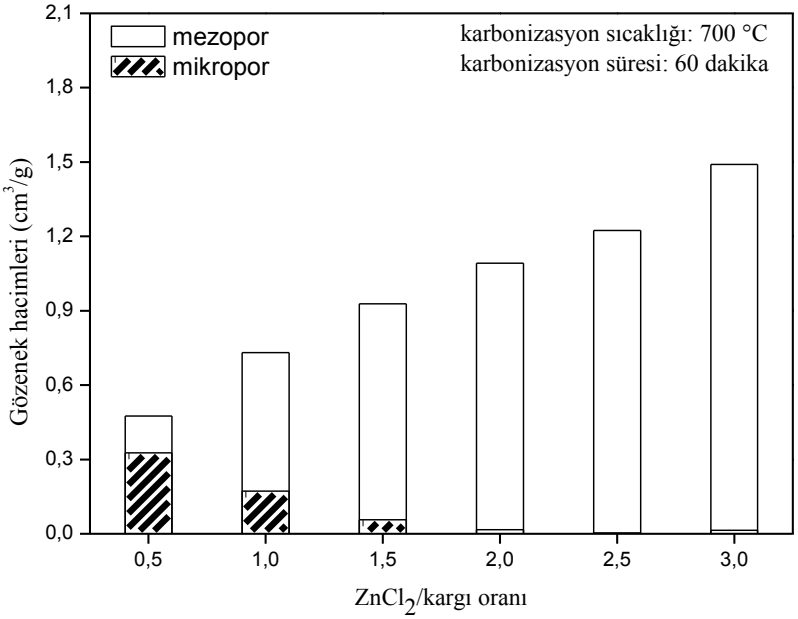
Şekil 5.66. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri

Şekil 5.67-5.70'lerde kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta sırasıyla 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri verilmektedir. Şekil 5.63-5.66'lardakine benzer şekilde, $ZnCl_2$ /kargı oranı arttığında, aktif karbonları mezo gözenek hacimlerinin arttığı ve mikro gözenek hacimlerinin azaldığı görülmektedir. $ZnCl_2$ mikro gözenekleri oyarak hacmini genişletiyor ve mikro gözenekler mezo gözeneklere dönüşüyor. Ayrıca, 700 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların toplam gözenek hacimlerinin, 600 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların toplam gözenek hacimlerinden daha az olduğu görülmektedir. Kargı başlangıç maddesi için, karbonizasyon sıcaklığı 600 °C'tan 700 °C'a arttırıldığında, gözeneklerinde azda olsa bozulmaların olabileceği ve bunun aktif karbondaki gözenek hacimlerini azalttığı şeklinde açıklanabilir. Örnek olarak, $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 alındığında, karbonizasyon sıcaklığı 600 °C'ta 30 dakika için toplam gözenek hacmi 0,947 cm^3/g iken, karbonizasyon sıcaklığı 700 °C'ta 30 dakika için toplam gözenek hacmi 0,891 cm^3/g'a düşmüştür. Karbonizasyon sıcaklığı 600 °C'ta 60 dakika için ise toplam gözenek hacmi 0,957 cm^3/g iken, karbonizasyon sıcaklığı 700 °C'ta 60 dakika için toplam gözenek

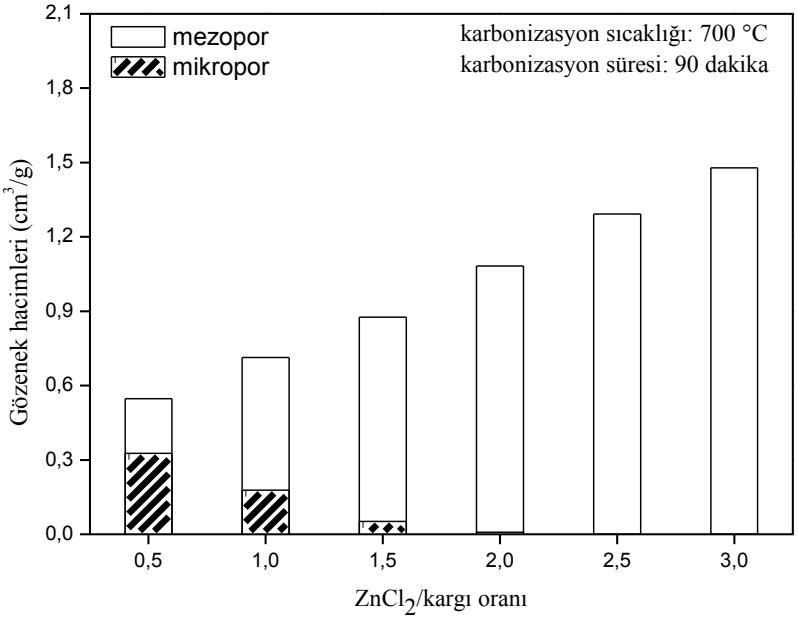
hacmi 0,928 cm^3/g'a düşmüş. Karbonizasyon sıcaklığı 600 °C'ta 90 dakika için ise toplam gözenek hacmi 0,980 cm^3/g iken, karbonizasyon sıcaklığı 700 °C'ta 90 dakika için toplam gözenek hacmi 0,876 cm^3/g'a düşmüş. Son olarak, karbonizasyon sıcaklığı 600 °C'ta 120 dakika için ise toplam gözenek hacmi 1,052 cm^3/g iken, karbonizasyon sıcaklığı 700 °C'ta 120 dakika için toplam gözenek hacmi 0,951 cm^3/g'a düşmüştür. Bundan dolayı, kargı başlangıç maddesi için, karbonizasyon sıcaklığı 500 °C'tan daha yukarılara arttırıldığında, toplam gözenek hacimlerinin sıcaklık ve $ZnCl_2$ tarafından azaltılmaya başlandığı söylenebilir.



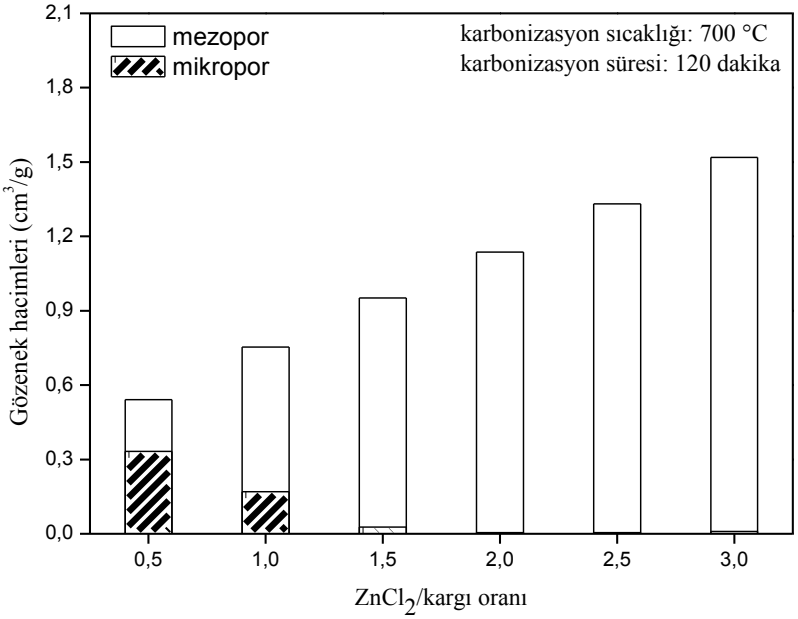
Şekil 5.67. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 30 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



Şekil 5.68. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 60 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



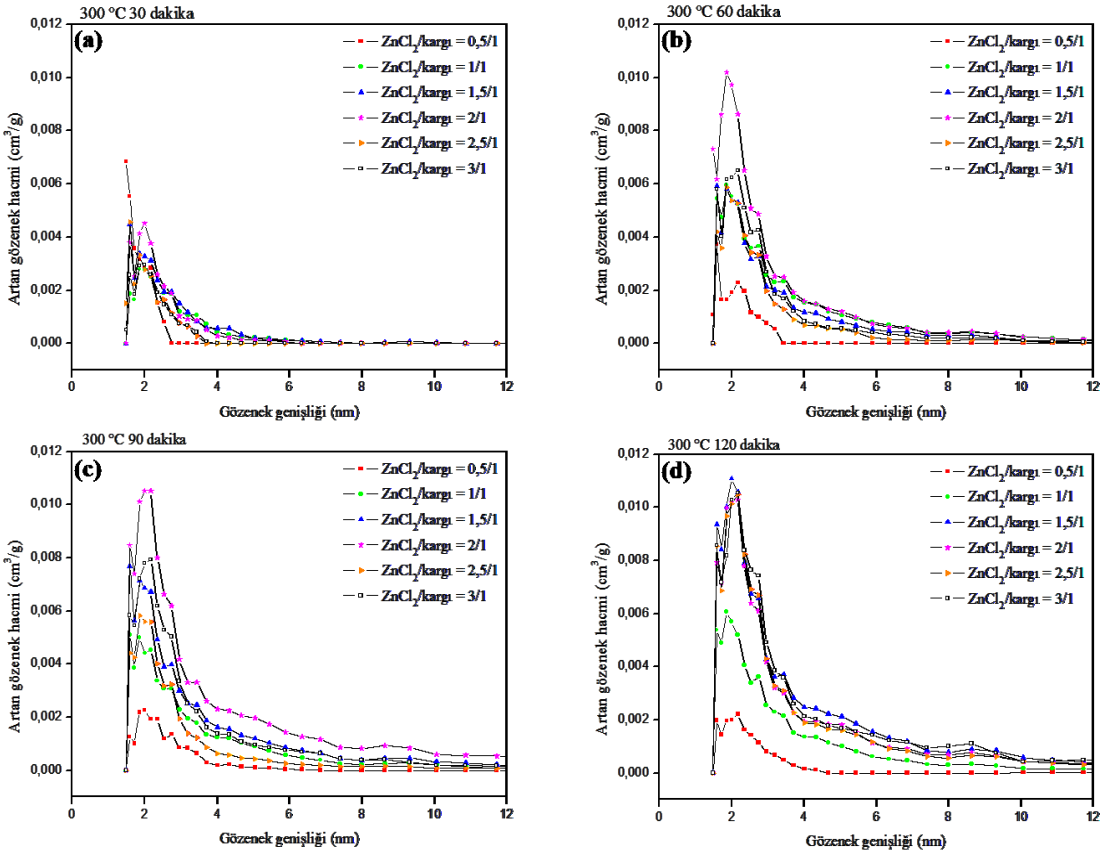
Şekil 5.69. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 90 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri



Şekil 5.70. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 120 dakika karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların mikro gözenek ve mezo gözenek hacimleri

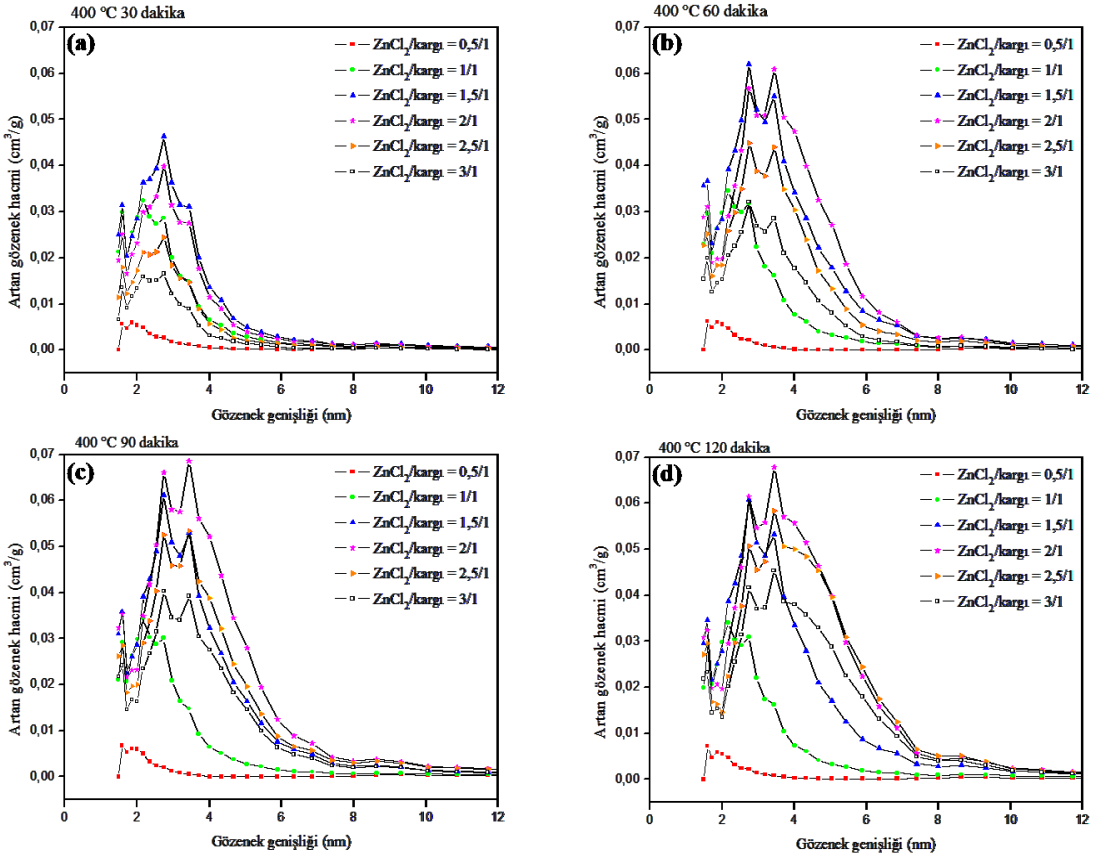
5.2.5. Gözenek dağılımı

Şekil 5.71, kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimlerini (Gözenek dağılımları) verir. Şekildende görüldüğü gibi, karbonizasyon süresi 30 dakikadan 60 dakikaya arttığında, özellikle $ZnCl_2$ oranları 1, 1,5, 2, 2,5 ve 3 olan aktif karbonların gözenek hacimleri artmaktadır. Bu sonuçlar, şekil 5.51-5.54'lerdeki gözenek hacimleri ile uyumludur. Ayrıca, artan gözenek hacimlerinin en yüksek olduğu değerler 1,5 ve 3 nm arasında bulunmaktadır.



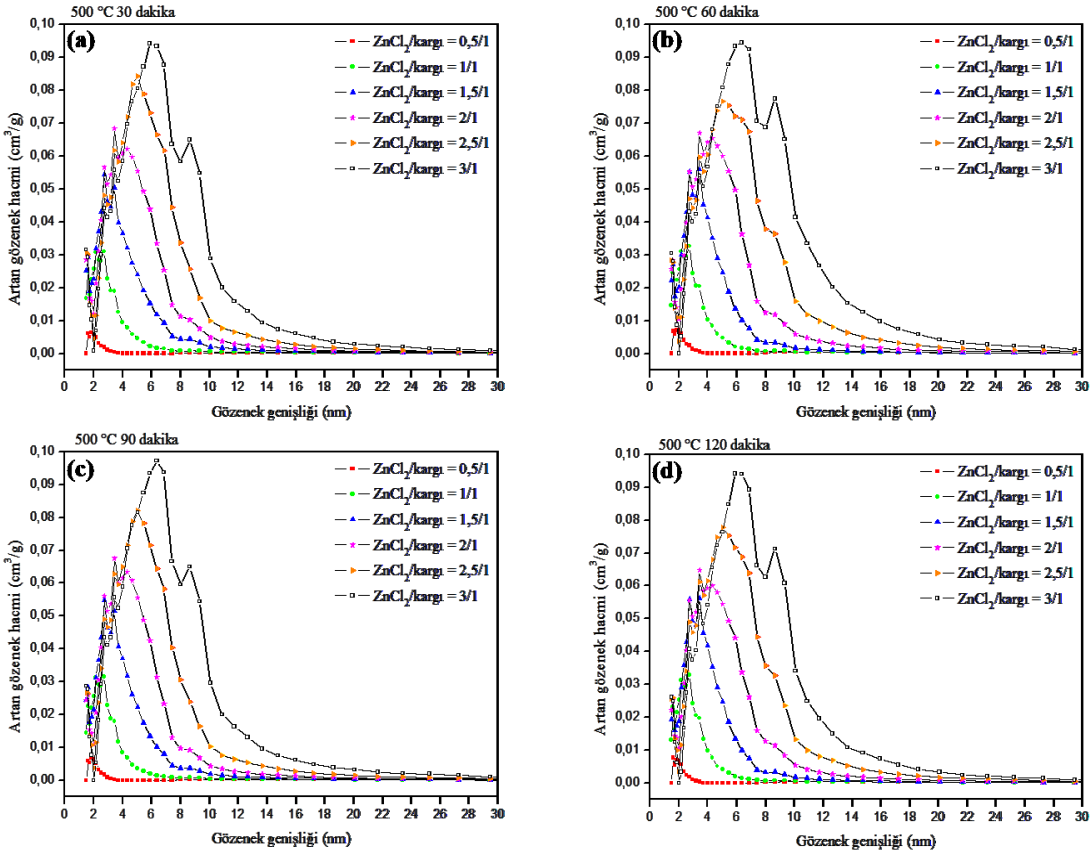
Şekil 5.71. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 300 °C'ta **a)** 30 dakika, **b)** 60 dakika, **c)** 90 dakika ve **d)** 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)

Şekil 5.72, kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimlerini (Gözenek dağılımları) verir. 400 °C'ta 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişlikleri, 300 °C'ta 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliklerinden daha fazladır. $ZnCl_2$ oranları 1 ve üzeri olan 400 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişlikleri, $ZnCl_2$ oranları 1 ve üzeri olan 300 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliklerine göre daha fazla mezo kısma kaydığı ve daha fazla mezo gözenek hacmine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar şekil 5.55-5.58'lerdeki gözenek hacimleri ile uyumludur.



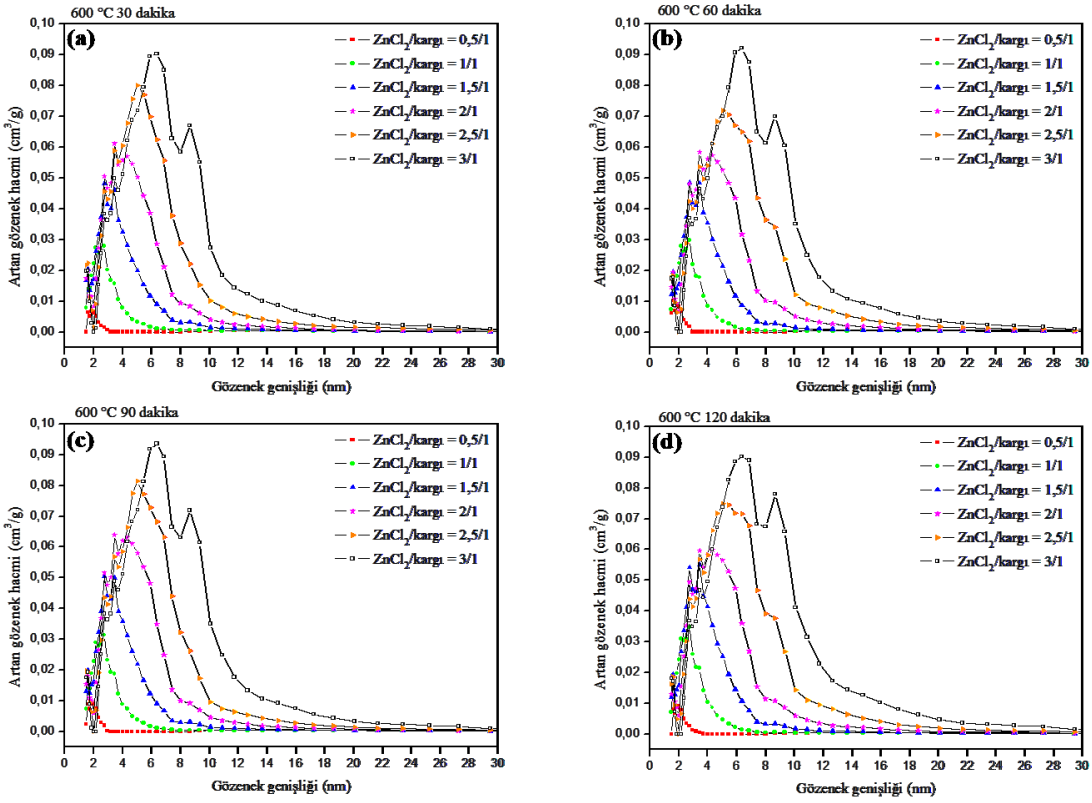
Şekil 5.72. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 400 °C'ta **a)** 30 dakika, **b)** 60 dakika, **c)** 90 dakika ve **d)** 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)

Şekil 5.73, kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimlerini (Gözenek dağılımları) verir. $ZnCl_2$ oranları 1,5 ve üzeri olan 500 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişlikleri, $ZnCl_2$ oranları 1,5 ve üzeri olan 400 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliklerine göre daha fazla artmıştır ve daha fazla mezo gözenek hacmine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, şekil 5.55-5.62'lerdeki gözenek hacimleri ile uyumludur. Ayrıca, şekil 5.73'de, $ZnCl_2$ /kargı oranı arttığında, aktif karbonları mezo gözenek hacimlerinin arttığı görülmektedir; burada $ZnCl_2$'in aktif karbonun gözeneklerinin oyarak genişlettiği söylenebilir.



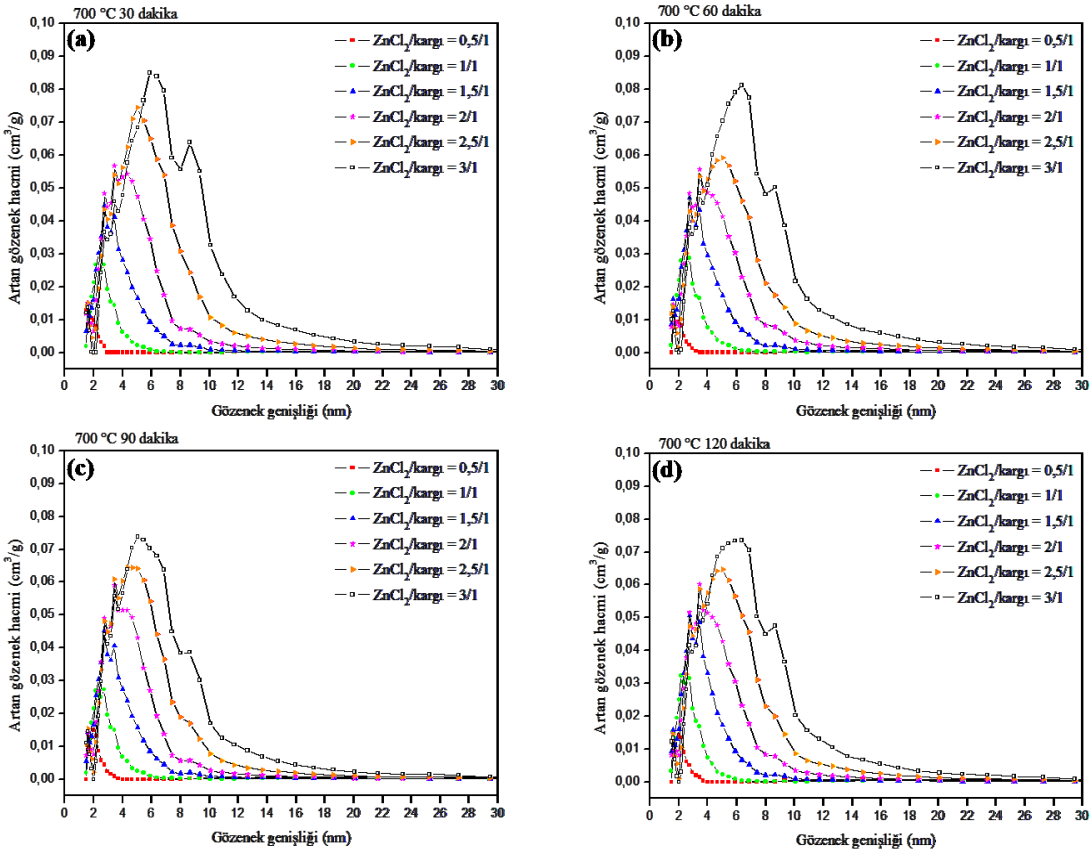
Şekil 5.73. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 500 °C'ta **a)** 30 dakika, **b)** 60 dakika, **c)** 90 dakika ve **d)** 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)

Şekil 5.74, kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimlerini (Gözenek dağılımları) verir. Şekil 5.74'de, $ZnCl_2$ /kargı oranı arttığında, aktif karbonları mezo gözenek hacimlerinin arttığı görülmektedir; burada $ZnCl_2$'in aktif karbonun gözeneklerinin oyarak genişlettiği söylenebilir. Şekil 5.73'teki sonuçlara benzer fakat tek fark artan gözenek hacminin düşmesidir.



Şekil 5.74. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 600 °C'ta **a)** 30 dakika, **b)** 60 dakika, **c)** 90 dakika ve **d)** 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)

Son olarak, Şekil 5.75, kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimlerini (Gözenek dağılımları) verir. Şekil 5.75'te de, $ZnCl_2$ /kargı oranı arttığında, aktif karbonları mezo gözenek hacimlerinin arttığı görülmektedir; burada $ZnCl_2$'in aktif karbonun gözeneklerinin oyarak genişlettiği söylenebilir. Şekil 5.73-5.74'lerdeki sonuçlara benzer fakat tek fark artan gözenek hacminin daha da düşmesidir.



Şekil 5.75. Kargıya farklı $ZnCl_2$ oranı uygulandığında 700 °C'ta **a)** 30 dakika, **b)** 60 dakika, **c)** 90 dakika ve **d)** 120 dakika karbonizasyonlar ile elde edilen aktif karbonların gözenek genişliğine karşı artan gözenek hacimleri (Gözenek dağılımları)

5.2.6. Elemental analiz

Karbonizasyon sıcaklığının, karbonizasyon süresinin ve aktifleyici madde oranının yöntem III ile elde edilen aktif karbonların elemental içeriklerini nasıl etkilediğini incelemek için elemental analizleri yapıldı. Tablo 5.11 farklı karbonizasyon sıcaklıkları ve sürelerde $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 alındığında üretilen aktif karbonların ve *Arundo donax*'ın elemental analiz sonuçlarını verirken, Tablo 5.12 farklı $ZnCl_2$/kargı oranlarında 400 °C karbonizasyon sıcaklığında elemental analiz sonuçlarını sunmaktadır. Oksijen içerikleri farktan hesaplanmıştır. Aktivasyon ve karbonizasyon sonrası elde edilen aktif karbonların karbon içerikleri, *Arundo donax*'ın karbon içeriği (% 42,59) ile karşılaştırıldığında önemli bir şekilde arttıkları Tablo 5.11'de görülmektedir. Beklendiği gibi hidrojen ve oksijen içerikleri ise azalma eğilimleri

göstermektedir. *Arundo donax*'ın aktivasyon ve karbonizasyon işlemlerinde bozunmasından dolayı, hidrojen ve oksijen gibi uçucu bileşimler elde edilen aktif karbonlardan uzaklaşarak ayrılır ve elde edilen aktif karbonların karbon bakımından zengin olmasını neden olur. Genel olarak, Tablo 5.11'de karbonizasyon sıcaklığı arttığında karbon içeriği artarken, hidrojen ve oksijen içerikleri azalmaktadır. Ayrıca, Tablo 5.12'de aktifleyici madde oranları değiştiğinde elemental içeriklerinde aşırı değişimler görülmemektedir.

Tablo 5.11. Farklı karbonizasyon sıcaklıkları ve sürelerde $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 alındığında üretilen aktif karbonların ve *Arundo donax*'ın elemental analiz sonuçları (Oksijen farktan hesaplandı)

Karbonizasyon sıcaklığı (°C)	Karbonizasyon süresi (dakika)	İçerik yüzdesi (%)				
		C	N	H	S	O
Arundo donax	-	42,59	0,81	5,97	2,07	48,56
300	30	67,08	0.97	3,63	2,06	26,26
	60	68,56	1,10	3,17	1,98	25,19
	90	67,46	1,12	2,97	2,02	26,43
	120	66,89	1,30	3,10	2,07	26,64
	150	70,42	1,59	2,85	2,03	23,11
	180	70,38	1,56	2,97	2,06	23,03
400	30	70,02	0,95	2,95	2,04	24,04
	60	72,66	1,41	2,75	2,08	21,10
	90	74,80	1,60	2,84	2,06	18,70
	120	76,75	1,76	2,92	2,11	16,46
500	30	78,02	1,63	1,93	2,11	16,31
	60	78,51	1,50	1,68	2,10	16,21
	90	77,09	1,49	1,42	2,08	17,92
	120	76,72	1,56	1,25	2,05	18,42
600	30	78,77	1,25	1,33	2,11	16,54
	60	79,07	1,25	0,98	2,11	16,59
	90	77,91	1,39	0,91	2,13	17,66
	120	74,50	1,61	0,65	2,13	21,11
	150	74,75	1,69	0,59	2,07	20,90
	180	73,55	1,67	0,53	2,06	22,19
700	30	83,37	1,67	1,05	2,13	11,78
	60	83,97	1,23	0,44	2,07	12,29
	90	81,70	1,40	0,50	2,06	14,34
	120	78,83	1,79	0,49	2,10	16,79

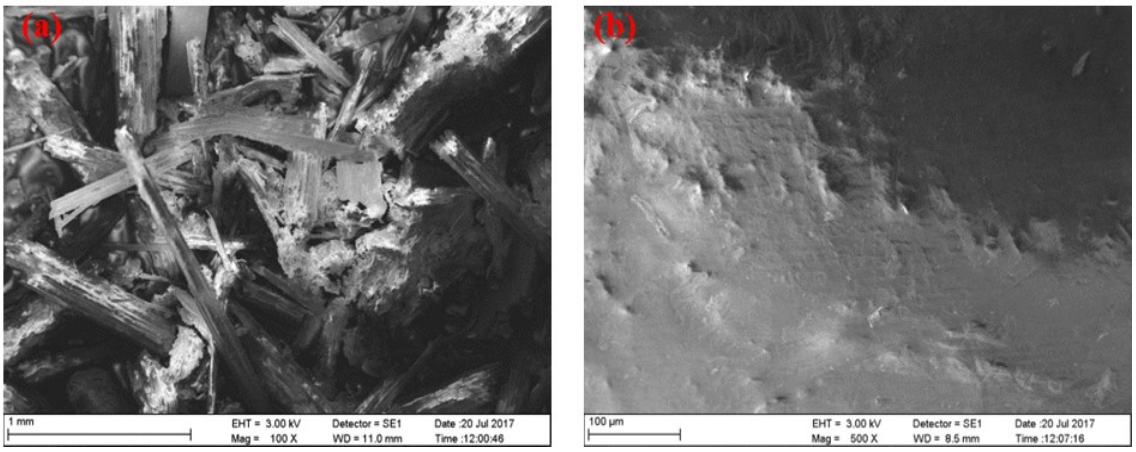
Tablo 5.12. Farklı $ZnCl_2$/kargı oranlarında 400 °C karbonizasyon sıcaklığında elemental analiz sonuçları (Oksijen farktan hesaplandı)

Karbonizasyon süresi (dakika)	$ZnCl_2$/kargı oranı (a/a)	İçerik yüzdesi (%)				
		C	N	H	S	O
60	0,5	71,57	1,45	2,96	2,00	22,02
	1	73,66	1,46	2,29	2,06	20,53
	1,5	72,66	1,41	2,75	2,08	21,10
	2	71,57	1,10	2,39	2,04	22,90
	2,5	73,76	1,55	2,06	2,04	20,59
	3	70,53	0,89	2,30	2,07	24,21
90	0,5	77,44	1,61	2,14	2,02	16,79
	1	79,19	1,72	1,90	2,01	15,18
	1,5	74,80	1,60	2,84	2,06	18,70
	2	79,08	1,46	1,85	2,01	15,60
	2,5	78,67	1,26	2,00	1,99	16,08
	3	75,24	1,08	2,08	2,02	19,58

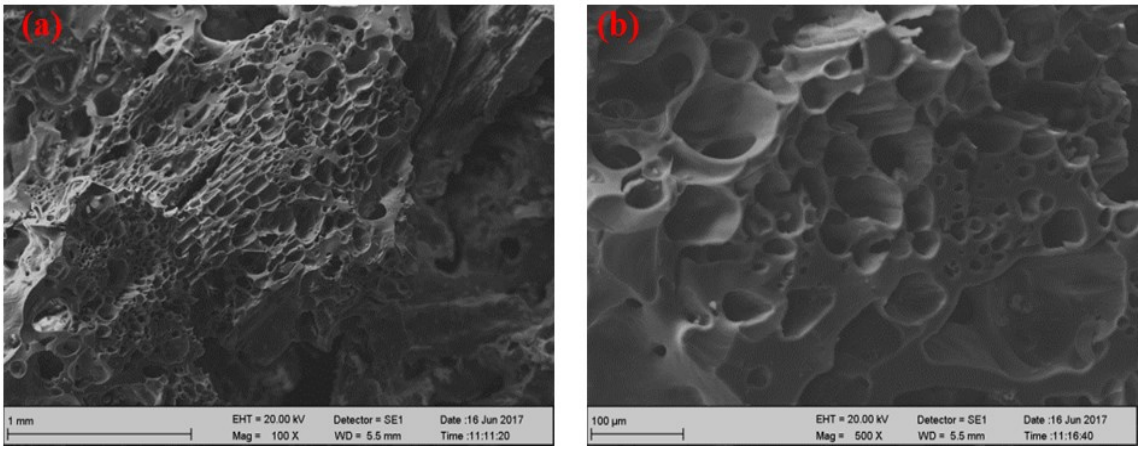
5.2.7. Taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri

Karbonizasyon sıcaklığının ve süresinin, yöntem III ile elde edilen aktif karbonun yüzey fiziksel morfolojilerini nasıl etkilediğini incelemek için taramalı elektron mikroskopu tekniği kullanıldı. Elde edilen aktif karbonların en yüksek yüzey alanları, aktifleyici madde oranı 1,5 olarak alındığında gözlenmişti, bundan dolayı yöntem III ile aktifleyici madde oranı 1,5 alınıp tüm karbonizasyon sıcaklıklarında ve sürelerinde elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri şekil 5.77-5.96'larda verilmektedir. Şekil 5.76, başlangıç maddesi olan kargının 100 ve 500 kat büyütülmüş olan SEM görüntülerini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, kargının yüzeyi üzerinde gözenekler yok denecek kadar azdır. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta 30, 60, 90 ve 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların 100 ve 500 kat büyütülmüş SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 5.77-5.80'lerde görülmektedir. 300 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların yüzeylerinde çeşitli büyüklükte gözenekler oluşmuş ve gözenekler gelişme aşamasında gibidir. Şekil 5.81-5.84'lerde görüldüğü gibi, 400 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların gözenekleri, 300 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların gözenekleri göre daha genişlemiş

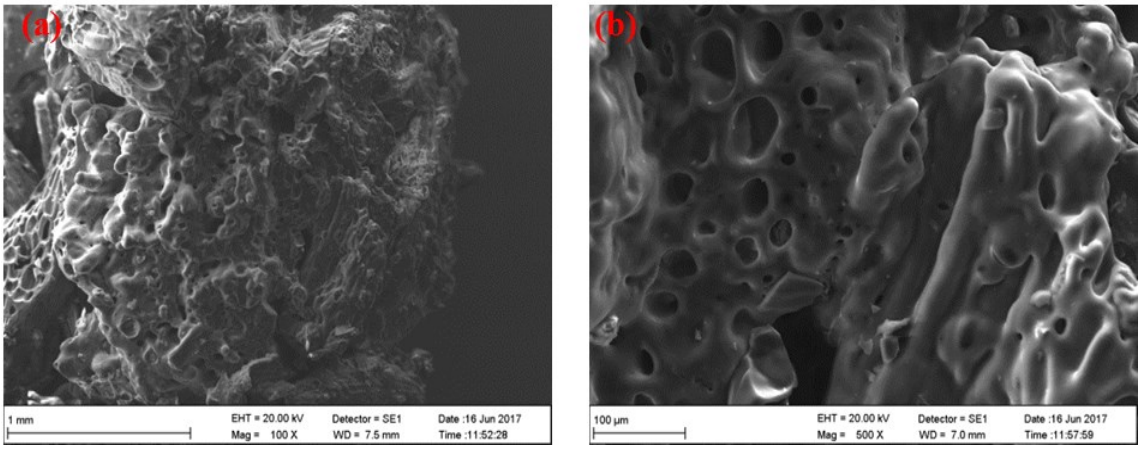
gibidir. Bununla birlikte, Şekil 5.85-5.88'lerde görüldüğü gibi, 500 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların gözenekliliği, 400 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonlarınkinden daha fazla görülmektedir. Şekil 5.89-5.96'larda verilen 600 ve 700 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri, 500 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri gibi iyi gelişmiş gözenek yapılı düzensiz ve heterojenik bir yüzey morfolojisine sahiptir. Fakat 500, 600 ve 700 °C karbonizasyon ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüleri arasında bir karşılaştırma yapmak zordur.



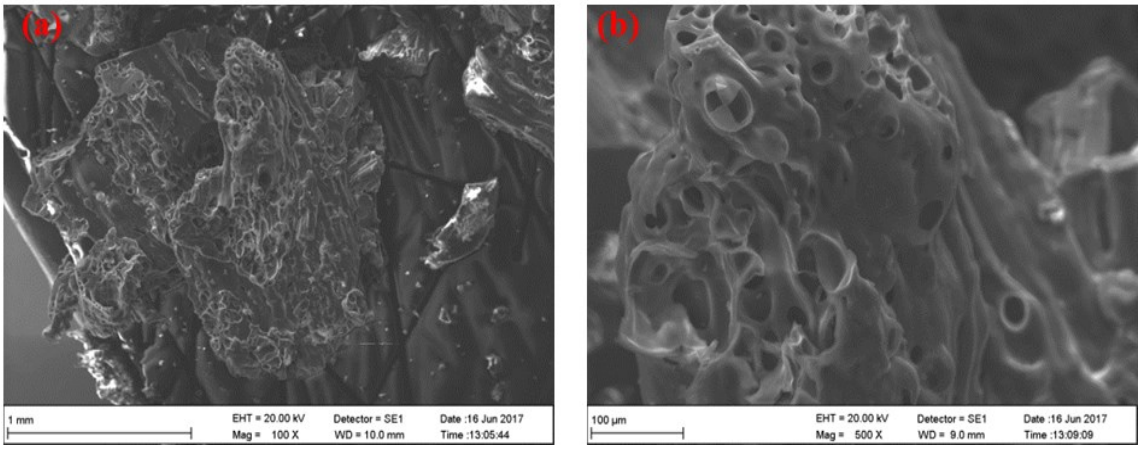
Şekil 5.76. Başlangıç maddesi olan kargının SEM görüntüleri (a) 100x ve (b) 500x



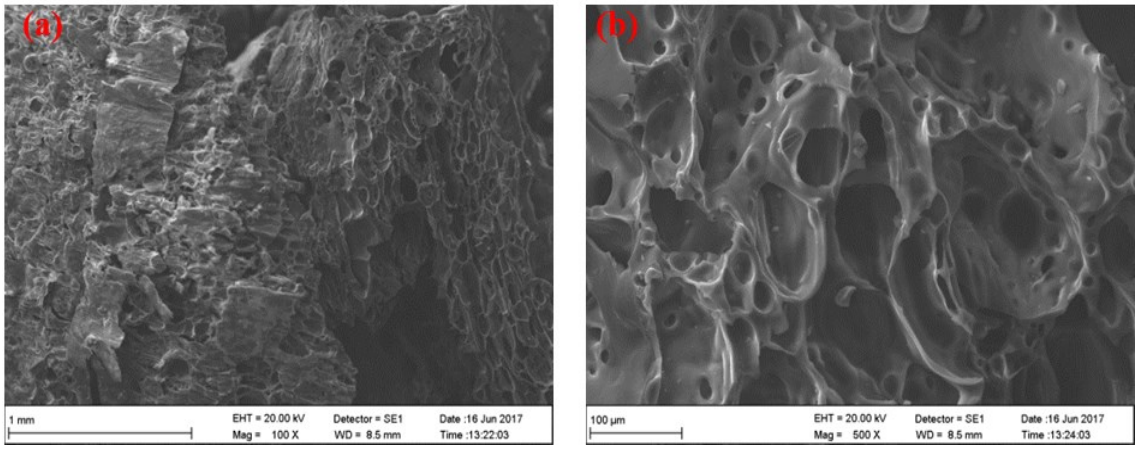
Şekil 5.77. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



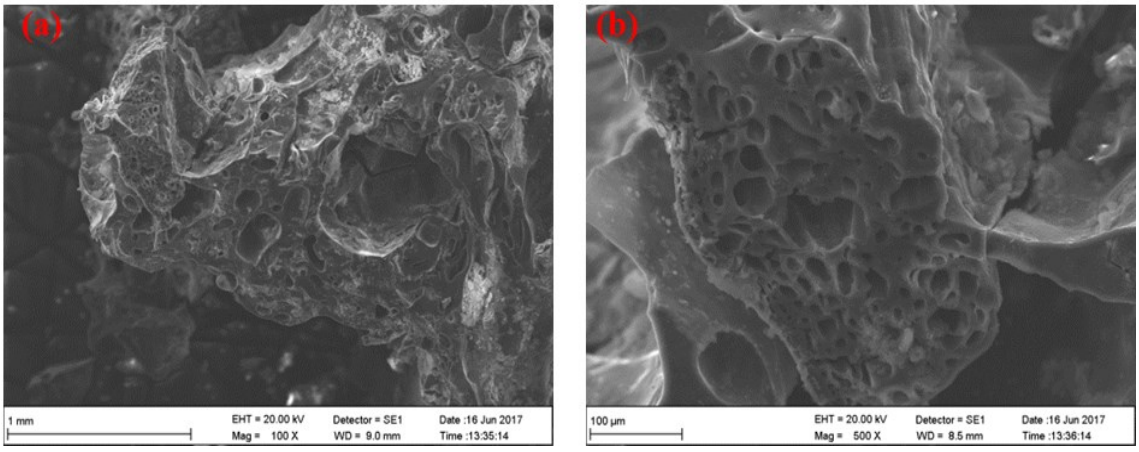
Şekil 5.78. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



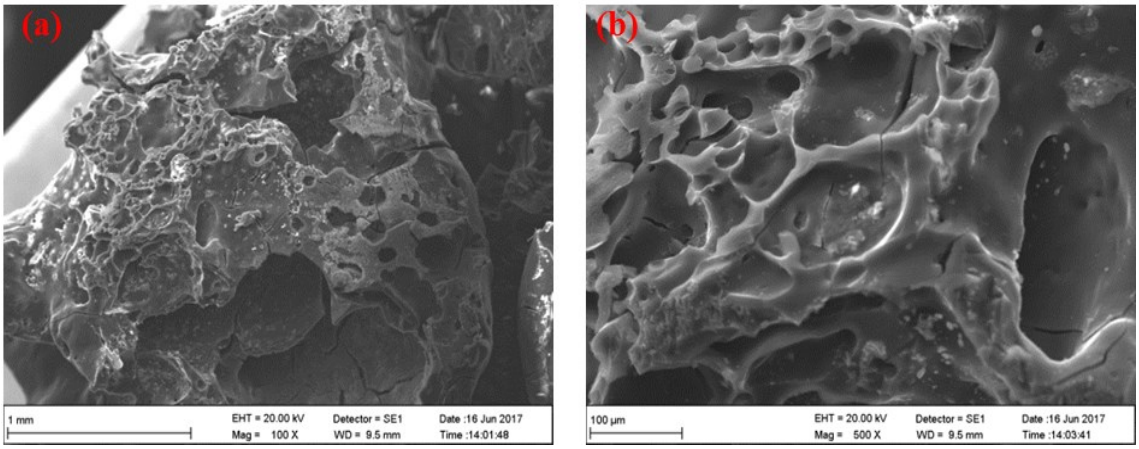
Şekil 5.79. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



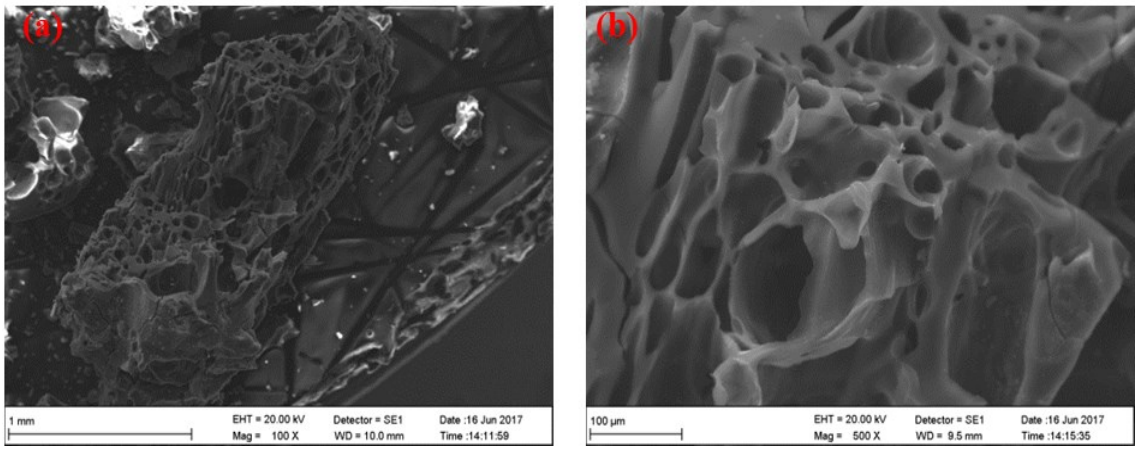
Şekil 5.80. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



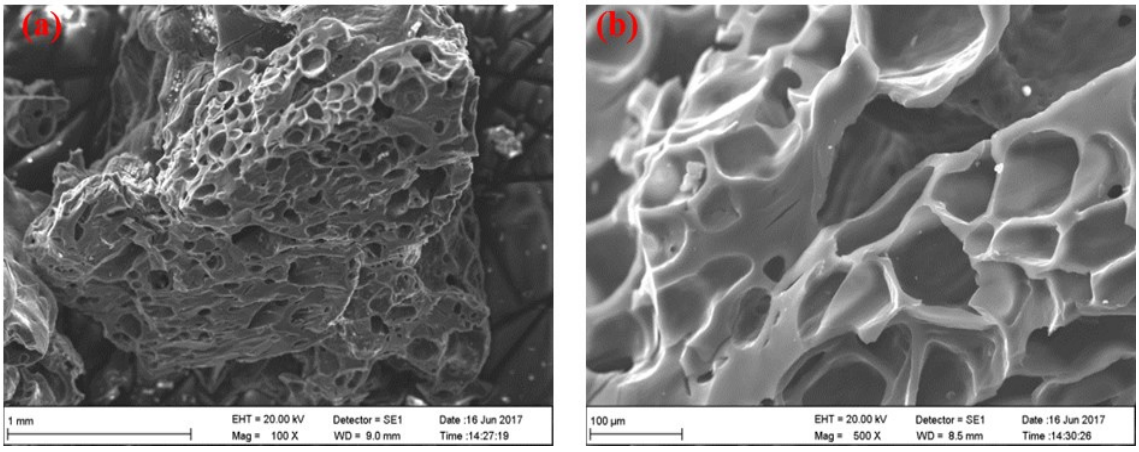
Şekil 5.81. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



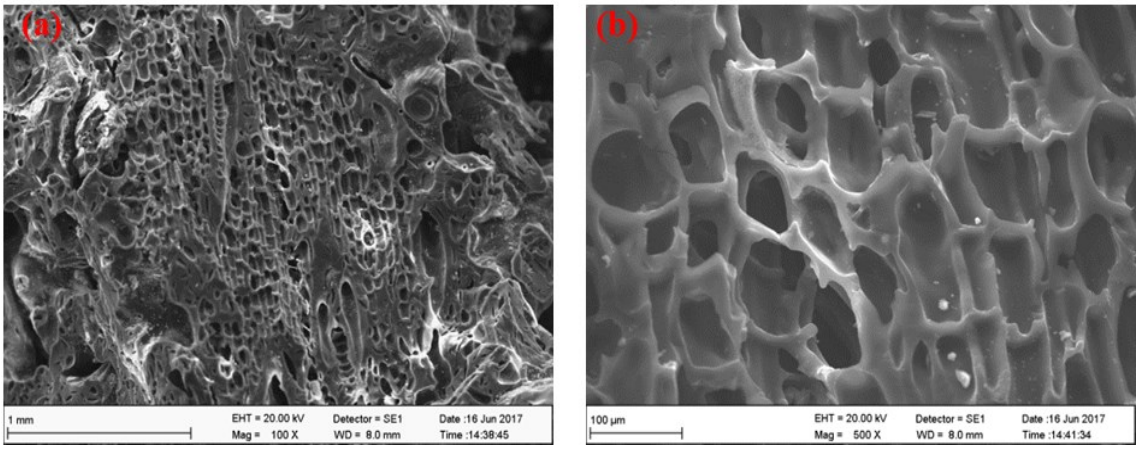
Şekil 5.82. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



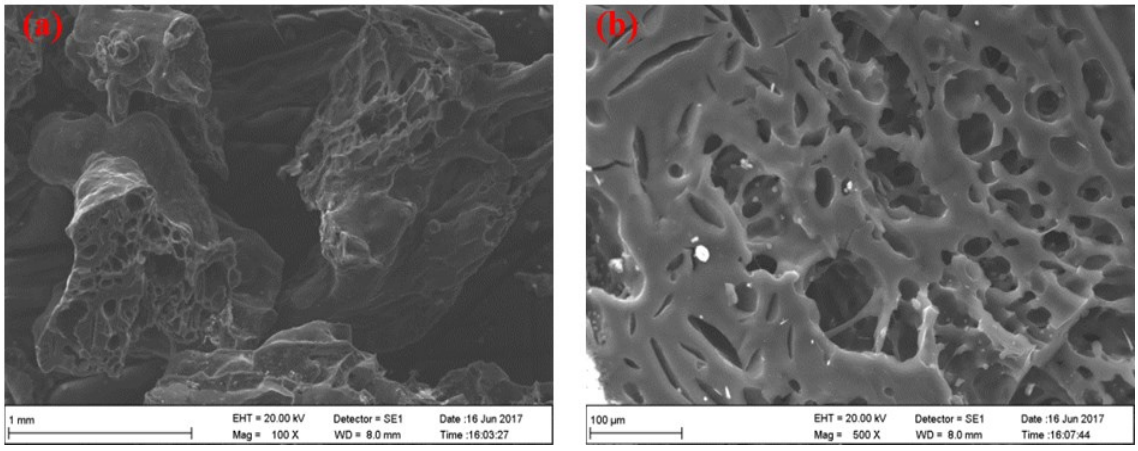
Şekil 5.83. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



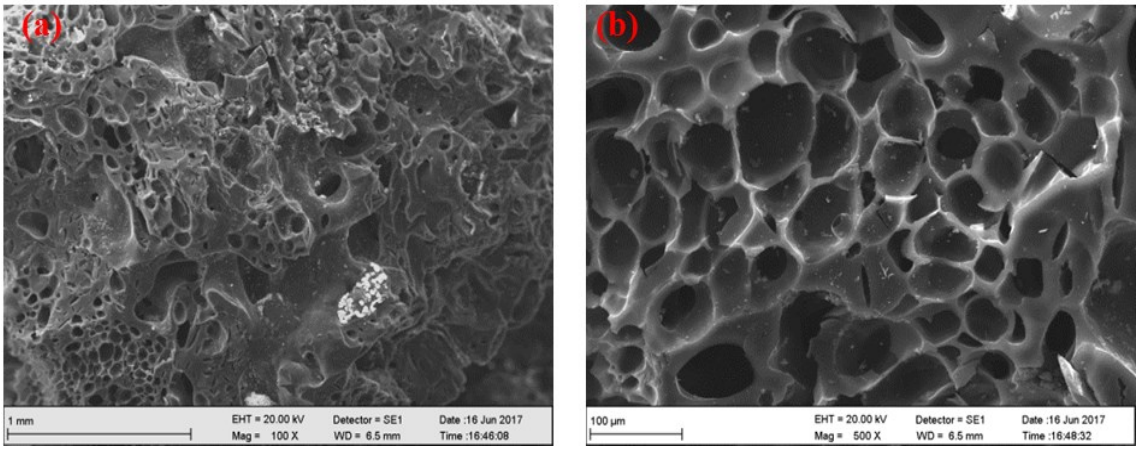
Şekil 5.84. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



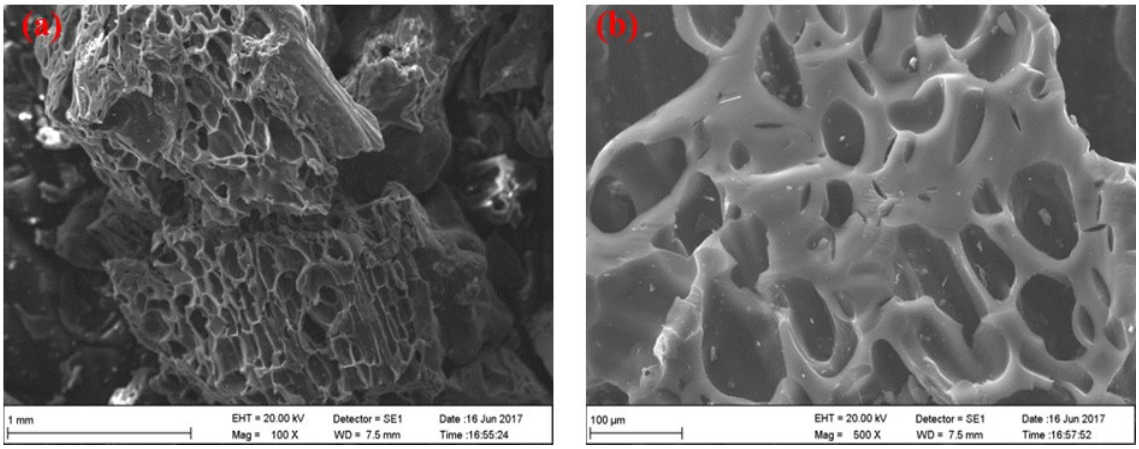
Şekil 5.85. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



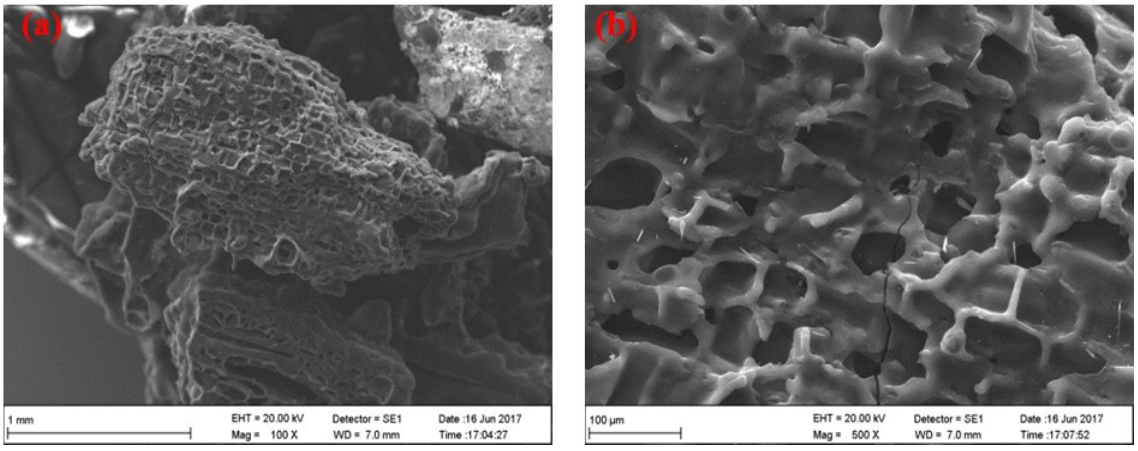
Şekil 5.86. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



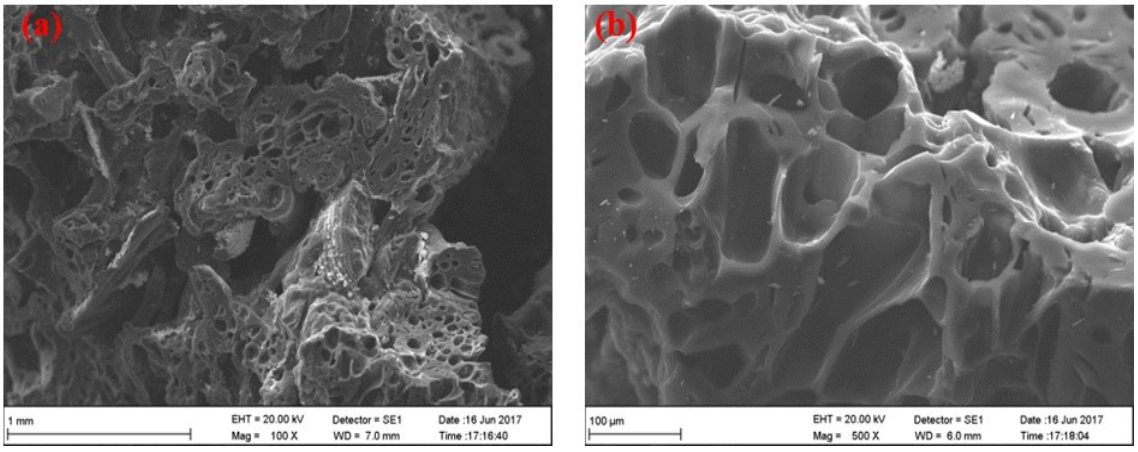
Şekil 5.87. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



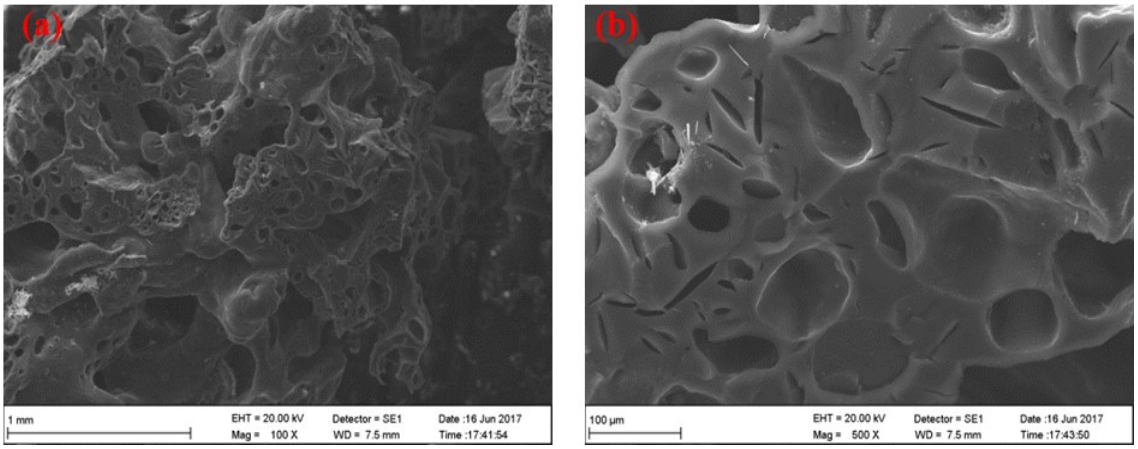
Şekil 5.88. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



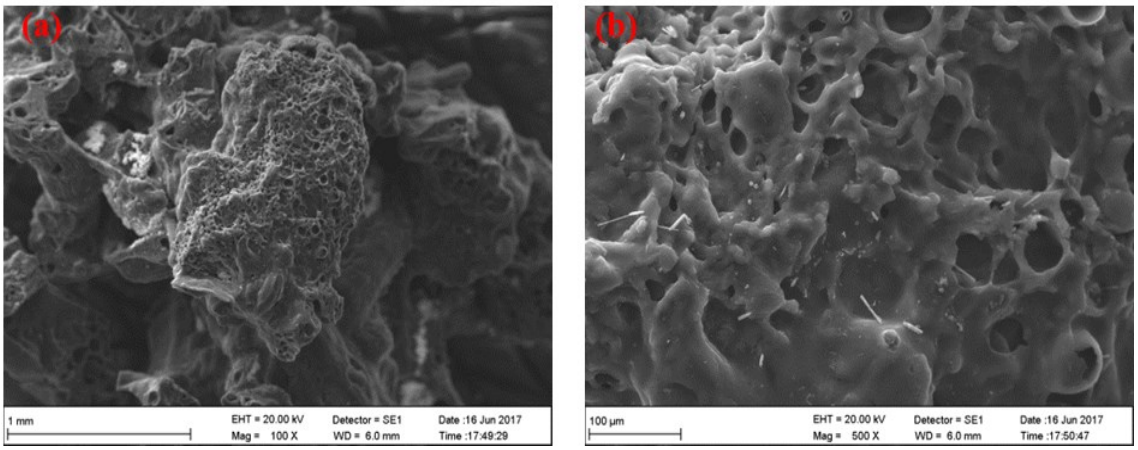
Şekil 5.89. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



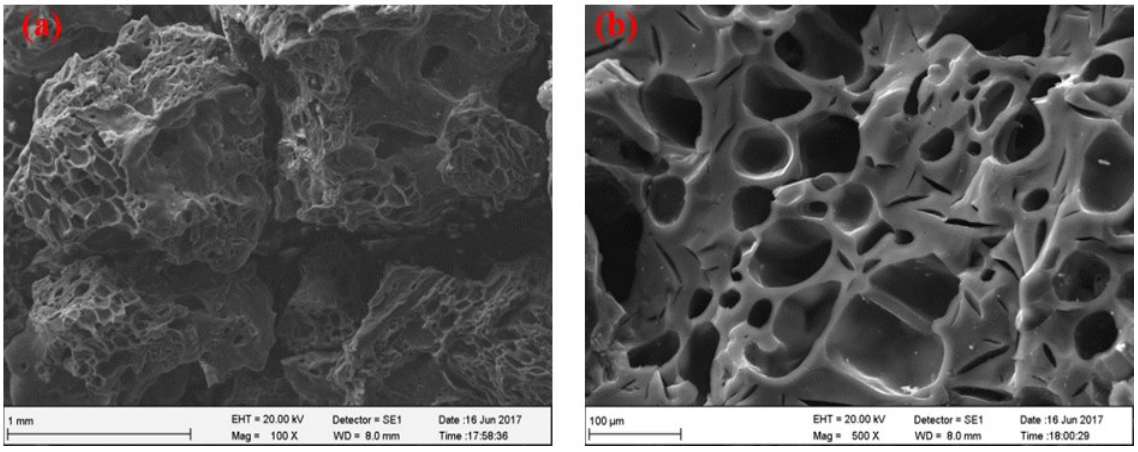
Şekil 5.90. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



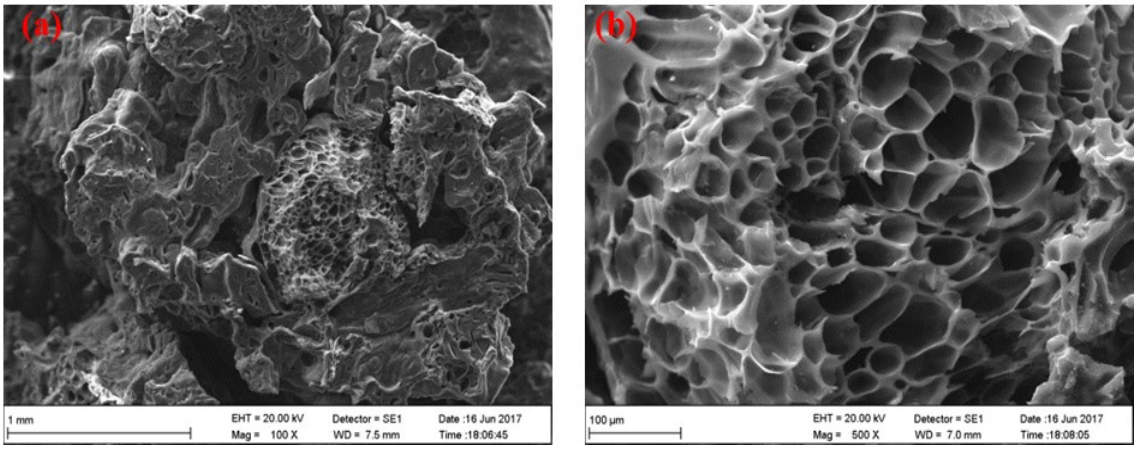
Şekil 5.91. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



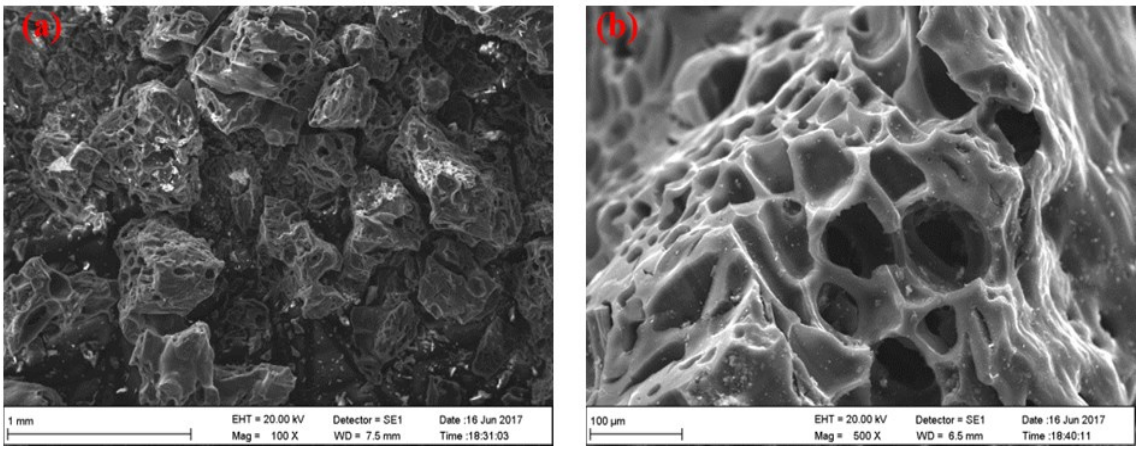
Şekil 5.92. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



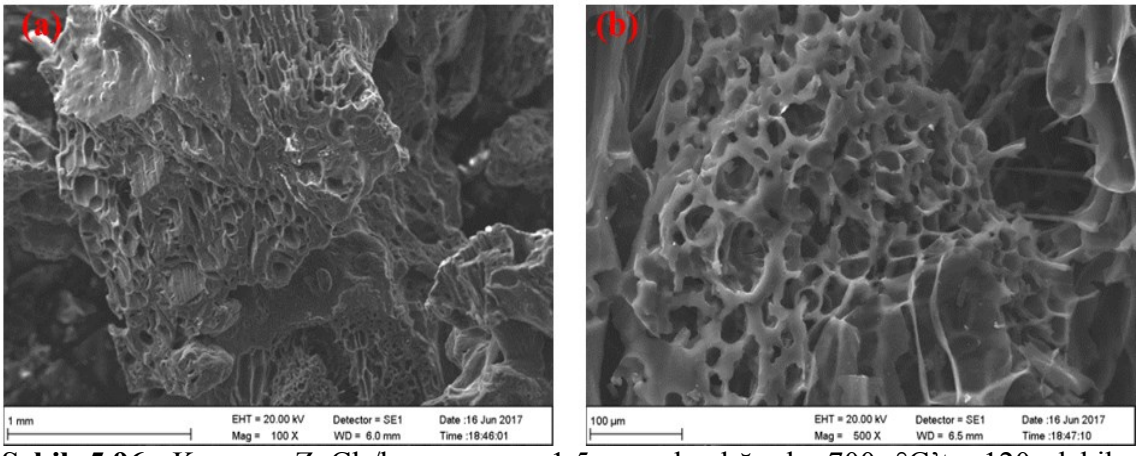
Şekil 5.93. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta 30 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



Şekil 5.94. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta 60 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



Şekil 5.95. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta 90 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x



Şekil 5.96. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta 120 dakika karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların SEM görüntüsü (a) 100x ve (b) 500x

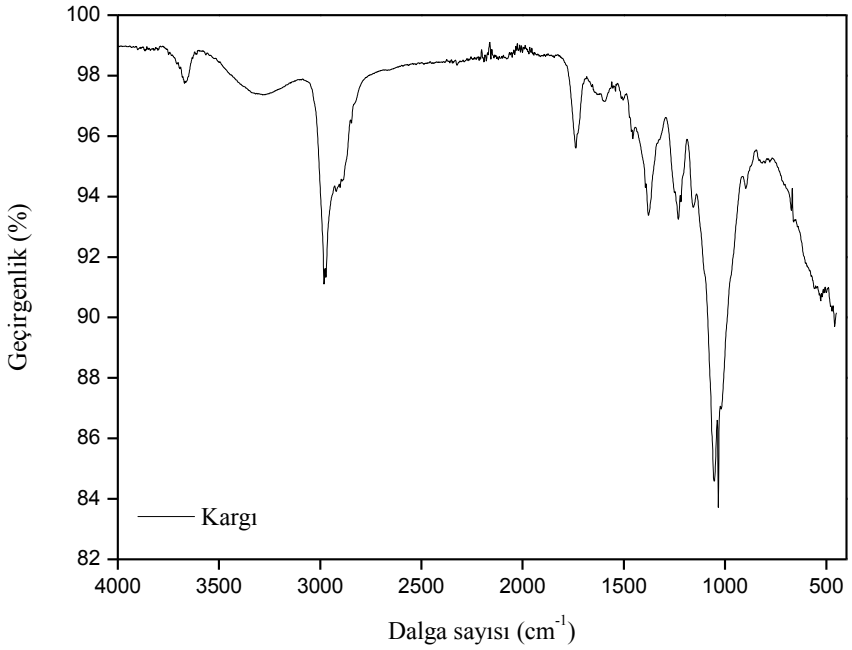
5.2.8. FTIR spektrumları

Yöntem III ile aktifleyici madde oranı 1,5 alınıp tüm karbonizasyon sıcaklıklarında ve sürelerinde elde edilen aktif karbonları karakterize etmek ve yüzey üzerlerindeki fonksiyonel gruplarının nasıl değiştiklerini belirlemek için FTIR spektrumları şekil 5.97-5.106'larda görülmektedir. Ayrıca, spektrumlardaki piklerin hangi fonksiyonel gruplara karşılık geldiğini göstermek için Tablo 5.11 sunulmaktadır. Kargının FTIR spektrumundaki (şekil 5.97) 3600-3100 arasındaki selüloz, pektin, hemiselüloz, lignin ve absorplamış sudaki O-H gerilmesinden kaynaklanan geniş ve kuvvetli pik, aktifleyici madde oranı 1,5 alınarak elde edilen aktif karbonların spektrumlarında kaybolmaktadır. Diğer geri kalan pikler ise genelde benzerlik göstermektedir. Ayrıca, kargının geçirgenlik oranı, aktif karbonlara göre daha yüksektir. Grafik 101-108'lere bakıldığında, spektrumlarda görülen piklerin benzer oldukları görülmektedir. Fakat aktif karbon spektrumlarındaki tek fark olarak geçirgenlik yüzdesi göze çarpmaktadır. Aynı karbonizasyon sıcaklıklarında karbonizasyon süreleri arasında bir karşılaştırma yapıldığında, elde edilen FTIR spektrumları arasında geçirgenlik yüzdesi açısından düzenli bir ilişki görülememekteyken, aynı karbonizasyon sürelerinde karbonizasyon sıcaklıkları arasında bir düzenli bir ilişki gözlenmektedir. Aynı karbonizasyon süreleri içinde, karbonizasyon sıcaklığı arttığında, elde edilen aktif karbonun FTIR spektrumunun geçirgenlik yüzdesi düşmektedir. Bu aktif karbonların FTIR spektrumlarındaki geçirgenlik yüzdelerinin düşmesi, yüksek karbonizasyon

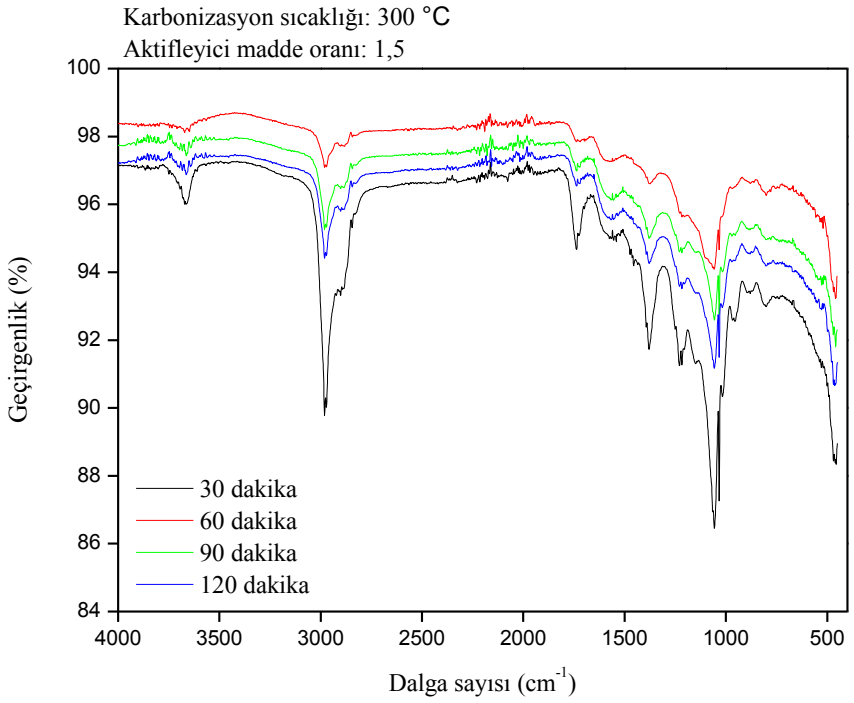
sıcaklıklarında aktif karbondaki moleküllerin birbirlerine daha fazla yaklaşabilmesi ve karbonizasyon işleminden sonra soğuduklarında bu moleküllerin birbirlerine daha yakın bir konumda kalabilmeleri şeklinde açıklanabilir.

Tablo 5.13. Fonksiyonel grupların frekans aralıkları

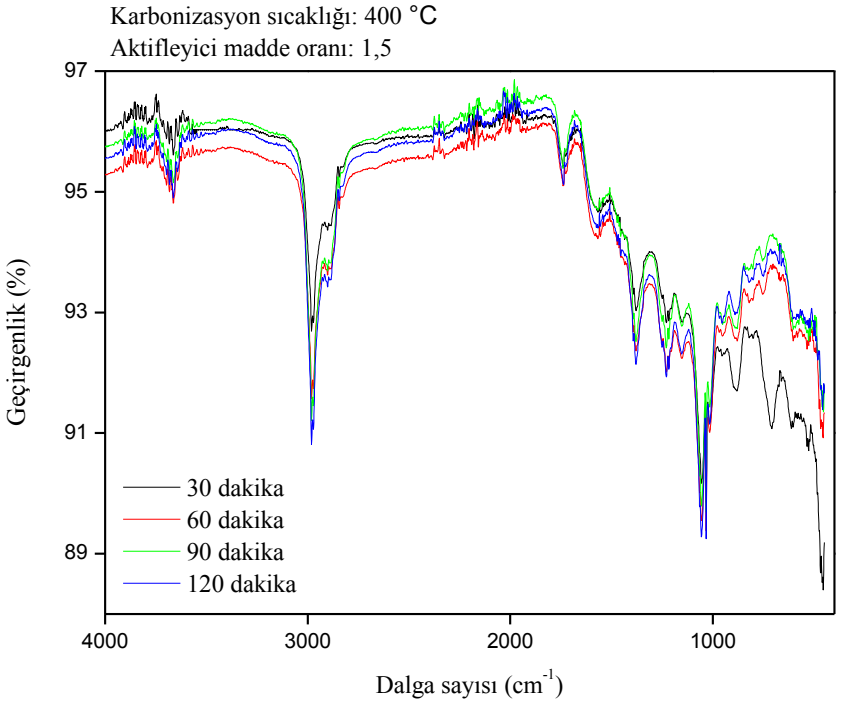
Dalga sayısı (cm^{-1})	**Boyutu ve şiddeti**	**Fonksiyonel grup ve hareketi**
3650-3590	Değişken, kuvvetli	Alkoller ve fenollerdeki O-H esneme
3700-3100	Geniş, kuvvetli	Selüloz, pektin, hemiselüloz, lignin ve absorplamış sudaki O-H gerilme (Köseoğlu vd., 2015)
2970	Kuvvetli	Metil ve metilen gruplarındaki C-H titreşimleri (Abechi vd., 2013)
2921-2852	Kuvvetli	Metil ve metilen gruplarındaki simetrik ve asimetrik gerilme (Koçer & Acemioğlu, 2016)
1738	Kuvvetli	Karbonil gruplarındaki C═O gerilme (Low vd., 2015)
1620-1590	Zayıf	Lignin içindeki benzen halkaları yâda aromatiklerdeki C═C gerilmeleri (Köseoğlu vd., 2015)
1463-1398	Zayıf	Metil, metilen ve metoksi gruplarının düzlemsel deformasyon titraşimlerindeki alifatik ve aromatik (C-H) titreşimleri (Köseoğlu vd., 2015)
1372	Kuvvetli	CH, enolik COH ve iskeletsel CCC'nin düzlemsel bükülmesi (Mohan, Sreelakshmi, Muraleedharan & Joseph, 2012)
1300-1000	Kuvvetli	Karboksilik asit ve alkollerin C-O gerilme ve OH bükülme titreşimi (Abechi vd., 2013; Köseoğlu vd., 2015)
960	Zayıf	C═O gerilme, CCH düzlemsel bükülme (Mohan vd., 2012)
900-700	Zayıf	Aromatik, düzlem dışı C-H bükülmesi (Köseoğlu vd., 2015)



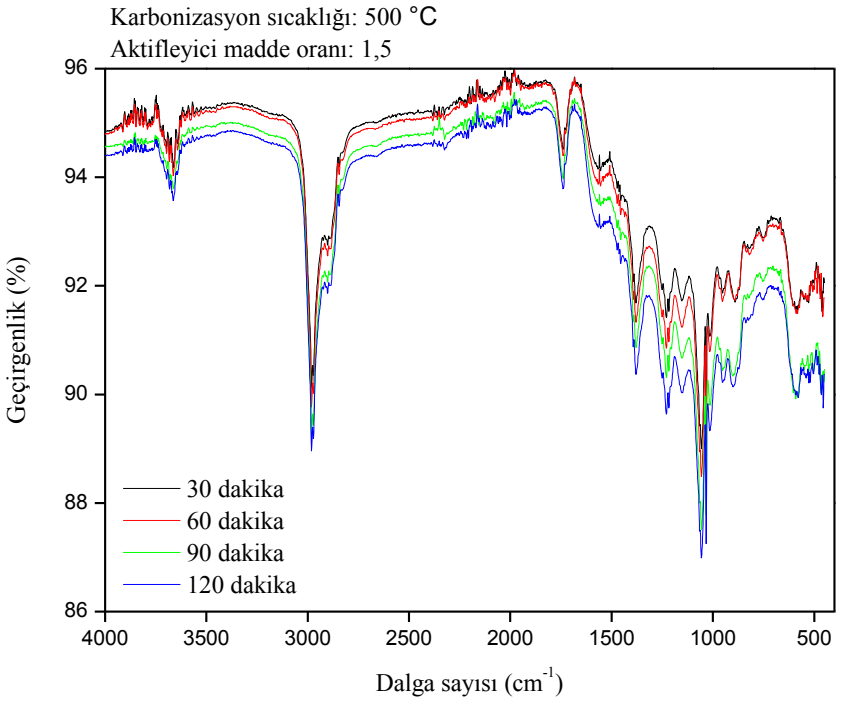
Şekil 5.97. Kargının FTIR spektrumu



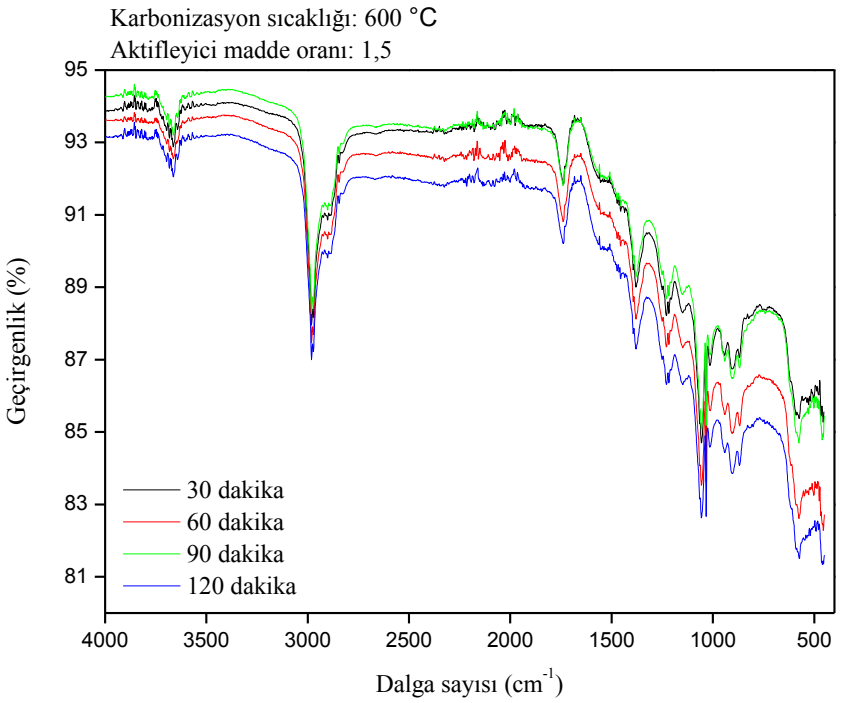
Şekil 5.98. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 300 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları



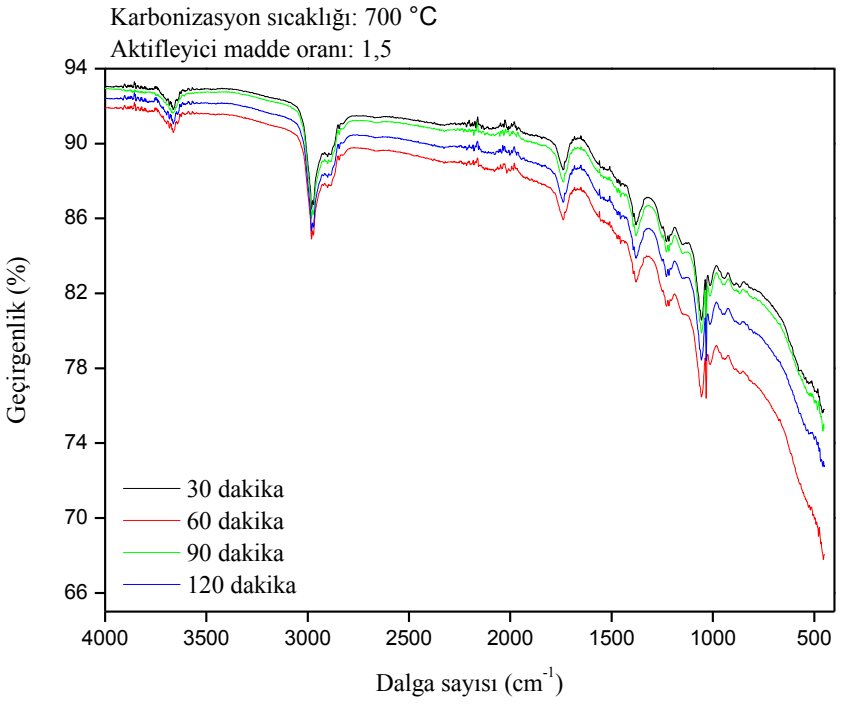
Şekil 5.99. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 400 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları



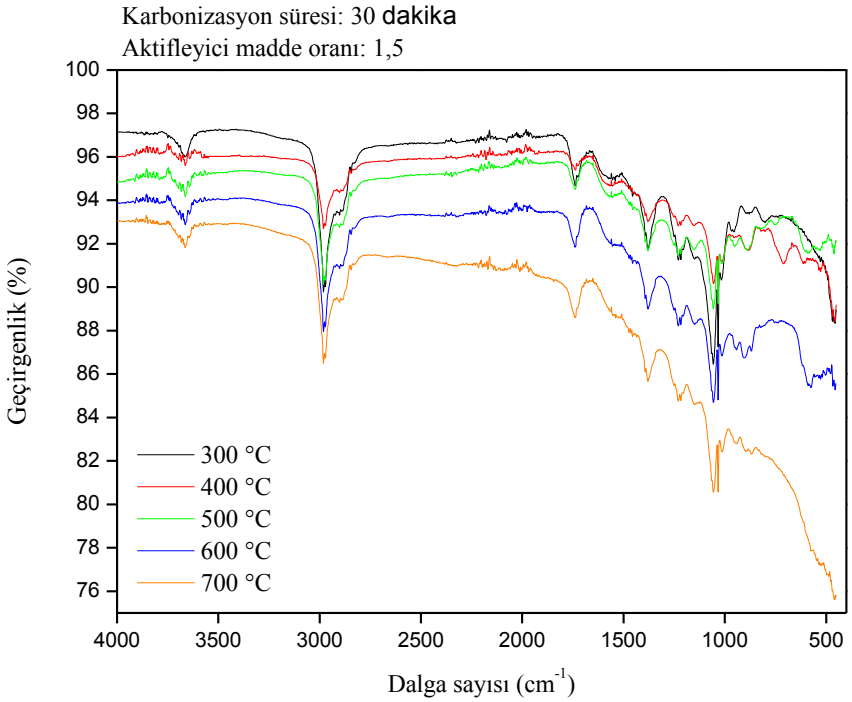
Şekil 5.100. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 500 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları



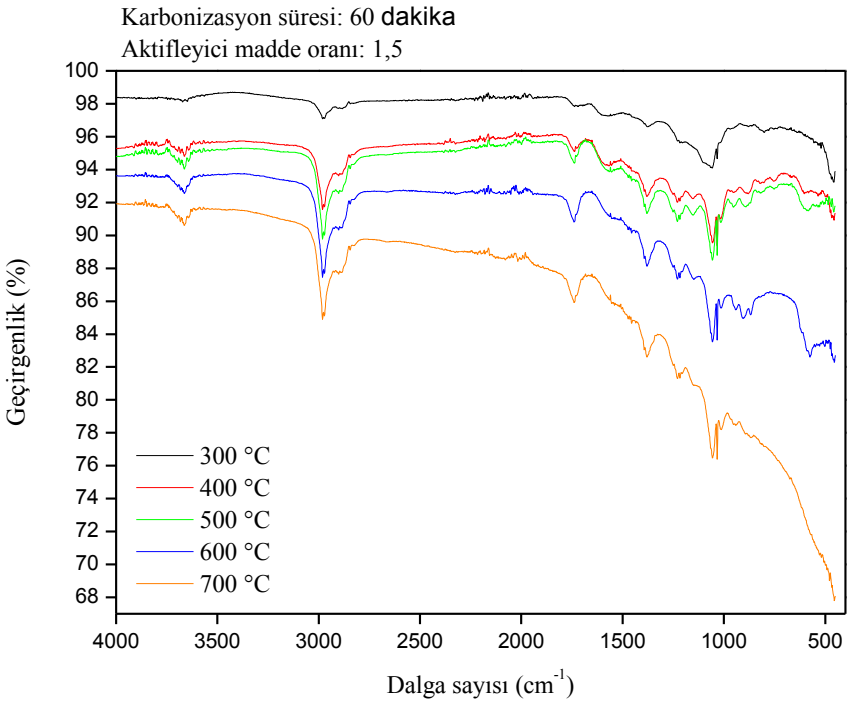
Şekil 5.101. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 600 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları



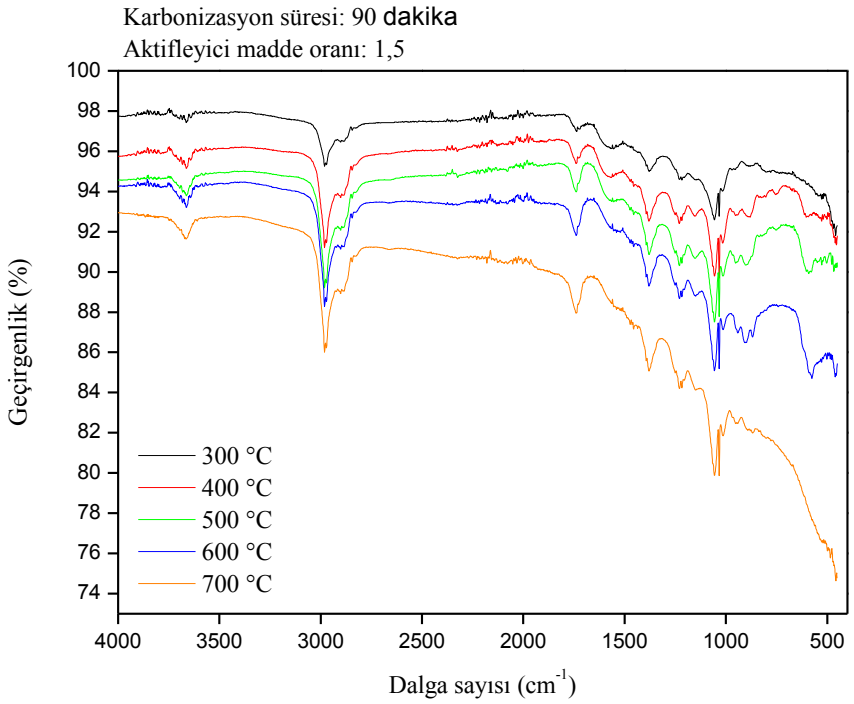
Şekil 5.102. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 700 °C'ta farklı sürelerde karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları



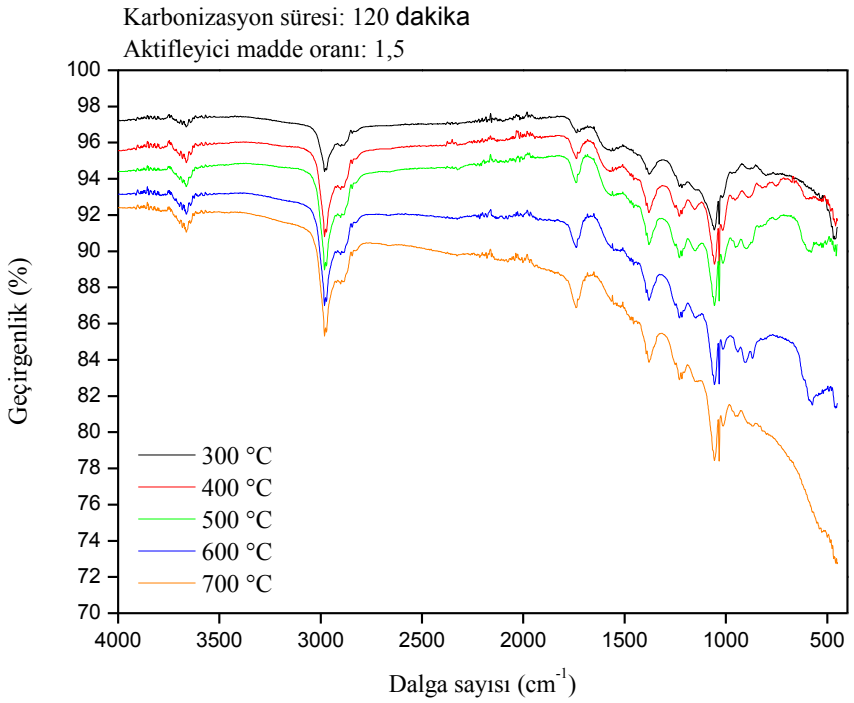
Şekil 5.103. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 30 dakika farklı sıcaklıklarda karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları



Şekil 5.104. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 60 dakika farklı sıcaklıklarda karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları



Şekil 5.105. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 90 dakika farklı sıcaklıklarda karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları



Şekil 5.106. Kargıya $ZnCl_2$/kargı oranı 1,5 uygulandığında 120 dakika farklı sıcaklıklarda karbonizasyonu ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları

5.3. Sonuç ve gelecek çalışmalar için öneriler

Üç ana yöntem kullanılarak çeşitli üretim şartlarında aktif karbonların eldesi yapıldı. En yüksek yüzey alanı (1475,62 m^2/g), kargının 1,5/1 oranında $ZnCl_2$/kargı ile 10 saat 25 °C'ta 130 rpm'de çalkalayarak aktivasyondan sonra yıkamadan etüvde 95 °C'ta kurutulup 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbon ile elde edildi. Diğer yandan, yöntem III ile kargının 1,5/1 oranında $ZnCl_2$/kargı ile herhangi bir ara işlem yapmadan direk etüve alınıp 95 °C'ta kurutulan ve 600 °C'ta 1 saat karbonizasyon ile elde edilen edilen aktif karbonun yüzey alanıda (1474, 56 m^2/g) bulunan en yüksek değere çok yakın bulundu. Bu da bize, kargıdan yapılacak aktif karbonlar için karbonizasyon öncesi yapılan ön aktivasyon işlemlerinin yüzey alanı üzerinde çok önemli bir etkisinin olmadığını gösterdi. Bundan dolayı, ön aktivasyon işlemlerinin aktif karbon eldesinden çıkarılması hem maddi hem de zaman bakımından tasarruf sağlayacağından ve karbonizasyonlar sadece 1 saat 600 °C sıcaklıkta yapıldığından dolayı yöntem III kullanılarak farklı karbonizasyon (farklı süre ve sıcaklıklarda) ve aktivasyon şartlarında aktif karbon eldesi yapılarak daha detaylı incelendi.

Yöntem III ile elde edilen en yüksek yüzey alanlara sahip aktif karbonlar, aktifleyici madde oranı ($ZnCl_2$/kargı) 1,5 kullanıldığında gözlendi. Aktif karbonların en yüksek yüzey alanları aktifleyici madde oranı 1,5 kullanıldığında karbonizasyon sıcaklığı 400 °C'ta ve karbonizasyon süresi 60, 90 ve 120 dakika alındığında sırasıyla 1784,41, 1781,01 ve 1784,71 m^2/g olarak ölçülmüştür. Yöntem III ile elde edilen N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri genellikle Tip I ve Tip IV izotermlerinin karışımı oldukları görülürken yeterli termal enerji (karbonizasyon sıcaklığında) verildiğinde ve kimyasal aktivasyon oranı arttırıldığında N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermleri daha çok Tip IV izotermine benzemeye başladılar. Ayrıca, N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermlerindeki H4 histerisis çeşidi aktif karbonların mikro-mezo gözenek yapısına sahip olduklarını gösterirken, gözenek şeklinin genel olarak silindirik olduğu tespit edildi. Bununla beraber, $ZnCl_2$ oranının arttığında histerisis aralıklarının genişlediği ve buna bağlı olarak mezo gözenek yapısının arttığı belirlendi.

Gözenek hacimlerinden, 400 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların toplam gözenek hacimleri, 300 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen

aktif karbonların gözenek hacimlerinden fazla iken, $ZnCl_2$/kargı oranı arttıkça mikro gözenek hacimleri çoğunlukla azaldığı görüldü. 500 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların mezo gözenek hacimlerinin, 400 °C karbonizasyon sıcaklığında elde edilen aktif karbonların mezo gözenek hacimlerinden daha fazla olduğu bulundu. Kargı başlangıç maddesi için, karbonizasyon sıcaklığı 500 °C'tan daha yukarılara arttırıldığında, toplam gözenek hacimlerinin sıcaklık ve $ZnCl_2$ tarafından azaltılmaya başlandı.

Aktif karbonların gözenek boyut dağılımlarından, yeterli termal enerjinin alınması ile $ZnCl_2$/kargı oranı arttığında $ZnCl_2$'in aktif karbonun gözeneklerini oyarak genişlettiği ve mezo gözenek hacimlerinin arttığı gözlenmektedir. SEM görüntülerinden, kargının yüzeyi üzerinde gözenekler yok denecek kadar az iken, elde edilen aktif karbonların gelişmiş gözenek yapılı düzensiz ve heterojenik bir yüzey morfolojisine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, farklı karbonizasyon sıcaklıkları ile elde edilen aktif karbonların FTIR spektrumları arasında bir düzenli bir ilişki gözlenmektedir. Aynı karbonizasyon süreleri içinde, karbonizasyon sıcaklığı arttığında, elde edilen aktif karbonun FTIR spektrumunun geçirgenlik yüzdesi düşmektedir. Bu aktif karbonların FTIR spektrumlarındaki geçirgenlik yüzdelerinin düşmesi, yüksek karbonizasyon sıcaklıklarında aktif karbondaki moleküllerin birbirlerine daha fazla yaklaşabilmesi ve karbonizasyon işleminden sonra soğuduklarında bu moleküllerin birbirlerine daha yakın bir konumda kalabilmeleri şeklinde olabilir.

Gelecek çalışmalarda, gözenek büyüklüğünün önemini göstermek için, bu tezde elde edilen farklı gözenek büyüklüklerine sahip aktif karbonlar ile farklı büyüklükteki kirletici maddelerin adsorpsiyonları denenmelidir. Ayrıca, adsorpsiyon işlemlerinde, aktif karbon üzerindeki fonksiyonel grupların kirleticilerin fonksiyonel grupları ile ne tür etkileşimler yaptığı ortaya çıkarılırsa hem ekonomik hem de zaman açısından yarar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abdullah, N., & Gerhauser, H. (2008). Bio-oil derived from empty fruit bunches. *Fuel*, 87(12), 2606–2613.

Abdullah, N., & Sulaiman, F. (2013). The properties of the washed empty fruit bunches of oil palm. *Journal of Physical Science*, 24(2), 117–137.

Abechi, S. E., Gimba, C. E., Uzairu, A., & Dallatu, Y. A. (2013). Preparation and characterization of activated carbon from palm kernel Shell by chemical activation. *Research Journal of Chemical Sciences*, 3(7), 54–61.

Açıkyıldız, M., Gürses, A., & Karaca, S. (2014). Preparation and characterization of activated carbon from plant wastes with chemical activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 198, 45–49.

Adinata, D., Daud, W. M. A. W., & Aroua, M. K. (2007). Preparation and characterization of activated carbon from palm shell by chemical activation with K2CO3. *Bioresource Technology*, 98(1), 145–149.

Aflanie, I., Muhyi, R., & Suhartono, E. (2015). Effect of Heavy Metal on Malondialdehyde and Advanced Oxidation Protein Products Concentration: A Focus on Arsenic, Cadmium, and Mercury. *Journal of Medical and Bioengineering*, 4(4), 332–337.

Ahmadpour, A., & Do, D. D. (1997). The preparation of activated carbon from Macadamia nutshell by chemical activation. *Carbon*, 35(12), 1723–1732.

Ahmedna, M., Marshall, W. E., & Rao, R. M. (2000). Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Bioresource Technology*, 71(2), 113–123.

Akpen, G. D., NwaogazieI, L., & Leton, T. G. (2011). Optimum conditions for the removal of colour from wastewater by mango seed Shell based activated carbon. *Indian Journal of Science & Technology*, 4(8), 890–894.

Alau, K. K., Gimba, C. E., Kagbu, J. A., & Nale, B. Y. (2010). Preparation of activated carbon from neem (Azadirachtaindica) husk by chemical activation with H3PO4, KOH and ZnCl2. *Archives of Applied Science Research*, 2(5), 451–455.

Alhamed, Y. A. (2006). Activated carbon from dates' stone by ZnCl2 activation. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 17(2), 75–100.

Allwar, A., Noor, M., & Nawi, M. A. M. (2008). Textural characteristics of activated carbons prepared from oil palm Shells activated with ZnCl2 and pyrolysis under nitrogen and carbon dioxide. *Journal of Physical Science*, 19(2), 93–104.

Alothman Z. A., Habila, M. A., & Ali, R. (2011). Preparation of activated carbon using the copyrolysis of agricultural and municipal solid wastes at a low carbonization temperature. *In: Proceedings of the international conference on biological and environmental chemistry*, 24, 67–72.

Al-Qodah, Z., & Shawabkah, R. (2009). Production and characterization of granular activated carbon from activated sludge. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 26(1), 127–136.

Al-Swaidan, H. A., & Ahmad, A. (2011). Synthesis and characterization of activated carbon from Saudi Arabian dates tree's fronds wastes. *In: Proceedings of the 3rd international conference on chemical, biological and environmental engineering*, 20, 25–31.

Altenor, S., Carene, B., Emmanuel, E., Lambert, J., Ehrhardt, J. J., & Gaspard, S. (2009). Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbon prepared by chemical activation. *Journal of Hazardous Materials*, 165(1), 1029–1039.

Amaya, A., Tancredi, N., Sardella, F., Aguilar, E., Deiana, C., & Silwa, H. (2005). Use of grape stalk to obtain activated carbon. *In: Proceedings of the 2nd mercosurce congress in chemical engineering; 4th mercosurce congress in process system engineering*, 1–10.

Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W., & Mjalli, F. S. (2011). Comparative study of the textural characteristics of oil palm shell activated carbon produced by chemical and physical activation for methane adsorption. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(6), 657–664.

Arshad, S. H. M., Ngadi, N., Aziz, A. A., Amin, N. S., Jusoh, M., & Wong, S. (2016). Preparation of activated carbon from empty fruit bunch for hydrogen storage. *Journal of Energy Storage*, 8, 257–261.

Asadullah, M., Rahman, M. A., Motin, M. A., & Sultan, M. B. (2007). Adsorption studies on activated carbon derived from steam activation of jutestick char. *Journal of Surface Science and Technology*, 23(1/2), 73–80.

Ash, B., Satapathy, D., Mukherjee, P. S., Nanda, B., Gumaste, J. L., & Mishra, B. K. (2006). Characterization and application of activated carbon prepared from waste coir pith. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 65, 1008–1012.

Ates, M., Cinar, D., Caliskan, S., Gecgel, U., Uner, O., Bayrak, B., & Candan, İ. (2016). Active carbon/graphene hydrogel nanocomposites as a symmetric device for supercapacitors. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 24(7), 427–434.

Azevedo, D. C., Araujo, J. C. S., Bastos-Neto, M., Torres, A. E. B., Jaguaribe, E. F., & Cavalcante, C. L. (2007). Microporous activated carbon prepared from coconut shells

using chemical activation with zinc chloride. *Microporous and Mesoporous Materials*, 100(1), 361-364.

Baccar, R., Bouzid, J., Feki, M., & Montiel, A. (2009). Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. *Journal of Hazardous Materials*, 162(2), 1522–1529.

Baig, S. A., Sheng, T., Hu, Y., Xu, J., & Xu, X. (2015). Arsenic Removal from Natural Water Using Low Cost Granulated Adsorbents: A Review. *Clean – Soil, Air, Water*, 43(1), 13–26.

Bakar, M. Z. A. (2013). Characterization of Powders & Porous Solids. https://www.slideshare.net/chemiestar188979/seminar-core-slides-malaysia-dec-2013, 07 Temmuz 2017'de erişildi.

Bamaga, S., Hussin, M. W., & Ismail, M. A. (2013). Palm oil fuel ash: promising supplementary cementing materials. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(7), 1708–1713.

Bansal, R. C., & Goyal, M. (2005). *Activated carbon adsorption*, Taylor & Francis Group, Florida.

Bashir, M. J., Ibrahim, N., Ismail, M. N., & Jaya, M. A. T. (2015). *Physical treatment technologies for landfill leachate: performance and limitation*. in: H.A. Aziz, S.A. Amr (Eds.), Control and Treatment of Landfill Leachate for Sanitary Waste Disposal, IGI Global, USA, 250–285.

Belala, Z., Jeguirim, M., Belhachemi, M., Addoun, F., & Trouvé, G. (2011). Biosorption of basic dye from aqueous solutions by Date Stones and Palm-Trees Waste: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Desalination*, 271(1), 80–87.

Bello, O. S., & Ahmad, M. A. (2011). Adsorption of dyes from aqueous solution using chemically activated mango peels. *In: Proceedings of the 2nd international conference on environment science and technolgy*, 6, 103–106.

Beswick, O., Parastaev, A., Yuranov, I., LaGrange, T., Dyson, P. J., & Kiwi-Minsker, L. (2017). Highly dispersed cobalt oxides nanoparticles on activated carbon fibres as efficient structured catalysts for the transfer hydrogenation of m-nitrostyrene. *Catalysis Today*, 279, 29-35.

Bhadusha, N., & Ananthabaskaran, T. (2011). Adsorptive removal of methylene blue onto ZnCl2 activated carbon from wood apple outer shell: kinetics and equilibrium studies. *Journal of Chemistry*, 8(4), 1696–1707.

Cagnon, B., Py, X., Guillot, A., & Stoeckli, F. (2003). The effect of the carbonization/activation procedure on the microporous texture of the subsequent chars and active carbons. *Microporous and Mesoporous Materials*, 57(3), 273–282.

Cagnon, B., Py, X., Guillot, A., Stoeckli, F., & Chambat, G. (2009). Contributions of hemicellulose, cellulose and lignin to the mass and the porous properties of chars and steam activated carbons from various lignocellulosic precursors. *Bioresource Technology*, 100(1), 292–298.

Çeçen, F., & Aktaş, Ö. (2011). Water and wastewater treatment: historical perspective of activated carbon adsorption and its integration with biological processes. *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment*, 1-11.

Cermakova, L., Kopecka, I., Pivokonsky, M., Pivokonska, L., & Janda, V. (2017). Removal of cyanobacterial amino acids in water treatment by activated carbon adsorption. *Separation and Purification Technology*, 173, 330-338.

Chang, P., & Qin, Z. A. (2017). Novel Kind of Activated Carbon Foam Electrode for Electric Double Layer Capacitors. *Internatıonal Journal of Electrochemical Science*, 12(3), 1846-1862.

Chen, C. X., Huang, B., Li, T., & Wu, G. F. (2012). Preparation of phosphoric acid activated carbon from sugarcane bagasse by mechanochemical processing. *BioResources*, 7(4), 5109–5116.

Chiu, J. M., Degger, N., Leung, J. Y., Po, B. H., Zheng, G. J., Richardson, B. J., Lau, T. C., & Wu, R. S. (2016). A novel approach for estimating the removal efficiencies of endocrine disrupting chemicals and heavy metals in wastewater treatment processes. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1), 53–57.

Chowdhury, Z. Z., Hamid, S. B. A., Das, R., Hasan, M. R., Zain, S. M., Khalid, K., & Uddin, M. N. (2013). Preparation of carbonaceous adsorbents from lignocellulosic biomass and their use in removal of contaminants from aqueous solution. *BioResources*, 8(4), 6523–6555.

Chowdhury, Z. Z., Zain, S. M., Khan, R. A., Arami-Niya, A., & Khalid, K. (2012). Process variables optimization for preparation and characterization of novel adsorbent from lignocellulosic waste. *BioResources*, 7(3), 3732–3754.

Cruz, G., Pirila, M., Huuuhtanen, M., Carrion, L., Alvarenga, E., & Keiski, R. L. (2012). Production of activated carbon from Cocoa (Theobroma cacao) pod husk. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 2(2), 1–6.

Daffalla, S. B., Mukhtar, H., & Shaharun, M. S. (2012). Properties of activated carbon prepared from rice husk with chemical activation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 12(2), 107–129.

Daud, W. M. A. W., & Ali, W. S. W. (2004). Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut Shell. *Bioresource Technology*, 93(1), 63–69.

Daud, W. M. A. W., Ali, W. S. W., & Sulaiman, M. Z. (2000). The effects of carbonization temperature on pore development in palm-shell-based activated carbon. *Carbon*, 38(14), 1925–1932.

Demiral, İ., & Ayan, E. A. (2011). Pyrolysis of grape bagasse: effect of pyrolysis conditions on the product yields and characterization of the liquid product. *Bioresource Technology*, 102(4), 3946-3951.

Devnarain, P. B., Arnold, D. R., & Davis, S. B. (2002). Production of activated carbon from South African sugarcane bagasse. In *Proceedings Congress of the South African Sugar Technologists Association*, 76, 477-489.

Dhabhai, R., Ahmadifeijani, E., Dalai, A. K., & Reaney, M. (2016). Purification of crude glycerol using a sequential physico-chemical treatment, membrane filtration, and activated charcoal adsorption. *Separation and Purification Technology*, 168, 101-106.

Donald, J., Ohtsuka, Y., & Xu, C. C. (2011). Effects of activation agents and intrinsic minerals on pore development in activated carbons derived from a Canadian peat. *Materials Letters*, 65(4), 744–747.

El-Naas, M. H., Alhaija, M. A., & Al-Zuhair, S. (2014). Evaluation of a three-step process for the treatment of petroleum refinery wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 56-62.

Erdem, M., Orhan, R., Şahin, M., & Aydın, E. (2016). Preparation and Characterization of a Novel Activated Carbon from Vine Shoots by ZnCl2. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(7), 1-14.

Foo, P. Y. L., & Lee, L. Y. (2010). Preparation of activated carbon from Parkia speciosa pod by chemical activation. In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, 2, 20-22.

Fowler, D., Dise, N., & Sheppard, L. (2016). Committee on air pollution effects research: 40 years of UK air pollution. *Environmental Pollution*, 208, 876–878.

Fu, K., Yue, Q., Gao, B., Sun, Y., & Zhu, L. (2013). Preparation, characterization and application of lignin-based activated carbon from black liquor lignin by steam activation. *Chemical engineering journal*, 228, 1074–1082.

Fuente, A. M., Pulgar, G., González, F., Pesquera, C., & Blanco, C. (2001). Activated carbon supported Pt catalysts: effect of support texture and metal precursor on activity of acetone hydrogenation. *Applied Catalysis A: General*, 208(1), 35-46.

Gamby, J., Taberna, P. L., Simon, P., Fauvarque, J. F., & Chesneau, M. (2001). Studies and characterisations of various activated carbons used for carbon/carbon supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 101(1), 109-116.

Gao, Q., Liu, H., Cheng, C., Li, K., Zhang, C., & Li, Y. (2013). Preparation and characterization of activated carbon from wool waste and the comparison of muffle furnace and microwave heating methods. *Powder Technology*, 249, 234–240.

Geçgel, Ü., Kocabıyık, B., & Üner, O. (2015). Adsorptive Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by the Activated Carbon Obtained from the Fruit of Catalpa bignonioides. *Water, Air, Soil Pollution*, 226(8), 1-14.

Gimba, C. E., Salihu, A. A., Kagbu, J. A., Turoti, M., Itodo, A. U., & Sariyya, A. I. (2010). Study of pesticide (Dichlorvos) removal from aqueous medium by Arachis hypogaea (groundnut shell) using GC/MS. *World Rur Observ*, 2(1), 1-9.

Gimba, C. E., & Turoti, M. (2006). Adsorption efficiency of coconut shell-based activated carbons on colour of molasses, oils, dissolved oxygen and related parameters from industrial effluent. *Science World Journal*, 1(1), 21–26.

Giraldo, L., & Moreno-Pirajan, J. C. (2012). Synthesis of activated carbon mesoporous from coffee waste and its application in adsorption zinc and mercury ions from aqueous solution. *Journal of Chemistry*, 9(2), 938–948.

Girgis, B. S., & El-Hendawy, A. N. A. (2002). Porosity development in activated carbons obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid. *Microporous Mesoporous Materials*, 52(2), 105–117.

Gokce, C. E., Guneysu, S., Aydin, S., & Arayici, S. (2009). Comparison of activated carbon and pyrolyzed biomass for removal of humic acid from aqueous solution. *Open Environ. Pollut. Toxicol. J*, 1(1), 43-48.

Gonzalez, J. F., Roman, S., Encinar, J. M., & Martinez, G. (2009). Pyrolysis of various biomass residues and char utilization for the production of activated carbons. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 85(1), 134–141.

González, P. G., Hernández-Quiroz, T., & Garcia-González, L. (2014). The use of experimental design and response surface methodologies for the synthesis of chemically activated carbons produced from bamboo. *Fuel Process Technology*, 127, 133–139.

Gonzalez-Serrano, E., Cordero, T., Rodriguez-Mirasol, J., Cotoruelo, L., & Rodriguez, J. J. (2004). Removal of water pollutants with activated carbons prepared from H3PO4 activation of lignin from Kraft black liquors. *Water research*, 38(13), 3043–3050.

Guo, S., Peng, J., Li, W., Yang, K., Zhang, L., Zhang, S., & Xia, H. (2009). Effects of CO2 activation on porous structures of coconut shell-based activated carbons. *Applied Surface Science*, 255(20), 8443–8449.

Hamdaoui, O. (2006). Batch study of liquid-phase adsorption of methylene blue using cedar sawdust and crushed brick. *Journal of Hazardous Materials*, 135(1), 264–273.

Hameed, B. H., Ahmad, A. L., & Latiff, K. N. A. (2007). Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. *Dyes and Pigments*, 75(1), 143–149.

Hariz, I. B., Al Ayni, F., & Monser, L. (2014). Removal of sulfur compounds from petroleum refinery wastewater through adsorption on modified activated carbon. *Water Science and Technology*, 70(8), 1376-1382.

Hasar, H. (2003). Adsorption of nickel (II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk. *Journal of hazardous materials*, 97(1), 49-57.

Hassan, L. G., Itodo, A. U., & Umar, U. B. (2010). Equilibrium study on the biosorption of malachite green from aqueous solution onto thermochemically cracked groundnut shells. *J Chem Pharm Res*, 2(3), 656–666.

Hayashi, J., Horikawa, T., Takeda, I., Muroyama, K., & Ani, F. N. (2002). Preparing activated carbon from various nutshells by chemical activation with K2CO3. *Carbon*, 40(13), 2381–2386.

Hayashi, J., Kazehaya, A., Muroyama, K., & Watkinson, A. P. (2000). Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation. *Carbon*, 38(13), 1873–1878.

Haykırı-Acma, H., Yaman, S., & Kucukbayrak, S. (2010). Comparison of the thermal reactivities of isolated lignin and holocellulose during pyrolysis. *Fuel Processing Technology*, 91(7), 759–764.

Hazourli, S., Ziati, M., & Hazourli, A. (2009). Characterization of activated carbon prepared from lignocellulosic natural residue:-Example of date Stones. *Physics Procedia*, 2(3), 1039-1043.

Hesas, R. H., Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W., & Sahu, J. (2013). Comparison of oil palm shell-based activated carbons produced by microwave and conventional heating methods using zinc chloride activation. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 104, 176–184.

Hesas, R. H., Arami-Niya, A., Daud, W. M. A. W., & Sahu, J. N. (2015). Microwave-assisted production of activated carbons from oil palm shell in the presence of CO2 or N2 for CO2 adsorption. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 24, 196–205.

Hidayu, A., Mohamad, N., Matali, S., & Sharifah, A. (2013). Characterization of activated carbon prepared from oil palm empty fruit bunch using BET and FT-IR techniques. *Procedia Engineering*, 68, 379–384.

Hiremath, M. N., Shivayogimath, C. B., & Shivalingappa, S. N. (2012). Preparation and characterization of granular activated carbon from corn cob by KOH activation. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 2(3), 84–87.

Hirunpraditkoon, S., Tunthong, N., Ruangchai, A., & Nuithitikul, K. (2011). Adsorption capacities of activated carbons prepared from bamboo by KOH activation. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering,* 5(6), 477-481.

Ho, Y. S., Malaryvizhi, R., & Sulochana, N. (2009). Equilibrium isotherm studies of methylene blue adsorption onto activated carbon prepared from Delonix regia pods. *Journal of environmental protection science*, 3, 111–116.

Houache, O., Al-Maamari, R., Al-Rashidi, B., & Jibril, B. (2008). Study of date palm stem as raw material in preparation of activated carbon. *The Journal of Engineering Research [TJER]*, 5(1), 47–54.

Hui, T. S., Zaini, & M. A. A. (2015). Potassium hydroxide activation of activated carbon: a commentary. Carbon Letters, 16(4), 275–280.

Idris, S., Iyaka, Y. A., Dauda, B. E. N., Ndamitso, M. M., & Umar, M. T. (2012). Kinetic study of utilizing groundnut shell as an adsorbent in removing chromium and nickel from dye effluent. *American Chemical Science Journal*, 2(1), 12–24.

Imamoglu, M., Şahin, H., Aydın, Ş., Tosunoğlu, F., Yılmaz, H., & Yıldız, S. Z. (2016). Investigation of Pb (II) adsorption on a novel activated carbon prepared from hazelnut husk by K2CO3 activation. *Desalination and Water Treatment*, 57(10), 4587-4596.

Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(9), 1966–2005.

Jambulingam, M., Karthikeyan, S., Sivakumar, P., Kiruthika, J., & Maiyalagan, T. (2007). Characterisitic studies of some activated carbons from agricultural wastes. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 66, 495–500.

Jawad, A. H., Rashid, R. A., Ishak, M. A. M., & Wilson, L. D. (2016). Adsorption of methylene blue onto activated carbon developed from biomass waste by H2SO4 activation: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment*, 57(52), 25194-25206.

Joseph, C. G., Zain, H. F. M., & Dek, S. F. (2006). Treatment of landfill leachate in Kayu Madang, Sabah: textural and physical characterization (PartI), *Malaysia Journal of Analytical Sciences*, 10(1), 1–6.

Joshi, S., Shrestha, L. K., Kamachi, Y., Malgras, V., Pradhananga, M. A., Pokhrel, B. P., Nakato, T., Pradhananga, R. R., Ariga, K., & Yamauchi, Y. (2015). Synthesis and characterizations of nanoporous carbon derived from Lapsi (Choerospondias axillaris) seed: Effect of carbonization conditions. *Advanced Powder Technology*, 26(3), 894-900.

Juárez-Galán, J. M., Silvestre-Albero, A., Silvestre-Albero, J., & Rodríguez-Reinoso, F. (2009). Synthesis of activated carbon with highly developed "mesoporosity". *Microporous and Mesoporous Materials*, 117(1), 519–521.

Jun, T. Y., Arumugam, S. D., Latip, N. H. A., Abdullah, A. M., & Latif, P. A. (2010). Effect of activation temperature and heating duration on physical characteristics of activated carbon prepared from agriculture waste. *EnvironmentAsia*, 3, 143–148.

Kailappan, R., Gothandapani, L., & Viswanathan, R. (2000). Production of activated carbon from prosopis (Prosopis juliflora). *Bioresource Technology*, 75(3), 241–243.

Kavitha, D., & Namasivayam, C. (2007). Experimental and kinetic studies on methylene blue adsorption by coirpith carbon. *Bioresource Technology*, 98(1), 14–21.

Kawano, T., Kubota, M., Onyango, M. S., Watanabe, F., & Matsuda, H. (2008). Preparation of activated carbon from petroleum coke by KOH chemical activation for adsorption heat pump. *Applied Thermal Engineering*, 28(8), 865–871.

Ketcha, J. M., Dina, D. J. D., Ngomo, H. M., & Ndi, N. J. (2012). Preparation and characterization of activated carbons obtained from maize cobs by zinc chloride activation. *American Chemical Science* Journal, 2(4), 136–160.

Khalili, N. R., Campbell, M., Sandi, G., & Golas, J. (2000). Production of micro- and mesoporous activated carbon from paper mill sludge I. Effect of zinc chloride activation. *Carbon*, 38(14), 1905–1915.

Khalkhali, R. A., & Omidvari, R. (2005). Adsorption of mercuric ion from aqueous solutions using activated carbon. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(2), 185–188.

Khezami, L., Ould-Dris, A., & Capart, R. (2007). Activated carbon from thermo-compressed wood and other lignocellulosic precursors. *Bioresources*, 2(2), 193–209.

Kifani-Sahban, F., Kifani, A., Belkbir, L., Belkbir, A., Zoulalian, A., Arauzo, J. & Cardero, T. (1997). A physical approach in the understanding of the phenomena accompanying the thermal treatment of lignin. *Thermochimica Acta*, 298(1-2), 199–204.

Kim, T., Jo, C., Lim, W. G., Lee, J., Lee, J., & Lee, K. H. (2016). Facile conversion of activated carbon to battery anode material using microwave graphitization. *Carbon*, 104, 106-111.

Koçer, O., & Acemioğlu, B. (2016). Adsorption of basic green 4 from aqueous solution by olive pomace and commercial activated carbon: process design, isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment*, 57(35), 16653–16669.

Köseoğlu, E., & Akmil-Başar, C. (2015). Preparation, structural evaluation and adsorptive properties of activated carbon from agricultural waste biomass. *Advanced Powder Technology*, 26(3), 811–818.

Larr, A. S., & Neidell, M. (2016). Pollution and Climate Change. *The Future of Children*, 26(1), 93-113.

Lee, Y. W., Park, J. W., Choung, J. H., & Choi, D. K. (2002). Adsorption characteristics of SO2 on activated carbon prepared from coconut shell with potassium hydroxide activation. *Environmental Science & Technology*, 36(5), 1086–1092.

Leofanti, G., Padovan, M., Tozzola, G., & Venturelli, B. (1998). Surface area and pore texture of catalysts. *Catalysis Today*, 41(1), 207–219.

Li, W., Yang, K., Peng, J., Zhang, L., Guo, S., & Xia, H. (2008). Effects of carbonization temperatures on characteristics of porosity in coconut Shell chars and activated carbons derived from carbonized coconut Shell chars. *Industrial Crops and Products*, 28(2), 190–198.

Lim, W. C., Srinivasakannan, C., & Balasubramanian, N. (2010). Activation of palm shells by phosphoric acid impregnation for high yielding activated carbon. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 88(2), 181–186.

Limousy, L., Ghouma, I., Ouederni, A., & Jeguirim, M. (2017). Amoxicillin removal from aqueous solution using activated carbon prepared by chemical activation of olive stone. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 9993–10004.

Liu, J., Zhang, Y., Sun, X., & Hu, W. (2016). Separation of polycyclic aromatic hydrocarbons from rhamnolipid solution by activated carbon adsorption. *Environmental Earth Sciences*, 75(22), 1453.

Lota, G., Krawczyk, P., Lota, K., Sierczyńska, A., Kolanowski, Ł., Baraniak, M., & Buchwald, T. (2016). The application of activated carbon modified by ozone treatment for energy storage. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 20(10), 2857-2864.

Low, L. W., Teng, T. T., Alkarkhi, A. F., Morad, N., & Azahari, B. (2015). Carbonization of Elaeis guineensis frond fiber: Effect of heating rate and nitrogen gas flow rate for adsorbent properties enhancement. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 28, 37-44.

Lowell, S., & Shields, J. E. (1991). *Powder Surface Area and Porosity*, Third ed. Chapman Hall, London.

Lua, A. C., Yang, T., & Guo, J. (2004). Effect of pyrolysis conditions on the properties of activated carbon prepared from pistachio-nut shells. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 72(2), 279–287.

Mahapatra, K., Ramteke, D. S., & Paliwal, L. J. (2012). Production of activated carbon from sludge of food processing industry under controlled pyrolysis and its application for methylene blue removal. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 95, 79–86.

Malik, R., Ramteke, D. S., & Wate, S. R. (2006). Physico-chemical and surface characterization of adsorbent prepared from groundnut shell by ZnCl2 activation and its ability to adsorb color. *Indian Journal of Chemical Technology*, 13, 319–328.

Martins, A. C., Pezoti, O., Cazetta, A. L., Bedin, K. C., Yamazaki, D. A. S., Bandoch, G. F. G., Asefa, T., Visentainer, J. V., & Almeida, V. T. (2015). Removal of tetracycline by NaOH activated carbon produced from macadamianut shells: kinetic and equilibrium studies. *Chemical Engineering Journal*, 260, 291–299.

Masiya, T. T., & Gudyanga, F. P. (2009). Investigation of granular activated carbon from peach stones for gold adsorption in acidic thiourea. *In: Proceedings of the hydrometal conference*, 465–474.

McDougall, G. J. (1991). The physical nature and manufacture of activated carbon. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 91(4), 109–120.

Mdoe, J., & Mkayula, L. (2002). Preparation and characterization of activated carbons from rice husks and shell of palm fruits. *Tanzania Journal of Science*, 28(2), 131–142.

Mohan, P. R. K., Sreelakshmi, G., Muraleedharan, C. V., & Joseph, R. (2012). Water soluble complexes of curcumin with cyclodextrins: characterization by FT-Raman spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 62, 77–84.

Moreno, A. H., Arenillas, A., Calvo, E. G., Bermúdez, J. M., & Menéndez, J. A. (2013). Carbonisation of resorcinol–formaldehyde organic xerogels: effect of temperature, particle size and heating rate on the porosity of carbon xerogels. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 100, 111-116.

Moreno-Barbosa, J. J., Lopez-Velandia, C., Maldonado, A. P., Giraldo, L., & Moreno-Pirajan, J. C. (2013). Removal of lead (II) and zinc (II) ions from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon synthesized from watermelon shell and walnut shell. *Adsorption*, 19(2-4), 675–685.

Mozammel, H. M., Masahiro, O., & Bhattacharya, S. C. (2002). Activated charcoal from coconut Shell using ZnCl2 activation. *Biomass Bioenergy*, 22(5), 397–400.

Munusamy, K., Somani, R. S., & Bajaj, H. C. (2011). Tamarind seed carbon: preparation and methane uptake. *Bioresources*, 6(1), 537–551.

Myers, S. S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A. D. B., Bloom, A. J., Carlisle, E., Dietterich, L. H., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N. M., Nelson, R. L., Ottman, M. J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K. A., Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M., & Usui, Y. (2014). Increasing CO_2 threatens human nutrition. *Nature*, 510(7503), 139–142.

Nahil, M. A., & Williams, P. T. (2012). Pore characteristics of activated carbons from the phosphoric acid chemical activation of cotton stalks. *Biomass and Bioenergy*, 37, 142–149.

Nasri, N. S., Hamza, U. D., Ismail, S. N., Ahmed, M. M., & Mohsin, R. (2014). Assessment of porous carbons derived from sustainable palm solid waste for carbon dioxide capture. *Journal of cleaner production*, 71, 148–157.

Nizamuddin, S., Shrestha, S., Athar, S., Ali, B. S., & Siddiqui, M. A. (2016). A critical analysis on palm kernel shell from oil palm industry as a feedstock for solid char production. *Reviews in Chemical Engineering*, 32(5), 489–505.

Okman, I., Karagöz, S., Tay, T., & Erdem, M. (2014). Activated carbons from grape seeds by chemical activation with potassium carbonate and potassium hydroxide. *Applied Surface Science*, 293, 138–142.

Olowoyo, D. N,, & Orere, E. E. (2012). Preparation and characterization of activated carbon made from palm-kernel shell, coconut shell, groundnut Shell and obeche wood (investigation of apparent density, total ash content, moisture content, particle size distribution parameters). *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 2(3), 32–35.

Osaka, T., Liu, X., Nojima, M., & Momma, T. (1999). An electro chemical double layer capacitor using an activated carbon electrode with gel electrolyte binder. *Journal of The Electrochemical Society*, 146(5), 1724-1729.

Ozcimen, D., & Ersoy-Mericboyu, A. (2010). Adsorption of copper (II) ions onto hazelnut shell and apricot stone activated carbons. *Adsorption Science & Technology*, 28(4), 327–341.

Pala, A., Galiatsatou, P., Tokat, E., Erkaya, H., Israilides, C., & Arapoglu, D. (2006). The use of activated carbon from olive oil mill residue, for the removal of colour from textile water. *EuroWater*, 13(14), 29–34.

Pappa, A. A., Tzamtzis, N. E., Statheropoulos, M. K., & Parissakis, G. K. (1995). Thermal analysis of Pinus halepensis pine-needles and their main components in the presence of (NH4)2HPO4 and (NH4)2SO4. *Thermochimica Acta*, 261, 165–173.

Pietrzak, R., Nowicki, P., Kaz´mierczak, J., Kuszyn´ska, I., Goscianska, J., & Przepiórski, J. (2014). Comparison of the effects of different chemical activation methods on properties of carbonaceous adsorbents obtained from cherry stones. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(6), 1187–1191.

Pragya, P., Sripal, S., & Maheshkumar, Y. (2013). Preparation and study of properties of activated carbon produced from agricultural and industrial waste shells. *Res J Chem Sci*, 3(12), 12–15.

Puligundla, P., Oh, S.-E., & Mok, C. (2016). Microwave-assisted pretreatment technologies for the conversion of lignocellulosic biomass to sugars and ethanol: a review. *Carbon Letters*, 17(1), 1–10.

Qureshi, K., Bhatti, I., Kazi, R., & Ansari, A. K. (2008). Physical and chemical analysis of activated carbon prepared from sugarcane bagasse and use for sugar decolorisation. *International Journal of Chemical and Biomolecular Engineering*, 1(3), 145-149.

Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ahmad, A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1), 70–80.

Rahman, M. A., Asadullah, M., Haque, M. M., Motin, M. A., Sultan, M. B., & Azad, M. A. K. (2006). Preparation and characterization of activated carbon as an adsorbent. *Journal of Surface Science and Technology*, 22(3/4), 133–140.

Ramana, D. K. V., & Min, K. (2016). Activated carbon produced from pigeon pea shulls waste as a low-cost agro-waste adsorbent for Cu(II) and Cd(II) removal. *Desalination and Water Treatment*, 57(15), 6967–6980.

Rashidi, N. A., & Yusup, S. (2017). A review on recent technological advancement in the activated carbon production from oil palm wastes. *Chemical Engineering Journal*, 314, 277–290.

Romero-Anaya, A. J., Lillo-Rodenas, M. A., Lecea, C. S. M., & Linares-Solano, A. (2012). Hydrothermal and conventional H3PO4 activation of two natural bio-fibers. *Carbon*, 50(9), 3158–3169.

Sahu, J. N., Acharya, J., & Meikap, B. C. (2010). Optimization of production conditions for activated carbons from tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology. Bioresource Technology, 101(6), 1974–1982.

SaifulIslam, Md., Ahmed, Md. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, Md., & KamrulIslam, M. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282–291.

Sarici-Özdemir, Ç., & Önal, Y. (2016). Study to observe the applicability of the adsorption isotherms used for the adsorption of medicine organics onto activated carbon. *Particulate Science and Technology*, 1-8, DOI: 10.1080/02726351.2016.1246497

Sekirifa, M. L., Hadj-Mahammed, M., Pallier, S., Baameur, L., Richard, D., & Al-Dujaili, A. H. (2013). Preparation and characterization of an activated carbon from a date stones variety by physical activation with carbon dioxide. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 99, 155-160.

Sellin, R., Clacens, J.-M., & Coutanceau, C. (2010). A thermogravimetric analysis/mass spectroscopy study of the thermal and chemical stability of carbon in the Pt/C catalytic system. *Carbon*, 48(8), 2244–2254.

Shim, W. G., Kim, C., Lee, J. W., Balathanigaimani, M. S., & Moon, H. (2016). Surface structural and energetic heterogeneity of carbon materials prepared from corn grains using steam and H3PO4-steam activations. *Surface and Interface Analysis*, 48(2), 82-87.

Shoaib, M., & Al-Swaidan, H. M. (2015). Optimization and characterization of sliced activated carbon prepared from date palm tree fronds by physical activation. *Biomass Bioenergy*, 73, 124–134.

Sing, K. S. W., Everett, D. H., Haul, R. A. W., Moscou, L., Pieroti, R. A., Rouquerol, J., & Siemieniewska. T. (1985). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity. *Pure and applied chemistry*, 57(4), 603–619.

Sinha, N., Subramanian, V., Jose, M. T., & Venkatraman, B. (2016). *Effect of moisture content on surface area of activated charcoal used in nuclear industries*. In Proceedings of the international conference on radiological safety in workplace, nuclear facilities and environment: book of abstracts.

Sodeinde, O. A. (2012). Preparation of a locally produced activated carbon from coconut shells and its use in reducing hexamine cobalt (III). *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 3(1), 67–71.

Soleimani, M., & Kaghazchi, T. (2007). Agricultural waste conversion to activated carbon by chemical activation with phosphoric acid. *Chemical engineering & technology*, 30(5), 649–654.

Song, J. Y., Bhadra, B. N., & Jhung, S. H. (2017). Contribution of H-bond in adsorptive removal of pharmaceutical and personal care products from water using oxidized activated carbon. *Microporous and Mesoporous Materials*, 243, 221-228.

Sulaiman, F., & Abdullah, N. (2014). Pyrolytic product of washed and unwashed oil palm wastes by slow thermal conversion process. *Journal of Physical Science*, 25(2), 73–84.

Sulaiman, F., Abdullah, N., & Rahman, A.A. (2011). *Basic properties of washed and unwashed oil palm wastes*. In: Proceedings of the 3rd CUTSE International Conference, Miri Sarawak, 8-9 November 2011, 307–311.

Thommes, M., & Cychosz, K. A. (2014). Physical adsorption characterization of nanoporous materials: progress and challenges. *Adsorption*, 2(20), 233–250.

Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, & J., Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9-10), 1051-1069.

Tsai, W. T., Chang, C. Y., Wang, S. Y., Chang, C. F., Chien, S. F., & Sun, H. F. (2001). Cleaner production of carbon adsorbents by utilizing agricultural waste corncob. *Resources, conservation and recycling*, 32(1), 43–53.

Ucar, S., Erdem, M., Tay, T., & Karagoz, S. (2009). Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by ZnCl2 activation. *Applied Surface Science*, 255(21), 8890–8896.

Üner, O., Geçgel, Ü., & Bayrak, Y. (2015). Preparation and characterization of mesoporous activated carbons from waste watermelon rind by using the chemical activation method with zinc chloride, *Arabian Journal of Chemistry*, doi:10.1016/j.arabjc.2015.12.004

Üner, O.,Geçgel, Ü., & Bayrak, Y. (2016). Adsorption of Methylene Blue by an Efficient Activated Carbon Prepared from Citrullus lanatus Rind: Kinetic, Isotherm, Thermodynamic, and Mechanism Analysis. *Water Air Soil Pollution*, 227(7), 1–15.

Üner, O., Geçgel, Ü., Kolancılar, H., & Bayrak, Y. (2017). Adsorptive Removal of Rhodamine B with Activated Carbon Obtained from Okra Wastes. *Chemical Engineering Communications*, 204(7), 772–783.

Valdes, H., Sanchez-Polo, M., Rivera-Utrilla, J., & Zaror, C. A. (2002). Effect of ozone treatment on surface properties of activated carbon. *Langmuir*, 18(6), 2111–2116.

Venckatesh, R., Amudha, T., Sivaraj, R., Chandramohan, M., & Jambulingam, M. (2010). Kinetics and equilibrium studies of adsorption of Direct red-28 onto Punica granatum carbon. *Int J Eng Sci Technol*, 2(6), 2040–2050.

Vernersson, T., Bonelli, P.R., Cerrella, E.G., & Cukierman, A.L. (2002). Arundo donax cane as a precursor for activated carbons preparation by phosphoric acid activation. *Bioresource Technology*, 83(2), 95–104.

Wang, J., Nie, P., Ding, B., Dong, S., Hao, X., Dou, H., & Zhang, X. (2017). Biomass derived carbon for energy storage devices. *Journal of Materials Chemistry A*, *5*(6), 2411-2428.

Wang, J., Wu, F. A., Wang, M., Qiu, N., Liang, Y., Fang, S. Q., & Jiang, X. (2010). Preparation of activated carbon from a renewable agricultural residue of pruning mulberry shoot. *African Journal of Biotechnology*, 9(19), 2762–2767.

Wang, J., Zhang, M., Chen, M., Min, F. I., Zhang, S., Ren, Z. & Yan, Y. (2006). Catalytic effects of six inorganic compounds on pyrolysis of three kinds of biomass. *Thermochimica Acta*, 444(1), 110–114.

Williams, P. T., & Reed, A. R. (2004). High grade activated carbon matting derived from the chemical activation and pyrolysis of natural fibre textile waste. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 71(2), 971–986.

Xie, K., Zhang, K., Han, Y., Yuan, K., Song, Q., Wang, J., Shen, C., Liu, X., & Wei, B. (2016). A Novel TiO2-Wrapped Activated Carbon Fiber/Sulfur Hybrid Cathode for High Performance Lithium Sulfur Batteries. *Electrochimica Acta*, 210, 415–421.

Xie, X., Goodell, B., Zhang, D., Nagle, D. C., Qian, Y. I., Peterson, M. L. & Jellison, J. (2009). Characterization of carbons derived from cellulose and lignin and their oxidative behavior. *Bioresource Technology*, 100(5), 1797–1802.

Yahaya, N. K. E. M., Latiff, M. F. P. M., Abustan, I., & Ahmad, M. A. (2010). Effect of preparation conditions of activated carbon prepared from rice husk by ZnCl2 activation for removal of Cu (II) from aqueous solution. *Int. J. Eng. Technol*, 10(6), 27–31.

Yahya, M. A., Al-Qodah, Z., & Ngah, C. Z. (2015). Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 218-235.

Yang, K., Peng, J., Srinivasakannan, C., Zhang, L., Xia, H., & Duan, X. (2010). Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. *Bioresource technology*, 101(15), 6163–6169.

Younas, M., Leong, L. K., Mohamed, A. R., & Sethupathi, S. (2016). CO2 adsorption by modified palm shell activated carbon (psac) via chemical and physical activation and metal impregnation. *Chemical Engineering Communications*, 203(11), 1455-1463.

Yu, J., Yang, F. C., Hung, W. N., Liu, C. L., Yang, M., & Lin, T. F. (2016). Prediction of powdered activated carbon doses for 2-MIB removal in drinking water treatment using a simplified HSDM approach. *Chemosphere*, 156, 374-382.

Yusufu, M. I., Ariahu, C. C., & Igbabul, B. D. (2012). Production and characterization of activated carbon from selected local raw materials. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 6(9), 123–131.

Zazycki, M. A., Tanabe, E. H., Bertuol, D. A., & Dotto, G. L. (2017). Adsorption of valuable metals from leachates of mobile phone wastes using biopolymers and activated carbon. *Journal of Environmental Management*, 188, 18-25.

Zhang, E., Wang, F., Zhai, W., Scott, K., Wang, X., & Diao, G. (2017). Efficient removal of nitrobenzene and concomitant electricity production by single-chamber microbial fuel cells with activated carbon air-cathode. *Bioresource technology*, 229, 111-118.

Zhang, J., Xiang, J., Dong, Z., Liu, Y., Wu, Y., Xu, C., & Du, G. (2014). Biomass derived activated carbon with 3D connected architecture for rechargeable lithium – sulfur batteries. *Electrochimica Acta*, 116, 146–151.

Zhong, Z. Y., Yang, Q., Li, X. M., Luo, K., Liu, Y., & Zeng, G. M. (2012). Preparation of peanut hull-based activated carbon by microwave-induced phosphoric acid activation

and its application in Remazol Brilliant Blue R adsorption. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 178–185.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Manisa'nın Salihli ilçesinde doğdu. İlköğrenimi Gazi ilköğretim okulunda 1996 yılında, ortaöğrenimini Gazi ortaokulunda 1999 yılında, lise öğrenimini Turgutlu Anadolu lisesinde 2002 yılında tamamlamıştır. Karadeniz Teknik üniversitesi Fatih Eğitim Fakültesi Kimya öğretmenliği bölümünden 2007 yılında ve Karadeniz Teknik üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya bölümünden 2008 yılında mezun olmuştur. 2009 yılında Çanakkale 18 Mart üniversitesinde 6 ay araştırma görevlisi olarak çalıştıktan sonra MEB'nın verdiği burs ile (YLSY) Amerika Birleşik Devletlerinin Arkansas eyaletine giderek 2013 yılında Arkansas Üniversitesi Kimya bölümünden yüksek lisans derecesini almıştır. 2014 yılında Trakya Üniversitesi Kimya bölümü Fizikokimya anabilim dalında doktora eğitimine başlamıştır.

2014 yılından beri Kırklareli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

TEZ ÖĞRENCİSİNE AİT TEZ İLE İLGİLİ BİLİMSEL FAALİYETLER

[1] ÜNER, O., BAYRAK, Y. ***Different production methods of activated carbon from Arundo donax for contaminant removal from wastewater***, The 2nd Regional IWA Symposium on water, wastewater and environment (IWA-PPFW 2017), Çeşme, İzmir, TURKEY, (2017). Özet Bildiri-Poster

[2] ÜNER, O., BAYRAK, Y. ***The effect of carbonization temperature, carbonization time and impregnatıon ratio on the properties of activated carbon produced from Arundo donax***, International Porous Powder Materials (PPM 2017), Kuşadası, Aydın, TURKEY, (2017). Özet Bildiri-Poster