

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

**AKTİF KARBON KULLANILARAK SULU ÇÖZELTİLERDEN BOYAR
MADDE UZAKLAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN : İlyas GENEL
DANIŞMAN : Doç.Dr. Yaşar GENEL

VAN-2021

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

**AKTİF KARBON KULLANILARAK SULU ÇÖZELTİLERDEN BOYAR
MADDE UZAKLAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

HAZIRLAYAN: İlyas GENEL

VAN-2021

KABUL VE ONAY SAYFASI

Kimya Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Yaşar GENEL danışmanlığında, İlyas GENEL tarafından sunulan “Aktif Karbon Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Boyar Madde Uzaklaştırılması” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 24/11/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Emin ERDEM

İmza:

Üye: Prof.Dr. Salih ALKAN

İmza:

Üye: Prof.Dr. Mehmet TUNÇ

İmza:

Üye: Doç.Dr. Yaşar GENEL

İmza:

Üye: Dr.Öğr.Üyesi Ali SAVRAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmza

İlyas GENEL



ÖZET

AKTİF KARBON KULLANILARAK SULU ÇÖZELTİLERDEN BOYAR MADDE UZAKLAŞTIRILMASI

GENEL, İlyas

Doktora Tezi, Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yaşar GENEL

Aralık 2021, 227 sayfa

Bu çalışmada hammadde olarak Van yöresinde yetişebilen 4 farklı ağaç türü olan yabani kuşburnu ağacı, akasya ağacı, dişbudak ağacı ve kavak ağaçlarının talaşları aktif karbon üretiminde kullanılmıştır. Yüzey alanı yüksek, gözenek hacimleri iyi bir aktif karbon üretmek için çinko klorür ($ZnCl_2$), sodyum hidroksit ($NaOH$), borik asit (H_3BO_3) ve fosforik asit (H_3PO_4) ile ham materyaller 1:1 oranında karıştırılarak impregnasyon işlemleri yapılmıştır. İmpregnasyon işleminden sonra 800 °C de azot gazı ortamında pirolizleri sonucu aktif karbonlar üretilmiştir. Üretilen Aktif karbonların FTIR, BET, SEM ve elementel analizleri yapılmıştır. Elde edilen aktif karbonlardan çinko klorür ve sodyum hidroksit impregnasyonu ile üretilen aktif karbonların metilen mavisi adsorpsiyonunda, akasya ve yabani kuşburnu ağaçlarının sodyum hidroksit ve çinko klorür ile üretilen aktif karbonları daha geniş yüzey alanlarına sahip olduğundan dolayı kinolin sarısı boyar maddesi ile adsorpsiyonlarında incelenmiştir. Adsorpsiyon deneylerinin, Langmuir, Freundlich, Temkin ve D-R adsorpsiyon izoterm modellerine göre uyumuna bakılmıştır. Adsorpsiyon denge verilerinin R^2 değerlerine göre olayın Langmuir adsorpsiyon izotermiyle uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Kinetik verilerin yalancı birinci mertebe, yalancı ikinci mertebe, Elovich ve İnterpartiküler difüzyon kinetik modelleri ile uyumuna bakılmıştır. Verilerin yalancı ikinci mertebeden kinetik modele uyumlu oldukları bulunmuştur. Metilen mavisi boyar maddesi adsorpsiyonunda pH, sıcaklık, konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır. Kinolin sarısının sıcaklık ve konsantrasyon ölçümleri yapılmıştır. Üretilen aktif karbonların boyar madde gideriminde kullanım potansiyelinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Adsorpsiyon, Ağaçtalaşı, İmpregnasyon, Piroliz, Spektrofotometre



ABSTRACT

DYESTUFFS REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING ACTIVATED CARBON

GENEL, İlyas

Ph.D. Thesis, Department of Chemistry

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yaşar GENEL

December 2021, 227 pages

In this study, sawdust of wild rosehip tree, acacia tree, ash tree and poplar trees, which are 4 different tree species that can grow in the Van region, were used in the production of activated carbon. In order to produce an activated carbon with high surface area and good pore volume, zinc chloride (ZnCl_2), sodium hydroxide (NaOH), Boric acid (H_3BO_3) and phosphoric acid (H_3PO_4) were mixed with raw materials in a 1:1 ratio and implantation processes were carried out. After the impregnation process, activated carbons were produced as a result of their pyrolysis in nitrogen gas environment at 800 °C. FTIR, BET, SEM and elemental analyzes of the produced activated carbons were made. In the methylene blue adsorption of activated carbons produced by the implantation of zinc chloride and sodium hydroxide from the obtained activated carbons, the adsorption of the activated carbons of acacia and wild rosehip trees with sodium hydroxide and zinc chloride with a quinoline yellow dyestuff, since they have larger surface areas, was also investigated. The compatibility of the adsorption experiments with Langmuir, Freundlich, Temkin and D-R adsorption isotherm models was checked. According to the R^2 values of the adsorption equilibrium data, it was determined that the event was compatible with the Langmuir adsorption isotherm. The compatibility of the kinetic data with pseudo-first-order, pseudo-second-order, Elovich and interparticular diffusion kinetic models was examined. The data were found to be compatible with the pseudo-second-order kinetic model. Temperature, pH, and concentration measurements were made in the adsorption of methylene blue dyestuff. Temperature and concentration measurements were made in the adsorption of quinoline yellow. It has been observed that the produced activated carbons have a high potential for use in dyestuff removal.

Keywords: Adsorption, Impregnation Spectrophotometer, Pyrolysis, Wood shavings.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr Yaşar GENEL'e, aileme ve ismini yazmadığım birçok kişiye yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

2021

İlyas GENEL



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxix
EKLER DİZİNİ.....	xxxı
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	3
2.1. Renk.....	3
2.2. Renk Teorileri.....	3
2.2.1. Oksokromlar:	4
2.2.2. Kromoforlar	4
2.3. Boya ve Boyar Madde	4
2.3.1. Boya.....	4
2.3.2. Boyar madde.....	5
2.3.3. Boyar maddelerin çözünürlüğüne göre sınıflandırılması	5
2.3.4. Boyar maddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırması.....	6
2.3.5. Boyar maddelerin kimyasal yapıya göre sınıflandırması	8
2.4. Aktif Karbon.....	10
2.4.1. Aktif karbonun molekül ve kimyasal yapısı.....	11
2.4.2. Aktif karbonun oksijen yüzey kompleksleri.....	12
2.4.3. Aktif karbonun fonksiyonel grupları	13

	Sayfa
2.4.4. Aktif karbon üretimi	14
2.4.5. Aktif karbon türleri	23
2.4.6. Aktif karbonun uygulama alanları	23
2.4.7. Aktif karbonun özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan yöntemler	24
2.5. Adsorpsiyon	25
2.5.1. Sıvı ve gazların adsorpsiyonu	27
2.5.2. Katı-sıvı adsorpsiyonu	27
2.5.3. Katı-gaz adsorpsiyonu	27
2.5.4. Adsorpsiyon çeşitleri	28
2.5.5. Adsorpsiyon izotermi	31
2.5.6. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler	35
2.5.7. Adsorpsiyon kinetiği	37
2.5.8. Adsorpsiyon termodinamiği	40
2.6. Literatür Özetleri	42
3. MATERYAL VE METOT	49
3.1. Aktif Karbon Üretimi Deneyleri	50
3.1.1. Hammadde seçimi, kurutulması ve parçalanması	50
3.1.2. Kimyasal impregnasyon	50
3.1.3. Piroliz süreci	51
3.1.4. Kül giderimi	52
3.1.5. Süzme işlemi	52
3.1.6. Kurutma ve depolama	52
3.2. Adsorpsiyon Deneyleri	52
3.2.1. Konsantrasyon değişimi	52
3.2.2. Sıcaklık Değişimi	53

	Sayfa
3.2.3. pH değişimi	53
4. BULGULAR	55
4.1. Aktif Karbon Analiz Sonuçları.....	55
4.1.1. Elementel analiz sonuçları.....	55
4.1.2. FT-IR analizleri	56
4.1.3. Bet analizleri.....	72
4.1.4. SEM analizleri	89
4.2. Adsorpsiyon Deneyleri.....	99
4.2.1. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi ve kinolin sarısı deney sonuçları	100
4.2.2. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ve kinolin sarısı deney sonuçları	116
4.2.3. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi ve kinolin sarısı deney sonuçları	134
4.2.4. A2-2 Aktif karbonunun metilen mavisi ve kinolin sarısı deney sonuçları	150
4.2.5. A3-1 Aktif karbonunun metilen mavisi deney sonuçları.....	166
4.2.6 A3-2 Aktif karbonu metilen mavisi deney sonuçları.....	175
4.2.7 A4-1 Aktif karbonu metilen mavisi deney sonuçları.....	184
4.2.8 A4-2 Aktif karbonu metilen mavisi deney sonuçları.....	192
5. TARTIşMA VE SONUÇ	201
KAYNAKLAR.....	205
EKLER	213
ÖZ GEçMİş.....	227

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki ayırt edici özellikleri.	28
Çizelge 4.1. Ağaç talaşları ve üretilen aktif karbonların elemental analiz sonuçları	55
Çizelge 4.2. Saf ham made ve aktif karbon analizlerinde görülen dalga boyları ve özellikleri.....	56
Çizelge 4.2. Saf ham made ve aktif karbon analizlerinde görülen dalga boyları ve özellikleri (devamı)	57
Çizelge 4.2. Saf ham made ve aktif karbon analizlerinde görülen dalga boyları ve özellikleri (devamı)	58
Çizelge 4.2 Saf ham made ve aktif karbon analizlerinde görülen dalga boyları ve özellikleri(devamı)	59
Çizelge 4.3. Ham haldeki yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının FT-IRSonuçları	59
Çizelge 4.3. Ham haldeki yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının FT-IRsonuçları (devamı)..	60
Çizelge 4.4. Saf halleri ile karbonize edilmiş yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) FT-IR Sonuçları...	63
Çizelge 4.5. Yabani kuşburnu ağacı(A1), akasya ağacı(A2), dişbudak ağacı(A3) ve kavak ağacı(A4) talaşlarının çinko klorürü ile imregnasyonu sonucu oluşan karbonların FT-IR Sonuçları.....	65
Çizelge 4.6. Yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının Sodyum hidroksit ile imregnasyonu sonucu oluşan karbonların FT-IR Sonuçları	67
Çizelge 4.7. Yabani kuşburnu ağacı(A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının fosforik asit ile imregnasyonu sonucu oluşan karbonların FT-IR Sonuçları.....	69
Çizelge 4.8. Yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının borik asit ile imregnasyonu sonucu oluşan karbonların FT-IR Sonuçları.....	71
Çizelge 4.9. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının saf karbon analizleri	79

Çizelge 4.10. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının çinko klorür ile muamele edilerek Üretilmiş aktif karbonların BET analizleri	80
Çizelge 4.11. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının sodyum hidroksit ile muamele edilerek üretilmiş aktif karbonların BET analizleri	82
Çizelge 4.12. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının fosforik asit (H_3PO_4) ile impregnasyonu ile elde edilen aktif karbonların BET analizleri	83
Çizelge 4.12. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının fosforik asit (H_3PO_4) ile impregnasyonu ile elde edilen aktif karbonların BET analizleri (devamı)	84
Çizelge 4.14. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	101
Çizelge 4.15. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri..	101
Çizelge 4.16. A1-1 Aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order) ve yalancı ikinci mertebe (pseudo second order) kinetik, Elovich, İnterpartiküler difüzyon model sabitleri	104
Çizelge 4.17. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler.....	106
Çizelge 4.18. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi	107
Çizelge 4.19. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	110
Çizelge 4.20. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyon sabitleri.....	110
Çizelge 4.20. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyon sabitleri (devamı)	111
Çizelge 4.21. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$ AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).	114
Çizelge 4.22. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler.....	115

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.23. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	117
Çizelge 4.23. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri (devamı)	118
Çizelge 4.24. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	118
Çizelge 4.25. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon (interparticle diffusion) kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).	121
Çizelge 4.26. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler.....	123
Çizelge 4.27. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi	124
Çizelge 4.28. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	127
Çizelge 4.29 A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyon sabitleri.....	127
Çizelge 4.30. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon (intraparticle diffusion) kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).....	130
Çizelge 4.31. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler.....	132
Çizelge 4.32. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	134
Çizelge 4.33. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri	135
Çizelge 4.34. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r. pH=6-7, KH= 200 rpm).....	138

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.35. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler.....	140
Çizelge 4.36. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi	141
Çizelge 4.37. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerler.....	144
Çizelge 4.38. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyon sabitler	144
Çizelge 4.39. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 oC,30oC ve 45 oC'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L,V=0,25L, AD= 1 g, r. pH=6-7, KH= 200 rpm). (Co= 200mg/L, V=0,25L AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).	147
Çizelge 4.40. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler.....	149
Çizelge 4.41. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	151
Çizelge 4.42. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitler ...	151
Çizelge 4.43. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).	154
Çizelge 4.44. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri	156
Çizelge 4.45. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi.....	157
Çizelge 4.46. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	159
Çizelge 4.46. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri (devamı).....	160
Çizelge 4.47. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri	160

Çizelge 4.48. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r. pH=6-7, KH= 200 rpm)	163
Çizelge 4.49. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler	165
Çizelge 4.50. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	167
Çizelge 4.51. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri	168
Çizelge 4.52. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order) ve yalancı ikinci mertebe (pseudo first order) kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH= 200 rpm).	171
Çizelge 4.53. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler	172
Çizelge 4.53. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler (devamı).....	173
Çizelge 4.54. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi.....	174
Çizelge 4.55. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	176
Çizelge 4.56. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri	176
Çizelge 4.56. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri (devamı).....	177
Çizelge 4.57. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C,30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r, pH=6-7, KH= 200 rpm).....	180
Çizelge 4.58. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri.....	181

Çizelge 4.59. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi	183
Çizelge 4.60. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri	184
Çizelge 4.61. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri..	185
Çizelge 4.62. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C,30°C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r. pH=6-7, KH= 200 rpm).	188
Çizelge 4.63. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreler	190
Çizelge 4.64. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi	191
Çizelge 4.65. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu langmüir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm Değerleri	193
Çizelge 4.66. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri..	193
Çizelge 4.66. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri (devamı)	194
Çizelge 4.67. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C,30°C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r. pH=6-7, KH= 200 rpm).	197
Çizelge 4.68. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri	198
Çizelge 4.69. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi.....	200

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Aktif karbonlarda başlıca fonksiyonel gruplar (Mattson ve Mark 1971).....	13
Şekil 2.2. Aktif karbonun genel üretim şeması (Smisek ve Cerny, 1970).	14
Şekil 2.3. Bir adsorban taneciğinde adsorpsiyon çeşitleri	26
Şekil 2.4. İzoterm tipleri.	32
Şekil 3.1. Karbonizasyon işleminde kullanılan fırın	49
Şekil 3.2. Yıkama sitemi	49
Şekil 4.1. A1-0, A2-0, A3-0, A4-0 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikleri	74
Şekil 4.2. A1-1, A2-1, A3-1, A4-1 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikler	75
Şekil 4.3. A1-2, A2-2, A3-2, A4-2 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikleri	76
Şekil 4.4. A1-3, A2-3, A3-3, A4-3 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikleri	77
Şekil 4.5. A1-4, A2-4, A3-4, A4-4 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikleri	78
Şekil 4.6. A1-0, A1-1, A1-2, A1-3, A1-4 gözenek dağılım grafiği.....	87
Şekil 4.7. A2-0, A2-1, A2-2, A2-3, A2-4 gözenek dağılım grafiği.....	87
Şekil 4.8. A3-0, A3-1, A3-2, A3-3, A3-4 gözenek dağılım grafiği.....	88
Şekil 4.9. A4-0, A4-1, A4-2, A4-3, A4-4 gözenek dağılım grafiği.....	88
Şekil 4.10. Ham haldeki A1 ağaç talaşlarının SEM görüntüsü	89
Şekil 4.11. Ham haldeki A2 ağaç talaşlarının SEM görüntüsü 2.00 kx çekim	90
Şekil 4.12. Ham haldeki A3 ağaç talaşlarının SEM görüntüsü	91
Şekil 4.13. Ham haldeki A3 ağaç talaşlarının SEM görüntüsü	91

Şekil 4.14. Ham haldeki A1 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü 2.00 kx çekim	92
Şekil 4.14. Ham haldeki A1 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü 10.00 kx çekim (devamı)	92
Şekil 4.15. Ham haldeki A2 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü	93
Şekil 4.16. Ham haldeki A3 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü	93
Şekil 4.17. Ham haldeki A4 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü	94
Şekil 4.18. A1 ağaç talaşlarının $ZnCl_2$ (Çinko klorür) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A1-1 Aktif karbonu).	94
Şekil 4.19. A2 ağaç talaşlarının $ZnCl_2$ (Çinko klorü) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A2-1 Aktif karbonu).	95
Şekil 4.20. A3 ağaç talaşlarının $ZnCl_2$ (Çinko klorü) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü 2.00 kx çekim (A2-1 Aktif karbonu).	95
Şekil 4.20. A3 ağaç talaşlarının $ZnCl_2$ (Çinko klorü) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü 10.00 kx çekim (A3-1 Aktif karbonu) (devamı).....	96
Şekil 4.21. A4 ağaç talaşlarının $ZnCl_2$ (Çinko klorür) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü 2.00 kx çekim (A4-1 Aktif karbonu).	96
Şekil 4.21. A4 ağaç talaşlarının $ZnCl_2$ (Çinko klorür) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü 10.00 kx çekim (A4-1 Aktif karbonu) (devamı).....	97
Şekil 4.22. A1 ağaç talaşlarının NaOH (Sodyum Hidroksit) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A1-2 Aktif karbonu).....	97
Şekil 4.23. A2 ağaç talaşlarının NaOH (Sodyum Hidroksit) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A2-2 Aktif karbonu).....	98
Şekil 4.24. A3 ağaç talaşlarının NaOH (Sodyum Hidroksit) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A3-2 Aktif karbonu).....	98
Şekil 4.25. A4 ağaç talaşlarının NaOH (Sodyum Hidroksit) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A4-2 Aktif karbonu).....	99

Sekil	Sayfa
Şekil 4.26. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon zaman grafiği	100
Şekil 4.27. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25°C,30°C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği	102
Şekil 4.28. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C,30°C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği.....	103
Şekil 4.29. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C,30°C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği.....	103
Şekil 4.30. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği	104
Şekil 4.31. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo first order), Elovich, İnterpartiküler difüzyon kinetik grafikleri	105
Şekil 4.32. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo first order), Elovich, İnterpartiküler difüzyon kinetik grafikleri (devamı)	105
Şekil 4.33. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.....	106
Şekil 4.34. A1-1 Aktif karbonunun Metilen mavisi Adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği	108
Şekil 4.35. Metilen mavisi ve NaOH 24 saat süredeki etkileşimi	109
Şekil 4.36. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon zaman grafiği	109
Şekil 4.37. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25 AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm	112
Şekil 4.38. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).....	112

Şekil 4.39. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).....	113
Şekil 4.40. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).....	113
Şekil 4.41. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order) kinetik grafikleri (Co= 200mg/L, V=0,25L AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).	114
Şekil 4.42. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik (intraparticle diffusion) grafikleri (Co= 200mg/L, V=0,25L AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).....	115
Şekil 4.43. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.....	116
Şekil 4.44. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği.....	117
Şekil 4.45. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).....	119
Şekil 4.46. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).....	120
Şekil 4.47. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).....	120
Şekil 4.48. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).....	121
Şekil 4.49. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).....	122

Şekil 4.50. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafikleri.....	123
Şekil 4.51. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç ph değişiminin etkisi grafiği.....	125
Şekil 4.52. A1-2 Aktif Karbonunun Kinolin Sarısı ile Adsorpsiyonu Sıcaklık Konsantrasyon Grafiği.....	126
Şekil 4.53. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (, Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25 AD= 1 g, pH=6-7, KH=200 rpm).....	128
Şekil 4.54. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).....	129
Şekil 4.55. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).....	129
Şekil 4.56. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).....	130
Şekil 4.57. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order) kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).	131
Şekil 4.58. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C,30°C ve 45 °C'deki Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).....	131
Şekil 4.59. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği	133
Şekil 4.60. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği	134
Şekil 4.61. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	136

Şekil 4.62. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	136
Şekil 4.63. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	137
Şekil 4.64. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	137
Şekil 4.65. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).....	139
Şekil 4.66. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği	141
Şekil 4.67. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.....	142
Şekil 4.68. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği	143
Şekil 4.69. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6-7, KH=200 rpm)	145
Şekil 4.70. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm)	146
Şekil 4.71. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm)	146
Şekil 4.72. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm)	147
Şekil 4.73. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order) ve yalancı ikinci mertebe (pseudo first order) kinetik grafikleri (Co= 200mg/L, V=0,25L AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).....	148

Şekil 4.73. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order) ve yalancı ikinci mertebe (pseudo second order) kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$ $AD=1\text{ g}$, $\text{pH}=6-7$, $KH=200\text{ rpm}$) (devamı).....	148
Şekil 4.74. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği	149
Şekil 4.75. A2-2 aktif karbonunun Metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği	150
Şekil 4.76. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu $25\text{ }^\circ\text{C}$, $30\text{ }^\circ\text{C}$ ve $45\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki Langmuir izotermi grafiği ($C_0=50, 100, 200, 400, 600\text{ ppm}$, $V=0,25\text{L}$ $AD=1\text{ g}$, $\text{pH}=7$, $KH=200\text{ rpm}$)	152
Şekil 4.77. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu $25\text{ }^\circ\text{C}$, $30\text{ }^\circ\text{C}$ ve $45\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki Freundlich izotermi grafiği ($C_0=50, 100, 200, 400, 600\text{ ppm}$, $V=0,25\text{L}$ $AD=1\text{ g}$, $\text{pH}=7$, $KH=200\text{ rpm}$)	153
Şekil 4.78. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu $25\text{ }^\circ\text{C}$, $30\text{ }^\circ\text{C}$ ve $45\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki Temkin izotermi grafiği ($C_0=50, 100, 200, 400, 600\text{ ppm}$, $V=0,25\text{L}$ $AD=1\text{ g}$, $\text{pH}=7$, $KH=200\text{ rpm}$)	153
Şekil 4.79. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu $25\text{ }^\circ\text{C}$, $30\text{ }^\circ\text{C}$ ve $45\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki D-R izotermi grafiği ($C_0=50, 100, 200, 400, 600\text{ ppm}$, $V=0,25\text{L}$ $AD=1\text{ g}$, $\text{pH}=7$, $KH=200\text{ rpm}$)	154
Şekil 4.80. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda $25\text{ }^\circ\text{C}$, $30\text{ }^\circ\text{C}$ ve $45\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD=1\text{ g}$, r , $\text{pH}=6-7$, $KH=200\text{ rpm}$).	155
Şekil 4.80. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda $25\text{ }^\circ\text{C}$, $30\text{ }^\circ\text{C}$ ve $45\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD=1\text{ g}$, $\text{pH}=6-7$, $KH=200\text{ rpm}$) (devamı).....	155
Şekil 4.81. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği	156
Şekil 4.82. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.....	158

Şekil 4.83. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği	159
Şekil 4.84. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25 AD= 1 g, pH=6-7, KH=200 rpm)	161
Şekil 4.85. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm)	162
Şekil 4.86. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).....	162
Şekil 4.87. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm)	163
Şekil 4.88. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r, pH=6-7, KH= 200 rpm).	164
Şekil 4.88. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r, pH=6-7, KH= 200 rpm)(devamı).....	164
Şekil 4.89. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği	165
Şekil 4.90. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği	166
Şekil 4.91. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	169
Şekil 4.92. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	169

Şekil 4.93. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).....	170
Şekil 4.94. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	170
Şekil 4.95. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order) ve yalancı ikinci mertebe (pseudo first order) kinetik model sabitleri ve grafikleri (Co= 200mg/L, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH= 200 rpm).	171
Şekil 4.95. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda Elovich ve İnterpartiküler kinetik model sabitleri ve grafikleri (Co= 200mg/L, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH= 200 rpm) (devamı)	172
Şekil 4.96. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği	173
Şekil 4.97. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç ph değişiminin etkisi grafiği.....	174
Şekil 4.98. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi	175
Şekil 4.99 A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	178
Şekil 4.100. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	178
Şekil 4.101. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).....	179
Şekil 4.102. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	179

Şekil 4.103. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r, pH=6-7, KH= 200 rpm).....	180
Şekil 4.103. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm) (devamı).....	181
Şekil 4.104. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği	182
Şekil 4.105. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.....	183
Şekil 4.106. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi	184
Şekil 4.107. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	186
Şekil 4.108. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	186
Şekil 4.109. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	187
Şekil 4.110. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	187
Şekil 4.111. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r, pH=6-7, KH= 200 rpm).....	188

Şekil 4.111. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r, pH=6-7, KH= 200 rpm)(devamı)	189
Şekil 4.112 A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklar da termodinamik grafiği	190
Şekil 4.113. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.....	192
Şekil 4.114. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi	192
Şekil 4.115. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	195
Şekil 4.116. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm.....	195
Şekil 4.117. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm.....	196
Şekil 4.118. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)	196
Şekil 4.119. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).	198
Şekil 4.120. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği	199
Şekil 4.121.A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.....	200



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Adsorbentin yüzey alanı (m^2/g)
Å	Angström
A_T	Temkin izoterm sabiti ($l/mmol$)
b	Langmuir izoterminde adsorban ve adsorplanan madde ile sıcaklığa bağlı sabit
b_T	Temkin izoterm sabiti
C₀	Adsorbat çözeltisinin başlangıç konsantrasyonu
C_e	Adsorbatın denge konsantrasyonu
e	Elektronun yükü (C)
ε₀	Boşluğun geçirgenliği ---
ε	Ortamın geçirgenliği ---
k	D-R izotermine adsorbanın gözenek boyut dağılımı karakterizasyon parametresi
k_a	Adsorpsiyon hız sabiti
k_d	Desorpsiyon hız sabiti
K_c	Adsorpsiyon denge sabiti (g/mol)
K_f	Freundlich sabiti mol/g
n	Freundlich izotermine adsorban ve adsorplanan madde ile sıcaklığa bağlı sabit
NA	Avagadro sabiti (Molekül/mol)
n	Freundlich sabiti
P	D-R izotermine adsorban etki katsayısı
q_e	Adsorbentin gramı başına adsorplanan adsorbatın mg/g

Simgeler

Açıklama

Q_m	Adsorbentin tek tabaka kapasitesi (mol/g)
q_0	Adsorbentin gramı başına başlangıçtaki adsorbatın konsantrasyonu (mol/g)
R^2	Korelasyon katsayısı ---
T	Mutlak sıcaklık (K)
W	Adsorbentin kütlesi (g)
W_0	D-R izoterminde toplam mikro gözenek hacmi
W	D-R izoterminde relatif basınç P/P_0 'da gözenekte adsorplanan hacim
$X'm$	Dubinin-Radushkevich sabitini (mg g ⁻¹)
V	Sulu çözeltinin hacmi (L)
θ	Adsorbat tarafından adsorbent yüzeyinin kaplanan kesri
ΔH	Adsorpsiyon ısısı (kJ/mol)
Term.	Termodinamik
AD	Adsorban değeri (g)
A1	Yabani kuşburnu ağacı
A2	Akasya ağacı
A3	Dişbudak ağacı
A4	Kavak ağacı
A1-0	Yabani kuşburnu ağacından elde edilen ham aktif karbon
A2-0	Akasya ağacı kuşburnu ağacından elde edilen ham aktif karbon
A3-0	Dişbudak ağacı kuşburnu ağacından elde edilen ham aktif karbon
A4-0	Kavak ağacı kuşburnu ağacından elde edilen ham aktif karbon

Kısaltmalar

Açıklama

A1-1	Yabani kuşburnu ZnCl_2 ile elde edilen aktif karbon
A2-1	Akasya ağacı ZnCl_2 ile elde edilen aktif karbon
A3-1	Dişbudak ağacı ZnCl_2 ile elde edilen aktif karbon
A4-1	Kavak ağacı ZnCl_2 ile elde edilen aktif karbon
A1-2	Yabani kuşburnu NaOH ile elde edilen aktif karbon
A2-2	Akasya ağacı NaOH ile elde edilen aktif karbon
A3-2	Dişbudak ağacından NaOH ile elde edilen aktif karbon
A4-2	Kavak ağacından NaOH ile elde edilen aktif karbon
A1-3	Yabani kuşburnu ağacından H_3PO_4 ile elde edilen aktif karbon
A2-3	Akasya ağacından H_3PO_4 ile elde edilen aktif karbon
A3-3	Dişbudak ağacından H_3PO_4 ile elde edilen aktif karbon
A4-3	Kavak ağacından H_3PO_4 ile elde edilen aktif karbon
A1-4	Yabani kuşburnu ağacından H_3BO_3 ile elde edilen aktif karbon
A2-4	Akasya ağacından H_3BO_3 ile elde edilen aktif karbon
A3-4	Dişbudak ağacından H_3BO_3 ile elde edilen aktif karbon

Kısaltmalar

Açıklama

A4-4

Kavak ağacından H_3BO_3 ile elde edilen aktif karbon

A1S

Yabani kuşburnu ağacı talaşı

A2S

Akasya ağacı talaşı

A3S

Dişbudak ağacı talaşı

A4S

Kavak ağacı ağacı talaşı

KS

Kinolin sarısı

MM

Metilen mavisi



EKLER DİZİNİ

	Sayfa
Ek 1. Üretilen Aktif karbonların FT-IRanaliz sonuçları grafikleri	208
Ek.1.1. A1 talaşı FT-IR analiz grafiği	208
Ek.1.2. A2 talaşı FT-IR analiz grafiği	208
Ek.1.3. A3 Talaşı FT-IR Analiz grafiği.....	209
Ek.1.4. A4 Talaşı FT-IR Analiz grafiği.....	209
Ek.1.5. A1 Karbonu FT-IR Analiz grafiği	210
Ek.1.6. A2 karbonu FT-IR analiz grafiği.....	210
Ek.1.7. A3 karbonu FT-IR analiz grafiği.....	211
Ek.1.8. A4 karbonu FT-IR analiz grafiği.....	211
Ek.1.9. A1-1 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	212
Ek.1.10. A2-1 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	212
Ek.1.11. A3-1 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	213
Ek.1.12. A4-1 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	213
Ek.1.13. A1-2 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	214
Ek.1.14. A2-2 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	214
Ek.1.15. A3-2 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	215
Ek.1.16. A4-2 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	215
Ek.1.17. A1-3 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	216
Ek.1.18. A2-3 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	216
Ek.1.19. A3-3 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	217
Ek.1.20 A4-3 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	217
Ek.1.21. A1-4 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	218

	Sayfa
Ek.1.22. A2-4 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	218
Ek.1.23. A3-4 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	219
Ek.1.24. A4-4 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.....	219
Ek.1.25. Metilen mavisi yapısı ve özellikleri	220
Ek.1.26. Kinolin sarısı yapısı ve özellikleri.....	220



1. GİRİŞ

Bgnlerde insanlık süratle medeniyetlerce ilerlemekte, lakin limiti aşan hızı ile rekabet ruhu aşırı harcayan, maddi açıdan nedense ilerici, rakipsiz, rahat adımlarla hayattaki isteklerinin merkezindedir. Fakat bu merkezileşme isteklerin giderimi yapılırken evrensel atıkların artışına dünyaya zararını düşünmeden üretime sunulmasına ve tüketimin artmasına sebep olmaktadır. Arz talep doğrultusunda kurulan bütün işletmeler kimyasal olarak zararlı atıklar ortaya çıkarmakta ve bu atıkları toplanması geri dönüştürülmesi hayli zor olmaktadır. Özellikle hayatımızın odak noktalarından biri olan su gün geçtikçe azalmakta ve kirletilmektedir. İnsanlık olarak gerekli gereksiz ihtiyaçlardan kaynaklı ilerlemenin önüne geçemeyeceğimiz için atıkların toplanması ve suların temizlenerek tekrar kullanılması gerekmektedir. Birçok alanda su kirliliğine sebep olan nedenlerden biri de boya kullanımıdır. Tekstilden sanayisinde, hatta gıdalarda dahil kullanımı artmış durumdadır. Doğal olarak bu atıklar üretilen madde ve malzemelerin tüketilmesi ya da kullanılması son bulmasıyla doğaya bırakılmakta ve belli bir süre sonra dolaylı ya da direkt olarak su ile karışmaktadır. Bu karışma milyarda birlik hatta daha az bir artışla başladığı için çoğu kez gözle fark edilmeden yavaş yavaş kirlilik artmaya başlar. Bu nedenle suyun kirlilikten arındırılması gerekmektedir. Aktif karbon bu arıtım işlemlerinde en çok kullanılan maddelerden biridir. Aktif karbon yalnızca arıtmada değil, kozmetikte, altın üretiminde, kompozit malzemede ve bunun gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Tarımsal atıklardan, endüstriyel atıklardan, bitkisel yan ürünlerden üretilen aktif karbonların kullanımı çok yaygındır. Özellikle endüstriyel sular, içme suyu arıtımında, yeraltı sularının arıtımında, kimyevi arıtma işlemlerinde, gazlarda, çözücülerin geri alınmasında, gaz maskelerinde, hava temizlemesinde, boyar madde giderme işlemlerinde ve bunun gibi çok fazla sayıda farklı süreçlerde kullanılabilmektedir. Çeşitli alanlarda aktif karbon ihtiyacı arttıkça, üretim biçimleri de farklılık göstermeye başladı. Kaliteli aktif karbon üretimi için birçok çalışma yapıldı ve yapılmaya devam edilmektedir. Aktif karbonun kalitesi yüzey özelliklerine bağlıdır. Bu yüzden aktif karbonun elde edilmesinde yararlanılacak ham madde oldukça önemlidir. Aktif karbon üretiminde en önemli malzemelerden biri ağaçlardan elde edilen odun talaşlarıdır. Ağaçlar dekarosyandan evdeki birçok malzemeye kadar sürekli işlenerek

kullanılmaktadır. Doğal enereji kaynakları kıtlığı nedeniyle enerji kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Bu ve bunun gibi nedenlerden dolayı kuru ağaç atığı ve talaş sürekli olarak bulunması kolay bir malzemedir. Aktif karbon üretiminde aktif karbonun yüzey alanının geniş olması ve adsorpsiyon özelliğinin iyi derecede olması istenmektedir. Bu nedenle ağaçlardan elde edilen talaşın özellikleri önem taşır. Aktif karbon üretimini ve boyar maddelerin giderimini daha iyi açıklayabilmek için boyar maddelerin ve aktif karbonun yapısının bilinmesi ve su içerisinde boyar maddelerin alınma süreçlerinin bilinmesi gerekir.



2. KAYNAK BİLDİRİLERİ

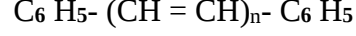
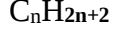
2.1. Renk

Cisim, beyaz ışının bazı dalga boyundaki ışıkları ya da ışığı absorplayarak kalanları yansıtması ve yansıyan ışıkların dalga boyuna bağlı olarak görülmesiyle renk görülür. Dalga boyu 400-750 nm arası cisimde sırasıyla adsorplanan renkler mor, mavi, yeşilimsi mavi, mavimsi yeşil, yeşil, sarımsı yeşil, sarı, turuncu, kırmızı cismin rengi sırasıyla yeşilimsi sarı-sarı, turuncu, kırmızı, magenta, mor, mavi, yeşilimsi mavi, mavimsi yeşil ve yeşil olarak görülür (Başer, 1990)

2.2. Renk Teorileri

Bir teoriye göre; bir bileşiğin renkliliği, molekülünde doymamış yapıda, C = O karbonil, — N = N — (azo), - N = O nitrozo veya nitro gibi grupların -OH (hidroksil), zayıf bazik ya da zayıf asidik özellikte -NH₂ (amino) gibi grupların olması ve bunların etkileşiminden kaynaklanmaktaydı. Doymamış yapıdaki gruplara, renk verici anlamına gelen (chroma: renk, phoron: verici, taşıyıcı), "kromofor" diğer kısmına ise renk arttırıcı (auxesis: arttırıcı) anlamında "oksokrom"), bu grupların olduğu bileşiklere de "kromojen" denildi. Mesela nitrobenzen de -OH oksokrom, hidroksil grupsuz kısım kromojen, — NO₂ kromofordur. Buna göre, renkliliğin asıl nedeni, aynı cins olan oksokrom gruplarına sahip olan benzoid ve kinoid halkaların yan yana gelmesidir. Rengin oluşumunu açıklayan teorilerden diğeri de moleküler orbital (MO) teorisidir. Bir molekül orbitali (MO) iki atomda tam olarak doldurulmamış en dış atomik orbitallerin (AO) girişimi sonucunda meydana gelir. Atomik orbitallerin girişimi ile daima iki molekül orbitali meydana gelir. Bunlardan düşük enerjili olanı bağ orbitalidir. Organik molekülün ışık absorpsiyonu yapması ile, elektronik geçişler olur. Böylece molekül, farklı enerji seviyelerinde olan orbitallerin elektronlarını daha üst seviyelere geçmesini sağlayarak uyarmış olur. Boyar madde moleküllerinde ise anlatılan elektronik geçişler karmaşıktır. Örneğin alkanlar ile difenil-polienleri kıyaslayarak elektronlarının renkliliğe nasıl neden

olduğu görülebilir. Alkanlar renksizdir. Fakat difenil-polienler $n=3$ de açık sarı olmakta ve n' sırasıyla artarak farklı değerlerde de yeşilden siyaha kadar renklenebilmektedir.



Alkan

Difenil-polien

Çift bağlı sisteme π - elektronları alkanların σ - elektronları gibi zor uyarılır. UV bölgesinde görünmeyen kısmında absorpsiyon olur. Bileşikte π - elektronu sayısı artarsa absorpsiyon büyük dalga boyuna doğru kayar. Bu şekilde görünür bölgede absorpsiyon meydana gelebilir ve madde renkli görünür (Başer, 1990).

2.2.1. Oksokromlar:

Moleküldeki $-COOH$, $-SO_3H$, $-OH$, $-NH_2$, gibi gruplar, π - elektronlarının delokalizasyonunu güçlendirirler. Bu şekilde absorpsiyon bandları daha büyük dalga boyu olan bölgeye kayar ve renklilik kazanılır. Örneğin: nitrobenzen-açık sarı, nitrofenol-sarı (Başer ve İnancıcı, 1990).

2.2.2. Kromoforlar

Bir mezomer ya da birden fazla mezomer oluşturabilen moleküllerde π - elektronlu doymamış atom grupları ($>C=O$, $-N=N-$, $>C=C<$, $-NO_2$, $>C=NH$, $-N=O$) kolay uyartılarak karşılıklı etkileşime sokulur. Bu etkileşim ile görünebilir olan bölgeye taraf absorpsiyon kayması görülür (Başer ve İnancıcı, 1990).

2.3. Boya ve Boyar madde

2.3.1. Boya

Cisimlerin yüzeylerini renklendirmek ve dış etkilere korumak için kullanılan maddelerdir. Boya bir bağlayıcı ile bağlanmış fakat çözünmemiş karışımlardır.

2.3.2. Boyar madde

Cisimlerin tamamını renkli yapabilmek için kullanılan organik maddelere boyar madde denir. Boyar maddeler süspansiyon veya çözelti yapılarak kullanılırlar. Cismin yüzeyi ile kimyasal etkileşimde bulunur. Boyar maddeler daha önceleri doğal yollardan elde edilirken daha sonra sentetik boyar maddeler elde edilmiştir. Boyar maddeler çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır (Başer ve İnancıcı, 1990).

2.3.3. Boyar maddelerin çözünürlüğüne göre sınıflandırılması

Suda çözünen boyar maddeler

Suda çözünen boyar madde molekülünde tuz oluşturabilecek bir grup bulunmalıdır. Bu boyar maddeler yapısındaki tuz grubunun karakterine göre üçe ayrılır.

Zwitter iyon karakterli boyar maddeler

Molekül yapısında hem bazik hem asidik grupları bulunur. Bu gruplar iç tuz oluşturup, boyama esnasında bazik ya da nötral bir ortamda anyonik boyar maddeler gibi davranırlar.

Suda Katyonik çözünen boyar maddeler

Çözünürlüğünün nedeni olan grup olarak bir bazik grup ($-NH_2$) asitlerle tuz oluşturmuş halde bulunurlar. Asit için $(COOH)_2$ organik asit ya da $(HC1)$ gibi anorganik asitler kullanılır.

Suda Anyonik çözünen boyar maddeler

Suda çözünen grup olarak en çok sülfonik ($-SO_3$), kısmi olarak karboksilik ($-COO-$) asitlerin sodyum tuzlarını bulundurlar. Örneğin: $(-COONa)$ ve $(-SO_3Na)$.

2.3.4. Boyar maddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırması

Bazik(katyonik) boyar maddeler

Pozitif yük taşıyıcısı N veya S atomunu içeren organik bazların hidroklorürleri olup, katyonik grubu renkli kısımda taşıyan, kimyasal yapısından dolayı proton alan bazik olan anyonik grup içeren maddelere bağlanan boyar maddelerdir.

Asit boyar maddeler

Molekülünde bir veya birden fazla $-SO_3H$ sülfonik asit grubu veya $-COOH$ karboksili asit grubu içeren, $-SO_3H$ gurubunu renk veren gurup olarak taşıyan boyar maddelerdir.

Direkt boyar maddeler (Substantif boyar maddeler)

Genelde sülfonik asit, kısmen de karboksilik asitlerin sodyum tuzlarıdır. Yapı olarak direkt ve asit boyar maddelerin karşılaştırılmasında kesin bir ayırım bulunmamaktadır.

Mordan boyar maddeler

Bazik ya da asidik fonksiyonel gruplar içeren elyafa hem de boyar maddelere karşı aynı kimyasal ilgiyi duyan (mordan) boyar maddelerdir. Suda çözünürlüğü az olan hidroksidlerini oluşturan Sn, Al, Cr, Fe, tuzları mordan olarak kullanılır.

Reaktif boyar maddeler

Elyaf yapısı içinde olan fonksiyonel gruplarla gerçek kovalent bağ yapabilen ve reaktif gruplar içeren boyar maddelerdir. Reaktif olan grup molekülün renkli olan kısmına

bağlı konumdadır. Bu boyar maddelerde ortak karakter tamamında kromofor grup ile birlikte reaktif grup ayrıca reaktif moleküle çözünlülük sağlayabilen bir grup içermelidir.

Küpe boyar maddeleri

Karbonil grubu olan ve suda çözünmeyen boyar maddelerdir. İndirgemeye (sodyum ditiyonit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ile) suda çözünlür hale getirilirler.

İnkişaf boyar maddeleri

Azoik boyar maddeler olarak da adlandırılan Naftol-AS boyar maddeleri ile ftalosiyanın boyar maddeleri bu sınıftandır.

Metal-kompleks boyar maddeler

Belirli grupları olan bir kısım azo boyar maddelerle metal iyonlarının kompleks oluşturmasıyla oluşmuş boyar maddelerdir. Kompleksleşmede azo grubu rol alırken metal katyon olarak Cr, Co, Ni ve Cu iyonları kullanılır.

Dispersiyon boyar maddeleri

Suda yok denecek kadar az miktarda çözünebilen, bundan dolayı su ile boyanacak madde içinde küçük parçacıklar halinde homojen olarak yayılarak uygulanabilen boyar maddelerdir. Boyar madde, boyama esnasında hidrofob elyafın üstüne dispersiyon ortamından boyar madde difüzyon yoluyla alınır.

Pigment boyar maddeleri

Bağlayıcı madde denilen sentetik reçineler ile elyaf yüzeyine bağlanabilen boyar maddelerdir.

2.3.5. Boyar maddelerin kimyasal yapıya göre sınıflandırması

Aşağıda boyar maddelerin sentez ve pratik uygulamalara göre kimyasal sınıflandırma yapılmıştır. Buna göre boyar maddeler, Azo boyar maddeleri, Nitro ve nitrozo boyar maddeleri, Polimetin boyar maddeleri, Arilmetin boyar maddeleri, Aza [18] annulen boyar maddeleri, Karbonil boyar maddeleri, Kükürt boyar maddeleri olmak üzere yedi gruba ayrılır. Bu boyar maddelerin bazı özellikleri aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

Azo boyar maddeleri

Organik boyar maddelerde önemli yere sahip sınıf olup azo grubu bulunduran yani yapı içeriğinde kromofor grup azo ($-N=N-$) grubu ile karakterizasyonu yapılan boyar maddelerdir. Azo gruba bağlı karbon atomlarından bir tanesi aromatik (naftalen, benzen ve türevleri) veya heterosiklik halka, diğeri alifatik zincire bağlı olan enolleşebilen bir grup olabilir. Molekülde en az bir aril grubu olur. Azo boyar maddeleri genel olarak şöyle formüllendirilebilir. $Ar-N=N-R$, R: Aril, heteroaril veya enolleşebilen alkildir. Alifatik grup bulunduran azo boyar maddelerinin renk şiddetleri düşük, geniş bir spektrumda renk tonları bulunmaktadır. Doğal boyar maddelerin kesinlikle azo grubu olmaz. Boyar maddelerin tamamı sentetiktir. Sulu çözelti içinde sentezlenebilen ve başlangıç maddelerinin istenildiği şekilde sınırsız sayıda olması çok sayıda azo boyar maddesinin oluşturulabilmesini sağlar.

Nitro ve nitrozo boyar maddeleri

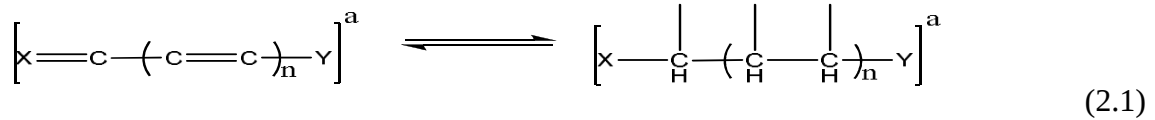
Bu boyar maddelerin yapılarında nitro ($-NO_2$) veya nitrozo ($-N=O$) grubuyla beraber elektrondonör grup ($-OH$, $-NR_2$) bulunur. Boyar maddelerde nitro ya da nitrozo grupları ile elektrondonör grup olan gruplar birbirine göre orto yerinde bulunurlar. Bu grubun boyar maddeleri fenol ya da naftollerin HNO_2 ile muamelesiyle nitrozolanır. Nitrozo bileşikleri çoğunlukla başka boyar maddelerin sentezinde kullanılmalarına rağmen tek başlarına hiç boyar madde karakterleri yoktur. Orto-nitrozo bileşikleri kompleks oluşturma özelliğine sahiptir. Bu nedenle ağır metal tuzlarıyla yaptıkları

kompleksler boyar madde özelliğini gösterirler. Hidroksinitrozo ve ağır metal tuzlarının oluşturduğu kompleks bileşikler ya pigment ya da başlangıç maddesi sulfon grubu($O=S=O$) bulunduruyorsa asit boyar madde özelliğindedir.

Polimetin boyar maddeleri

Polimetin boyar maddeleri yapıları aşağıdaki mezomer sistemiyle açıklanabilir.

(Formül)



Bu yapıdaki X ve Y, konjuge zincirlerle tek sayıdaki metin gruplarına bağlı ve bunlardan bir tanesi elektron-akseptör olarak işlev görürken diğeri de elektron donördür. Yapısındaki a yüküne bakılarak polimetin boyar maddeleri: a yüksüz ise nötral, pozitif ise katyonik, negatif ise anyonik polimetin boyar maddeleri şeklinde adlandırılabilir. Hatta zincirde sayısına göre $n=0$ ise monometin boyar maddesi $n=1$ ise trimetin (veya karbo), $n=2$ ise pentametin (veya dikarbo) boyar maddeleri şeklinde isim verilir.

Arilmetin boyar maddeleri

Genel formülleri $Ar-X=Ar$ olan arilmetin ve poli (aza)metin boyar maddeleridir. Formüldeki X, $-CH=$ veya $-N=$ şeklinde olabilir. X'in $-CH=$ olduğu bileşiklere diarilkarbonyum, $-C(Ar)=$ olduğunda ise triarilkarbonyum bileşikleri oluşur. Bu grup $-N=$ olursa aza türevidir. Bu boyar maddelerin tamamında ve bunların aza analoglarında X ile gösterilen grup absorpsiyonu ana parçasıdır. Bu boyar maddelerin çok fazla sayıdaki özel reaksiyonları X'in elektrofil özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Aza [18] annulen boyar maddeleri

Bir bileşiğin aromatik yapıya sahip olup olmadığı molekül orbital teorisinde Huckel kuralına göre $(4n+2)$ π elektronlarının sayısı ile bulunabilir. n tam sayı olacak şekilde 1 den başlayarak 6,10... elektron sayılarındakiler aromatik olabilir. Fakat aromatiklik için bu sayıdaki elektronların bulunduğu sistemde elektronlar bir düzlemde bulunmalı ve delokalize olmalıdır. Ardarda $C=C$ ve $C-C$ bağlarından oluşan bir

monosiklik halka [n] Annulen olarak da isimlendirilebilir. Örneğin benzen= [6] Annulen, [n] π elektronlarının sayısıdır. Bu boyar madde sınıfı, 18 π elektronlu ve konjuge durumda çift bağları olan siklik renk verici bir yapısı vardır. [18] Annulen tipi boyar maddelerine örnek olarak kan ve yeşil yaprakların boyar maddeleri verilebilir.

Karbonil boyar maddeleri

Bileşiminde konjuge çift bağ bulunan ve bunlara konjuge olan en az iki karbonil grubu içeren bileşiklerdir.

Kükürt boyar maddeleri

Fenollerin ve aromatik aminlerin, kükürt ve sodyum sülfür ya da sodyum polisülfür ile reaksiyonundan oluşan, suda çözünmeyen, makromolekül yapılu organik bileşikler kükürt boyar maddeleri olarak isimlendirilir (Başer ve İnancı, 1990).

Boya ve boyarmadelerin yapılarının bilinmesi çözeltiye adsorpsiyonları için gerekli bir ön bilgidir.

2.4. Aktif Karbon

Aktif karbon, kimyasal analiz veya yapısal formül ile karakterizasyonu yapılamayan, yüksek gözenek ve alanına sahip karbon içeren malzemeler şeklinde tanımlanabilmektedir. Gözenek çapları 3Å ile birkaç bin angstrom arasında değişebilmektedir. Birçok maddeden aktif karbon üretilebilmektedir. Ancak ticari aktif karbon üretiminde hammadde olarak kömür, odun, turba, hindistan cevizi kabuğu ve linyit kullanılmaktadır. Diğer adsorbentlerden ayıran özellikler olarak Aktif karbonun özellikleri şöyle yazılabilir; Nem giderilmesine gerek yoktur, geniş iç yüzey alanı ve farklı gözenekleri ile polar olmayan veya çok az polar olan molekülleri adsorplaması, adsorpsiyonun van der waals bağlarına kaynaklanması ve bunun bir sonucu olarak yenilenmesi için gerekli olan enerji ihtiyacının diğer adsorbentlere oranla az olmasıdır. (Noll ve ark., 1992). Aktif karbonun diğer adsorplayıcılardan farklı olarak, gözenek

yapısı makro gözenek ($r > 500 \text{ \AA}$), mezo gözenek ($20 \text{ \AA} < r < 500 \text{ \AA}$) ve mikro gözenek ($r < 20 \text{ \AA}$) olmak üzere 3 bölüme ayrılır (Sing ev Everet 1987). Gözenekleri etkili yarıçapı $500\text{-}1000 \text{ \AA}$ 'dan büyük olanları makro gözenek olarak tanımlamakta, yüzey alanı $0.5\text{-}2 \text{ m}^2/\text{g}$ ve özgül hacmi $0.2\text{-}0.8 \text{ cm}^3/\text{g}$ arasında olmaktadır. Makro gözeneklerin, genellikle büyük moleküllerin adsorpsiyonunda işlev görmektedir. Adsorpsiyonun gerçekleşmesi için karbon içine geçiş gözeneklerinin ya da kanallarının olması gerekmektedir. Dubinin'e göre geçiş gözenek yarıçaplarının $16 \text{ \AA} - 2000 \text{ \AA}$ aralığında olması, geçiş gözenekleri orta büyüklüğe sahip moleküllerin adsorpsiyonunda görev görmektedir. Özgül hacimleri $0.02\text{-}0.1 \text{ cm}^3/\text{g}$, gözenek ya da kanalların yüzey alanları $20\text{-}70 \text{ m}^2/\text{g}$ arasındadır. Geçiş gözenek ya da kanalları çok olan aktif karbonun, özgül yüzey alanları genellikle $200\text{-}450 \text{ m}^2/\text{g}$, etkin yarıçapları ise $40 \text{ \AA} - 200 \text{ \AA}$ ve özgül hacmi $0.7 \text{ cm}^3/\text{g}$ civarında olabilmektedir. Mikro gözeneklerin ise etkin yarıçapları $20 \text{ \AA}$ 'dan daha da azdır. Yaklaşık olarak özgül hacimleri $0.15\text{-}0.5 \text{ cm}^3/\text{g}$ ve özgül yüzey alanları genellikle toplam yüzey alanının en az %95'ini oluşturmaktadır (Dubinin ve ark.,1964). Makro gözenekler dış yüzeye doğrudan açılmış, mezo gözenekler makro gözeneklerin, mikro gözenekler de mezo gözeneklerin dalı şeklindedir (Orbak, 2002).

2.4.1. Aktif karbonun molekül ve kimyasal yapısı

Aktif karbonun molekül ve kristal yapısını algılamak için maddenin yüzey kimyası ile ilgili bilgilerin bilinmesi gerekir. Aktif karbonla karbon siyahı arasındaki bir fark, karbon siyahının iç yüzey alanı aktif karbonunu iç yüzey alanından daha küçük olmasıdır. Aktif karbon yapısı, karbon siyahından elde edilen verilerle açıklanmaktadır. Karbon siyahı ve aktif karbonun ana yapısı saf grafitin yapısına benzemektedir. Karbon siyahı renk pigmentidir (Cheremisinoff ve Ellerbusch, 1978).

Doğada bulunan karbonun 3 izotopu ^{11}C , ^{12}C , ^{13}C olmasının yanında bir de üç allotropu elmas, grafit ve kömürdür. Grafitte, her karbon atomu komşu üç atoma bağlı iken; Elmasta dört atoma bağlıdır. Grafit, tabaka halinde moleküllerden meydana gelmektedir. Tabakalar arası $3.4 \text{ \AA}$ ' uzunluğundadır. Her karbon atomunun üç elektronu tabaka üzerinde bağ yapmakta kullanılırken dördüncü elektron serbestçe hareket edebilmektedir. Başka bir deyişle karbonun üç elektronu komşu atomlarla düzenli

kovalent bağlar yapmakta, geriye kalan bir elektron ise yapılar arasında salınmaktadır. Bu şekilde karbon atomları arasında çift bağ oluşumunu sağlamaktadır. Bu oluşum grafit için baskın bir yapıdır. Fakat aktif karbonun yapısı grafitten biraz farklıdır. Aktif karbon oluşum sürecinde birçok aromatik çekirdek oluşmaktadır. Karbonun kristal yüzeyinde kimyasal reaktivite kenarlarındaki kimyasal reaktiviteden yüksektir. Kristal ve gözenek yüzeyleri haricinde aktif karbon yüzeyinin de kimyasal özelliği vardır. Aktif karbonların adsorpsiyonunu gözenek ve yüzey alanı etkilerken bir başka etken yüzey reaktivitesidir. Aktif karbonlarda fonksiyonel grup veya tek atom halinde veya fazlaca heteroatom bulunur. Bunlar hammaddeden, karbonizasyondan veya aktivasyon ve sonraki işlemlerde yüzeye kimyasal bağlarla bağlanmalarındandır (Bansal and Goyal, 2005). Ayrıca X-ışını kırınımı ile yapılan incelemelerde aktif karbonların altıgen olarak bağlanmış karbon atomlarını içeren mikrokristalin yapısında olduğunu ve mikrokristaller arasının 20-50 Å, düzlemlerin yarıçapı ise 150 Å'dur (skim, 2000). Aktif karbonun hazırlanış yöntemlerinden kaynaklı olarak bazı safsızlıkların olması mikrokristalin yapısında bazı boşluklar oluşmaktadır (Valsamakı ve Simitzis, 2000). Aktif karbon üretim sürecinde düzlemin kenarındaki yapılar heterosiklidir. Bu gruplar, adsorpsiyona, desorpsiyona etki etmektedir (Skim ve ark., 2000). Genellikle aktif karbonların kenarlarında oksijen içeren organik fonksiyonel gruplar karbonun yüzeyinde bulunmaktadır (Boehm ve Voll, 1970).

2.4.2. Aktif karbonun oksijen yüzey kompleksleri

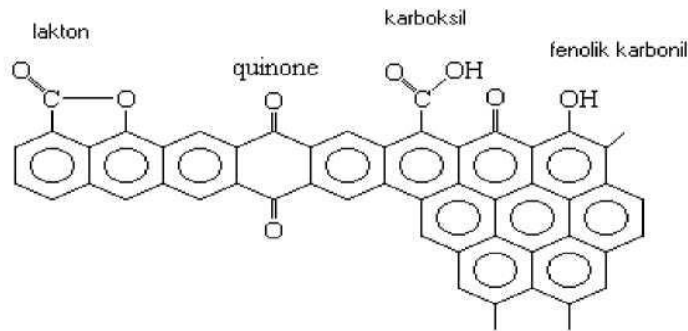
Aktif karbondaki, karbonun daha çok oksijen içeren hidrofilik yüzeye sahip olması için karbon yüzeyi oksidasyona maruz bırakılmaktadır. Fonksiyonel grupların oluşumu, aktivasyon sürecinde ya da karbonizasyon esnasında safsızlıkların hammadde ile olan etkileşiminden kaynaklanmaktadır (Skim ve ark., 2000).

Oksitleyici gazla veya oksitleyici çözeltiler kullanılarak oksijen içerikli yüzey komplekslerini oluşturabilmenin farklı yöntemleri bulunmaktadır. Oksitleyici gaz ya da çözeltiler oksijenin karbonla C_xO_y kompleksler oluşturmasını sağlar. Oluşan kompleksler yeter derecede yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında karbon monoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂) meydana gelecek şekilde bozunmaktadır. Asidik ve bazik yüzey oksitleri olmak üzere yüzey oksitleri incelenebilir. Asidik yüzey oksitleri, genellikle

473K-773 K sıcaklıkları arasında karbonun oksijenle yanma reaksiyonu ya da sulu çözeltilerin oksidasyonu ile gerçekleşir. Bazı yüzey oksitleri ise, inert atmosferik ortamda ya da vakumda ısıtıldıktan sonra oksijen etkileşiminin sağlanması ve soğutulması gerçekleşir. Ayrıca asidik yüzey oksidi oluşmuş karbonlara L- karbonlar, bazı yüzey oksidi oluşmuş karbonlara H-karbonlar denmektedir. H-karbonların pozitif, L-karbonların ise negatif yüzey potansiyeline sahip oldukları elektrokinetik araştırmalarda tespit edilmiştir (Skimm ve ark., 2000).

2.4.3. Aktif karbonun fonksiyonel grupları

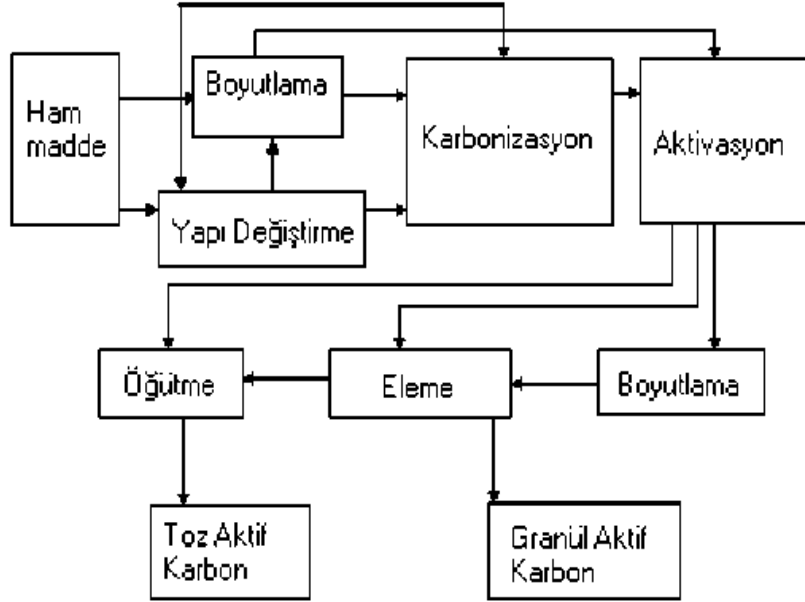
Aktif karbon; paralel hekzagonal yığınlar, tabakalar ve çapraz bağlı tetrahedral yapı oluşturan karbon atomlarından oluşur. Karbon içeriğinde birçok heteroatomu (hidrojen, oksijen, v.b.) yapısında tek atom ya da fonksiyonel gruplar halinde bulundurur. Oksijen, karbon yapısı içerisinde baskın heteroatomdur ve fonksiyonel grupların karbonil, karboksilik, fenol, enoller, laktonlar ve kinonları barındırdığı varsayılır. Yüzey fonksiyonel grupları; metilasyon, nötralizasyon, titrasyon ve çeşitli spektrometrik yöntemler ile tespit edilmektedir. Aktif karbonun yüzey grupları “Quinone” tipi karbonil gruplar, fenolik hidroksilik gruplar, Karboksilik gruplar, karboksilik asit anhidritler, normal laktonlar ve siklik peroksitler ve “Fluorescein” tip laktanlardır. Aktif karbonun yapısı fonksiyonel grupları Şekil 2.1’de görülmektedir (Mattson ve Mark 1971).



Şekil 2.1. Aktif karbonlarda başlıca fonksiyonel gruplar (Mattson ve Mark, 1971).

2.4.4. Aktif karbon üretimi

Aktif karbonun genel üretimi Şekil 2.2’de görülmektedir. Bu üretim hammaddenin özelliklerine veya uygulanan aktivasyon işlemine göre değişiklikler gösterebilmektedir.



Şekil 2.2. Aktif karbonun genel üretim şeması (Smisek ve Cerny, 1970).

Hammadde, yapısına bağlı olarak karbonizasyon ve aktivasyon yapılmadan çeşitli süreçlerden geçebilmektedir.

Aktif Karbon Üretiminde Kullanılan Ham Materyaller

Aktif karbon üretiminde kullanılacak hammaddelerin karbon içeriğinin yüksek olması, maliyetinin az olması, safsızlığının olmaması ya da çok az olması üretim için önemli etkenlerden biridir. Aktif karbon üretiminde birçok farklı materyaller kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; Mısır koçanı, hindistan cevizi kabuğu, pirinç kabuğu, fındık kabuğu, deniz yosunları, şeker kamışı, kösele atığı, meyve atıkları, kauçuk, petrol, turba, linyit, balık, kan gibi birçok farklı maddedir (Özdemir, 2008). Kullanılacak hammadde aktif karbonun özelliklerini etkilemektedir. Hammadde yapısında ya da içinde bulunan uçucu madde ve yoğunluğu, elde edilen aktif karbonun özelliklerini

etkilemektedir. Bazı hammaddeler yüksek yoğunluğa ve uçucu madde içeriğine sahiptir (Amin, 2009). Odun ve lignin gibi düşük yoğunluklu maddeler yüksek uçucu maddeye sahiptirler. Üretilen aktif karbon, düşük yoğunluklu ve büyük gözenek hacimli olması nedeniyle adsorpsiyon için uygun olmaktadır. Karbonizasyon sürecinde daha az karbon kaybı olmaktadır (Türkyılmaz, 2011).

Hammadde olarak ağaç ve yapısı

Ağaç malzemenin çeşitli kullanım yerlerinde karşılaştığı etkilerden dolayı fiziksel ve mekanik özellikler için çok değişik sınıflandırmalar söz konusudur. Yoğunluk, elastikiyet modülü, liflere paralel basınç direnci, eğilme direnci, Brinell sertlik, dinamik eğilme direncidir. Ayrıca bu direnç türleri, ağaç malzemenin kullanılmasında dış faktörlere karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Bunun yanı sıra yapılan çalışmalarda ağaçlar genellikle hemiselüloz, selüloz, lignin, ekstraktif maddeler (çeşitli çözücülerde çözünen maddeler) gibi maddelerden oluşmasına rağmen anatomik mekanik, fiziksel, kimyasal yapılarının farklı değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Özan, 2017). Diğer bir çalışmada ağaçlardaki selüloz yapısının ağacın ana dayanıklı yapısında rol oynadığı ve yanma sonucu karbon yapısının oluşumunda etkisi olduğunu belirlemiştir (Aydemir ve Gündüz, 2009).

Ağaçların genel yapısındaki maddeler; Selüloz ($C_6H_{10}O_5$)_n, bitkilerde hücre duvarının ana yapıtaşlarından ve bu yapının yaklaşık 1/3-1/2'lik kısmını oluşturmaktadır. Selüloz, glikoz moleküllerinin birleşmesiyle meydana gelir. Bu oluşum esnasında genelde su molekülleri ayrılır. Bu şekilde uzun ve düz zincirli selüloz polimeri oluşur. Selüloz zincirleri hidrojen bağlarından kaynaklı olarak dayanıklılığı yüksektir. Kristal yapısında düzgün bir yapıya sahiptir. Ağacın ağırlıkça yaklaşık %40'ını oluşturur (Gümüşkaya, 2005).

Hemiselüloz ($C_5H_8O_4$)_n, bitki hücrelerinin kompleks polisakkaritlerdir. Selülozdan farkı, seyreltik alkali çözeltilerde çözünebilme ve dallanma yapabiliyor olmasıdır (Yaman, 2004).

Lignin, selüloz ile bitkideki sert ve odunsu olan yapının oluşumunu sağlar (Kök ve gövdede selüloz fiberleri birarada tutarak). Lignin, karbondihidrat değildir. Aromatik guruplardan oluşan karmaşık ve büyük bir polimerdir. Selülozla birleşek lignosellülozik kompleksin oluşumunu sağlar. Hemiselüloz ve selüloz ile çapraz polimerik hidrojen bağları oluşturur. Amorf yapısı, kimyasallara karşı direnci yüksek, çözünürlüğü düşüktür (Ozmak, 2010).

Ağaçtaki kimyasal maddeler

Ağaçlarda birçok kimyasal madde bulunmakla birlikte genellikle dikkate almaya değer miktarlarda olan bileşikler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Fenolik maddeler; odun kısmının %20 ile %30 arasındaki kısmını oluşturmakta, lignin ise fenolik (benzen halkasına farklı yapı ve OH⁻ molekülünün bağlanması ile oluşan maddeler) maddelerin olduğu kısım olarak bilinmektedir. Fenolik maddeler organik çözücülerde ve suda çözünmektedir. Aromatik halka taşıyan ve fenol halka yapısındaki bileşikler; tanenler, renkli maddeler, lobafenler ve liganlardır.

Karbonhidrat; ağaçtaki karbonhidratlar, selüloz, hemiselüloz, pektik maddeler, suda çözünen polisakkaritlerdir. Ağacın odun olacak kısmının $\frac{3}{4}$ ' ünü oluştururlar ve bu kısmın neredeyse yarısı selülozdur.

Alifatik Bileşikler; ağaçlarda yüksek yağ asitleri ((C_nH_{2n}O)₂ genel formülüne sahip alkil ve karboksil gurubu birleşimi) ve esterler (RCOOR₁ formüllü R ve R₁ alkil gurupları) yer alır. Asetik asit poliestерleri %1-5 arasında bulunmaktadır.

Alkoller; Alifatik alkoller (yağ alkoller), steroller (C₁₇H₂₈O) ve terpen alkoller girmektedir. Esterleşmiş biçimde ağaçta bulunabildiği gibi serbest olarakda bulunabilmektedir.

Terpenler; (C₅H₈)_n n birleştirilmiş izopren birimlerinin sayısıdır) ve terpenoik bileşikler hem uçucu hem de uçucu olamayan bileşikler içerir.

Aldehitler; karbonil grubu olan aldehitler çok düşük miktarda bulunurlar.

Alkaloitler; bazı ağaçlarda yüksek miktarlara ulaşmaktadır.

Proteinler; odunlaşmış bölgelerde yaklaşık %1 kadar bulunur.

Hidrokarbonlar; alifatik hidrokarbonlardır. Çok düşük oranda bulunurlar.

İnorganik Bileşenler; ağaç türlerinde farklılık göstermekle birlikte bazı türlerinde %0,5'den daha azdır. Yanma sonucu oluşan kül içeriği inorganik bileşiklerden kaynaklanmaktadır.

İki Değerlikli Asitler, Kalsiyum tuzları şeklinde var olurlar. Kalsiyum karbonat CaCO_3 gibi (Fengel ve Wegener 2011).

Karbonizasyon

Karbonizasyon, inert bir ortamda (N_2 gazı gibi) hammaddedeki uçucu maddenin önemli bir bölümünün giderilmesi ve nemin uzaklaştırılması ile gözeneklerin oluşturulduğu bir işlemdir. Gözeneklerin bir kısmı piroliz ürünlerinden dolayı başlangıçta kullanılamaz duruma gelmekte, fakat yüksek sıcaklık uygulanarak tekrardan kullanılabilir duruma getirilebilmektedir. Bunun gibi etkenler ürünün aktivasyonunu ve kalitesini değiştirebilmektedir. Karbonizasyonda, karbonun içeriği ve hammadde içerisinde bulunan mineral maddenin özelliğine göre kül içeriği değişmektedir (Örkün 2011).

Karbonizasyon sürecinde şu özellikler dikkate alınır (Oğuz, 2013);

- Uçucu olan maddelerin ve heteroatomların giderimi ile zengin karbon içeriği eldesi,
- Yüzey alanın artırılması veya uçucu bileşenlerin uzaklaştırılması ile alan oluşturulması,
- Karbonca zengin olan aktif karbonda çapraz bağların oluşarak maddenin şeklini kaybetmeyen (rijitleşen) bir yapı oluşması.

Aktivasyon

Aktivasyon, karbonizasyonda oluşmuş gözeneklerin yarıçapı, hacmi artarken yeni gözenekler meydana gelir. Gözenek yapısı ve boyutunu karbonizasyon esnasındaki şartlar ve kullanılan hammaddenin yapısı etkiler. Düzgün bir yapıda bulunan karbon tabakaları, aktivasyonda aktive edici kimyasal maddelerce formu değiştirilerek karbondaki gözenek oluşumu, aktivasyon sürecince gözeneklerin gelişmesi ve yan yana olan gözenekler arasındaki bölümlerin yıkılmasıyla daha büyük gözeneklerin meydana gelmesi sağlanmaktadır. Aktivasyon; Kullanılan hammaddeye, kullanılan aktive edici kimyasal maddeye, aktivasyon sıcaklığına ve süresine göre oluşan aktif karbonun, mikro, mezo ve makro gözenek yapısında değişikliklere sebep olur. Kütle azalması (aktivasyon derecesi), aktivasyon sırasında, karbonize olmuş maddenin kütleindeki yüzde azalımı olarak tanımlanabilmektedir. Aktivasyon işlemi iki şekilde olmaktadır; Fiziksel ve kimyasal aktivasyon (Küçükgül, 2004).

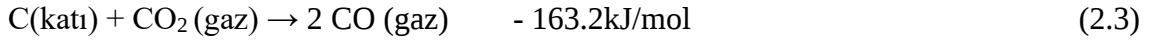
Fiziksel Aktivasyon

Fiziksel aktivasyon, aktivasyonda kullanılacak hammaddenin karbonizasyonu (termal bozunması) ve bu yapının aktivasyonu olmak üzere iki süreçten oluşmaktadır. Aktivasyon sürecinde termal bozunan malzemenin oksidan ortamda işlem görmesiyle karbonun yanması sonucu oluşan uçucu maddelerin oksijenle birleşerek uzaklaşması ve bunun sonucu olarak gözenek yüzey alanının ve hacminin artmasını sağlamakta, oksijen ve hidrojenin hammaddeden uzaklaştırılmasıyla gözenekli yapısı olan karbon iskeleti oluşmaktadır. Fiziksel aktivasyonda aktive edici maddeler olarak genellikle buhar, CO₂ ya da yanma gazı ürünleri; Amonyak, klor, SO₂, kükürt buharları ve daha farklı bazı gazlar çok azda olsa aktivasyonda kullanılabilir. Endüstride buhar ve CO₂ aktive edici madde olarak fiziksel aktivasyonda en çok kullanılan maddelerdir.

Buharla yapılan aktivasyonda, su buharı ve karbonun tepkime denklemi aşağıdaki gibi yazılabilmektedir (Marsh 1987):



Buharla aktivasyon, oksijen olmayan ortamda ve 1023-1223 K (750 °C-950 °C) arası sıcaklıklarda yapılmaktadır. Ortamda oksijenin istenmemesi bu sıcaklıklarda oksijenin karbon yüzeyine hücum etmesi ve yüzey kütle azalımı sonucu ürün miktarını azaltmasıdır. Karbondioksitle yapılan aktivasyonda ise, karbon ve karbondioksit arasındaki tepkime endotermik ve stokiometrik tepkime denklemi aşağıdaki gibidir (Smisek ve Cerny, 1970):



Bu reaksiyon iki farklı reaksiyon mekanizması şeklinde gerçekleşmektedir.

1.Reaksiyon mekanizması



2.Reaksiyon mekanizması



Reaksiyon mekanizmaları arasındaki farklılık, karbonmonoksitin (CO)'in etkisinin aydınlatılmasından kaynaklanmaktadır. CO, karbonun aktif merkezleri tarafından adsorplanmakta (kimyasal adsorpsiyon ile), ayrıca geri reaksiyonun hızını yükseltmektedir. Reaksiyon hızını, karbonun serbest aktif yerlerin çok ya da az olması önemli derecede etkiler. Aktif merkezlerin CO ile kimyasal bağ oluşturması olumsuz yönde etki yapmaktadır. 1.mekanizmada (2.4) nolu denklemde, CO'in olumsuz etkisinin geri reaksiyon hızına etki düzeyi ihmal edilebilir durumda, aktif kısımların ise denklem (2.6)'de olduğu gibi, adsorplanmış CO ile bloke olmasından kaynaklandığı

söylenmektedir. 2. mekanizmaya göre, (2.4) nolu denklemdeki reaksiyonunun geri tepkime hızının (2.7) nolu denkleme göre CO'nin etkisinin ihmal edilmesi reaksiyonun denge durumu ile açıklanmaktadır. (2.5) nolu reaksiyonun ise çok yavaş yürüdüğü konu ile ilgili araştırma yapan neredeyse bütün araştırmacılar tarafından kabul edilmiş bir durumdur.

Ayrıca karbonun 1123-1223 K (kelvin) sıcaklıkları arasındaki kızgın buhar ve CO₂ karışımının birlikte aktivasyonu gözenekli yapının gelişimine yardımcı olmaktadır. Bu anda endotermik olarak meydana gelen reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.



Yukarıdaki reaksiyonlarda C(O), karbon yüzeyine adsorbe olan oksijeni göstermektedir. Sadece oksijen veya hava olması, aktivasyon için yeterli değildir. Su buharı ya da inert gaz karışımının içinde az miktarda olması, geniş gözenekli aktif karbon oluşumunu sağlamaktadır. Aktivasyon esnasında oksijenin karbon ile reaksiyonu, CO₂'nin karbon ile reaksiyonundan 100 kat daha hızlıdır. Ayrıca karbon yüzeyinde karboksil (COO)- ve karbonil (CO)X gruplarının olması, katalizör işlevi görmeleri ve aktif karbonun adsorpsiyon özelliklerini belirlenmesine katkı sağlamaktadır (Skim ve Ark., 2000).

Kimyasal Aktivasyon

Kimyasal aktivasyon işlemi, genel olarak, kimyasal aktifleyici bir madde ile hammaddenin belirli bir sıcaklıkta bozundurulması esasına dayanmaktadır. Kimyasal aktivasyon işleminde önemli bir faktör, impregnasyon derecesidir (susuz aktivasyon maddesinin, başlangıç kuru maddeye ağırlıkça oranı). Hammadde ile aktive edici madde, karbonizasyon sürecinden önce aşağıdaki şekillerde muamele edilebilmektedir;

Hammadde ile aktive edici maddenin fiziksel olarak doğrudan karıştırılması, hammadde ile aktive edici maddenin belirli bir derişimdeki çözeltisinin karıştırılması, hammadde ile aktive edici maddenin birlikte yoğurularak hamur haline getirilmesinden sonra 383 K’de kurutulması (Mcdougall, 1991).

Kimyasal aktivasyon işlemini etkileyen faktörler

Karbonizasyon sıcaklığı, genel olarak 400°C-800°C (673-1073°K) arasında ve aktifleştirilecek hammaddenin özelliklerine göre değişmektedir. Karbonizasyon sıcaklığı, yüzey alanı ve gözenek hacmini etkilemektedir. Ham maddenin tane boyutu, elde edilecek aktif karbonun gözenek hacmini etkilemektedir. Küçük tanecik boyutu ile çalışıldığında yüzey alanı ve gözenek hacmi daha büyük olan aktif karbonlar elde edilmektedir. Aktive edici maddenin oranı, ağırlık olarak aktive edecek madde, ham maddenin 4 katına kadar kullanılabilmektedir. Aktivasyon yapıldığı esnada aktive edici madde oranı hammaddeye bağlı olarak artmaktadır. Karbonizasyon süresi, genelde 15-120 dakika arasındadır. Karbonizasyon süresi uzaması ya da kısalması ısıtma hızını artış süresine göre değişmektedir (Gülbayır, 2008).

Ham madde ve aktive edici maddenin karıştırılma yöntemi

Genelde iki farklı karıştırma yöntemi kullanılmaktadır. İlki impregnasyon (maddenin emerek doygun hale gelmesi) ve ikincisi fizikseldir. Yapılan çalışmalarda, impregnasyonun, fiziksel yöntemle göre daha etkili olduğu görülmüştür (Karacan ve Karacan, 2014). Çünkü imregnasyonda aktifleyici madde karbon tanecikleri içerisinde iyi bir dağılım göstermektedir. Büyük por hacimli aktif karbon elde etmenin diğer bir yolu da kimyasal aktivasyon işlemidir. Kimyasal aktivasyon yöntemleri farklılık göstermekle birlikte, uygun tanecik boyutuna sahip hammadde ile kimyasal maddenin, 773-1273 K arasındaki sıcaklıklardan birinde reaksiyona girmesiyle gerçekleşen ya da belli bir sıcaklıkta karbonizasyonu gerçekleştirmiş olan başlangıç maddesinin kimyasal maddeyle reaksiyonu sonucunda gerçekleştirilebilir (Ustabaş, 2016).

Kimyasal aktivasyonda, ZnCl_2 , NaCl , K_2CO_3 , NaOH , KOH , H_3PO_4 , NH_4Cl , H_2SO_4 gibi birçok aktifleştirici maddeler çeşitli şartlarda uygulanabilmektedir. Geçmiş yıllardan beri kimyasal aktivasyonda kullanılan en yaygın kimyasal aktivasyon, çinko klorür ile yapılan aktifleştirmedir. Çinko klorür, hammaddeye sulu çözelti olarak eklenmekte ve düşük sıcaklıkta karıştırılmaktadır. Karışım kurutulup, döner fırında 873K - 973K 'e (600°C – 700°C) kadar ısıtılmakta ve ısıtma sonundaki ürün, su ve asit ile yıkanıp çinko tuzları giderilmektedir. Kimi zamanda, daha küçük gözenekler oluşturmak için kimyasal aktivasyondan sonra buhar aktivasyonu uygulanabilmektedir (Açışlı ve Doum, 2019).

Aktifleştirici maddelerin kimyasal aktivasyona etkisi

Aktifleştirici madde, kimyasal aktivasyonda önemli bir yere sahiptir. Nitekim yapılan bir çalışmada aktifleştirici maddenin etkilerini ortaya koymak için hammadde olarak tropikal bölgelerde bulunan *Casurina equisetifolia* (demir ağacı)'nın yapraklarında üç ayrı kimyasal aktifleştirici kullanmışlardır. Aktifleştirme sırasında, hammadde ve aktive edici madde oranı 1:1 oranında H_2SO_4 ve %10'luk Na_3PO_4 ve %10'luk ZnCl_2 çözeltileri kullanılmıştır. 24 saatlik impregnasyon işlemini takiben H_2SO_4 ve Na_3PO_4 'lü karışımlar $425\pm 25^\circ\text{C}$ 'de 1 saat hava ortamında ısıtılmış ve daha sonra soğutulmuştur. Ayrıca tuzların ve asitin aktif karbonda kalmaması için su ile yıkandıktan sonra $110\pm 2^\circ\text{C}$ 'de 3 saat kurutulmuş ve öğütülmüştür. Çinko klorürlü aktif karbondan çinko tuzlarının ortamdaki uzaklaştırılabilmesi için %10'luk HCl çözeltisiyle yıkanmıştır. $110\pm 2^\circ\text{C}$ 'de 3 saat kurutulduktan sonra öğütülmüştür (El Nemr, 2007).

Kimyasal aktifleştiriciler por boyutlarında değişim meydana getirmektedir, lignoselulozik malzemelerle (şeftali çekirdeği, zeytin çekirdeği gibi) yapılan bir çalışmada ZnCl_2 , KOH ve H_3PO_4 kimyasalları ile granüler aktif karbon elde edilerek, mikro gözenekler oluşmasına rağmen aktivasyon sıcaklığının artışıyla por boyut ve sayılarında farklar olduğu belirlenmiştir. KOH aktivasyonunda mikro gözenek oluşumuna, ZnCl_2 az sayıda mezopor oluşumuna, H_3PO_4 ise heterojen porların oluşmasına yardımcı olduğu gözlenmiştir. Bu şekilde fark edilmiştir ki her bir farklı aktive edici maddenin por genişliği ve

sayısına etki ettiği belirlenmiştir (Molina-Sabio ve Rodr guez-Reinoso, 2004).

2.4.5. Aktif karbon türleri

Aktif karbonlar 3 farklı yapıda üretilir. Bunlar; toz, granüler ve pellettir. Toz aktif karbonlar, tanecikleri 0,18 mm'den daha az olan, öğütülmüş, genelde gaz ve sıvı fazlı maddelerde kullanılan, renk, tat ve kokunun adsorplanmasını sağlayan ve mekanik karıştırıcılarla homojen bir karışım oluşturulan karbon türü olarak tanımlanabilir. Granüler aktif karbonlar ise tanecikleri 0.2-5 mm arasında, şekli düzensiz olan aktif karbonlardır. Pelletlerin tanecikleri 0.8-5 mm arasında olan, basınçla silindirik hale getirilen genelde gaz fazı uygulamalarında ve gazların saflaştırılmasında işlev gören aktif karbon türüdür (Küçükgül, 2004).

2.4.6. Aktif karbonun uygulama alanları

Aktif karbonun en önemli uygulama alanı sudan tat, koku, boyar madde ve organik kirliliklerin uzaklaştırılmasında, kimya ürünlerinin rafinesinde, gaz faz uygulaması gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Sıvı faz uygulamaları

 la  ve gıda sanayileri olmak üzere, aktif karbonun sıvı fazdaki uygulamaları altının geri kazanımında (sodyum siyanitte    n m ş altının geri kazanımı) için, içilebilir su işlemlerinde organik bileşiklerin uzaklaştırılması, kötü koku ve tadın giderilmesinde, petrokimyada yağ ve hidrokarbonların uzaklaştırılmasında, endüstriyel atık sularında, biyolojik oksijen içeriğinin kimyasal oksijen içeriğinin ve toplam organik halojenlerin giderilmesinde, yarı iletken yüksek saflıkta su üretiminde ve buna benzer bir çok alanlarda kullanılmaktadır (Akyıldız, 2007).

Gaz Fazı Uygulamaları

Aktif karbonlar, hava kirliliği kontrolünde, baca gazları, sigara filtrelerinde, gazların saflaştırılmasında, SO_x , NO_x gazlarının tutulmasında da kullanılmaktadır. Havanın filitrelenmesi için, 10 ppm'in aşağısındaki kirlilik derişimini azaltmak için levha karbon fiberler kullanılmaktadır. Bu filtrelerle uzun süre kullanılabilmesine rağmen yenilenmeleri pahalıdır. Havanın temizlenmesinde işlev gören aktif karbonlarda 10-150 ppm arasındaki derişimlerde, mezo ve süpermezo gözenek dağılımı olan aktif karbonların kullanımı daha uygundur (Kazemipour ve ark., 2008).

2.4.7. Aktif karbonun özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan yöntemler

Gözenek yapısının belirlenmesi amacıyla uygulanan yöntemler

Karbon, kil gibi gözenekli yapıların mikro, mezo ve makro gibi farklı hacim ve yapıda gözeneklerin olması nedeniyle, gözenek yapılarının tespit edilmesinde çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin hesaplamaları ayrıntılı olarak literatürde verilmektedir (Webb ve Orr 1997).

T-plot yöntemi

Bu yöntem, katıların mikro gözenek hacminin tespiti için uygulanabilecek bir yöntemdir. Adsorpsiyon olayı, öncelikle mikro gözeneklerin dolduğu, sonrasında ise daha yüksek relatif basınçlarda mezo gözeneklerin dolmaya başladığı bir olaydır.

T-plot eğrisi, her bir relatif basınç değerine karşılık gelen t istatistiksel kalınlık değerine karşılık, relatif basınçtaki adsorplanan gaz miktarının (cm^3/g) grafik gösterimidir. T-plot yönteminde minimum ve maksimum t kalınlık değerlerinin seçilerek gerekli analizin yapılması, elde edilen sonucun güvenilirliği bakımından oldukça önemlidir (Galarneau ve ark., 2014).

Dubinin Radushkevich (D-R) denklemi

Dubinin Radushkevich denklemi, mikro gözeneklerin genellikle düşük basınç izoterm verilerinin uygulandığı, gözenek boyut dağılımı ve mikro gözenek hacminin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Genel D-R eşitliği matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\log W = \log W_0 - \frac{R^2 T^2 k}{2.303 \beta^2} \log^2 \left(\frac{P_0}{P} \right) \quad (2.12)$$

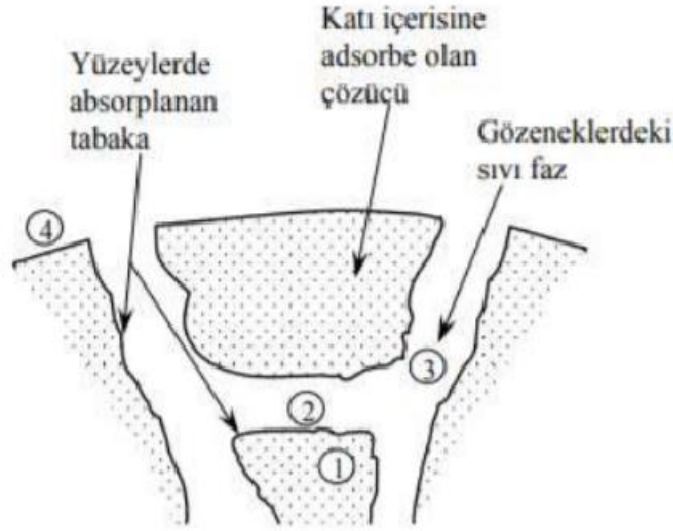
Burada W_0 , toplam mikro gözenek hacmi; W , relatif basınç P/P_0 'da gözenekte adsorplanan hacim; k , adsorbanın gözenek boyut dağılımı karakterizasyon parametresi ve P , adsorban etki katsayısıdır (Marsh, 1987).

Barrett, Joyner ve Halenda (BJH) yöntemi

Bu yöntem çoğunlukla mezo gözeneklerin boyut dağılımı tespiti amacıyla desorpsiyon izoterm verilerinden elde edilir. Yöntemin uygulanması çok karmaşık olduğundan bilgisayar çözümlemesiyle gözenek boyut dağılımı bulunabilmektedir. Yöntemin uygulanması ayrıntılı olarak farklı kaynaklarda bulunmaktadır (Webb ve Orr, 1997).

2.5. Adsorpsiyon

Gaz, sıvı veya katı taneciklerinin (atom, iyon veya moleküllerin) temasta bulunduğu katı veya sıvı yüzeyde konsantrasyon artışına adsorpsiyon denir. Başka bir deyişle adsorpsiyon, maddenin sınır yüzeyinde moleküller arasındaki kuvvetlerin denkleşmemiş olmasından ileri gelmektedir. Şekil 2.3, bir sıvı veya gaz'ın katı tanecik tarafından adsorpsiyon mekanizmasını göstermektedir (Perry ve Green, 1984).



Şekil 2.3. Bir adsorban taneciğinde adsorpsiyon çeşitleri.

Yüzeyde konsantrasyonu artan maddeye “adsorplanan”, adsorplanan maddeyi yüzeyinde tutan maddeye “adsorban” denir. Adsorplanan ve adsorbandan oluşan heterojen karışıma ise “adsorpsiyon sistemi” adı verilir. Adsorpsiyonda, adsorplanan madde katının sınır yüzeyinde birikir. Çözünen madde veya gaz molekülleri katının içine doğru ilerlediğinde olay absorpsiyon adını alır. Adsorpsiyon ve absorpsiyon olaylarının aynı süreçte meydana gelmesine “sorpsiyon” denir (Volyutsky, 1978). Adsorpsiyon olayında meydana gelen derişim değışimi ters yönde gerçekleşirse yani katı fazdan sıvı veya gaz faza doğru gerçekleşirse “desorpsiyon” adını alır (Treybal, 1981). Şekil 2.3’de taşınım mekanizmasındaki bağımsız kademelerin fiziksel yapısını ve yerlerini göstermektedir. Şekildeki numaralar kütle transfer mekanizmalarını göstermektedir. Her bir kademe, farklı bir sürücü güç içermektedir ve bu yüzden her bir kademe farklı şekilde matematiksel olarak incelenebilir. Bu bağımsız kademeler şu şekilde ifade edilebilir; bu kademeler, adsorplanmış durumda difüzyon (Bu kısım tanecik faz difüzyonu olarak da ifade edilmektedir) (1), faz sınır tabakalarında tepkime (2), tanecikler içinde sıvı fazda gözenek difüzyonu (3), Sorbent taneciklerin dış yüzeyleri ve onu çevreleyen akışkan faz arasındaki kütle transferi anlamına gelir (4) (Arriagada ve ark., 1997).

2.5.1. Sıvı ve gazların adsorpsiyonu

Aktif karbon üzerinde bir maddenin adsorpsiyonu, 3 temel süreçte gerçekleşmektedir:

- Maddenin aktif karbonun dış yüzeyine adsorplanması,
- Maddenin aktif karbonun gözenekleri içerisine hareketi
- Maddenin aktif karbonun iç duvarında adsorplanması.

2.5.2. Katı-sıvı adsorpsiyonu

Bir katı-sıvı adsorpsiyonu; sorpsiyon, makro taşınım ve mikro taşınım olmak üzere üç kademede gerçekleşmektedir (Berkem ark., 1994). Bunlar Makro taşınım, adsorplanacak maddenin sıvı fazdan, sıvı-katı ara yüzeyine doğru olan adveksiyon (maddenin sıcaklık nem gibi özelliklerinin sıvı ya da hava ile taşınımı) ve difüzyon ile gerçekleşen hareketi kapsamaktadır. Mikro taşınım, adsorplanacak maddenin mikro ve mikro altı gözeneklerindeki adsorpsiyon noktalarına doğru olan difüzyonu içermektedir. Adsorpsiyon, adsorban taneciğinin yüzeyinde, makro ve mezo gözeneklerde gerçekleşmektedir. Sorpsiyon, adsorplanacak maddenin adsorban üzerindeki mekanizmasını tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Sorpsiyon terimi, kimyasal ve fiziksel adsorpsiyonu birbirinden ayırt etmenin zorluğundan dolayı kullanılmaktadır. Sorpsiyon hızı desorpsiyon hızına eşit olduğunda, denge gerçekleşmekte ve adsorbanın kapasitesinin tamamlandığını göstermektedir. Adsorpsiyon olayında, adsorplanan maddenin derişimi, işlemin gerçekleştirildiği sıcaklık ve katı-sıvı adsorpsiyonu durumunda ortamın pH değeri, denge adsorpsiyon kapasitesini etkileyen faktörlerdir. Katı-sıvı adsorpsiyonu olayında ortamın pH etkisi, kullanılan adsorbe edici maddenin yapısına ve adsorplanan maddenin özelliğine bağlı olarak farklılıklar gösterebilmektedir.

2.5.3. Katı-gaz adsorpsiyonu

Gaz adsorpsiyonu, gaz/katı ara yüzeyinde gerçekleşmektedir. Gaz içerisinde bulunan bir veya daha çok bileşenin katının yüzeyinde tutulması işlemine, gaz adsorpsiyonu adı verilmektedir. Adsorplanan gazın miktarı basınç, sıcaklık ve katı

yüzeyinin yapısına bağlıdır. Eğer, sıcaklık ve basınç sabit tutulursa, adsorplanan gazın miktarı katı yüzeyinin yapısına yani yüzey alanı, gözeneklilik ve katı yüzeyinin kimyasal yapısına bağlı olacaktır. Gözenekli yüzeylerin adsorplayıcı özellikleri daha fazladır. Gaz adsorpsiyonu olayı, adsorplanan maddenin temasta olduğu adsorplayıcı maddenin gözeneklerinde yoğunlaşması esasına dayanmaktadır. Dolayısıyla adsorplayıcı maddenin gözenek hacminin büyüklüğü ile adsorplama kapasitesi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Adsorpsiyon, özellikle mikro gözeneklerde gerçekleşmektedir.

2.5.4. Adsorpsiyon çeşitleri

Adsorpsiyon olayı üç şekilde gerçekleşebilmektedir: Fiziksel adsorpsiyon (veya van der Waals adsorpsiyonu), kimyasal adsorpsiyon ve değişim adsorpsiyonu. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun başlıca ayırt edici özellikleri Çizelge 2.1’de görülmektedir (Duran-Valle ve ark., 2005).

Çizelge 2.1. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki ayırt edici özellikleri

Özellikler	Fiziksel	Kimyasal
Adsorpsiyon Isısı, kJ/mol	20-40	>80
Adsorpsiyon hızı	273 K’de hızlı	273 K’de yavaş
Desorpsiyon	Kolay	Zor
Bağ kuvvetleri	Moleküller içinde	Moleküller arasında
Spesifik olma	Spesifik değil	Çok spesifik
Entalpi etkisi	Ekzotermik reaksiyon ısıları mertebesinde	Ekzotermik buharlaşma ısıları mertebesinde
Kaplanma	Çoklu tabaka	Tek tabaka
Adsorplanan	Kritik sıcaklığın altındaki tüm gazlar	Kimyasal reaktifler

Fiziksel adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyonda, adsorplanmış molekülleri adsorban yüzeyine bağlı tutan kuvvetler, gaz molekülleri arasındaki van der waals kuvvetleridir. Bu tip adsorpsiyonu pek çok madde, özellikle düşük sıcaklıklarda göstermektedir. Van der waals adsorpsiyonu veya fiziksel adsorpsiyon tersinir bir olay olup, basıncın azalmasıyla desorpsiyon meydana gelmektedir. Yani gaz, katı yüzeyinden ayrılıp tekrar gaz fazına geçmektedir.

Bu durum, adsorpsiyon eğrisinin tersi yönünde gerçekleşmektedir. Fiziksel adsorpsiyon hızları ölçülerek, yüzey alanı ve yüzeyin gözeneklilik derecesinin hesaplanması mümkün olabilmektedir. Fiziksel adsorpsiyon, karışımındaki bileşenlerin bir fazdan diğer faza aktarılmasında, adsorbanların yüzey alanlarını, gözenek büyüklüğünü, gözeneklerin dağılımını belirleme ve heterojen katalizli reaksiyonlarda önem kazanır. Fiziksel adsorpsiyon ısısı düşük olup, çoğu gazlarda sıvılaşma ısısı seviyesindedir. Bu tür adsorpsiyonda, adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır. Fiziksel adsorpsiyon genellikle çok hızlı olduğundan gözlenen hız, adsorpsiyon süreci yerine moleküllerin yüzeye aktarım hızı ile kontrol edilir. Fiziksel adsorpsiyon, kritik sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda önemli miktarda gözlenmez (Özdemir, 1981). Adsorpsiyon olayında adsorbent, belli bir sıcaklıkta adsorbatın artan konsantrasyonlarını içeren çözeltiler ile temasa getirilir ve denge olayından sonra çözelti fazında kalan adsorbatın miktarı ölçülür. Adsorpsiyondan önceki ve sonraki çözelti konsantrasyonu farkından adsorbent yüzeyinde adsorplanmış adsorbatın miktarı bulunur. Adsorpsiyon izotermi desorpsiyon izotermi ile aynı ise dengeye erişildiği farz edilir. Örneğin renkli bir adsorbatın adsorpsiyonu, görünür absorpsiyon spektrofotometresi yardımıyla adsorbatın çözeltiye ilavesinden önceki ve sonraki derişimleri ölçülerek tayin edilebilir. Adsorpsiyon miktarının belirlenebilmesi için ilk önce belli bir dalga boyunda adsorbatın farklı konsantrasyonları için kalibrasyon eğrisi hazırlanır. Renksiz organik maddeler için UV veya IR'de uygun absorpsiyon pikinin ölçülmesi ile adsorpsiyon miktarları tayin edilebilir. Ayrıca asit ya da bazın bilinen miktarının her ilavesinden sonra H^+ ve OH^- iyonlarının katı yüzeyi tarafından tutulan miktarını belirlemek için pH ölçülür. Aynı zamanda pH, çözeltide kalan H^+ ve OH^- iyonlarının denge konsantrasyonlarını da verir (Başer ve İnancı, 1990).

Fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki tip adsorpsiyon vardır ve fiziksel adsorpsiyon kimyasal adsorpsiyondan çoğu zaman aşağıdaki kriterlerin birine veya daha fazlasına bakılarak ayırt edilebilir (Soto and Machuca, 1989).

1. Fiziksel adsorpsiyon elektron paylaşımını veya transferini içermez ve böylece etkileşen moleküllerin etkinliği korunur. Etkileşmeler tamamen tersinirdir. Kimyasal adsorpsiyon kimyasal bağ oluşumunu içerir ve tersinmezdir.

2. Fiziksel adsorpsiyonda adsorbat-adsorbent yüzeyindeki aktif noktalara karşı özel bir ilgiye sahip değildir. Aksine kimyasal adsorpsiyonda adsorbat, adsorpsiyon için gerekli aktif noktalara karşı özel bir ilgiye sahiptir.

3. Fiziksel adsorpsiyon ısısı kimyasal adsorpsiyon ısısından daha düşüktür. Bununla birlikte çoğu zaman adsorpsiyon ısısı tam bir kriter değildir. Fiziksel adsorpsiyon için üst sınır çok küçük (dar) gözenekli adsorbentler üzerindeki adsorpsiyon için 88 kJ mol^{-1} 'den daha düşüktür. Kimyasal adsorpsiyon için adsorpsiyon ısısı 88 kJ mol^{-1} 'den 400 kJ mol^{-1} aralığında değişir. Böylece ancak adsorpsiyon ısısının çok yüksek ve çok düşük değerleri adsorpsiyon türü için bir kriter olarak kullanılabilir.

4. Fiziksel adsorpsiyon sıcaklık düştüğünde artarken kimyasal adsorpsiyon normal olarak düşük sıcaklıklarda azalır. Çünkü kimyasal bağları parçalamak için gerekli olan aktivasyon enerjisi düşük sıcaklıklarda mevcut değildir.

5. Fiziksel adsorpsiyon tek tabakalı ya da çok tabakalı olabilirken kimyasal adsorpsiyon tek tabakalıdır

Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyonda, adsorbe olan moleküller yüzeyde valans kuvvetleri tarafından tutulmaktadır ve bu kuvvetler, fiziksel adsorpsiyon kuvvetlerinden daha büyüktür. Kimyasal adsorpsiyon, adsorplanan moleküllerle adsorbanın yüzey molekülleri ya da atomları arasındaki gerçek bir reaksiyondan ileri gelmektedir. Aktiflenmiş adsorpsiyon veya kimyasal adsorpsiyon olayı, fiziksel adsorpsiyon kadar sık karşılaşılan bir durum değildir ve adsorplanma sonunda yayılan ısılar da fiziksel adsorplanma ısılarına göre çok daha büyüktür. Kimyasal adsorpsiyon sıcaklıkla artmaktadır. Adsorplanan tabaka, monomoleküler bir tabaka şeklinde meydana gelmektedir (Orbak, 2002).

Birçok adsorpsiyon hallerinde bu iki tip adsorpsiyon birlikte gerçekleşmektedir. Bazı sistemler düşük sıcaklıklarda fiziksel, yüksek sıcaklıklarda ise kimyasal adsorpsiyon göstermektedirler. Kimyasal adsorpsiyon, genellikle gaz ile katı arasında bir reaksiyon eğiliminin bulunduğu hallerde kendini göstermektedir (Orbak, 2002).

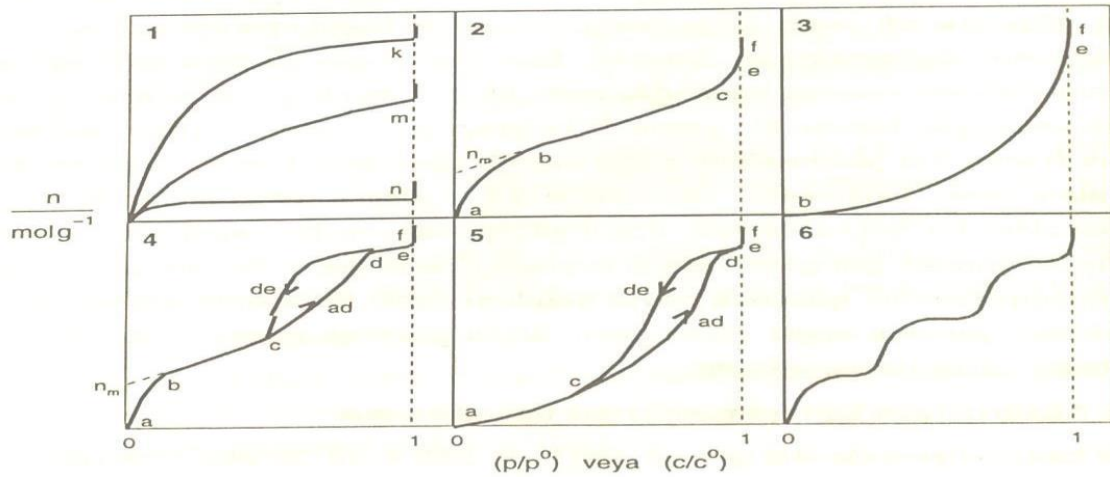
Değişim adsorpsiyonu

Değişim adsorpsiyonu, adsorplanan madde ile adsorban yüzeyi arasındaki elektriksel çekim ile meydana gelmektedir. İyon değişimi bu sınıfa dahil edilebilir. Burada, zıt elektrik yüklerine sahip olan adsorplanan madde ile adsorban yüzeyinin birbirlerini çekmesi önemlidir. Elektrik yükü fazla olan iyonlar ile küçük çaplı iyonlar daha iyi adsorplanırlar (Hamutoğlu ve Ark., 2012).

2.5.5. Adsorpsiyon izotermi

Sabit sıcaklıkta adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı ile denge basıncı veya derişimi arasındaki bağıntıya adsorpsiyon izotermi adı verilmektedir. Adsorpsiyon izotermi, adsorbanın bir maddeyi ne kadar adsorplayabileceği konusunda bilgi vermektedir. Adsorplanan maddenin derişimi ya da miktarı, adsorplanacak maddenin kimyasal ve fiziksel özelliklerine, konsantrasyonuna ve sıcaklığına bağlıdır. Adsorpsiyon izotermi belirlenmesi, gözenek boyutu, yüzey alanı ve dağılımı gibi hesaplamaların yapılması birçok kaynakta ayrıntılı bir şekilde verilmiştir (Akyıldız, 2007; Webb ve Orr, 1997). Gazların katılar tarafından adsorpsiyonuna ait altı genel izoterm mevcuttur. Bu izoterm tipleri şekil 2.4' de gösterilmiştir. Bu izoterm tiplerinden Tip 1 izoterm; Monomoleküler, yani tek tabakalı olan kimyasal adsorpsiyon izotermidir. k: Mikrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi, m: mezo gözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi, n: Makrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermidir. Mikro gözenekleri adsorplama gücü makro gözeneklerden daha büyüktür. Tip 2 izoterm; Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzer. Sıvıların yüzeydeki mikroskopi çatlaklarda ve gözeneklerde yoğunlaşmasına kılcal adsorpsiyon denir. ab: Tek tabakalı adsorpsiyon bc: Çok tabakalı adsorpsiyon ve kılcal yoğunlaşma ef: Doygunluk noktası, madde sıvı yada katı olarak yığın halde ayrılır. İzoterm b noktasından sonraki doğrusal kısmının uzantısından tek tabaka kapasitesi (n_m) grafikten yaklaşık olarak okunabilir. Tip3; Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın az olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzer. Adsorplama gücü çok düşük olan katılardaki adsorpsiyon izotermi bu

tipine uymaktadır. Eğrinin gidişinden tek tabaka kapasitesini bulmak zordur. Tip 4: Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha büyük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermlerinin farklı yollar izlemesine adsorpsiyon histerезisi denir. Genellikle mikro ve mezo gözenek ab: Tek tabakalı adsorpsiyon içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi bc; çok tabakalı adsorpsiyon bu tipe uymaktadır. cd; kılcal yoğunlaşma ef: madde yığın olarak ayrılmaktadır. Tek tabaka kapasitesi (n_m) yaklaşık olarak bulunmaktadır. Tip 5: Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha küçük olan ve kılcal yoğunlaşmanın çok olduğu adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzer. Adsorplama gücü düşük olan mezogözenekli katılarda adsorpsiyon izotermi bu tipe benzemektedir. Bu izoterm tipinde ac: Tek veya çok tabakalı adsorpsiyon cd: Kılcal yoğunlaşma olmaktadır. Adsorplama gücü düşük olan mezogözenekli katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe benzemektedir. Tip 6; Basamaklı olan bu izoterm tipine çok az rastlanır. Mikrogözenekler yanında farklı boyutlarda mezogözenek grupları içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi bu tipe benzemektedir. Bunlar Şekil 2.4’de görülmektedir (Berkem ve Ark 1994).



Şekil 2.4. İzoterm tipleri.

Adsorpsiyon izotermi tipinin, Şekil 2.4’de anlatılan çeşidinin yanı sıra, çözelti adsorpsiyonu için de kullanılan sınıflandırılması yapılmıştır (Tien, 1994). Buna göre 4 çeşit izoterm tipi vardır: S konveks, L konkav, H düşük konsantrasyonlar için önerilen tip

ve C doğrusal. Sıvı faz adsorpsiyonunda adsorplanan moleküllerin ideal dağılım göstermesi zorunlu olmadığından bu sınıflandırma önem arz etmektedir.

Freundlich izotermi

Bu tip izotermde, belli miktarda adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı önce basınçla (veya derişimle) hızla artmakta ve daha sonra katı yüzeyinin gaz molekülleri ile doymasıyla daha yavaş bir artış göstermektedir. Freundlich izotermi, suda ve atık suyun işlenmesinde kullanılan adsorbanların adsorpsiyon karakteristiklerini tanımlamak için sıkça kullanılmaktadır. Freundlich izotermi aşağıdaki şekilde matematiksel olarak ifade edilebilmektedir:

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (2.13)$$

Burada, q_e , m kütlesinin adsorpladığı madde miktarı; C_e , adsorplanan maddenin derişimi; K_f , ve n adsorban ve adsorplanan madde ile sıcaklığa bağlı sabitlerdir (El-Khaiary, 2008).

Langmuir izotermi

Birçok hallerde ve özellikle bir kimyasal adsorpsiyonda, bir doymuşluğa varılmaktadır. x/m oranı, bütün katı yüzeyini kaplayan adsorplanmış gazın bir monomoleküler tabaka oluşturmaya karşılık gelen bir sınır değeri gösterir. Freundlich izotermi bu durumu açıklayamamaktadır. Yüzeydeki kimyasal adsorplanmanın tek molekülü tabaka halinde olduğun ve yüzeydeki dinamik denge halini göz önüne alarak, Langmuir izotermi türetilmiştir. Gaz molekülleri katıyla elastik olarak çarpışmaz, bu yüzden tekrar gaz faza dönmeden önce katı yüzeyi ile temas eder ve doğal adsorpsiyon gerçekleşir. Langmuir izotermi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$q_e = q_m \cdot b \cdot C_e / (1 + b \cdot C_e) \quad (2.14)$$

Burada q_e , m kütlesinin adsorpladığı madde miktarı, q_m , m kütlesinin adsorpladığı maksimum madde miktarı; C_e , adsorplanan maddenin denge derişimi; b , adsorban ve adsorplanan madde ile sıcaklığa bağlı sabittir (Langmuir, 1916).

Brunauer, Emmett ve Teller (B.E.T.) izotermi

Brunauer, Emmett ve Teller izoterminde; Katının yüzeyi bir tek moleküler bir tabaka tarafından kaplanmadan önce bir takım çoklu moleküler tabakalar oluşturmakta, Adsorpsiyonda dengesi noktasında tabakalardan her biri için bir denge hali meydana gelmekte, birinci tabaka dışında, bağ enerjisinin kuvvetleri, gazın sıvılaşmasındaki kuvvetlerin aynısıdır. Bu varsayımlardan hareket ederek şekil 2.4 de 2 ve 4 izotermi için şu bağıntıyı önermişlerdir:

$$V = V_m \cdot [c \cdot p / (P_0 - P) \cdot (1 + (c - 1) \cdot P / P_0)] \quad (2.15)$$

Bu eşitlikte V ; P basıncında ve T sıcaklığında adsorplanmış olan gazın standart koşullara göre hesaplanmış hacmini, P_0 ; T sıcaklığında adsorplanmış gazın doymuş buhar basıncı, V_m ; yüzeyin tek bir moleküler tabaka tarafından kaplanması durumundaki adsorplanmış gaz hacminin standart koşullardaki değeri, c ; verilen herhangi bir sıcaklıktaki sabittir (Brunauner ve Ark., 1972).

Temkin izotermi

Temkin izotermi, adsorpsiyon enerjisindeki düşüşün üstel olmayıp, doğrusal olduğu varsayımı yapılarak türetilmiştir. Temkin izotermi şu şekilde ifade edilmektedir

$$q_e = [R \cdot T / b_i] \cdot [\ln(A_T \cdot C_e)] \quad (2.16)$$

$$q_e = B \ln A_T + B \ln C_e \quad (2.17)$$

Burada, A_T , Temkin izoterm sabiti (l/mmol); b_T , Temkin izoterm sabiti; R , gaz sabiti (J/mol K) ve T , mutlak sıcaklık (K), $B=RT/b_T$ dir. (Redlich ve Peterson, 1959).

Dubinin-Radushkevich (D-R) izotermi

Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm modeli hem homojen hem heterojen yüzeylerdeki adsorpsiyon için kullanılan ve daha çok gözeneklerin adsorpsiyonunu açıklayan bir modeldir (Dubinin ve Radushkevich, 1947). D-R izoterm modelinin doğrusal olmayan denklemleri

$$q_e = X'm \cdot e^{-K'^2} \text{ (Lineer olmayan form)} \quad (2.18)$$

$$\varepsilon = RT \ln(1 + 1/C_e) \quad \ln q_e = \ln X'm - K' \varepsilon^2 \text{ (Lineer)} \quad (2.19)$$

$$E = (2 K')^{-1/2} \quad (2.20)$$

Burada, $X'm$, Dubinin-Radushkevich (D-R) sabitini (mg g^{-1}); K' , adsorpsiyonun ortalama serbest enerjisi ile ilgili bir sabiti ($\text{mol}^2 \text{ kJ}^{-2}$); ε , Polany potansiyelini, R , evrensel gaz sabitini ($\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) ve T , mutlak sıcaklığı (K) göstermektedir (Eren ve ark., 2020). Dubinin Radushkevich (D-R) izotermindeki E (kJ mol^{-1}), adsorpsiyonun fiziksel veya kimyasal karakteristiği hakkında bilgi veren adsorpsiyon enerjisini göstermektedir. E değeri, $E < 8 \text{ kJ mol}^{-1}$ ise adsorpsiyon fiziksel, $20 < E < 40 \text{ kJ mol}^{-1}$ ise adsorpsiyon kimyasal olarak düşünülebilir. (Altun ve Parlayıcı, 2018)

2.5.6. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler

Adsorban özellikleri

Adsorpsiyonu etkileyen faktörlerden biri adsorbanın yapısıdır. Adsorbanın yüzey alanı ve gözenek dağılımı adsorpsiyon ile doğru orantılı olup yüzey alanının ve gözeneklerin artmasıyla adsorpsiyon da artmaktadır. Fakat gözenek çapı adsorplanan maddenin molekül çapıyla uymalıdır. Gözenek difüzyonu eğer adsorpsiyon hızına etki

ederse, gözenekliliğinin çok olası direnci arttıracığından adsorpsiyonu sınırlayabilir (Demirbaş ve ark., 2004).

Adsorplanan maddenin özellikleri

Adsorplanan maddenin çözünürlüğü ile adsorpsiyon arasındaki genelde ters orantılı bir durum vardır. Hidrofilik bir madde, hidrofobik maddeye göre daha az adsorbe olmaktadır. Ayrıca hem hidrofilik hem de hidrofobik özelliğe sahip bir molekülün ise hidrofobik ucu tutunmayı sağlar. Adsorplanan bir maddenin molekülünün çapı da adsorpsiyonu etki eder. Adsorplanan maddenin molekül çapı, adsorbanın gözenek çapına göre büyük olursa, gözenekler tıkanabilir ve bu gözeneklerde bulunan aktif merkezler işlev göremeyebilir. Böylece adsorpsiyon miktarı düşer. Bir diğer durum ise adsorplanan maddenin polaritesidir. Adsorpsiyon esnasında polar bir madde polar bir fazı tercih edecektir. Polar adsorbanın polar olmayan çözeltiden polar bir adsorbatı daha kuvvetli bir şekilde adsorplar (Işık, 2012).

Adsorpsiyonda pH

Adsorpsiyon ortamının pH'ı adsorplanan maddenin iyonunun tipini belirler. Adsorbandaki aktif merkezlerde hidrojen ya da hidroksil iyonlarının adsorbe olması adsorpsiyonu etkiler. Bir maddenin adsorpsiyonu, belirli bir pH veya pH aralığında en yüksek değerine ulaşır. Adsorplanan maddelerin farklı bir adsorban üzerinde tutunması pH değeri ile değişmektedir (Saymer 2013).

Adsorpsiyonda sıcaklık

Adsorpsiyonun ısı alan (endotermik) veya ısı veren (ekzotermik) olması, adsorpsiyonda ekzotermik davranım gösteren adsorpsiyon reaksiyonları sıcaklık ile ters orantılıdır. Adsorpsiyonun kimyasal ya da fiziksel adsorpsiyon olması da sıcaklık faktöründen etkilenmesine neden olur. Fiziksel adsorpsiyonda sıcaklık arttıkça adsorpsiyon kapasitesi düşerken kimyasal adsorpsiyonda artış meydana gelebilmektedir.

Ortamdaki iyonların varlığı

Çözücüde birlikte olan maddeler adsorbe olma yarışıyla birlikte birbirleri ile etkileşimde de bulunmaktadır. Bu ve buna benzer nedenlerle çok bileşenli çözeltilerde bulunan madde, tek bileşen olarak bulunduğu çözeltideki durumuna göre daha fazla miktarda veya daha az miktarda adsorbe olabilmektedir.

2.5.7. Adsorpsiyon kinetiği

Adsorpsiyon kinetiği ile, etkin adsorplanan madde-adsorban temas süresi, adsorpsiyon işleminin hızı, adsorpsiyonun hangi basamağı tarafından belirlendiği anlaşılabilir. Adsorpsiyon 4 temel basamaktan oluşur. İlk kademede gaz veya sıvı fazdaki adsorplanan madde, adsorbanı kaplayan bir film tabakası sınırına doğru difüze olur. Bu kademe yığın akışkan difüzyonu olarak adlandırılır. Adsorpsiyonun gerçekleştiği ortam genellikle karıştırıldığından bu kademe çoğunlukla hızlıdır ve adsorpsiyonda belirleyici değildir. Ancak eğer adsorbanın bulunduğu faz hareketsiz ise, bu basamak en yavaş ve adsorpsiyon hızını belirleyen basamak olabilmektedir. Film tabakasına ulaşan adsorplanacak madde, buradaki durgun kısımdan geçerek adsorbanın gözeneklerine doğru hareket eder. Bu hareket, film kütle transferi veya sınır tabaka difüzyonu olarak adlandırılır. Adsorplanan madde adsorbanın gözenek boşluklarında hareket ederek adsorpsiyonun gerçekleşeceği yüzeye doğru ilerler. Buna gözenek difüzyonu adı verilmektedir. Adsorpsiyon hızına genellikle sınır tabaka ve gözenek difüzyonu kademeleri birlikte etki etmektedir.

En son olarak adsorplanan madde, adsorbanın gözenek yüzeyinde fiziksel ve/veya kimyasal olarak adsorplanır. Bu adsorpsiyonun en hızlı kademesidir.

Zamana bağlı kinetik modeller incelendiğinde genel olarak aşağıdaki modellerin sıvı adsorpsiyon çalışmalarında uygulandığı görülmüştür:

1. Birinci Derece Denklem
2. Yalancı Birinci Derece Denklem (Lagergen Denklemi)
3. İkinci Derece Denklem
4. Yalancı İkinci Derece Denklem

5. Elovich

6. İnterpartiküler difüzyon

Birinci derece kinetik model

Birinci dereceden kinetik model şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$-\ln (C/C_0) = K_1.t \quad (2.21)$$

Burada C, t zamanındaki derişim; C₀, başlangıç derişim; t, süredir.

Yalancı birinci derece kinetik model

Adsorpsiyon süresini Lagergren, basit bir kinetik model olan psödo birinci derece kinetik model şeklinde ifade etmiştir:

$$(dq_1/dt) = k_1.(q_e - q_t) \quad (2.22)$$

Burada k₁ (dak⁻¹) adsorpsiyonun birinci derece hız sabiti; q_e, dengede adsorplanan madde miktarı ve q_t, t süre sonunda adsorplanan madde miktarını ifade etmektedir. Buna göre t' ye karşı log (q_e-q_t) grafiğı çizilerek incelemeler yapıldı.

İkinci derece kinetik model

İkinci dereceden kinetik model şu şekilde ifade edilmektedir.

$$[(1/C)-(1/C_0)] = K_2.t \quad (2.23)$$

Burada C, t zamanındaki derişim; C₀, başlangıç derişim; t, süredir.

Yalancı ikinci mertebe kinetik model

Adsorpsiyon prosesi için Ho ve Mckay tarafından geliştirilen denklem şu şekildedir:

$$(d[S]_t/dt) = k_2.(d[S]_0 - d[S]_t) \quad (2.24)$$

Burada $[S]_0$ ve $[S]_t$, $t = 0$ başlangıç ve t zamanlarında adsorbantda bulunan aktif kısım sayısını göstermektedir. Adsorpsiyon kapasitesinin aktif bölge sayısı ile orantılı olduğu düşünüldüğünde (2.24) eşitliği şu hale gelir:

$$(dq_1/dt) = k_2.(q_e - q_t)^2 \quad (2.25)$$

Burada k_2 ($g \text{ mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon hız sabiti; q_e , denge durumunda adsorplanan madde miktarı ve q_t , t süre sonunda adsorplanan madde miktarını ifade etmektedir. (2.24) eşitliğinin yeniden düzenlenip, $t = 0$ anında $q_0 = 0$ ve $t = t$ anında $q_t = q_t$ koşulları için integrali alınırsa, aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$(t/q_t) = (1/k_2.q_e^2) + (t/q_e) \quad (2.26)$$

Denklemdaki $k_2 q_e^2$ ifadesi başlangıç adsorpsiyon hızını göstermektedir. (Ho ve McKay, 1999).

Elovich Kinetic Model

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha.\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (2.27)$$

q_t , t süre sonunda adsorplanan madde miktarını ifade etmektedir. α , ilk adsorpsiyon hızıdır ($g g^{-1} \text{ dak}^{-1}$) ve β , desorpsiyon sabiti ($g g^{-1}$)dir (Cagnon ve ark., 2011).

İnterpartiküler Difüzyon Kinetik Model

$$q_t = k_{id} t^{1/2} + C \quad (2.28)$$

Burada q_t , t süresi sonunda adsorplanan miktar; k_{id} , intrapartiküler difüzyon hız sabiti ($\text{mg/gdak}^{1/2}$), C ise kayma noktasıdır

Gözenekli bir adsorplayıcı madde için, en hızlı aşama yüzey adsorpsiyonunun gerçekleştiği ilk aşamadır. Sonraki aşama hızını belirleyen partikül içi difüzyonun olduğu basamaktır. En son aşama partikül içi difüzyon hızının azaldığı ve en yüksek adsorpsiyon değerine ulaşıldığı aşamadır (Gümüş ve Gümüş, 2018).

2.5.8. Adsorpsiyon termodinamiği

Literatürde adsorpsiyonun gerçekleşebilmesi için gerekli enerjilerin iki farklı yolla hesaplanabildiği ifade edilmektedir:

1. Adsorpsiyonda, adsorplanan madde birikim ile daha düzenli hale geçtiği için entropi azalmaktadır. Adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşebilmesi için aşağıdaki temel termodinamik eşitliğe göre adsorpsiyon olayının ekzotermik olması gerekmektedir.

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad \text{veya} \quad \ln k_e = (\Delta S^0/R) - (\Delta H^0/R.T) \quad (2.29)$$

Burada ΔG^0 , Gibbs serbest enerji değişimi (kJ/mol); ΔH^0 , entalpi değişimi (kJ/mol); ΔS^0 , entropi değişimi (kJ/mol K); T , mutlak sıcaklık (K); R gaz sabiti; k_e denge sabitidir. (2.29) no'lu eşitlikten yararlanılarak $\ln k_e$ 'ye karşı $1/T$ grafiği çizilerek eğimden ΔH^0 ve kaymadan ΔS^0 değeri elde edilir. Çizilen bu grafiğe Van't Hoff grafiği ismi verilmektedir.

2. Adsorplanan maddenin adsorpsiyon davranımı Langmuir adsorpsiyon izoterminden de hesaplanabilmektedir. Entalpi değişimi ΔH^0 , Gibbs serbest enerji

değişimi ΔG° ve entropi değişimi ΔS° aşağıdaki şu denklemlerden hesaplanabilmektedir (Liu ve ark., 2001).

$$\ln b = \ln b' - (\Delta H^\circ / R.T) \quad (2.30)$$

$$\ln b' = -(\Delta G^\circ / R.T) \quad (2.31)$$

$$\Delta S = (\Delta H^\circ - \Delta G^\circ) / T \quad (2.32)$$

$$b = \Delta S^\circ / R \quad (2.33)$$

Burada b , Langmuir sabiti (l/mg)'dir. ΔH° 'ın negatif değeri adsorpsiyonun ekzotermik bir davranım gösterdiği ve ΔG° 'nin negatif değerleri adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir. ΔS° 'ın negatif değeri ise çözünen-çözelti (bir başka deyişle adsorban-sıvı faz) arayüz adsorplanan derişiminde azalmayı göstermekte olup aynı zamanda katı faz üzerinde adsorplanan derişimin arttığını belirtmektedir. ΔS° 'ın pozitif değeri ise katı-çözelti ara yüzeyindeki rastlantısallığın arttığını işaret etmektedir (Goswami, S.ve Ghosh, U. C., 2005). Adsorpsiyon ısılarının belirlenmesinde önemli hesaplamalardan birisi de izosterler ve izosterik ısılardır. İzosterik adsorpsiyon ısılarının hesaplanması için önce $1/T$ 'ye karşı $\ln C_e$ değerleri çizilerek izosterler elde edilmektedir. İzosterik adsorpsiyon ısısının hesabı için temel Clasius-Clapeyron denklemi kullanılmaktadır (Srivastava ve ark., 2006).

$$(d.\ln C_e / dT) = (\Delta H / R.T^2) \quad (2.34)$$

Burada ΔH izosterik ısı, T adsorpsiyon sıcaklığı ve C_e adsorplanan maddenin denge derişimidir.

2.6. Literatür Özetleri

Suya bir çok madde doğal veya yapay olan kimyasal maddeler karışmaktadır. Kirlilik olarak adlandırılan, kontrollü veya kontrolsüz olarak doğaya bırakılan bu kimyasal maddelerin bir kısmının canlıların RNA veya DNA gibi hücresel yönetim ve bilgi zincirlerinin moleküler yapısına etki edebileceği veya kansere neden olabileceği düşünülmektedir (Baytar ve ark.,2021). Bu maddeler birçok hastalığa sebep olmaktadır. Bu hastalıklardan bazıları; kalp hastalıkları, erken yaşlanma, katarakt, kalıtsal ve gelişimsel doğum bozuklukları gibi hatalıklardır. Bu hastalıklar ve benzeri hastalıkların yanısıra, kanserin ana sebepleri olduklarını destekleyen hipotezler gün geçtikçe artmaktadır (Şenel ve Ark.,2012). Kimyasal maddeler genel olarak suda çözündükten sonra canlı organizmalar içine alınmaktadır (Güner, 2012). Bu nedenle sulu çözeltilerde farklı yöntemlerle birçok kimyasal maddenin giderimi için çalışmalar yapılmıştır. Yöntemlerden bir tanesi de adsorpsiyondur. Adsorpsiyon yoluyla ağır metallerin sulu çözeltilerden kaolin ile giderimi (Genel ve Ark.2014). Adsorpsiyon yoluyla ağır metallerin sulu çözeltilerden bentonit ile giderimi yapılmıştır (Genel ve ark.,2014). Ayrıca doğal ve sentetik kimyasallar olan boyar maddeler üzerinde adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Toor ve Jin (2012)'de aktifleştirilmiş bentonit üzerine congo red boyar maddesi adsorpsiyon çalışması yapmış 50mg/g-75mg/g aralığında adsorpsiyon elde etmiştir. Benguella ve Yacouta-Nour (2019)'da red bezanyl ve green nylamine boyar maddelerinin doğal bentonit üzerinde adsorpsiyonunu incelemiş 39.11 mg/g ve 23.58 mg/g adsorplanma kapasitesi belirlenmiştir. Tsai ve arkadaşlarının (2005) yılında basic violet 4, basic violet 3 ve basic red 9 boyar maddelerinin kil (ağartma toprağı) üzerine yapılan adsorpsiyonlarında her üç boyada da 83.2mg/g'lık adsorpsiyon tespit edilmiştir. Tehrani-Bagha ve arkadaşlarının (2011)'de metilen blue ve malachite green boyar maddelerinin kaolin üzerine adsorpsiyonları incelenmiş 29.85 mg/g ve 52.91 mg/g adsorplanma kapasitesinin olduğu belirlenmiştir, Adsorpsiyon işlemleride birçok adsorbe edici madde kullanılmaktadır.

Endüstride çok sayıda farklı adsorbent çeşidi kullanılmaktadır. Genelde adsorbentler iki grupta incelenebilir. Bunlar doğal adsorbentler; Doğadan kolayca elde edilebilen, maliyeti masrafları az olan maddelerdir. Örnek olarak kitosan, zeolit, kömür,

kil, selüloz, kül, atık çamur, talaş gibi maddeler doğal adsorbentlere örnek verilebilir. Yapay adsorbentler ise doğal adsorbentlere göre biraz daha maliyet miktarları fazla olan maddelerdir. Aktif alümina, silika jel, katalizörler, aktif karbon gibi maddeler yapay adsorbentlere örnek verilebilir (Gürten, 2008). Yapay adsorbentlerden aktif karbon, karışımların ayırımında, gazların saflaştırma ve arıtımında, gıda sanayisinde saflaştırma işlemlerinde, su ve atık su arıtımında, savunma sanayisinde koruyucu giysi yapımında, metal sanayisinde karbon katkısı, silah sanayisinde patlayıcı ve elektronik sistemleri susturmak için bomba yapımında ve sağlık sektöründe birçok alanda aktif karbon üretilip kullanılmaktadır (Küçükgül, 2004).

Üretilen aktif karbonların, temelinde iki yöntem ile elde edilmektedir. Bunlar fiziksel ve kimyasal aktivasyondur. Fiziksel aktivasyon ile hammadde 600-1100 °C aralığında, azot gazı, su buharı, hava veya karbondioksit atmosferinde ısıtılma maruz bırakılmaktadır. Kimyasal aktivasyonda ise; materyal H_3BO_3 , KOH, K_2CO_3 , $ZnCl_2$, H_3PO_4 , H_2SO_4 vb. kimyasal maddeler ile etkileştirilir. Daha sonra, 500-900 °C aralığında azot, karbondioksit, argon atmosferi altında ısıtılma maruz bırakılır. Bu yöntemler uygulanarak, çeşitli yüzey alanına ve gözenek yapısına sahip farklı aktif karbonlar elde edilir. Endüstride en çok kullanılan aktif karbonlar ise toz aktif karbonlar ve granüler aktif karbonlardır (Patrick 1995; Bansal ve Goyal, 2005). Granüler aktif karbonlar (GAC) 0.2-5 mm boyutlardaki düzensiz şekilde partikülleri olan, sıvı ve gaz fazı uygulamalarında kullanılmakta, toz aktif karbonlar (PAC), genelde 0.18 mm (US. 45 mesh)'den küçük boyutlarda öğütülerek üretilen, sıvı faz uygulamalarında ve baca gazı arıtımında kullanılan aktif karbonlardır. Bunların dışında pellet aktif karbon (Pellet AC) basınçla sıkıştırılmış ve 0.8-5 mm çapında silindirik yapıda, düşük basınç sağlamasından, yüksek mekanik dayanıklılığından ve düşük toz içeriğinden dolayı başlıca gaz fazı uygulamalarında kullanılmaktadır.

Aktif karbon üretimi üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda aktif karbondaki mikro gözenekliliği optimize etme denemelerinde, sakaroz karakterlerinin kontrollü ısıtılması ve diğer öncü malzemeler, fazla potasyum veya sodyum hidroksit içeren etkisiz bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta, öncü malzemeler düzenlenmiş bir sıcaklık-zaman profiline, yükseltilmiş sıcaklıklara tabi tutulmuş (400–900 ° C) ve ardından soğutulmuştur. Ürünler daha sonra bir atmosfer

metanol buharı ya da havaya maruz bırakılmıştır. Sakarozdan üretilen karbonlar için 750 ile 800 °C arasındaki sıcaklıklarda 1.0 mL g⁻¹'i aşan mikro gözenek hacimleri elde edilmiştir. 540 °C kadar düşük aktivasyon sıcaklıklarında yüksek verimler iyi mikro gözenekli aktif karbonlar yapılmıştır (Işık, 2012).

Literatürde birçok farklı ham maddeden aktif karbon üretilmiştir. Yapılan bir çalışmada aktif karbonlar, mısır koçanının potasyum hidroksit ile kimyasal aktivasyonu sonucu üretilmiş, partikül büyüklüğü, karışım metodu, kimyasal / mısır koçanı oran gibi farklı parametrelerin etkisi, BET yüzey alanı, aktivasyon süresi ve aktivasyon sıcaklığı, kilo kaybı, üretilen aktif karbonların oran kayıpları ve aktif karbonun azot gazı ile gözenek yapıları incelenmiştir. Ayrıca kimyasalla mısırın koçanının karıştırılması üç süreçte yapılmıştır. Bunlardan biri kurutulmuş mısır koçanı, doymuş bir potasyum çözeltisi ile 1 saat boyunca karıştırılıp daha sonra filtrelendikten sonra kurutularak aktifleştirilmiştir. İkinci süreçte kurutulmuş mısır koçanı katı KOH ile karıştırılarak aktive edilmiştir. Son yöntemde ise kurutulmuş mısır koçanı, KOH doymuş çözeltisi ve homojen bulamaç gece boyunca 110 ° C'de kurutulmuştur. Bu süreçlerden son süreçten iyi BET yüzey alan 1320 m²/g bulunmuştur (Otowa ve ark., 1997). Ananas (Ananas comosus) pirolizinden hazırlanan başka bir aktif karbon üretim çalışmasında ZnCl₂ ile ananas atık biyokütlesinin (yaprakları, gövdeleri, taçları) 1:1 oranında impregnasyonu yapılmış ve yüksek yüzey alanına sahip aktif karbon üretilerek, bu aktif karbonun yüzey alanı, yüzeyinin kimyasal özellikleri, fonksiyonel grupları, gözenekliliği incelenmiştir. Ayrıca üretilen aktif karbonun metilen mavisi (MB) boyar maddesi kullanılarak boyar madde adsorplama özelliğine bakılmıştır. Adsorpsiyon sonuçlarında yüksek yüzey alanı (914.67 m²/g) olan aktif karbonun 288.34 mg/g'de adsorpsiyon kapasitesi olduğu bulunmuştur (Ahmadpour ve Do, 1997). Hurma çekirdeği ile ilgili olarak bir çalışmada ZnCl₂ ile impregnasyonu ve 700°C'de 3 saat karbonizasyonu ile yüzey alanı 951 m², por hacmi 0,456 cm³ olan aktif karbon üretilmiştir (Alhamed, 2009). Diğer bir çalışmada %30-%70 arasında derişimlere sahip H₃PO₄ ile 24 saat impregnasyon ve 300-700°C de 2 saat süreyle pirolizi ile yüzey alanı 28-945 m²/g arasında değişen aktif karbonlar üretilmiştir (Girgis and El-Hendawy, 2002). Hurma ağacından ise 519-806 °C'de 1.0-3.5 saat kireçtaşı yakılarak elde edilen karbondioksit (CO₂) ve su (H₂O) piroliz ürününün aktivasyon için kullanılmış 350- 420 °C'de 3-6 saat pirolizi sonucu yüzey alanı 1084 m²/g

olan aktif karbon üretilmiştir (Ahmad ve ark., 2007). Hurma dışında zeytin ve zeytin çekirdeği de üretimde kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda zeytin atıkları 946 °C'de azot ortamında 1 saat pirolizi ve 1296-1396 °C'de 30 ile 70 dakika arasında su buharıyla aktivasyonu sonucu yüzey alanı 514-1271 m²/g arasında değişen aktif karbonlar üretilmiştir (Baçaoui ve Ark., 2001). Bir başka çalışmada ise meşe palamudu ve zeytin küspesinin %85'lik fosforik asit (H₃PO₄) 48 saatlik imregnasyonu sonunda 400- 800 °C de 1 saat karbonizasyonu sonucu BET yüzey alanı 1000-1200 arasında aktif karbolar üretilmiştir (Lafi, 2001). Zeytin çekirdekleri ve ceviz kabuğu kullanılarak 600°C'de 1 saat karbonizasyon ve kütlece 1'e 1 oranda %50 ve %75'lik potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi ile imregnasyon sonucu 300 °C'de 3 saat dehidratasyon yapıldıktan sonra 900 °C'de kimyasal aktivasyon yapılarak aktif karbon üretilmiştir (López-González ve Ark., 1980).

Su kamışının %40'lık H₃PO₄ ile 6-12 saat arasında imregnasyonu ve 400°C ve 500°C arasında 40-80 dakika aralığında karbonizasyonu sonucu yüzey alanları 419 m²/g-1279 m²/g arasında değişen aktif karbonlar üretmişlerdir (Shi ve ark., 2010).

Ananas (Ananas comosus) pirolizden hazırlanan başka bir aktif karbon üretim çalışmasında ZnCl₂ ile ananas atık biyokütlesinin (yaprakları, gövdeleri, taçları) 1:1 oranında imregnasyonu yapılmış ve yüksek yüzey alanına sahip aktif karbon üretilerek, bu aktif karbonun yüzey alanı, yüzeyinin kimyasal özellikleri, fonksiyonel grupları, gözenekliliği incelenmiştir. Ayrıca üretilen aktif karbonun metilen mavisi (MB) boyar maddesi kullanılarak boya adsorplama özelliğine bakılmıştır. Adsorpsiyon sonuçlarında yüksek yüzey alanı (914.67 m² / g) olan aktif karbonun 288.34 mg / g adsorpsiyon kapasitesi olduğu bulunmuştur (Mahamad ve ark., 2015).

Biyokütle-piroliz kömürünün adsorpsiyon amaçları için kullanılması, atık su arıtımı için çeşitli küçük ölçekli endüstriler için ucuz bir karbon adsorban kaynağı için her yerde bulunan ihtiyaç göz önüne alındığında, ekstra avantaj ve önem taşımaktadır. Bu bağlamda deneysel çalışmalar, biyokütle-piroliz kömürünü, bireysel adsorptif özelliklerine göre şartlandırılmış özgülüğünü açıklamak ve karakterize etmek için gerçekleştirilmiştir (Raveendran ve Ganesh, 1998).

Aktif karbon gözenek gelişimi ile kimyasal aktivasyondaki emdirme oranı arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Farklı emdirme oranlarının etkisini

inceleyebilmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaya göre; süs baklası meyveleri, 110 °C’de 24 saat kurutulmuş daha sonra 500 °C’de 1.5 saat ısıtılmıştır. Elde edilen kömürümsü malzeme çeşitli miktarlarda sodyum hidroksit ile 130 °C’de 4 saat süresince karıştırmaya tabi tutulmuştur. Daha sonra örnekler 700 °C’de azot gazı altında 1,5 saat süre ile karbonize edilerek, soğutulmuş ve 0,1 M HCl ile yıkanmıştır. Bunu takiben sıcak su ile yıkanarak pH 6,5’e getirilen örnekler 110 °C’de 24 saat kurutulmuştur (Vargas ve ark., 2011).

Bazen de iki aktifleştirici kimyasal birbiri ardı sıra kullanılabilir. Örneğin Marı’n ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, önce lignoselülozik bir madde olan kiraz çekirdeğinden inorganik bileşiklerin uzaklaştırılmasına katkı sağlayabilmek amacıyla 1-2 mm büyüklüğünde öğütülen çekirdekler 24 saat süresince H₂SO₄’de bekletilmiş daha sonra ise süzöntü suyunun pH’ı 6 oluncaya kadar yıkanmıştır. İkinci aşama da ise 25 gram kiraz çekirdeği 100 ml KOH çözeltisi (KOH: kiraz çekirdeği oranı ağırlıkça 3:1) ile 85 °C’de iki saat süresince temas ettirilmiştir. Bu zaman sonunda üste kalan sıvı kısım vakumla süzülerek uzaklaştırılmış, katı kısım 120 °C’de 24 saat kurutulmuştur. KOH emdirilmiş maddeler 400-900 °C’de azot gazı altında 2 saat süre ile pirolizlenmiştir. Yapılan çalışmada ısı ile beraber BET yüzey alanının önemli farklar gösterdiği tespit edilmiştir. Buna göre 400 °C’de üretilen aktif karbonun BET yüzey alanı 7 m²/g iken 900 °C’de üretilen aktif karbonun yüzey alanı 1624 m²/g’dir. Yüksek sıcaklık KOH kimyasalı ile aktifleştirilen aktif karbonun BET yüzey alanı ile mikro ve makro gözenek alanlarının artmasına sebep olmuştur (Marin ve ark., 2006). Sodyum alüminat aktivasyonu yoluyla mikro-mezogözenekli aktif karbonun adsorptif özelliklerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi adlı bir çalışmada yeni bir aktive edici ajan, sodyum alüminat (Na [Al (OH)₄]), denizde bulunan Enteromorpha Prolifera biyokütle atıklarından mikro gözenekli ve mezogözenekli yapıya sahip aktif karbon üretimi yapmışlardır. Langmuir modeli ile daha iyi uyan ve tek tabakalı adsorpsiyon kapasitesinin 1000 mgg⁻¹ olduğunu bulmuşlardır. Klorella bazlı mikroalgal kalıntısı, 800-1000 °C aktivasyon sıcaklıklarında ve 0-30 dk kalma sürelerinde, N₂ ve CO₂ gazları ile kombine bir karbonizasyon-aktivasyon süreci hazırlanmış, 30 dakika kalma süresi ile 950 °C aktivasyon sıcaklığında üretilen ortaya çıkan aktif karbonun maksimum Brunauer-Emmett-Teller (BET) yüzey

alanı $840 \text{ m}^2 / \text{g}$ ve toplam gözenek hacmi ve $0,46 \text{ cm}^3 / \text{g}$ bulmuşlardır. Üretilen aktif karbonlar farklı alanlarda adsorpsiyon için kullanılmaktadır.

Pirinç kabuğunun fosforik asit ile impregnasyonu ve $400\text{-}700^\circ\text{C}$ arasında 180 dk karbonizasyonu sonucu üretilen $376 \text{ m}^2/\text{g}$ yüzey alanına sahip aktif karbona hümkik asit adsorpsiyonu incelenmiş ve 45 mg/g olduğu görülmüştür. Kızılılık çekirdeği, badem kabuğu ve kaysı çekirdeklerinin H_2SO_4 ile 24 saat imregnasyonu, 200°C 'de ısıtılarak uygulanarak yüzey alanı $369 \text{ m}^2/\text{g}$ ve $449 \text{ m}^2/\text{g}$ arasında değişen aktif karbonları krom iyonlarının (Cr^{+6}) adsorbe edilmesinde kullanılmıştır (Demirbaş ve ark, 2004).

Yapılan bir çalışmada şeker kamışı atıkları ile %70'lik H_3PO_4 ile impregnasyonu ve 500°C 'de 80 dakika karbonizasyonu sonucunda elde edilen $523 \text{ m}^2/\text{g}$ yüzey alanına sahip aktif karbon, metilen mavisi ve Rodamin-B boyar maddelerinin adsorpsiyonu incelenmiş adsorbe edilen metilen mavisi miktarı 280 mg/g , Rodamin-B boyar maddesinin ise $190,8 \text{ mg/g}$ olarak bulunmuştur (Gad ve El-Sayed, 2009).

Metan üretim atığı sığır gübresinin çinko klorür ile impregnasyonu ve 400°C - 900°C arasında yarım saat ile beş saat arası pirolizi sonucu yüzey alanı $2170 \text{ m}^2/\text{g}$ olan aktif karbonlarına fenol adsorpsiyonu incelenmiş $150\text{-}350 \text{ mg/g}$ olduğu bulunmuştur (Qian ve ark., 2007).

Yukarıdaki literatürler ışığında hammadde olarak çeşitli ağaç türlerinin farklı kimyasallarla impregnasyonu ve pirolizi sonucu aktif karbon üretimi yapılmış ve boyar madde adsorpsiyonu incelenmiştir. Materyal ve yöntem literatürde yapılmış olan çalışmalara göre oluşturulmuştur.



3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Ağaç talaşlarının öğütölme işlemleri Şimşek laborteknik Ltd.Şti tarafından üretilen HD-702 modelli öğütücüsü ile yapılmıştır. Karbonizasyon için Proterm furnaces markalı fırın ve N₂ gazı ve çelik reaktör kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Karbonizasyon işleminde kullanılan fırın.

Aktif karbonların HCl (1M Hidroklorik asit) ile kül giderimi ve karbonun asitten arındırılması için kullanılan yıkama sistemi kurulmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Yıkama sistemi.

Aktif karbon üretimi deneylerinde, hammadde ve aktif karbon karakterizasyonu belirlenmesi için Elementel analiz, FT-IR analizi, BET analizi ve SEM analizleri yapılmıştır. Elementel analiz için Thermo scientific markalı flash 2000 modelili cihazı, FT-IRanaliz Thermo scientific markalı Nicoleti S10 FT-IRsipekto spectrometer cihazı kullanılmıştır. Deneylerin pH ölçümleri MeterLab markalı PHM210 Stadart pH Meter modelli cihaz ile, adsorpsiyon deneyleri Heidolph Mr Hei-End markalı ısıtıcı ayarlı tek gözlü manyetik karıştırıcı ve konsantrasyon ölçümleri Shimadzu UV -1240 markalı spektrofotometre ile yapılmıştır. Adsorpsiyon deneylerinde spektrofotometrede Metilen mavisi (Ek.1.25) 640 nm’de kinolin sarısı (Ek.1.26) 437 nm’de 5 farklı konsantrasyonda ortak pik olarak görülmüş ve deneyler bu nanometre dalga boylarında ölçülmüştür. Ölçülebilir en uygun karıştırma hızı 200 rpm olarak belirlenmiştir.

3.1. Aktif Karbon Üretimi Deneyleri

Yapılan üretim deneyleri 6 aşamada gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Hammadde seçimi, kurutulması ve parçalanması

Hammadde olarak Van yöresinde yetişebilen 4 farklı ağaç türü seçilmiştir. Bu ağaçlar yabani kuşburnu ağacı(A1), akasya ağacı(A2), dişbudak ağacı(A3) ve kavak ağacı (A4)dır. Hammadde olarak seçilen ağaçlar daha önce kesilmiş ya da budanmış ağaç gövdelerinden alınarak 3 ay boyunca direkt olarak güneş görmeyen bir ortamda kurutulmuştur. Ağaçlar motorlu testere yardımıyla 0.1 cm-0.9 cm arasındaki boyut ve 1mm-3mm arası kalınlığında talaş olarak parçalanmıştır. Parçalan bu talaşlar 200 mesh ölçüsünde eleği olan labaratuvar değirmeninde öğütülerek kimyasal impregnasyon için hazır hale getirilmiştir.

3.1.2. Kimyasal impregnasyon

Bu aşamada 4 farklı kimyasal kullanılmıştır. Bu kimyasallar çinko klorür ($ZnCl_2$), sodyum hidroksit (NaOH), Borik asit(H_3BO_3) ve fosforik asit (H_3PO_4) kullanılmıştır.

Karışımlarda kimyasal maddenin ve hammaddeye ağırlık oranları 1:1 oranında olacak şekilde hazırlanmıştır. Çözeltilerin saf su miktarları kimyasal maddenin çözünürlüklerine göre ayarlanmıştır.

a) 200 mesh boyutundaki A1, A2, A3 ve A4 talaşlardan 30'ar g alınarak 100 ml'lik 30 g çinko klorür ($ZnCl_2$) çözeltisiyle ayrı ayrı karıştırılmış ve 48 saat impregnasyon için bekletilmiştir. Daha sonra 50 °C derecedeki etüvde 48 saat süreyle içindeki çözücü %90-%95 arasındaki oranda buharlaştırılmıştır.

b) 200 mesh boyutundaki A1, A2, A3 ve A4 talaşlardan 30'ar g alınarak 100 ml'lik çözeltide 30 g sodyum hidroksit çözeltisiyle ayrı ayrı karıştırılmış ve 48 saat impregnasyon için bekletilmiştir. Daha sonra 50 °C derecedeki etüvde 48 saat süreyle içindeki çözücü %90-%95 arasındaki oranda buharlaştırılmıştır.

c) 200 mesh boyutundaki A1, A2, A3 ve A4 talaşlardan 30'ar g alınarak, çözeltide 30 g olacak şekilde %85'lik fosforik asitten (H_3PO_4) alınarak çözelti hazırlanmış ayrı ayrı talaşlarla karıştırılmış ve 48 saat impregnasyon için bekletilmiştir. Daha sonra 50 °C derecedeki etüvde 48 saat süreyle içindeki çözücü %90-%95 arasındaki oranda buharlaştırılmıştır.

d) 200 mesh boyutundaki A1, A2, A3 ve A4 talaşlardan 30'ar g alınarak 800 ml'lik çözeltide 30 g Borik asit(H_3BO_3) çözeltisiyle ayrı ayrı karıştırılmış ve 48 saat impregnasyon için bekletilmiştir. Daha sonra 50 °C derecedeki etüvde 48 saat süreyle içindeki çözücü %90-%95 arasındaki oranda buharlaştırılmıştır.

3.1.3. Piroliz süreci

İmpregnasyonu tamamlanan hammadde ve aktive edici maddeler N_2 gazının 500cm³/dk hızla geçtiği reaktörün içine bırakılmış ve fırına yerleştirilmiştir. Fırın 1saatte 800 °C ye çıkıp 1saat 800 °C de bekletildi. Daha sonra azot ortamında soğumaya alınarak 25°C'ye getirildikten sonra azot gazı kapatıldı ve aktif karbon alındı. Bu karbonizasyon

işlemi sırasında reaktörün iç sıcaklığı ölçümü de alındı. Farklı karışımlarda reaktör iç sıcaklığında farklılıklar tesbit edilmiştir. Reaktör iç sıcaklığının 723-753 °C arasında değiştiği belirlenmiştir.

3.1.4. Kül giderimi

Oluşabilecek kül ve diğer bileşiklerin giderimi için 1M hidroklorik asit (HCl) çözeltisiyle ile 10 dk karıştırılarak süzme işlemine hazırlandı.

3.1.5. Süzme işlemi

Bu işlem aktif karbonun saf su geçirgenliğine göre ayarlanabilen 10 L'lik bir depoya sahip basit bir sistemle (şekil 3.2) HCl varlığı tamamen son buluncaya kadar süzölmüştür. HCl varlığı AgNO₃ (Gümüş nitrat) ile ve pH metre ile tespit edilmiştir.

3.1.6. Kurutma ve depolama

Süzme işlemi tamamlanan aktif karbon 50°C lik etüvde kurutmaya bırakılmış 24 saat sonunda 50 ml'lik kapaklı hava geçirgenliği olmayan kapalı kaplarda depolanmıştır.

3.2. Adsorpsiyon Deneyleri

Adsorpsiyon deneyleri metilen mavisi (MM) ve kinolin sarısı (KS) olmak üzere iki farklı boyar maddenin konsantrasyon değişimi etkisi, sıcaklık değişimi etkisi, başlangıç pH faktörü etkisi gibi üç farklı parametre kullanılarak yapılmıştır.

3.2.1. Konsantrasyon değişimi

Hazırlanan aktif karbonun boyar madde adsorpsiyonu için 1000 ppm'lik metilen mavisi ve 1000 ppm'lik kinolin sarısı çözeltileri hazırlanmış, hazırlanan bu stok çözeltilerden her bir konsantrasyon için ayrı ayrı 250 ml'lik 600 ppm, 400 ppm, 200 ppm,

100 ppm ve 50 ppm'lik çözeltiler hazırlanmıştır. 0,1g'lık sabit ağırlıkta aktif karbon (adsorban), bu çözeltilere ayrı ayrı eklendikten sonra, işlemler oda şartlarında (sabit basınçta), 25 °C sabit sıcaklıkta ve 200 rpm'lik sabit hızda yapılmıştır.

3.2.2. Sıcaklık Değişimi

Bu kısımda üretilen bütün aktif karbonlar 25 °C, 30 °C ve 45 °C'lik sıcaklıklarında 250 ml ve 200 ppm'lik sabit konsantrasyondaki adsorbat, 0,1g'lık sabit ağırlıkta aktif karbon (adsorban) kullanılarak, oda şartlarında (sabit basınçta), 200 rpm'lik sabit hızda yapılmıştır.

3.2.3. pH değişimi

Başlangıç pH'ı asidik ortamda pH 3, pH 4, pH 5, pH 6'da, bazik ortamda pH 8, pH 9, pH 10, pH 11 ve pH 7 ortamlarında 0,1g'lık sabit ağırlıkta aktif karbon (adsorban) kullanılarak, oda şartlarında (sabit basınçta), 25°C sabit sıcaklıkta, 250 ml ve 200 ppm'lik sabit konsantrasyondaki adsorbat ve 200 rpm'lik sabit hızda yapılmıştır. Metilen mavisi boyar maddesi ölçüm için pH değişiminden etkilenmezken, kinolin sarısı boyar maddesi gıda boyası olduğundan ve asidik ortamda parçalanmaktadır. Bazik ortamda renk değişimi yapmaktadır. Bu nedenden dolayı sadece pH =7 ortamda deneyleri yapılmıştır.



4. BULGULAR

4.1. Aktif Karbon Analiz Sonuçları

Aktif karbon analiz sonuçları elementel analiz, FTIR analizi, BET analizi ve SEM analizi olarak 4 bölümde incelenmiştir.

4.1.1. Elementel analiz sonuçları

Çizelge 4.1. Ağaç talaşları ve üretilen aktif karbonların elemental analiz sonuçları

Hammadde/ aktif karbon	Azot oranı	Karbon oranı	Hidrojen oranı	Sülfür oranı	Toplam
A1-S	0,6001	41,5562	5,4066	0	47,563
A1-0	1,2574	71,6577	1,4913	0	74,4063
A1-1	0,8097	75,8521	0,8891	0	77,5508
A1-2	0,9069	77,9076	0,5558	-	79,3703
A1-3	0,4311	53,7762	1,221	0,5291	55,9575
A1-4	0,6046	74,3651	1,1098	0,8321	76,9115
A2-S	0,6356	45,123	5,8996	0	51,6582
A2-0	0,7553	68,6756	0,5988	0,6329	70,6626
A2-1	1,2456	69,4208	0,9836	0	71,6501
A2-2	-	75,7117	0,5654	0	76,2771
A2-3	0,7325	45,4117	1,6002	0	47,7443
A2-4	1,1511	60,7953	0,9557	0	62,9021
A3-S	0,625	47,1976	5,7499	0	53,5725
A3-0	-	64,3261	0,8086	0	77,2456
A3-1	1,2322	74,7267	1,2867	0	77,2456
A3-2	-	52,474	0,5674	-	53,0414
A3-3	0,4501	60,9722	1,306	0	62,7282
A3-4	0,8423	71,9689	1,1285	0	73,9397
A4-S	0,5042	46,1099	5,6045	-	52,2187
A4-0	0,5905	87,0921	0,7707	-	88,4533
A4-1	0,4088	66,2564	0,9496	-	67,6148
A4-2	0,3452	57,3898	0,429	-	58,164
A4-3	0,2894	31,4131	1,5379	-	33,2404
A4-4	0,4761	64,0897	1,1356	-	65,7013

Ham madde olarak kullanılan ağaçların ham hallerinde karbon oranları A1 ağacında %41,5562 A2 ağacında 45.123, A3 ağacında 47.1976, A4 ağacında 46.1099

oranında bulunması aktif karbon için uygun olduklarını göstermektedir. Bütün ağaçlarda saf haldeki H (Hidrojen) oranlarının %5 in üzerinde olduğu karbonizasyondan sonra bu değerlerin %1.5 altında olduğu görülmektedir. Saf halde karbonizasyonda en yüksek karbon miktarı A4 ağacında (A4-0), en düşük karbon miktarı A3 ağacında (A3-0), çinko klorür ile impregnasyonu sonucu oluşturulan karbonlarda ise en yüksek karbon miktarı A1 ağacında (A1-1) , en düşük karbon miktarı A4 ağacında (A4-1) , sodyum hidroksit ile impregnasyon sonucu üretilen aktif karbonlarda en yüksek karbon miktarı A2 ağacında (A2-2) en düşük A3 ağacında (A3-2), fosforik asit ile empregnasyonu sonucu oluşan karbonlarda ise en yüksek karbon miktarı A3 ağacında(A3-3) en düşük karbon miktarı A4 ağacında(A4-3), borik asit ile impregnasyonu sonucu oluşan karbonlarda en yüksek karbon miktarı A1 ağacında(A1-4) en düşük karbon miktarı A2 ağacında (A2-4) görülmektedir. Genel olarak A4-3 aktif karbonu hariç diğer karbonlar karbonizasyon sonucu % C oranlarının arttığı belirlenmiştir.

4.1.2. FT-IR analizleri

Çizelge 4.2. Saf ham madde ve aktif karbon analizlerinde görülen dalga boyları ve özellikleri

Peak numarası	Dalga boyu cm ⁻¹	Özellik	
1	3850-3600	O-H bükülme titreşimleri	Ge ve Ark,2017
2	3337	OH gerilme (alkoller, asitler, H bağı)	(Beşergil, 2015)
3	3300	Hemi selüloz-lignin-selüloz H bağları	(Yargıç ve Ark., 2021)
4	3300-3000	C-H gerilme (doymamış)	(Beşergil, 2015)
5	3010-3095	C-H gerilme >C=C<(alken) orta şiddet	(Pir, 2008)
6	3010-3100	Aromatik halka orta kuvvette C-H	(Pir, 2008)
7	3650-3590	Monomerik alkol fenol O-H bağı d	(Pir, 2008)
8	3650-3500	Monomerik karboksilik asit	(Pir, 2008)
9	3600-3200	H- bağı alkol fenol d	(Pir, 2008)
10	2917	C-H gerilme titreşimi	(Gupta ve Ark., 2003)
11	2970-2850	C-H gerilme (alkan)	(Kholodkov ve Ark., 2003)
12	2700-2500	H-bağı karboksilik asit	(Beşergil, B. 2015.)
13	2359	C-O bağı	(Corazzari ve Ark.,2015)
14	2250-2225	-C≡N gerilme	Beşergil, B. 2015.)

Çizelge 4.2. Saf ham madde ve aktif karbon analizlerinde görülen dalga boyları ve özellikleri (devamı)

Peak numarası	Dalga boyu cm ⁻¹	Özellik	
15	2260-2090	-C≡C- gerilme	(Beşergil, 2015)
16	2180-2120	-C≡N ⁺ gerilme	(Skoog ve ark., 1998)
17	2110	C-N ₃ bağı	(Petibois ve ark., 2006)
18	2745-2710	C-H gerilme (aldehit)	(Uzun, 2014)
19	2925,2046,1980	Alken ve alkil gurupları C-H titreşim bandı	(Doğan ve ark., 2020)
20	2078	CO ₂ - CO bandı	(Balakrishnan ve Schwank, 1992)
21	1995-1992	Muhtemel kil mineralleri ve oksitlerdeki yapısal OH titreşimlerinden dolayı	(Pedersen, 2011)
22	1990	C-O titrşimi	(Cremer ve Kraka, 1984)
23	1900	N=O bağı	(Hadjiivanov ve Knözinger, 2000)
24	1901	N-O bağı	(Wuttke ve ark. 2012)
25	2000-1665	C-H zayıf bağlar ya da aromatik C-H _{ar}	(Pandey ve Pitman, 2003)
26	1734	Kısılndeki C=O bağları (konjuge olmamış)	(Pandey ve Pitman, 2003)
27	1732	Karbonil gurubundaki (C=O) selüloz –hemiselüloz –lignin	(Ohkoshi, 2002)
28	1718-1740	Eşleşmemiş keton, aldehit ve karbonil gruplarındaki C=O	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
29	1648	H-O-H absorblanan su molekülünün titreşimi ve lignindeki C=O bağlarının titreşimi	(Yilgor ve ark.2013)
30	1630-1660	Para-OH katılmış aril keton, kinonda ki C=O Karbonhidratlar tarafından absorbe edilen H ₂ O Alkinlerde ki C=O	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
31	1605-1610	Lignindeki aromatik halkalardaki C=O COO	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
32	1593	Güçlü *C=O aromatik iskelet titreşimi	(Yilgor ve Ark.2013)
33	1606-1518	Aromatik gruptaki (C=C)	(Kobayashi ve Ark. 1984)
34	1504	Ligninde aromatik iskelet titreşimi	(Yilgor ve Ark.2013)
35	1506-1510	Lignindeki aromatik halkalardaki C=O COO	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
36	1539, 1557,1558,1559, 1560	(C=C aromatik, (C=O) in COO ⁻ , or v (C-N) in -C-NO ₂	(Yuan ve Ark, 2018)
37	1450-1465	C-H	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
38	1456	CH ₂ ksilen ve ligninde bozunma titrşimi	(Yilgor ve Ark.2013)
39	1466	C-H makaslama titreşimi	(Beşergil, 2015)
40	1422	Lignin ve karbondihitrat *C-H parçalanması aromatik c-h tit reşimleri	(Yilgor ve Ark.2013)

Çizelge 4.2. Saf ham madde ve aktif karbon analizlerinde görülen dalga boyları ve özellikleri (devamı)

41	1420-1430	Aromatik halkalardaki C=C Karbonhidratlardaki CH ₂	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
42	1413	Simetrik antisimetrik C-H titreşimleri	(Al-Oweini ve El-Rassy, H., 2009)
43	1372	Hemiselüloz ve selülozun C-H deformasyonu	(Yilgor ve Ark.2013)
44	1365-1376	Odunun tüm bileşenlerindeki C-H	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
45	1359	Karboksilat (C-O) titreşimi	
46	1343- 1396	CH ₂ titreşimleri	(Peboutuwa, ve Ark., 2020)
47	1324	Selülozda C-H titreşimi syringyl türevlerinin *C-O titreşimleri	(Yilgor ve Ark.2013)
48	1315-1321	Selülozdaki CH ₂	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
49	2925	C-H alifatik karbon	(Stone, 1997).
50	1235	Ksilendeki Asetil ve karboksil ve lignindeki C=O titreşimleri	(Yilgor ve Ark.2013)
51	1234	Ksilendeki Asetil ve karboksil ve lignindeki C=O titreşimleri	(Yilgor ve Ark.2013)
52	1230-1270	Lignin ve hemiselülozdaki CO	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
53	1157	Hemi selüloz ve selülozdaki C-O-C titreşimleri	(Yilgor ve Ark.2013)
54	1145-1162	Selülozdaki C-O-C	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
55	1106	Selüloz ve hemiselülozdaki OH bağı bandı	(Yilgor ve Ark.2013)
56	1091	PO ₂ Fosfolipid titreşimler	Dreissig ve Ark., 2009)
57	(1151, 1103, 1080, 1034 ve 990	Gulukoz pikleri	(Dzurendova, 2020)
58	1053	C-O primer alkol	(Peng ve Ark.,2017)
59	1032-1053	Karboksilik asit –alkol-eter	(Beşergil, 2015.)
60	1030-1060	Lignin Selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesi	(Ahmet ve Sivrikaya, 2017)
61	1017	Kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarında C-O ve HC-OH karşılıklı girişimleri	(Yilgor ve Ark.,2013)
62	1008	PO ₄ titreşimleri	(Gong, W. 2001)
63	995-985	Güçlü C=C alken monosibstitüe	(Wahyuningsih ve Ark., 2017)
64	986	Hemiselüloz ve selülozdaki C=O titreşimi	(Yilgor ve Ark.,2013)
65	900-690	Aromatik halka kuvvetli C-H	(Wahyuningsih ve Ark., 2017)
66	980-960	Güçlü C=C alken disibstitüe	(Wahyuningsih ve Ark., 2017)
67	896	Selülozda C-H deformasyonu	(Yilgor ve Ark.2013)
68	895-855	Alken vinyldyne	(Yilgor ve Ark.2013)
69	900-800	Hemiselüloz ve selülozun glikozidik bağları	(Bağ, Ö. ve Tekin, K. 2019)
70	870	İzole edilmiş aromatik hidrojen atomuna ait titreşimler	(Chen ve Ark., 2012)
71	850-550	C-Cl bağı	(Lee-Ruff ve Just, 1968).
72	840-790	Orta güçlükte C=C alkan trisibstitüe	(Beşergil, 2015)
73	730-665	Güçlü C=C alkan disibstitüe (cis)	(Beşergil, 2015)
74	675-695	C-H gerilme >C=C< (alken) kuvvetli bağ	(Beşergil, 2015)
75	800-500	C-Cl	(Beşergil, 2015)

Çizelge 4.2 Saf ham madde ve aktif karbon analizlerinde görülen dalga boyları ve özellikleri(devamı)

61	1017	Kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarında C-O ve HC-OH karşılıklı girişimleri	(Yilgor ve Ark.,2013)
62	1008	PO ₄ titreşimleri	(Gong, W. 2001)
63	995-985	Güçlü C=C alken monosibstitüe	(Wahyuningsih ve Ark., 2017)
64	986	Hemiselüloz ve selülozdaki C=O titreşimi	(Yilgor ve Ark.,2013)
65	900-690	Aromatik halka kuvvetli C-H	(Wahyuningsih ve Ark., 2017)
66	980-960	Güçlü C=C alken disibstitüe	(Wahyuningsih ve Ark., 2017)
67	896	Selülozda C-H deformasyonu	(Yilgor ve Ark.2013)
68	895-855	Alken vinyldyne	(Yilgor ve Ark.2013)
69	900-800	Hemiselüloz ve selülozun glikozidik bağları	(Bağ, Ö. ve Tekin, K. 2019)
70	870	İzole edilmiş aromatik hidrojen atomuna ait titreşimler	(Chen ve Ark., 2012)
71	850-550	C-Cl bağı	(Lee-Ruff ve Just, 1968).
72	840-790	Orta güçlükte C=C alkan trisibstitüe	(Beşergil, 2015)
73	730-665	Güçlü C=C alkan disibstitüe (cis)	(Beşergil, 2015)
74	675-695	C-H gerilme >C=C< (alken) kuvvetli bağ	(Beşergil, 2015)
75	800-500	C-Cl	(Beşergil, 2015)
76	560	O-H gerilme	(Xing ve Ark., 2019)
77	660-550	Zn ferrit (ZnFe ₂ O ₄)	(Pradeep ve Chandrasekaran, 2006).
78	640nd 590	Fe ₃ O ₄	(Pradeep ve Chandrasekaran, 2006).
79	577	Fe-C-O titreşimleri	(Tsubaki ve Ark., 1982)
80	500-600	Ferritler yüksek dalgada dört yüzlü kompleks	(Kumar ve Ark., 2014)

Çizelge 4.3. Ham haldeki yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının FT-IR sonuçları

A1-S (cm ⁻¹)	A2-S (cm ⁻¹)	A3-S (cm ⁻¹)	A4-S (cm ⁻¹)
3800			
3707	3710	3707	3706
3680	3680	3680	3680
3627			
3326	3337	3351	3337
2980			
2966			
2937			
2921	2922	2922	2922
2865	2867	2864	
2844	2844		
2359	2360	2359	2360
2341	2341	2342	2341

Çizelge 4.3. Ham haldeki yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının FT-IR sonuçları (devamı)

A1-S (cm ⁻¹)	A2-S (cm ⁻¹)	A3-S (cm ⁻¹)	A4-S (cm ⁻¹)
2187			
2073	2078	2051	2050
			1979
1733	1734	1735	1733
	1635		1593
1616		1616	
1506	1505	1507	1505
1455	1455	1455	1455
	1421	1420	1421
1320	1321	1320	1319
	1371		1371
1234	1234	1234	1233
1053	1053	1053	1053
1033	1032	1032	1032
668	668	668	668
590	591	590	593
568		567	
553			

Saf ağaç talaşlarından A1-S ağaç talaşında görülen 3800 cm⁻¹ OH gerilmesi alkoller, asitler ve H bağının, 3707 cm⁻¹, 3680 cm⁻¹, 3627 cm⁻¹ ve 3326 cm⁻¹ deki pikler hemi selüloz-lignin-selüloz H bağlarının, 2980 cm⁻¹ pik C-H gerilme titreşiminin, 2966 cm⁻¹, 2937 cm⁻¹, 2865 cm⁻¹ ve 2844 cm⁻¹ bandlar C-H gerilmesinin (alkan), 2359 cm⁻¹ ve 2341 cm⁻¹ görülen pikler C-O bağının, 2187 cm⁻¹'deki yapı C≡C gerilmesinin yada -C≡N⁺ gerilmesinin, 2073 cm⁻¹ 'deki CO₂- CO bandının, 1733 cm⁻¹'deki eşleşmemiş keton, aldehit ve karbonil gruplarındaki C=O bağlarının, 1616 cm⁻¹'deki yapı lignindeki aromatik halkalardaki C=O ve COO bağlarının, 1506 cm⁻¹'deki pik ligninde aromatik iskelet titreşiminin, 1455 cm⁻¹'deki pik, C-H bağı veya CH₂ ksilen ve ligninde bozunma titreşiminin, 1320 cm⁻¹'deki bant, selülozda C-H titreşimi syringyl türevlerinin ⁺C-O titreşimlerinin, 1234 cm⁻¹ ksilendeki asetil ve karboksil ve lignindeki C=O titreşimlerinin veya C-N , C-O gerilmelerinin, lignin ve hemiselülozdaki CO yapısının, 1053 cm⁻¹ 'deki pik C-O yapısının (primer alkol) , 1033 cm⁻¹ karboksilik asit -alkol-eter yada 1030 cm⁻¹ -1060 cm⁻¹ lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesinin, 668 cm⁻¹ 'deki pik güçlü C=C alkan disüstitüe (cis) yapısını ve 590-568-553 cm⁻¹ 'deki bant C-Cl bağının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A2-S ağaç talaşında 3710-3680 cm^{-1} dalga boylarındaki OH gerilmeleri; alkoller, asitler ve H bağının, 3337 cm^{-1} 'deki pik hemi selüloz-lignin-selüloz H bağlarının, 2922 cm^{-1} 'deki yapı C-H gerilmesinin, 2867 cm^{-1} - 2844 cm^{-1} pikler C-H gerilmesinin (alkan), 2360 cm^{-1} - 2341 cm^{-1} 'deki pikler CO_2 - CO bandının, 2078 cm^{-1} 'deki pik CO_2 - CO bandının, 1734 cm^{-1} 'deki pik eşleşmemiş keton, aldehit ve karbonil gruplarındaki C=O bağının, 1635 cm^{-1} 'deki pik para-OH katılmış aril keton, kinonda ki C=O karbonhidratlar tarafından absorbe edilen H_2O yada alkinlerde ki C=O yapısının, 1505 cm^{-1} 'deki pik ligninde aromatik iskelet titreşimini ve lignindeki aromatik halkalardaki C=O ya da COO yapısının, 1455 cm^{-1} 'deki pik C-H bağı veya CH_2 ksilen ve ligninde bozunma titreşiminin, 1421 cm^{-1} 'deki pik lignin ve karbondihitrat $^+\text{C-H}$ parçalanması, aromatik C-H titreşimleri yada aromatik halkalardaki C=C veya karbonhidratlardaki CH_2 yapısının, 1371 cm^{-1} 'deki pik hemiselüloz ve selülozun C-H deformasyonu yada odunun tüm bileşenlerindeki C-H titreşiminin, 1321 cm^{-1} 'deki pik selülozda C-H titreşimi syringyl türevlerinin $^+\text{C-O}$ titreşimlerinin, 1234 cm^{-1} dalga boyundaki pik ksilendeki asetil ve karboksil ve lignindeki C=O titreşimlerinin veya C-N , C-O gerilmelerinin ve lignin ve hemiselülozdaki CO yapısının, 1053 cm^{-1} 'deki pik C-O bağının (primer alkol), 1033 cm^{-1} 'deki pik karboksilik asit-alkol-eter yapısının, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozdaki C=O gerilmesinin, 668 cm^{-1} 'deki pik güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağının ve 591 cm^{-1} 'deki pik de C-Cl bağının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A-3 S ağaç talaşında 3707 cm^{-1} dalga boyundaki OH gerilmesi; alkoller, asitler ve H bağının, 3680 cm^{-1} ve 3351 cm^{-1} 'deki pikler hemi selüloz-lignin-selüloz H bağlarının, 2922 cm^{-1} 'deki pik C-H gerilmesinin, 2864 cm^{-1} 'deki pik C-H gerilmesinin (alkan), 2359 cm^{-1} ve 2342 cm^{-1} 'deki yapılar CO_2 - CO bandının, 2051 cm^{-1} 'deki CO_2 - CO bandının, 1735 cm^{-1} 'deki pik eşleşmemiş keton, aldehit ve karbonil gruplarındaki C=O bağlarının, 1616 cm^{-1} ve 1507 cm^{-1} pikler ligninde aromatik iskelet titreşiminin ve lignindeki aromatik halkalardaki C=O ve COO yapılarının, 1455 cm^{-1} 'deki pik C-H bağı veya CH_2 ksilen ve ligninde bozunma titreşiminin, 1420 cm^{-1} 'deki lignin ve karbondihitrat $^+\text{C-H}$ parçalanmasını, aromatik C-H titreşimlerinin yada aromatik halkalardaki C=C veya karbonhidratlardaki CH_2 yapılarının, 1320 cm^{-1} 'deki pik selülozda C-H titreşimi syringyl türevlerinin $^+\text{C-O}$ titreşimlerinin, 1234 cm^{-1} 'deki pik ksilendeki asetil ve karboksil ve lignindeki C=O titreşimlerinin veya C-N, C-O gerilmelerinin, lignin ve hemiselülozdaki

CO bağının, 1053 cm^{-1} 'deki yapı C-O bağının (primer alkol), 1032 cm^{-1} 'deki bant karboksilik asit-alkol-eter yapılarının yada 1030 cm^{-1} -1060 cm^{-1} 'deki bantlar lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesinin, 668 cm^{-1} 'deki pik güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağının ve 590 cm^{-1} ve 567 cm^{-1} 'deki pikler C-Cl bağının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A-4 S ağaç talaşında 3706 cm^{-1} 'deki OH gerilmesi alkoller, asitler ve H bağının, 3680 cm^{-1} ve 3337 cm^{-1} 'deki pikler hemiselüloz-lignin-selüloz H bağlarının, 2922 cm^{-1} 'deki C-H gerilmesinin, 2864 cm^{-1} 'deki C-H gerilmesinin (alkan), 2360 cm^{-1} ve 2341 cm^{-1} 'dekiler CO₂- CO bandının, 2050 cm^{-1} 'deki CO₂- CO bandının, 1979 cm^{-1} 'deki alken ve alkil gurupları C-H titreşim bandının, 1733 cm^{-1} 'deki bantlar eşleşmemiş keton, aldehit ve karbonil gruplarındaki C=O bağlarının, 1505 cm^{-1} 'deki pik ligninde aromatik iskelet titreşimi ve lignindeki aromatik halkalardaki C=O ve COO yapılarının, 1456 cm^{-1} 'deki C-H bağını veya CH₂ ksilen ve ligninde bozunma titreşiminin, 1420 cm^{-1} 'deki lignin ve karbondihidrat ⁺C-H parçalanmasını ve aromatik C-H titreşimleri yada aromatik halkalardaki C=C veya karbonhidratlardaki CH₂ yapılarının, 1371 cm^{-1} hemiselüloz ve selülozun C-H deformasyonu yada odunun tüm bileşenlerindeki C-H yapılarının, 1319 cm^{-1} 'deki selülozdaki C-H titreşimini ve syringyl türevlerinin ⁺C-O titreşimlerinin, 1234 cm^{-1} 'deki bant ksilendeki asetil, karboksil ve lignindeki C=O titreşimlerinin veya C-N, C-O gerilmelerini, lignin ve hemiselülozdaki CO bağının, 1053 cm^{-1} 'deki pik C-O bağını (primer alkol), 1032 cm^{-1} 'deki karboksilik asit -alkol-eter yapısını yada 1030 cm^{-1} -1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozdaki C=O gerilmesinin, 668 cm^{-1} 'deki güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağlarının ve 593 cm^{-1} 'deki pik C-Cl bağının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.4. Saf halleri ile karbonize edilmiş yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) FT-IR sonuçları

A1-0(cm^{-1})	A2-0 (cm^{-1})	A3-0 (cm^{-1})	A4-0 (cm^{-1})
3706	3707	3707	3704
2980	2980	2980	2981
2843	2843	2843	
2359	2359	2359	2359
2342	2342	2342	2341
2116	2107	2115	2112
2073			
			1912
		1990	
	1877	1865	
1412		1455	
			1400
1054	1054	1053	1055
1033	1032	1032	1033
1013	1013	1015	
873			872
668	668	668	668
	567	571	
		556	

Ağaç talaşlarına herhangi bir kimyasal eklenmeden azot ortamında aktif karbon haline getirilmesiyle oluşan adsorbanlardan;

A1-0 karbonunda görülen 3706 cm^{-1} 'deki -OH gerilmesi; alkoller, asitler ve H bağının, 2980 cm^{-1} ve 2843 cm^{-1} 'deki pikler C-H gerilmesinin (alkan), 2359 cm^{-1} ve 2342 cm^{-1} 'dekiler CO_2 - CO bandının, 2116 cm^{-1} 'deki $\text{C}\equiv\text{C}$ gerilmesinin yada C-N₃ gerilmesinin, 2073 cm^{-1} 'deki CO_2 - CO bandının, 1412 cm^{-1} 'deki lignin ve karbondihidrat +C-H parçalanmasının (aromatik C-H titreşimleri), 1054 cm^{-1} 'deki C-O bağının (primer alkol), 1033 cm^{-1} 'deki pik karboksilik asit-alkol-eter yada 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozdaki C=O gerilmesinin, 1013 cm^{-1} 'deki kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarındaki C-O ve HC-OH yapılarının, 873 cm^{-1} 'deki bant orta güçlükte C=C alkan trisibstitüe ya da hemiselüloz ve selülozun glikozidik bağlarına ait C=C titreşimlerinin, 668 cm^{-1} 'deki pik güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) yapılarının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A2-0 karbonunda görülen 3707 cm^{-1} 'deki OH gerilmesi; alkoller, asitler ve H bağının, 2980 cm^{-1} ve 2843 cm^{-1} 'deki pikler C-H gerilmesinin (alkan), 2359 cm^{-1} ve 2342

cm^{-1} 'deki CO_2 -CO bandının, 2107 cm^{-1} 'deki $\text{C}\equiv\text{C}$ gerilme yada $\text{C}-\text{N}_3$ gerilmesinin, 1877 cm^{-1} 'deki $\text{C}-\text{H}$ zayıf bağlarının ya da aromatik $\text{C}-\text{H}_{\text{ar}}$ yapısının, 1054 cm^{-1} 'deki pik $\text{C}-\text{O}$ bağının (primer alkol), 1032 cm^{-1} 'deki karboksilik asit -alkol-eter yapısının, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'dekiler lignin selüloz ve hemiselülozda $\text{C}=\text{O}$ gerilmesinin, 1013 cm^{-1} 'deki kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarındaki $\text{C}-\text{O}$ ve $\text{HC}-\text{OH}$ karşılıklı girişimlerinin, 668 cm^{-1} 'deki güçlü $\text{C}=\text{C}$ alkan disibstitüe (cis) yapısının ve 567 cm^{-1} 'deki pik $\text{C}-\text{Cl}$ bağının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A3-0 karbonunda görülen 3707 cm^{-1} 'deki $-\text{OH}$ gerilmesi; alkoller, asitler ve H bağının, 2980 cm^{-1} ve 2843 cm^{-1} 'deki pikler $\text{C}-\text{H}$ gerilmesinin (alkan) 2359 cm^{-1} ve 2342 cm^{-1} 'dekiler CO_2 -CO bandının, 2115 cm^{-1} 'deki $\text{C}\equiv\text{C}$ gerilme yada $\text{C}-\text{N}_3$ gerilmesinin, 1990 cm^{-1} ve 1865 cm^{-1} 'deki pikler, $\text{C}-\text{H}$ zayıf bağlarının yada aromatik $\text{C}-\text{H}_{\text{ar}}$ yapısının, 1455 cm^{-1} 'deki CH_2 ksilen ve ligninde bozunma titreşiminin, 1053 cm^{-1} 'deki $\text{C}-\text{O}$ bağının (primer alkol), 1032 cm^{-1} 'deki karboksilik asit -alkol-eter yapılarının, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozda $\text{C}=\text{O}$ gerilmesinin, 1015 cm^{-1} 'deki kuvvetli bant eter, fenol, alkol guruplarındaki $\text{C}-\text{O}$ ve $\text{HC}-\text{OH}$ karşılıklı girişimlerinin, 668 cm^{-1} 'deki güçlü $\text{C}=\text{C}$ alkan disibstitüe (cis) bağlarının ve $571\text{-}556 \text{ cm}^{-1}$ 'deki pikler $\text{C}-\text{Cl}$ bağının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A4-0 karbonunda görülen 3704 cm^{-1} 'deki OH gerilmesi; alkoller, asitler ve H bağının, 2981 cm^{-1} 'deki $\text{C}-\text{H}$ gerilmesinin (alkan), 2359 cm^{-1} ve 2341 cm^{-1} 'dekiler CO_2 -CO bandının, 2112 cm^{-1} 'deki $\text{C}\equiv\text{C}$ gerilmesinin ya da $\text{C}-\text{N}_3$ gerilmesinin, 1912 cm^{-1} 'deki $\text{C}-\text{H}$ zayıf bağlarının yada $\text{N}=\text{O}$ bağlarının, 1400 cm^{-1} 'deki lignin ve karbondihidrat $^+\text{C}-\text{H}$ parçalanmasının ya da aromatik $\text{C}-\text{H}$ titreşimlerinin, 1055 cm^{-1} 'deki $\text{C}-\text{O}$ bağının (primer alkol), 1033 cm^{-1} 'deki pik, karboksilik asit-alkol-eter yapılarının 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozda $\text{C}=\text{O}$ gerilmesinin, 872 cm^{-1} 'deki orta güçlükte $\text{C}=\text{C}$ alkan trisibstitüe yada $\text{C}-\text{Cl}$ bağının ve 668 cm^{-1} 'deki güçlü $\text{C}=\text{C}$ alkan disibstitüe (cis) bağının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Saf karbonlar oluşurken $3600\text{-}3300 \text{ O}-\text{H}$ gerilim bandının çoğunun (hidroksil, asit, fenol bantlar) kırıldığı, $2950\text{-}2800 \text{ C}-\text{H}$ gerilim bandı alifatik, olefinik ve aromatik yapılarının A3-0 ve A4-0 kaldığı, A1-0 ve A2-0'da ise kırıldığı, 2843 cm^{-1} $\text{C}-\text{H}$ gerilme (alkan), 2359 cm^{-1} , 2342 cm^{-1} CO_2 -CO bandlarının kaldığı, $2107\text{-}2116 \text{ cm}^{-1}$ $\text{C}\equiv\text{C}$ gerilme yada $\text{C}-\text{N}_3$ gerilmesinin oluştuğu, A1, A2, A3, A4 ağaçlarında 1506 cm^{-1} ligninde

aromatik iskelet titreşimi ve lignindeki aromatik halkalardaki C=O COO yapılarının değişmediği, 1455 cm⁻¹'deki C-H bağı veya CH₂ ksilen ve ligninde bozunma titreşimi, 1320 cm⁻¹ selülozda C-H titreşimi syringyl türevlerinin ⁺C-O titreşimleri, 1234 cm⁻¹ ksilendeki asetil, karboksil ve lignindeki C=O titreşimleri veya C-N , C-O gerilmeleri- lignin ve hemiselülozdeki CO titreşimlerinin kırıldığı, A1'de 873 cm⁻¹'deki orta güçlükte C=C alkan trisibstitüe yada C-Cl bağı, A2'de 2359 cm⁻¹ CO₂- CO bandı, 1877 cm⁻¹ ve 1013 cm⁻¹ oluşmuş, 2116 cm⁻¹ C-N₃ gerilmesi, 1990 cm⁻¹ 1913 cm⁻¹ C-H zayıf bağlar yada N=O bağı, 1466 cm⁻¹ C-H bağı veya CH₂ ksilen ve ligninde bozunma titreşimi oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Yabani kuşburnu ağacı(A1), akasya ağacı(A2), dişbudak ağacı(A3) ve kavak ağacı(A4) talaşlarının çinko klorürü ile imregnasyonu sonucu oluşan karbonların FT-IR sonuçları

A1-1 (cm ⁻¹)	A2-1 (cm ⁻¹)	A3-1 (cm ⁻¹)	A4-1 (cm ⁻¹)
3851	3851	3721	
3730	3730		
3707	3707	3707	3707
3626	3627	3627	
2980	2981	2981	2981
	2865		
2843	2843	2843	
2359	2359	2360	2359
2342	2342	2342	2341
2115			2111
	2075		
1915			1990
1557			1870
1054	1054	1054	1053
1032	1032	1033	1032
1013	1013		
668	668	668	668
			567
			559

Ağaç talaşının ZnCl₂ ile muamele edilmesiyle elde edilen aktif karbonlardan A1-1'de görülen 3851 cm⁻¹, 3730 cm⁻¹, 3707 cm⁻¹ ve 3626 cm⁻¹ OH gerilmesini gösteren pikler; alkoller, asitler ve H bağının, 2980 cm⁻¹'deki C-H gerilmesinin, 2843 cm⁻¹'deki C-H gerilmesinin (alkan), 2359 cm⁻¹ ve 2342 cm⁻¹'deki CO₂-CO bandının, 2115 cm⁻¹'deki C $\equiv$ C gerilmesinin veya C⁻ $\equiv$ ⁺N gerilmesinin, 1915 cm⁻¹'deki C-H zayıf bağlarının yada N=O bağının, 1557 cm⁻¹'deki, aromatik gruptaki (C=C) bağının, 1054 cm⁻¹'deki C-O bağının (primer alkol), 1032 cm⁻¹'deki karboksilik asit-alkol-eter yapılarının, 1030 cm⁻¹ ve 1060 cm⁻¹'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozdeki C=O gerilmesinin, 1013cm⁻¹ kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarında C-O ve HC-OH yapılarının karşılıklı

girişimlerinin ve 668 cm^{-1} 'deki güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağlarının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A2-1 aktif karbonunda $3851\text{-}3730\text{-}3710\text{-}3627\text{ cm}^{-1}$ OH gerilmesi; alkoller, asitler ve H bağının, 2981 cm^{-1} 'deki C-H gerilmesinin, 2865 cm^{-1} ve 2843 cm^{-1} 'deki titreşimler C-H gerilmesinin (alkan), 2359 cm^{-1} , 2342 cm^{-1} ve 2075 cm^{-1} 'deki pikler $\text{CO}_2\text{-CO}$ bandının, 1054 cm^{-1} 'deki pik C-O bağının (primer alkol), 1032 cm^{-1} 'deki karboksilik asit -alkol-eter gerilmesinin, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesinin, 1013 cm^{-1} 'deki kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarındaki C-O ve HC-OH yapılarının karşılıklı girişimlerin ve 668 cm^{-1} 'deki güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağlarının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A3-1 aktif karbonunda $3721\text{-}3707\text{-}3627\text{ cm}^{-1}$ OH gerilmesi; alkoller, asitler, H bağının, 2981 cm^{-1} 'deki bant C-H gerilmesinin, 2843 cm^{-1} 'deki C-H gerilmesinin (alkan), 2360 cm^{-1} ve 2342 cm^{-1} 'deki $\text{CO}_2\text{-CO}$ bandının, 1054 cm^{-1} 'deki pik C-O bağının (primer alkol), 1032 cm^{-1} 'deki karboksilik asit -alkol-eter gerilmesinin, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesinin ve 668 cm^{-1} 'deki güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağlarının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A4-1 aktif karbonunda $3721\text{-}3707\text{-}3627\text{ cm}^{-1}$ OH gerilmesi; alkoller, asitler, H bağının, 2981 cm^{-1} 'deki bant C-H gerilmesinin, 2843 cm^{-1} 'deki C-H gerilmesinin (alkan), 2360 cm^{-1} ve 2342 cm^{-1} 'deki $\text{CO}_2\text{-CO}$ bandının, 2111 cm^{-1} 'deki $\text{C}\equiv\text{C}$ gerilmesinin yada C-N_3 gerilmesinin, 1990 cm^{-1} 'deki pik C-H zayıf bağlarının yada aromatik C-H_{ar} bağlarının, 1053 cm^{-1} 'deki pik C-O bağının (primer alkol), 1032 cm^{-1} 'deki karboksilik asit -alkol-eter gerilmesinin, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesinin ve 668 cm^{-1} 'deki güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağlarının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Genel olarak çinko klorür ile yapılan aktif karbonların saf ağaç talaşı ile karşılaştırıldığında yüksek dalga boyundaki H bağlarının korunduğu ve arttığı, $1234\text{ cm}^{-1}\text{-}1616\text{ cm}^{-1}$ arasındaki bağların ise kırıldığı görülmektedir. Saf aktif karbonlarda yüksek dalga boyundaki H bağları ve karbon ve oksijen bağları az oluşurken çinko klorür doyurması ile yapılan aktif karbonda daha fazla oluşmuştur.

Çizelge 4.6. Yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının sodyum hidroksit ile impregnasyonu sonucu oluşan karbonların FT-IR sonuçları.

A1-2 (cm ⁻¹)	A2-2 (cm ⁻¹)	A3-2 (cm ⁻¹)	A4-2 (cm ⁻¹)
3853			
3707	3707	3707	
		2981	
3680	3680		
3429	3351		
2981	2981		
2937			
2972			
2865	2865		
2843	2843		
2360	2359	2359	2359
2341	2342	2342	
2073	2114	2086	
		1993	
	1918	1903	1870
1559	1559		
		1413	
			1396
	1091		
1054	1054	1054	
1032	1032	1033	1033
1016	1008	870	870
668	668	668	
	622		
		595	
		580	577
569	568	564	558
		552	

A1 ağaç talaşı ve NaOH ile elde edilen aktif karbonlardan; A1-2 aktif karbonunda görülen 3853-3707 cm⁻¹ OH gerilmesi, alkoller, asitler ve H bağının, 3680 cm⁻¹ 3429 cm⁻¹'deki hem selüloz-lignin-selüloz H bağlarının, 2981 cm⁻¹, 2972 cm⁻¹ ve 2937 cm⁻¹'dekiler C-H gerilmesinin, 2865 cm⁻¹ ve 2843 cm⁻¹'deki C-H gerilmesinin, 2360 cm⁻¹ ve 2073 cm⁻¹'deki veriler CO₂- CO bandının, 1559 cm⁻¹'deki aromatik gruptaki (C=C) çift bağının, 1053 cm⁻¹'deki pik C-O bağının (primer alkol), 1032 cm⁻¹'deki karboksilik asit-alkol-eter gerilmesinin, 1030 cm⁻¹ ve 1060 cm⁻¹'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesinin, 1016 cm⁻¹'deki kuvvetli bant eter, fenol, alkol

gruplarında C-O ve HC-OH karşılıklı girişimlerinin, 668 cm^{-1} 'deki pik güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağının ve 569 cm^{-1} 'deki OH gerilmesinin yada C-Cl bağlarının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A2-2 aktif karbonunda 3707 cm^{-1} OH gerilmesi, alkoller, asitler ve H bağının, 3680 cm^{-1} ve 3351 cm^{-1} 'deki pikler hemi selüloz-lignin-selüloz H bağlarının, 2981 cm^{-1} , 2865 cm^{-1} .ve 2843 cm^{-1} 'deki sinyaller C-H gerilmesinin (alkan), 2359 cm^{-1} ve 2342 cm^{-1} 'deki pikler $\text{CO}_2\text{-CO}$ bandının, 2114 cm^{-1} 'deki pik $\text{C}\equiv\text{C}$ gerilmesinin yada C- N_3 gerilmesinin, 1918 cm^{-1} 'deki sinyal C-H zayıf bağların yada N=O bağının, 1559 cm^{-1} 'deki aromatik gruptaki (C=C) bağının, 1091 cm^{-1} dekiler PO_2 fosfolipid titreşimlerinin, 1054 cm^{-1} 'deki pik C-O bağının (primer alkol), 1032 cm^{-1} karboksilik asit -alkol-eter gerilmesinin, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesinin, 1008 cm^{-1} 'deki kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarında C-O ve HC-OH karşılıklı girişimlerinin ya da PO_4 titreşimlerinin, 668 cm^{-1} 'deki pik güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağının ve 622 cm^{-1} ve 568 cm^{-1} 'deki OH gerilmesinin yada C-Cl bağlarının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A3-2 aktif karbonunda 3707 cm^{-1} OH gerilmesi, alkoller, asitler ve H bağının, 2981 cm^{-1} 'deki bant C-H gerilmesinin, 2359 cm^{-1} , 2342 cm^{-1} ve 2086 cm^{-1} 'deki pikler $\text{CO}_2\text{-CO}$ bandının, $1993\text{-}1903\text{ cm}^{-1}$ 'dekiler C-H zayıf bağlarının yada N=O bağının, 1413 cm^{-1} 'deki lignin ve karbondihitrat $^+\text{C-H}$ parçalanmasının aromatik C-H titreşimleri yada aromatik halkalardaki C=C veya karbondihidratlardaki CH_2 yapılarının, 1054 cm^{-1} 'deki pik C-O bağının (primer alkol), 1033 cm^{-1} karboksilik asit-alkol-eter gerilmesinin, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki pikler lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesinin, 870 cm^{-1} 'deki izole edilmiş aromatik hidrojen atomuna ait titreşimler yada orta güçlükte C=C alkan trisibstitüe titreşimlerinin, 668 cm^{-1} 'deki güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağının, 595 cm^{-1} , 580 cm^{-1} , 564 cm^{-1} ve 552 cm^{-1} dalga boylarındaki sinyaller OH gerilmesinin ya da C-Cl bağlarının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

A4-2 karbonunda 2359 cm^{-1} ve 2050 cm^{-1} 'deki pikler, $\text{CO}_2\text{-CO}$ bandının, 1870 cm^{-1} 'deki C-H zayıf bağlarının ya da aromatik C- H_{ar} bağlarının, 1396 cm^{-1} 'deki lignin ve karbondihitrat $^+\text{C-H}$ parçalanması, aromatik C-H titreşimlerinin ya da aromatik halkalardaki C=C veya karbondihidratlardaki CH_2 yapılarının, 1033 cm^{-1} karboksilik asit-alkol-eter gerilmesinin, 668 cm^{-1} güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağlarının, 870 cm^{-1}

¹'deki orta güçlükte C=C alkan trisibsitüe ya da C-Cl bağının 593 cm⁻¹, 577 cm⁻¹ 558 cm⁻¹ OH gerilme ya da C-Cl bağlarının göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Genel olarak bakıldığında sodyum hidroksit muamele edilerek elde edilen aktif karbonlarda 3627-3326 cm⁻¹ hemiselüloz-lignin-selüloz H bağlarının, A1, A2, A3, A4 ağaçlarında, 1506 cm⁻¹'deki lignindeki aromatik iskelet titreşimini, lignindeki aromatik halkalardaki C=O COO bağlarını, 1455 cm⁻¹'de C-H bağı veya CH₂ ksilen ve ligninde bozunma titreşimini, 1320 cm⁻¹ selülozda C-H titreşimi syringyl türevlerinin ⁺C-O titreşimlerini, 1234 cm⁻¹'de ksilendeki asetil ve karboksil ve lignindeki C=O titreşimlerini veya C-N , C-O gerilmelerini, lignin ve hemiselülozdaki CO titreşimlerinin kırıldığı, A2-2'de 2114 cm⁻¹ C-N₃ gerilmesinin, A3-2'de 1413 cm⁻¹ simetrik antisimetrik C-H titreşimlerinin, A3'de 595-580-564-552 cm⁻¹ OH gerilme yada C-Cl bağının, 1015cm⁻¹ kuvvetli bant eter , fenol, alkol gruplarında C-O ve HC-OH karşılıklı girişimlerinin, 870 cm⁻¹ orta güçlükte C=C alkan trisibsitüe yada C-Cl bağının, 1413 cm⁻¹ lignin ve karbondihitrat ⁺C-H parçalanması aromatik C-H titreşimleri oluşmuştur. A1-2'deki 569 cm⁻¹, A2-2'deki 568 cm⁻¹, A3-2'deki 552 cm⁻¹, 564 cm⁻¹, 580 cm⁻¹ ve 590 cm⁻¹, A4-2'deki 558 cm⁻¹ ve 577 cm⁻¹ karbon klor arası etkileşimler ya da demirin tetrahedral yapıları olduğu şeklinde değerlendirmeler yapılabilir.

Çizelge 4.7. Yabani kuşburnu ağacı(A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının fosforik asit ile impregnasyonu sonucu oluşan karbonların FT-IR sonuçları

A1-3 (cm ⁻¹)	A2-3 (cm ⁻¹)	A3-3 (cm ⁻¹)	A4-3 (cm ⁻¹)
	3708	3708	3703
	2981	2981	2981
		2843	2843
2359	2359	2360	2359
		2342	2341
2115	2116	2118	2082
	1995		
1899	1906	1913	1906
1568	1557	1558	1557
	1054	1054	1054
1032	1032	1033	1033
			1012
		668	668
581	577		
556	555		571

Ağaç talaşının H_3BO_3 ile etkileştirilmesiyle elde edilen aktif karbonlardan; A1-4'de görülen 2981 cm^{-1} 'deki pik C-H gerilmesini, 1981 cm^{-1} 'deki C-H gerilmesini (alkan), 2359 cm^{-1} ve 2341 cm^{-1} CO_2-CO bandını, 2112 cm^{-1} 'deki C- N_3 gerilmesini, 2073 cm^{-1} , 1992 cm^{-1} ve 1913 cm^{-1} 'dekiler C-H zayıf bağlarını yada N=O bağlarını, 1560 cm^{-1} 'deki aromatik gruptaki (C=C) bağlarını, 1054 cm^{-1} 'deki pik C-O bağlarını (primer alkol), 1033 cm^{-1} 'deki karboksilik asit-alkol-eter gerilmesini, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesini ve 1015 cm^{-1} 'deki kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarındaki C-O ve HC-OH yapılarının karşılıklı girişimlerini gösterdiği şeklinde değerlendirme yapılmıştır.

A2-4 aktif karbonunda görülen 3708 cm^{-1} 'deki pik OH gerilmesi, alkoller, asitler ve H bağlarını, 2981 cm^{-1} 'deki C-H gerilmesini, 2843 cm^{-1} , 2359 cm^{-1} ve 2341 cm^{-1} 'dekiler CO_2-CO bandını, 2112 cm^{-1} 'deki C- N_3 gerilmesini, 1559 cm^{-1} 'deki aromatik gruptaki (C=C) bağlarını, 1054 cm^{-1} 'deki pik C-O bağlarını (primer alkol), 1033 cm^{-1} 'deki karboksilik asit-alkol-eter gerilmesini, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesini, 668 cm^{-1} 'deki güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağlarını, 591 cm^{-1} ve 577 cm^{-1} 'deki pikler ise OH gerilme ya da C-Cl bağı gösterdiği şeklinde değerlendirme yapılmıştır.

A3-4 aktif karbonunda görülen 3703 cm^{-1} 'deki pik OH gerilmesi, alkoller, asitler ve H bağlarını, 2981 cm^{-1} 'deki C-H gerilmesini, 2843 cm^{-1} 'deki pik C-H gerilmesini (alkan), 2360 cm^{-1} ve 2342 cm^{-1} 'dekiler CO_2-CO bandını, 2116 cm^{-1} 'deki C- N_3 gerilmesini, 1560 cm^{-1} 'deki aromatik gruptaki (C=C) bağlarını, 1054 cm^{-1} 'deki pik C-O bağlarını (primer alkol), 1033 cm^{-1} 'deki karboksilik asit-alkol-eter gerilmesini, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesini, 1015 cm^{-1} 'deki kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarında C-O ve HC-OH karşılıklı girişimlerini gösterdiği şeklinde değerlendirme yapılmıştır.

A4-4 aktif karbonunda görülen 3707 cm^{-1} 'deki pik OH gerilmesi, alkoller, asitler ve H bağlarını, 2981 cm^{-1} 'deki C-H gerilmesini, 2360 cm^{-1} ve 2341 cm^{-1} 'dekiler CO_2-CO bandını, 2116 cm^{-1} 'deki C- N_3 gerilmesini, 1919 cm^{-1} 'deki pik C-H zayıf bağlarını yada N=O bağlarını, 1558 cm^{-1} 'deki aromatik gruptaki (C=C) bağlarını, 1054 cm^{-1} 'deki pik C-O bağlarını (primer alkol), 1033 cm^{-1} karboksilik asit –alkol-eter, 1032 cm^{-1} ve 1052 cm^{-1} 'deki karboksilik asit-alkol-eter gerilmesini, 1030 cm^{-1} ve 1060 cm^{-1} 'deki lignin

selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesini, 668 cm⁻¹'deki güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) bağlarını, 591 cm⁻¹ ve 568 cm⁻¹'deki pikler ise OH gerilme ya da C-Cl bağını gösterdiği şeklinde değerlendirme yapılmıştır. Genel olarak C-N bağı, C-H bağları(alkan), zayıf C-H bağları ve aromatik C=C bağları olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.8. Yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3) ve kavak ağacı (A4) talaşlarının borik asit ile impregnasyonu sonucu oluşan karbonların FT-IR sonuçları

A1-4 (cm ⁻¹)	A2-4 (cm ⁻¹)	A3-4 (cm ⁻¹)	A4-4 (cm ⁻¹)
	3728	3703	3707
2981	2981	2981	2981
	2843		2843
2359	2359	2360	2359
2341	2341	2342	2341
2112	2118	2116	2116
1992	1897	1990	
1913		1913	1919
1559	1559	1560	1558
1054	1054	1054	1054
1033	1033	1033	1032
			1015
	668		668
	577		568

Ağaç talaşı ve H₂BO₃ ile elde edilen aktif karbonlardan; A1-4'de görülen 2981 cm⁻¹ (C-H gerilmesi alkan) 2359 cm⁻¹, 2341 cm⁻¹, CO₂-CO bandı, 2112 cm⁻¹ C-N₃ gerilmesi, 2073 cm⁻¹-1992 cm⁻¹, 1913 cm⁻¹ C-H zayıf bağlar yada N=O bağı, 1560 cm⁻¹ aromatik gruptaki (C=C), 1054 cm⁻¹ C-O primer alkol, 1033 cm⁻¹ karboksilik asit –alkol-eter, (1032 cm⁻¹-1053 cm⁻¹ karboksilik asit–alkol-eter ya da 1030 cm⁻¹-1060 cm⁻¹ lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesi), 1015cm⁻¹ kuvvetli bant eter-fenol-alkol guruplarında C-O ve HC-OH karşılıklı girişimlerini gösterdiği düşünülmektedir.

A2-4'de görülen 3728 cm⁻¹ OH gerilmesi (alkoller, asitler, H bağı), 2981 cm⁻¹ C-H gerilmesi, 2843 cm⁻¹ 2359 cm⁻¹ 2341 cm⁻¹ CO₂-CO bandı CO₂- CO bandı, 2112 cm⁻¹ C-N₃ gerilmesi, 1559 cm⁻¹ aromatik gruptaki (C=C), 1054 cm⁻¹ C-O primer alkol, 1033 cm⁻¹ karboksilik asit–alkol-eter, (1032 cm⁻¹-1053 cm⁻¹ karboksilik asit –alkol-eter yada 1030 cm⁻¹-1060 cm⁻¹ lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesi), 668 cm⁻¹ güçlü C=C alkan disibstitüe (cis), 591 cm⁻¹ C-Cl bağı, 577 cm⁻¹ OH gerilme yada C-Cl bağı olduğu düşünülmektedir.

A3-4 karbonunda görülen 3703 cm^{-1} OH gerilmesi (alkoller, asitler, H bağı, 2981 cm^{-1} (C-H gerilmesi alkan), 2843 cm^{-1} C-H gerilme (alkan), 2360 cm^{-1} , 2342 cm^{-1} CO₂-CO bandı, 2116 cm^{-1} C-N₃ gerilmesi 1913 cm^{-1} C-H zayıf bağlar ya da N=O bağı, 1560 cm^{-1} aromatik gruptaki (C=C), 1054 cm^{-1} C-O primer alkol, 1033 cm^{-1} karboksilik asit – alkol-eter, (1032 cm^{-1} - 1053 cm^{-1} karboksilik asit –alkol-eter ya da 1030 cm^{-1} - 1060 cm^{-1} lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesi), 1015 cm^{-1} kuvvetli bant eter, fenol, alkol gruplarında C-O ve HC-OH karşılıklı girişimleri olduğu söylenebilir.

A4-4 karbonunda görülen 3707 cm^{-1} OH gerilmesi (alkoller, asitler, H bağı, 2981 cm^{-1} (C-H gerilmesi alkan), 2360 cm^{-1} , 2341 cm^{-1} CO- CO bandı, 2116 cm^{-1} C-N₃ gerilmesi, 1919 cm^{-1} C-H zayıf bağlar yada N=O bağı, 1558 cm^{-1} aromatik gruptaki (C=C), 1054 cm^{-1} C-O primer alkol, 1033 cm^{-1} karboksilik asit–alkol-eter, (1032 cm^{-1} - 1053 cm^{-1} karboksilik asit–alkol-eter ya da 1030 cm^{-1} - 1060 cm^{-1} lignin selüloz ve hemiselülozda C=O gerilmesi), 668 cm^{-1} güçlü C=C alkan disibstitüe (cis) 591 cm^{-1} yada C-Cl bağı, 568 cm^{-1} OH gerilme yada C-Cl bağı olduğu düşünülmektedir.

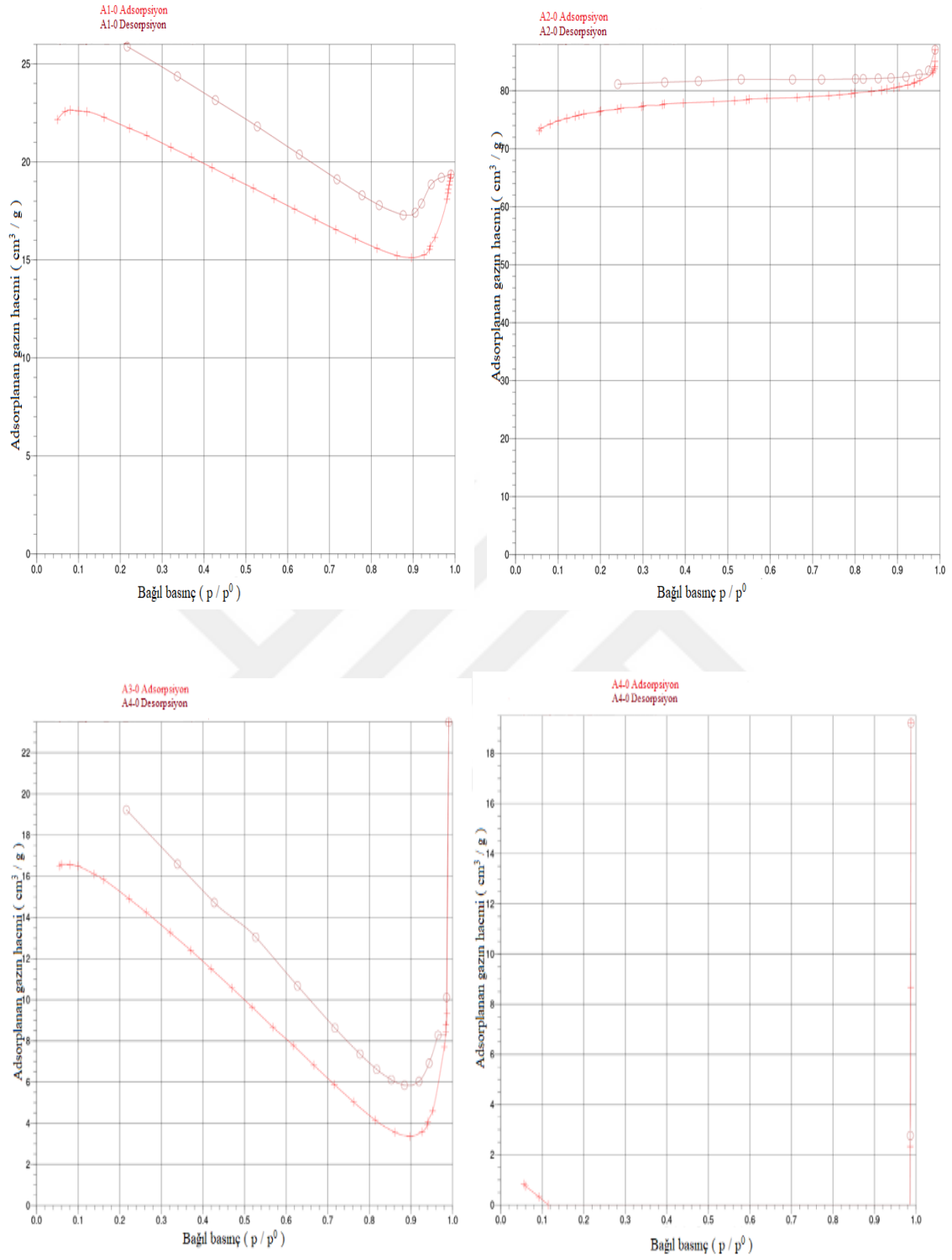
Genel olarak C-N bağı, C-H bağları(alkan), zayıf C-H bağları ve aromatik C=C bağları olduğu söylenebilir. Tablolar halinde verilen FTIR analizlerinin grafikleri Ek.1 de verilmiştir.

4.1.3. Bet analizleri

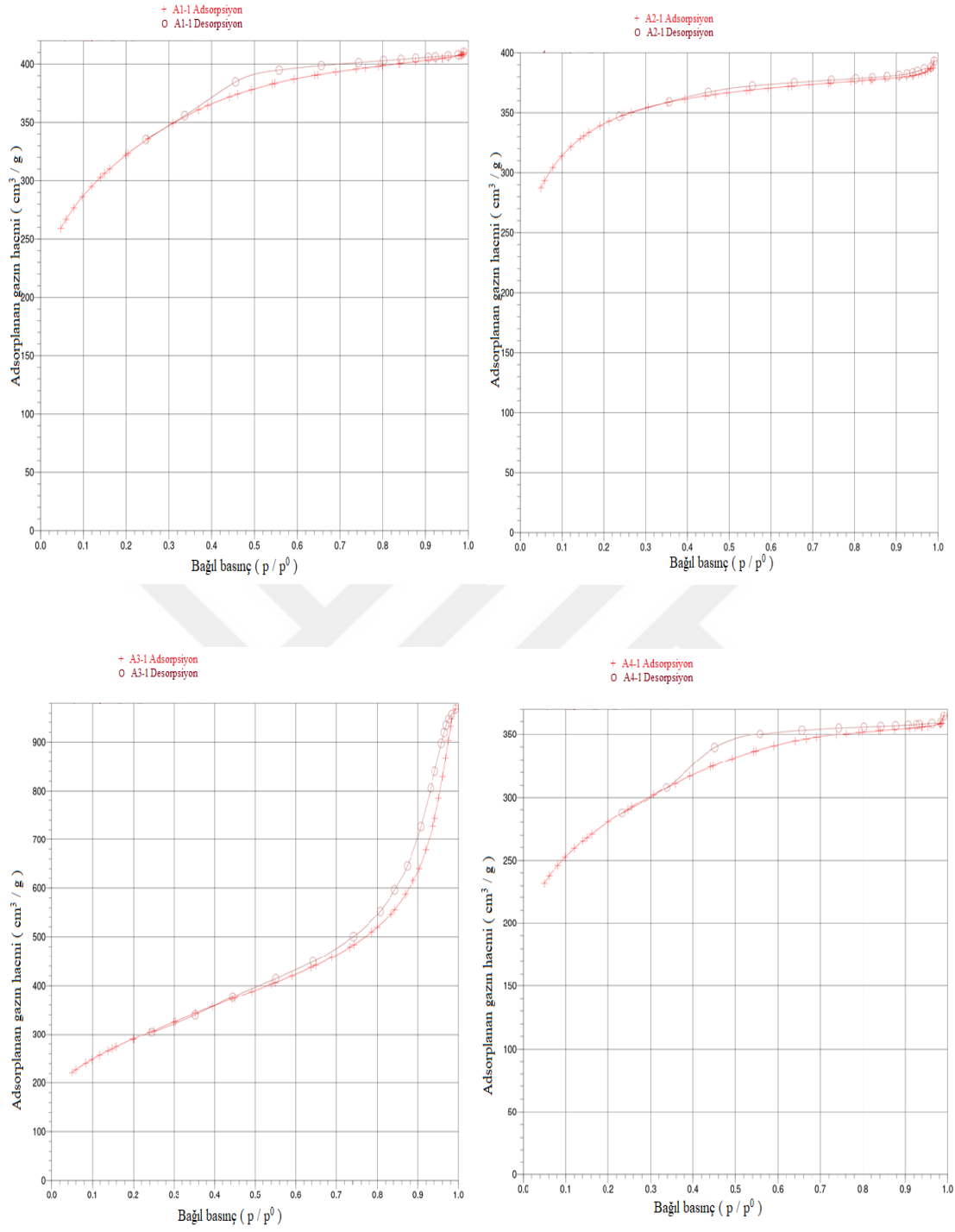
Brunauer-Emmett-Teller (BET) yüzey alanı analizi ve Barrett-Joyner-Halenda (BJH) gözenek boyutu ve hacim analizidir. BET analizi; tam otomatik bir analizör kullanılarak bağıl basıncın bir fonksiyonu olarak ölçülen nitrojen çok katmanlı adsorpsiyon ile malzemelerin hassas spesifik yüzey alanı değerlendirmesini sağlar. Teknik, m^2/g cinsinden toplam özgül yüzey alanını belirlemek için dış alan ve gözenek alanı değerlendirmelerini kapsar ve birçok uygulamada yüzey gözenekliliği ve parçacık boyutunun etkilerinin incelenmesinde önemli bilgiler verir. BJH analizi, adsorpsiyon ve desorpsiyon teknikleri kullanılarak gözenek alanını ve spesifik gözenek hacmini belirlemek için de kullanılabilir. Bu teknik, numunenin partikül boyutundan dolayı dış alandan bağımsız olarak gözenek boyutu dağılımını karakterize eder. Bu metotlarla aşağıda verilen işlemlerle ilgili bilgiler elde edilebilir.

- Hızlı tek noktalı ve çok noktalı spesifik BET yüzey alanı belirlemeleri.
- Dispers, gözeneksiz veya makro gözenekli malzemelerin tam BET yüzey alanı karakterizasyonu gözenek çapı > 50 nm ve gözenek çapı 2 nm ile 50 nm arasında olan mezogözenekli malzemelerin.
- Mikro gözenekli malzemelerin BET yüzey alanı karakterizasyonu (< 2 nm).
- Tam tamamlayıcı adsorbat kalınlık modelleriyle BJH analizi kullanılarak mezo gözenek ve makro gözenek aralıklarında gözenek hacmi ve gözenek alanı dağılımları.
- BJH adsorpsiyonu ve desorpsiyon ortalama gözenek çapı ($4V/A$) belirlemeleri.

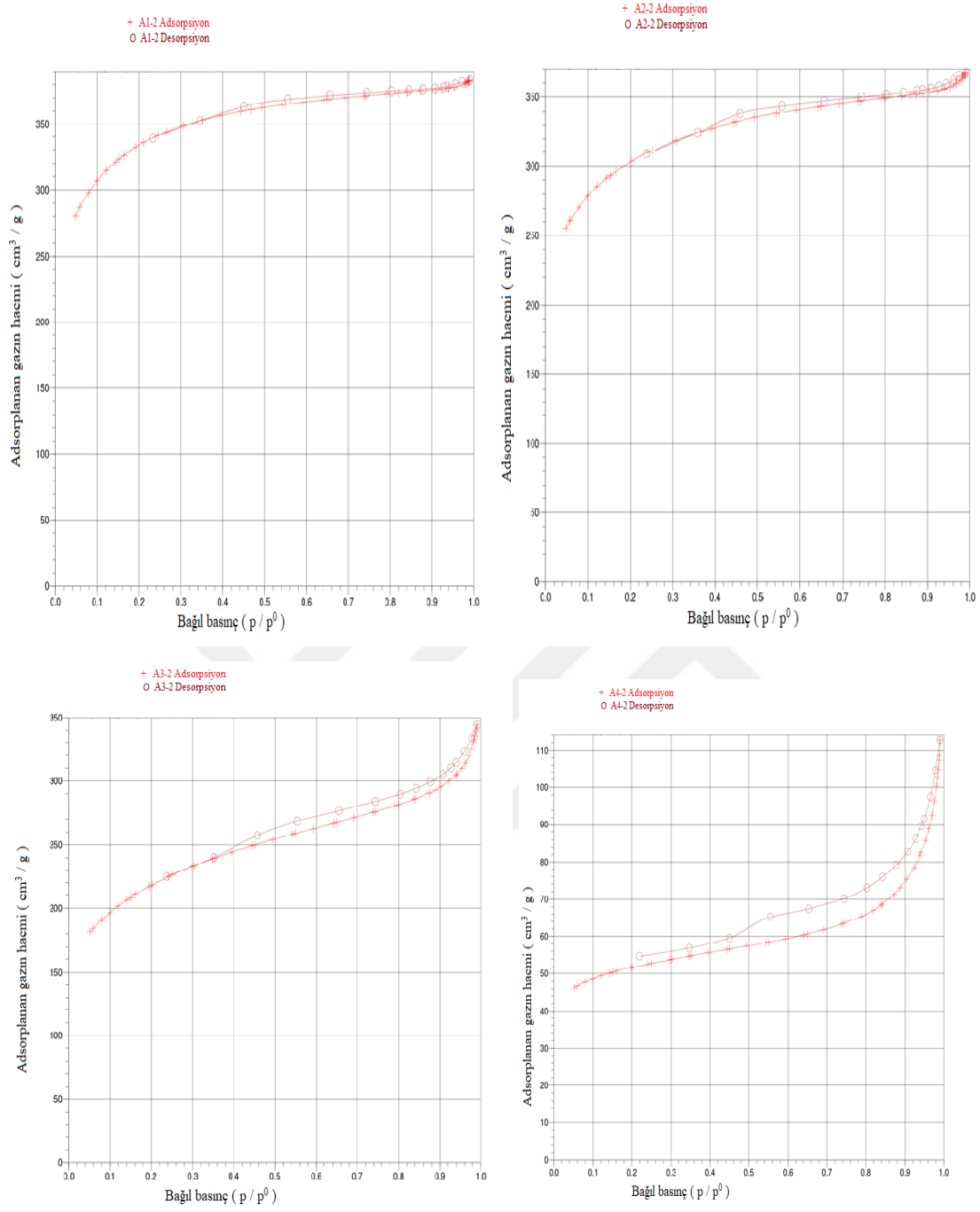
Üretilen aktif karbonların izoterm grafiklerine bakıldığında ise Şekil 4.1’de A1-0, A2-0, A3-0, A4-0 karbonlarının grafiklerinin herhangi bir izoterm tipine uymadıkları görülmektedir. Yani uygun mikro, mezo ve makro gözenek yapılarının çok az oluştuğu ve basınçla gözenek yapılarının bozulduğu düşünülmektedir. Şekil 4.2’ye bakıldığında A1-1, A2-1, A4-1 Tip 1 izoterm tipine uyarken A3-1 Tip 5 izoterm tipine uyduğu görülmektedir. Adsorplama gücü düşük olan mezogözenekli yapılarda görülmektedir. Grafığe bakıldığında kılcal yoğunlaşmanın yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 4.3’e bakıldığında ise A1-2, A2-2 aktif karbonlarında Tip 1 izoterm yapısı görülmekte A3-2 aktif karbonunda Tip 5 A4-2 aktif karbonunda ise Tip 3 izoterm yapısı görülmektedir. Tip 3 izoterm yapısı adsorplama gücü çok düşük katılardaki adsorpsiyonlarda görülmektedir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’e bakıldığında Tip 3 izoterm yapısını olduğu ve düşük adsorpsiyonlu katılar olduğu söylenebilir.



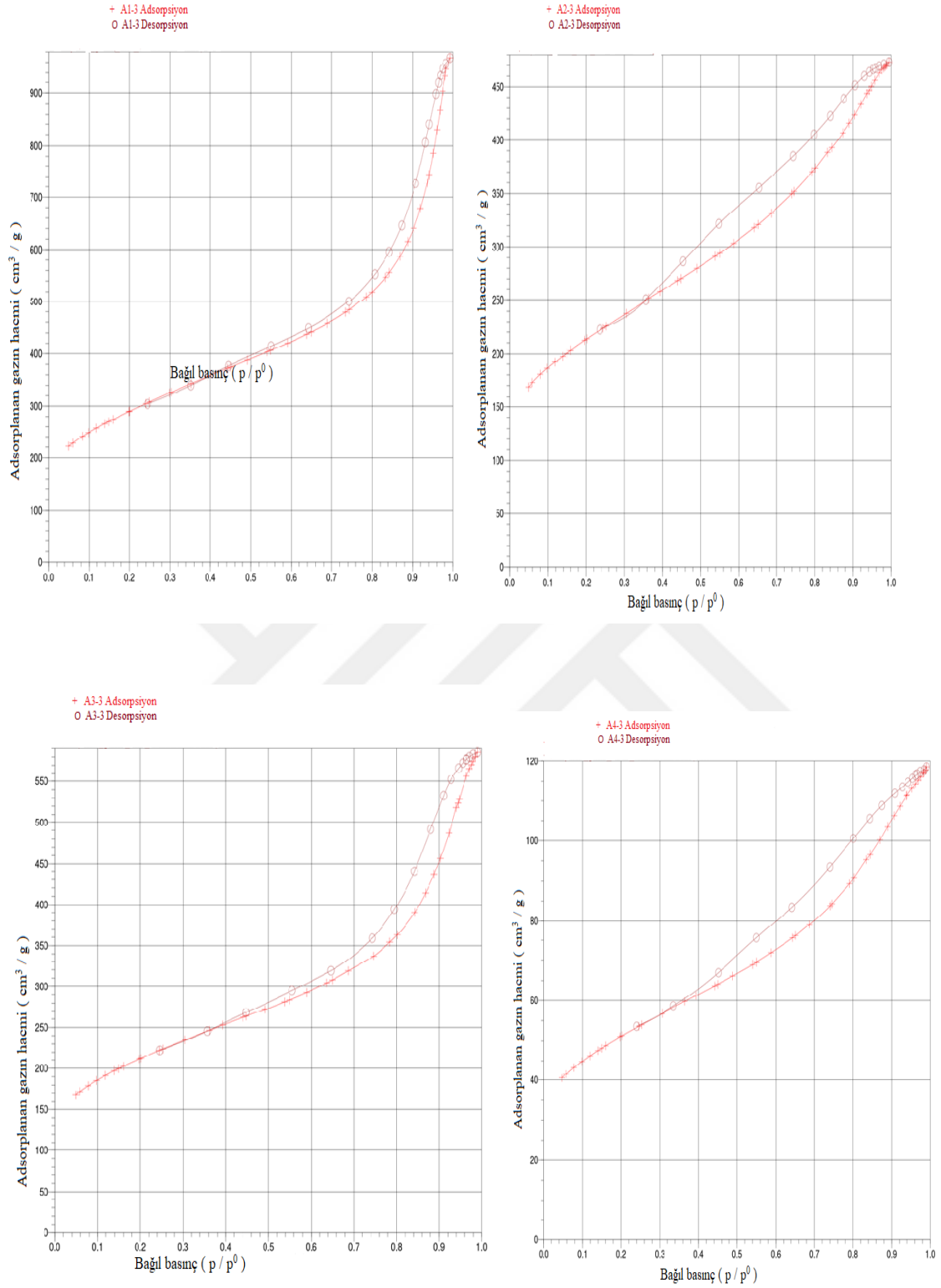
Şekil 4.1. A1-0, A2-0, A3-0, A4-0 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikleri.



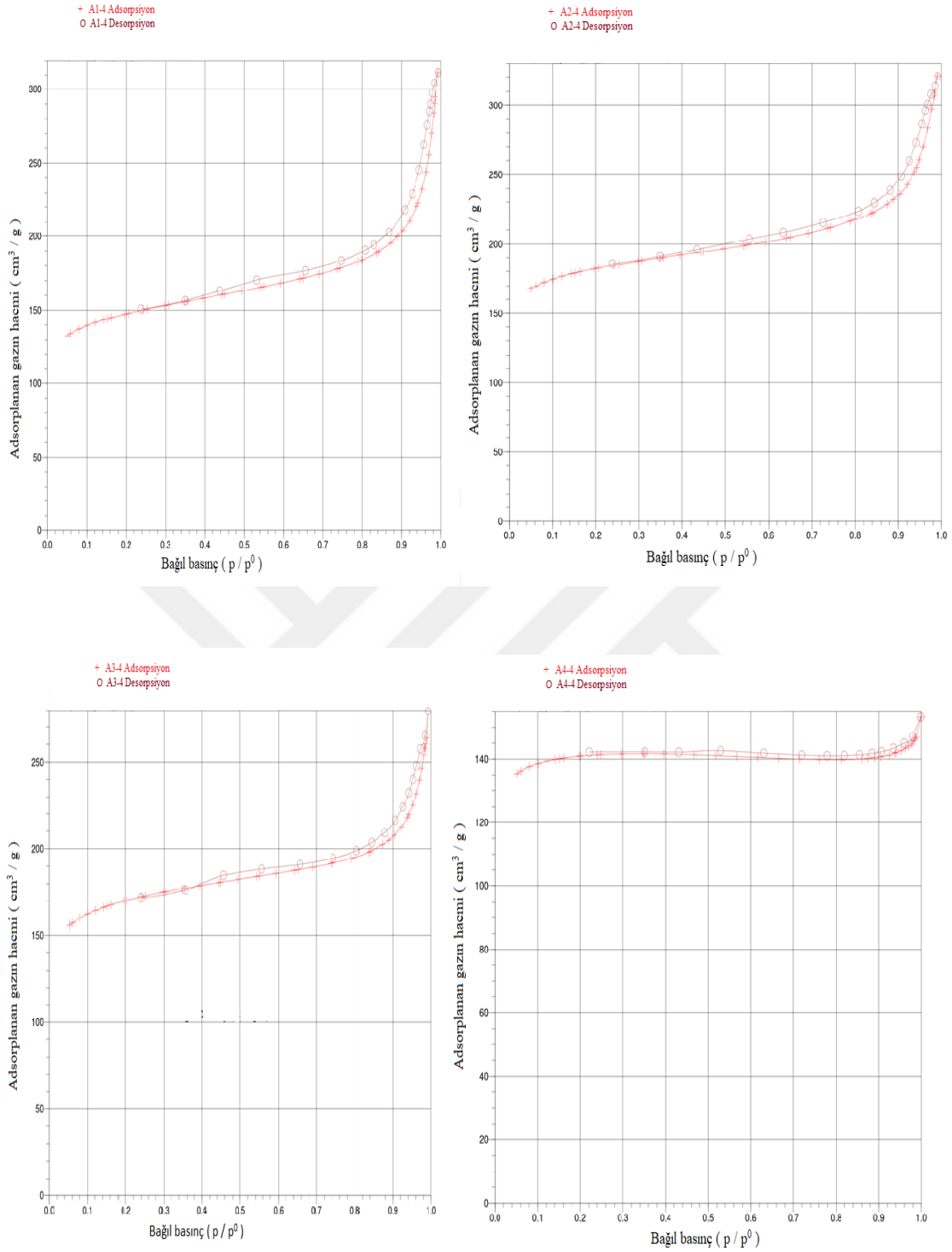
Şekil 4.2. A1-1, A2-1, A3-1, A4-1 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikler.



Şekil 4.3. A1-2, A2-2, A3-2, A4-2 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikleri.



Şekil 4.4. A1-3, A2-3, A3-3, A4-3 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikleri.



Şekil 4.5. A1-4, A2-4, A3-4, A4-4 karbonlarının azot adsorpsiyon-desorpsiyon izoterm grafikleri.

Saf karbon analizleri

Aşağıda A1, A2, A3, A4 ağaçlarının kimyasal impregnasyon öncesi azot ortamında 800 °C deki karbonizasyon sonucu oluşan karbonların bet analiz tablosu verilmiştir.

Çizelge 4.9. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının saf karbon analizleri

	A-1-0	A-2-0	A-3-0	A-4-0
P / p ° da tek noktali yüzey alanı m ² /g	86.4086	266.1453	60.4115	1.2577
BET Yüzey alanı m ² /g	80.8185	257.3286	55.9666	0.6297
Langmuir Yüzey Alanı m ² /g	97.9661	339.0434	68.3674	0.6701
t-Plot Micropore Alanı m ² /g	90.5580	215.9078	74.7113	-
t-Plot Dış Yüzey Alanı m ² /g	-9.7395	41.4208	-18.7447	-
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH adsorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	0.5063	3.7871	0.8121	-
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH Desorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	0.539	10.351	1.270	-
p/p° = 0.984320420 da 1254.189 Å'dan daha az genişlikteki tek nokta adsorpsiyonu toplam gözenek hacmi cm ³ /g	0.028783	0.129031	0.012812	-
t-Plot mikropor hacmi cm ³ /g	0.038459	0.100320	0.032217	-
BJH adsorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm ³ /g	0.006981	0.017453	0.032711	-
BJH Desorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm ³ /g	0.003541	0.005356	0.007563	-
Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A by BET) Å	14.2456	20.0570	9.7021	-
BJH Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	517.937	67.445	1030.022	-
BJH Desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	279.713	56.567	372.532	-

Çizelge 4.9'a bakıldığında herhangi bir işlem uygulamadan analiz edilen odun talaşlarının tek noktali yüzey alanı, BET yüzey alanı, Langmuir yüzey alanı, t-Plot micropore alanı ve t-Plot dış yüzey alanı en yüksek olan materyalin A2-0 aktif karbonu olduğu görülmektedir. Ayrıca 125 nm daha az genişlikte olan gözeneklerin toplam hacmi, t plot mikro gözenek hacmi, BJH adsorpsiyon verilerine göre 1.7 nm-300 nm arasında bulunan toplam gözenek hacmi ve BJH desorpsiyon toplam hacmi en yüksek A2-0 ağacına ait saf karbondur. Adsorpsiyon sonucu elde edilen verilerde ortalama gözenek genişliğinin A1-0 karbonunda 1.4 nm, A2-0 karbonunda 2.0 nm, A3-0 karbonunda 0.9 nm

olarak ölçülmüş, A4-0 karbonunda değer ölçülememiştir. BJH adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği A1-0 karbonunda 51.7 nm, A2-0 karbonunda 6.7 nm, A3-0 karbonunda 103 nm olarak ölçülmüş, A4-0 karbonunda değer ölçülememiştir. BJH desorpsiyon ortalama gözenek genişliği A1-0 karbonunda 27.9 nm, A2-0 karbonunda 5.6 nm, A3-0 karbonunda 37.2 nm olarak ölçülmüş, A4-0 karbonunda ise değer ölçülememiştir. Bu değerlerden A1-0 ve A3-0 karbonlarının makro gözenekli yapıda, A2-0 aktif karbonun mezo gözenekli yapıda olduğu görülmektedir.

Çinko klorür ile muamele edilerek üretilmiş aktif karbonların bet analizleri

Çinko klorür ile imregnasyon sonrası üretilmiş aktif karbonların BET sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının çinko klorür ile muamele edilerek üretilmiş aktif karbonların BET analizleri

	A-1-1	A-2-1	A-3-1	A-4-1
P / p ° da tek noktalı yüzey alanı m ² /g	1119.9437	1175.7714	1009.5787	989.3159
BET Yüzey alanı m ² /g	1133.0651	1174.5344	1040.1666	999.1368
Langmuir Yüzey Alanı m ² /g	1542.1622	1596.0528	1430.6225	1291.6260
t-Plot Micropore Alanı m ² /g	391.5849	679.4683	118.6208	333.8985
t-Plot Dış Yüzey Alanı m ² /g	741.4802	495.0662	921.5458	665.2383
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH adsorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	292.1978	131.8086	657.5904	303.4611
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH Desorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	267.065	119.289	643.204	256.432
p/p° = 0.984320420 da 1254.189 Å'dan daha az genişlikteki tek nokta adsorpsiyonu toplam gözenek hacmi cm ³ /g	0.630631	0.598497	1.465082	0.554561
t-Plot mikropor hacmi cm ³ /g	0.174146	0.310218	0.045951	0.146232
BJH adsorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm ³ /g	0.232924	0.122731	1.326878	0.228980
BJH Desorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm ³ /g	0.242525	0.122231	1.322892	0.244848
Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A by BET) Å	22.2628	20.3824	56.3403	22.2016
BJH Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	34.886	41.1545	82.517	35.718
BJH Desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	33.200	37.093	80.469	32.274

Çizelge 4.10'a bakılıp P/p^0 da tek noktalı yüzey alanı değerlerinin tablo Çizelge 4.9'da daki değerlerle kıyaslandığında A1-1'in yüzey alanının A1-0 kıyasla yaklaşık 13 kat, A2-1'in A2-0'a kıyasla yaklaşık 4.5 kat, A3-1'in A3-0'a göre yaklaşık 16 kat ve A4-1'in A4-0'a göre yaklaşık 469 kat arttığı, BET yüzey alanlarında ise bu artışın A1-1'de A1-0 kıyasla yaklaşık 13 kat, A2-1 'de A2-0'a kıyasla yaklaşık 4 kat, A3-1 in A3-0 ın kıyasla yaklaşık 18 kat ve A4-1'in A4-0 kıyasla yaklaşık 999 kat yüzey alanının arttığı belirlenmiştir. Langmuir yüzey alanlarının kıyaslanmasında; A1-1 in yüzey alanının A1-0 kıyasla yaklaşık 15 kat, A2-1 in A2-0'a kıyasla yaklaşık 4.7 kat A3-1 in A3-0'a kıyasla yaklaşık 21 kat arttığı ve A4-1'in A4-0'da daha önce ölçülememesine rağmen yüzey alanının $1291 \text{ m}^2/\text{g}$ görülmüştür. 1.7 nm ve 300 nm arasında toplam BJH adsorpsiyon ve desorpsiyon alanlarının A1-1'in A1-0 göre A2-1'in A2-0'a göre, A3-1'in A3-0 göre; A4-1'in A4-0'a göre arttığı görülmektedir. 125 nm den daha az genişlikte olan toplam gözenek hacimlerinin de A1-1 in A1-0 kıyasla yaklaşık 31 kat A2-1 in A2-0'a kıyasla yaklaşık 4.9 kat, A3-1 in A3-0'a kıyasla yaklaşık 121 kat arttığı ve A4-1'in A4-0'dan daha önce ölçülememesine rağmen bir artış olduğu gözlenmektedir. t plot mikropor hacimlerinin A1-1 in A1-0 kıyasla yaklaşık 5 kat A2-1 in A2-0'a kıyasla yaklaşık 3 kat A3-1'in A 3-0'ın yaklaşık 1.33 kat arttığı, A4-1'in A4-0'da daha önce ölçülememesine rağmen $0.146232 \text{ cm}^3/\text{g}$ olduğu görülmüştür. BJH adsorpsiyon ve desorpsiyon esnasında artan gözenek hacimleri bütün Çizelge 4.10'daki karbonların Çizelge 4.9'daki karbonlardan daha fazla olduğu, adsorpsiyon ortalama gözenek genişliğinin A1-0, A2-0 ve A3-0 da mikro gözenekli yapıya sahipken ve A4-0'da ölçülemeyecek kadar az iken A1-1, A2-1, A3-1 ve A4-1 karbonlarında ortalama gözenek boyutlarının sırasıyla 2.2 nm, 2.0 nm, 5.6 nm ve 2.2 nm boyutlarında mezopor yapılı aktif karbonlar olduğu tespit edilmiştir. BJH adsorpsiyonu değerlerine bakıldığında A1-1, A2-1, A3-1 ve A4-1 materyellerinin sırasıyla 3.4 nm, 4.1 nm, 8.1 nm ve 3.5nm oldukları, BJH desorpsiyon değerlerine bakıldığında A1-1, A2-1, A3-1 ve A4-1 sırasıyla 3.3 nm, 3.7 nm, 8.0 nm ve 3.2 nm olduğu, ortalama olarak mezopor gözeneklere sahip oldukları görülmektedir.

Sodyum hidroksit ile muamele edilerek üretilmiş aktif karbonlar

Çizelge 4.11. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının sodyum hidroksit ile muamele edilerek üretilmiş aktif karbonların BET analizleri

	A-1-2	A-2-2	A-3-2	A-4-2
P / p ^o da tek noktalı yüzey alanı m ² /g	1153.2591	1076.7854	758.1002	179.9017
BET Yüzey alanı m ² /g	1152.3049	1080.5928	762.0927	177.0727
Langmuir Yüzey Alanı m ² /g	1564.3621	1389.0122	1028.9280	235.9773
t-Plot Micropore Alanı m ² /g	525.3522	437.7088	273.7612	105.6731
t-Plot Dış Yüzey Alanı Area m ² /g	626.9526	642.8841	488.3315	71.3996
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH adsorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	155.6661	177.0878	221.5915	47.6811
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH Desorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	136.714	153.890	190.623	37.033
p/p ^o = 0.984320420 da 1254.189 Å'dan daha az genişlikteki tek nokta adsorpsiyonu	0.590738	0.563361	0.515236	0.158939
toplam gözenek hacmi cm ³ /g				
t-Plot mikropor hacmi cm ³ /g	0.242786	0.193663	0.124096	0.048873
BJH adsorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm ³ /g	0.125211	0.154864	0.266294	0.104571
BJH Desorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm ³ /g	0.134668	0.165230	0.269346	0.099334
Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A by BET) Å	20.5063	20.8538	27.0432	35.9038
BJH Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	36.635	40.253	55.879	112.948
BJH Desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	34.604	37.322	48.620	83.332

Çizelge 4.11 bakılarak P/p^o'da tek noktalı yüzey alanı değerlerinin Çizelge 4.9'daki değerlerle kıyaslaması yapılırsa A1-2 in yüzey alanının A1-0 kıyasla yaklaşık 13 kat, A2-1 in A2-0'a kıyasla yaklaşık 4 kat, A3-1 in A3-0'a göre yaklaşık 12 kat arttığı A4-1'de ise 179.9017 m²/g olduğu, BET yüzey alanlarının A1-2 in yüzey alanının A1-0'a kıyasla yaklaşık 14 kat, A2-2'nin A2-0'a kıyasla yaklaşık 4 kat, A3-2'nin A3-0'ın yaklaşık 13 kat arttığı ve A4-2'de ise 177.0727m²/g olduğu, Langmuir yüzey alanlarının kıyaslamasında ise A1-2'nin yüzey alanının A1-0 kıyasla yaklaşık 15 kat, A2-2'nin A2-0'a

kıyasla yaklaşık 4 kat, A3-1 in A3-0 ın yaklaşık 15 kat arttığı ve A4-2’de ise 235.9773 m²/g olduğu görülmüştür. 1.7nm ve 300 nm arasında toplam BJH adsorpsiyon ve desorpsiyon alanlarının kıyaslanmasında ise A1-2’nin A1-0’a göre, A2-2’nin A2-0 a göre, A3-2’in A3-0’a göre ve A4-2’nin A4-0’a göre yüzey alanlarının arttığı görülmektedir, 125 nm’den daha az genişlikte olan toplam gözenek hacimlerinde A1-2’nin A1-0’a kıyasla yaklaşık 20 kat, A2-2 nin A2-0’a kıyasla yaklaşık 4 kat, A3-2nin A3-0’ın yaklaşık 43 kat arttığı, A4-1’in A4-0’ın daha önce ölçülememesine rağmen. 0.158939 cm³/g oluştuğu görülmüştür. T-plot mikropor hacimlerinin A1-2’nin A1-0 kıyasla yaklaşık 6 kat, A2-2’nin A2-0’a kıyasla yaklaşık 1 kat, A3-2’nin A3-0’ın yaklaşık 3 kat arttığı ve A4-1’in A4-0’ın daha önce ölçülememesine rağmen 0.048873cm³/g oluştuğu görülmüştür. BJH adsorpsiyonu ve desorpsiyonu esnasında artan gözenek hacimlerinin daha fazla olduğu, adsorpsiyon ortalama gözenek genişliğinin A1-0, A2-0 ve A3-0 da mikro gözenekli yapıya sahipken ve A4-0 da ölçülemeyecek kadar az iken, A1-2, A2-2, A3-2 ve A4-2 karbonlarında ortalama gözenek boyutlarının sırasıyla 2.05 nm, 2.08 nm, 2.7 nm ve 3.5 nm olup mezopora sahip olduğu saptanmıştır. BJH adsorpsiyonu değerlerine bakıldığında ise A1-2, A2-2, A3-2 ve A4-2 sırasıyla 3.6 nm, 4.02 nm, 5.5 nm ve 11.2 nm boyutlarında, BJH desorpsiyon değerlerine bakıldığında A1-1, A2-1, A3-1 ve A4-1 sırasıyla 3.4 nm, 3.7 nm, 4.8 nm ve 8.3 nm boyutlarında ortalama olarak mezopor gözeneklere sahip adsorbanlar oldukları görülmektedir.

Fosforik asit(H₃PO₄) ile Muamele edilerek elde edilen aktif karbonlar

Çizelge 4.12. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının fosforik asit (H₃PO₄) ile impregnasyonu ile elde edilen aktif karbonların BET analizleri

	A-1-3	A-2-3	A-3-3	A-4-3
P / p ° da tek noktali yüzey alanı m ² /g	1009.5787	742.3624	737.9185	177.7892
BET Yüzey alanı m ² /g	1040.1666	755.7429	750.6092	180.6328
Langmuir Yüzey Alanı m ² /g	1430.6225	1031.3183	1021.3551	245.3841
t-Plot Micropore Alanı m ² /g	118.6208	160.5927	183.1224	44.5422
t-Plot Dış Yüzey Alanı Area m ² /g	921.5458	595.1502	567.4868	136.0906
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH adsorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	657.5904	504.0499	431.3500	117.0863
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH Desorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	643.204	424.940	396.748	99.362

Çizelge 4.12. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının fosforik asit (H_3PO_4) ile impregnasyonu ile elde edilen aktif karbonların BET analizleri (devamı)

	A-1-3	A-2-3	A-3-3	A-4-3
$p/p^\circ = 0.984320420$ da 1254.189 Å 'dan daha az genişlikteki tek nokta adsorpsiyonu toplam gözenek hacmi cm^3/g	1.465082	0.724802	0.896577	0.181233
t-Plot mikropor hacmi cm^3/g	0.045951	0.069877	0.079915	0.019536
BJH adsorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm^3/g	1.326878	0.578684	0.748660	0.146805
BJH Desorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm^3/g	1.322892	0.617300	0.763782	0.153936
Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A by BET) Å	56.3403	38.3623	47.7786	40.1329
BJH Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	82.517	54.472	75.480	59.099
BJH Desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	80.469	48.987	70.827	52.589

Çizelge 4.12'deki P/p° 'da tek noktali yüzey alanı değerlerinin Çizelge 4.9'daki değerlerle kıyaslandığında A1-3'ün yüzey alanının A1-0'a kıyasla yaklaşık 11 kat, A2-3 ün A2-0'a kıyasla yaklaşık 2 kat, A3-3'ün alanının A3-0'a göre yaklaşık 13 kat arttığı ve A4-3'de ise $177.7892 \text{ m}^2/\text{g}$ olduğu, BET yüzey alanlarının karşılaştırılmasında ise A1-3'ün yüzey alanının A1-0'a kıyasla yaklaşık 12 kat, A2-3 ün A2-0'a kıyasla yaklaşık 2 kat, A3-3'ün alanının A3-0 'a göre yaklaşık 14 kat arttığı ve A4-3'de ise $180.6328 \text{ m}^2/\text{g}$ olduğu tespit edilmiştir. Langmuir yüzey alanlarının kıyaslanmasında ise A1-3 ün yüzey alanının A1-0'a kıyasla yaklaşık 14 kat, A2-3'ün A2-0'a kıyasla yaklaşık 3 kat, A3-3'ün A3-0'ın yaklaşık 14 katı arttığı ve A4-3'de ise $245.3841 \text{ m}^2/\text{g}$ olduğu görülmüştür. 1.7 nm ve 300 nm arasında toplam BJH adsorpsiyon ve desorpsiyon alanlarıyla ilgili veriler incelendiğinde; A1-3'in A1-0 göre A2-3'in A2-0'a göre, A3-3'ün A3-0 göre, A4-3'ün A4-0'a göre daha büyük yüzey alanına sahip oldukları belirlenmiştir. 125 nm den daha az genişlikte olan toplam gözenek hacimlerinin A1-3'ün A1-0 kıyasla yaklaşık 50 kat, A2-3 in A2-0'a kıyasla yaklaşık 5 kat, A3-3 in A3-0'ın yaklaşık 69 kat arttığı, A4-3'in A4-0'da daha önce ölçülememesine rağmen $0.181233 \text{ cm}^3/\text{g}$ olduğu görülmüştür. T-plot mikropor hacimlerinin A1-3'ün A1-0'a kıyasla yaklaşık 1 kat, A2-3'ün A2-0'a kıyasla daha az, A3-2'nin A3-0'ın yaklaşık 2 katı arttığı, A4-1'in A4-0'da daha önce ölçülememesine rağmen $0.019536 \text{ cm}^3/\text{g}$ olduğu görülmüştür. BJH adsorpsiyonu ve desorpsiyonu esnasında artan gözenek hacimleri bütün Çizelge 4.12'daki aktif karbonlarda Çizelge 4.9'dakilerden daha fazla olduğu, adsorpsiyon ortalama gözenek genişliğinin A1-0, A2-0 ve A3-0 da mikro gözenekli yapıya sahipken ve A4-0 da

ölçülemeyecek kadar az iken, A1-3, A2-3, A3-3 ve A4-3 karbonlarında ortalama gözenek boyutlarının sırasıyla 5.6 nm, 3.8 nm, 4.7 nm ve 4.0 nm boyutunda mezopor aktif karbonlar olduğu belirlenmiştir. BJH adsorpsiyonu değerlerine bakıldığında ise A1-3, A2-3, A3-3 ve A4-3 sırasıyla 8.2 nm, 5.4 nm, 7.5 nm ve 5.9 nm, BJH desorpsiyon değerlerine bakıldığında A1-3, A2-3, A3-3 ve A4-3 sırasıyla 8.0 nm, 4.8 nm, 7.0 nm ve 5.2 nm boyutunda ortalama olarak mezopor gözeneklere sahip adsorbanlar oldukları görülmektedir.

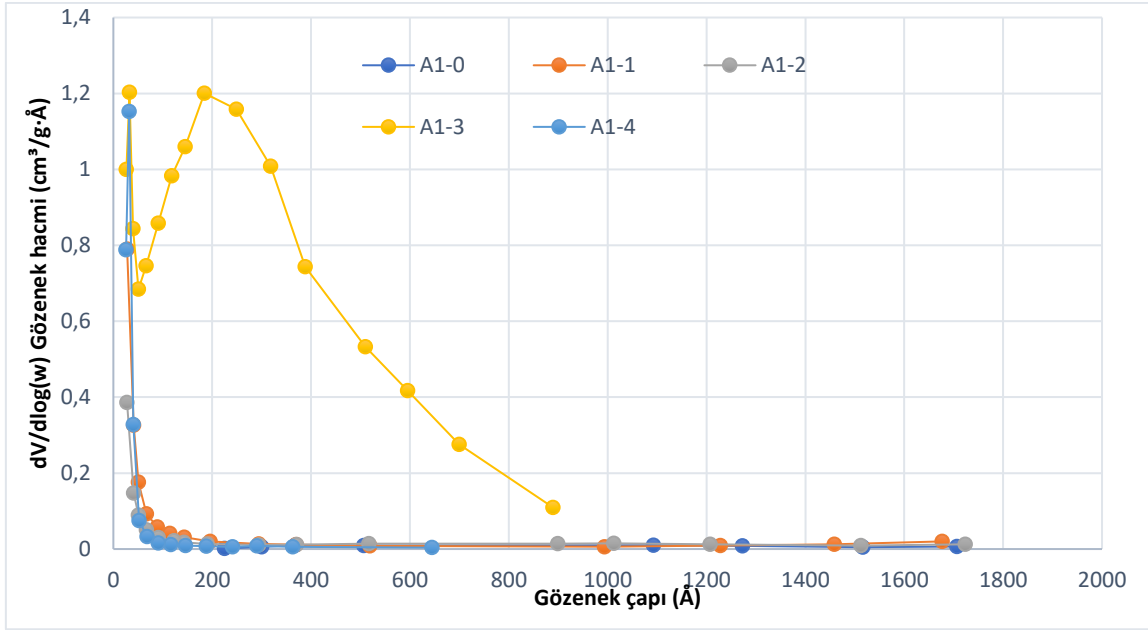
Borik asit (H_3BO_3) ile muamele edilerek üretilen aktif karbonlar

Çizelge 4.13. A1, A2, A3, A4 ağaçlarının borik asit (H_3BO_3) ile muamele edilerek üretilen aktif karbonların BET analizleri

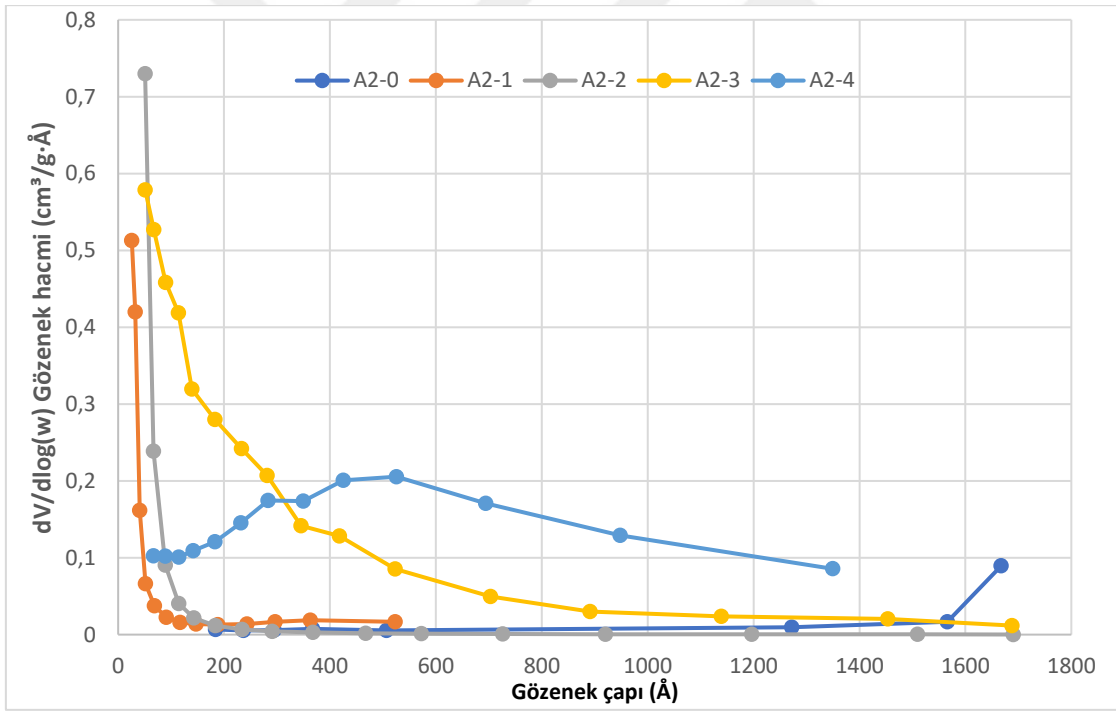
	A-1-4	A-2-4	A-3-4	A-4-4
P / p ° da tek noktali yüzey alanı m ² /g	511.5036	631.1887	590.5428	490.1793
BET Yüzey alanı m ² /g	502.6917	615.2271	577.7285	473.1865
Langmuir Yüzey Alanı m ² /g	671.7252	821.3719	768.2379	623.2491
t-Plot Micropore Alanı m ² /g	315.4067	438.3378	395.5738	412.2108
t-Plot Dış Yüzey Alanı Area m ² /g	187.2851	176.8894	182.1548	60.9757
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH adsorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	112.9963	102.5462	87.1806	1.4103
17.000 Å ile 3000.000 Å arasında BJH Desorpsiyon kümülatif yüzey alanı m ² /g	97.016	90.443	71.957	1.151
p/p° = 0.984320420 da 1254.189 Å'dan daha az genişlikteki tek nokta adsorpsiyonu toplam gözenek hacmi cm ³ /g	0.449394	0.477527	0.398663	0.225841
t-Plot mikropor hacmi cm ³ /g	0.146579	0.204774	0.398205	0.191631
BJH adsorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm ³ /g	0.296030	0.253889	0.183788	0.019275
BJH Desorpsiyon 17.000 Å ile 3000.000 Å genişliği arasında artan yüzey hacmi cm ³ /g	0.291407	0.246247	0.199135	0.010695
Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A by BET) Å	35.7590	31.0472	27.6021	19.0911
BJH Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	122.054	112.287	110.698	669.598
BJH Desorpsiyon ortalama gözenek genişliği (4V/A) Å	103.156	96.053	85.115	303.331

Çizelge 4.13'e bakılarak P/p° da tek noktali yüzey alanı değerlerinin tablo Çizelge 4.9' daki değerlerle kıyaslandığında A1-4 ün yüzey alanının A1-0'a kıyasla yaklaşık 5 kat, A2-4 ün A2-0'a kıyasla yaklaşık 2 kat, A3-4 ün A3-0 'a yaklaşık 9 kat arttığı ve A4-4'de ise 490.1793 m²/g olduğu, BET yüzey alanlarının kıyaslanmasında ise A1-4 'ün A1-0'a

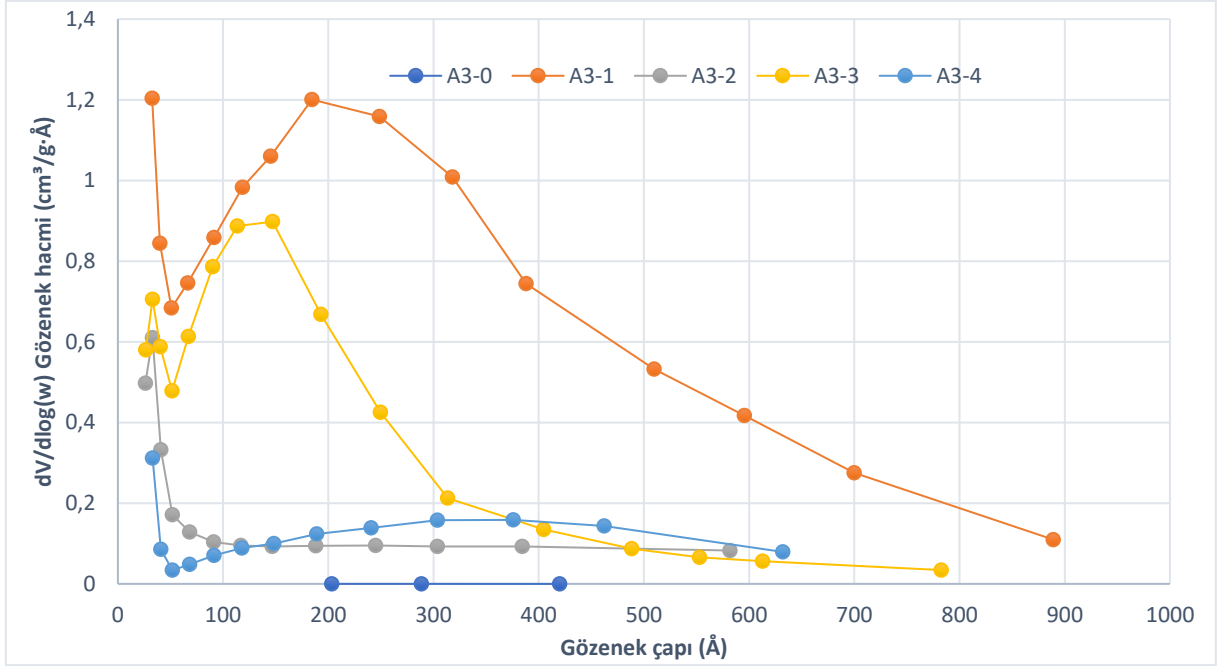
kıyasla yaklaşık 6 kat, A2-4'ün A2-0'a kıyasla yaklaşık 2 kat, A3-4'ün A3-0'a kıyasla yaklaşık 10 kat arttığı ve A4-4'ün ise $473.1865 \text{ m}^2/\text{g}$ olduğu görülmektedir. Langmuir yüzey alanlarının durum incelendiğinde ise A1-4'ün yüzey alanı A1-0'a kıyasla yaklaşık 6 kat, A2-4'ün A2-0'a kıyasla yaklaşık 2 kat, A3-4'ün A3-0'ın yaklaşık 14 katı arttığı, A4-4'ün ise $623.2491 \text{ m}^2/\text{g}$ olduğu görülmektedir. 1.7 nm ve 300 nm arasında toplam BJH adsorpsiyon ve desorpsiyon alanlarının A1-4'ün A1-0'a göre, A2-4'ün A2-0'a göre, A3-4'ün A3-0'a göre; A4-4'ün A4-0'a göre arttığı görülmektedir. 125 nm den daha az genişlikte olan toplam gözenek hacimlerinde A1-4'ün A1-0'a kıyasla yaklaşık 15 kat, A2-4'ün A2-0'a kıyasla yaklaşık 3 kat, A3-4'ün A3-0'a göre yaklaşık 31 kat arttığı ve A4-4'ün A4-0'da daha önce ölçülememesine rağmen $0.225841 \text{ cm}^3/\text{g}$ olduğu görülmüştür. T-plot mikropor hacimlerinin A1-4'ün A1-0'a kıyasla yaklaşık 3 kat, A2-4'ün A2-0'a kıyasla 2 kat, A3-4'ün A3-0'a göre yaklaşık 12 kat arttığı ve A4-4'ün A4-0'da daha önce ölçülememesine rağmen $0.191631 \text{ cm}^3/\text{g}$ olduğu görülmüştür. BJH adsorpsiyon ve desorpsiyon olaylarında artan gözenek hacimleri borik asitle muamele edilmiş aktif karbonlarda gözlenmiştir. Adsorpsiyon ortalama gözenek genişliğinin A1-0, A2-0 ve A3-0'da mikro gözenekli yapıya sahipken ve A4-0 da ölçülememesine rağmen, A1-4, A2-4, A3-4 ve A4-4 karbonlarında ortalama gözenek boyutlarının sırasıyla 3.5 nm, 3.1 nm, 2.7 nm ve 1.9 nm boyutlarında mezo gözeneklere sahip aktif karbonlar olduğu verilerden görülmektedir. BJH adsorpsiyonu değerlerine bakıldığında ise A1-4, A2-4, A3-4 ve A4-4 sırasıyla 12.2 nm, 11.2nm, 11.0 nm ve 66.9 nm olduğu ve A1-4, A2-4, A3-4 adsorbanlarının mezopor gözeneklere sahip materyeller olduğu gözlenmektedir. BJH desorpsiyon değerlerine bakıldığında A1-4, A2-4, A3-4 ve A4-4 sırasıyla 10.3 nm, 9.6 nm, 8.5 nm ve 30.3 nm boyutlarında mezopor gözeneklere sahip adsorbanlar elde edildiği görülmektedir. A1, A2, A3, A4 ağaç talaşlarının saf ve farklı kimyasallarla impregnasyonu grafikleri Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmiştir.



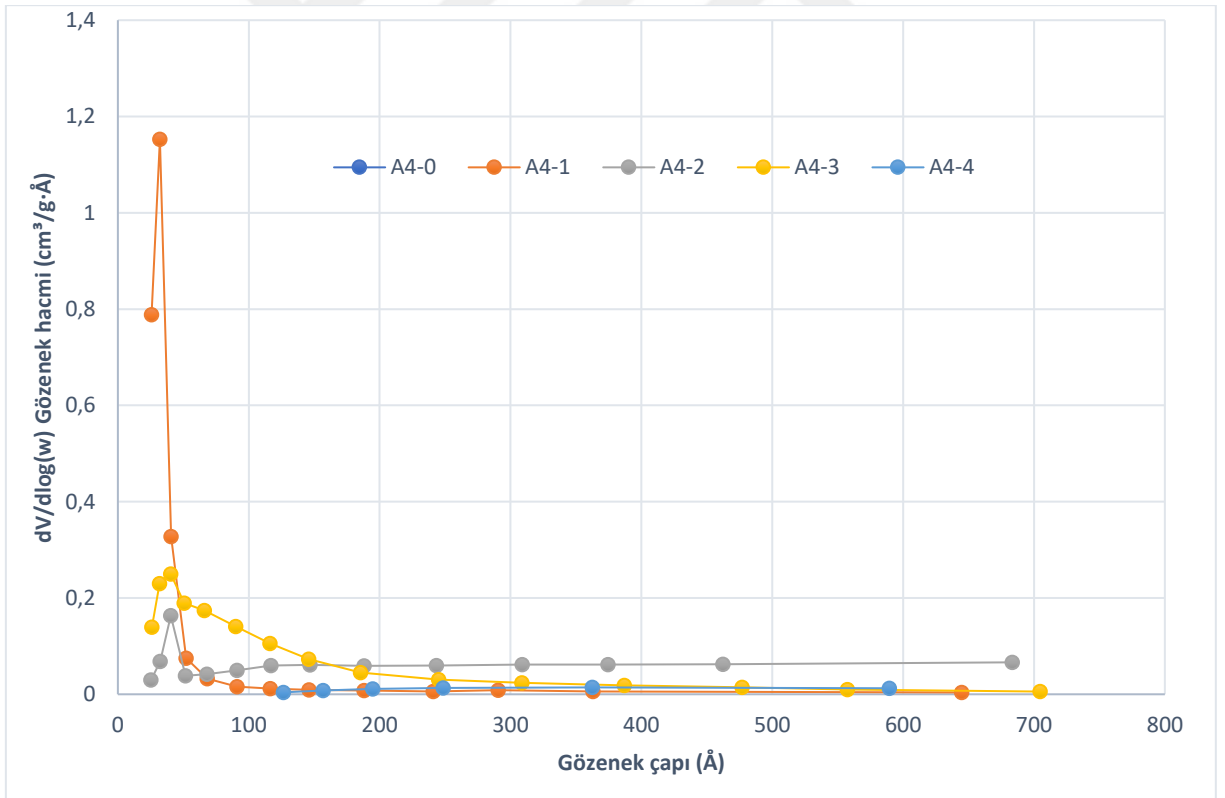
Şekil 4.6. A1-0, A1-1, A1-2, A1-3, A1-4 gözenek dağılım grafiği.



Şekil 4.7. A2-0, A2-1, A2-2, A2-3, A2-4 gözenek dağılım grafiği.



Şekil 4.8. A3-0, A3-1, A3-2, A3-3, A3-4 gözenek dağılım grafiği.

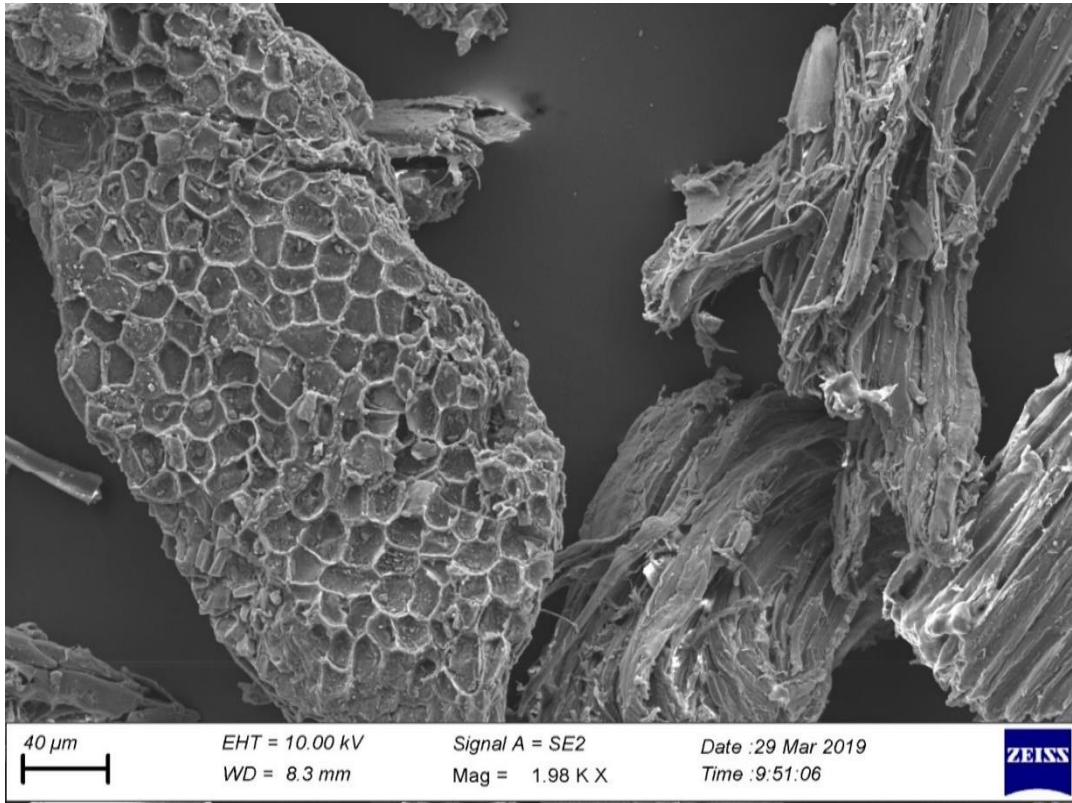


Şekil 4.9. A4-0, A4-1, A4-2, A4-3, A4-4 gözenek dağılım grafiği.

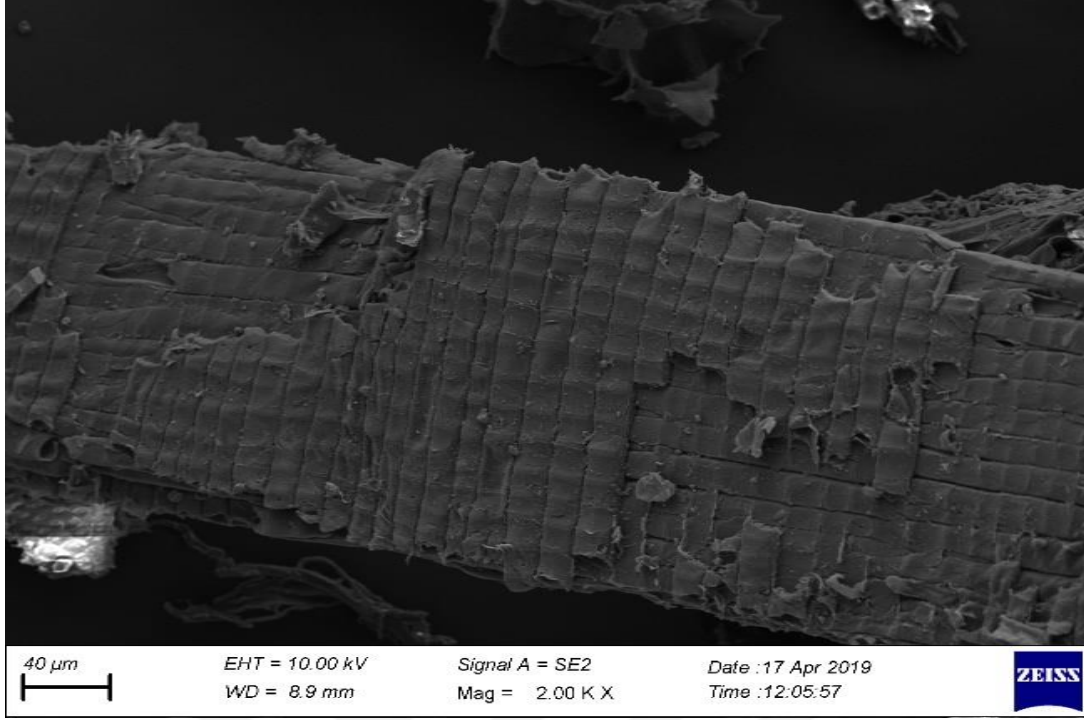
4.1.4. SEM analizleri

Adsorpsiyon işleminde kullanılan A1-1, A2-1, A3-1, A4-1, A1-2, A2-2, A3-2, A4-2 aktif karbonlarının SEM analizleri şekil 4.11-4.25 arasında verilmiştir. Çinko klorür ve sodyum hidroksit ile yapılan aktivasyonlar sonucu bet sonuçlarını destekler nitelikte yüzey gözeneklerinin oluştuğu görülmektedir.

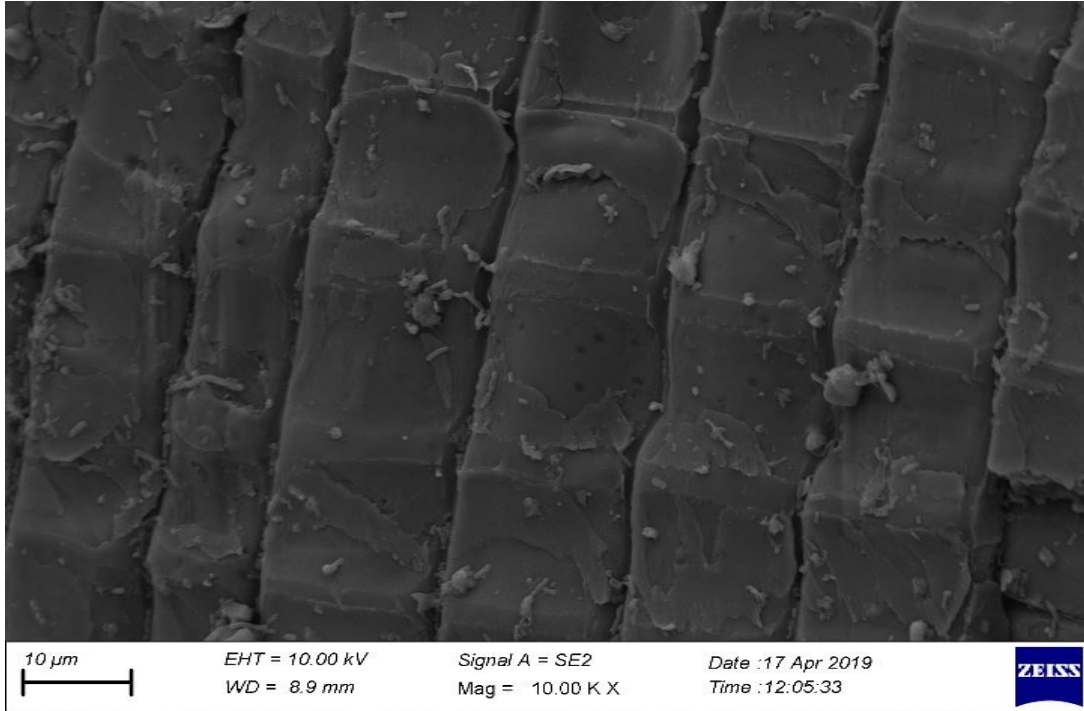
Ham haldeki A1, A2, A3, A4 ağaç talaşlarının SEM analizleri.



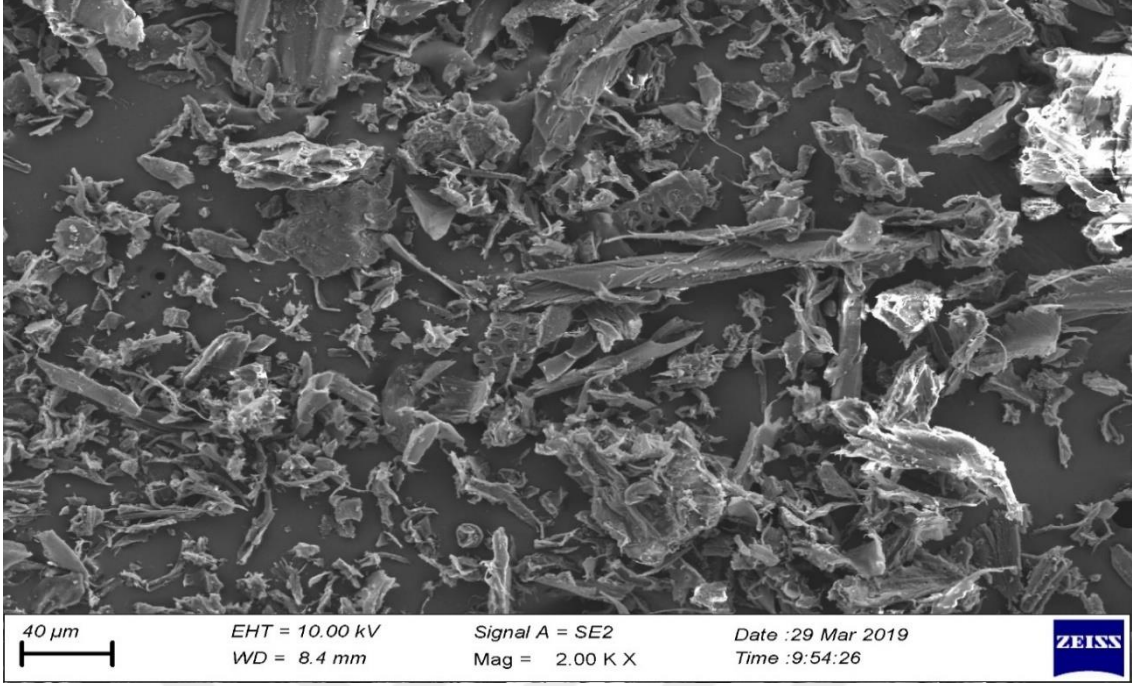
Şekil 4.10. Ham haldeki A1 ağaç talaşlarının SEM analizi.



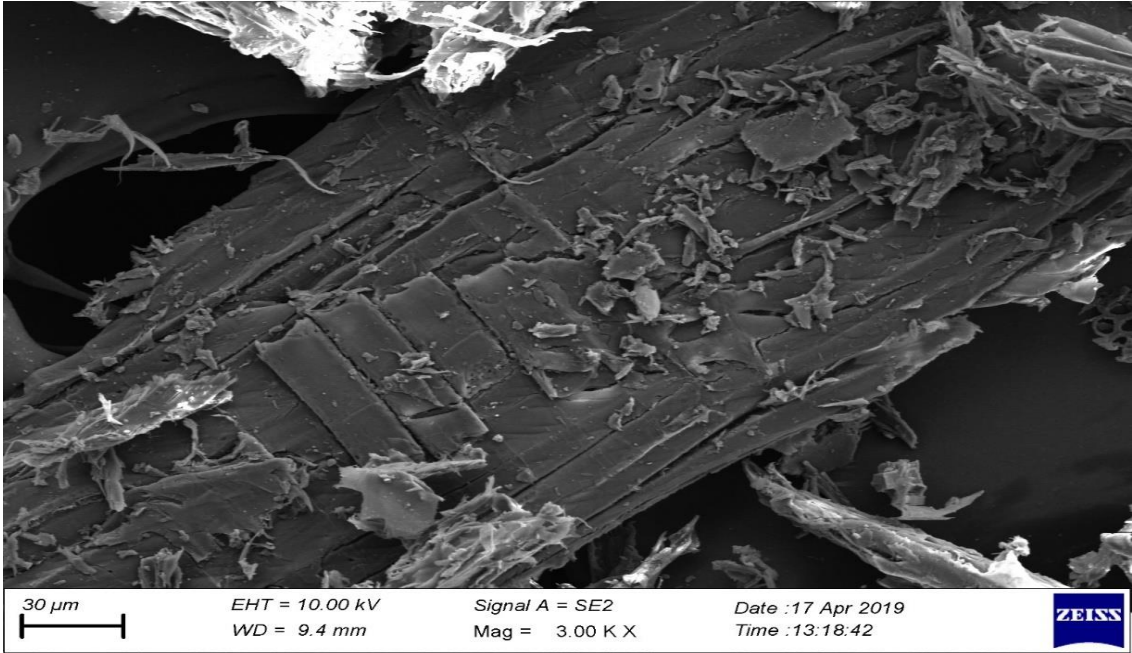
Şekil 4.11. Ham haldeki A2 ağaç talaşlarının SEM görüntüsü 2.00 kx çekim.



Şekil 4.11. Ham haldeki A2 ağaç talaşlarının SEM görüntüsü 10.00 kx çekim.

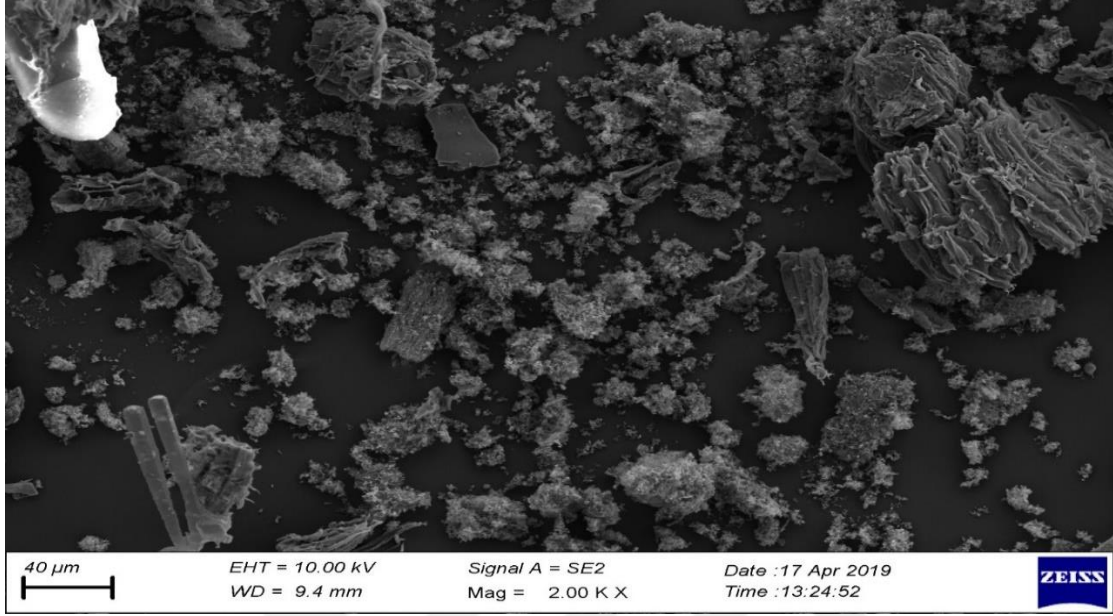


Şekil 4.12. Ham haldeki A3 ağaç talaşlarının SEM görüntüsü.

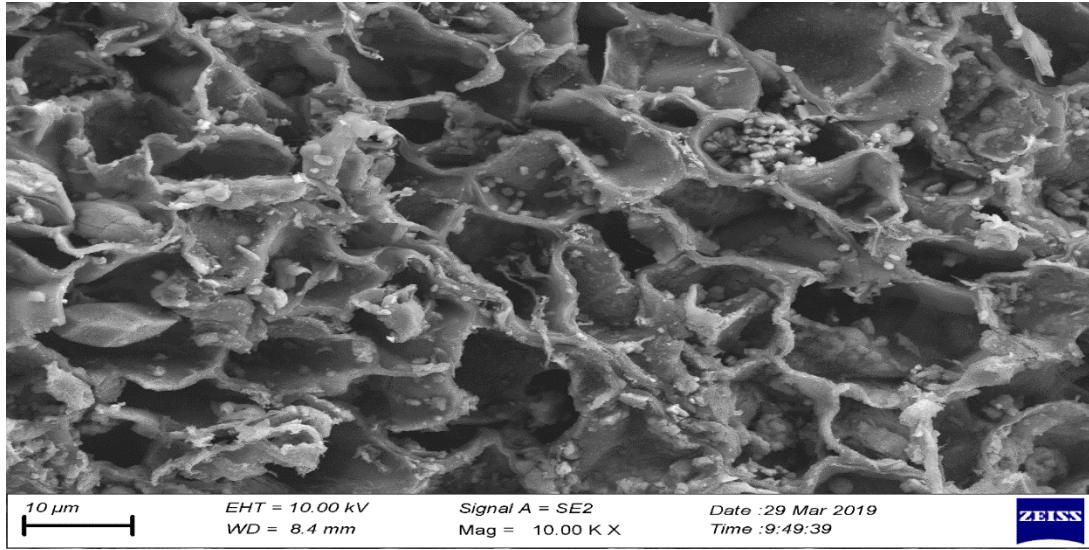


Şekil 4.13. Ham haldeki A3 ağaç talaşlarının SEM görüntüsü.

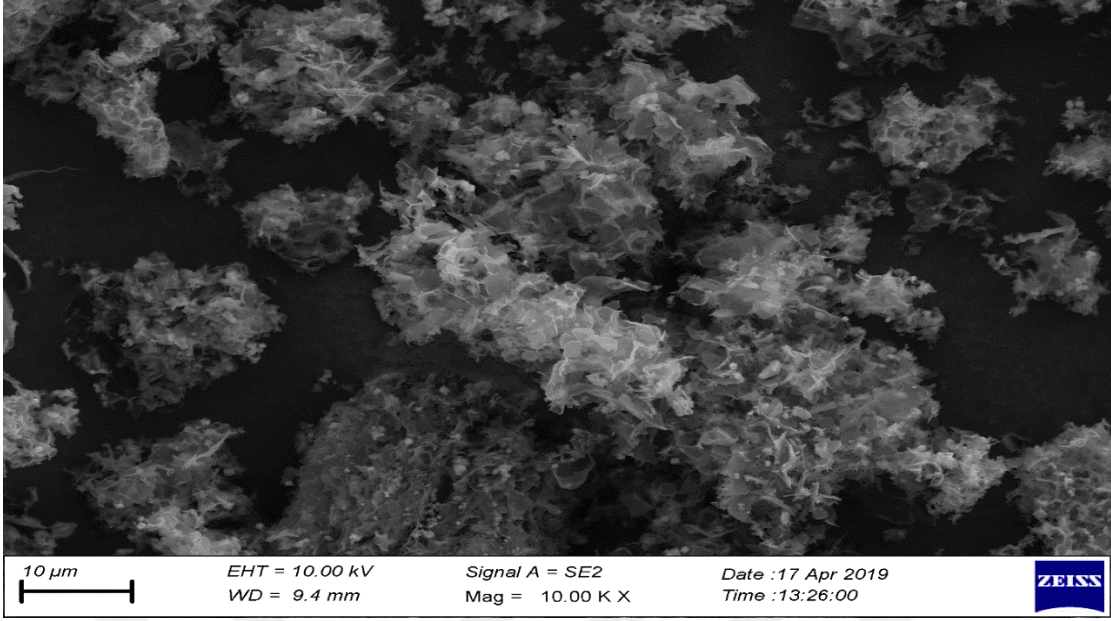
Ham haldeki A1,A2, A3,A4 ağaç talaşlarının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonların SEM analizleri



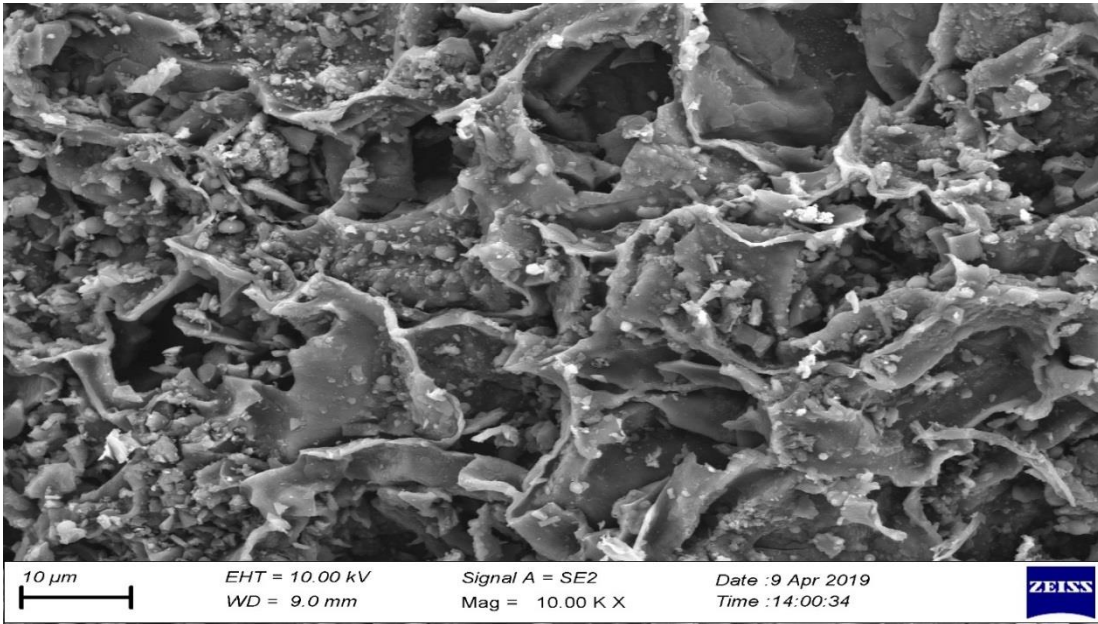
Şekil 4.14. Ham haldeki A1 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü 2.00 kx çekim.



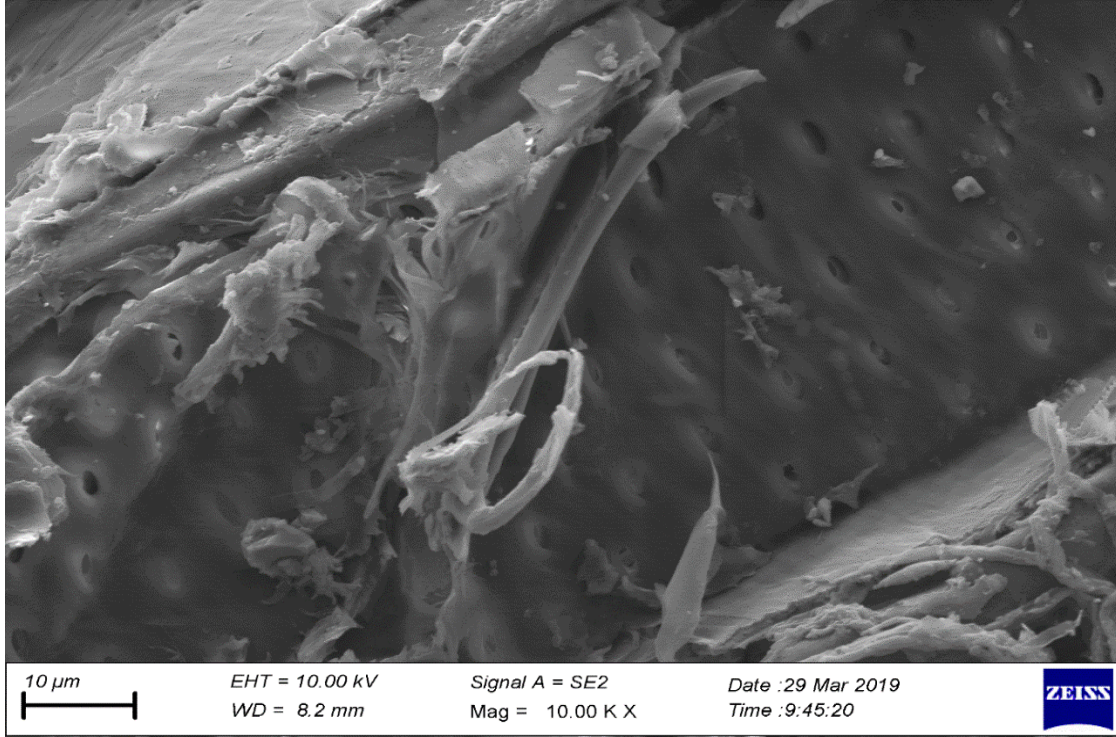
Şekil 4.14. Ham haldeki A1 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü 10.00 kx çekim (devamı).



Şekil 4.15. Ham haldeki A2 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü.

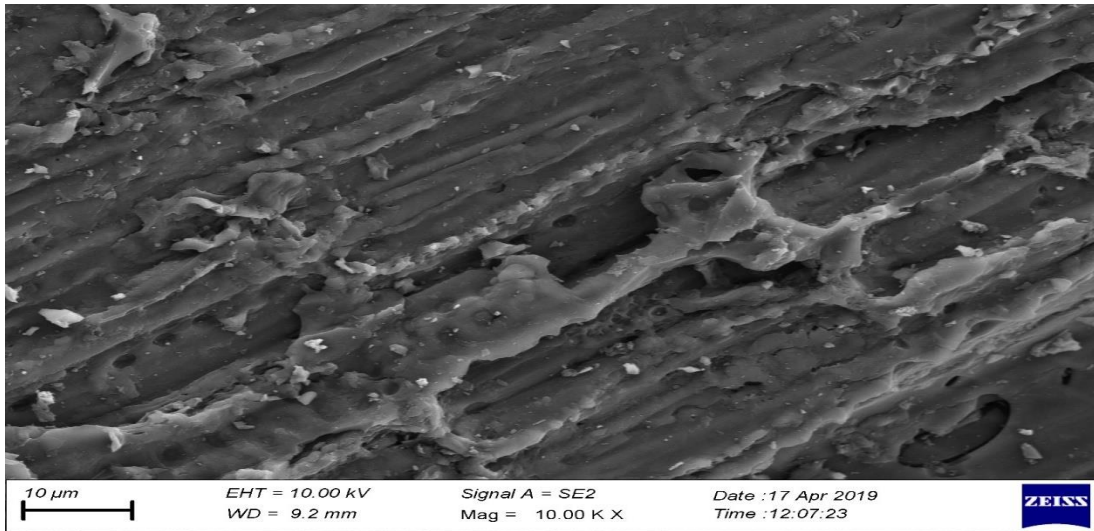


Şekil 4.16. Ham haldeki A3 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü.

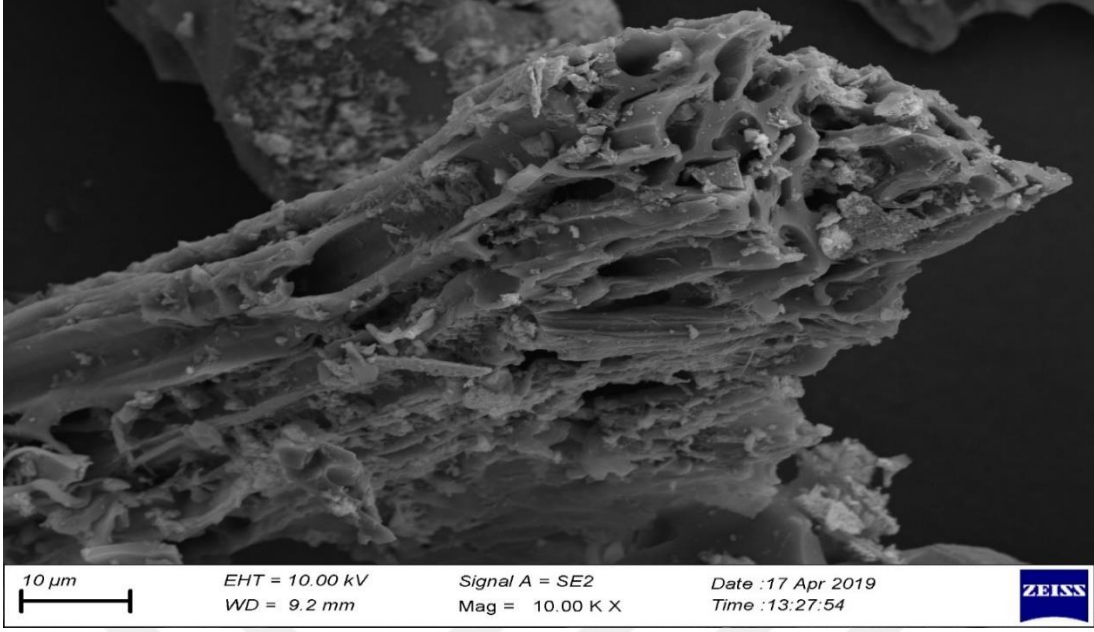


Şekil 4.17. Ham haldeki A4 ağaç talaşının imregnasyon işlemi yapılmadan elde edilen karbonun SEM görüntüsü.

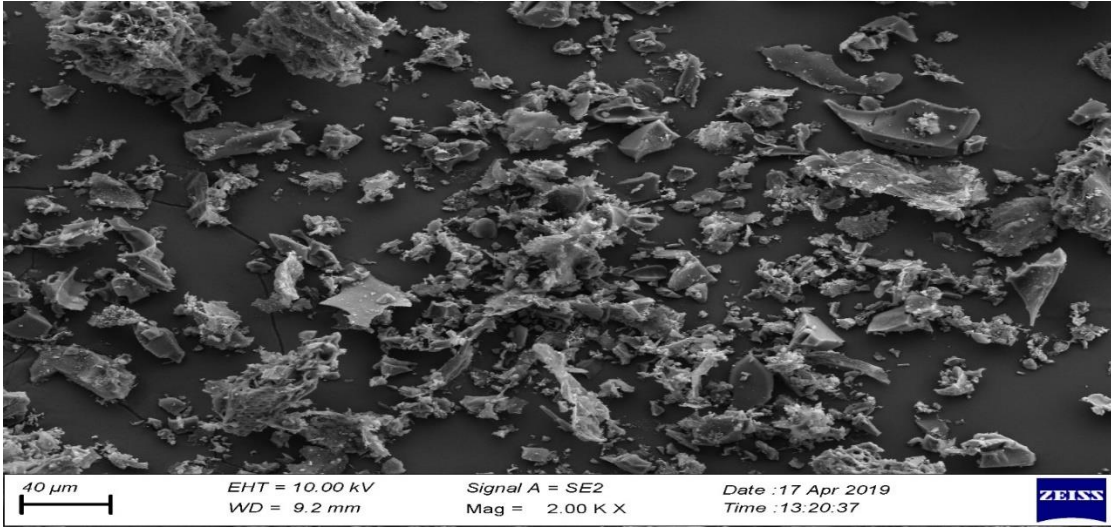
A1, A2, A3, A4 Ağaç talaşlarının ZnCl_2 (Çinko klorür) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonların SEM görüntüleri



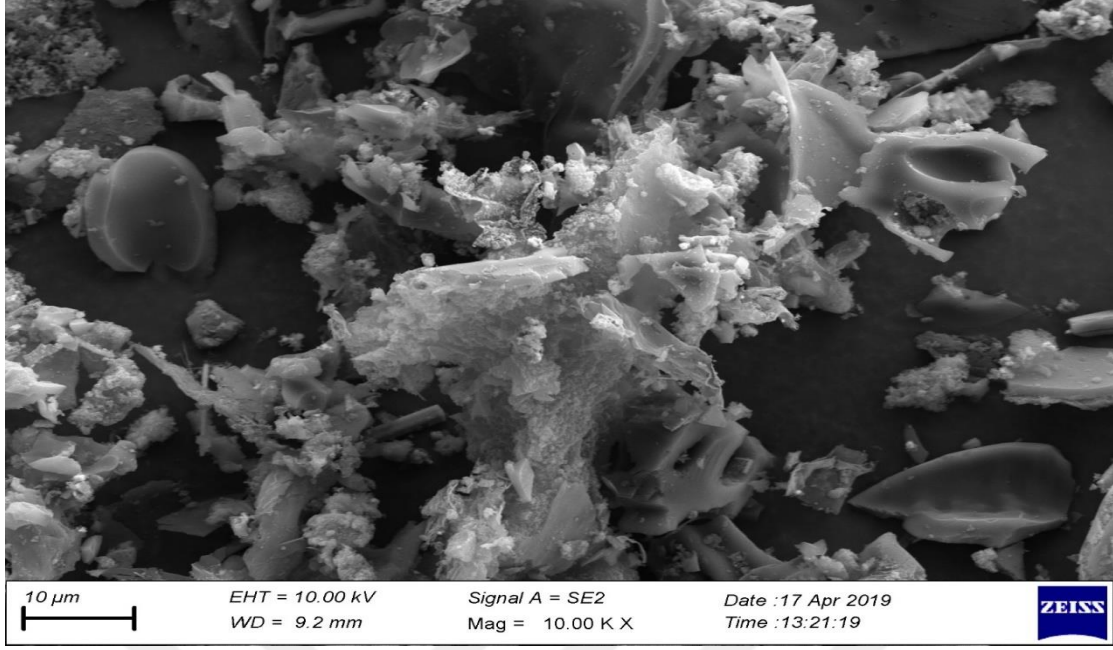
Şekil 4.18. A1 Ağaç talaşlarının ZnCl_2 (Çinko klorür) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A1-1 Aktif karbonu).



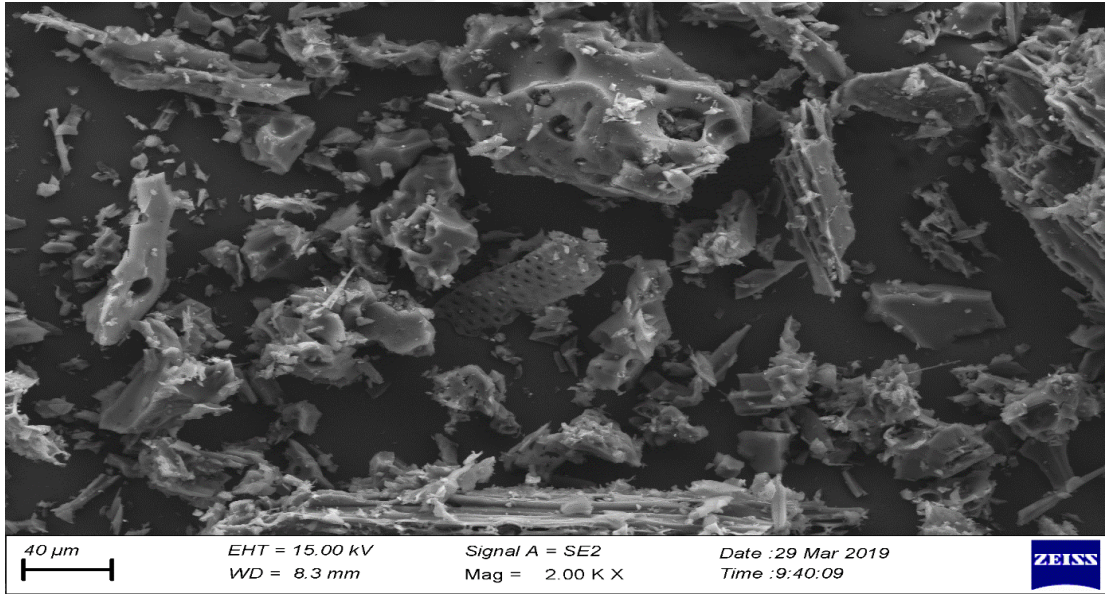
Şekil 4.19. A2 Ağaç talaşlarının ZnCl_2 (Çinko klorür) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A2-1 aktif karbonu).



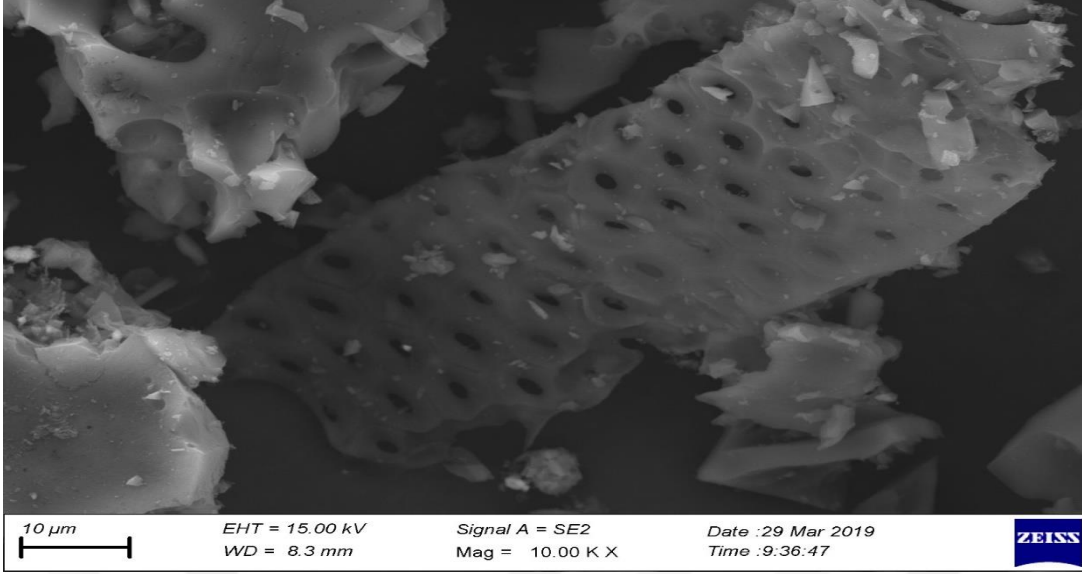
Şekil 4.20. A3 Ağaç talaşlarının ZnCl_2 (Çinko klorü) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü 2.00 kx çekim (A2-1 aktif karbonu).



Şekil 4.20. A3 ağaç talaşlarının ZnCl_2 (Çinko klorür) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü 10.00 kx çekim (A3-1 aktif karbonu) (devamı).

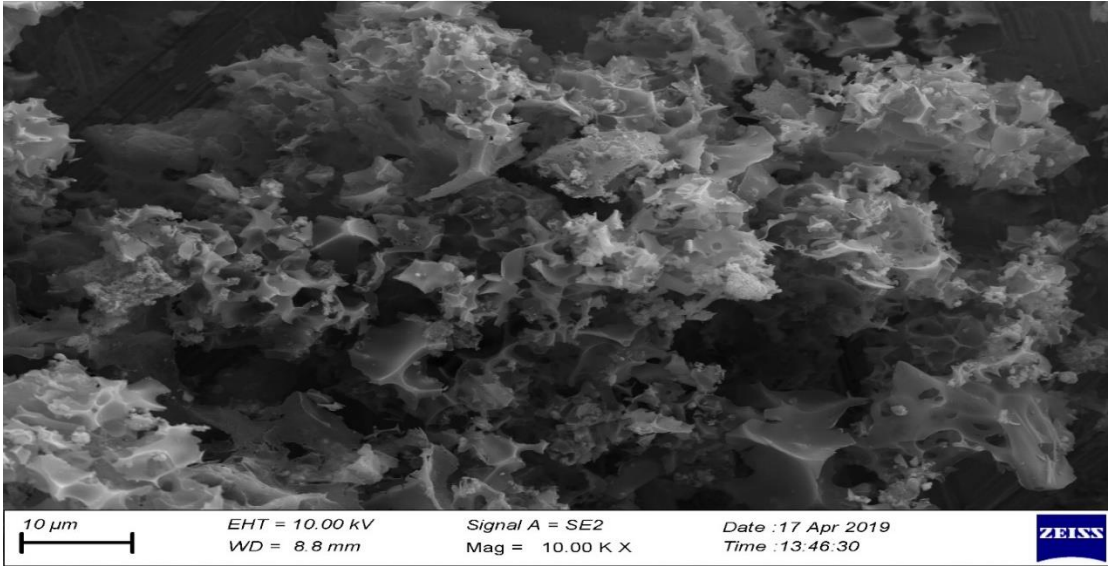


Şekil 4.21. A4 ağaç talaşlarının ZnCl_2 (Çinko klorür) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü 2.00 kx çekim (A4-1 aktif karbonu).

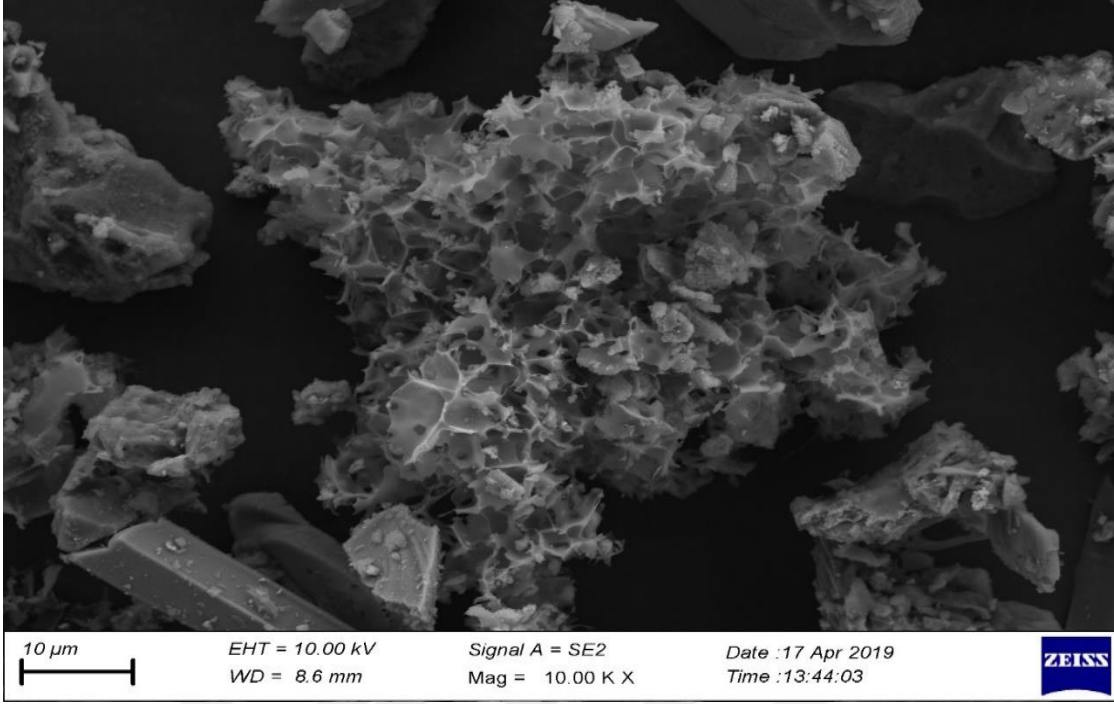


Şekil 4.21. A4 ağaç talaşlarının ZnCl_2 (Çinko klorür) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü 10.00 kx çekim (A4-1 aktif karbonu) (devamı).

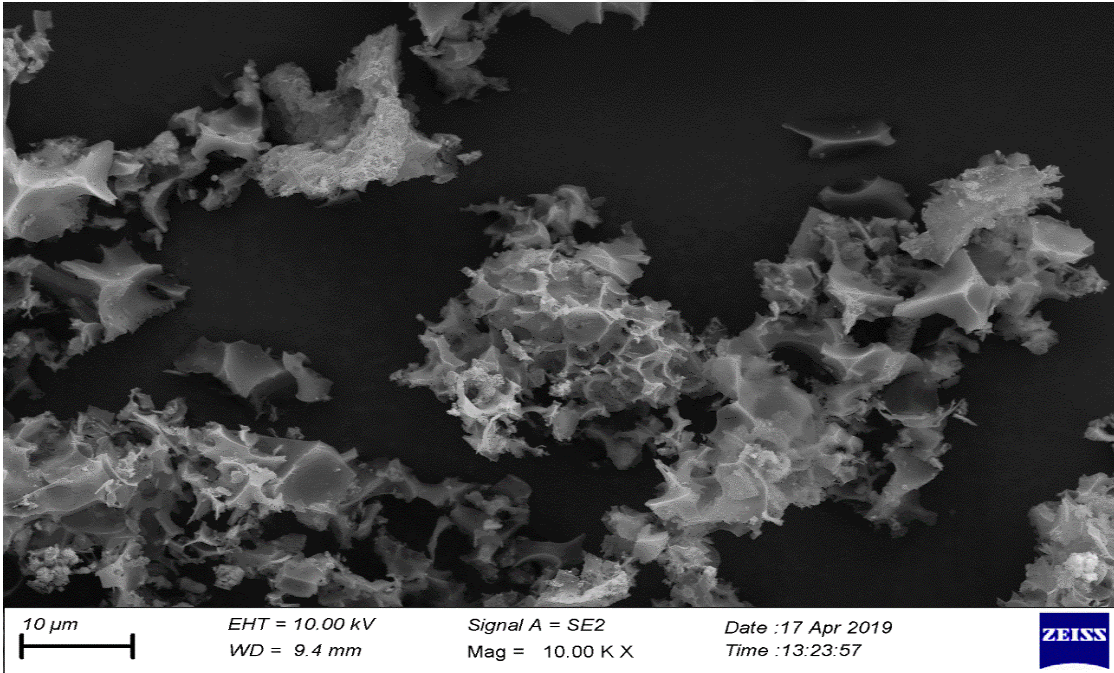
A1, A2, A3, A4 Ağaç talaşlarının NaOH (Sodyum Hidroksit) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonların SEM görüntüleri



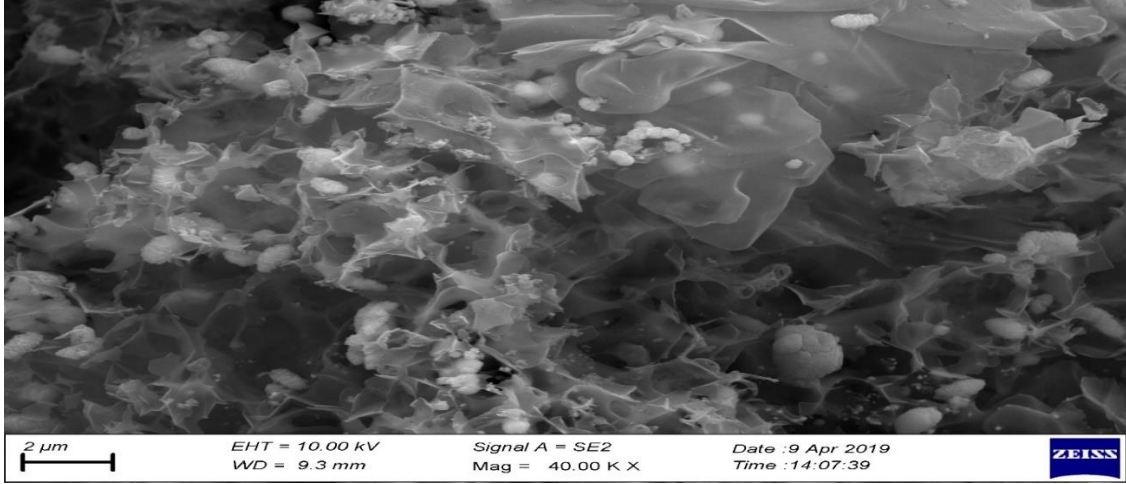
Şekil 4.22. A1 ağaç talaşlarının NaOH (Sodyum Hidroksit) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A1-2 aktif karbonu).



Şekil 4.23. A2 ağaç talaşlarının NaOH (Sodyum hidroksit) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A2-2 aktif karbonu).



Şekil 4.24. A3 ağaç talaşlarının NaOH (Sodyum hidroksit) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A3-2 aktif karbonu).



Şekil 4.25. A4 ağaç talaşlarının NaOH (Sodyum hidoksit) ile aktivasyonu sonucu oluşan aktif karbonun SEM görüntüsü (A4-2 aktif karbonu).

4.2. Adsorpsiyon Deneyleri

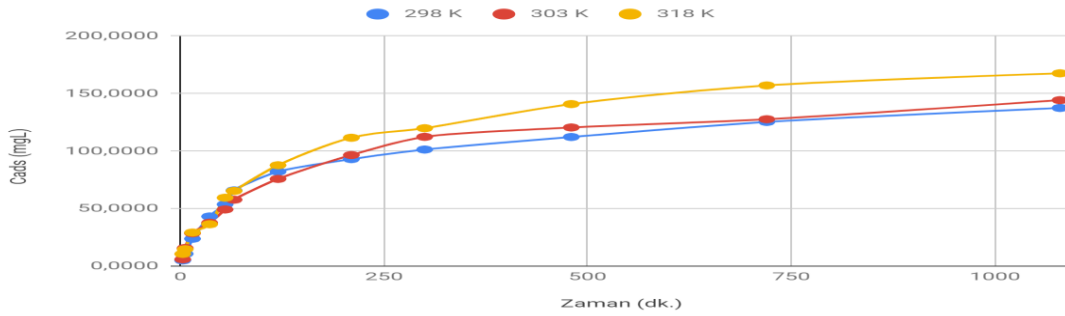
Metilen mavisi adsorpsiyonunda çinko klorür ve sodyum hidoksit doyurması sonucu oluşan aktif karbonlar kullanılmış, aktif karbonların 25 °C, 30 °C ve 45 °C sıcaklıklardaki adsorpsiyonları hesaplanmış, adsorpsiyon işlemleri yapılırken başlangıç adsorbe edilecek boyar madde konsantrasyonları 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm ve 600 ppm olarak hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan çözeltilerin hacimleri 250 mL ve karıştırma hızı olarak 200 rpm’de işlemler yapılmış, pH denemeleri 25 °C sıcaklıkta, 200 ppm konsantrasyonda başlangıç pH değerleri 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ve 11 olacak şekilde HCl ve NaOH çözeltileri kullanılarak ayarlanan çözeltilerle yapılmıştır. Bütün işlemlerde adsorbant (aktif karbon) miktarı 0.1g olarak alınmış, hesaplamarda sıcaklık değerleri kelvin cinsinden ve R değeri de 8.31435 J/mol K olarak kullanılmıştır.

Kinolin sarısı adsorpsiyonunda ise aktif karbonların 25 °C, 30 °C ve 45 °C sıcaklıklardaki adsorpsiyonları hesaplanmıştır. Adsorpsiyon işlemleri yapılırken adsorbe edilecek boyar madde konsantrasyonları 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm ve 600 ppm olarak hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan çözeltilerin hacimleri 250 mL ve karıştırma hızı olarak 200 rpm’de işlemler yapılmıştır. Çalışmada pH değiştirme işlemleri; kinolin sarısının asidik ortamda gıda boyası olduğundan dolayı parçalanması

ve bazik ortamdaki etkileşimleri renk açılmasına sebep olduğundan spektrofotometrede sağlıklı bir veri elde edilemediğinden yapılmamıştır.

4.2.1. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi ve kinolin sarısı deney sonuçları

A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.26. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon zaman grafiği.

A1-1 aktif karbonunda metilen mavisinin sıcaklık artışının adsorbe edilen madde miktarını arttırdığı görülmektedir. Grafikte sıcaklığın metilen mavisi difüzyonunu arttırdığında daha fazla miktarda metilen mavisi sıcaklık arttıkça aktif karbon içine yerleşmiştir. Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır. Adsorbent ve adsorplanan madde molekülleri aralarındaki çarpışmanın artmasıyla adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyonu arttırmaktadır. Sıcaklığın artması ile boya taşınımının artmasından kaynaklı durumlarda da adsorpsiyon kapasitesinde artış meydana gelmektedir. Bu durum sıcaklığın adsorbent partikülünün iç gözeneklerine ve dış sınır tabakasına doğru difüzyonunu arttırmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda sıcaklığın artması ile viskozitenin düşmesi de adsorpsiyon kapasitesini arttırmaktadır (Hameed, B.H Ark. 2007).

A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.14. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A1-1MM					Lang.	Freundlich		Temkin	D-R	Term.	
	Co (ppm)	Ce (ppm)	Cads (ppm)	%Ads.	qe (mg/g)	Ce/qe	logCe	logqe	lnCe	E ²	lnqe	1/T
298	50	2,5458	47,4542	94,91	118,6355	0,0215	0,4058	2,0742	0,9344	1,19E+07	4,7761	0,003356
	100	5,6223	94,3777	94,38	235,9443	0,0238	0,7499	2,3728	1,7267	8,52E+06	5,4636	
	200	62,5351	137,4649	68,73	343,6623	0,182	1,7961	2,5361	4,1357	6,34E+06	5,8397	
	400	253,4536	146,5464	36,64	366,366	0,6918	2,4039	2,5639	5,5352	6,19E+06	5,9036	
	600	445,3842	154,6158	25,77	386,5395	1,1522	2,6487	2,5872	6,0989	6,17E+06	5,9572	
303	50	2,2064	47,7936	95,59	119,484	0,0185	0,3437	2,0773	0,7914	12964507,86	4,7832	0,0033
	100	5,0082	94,9918	94,99	237,4795	0,0211	0,6997	2,3756	1,6111	8835163,025	5,4701	
	200	55,7478	144,2522	72,13	360,6305	0,1546	1,7462	2,5571	4,0208	6361092,715	5,8879	
	400	243,7642	156,2358	39,06	390,5895	0,6241	2,387	2,5917	5,4962	6189350,521	5,9677	
	600	438,4678	161,5322	26,92	403,8305	1,0858	2,6419	2,6062	6,0833	6166913,287	6,001	
318	50	1,8242	48,1758	96,35	120,4395	0,0151	0,2611	2,0808	0,6011	14714148,27	4,7911	0,003145
	100	4,8294	95,1706	95,17	237,9265	0,0203	0,6839	2,3764	1,5747	8944385,132	5,472	
	200	45,6564	154,3436	77,17	385,859	0,1183	1,6595	2,5864	3,8211	6410741,36	5,9555	
	400	230,2644	169,7356	42,43	424,339	0,5426	2,3622	2,6277	5,4392	6192315,897	6,0505	
	600	428,9482	171,0518	28,51	427,6295	1,0031	2,6324	2,6311	6,0613	6167536,154	6,0583	

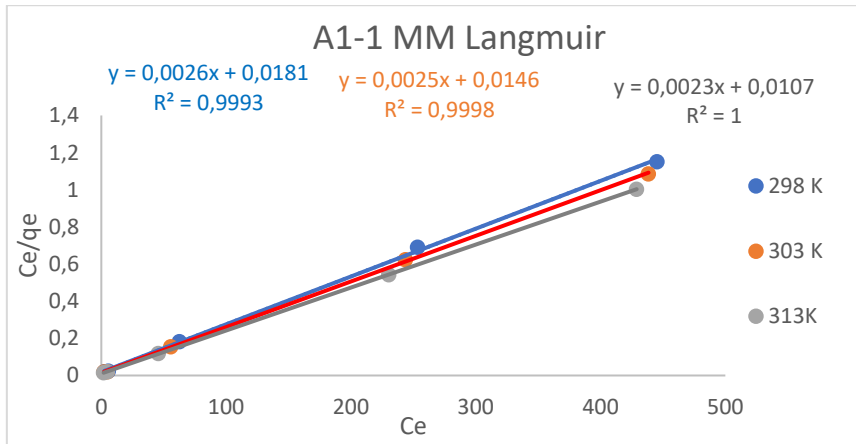
A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

Çizelge 4.15. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri.

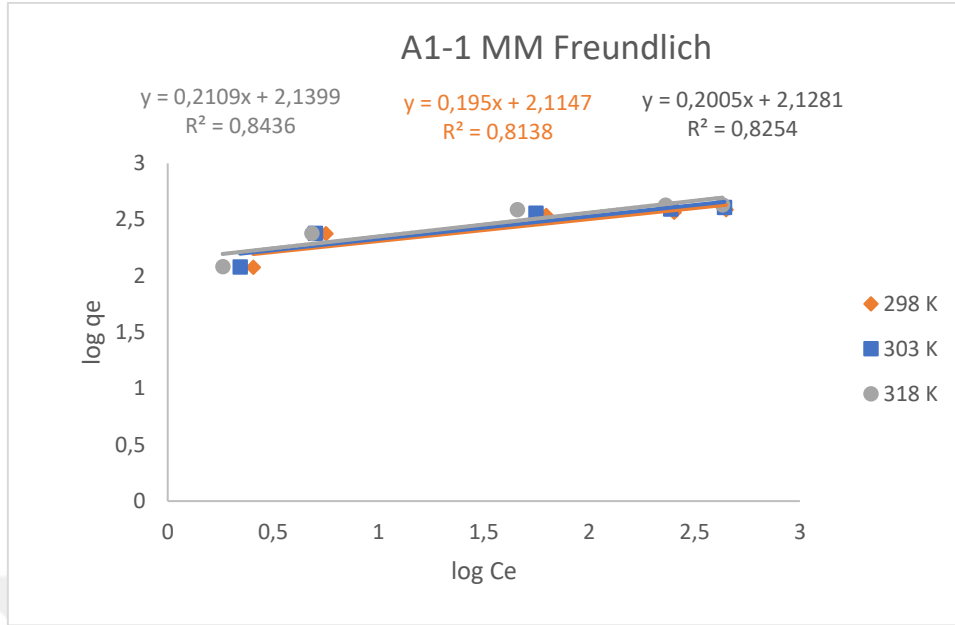
A1-1 MM	T(K)	298	303	318
Langmuir	B	0,1427	0,1682	0,2151
	Q _m	388,4434	406,9916	432,3444
	R ²	0,9993	0,9998	1,0000
	N	5,1293	4,9887	4,7410
Freundlich	1/n	0,1950	0,2005	0,2109
	K _f	130,2396	134,3192	138,0124
	R ²	0,8138	0,8254	0,8435
	B (J mol ⁻¹)	46,7887	49,8758	54,8353
Temkin	A _T (L g ⁻¹)	12,3886	11,7348	10,1987
	b _T	52,9546	49,6769	45,1840
	R ²	0,9073	0,9165	0,9236
	X'm (mg g ⁻¹)	1255,5664	1138,7332	1005,1814
D-R	K' (mol ⁻² J ²)	0,000000198	0,000000175	0,000000147
	R ²	0,9961	0,9963	0,9808
	E (kJmol ⁻¹)	0,000628940	0,00059111	0,00054222

Çizelge 4.14'e bakıldığında aynı sıcaklıkta adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

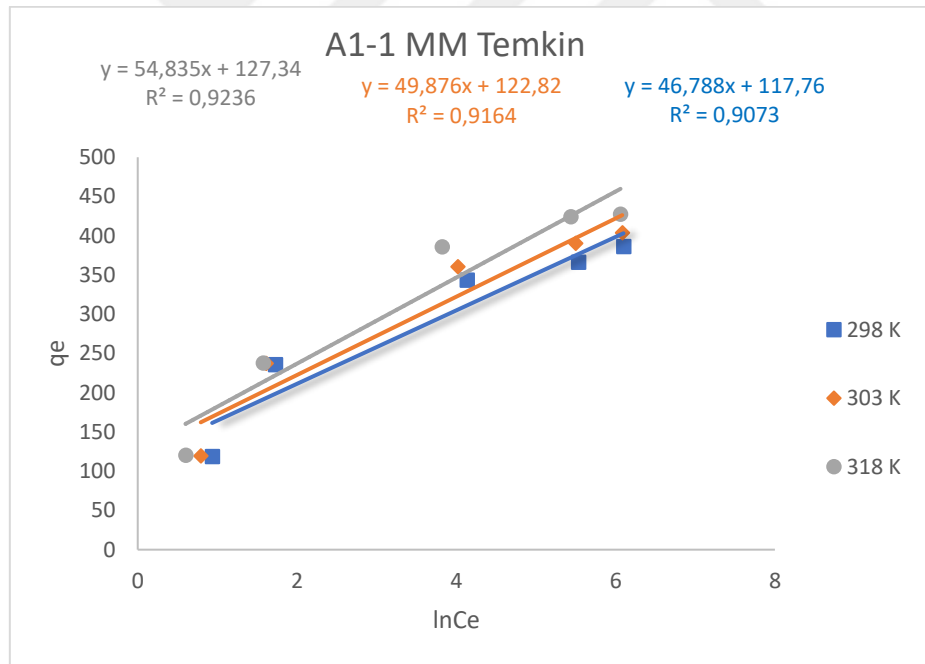
Çizelge 4.15’de görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayılarının 0,80’in üzerinde olduğu en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir izoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C’de 377,3213mg/g, 30 °C’de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 386,5239 mg/g, 45 °C’de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 439,4433 mg/g dır. Sıcaklık artıkcı adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Langmuir izoterminin regresyon sayısının 1’e çok yakın olmasına bakılarak adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği söylenebilir. Freundlich izoterm sabitlerine göre $1/n$ değeri adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre sıcaklık artıkcı adsorpsiyon enerjisinin de arttığı, D-R izoterminde E değerlerine bakıldığında adsorpsiyonun fiziksel olarak gerçekleştiği söylenebilir. Langmuir izoterminde bağlanma enerjisinin sıcaklıkla artışı olurken, D-R izoterminde E değerinin düşmesi adsorpsiyon enerjisinin düştüğünü göstermektedir. Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.27., Şekil 4.28., Şekil 4.29. ve Şekil 4.30’de verilmiştir. A1-1 aktif karbonu ile metilen mavisinin adsorpsiyonunda izoterm grafiklerine bakıldığı zaman en uygun izoterm Langmuir izotermi olduğu görülmekle birlikte diğer izotermelerin de R^2 değerlerinin yüksek olması adsorpsiyona etki eden faktörlerinde bir bakıma çeşitliliğini ifade etmektedir.



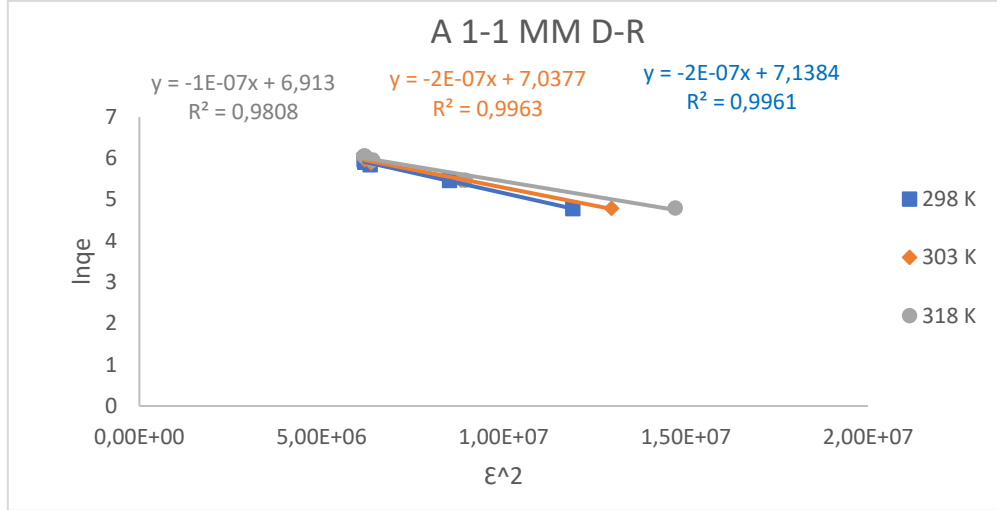
Şekil 4.27. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisini giderimi adsorpsiyonu 25°C,30°C ve 45 °C’deki Langmuir izotermi grafiği.



Şekil 4.28. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C,30°C ve 45 °C’deki Freundlich izotermi grafiği.



Şekil 4.29. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C,30°C ve 45 °C’deki Temkin izotermi grafiği.



Şekil 4.30. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C’deki D-R izotermi grafiği.

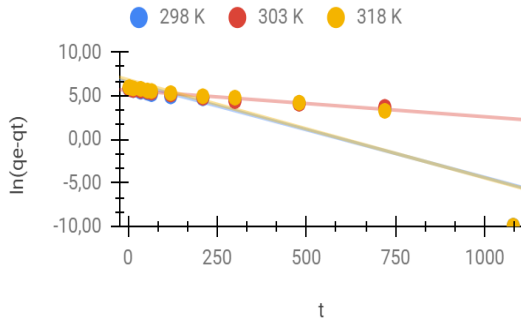
A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

Adsorpsiyon sürecini karakterize etmek için boyar maddenin adsorbent yüzeyine adsorpsiyonunda ne tür bir mekanizmanın rol oynadığını tespit edebilmek için çeşitli kinetik modeller kullanılarak, boyar maddenin adsorpsiyonunda yalancı birinci mertebe (pseudo first order) kinetik model, yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, İnterpartiküler kinetik modellerinin kullanımı daha yaygındır (Aksu ve İşoğlu 2005).

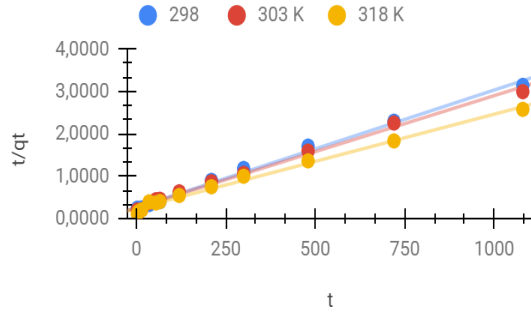
Çizelge 4.16. A1-1 Aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order) ve yalancı ikinci mertebe (pseudo second order) kinetik, Elovich, İnterpartiküler difüzyon model sabitleri

T(K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.011	0.003	0.011
	q_e, calc	709.006	278.876	936.155
	q_e, exp	343.662	360.631	418.971
	R^2	0.728	0.934	0.748
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00003	0.00003	0.00002
	q_e, calc	360.578	378.445	449.109
	q_e, exp	343.662	360.631	418.971
	R^2	0.995	0.993	0.991
Elovich	β	58.979	61.283	72.199
	α	0.004	0.004	0.003
	q_e, exp	343.662	360.631	418.971
	R^2	0.983	0.961	0.949
Intraparticle diffusion	k_p	10.556	11.238	13.415
	R^2	0.906	0.930	0.944

Pseudo first order

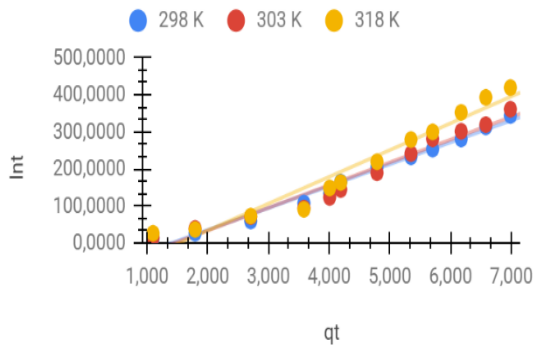


Pseudo second order

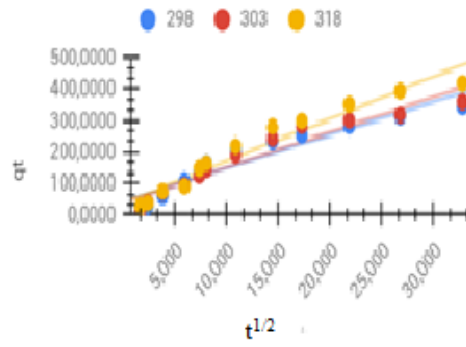


Şekil 4.31. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, İnterpartiküler difüzyon kinetik grafikleri.

Elovich



Intraparticle diffusion



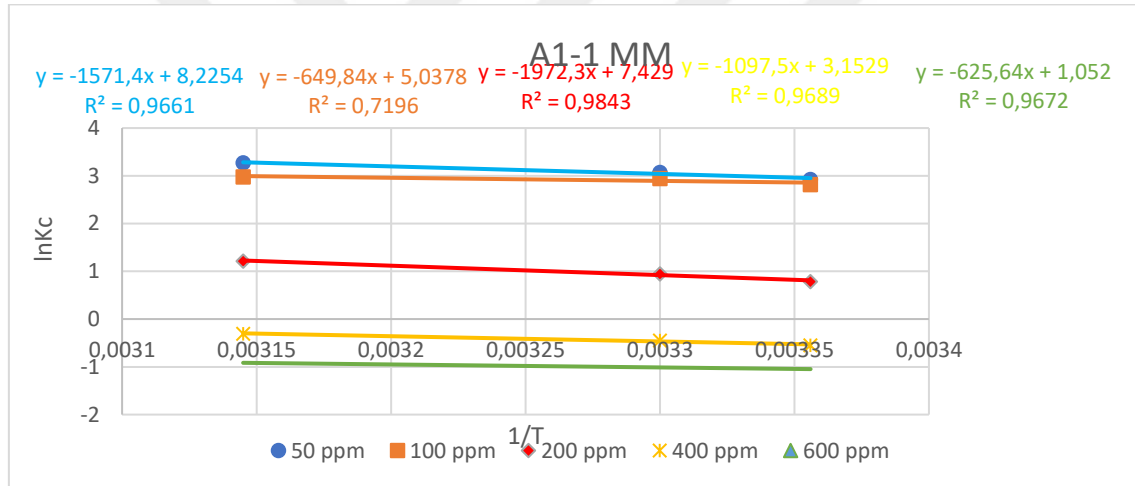
Şekil 4.32. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo first order), Elovich, İnterpartiküler difüzyon kinetik grafikleri (devamı).

Çizelge 4.16., Şekil 4.31.ve Şekil 4.32’deki değerlere bakıldığında, yalancı birinci derece kinetik, yalancı ikinci mertebe kinetik, Elovich ve İnterpartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) oldukça yüksektir. Bu kinetik modeldenyalancı birinci derece kinetik modelde hesaplanan q_e (calc) değerleri deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri ile iyi uyum göstermektedir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi yalancı ikinci mertebe kinetik modele daha uyumludur.

A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.17. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A1-1MM/ Co	T (°K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	18.6402	2.9253	-7247.9963	13042.5	68.3126
	303	21.6613	3.0755	-7620.1666		
	318	26.4093	3.2737	-8111.2068		
100 ppm	298	16.7863	2.8206	-6988.4	5388.95	41.8393
	303	18.9673	2.9427	-7291.1		
	318	19.7065	2.9809	-7385.8		
200 ppm	298	2.1982	0.7876	-1951.5185	16373.2	61.6833
	303	2.5876	0.9507	-2355.5893		
	318	3.3805	1.2180	-3017.9026		
400 ppm	298	0.5782	-0.5478	1357.3669	9111.17	26.1689
	303	0.6409	-0.4448	1102.1570		
	318	0.7371	-0.3050	755.6573		
600 ppm	298	0.3472	-1.0580	2621.3665	5193.66	8.7195
	303	0.3684	-0.9986	2474.1626		
	318	0.3988	-0.9194	2277.9006		



Şekil 4.33. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

Çizelge 4.17 ve Şekil 4.32'ye bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi ΔH° değişimleri pozitif işaretlidir. Bu adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyon artacağını göstermektedir. ΔH° 'ın 40 kcal ya da 167470 j den küçük olması adsorpsiyonun fiziksel bir adsorpsiyon olduğunu, Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm deki sıcaklıklarda ΔG° 'ise negatif işaretlidir. Gibbs serbest enerji değişimlerinin negatif olması, prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. 400 ppm ve 600 ppm'deki sıcaklıklarda ΔG° pozitif olması

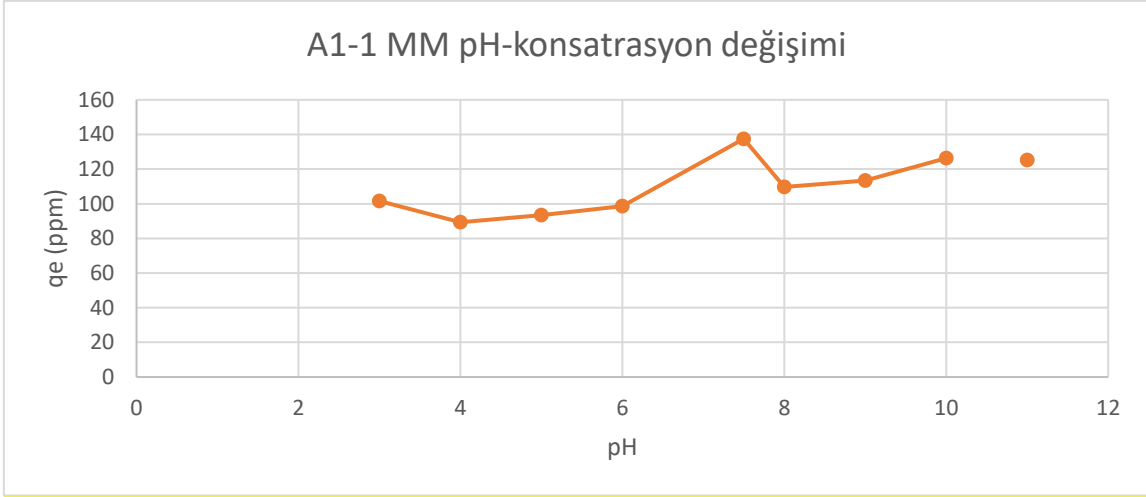
daha önce kendiliğinden gerçekleşen adsorpsiyonun yeterli doygunluğa ulaştığını göstermektedir. Entropi (ΔS°) değerlerinin pozitif olması adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent ile çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir (Bahar 2011; Wang 2012). Aktif karbon yüzey doygunluğunun arttığı söylenebilir.

A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç ph değişiminin etkisi

Metilen mavisi A1-1 aktif karbonunda pH 3, pH 4, pH 5, pH 6, pH 7, pH 8, pH 9, pH 10, pH 11 denge konsantrasyonları ve son pH'larının tablosu Çizelge 4.18'de ve grafiği. Şekil 4.22 de verilmiştir.

Çizelge 4.18. A1-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

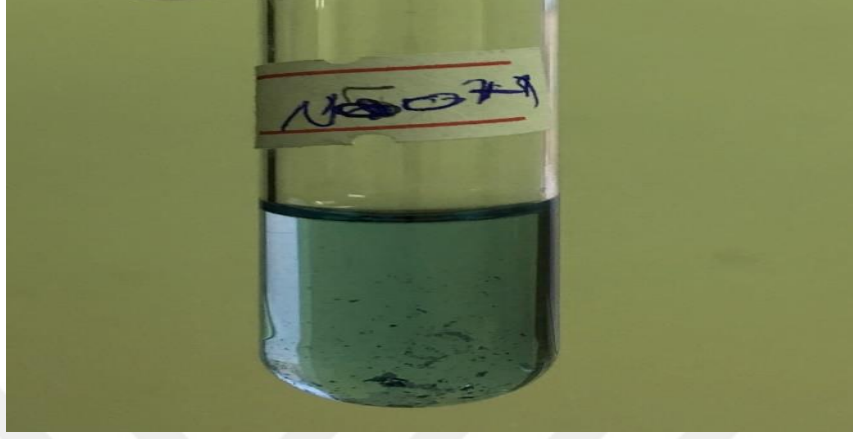
Aktif karbon	Co (MM)ppm	q _e (ppm)	Başlangıç pH	Son Ph
A1-1	200	98.3504	3	3.48
	200	110.6608	4	6.88
	200	106.5408	5	7.01
	200	101.3232	6	7.03
	200	137.4649	7	6.99
	200	109.6176	8	7.33
	200	113.494	9	7.87
	200	126.384	10	8.01
	200	127.2048	11	8.43



şekil 4.34. A1-1 Aktif karbonunun Metilen mavisini Adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.

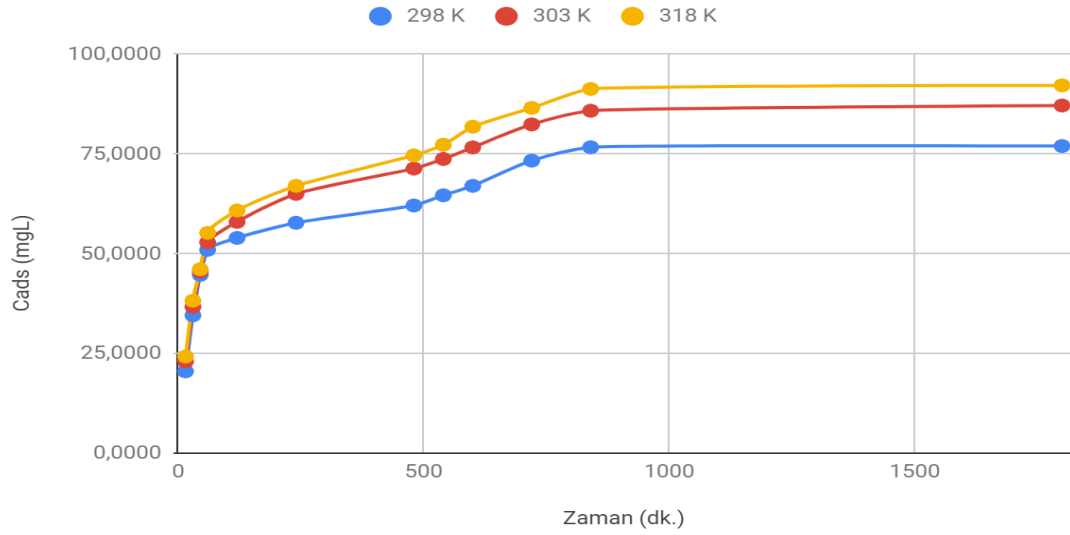
Çizelge 4.18 ve şekil 4.34'e bakıldığında adsorpsiyonun metilen mavisinin ölçülen doğal pH aralığında (pH=7.50) en yüksek adsorpsiyonu verdiği görölmüştür. Adsorpsiyon ortak iyon etkisinde dolayı yüzeyin pozitif ya da negatif yük durumuna göre değişiklik göstermektedir. Yüzeyin pozitif adsorplanan maddenin negatif yüklü olması adsorpsiyonu arttırırken ortamda farklı negatif yüklerin olması adsorpsiyonu düşürmektedir. Ya da yüzeyin negatif yüklü adsorbe edilecek olan maddenin pozitif yüklü olması adsorpsiyonu arttırırken ortamda farklı negatif yüklerin olması adsorpsiyonu düşürmektedir (Akkaya 2012; Korkmaz 2019). Aktif karbon yüzeyi ise asidik ya da bazik yüzüyle bulundurabilir (skimm ve ark. 2000). Ayrıca farklı fonksiyonel gurupları barındırmaktadır (Mattson ve Mark 1971). Aktif karbonun gözenek genişliklerinde adsorpsiyona etkisi bulunmaktadır. Ortamında ortak iyon etkisinden dolayı metilen mavisinin adsorpsiyonu sadece pH=3 de az miktarda artmış diğer asidik pH larda pH artarken adsorpsiyon azalmıştır. Katyonik bir boyar madde olan metilen mavisini asidik ortamdaki hidrojen sayısını artması mikro gözeneklerin hidrojenle dolması sebebiyle yüzeydeki adsorpsiyonu azalmıştır. Bazik ortamda ise hidroksil iyonlarının metilen mavisini ve karbon yüzeyi ile etkileşiminden dolayı boyar maddenin doğal pH=7.50'den daha az adsorpsiyon yapmasına sebep olmuştur. Ortamdaki hidroksil iyonlarının pH=8 ve pH=9'da aktif karbon tarafından adsorbe edildiği düşünölmektedir. Yüksek pH=10 ve pH=11 de ortamın bazikliği artmış ve metilen mavisini katyonu ile zayıf bağlar oluşturarak

adsorpsiyonunun arttığı düşünülmektedir. Bu nedenle 24 saat boyunca sodyum hidroksit içinde bırakılan metilen mavisi izlenmiş, bu süre sonunda çözelti dibinde çökmeler olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Metilen mavisi ve NaOH 24 saat süredeki etkileşimi.

A1-1aktif karbonunun kinolin sarisi adsorpsiyonunda sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.36. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon zaman grafiği.

Sıcaklık artışı ile adsorpsiyon süresi boyunca kinolin sarısı adsorpsiyonunun arttığı görülmektedir. Grafikte görülen adsorpsiyon artışı kinolin sarısı difüzyonunu arttırmakta, sıcaklığın artması ile boyar madde taşınımının artmasından kaynaklı durumlarda da adsorpsiyon kapasitesinde artış meydana gelmektedir. Bu durum sıcaklığın adsorbent partikülünün iç gözeneklerine ve dış sınır tabakasına doğru difüzyonunu arttırmamasından kaynaklanmaktadır.

A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.19. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A1-1KS					Lanmuir, Freundlich			Temkin	D-R	Term.	
298	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	%Ads.	q _e (mg/g)	Ce/qe	logCe	logqe	lnCe	ξ^2	lnqe	1/T
	50	25.8795	24.1205	48.24	60.3013	0.4292	1.4130	1.7803	3.2535	6.62E+06	4.0994	0.003356
	100	55.9559	44.0441	44.04	110.1103	0.5082	1.7478	2.0418	4.0246	6.36E+06	4.7015	
	200	122.9980	77.0020	38.50	192.5050	0.6389	2.0899	2.2844	4.8122	6.24E+06	5.2601	
	400	315.4353	84.5647	21.14	211.4118	1.4920	2.4989	2.3251	5.7540	6.18E+06	5.3538	
	600	507.7654	92.2346	15.37	230.5865	2.2021	2.7057	2.3628	6.2300	6.16E+06	5.4406	
303	50	24.0752	25.9248	51.85	64.8120	0.3715	1.3816	1.8117	3.1812	6659446.5467	4.1715	0.0033
	100	50.9659	49.0341	49.03	122.5853	0.4158	1.7073	2.0884	3.9312	6382144.6663	4.8088	
	200	112.8294	87.1706	43.59	217.9265	0.5177	2.0524	2.3383	4.7259	6248179.0924	5.3842	
	400	309.0269	90.9731	22.74	227.4328	1.3588	2.4900	2.3569	5.7334	6178674.5221	5.4269	
	600	503.1644	96.8356	16.14	242.0890	2.0784	2.7017	2.3840	6.2209	6163305.1850	5.4893	
318	50	22.4555	27.5445	55.09	68.8613	0.3261	1.3513	1.8380	3.1115	6697813.7161	4.2321	0.003145
	100	48.6453	51.3547	51.35	128.3868	0.3789	1.6870	2.1085	3.8846	6393867.6155	4.8550	
	200	107.7865	92.2135	46.11	230.5338	0.4676	2.0326	2.3627	4.6802	6253316.3843	5.4404	
	400	302.3002	97.6998	24.42	244.2495	1.2377	2.4804	2.3878	5.7114	6179561.4843	5.4982	
	600	500.4260	99.5740	16.60	248.9350	2.0103	2.6993	2.3961	6.2155	6163438.9772	5.5172	

A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

Çizelge 4.20. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyon sabitleri

A1-1 KS	T(K)	298	303	318
	b	0.0137	0.0174	0.0202
Langmuir	Q _m	264.5438	271.6572	277.9982
	R ²	0.9939	0.9922	0.9922

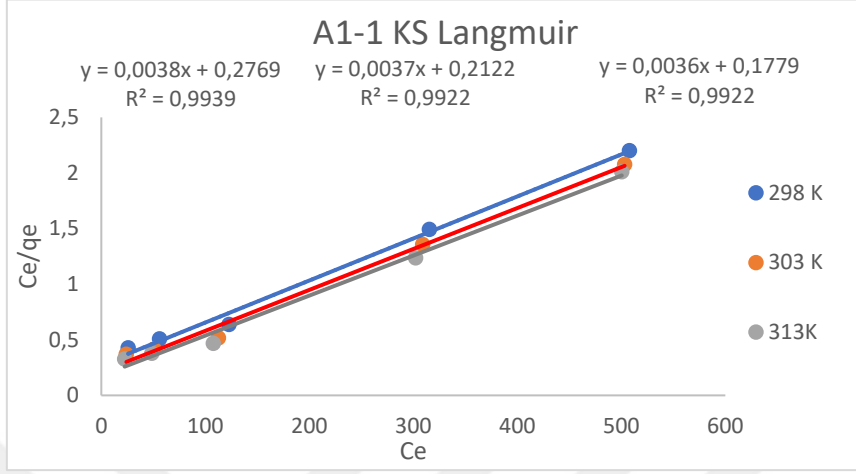
Çizelge 4.20. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyon sabitleri (devamı)

A1-1 KS	T(K)	298	303	318
Freundlich	n	2.2897	2.4234	2.4968
	1/n	0.4367	0.4126	0.4005
	K _f	17.6069	22.0341	24.9765
	R ²	0.8841	0.8354	0.8274
	B (J mol ⁻¹)	57.7054	58.2815	59.4286
Temkin	A _T (L g ⁻¹)	0.1320	0.1727	0.1977
	b _T	42.9366	42.5122	41.6917
	R ²	0.9383	0.8870	0.8716
	X'm (mg g ⁻¹)	18101096766.6626	4841704746.4266	1357950357.3844
D-R	K' (mol ⁻² J ²)	0.000002954	0.000002726	0.000002512
	R ²	0.9808	0.9812	0.9772
	E (kJmol ⁻¹)	0.0024307	0.0023349	0.0022415

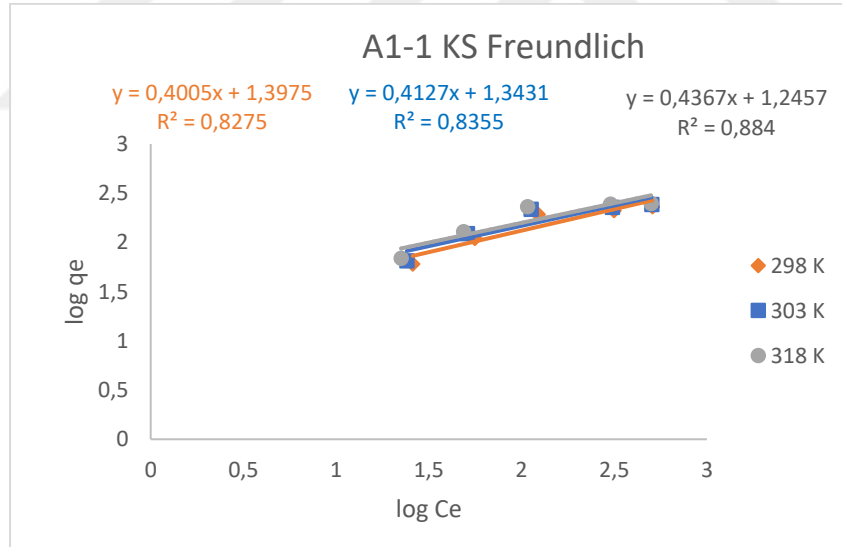
Çizelge 4.19'a bakıldığında aynı sıcaklıkta adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.20'de görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayıları 0,87'in üzerinde olduğu, en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir izoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C'de 264.5438 mg/g, 30 °C'de maksimum adsorpsiyon 271.6572 mg/ g, 45 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 277.9982 mg/ g dır. Sıcaklık artıkcı adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Langmuir izoterminden regresyon sayısına bakılarak bu sayının 1'e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği, b değerine bakılarak bağlanma enerjisinin sıcaklıkla arttığı, Freundlich izoterm sabitlerine göre 1/n değerler 0.4367-0.4126-0.4005 adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre 57.7054-58.2815-59.4286 joule/mol olduğu ve sıcaklık artıkcı adsorpsiyon enerjisinin arttığı, D-R izoterminden E değerine bakılarak adsorpsiyonun fiziksel bir adsorpsiyon olduğu söylenebilir.

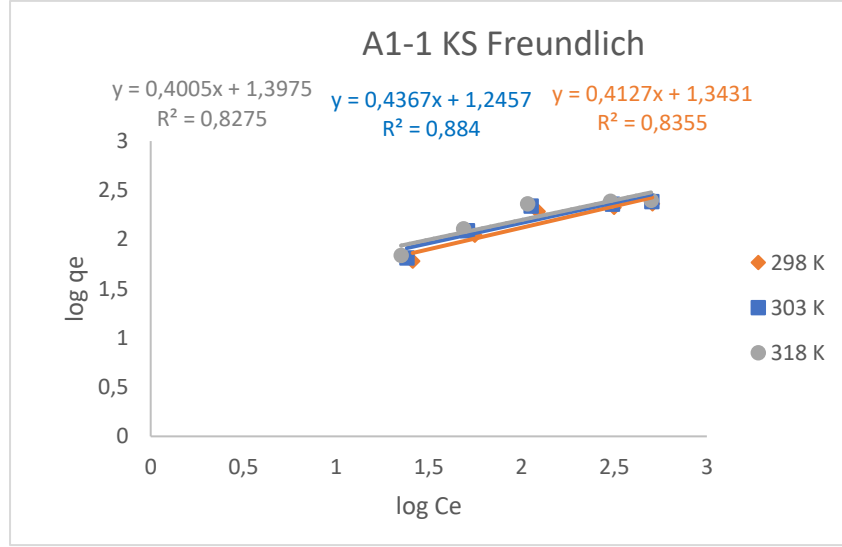
Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.37, Tablo Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40' de verilmiştir.



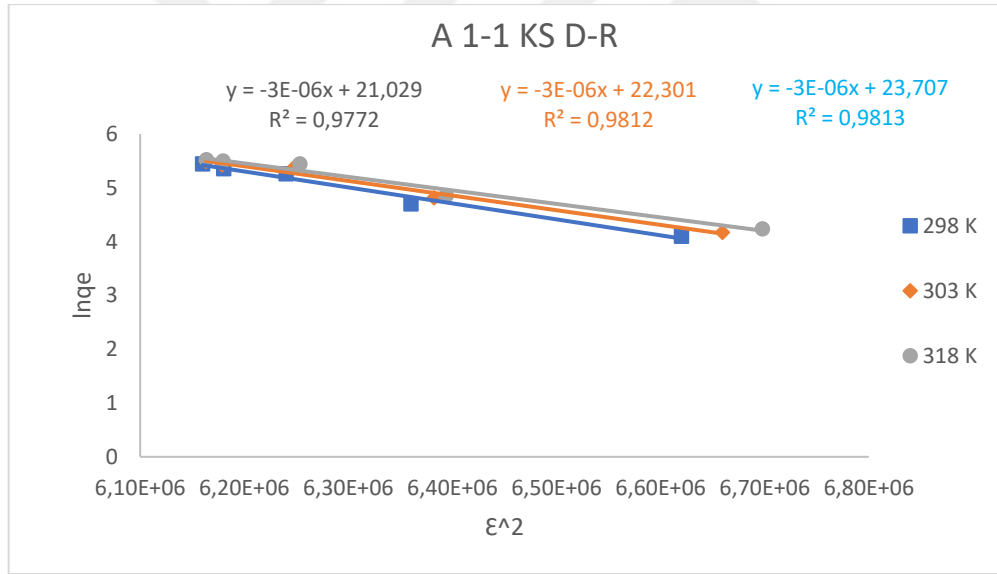
Şekil 4.37. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermeleri grafiği (C_0 = 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V =0,25 AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).



Şekil 4.38. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermeleri grafiği (C_0 = 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V =0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).



Şekil 4.39. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).



Şekil 4.40. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).

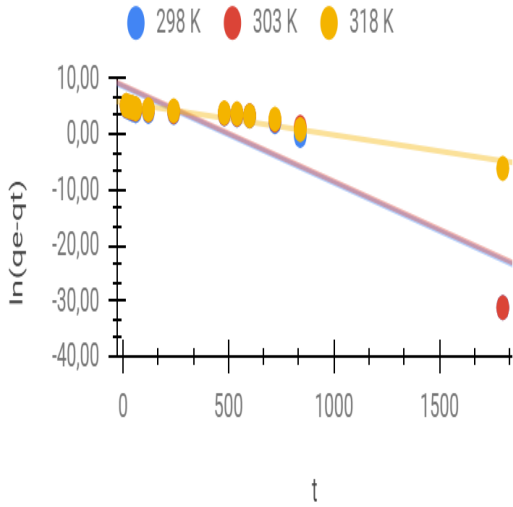
A1-1 aktif karbonu ile kinolin sarısı adsorpsiyonunda izotermi bakıldığı zaman üç sıcaklıkta en uygun izotermi Langmuir izotermi olduğu görülmekle birlikte diğer izotermi de R^2 değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu adsorpsiyona başka faktörlerinde etki ettiğini göstermektedir.

A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

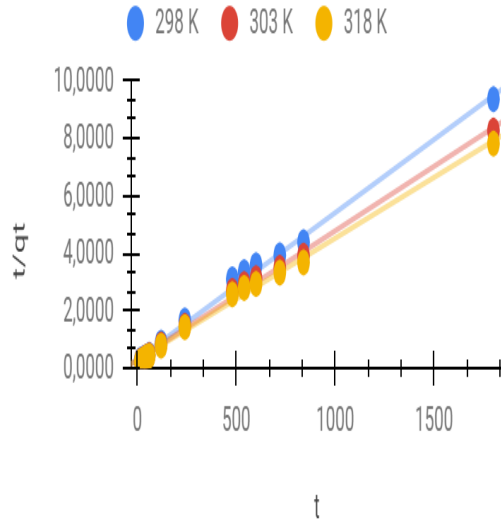
Çizelge 4.21. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik model sabitleri ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$ AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm)

		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.017	0.017	0.006
	$q_{e,calc}$	4990.494	6287.335	281.855
	$q_{e,exp}$	192.505	217.927	230.536
	R^2	0.778	0.765	0.921
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00008	0.00007	0.00006
	$q_{e,calc}$	196.537	223.200	236.575
	$q_{e,exp}$	192.505	217.927	230.536
	R^2	0.995	0.996	0.996
Elovich	β	27.240	32.861	35.217
	α	0.033	0.018	0.015
	$q_{e,exp}$	192.505	217.927	230.536
	R^2	0.934	0.970	0.971
Intraparticle diffusion	k_p	3.264	3.963	4.267
	R^2	0.795	0.835	0.844

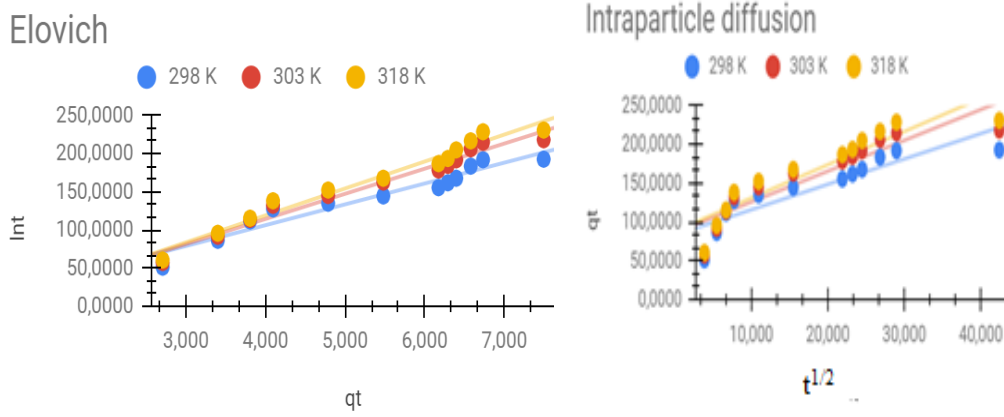
Pseudo first order



Pseudo second order



Şekil 4.41. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order) kinetik grafikleri ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$ AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).



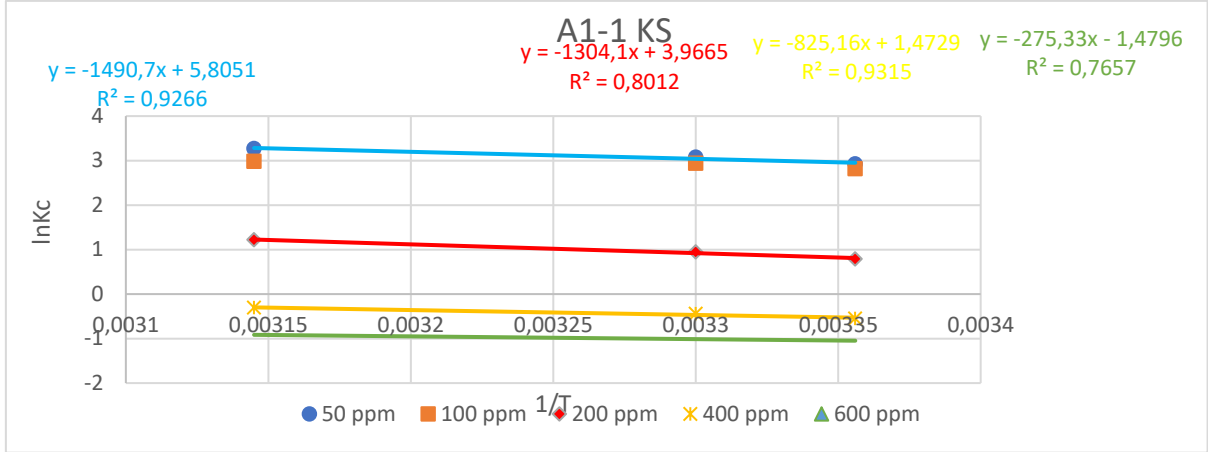
Şekil 4.42. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik (intraparticle diffusion) grafikleri (Co= 200mg/L, V=0,25L AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).

Çizelge 4.21, şekil 4.41 ve şekil 4.42’ye bakıldığında yalancı birinci mertebe (pseudo first order) kinetik, yalancı ikinci mertebe (pseudo second order) kinetik, Elovich ve İnterpartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) oldukça yüksektir. Bu kinetik modelden hesaplanan q_e (calc) değerleri deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri ile iyi uyum göstermektedir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi yalancı ikinci mertebe kinetik modele daha uyumludur.

A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.22. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A1-1 KS/ Co	T(°K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	2.1487	0.7649	-1895.0988	12367.7556	48.1788
	303	2.5523	0.9370	-2321.6161		
	318	3.0143	1.1034	-2733.7803		
100 ppm	298	0.7871	-0.2394	593.0875	12759.6244	40.9530
	303	0.8880	-0.1188	294.2871		
	318	1.0988	0.0943	-233.5401		
200 ppm	298	0.6260	-0.4683	1160.3867	10812.4110	32.8775
	303	0.7726	-0.2580	639.2648		
	318	0.8555	-0.1560	386.6312		
400 ppm	298	0.2681	-1.3164	3261.7039	6846.6602	12.1994
	303	0.2944	-1.2229	3029.8623		
	318	0.3232	-1.1295	2798.5875		
600 ppm	298	0.0892	-2.4172	5988.9890	3340.2510	2.8910
	303	0.0935	-2.3696	5871.1150		
	318	0.0953	-2.3504	5823.4675		

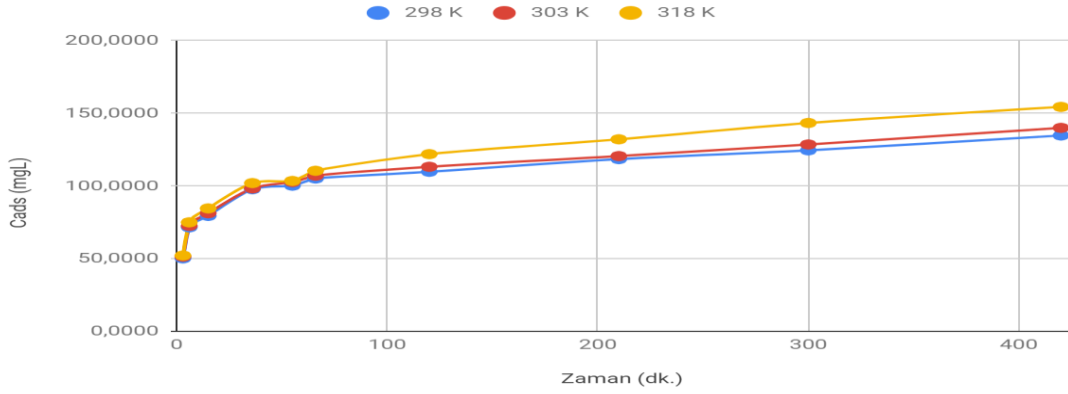


Şekil 4.43. A1-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

Çizelge 4.22 ve Şekil 4.43'e bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. Bu adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyon artacağını göstermektedir. Gibbs serbest enerji değişiminin 50 ppm'deki sıcaklıklarda negatif işaretli olması prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. Fakat daha yüksek konsantrasyonlarda gibbs serbest enerji değişimlerinin pozitif olması adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşmeyeceği adsorpsiyonun devam edebilmesi için dışardan enerjiye ihtiyaç olduğu gözükmemektedir. Entropi (ΔS°) değerlerinin negatif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent-çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu, konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. Aktif karbonun yüzey doygunluğa ulaştığı söylenebilir.

4.2.2. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ve kinolin sarısı deney sonuçları

A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.44. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği.

A1-2 aktif karbonunda metilen mavisinin sıcaklık artışının adsorbe edilen madde miktarını arttığı görülmektedir. Grafikte sıcaklığın metilen mavisi difüzyonunu arttırdığında daha fazla miktarda metilen mavisi sıcaklık arttıkça aktif karbon içine yerleşmiştir. Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır. Adsorbent ve adsorplanan madde molekülleri aralarındaki çarpışmanın artması adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyonu arttırmaktadır

A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.23. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A1-2 MM				Langmuir Freundlich				Temkin D-R		Term	
298	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	%Ads	q _e (mg/g)	Ce/q _e	logCe	logq _e	lnCe	ε ²	lnq _e	1/T
	50	3.1558	46.8442	93.69	117.1105	0.0269	0.4991	2.0686	1.1492	1.06E+07	4.7631	0.003356
	100	11.5328	88.4672	88.47	221.168	0.0521	1.0619	2.3447	2.4452	7.25E+06	5.3989	
	200	65.2742	134.7258	67.36	336.8145	0.1938	1.8147	2.5274	4.1786	6.33E+06	5.8195	
	400	249.3835	150.6165	37.65	376.5413	0.6623	2.3969	2.5758	5.519	6.19E+06	5.9310	
	600	425.6562	174.3438	29.06	435.8595	0.9766	2.6291	2.6393	6.0536	6.17E+06	6.0773	

Çizelge 4.23. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri (devamı)

K	A1-2 MM				Langmür	Freundlich	Temkin	D-R		Term.		
	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	% Ads	q _e (mg/g)	Ce/qe	logCe	logqe	lnCe	ξ ²	lnqe	1/T
303	50	2.8892	47.1108	94.22	117.77	0.0245	0.4608	2.0711	1.061	11123833.38	4.7777	0.0033
	100	9.9876	90.0124	90.01	225.031	0.0444	0.9995	2.3522	2.3013	7429721.476	5.4308	
	200	60.0245	139.9755	69.99	349.9388	0.1715	1.7783	2.544	4.0948	6345129.506	5.9558	
	400	226.6432	173.3568	43.34	433.392	0.523	2.3553	2.6369	5.4234	6193171.553	6.1079	
	600	422.4436	177.5564	29.59	443.891	0.9517	2.6258	2.6473	6.0461	6167977.913	6.1342	
318	50	2.4655	47.5345	95.07	118.8363	0.0207	0.3919	2.0749	0.9024	12128607.06	4.8283	0.003145
	100	8.6654	91.3346	91.33	228.3365	0.038	0.9378	2.3586	2.1593	7637506.054	5.5215	
	200	45.6044	154.3956	77.2	385.989	0.1181	1.659	2.5866	3.82	6411054.709	6.2146	
	400	220.2442	179.7558	44.94	449.3895	0.4901	2.3429	2.6526	5.3947	6194752.523	6.9078	
	600	415.454	184.546	30.76	461.365	0.9005	2.6185	2.664	6.0294	6168468.048	7.3132	

A1-2 Aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

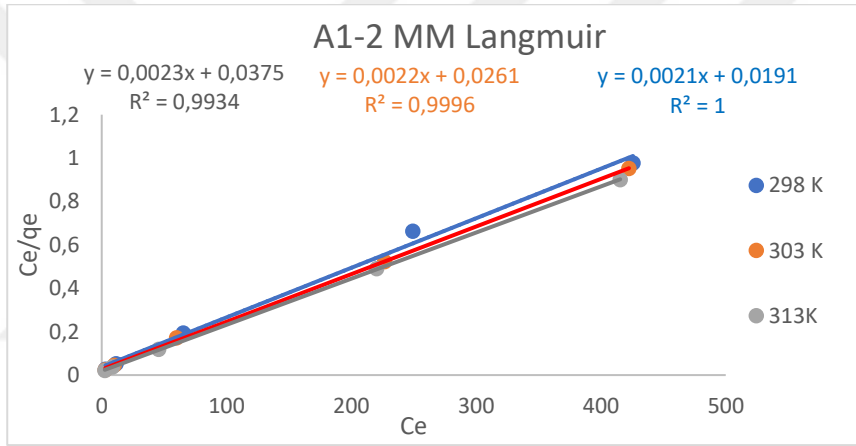
Çizelge 4.24. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri.

A1-2 MM	T(K)	298	303	318
Langmuir	b	0.0609	0.0840	0.1112
	Q _m	437.8614	455.6840	470.4583
	R ²	0.9934	0.9996	1.0000
Freundlich	n	4.0327	3.8835	3.9168
	1/n	0.2480	0.2575	0.2553
	K _f	103.3932	106.4083	115.1877
Temkin	R ²	0.9289	0.9288	0.8991
	B (J mol ⁻¹)	61.3656	66.6289	68.2076
	A _T (L g ⁻¹)	2.6614	2.5281	3.1873
D-R	b _T	40.3756	37.1862	36.3255
	R ²	0.9812	0.9862	0.9612
	X'm (mg g ⁻¹)	1901.3089	1876.8991	1589.3273
D-R	K' (mol ⁻² J ²)	0.000000267	0.000000254	0.000000219
	R ²	0.9277	0.9283	0.9274
	E (kJmol ⁻¹)	0.000730557	0.00071323	0.00066215

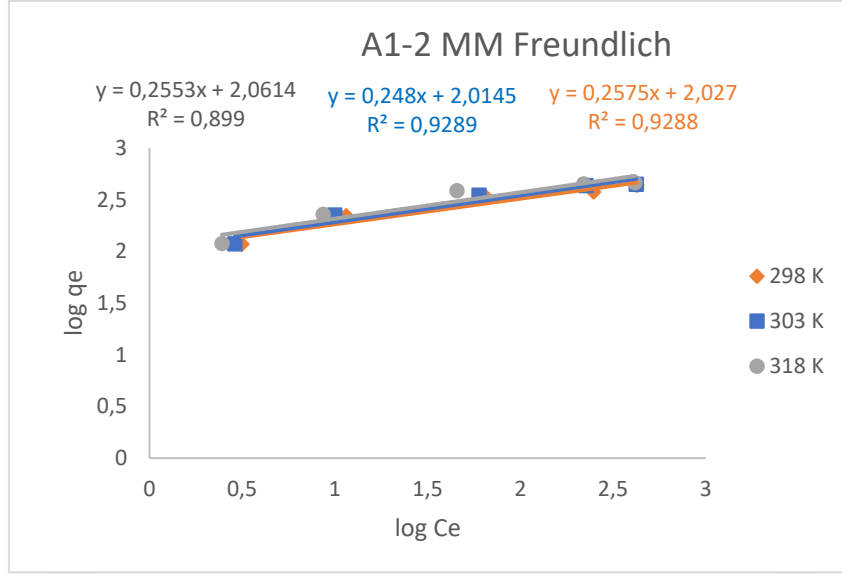
Çizelge 4.23'e bakıldığında aynı sıcaklıkta Adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.24'de görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayıları 0.90'ın üzerinde olduğu en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir İzoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C'de 437.8614 mg/g, 30 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 455.6840 mg/ g, 45 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 470.4583 mg/ g dır. Sıcaklık artıkça adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Langmuir

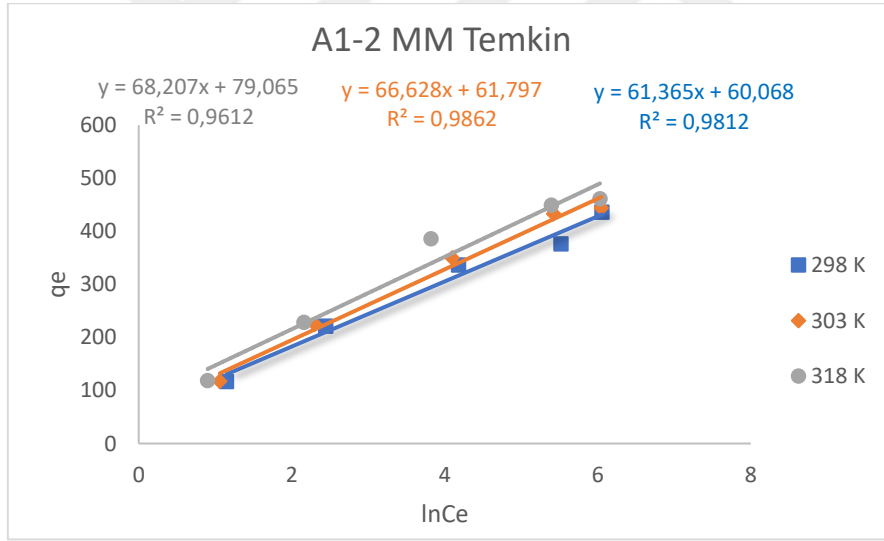
regresyon sayısının 1'e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği söylenebilir. Freundlich izoterm sabitlerine göre $1/n$ değerlerini $0.1 < 1/n < 0.5$ arasında olması adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre sıcaklık artıkcı bağlanma enerjisinin de arttığı, D-R izoterminde E değerlerine bakıldığında 2' den küçük olmasından dolayı adsorpsiyonun fiziksel olarak gerçekleştiği söylenebilir. Langmuir izoterminde bağlanma enerjisinin 0.0609'den 0.1112'ye sıcaklıkla artışı olurken, D-R izoterminde E değerinin 0.0007305572'den 0.00066215'e düşmesi adsorpsiyon enerjisinin sıcaklıkla düştüğünü göstermektedir. Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48'de verilmiştir.



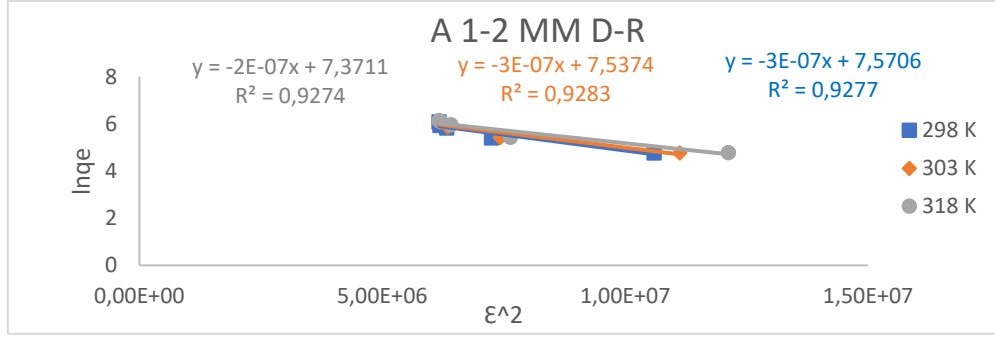
Şekil 4.45. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (C_0 = 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V =0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.46. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Freundlich izotermi (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.47. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).

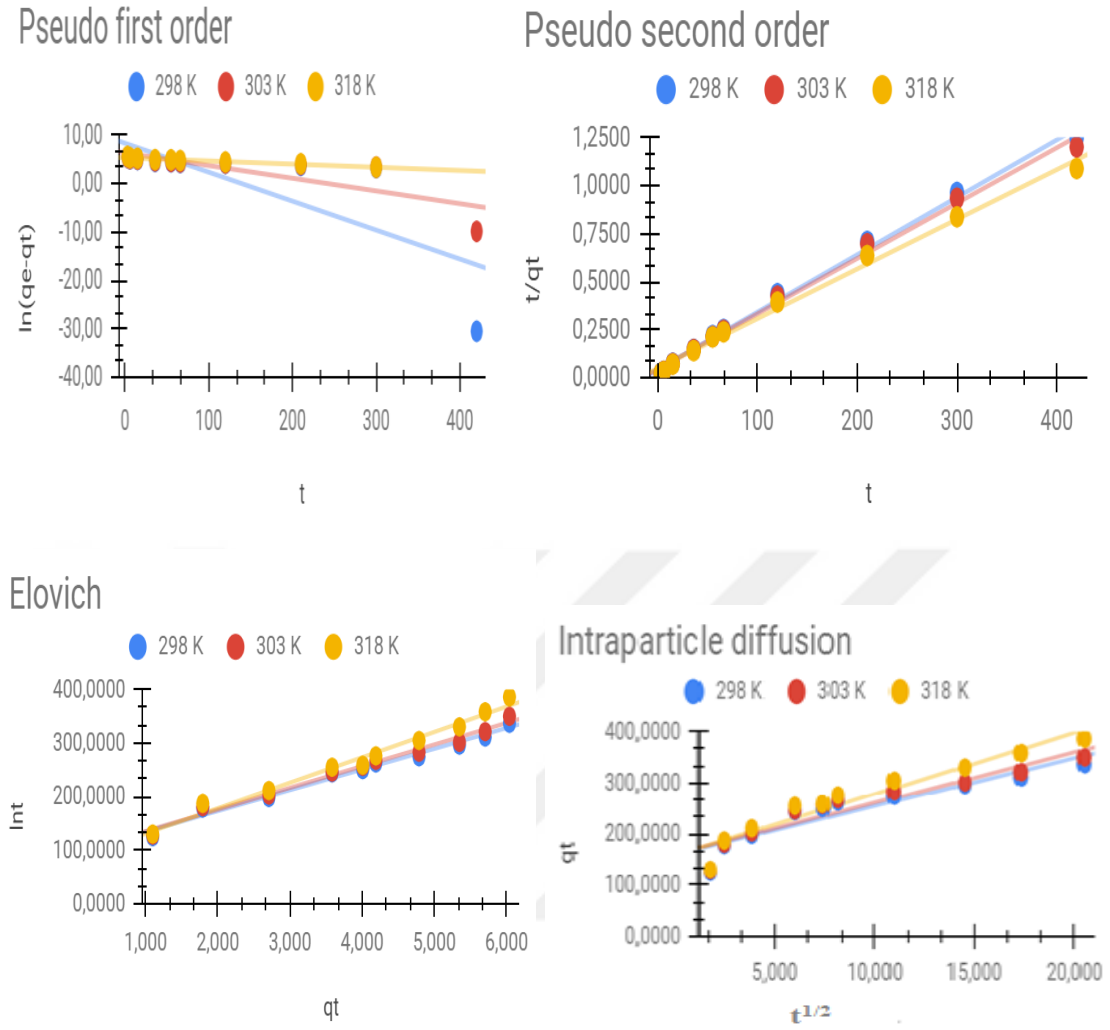


Şekil 4.48. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C,30°C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).

A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

Çizelge 4.25. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon (interparticle diffusion) kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm)

T(K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.060	0.026	0.007
	$q_{e,calc}$	3909.387	539.004	195.334
	$q_{e,exp}$	336.815	349.939	385.989
	R^2	0.591	0.658	0.957
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00020	0.00018	0.00013
	$q_{e,calc}$	335.205	347.512	387.423
	$q_{e,exp}$	336.815	349.939	385.989
	R^2	0.995	0.994	0.993
Elovich	β	38.648	40.376	47.377
	α	0.312	0.263	0.124
	$q_{e,exp}$	336.815	349.939	385.989
	R^2	0.983	0.985	0.982
Intraparticle diffusion	k_p	9.370	9.868	11.883
	R^2	0.865	0.881	0.926



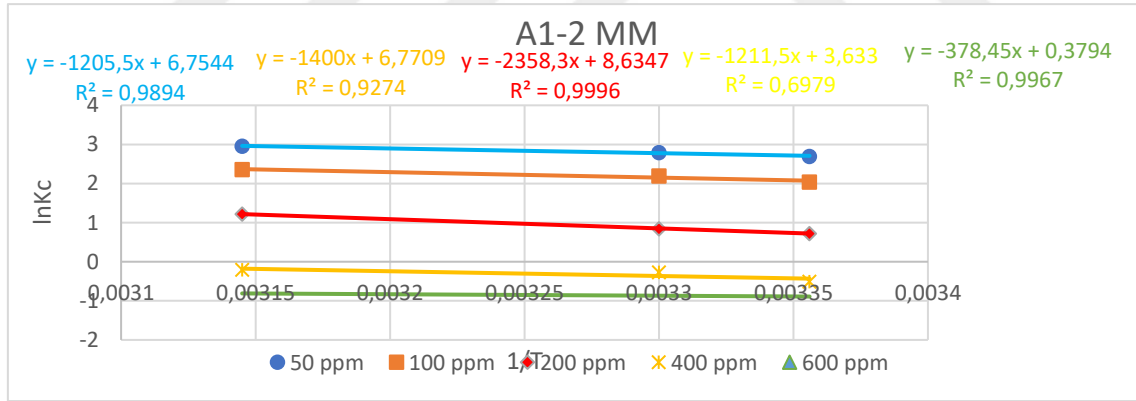
Şekil 4.49. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrapartiküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD=1\text{g}$, $\text{pH}=6-7$, $KH=200\text{rpm}$).

Çizelge 4.25 ve Şekil 4.49'a bakıldığında yalancı birinci mertebe (pseudo first order), pseudo ikinci mertebe kinetik, Elovich ve İnterpartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) oldukça yüksektir. Bu kinetik modellerden yalancı birinci mertebeden kinetik model, regresyon (korelasyon) sayısı en yüksek ve hesaplanan q_e (calc) değerleri deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri ile iyi uyum göstermektedir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi yalancı ikinci mertebe kinetik modele daha uyumludur.

A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.26. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A1-2MM/ Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	14.8438	2.6976	-6683.7428	10006.8090	56.1049
	303	16.3058	2.7915	-6916.4895		
	318	19.2799	2.9591	-7331.5956		
100 ppm	298	7.6709	2.0374	-5048.1087	11614.9493	56.2121
	303	9.0124	2.1986	-5447.4268		
	318	10.5401	2.3552	-5835.4024		
200 ppm	298	2.0640	0.7246	-1795.4351	19585.6140	71.7189
	303	2.3320	0.8467	-2097.8847		
	318	3.3855	1.2195	-3021.5608		
400 ppm	298	0.6040	-0.5043	1249.3807	10037.5263	30.0882
	303	0.7649	-0.2680	664.0794		
	318	0.8162	-0.2031	503.3094		
600 ppm	298	0.4096	-0.8926	2211.5807	3143.3066	3.1489
	303	0.4203	-0.8668	2147.5696		
	318	0.4442	-0.8115	2010.5678		



Şekil 4.50 A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafikleri.

Çizelge 4.26 ve şekil 4.50'ye bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyon arttığını göstermektedir Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm deki

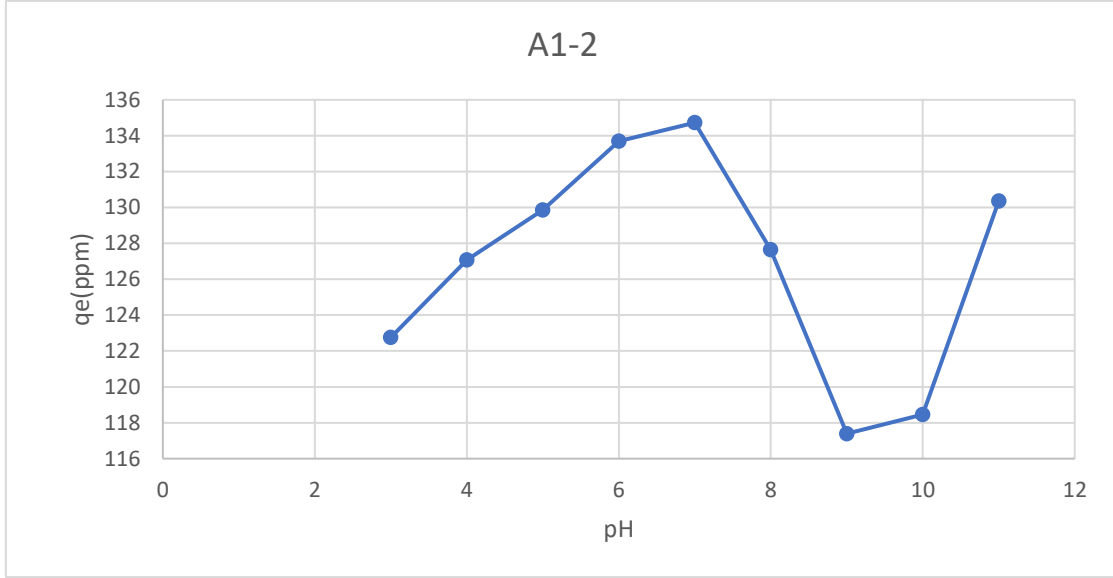
sıcaklıklarda (ΔG°) negatif işaretlidir. Gibbs serbest enerji değişimlerinin negatif olması, prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. 400 ppm ve 600 ppm deki sıcaklıklarda daha önce kendiliğinden gerçekleşen adsorpsiyonun yeterli doygunluğa ulaştığını göstermektedir. Entropi (ΔS°) değerlerinin pozitif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent-çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin 56.1049 J/mol K' den 3.14892'ye düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. A1-1 MM adsorpsiyonunda olduğu gibi aktif karbon yüzey doygunluğunun arttığı söylenebilir.

A1-2 Aktif Karbonunun Metilen Mavisi Adsorpsiyonunu Başlangıç pH Değişiminin Etkisi

Metilen mavisi A1-2 aktif karbonunda pH 3, pH 4, pH 5, pH 6, pH 7, pH 8, pH 9, pH 10, pH 11 denge konsantrasyonları ve son pH'larının tablosu çizelge 4.27'de verilmiştir. pH ayarlamaları asit için HCl(Hidroklorik asit) , baz için NaOH(sodyum hidroksit) kullanılmıştır.

Çizelge 4.27. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

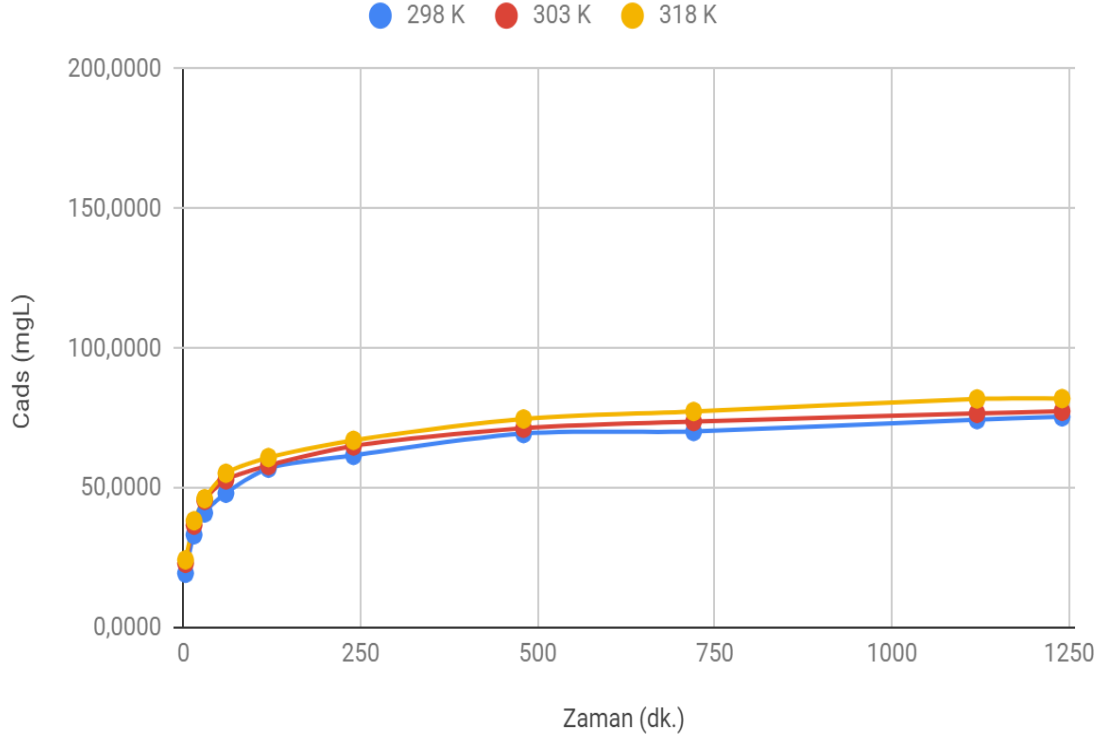
Aktif karbon	Co(MM)ppm	q _e (ppm)	Başlangıç pH	Son Ph
A1-2	200	122.7634	3	3.66
	200	127.0678	4	6.74
	200	129.8654	5	7.03
	200	133.6984	6	7.04
	200	134.7258	7	6.99
	200	127.6544	8	7.69
	200	117.3942	9	7.89
	200	118.4632	10	8.19
	200	130.3644	11	9.87



Şekil 4.51. A1-2 aktif karbonunun metilen mavisini adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.

Çizelge 4.27 ve şekil 4.51'e bakıldığında adsorpsiyonun metilen mavisinin doğal pH aralığında (pH=7.50) en yüksek adsorpsiyonu verdiği görülmüştür. Asit ortamında ortak iyon etkisinden dolayı metilen mavisinin adsorpsiyonu asidik pH larda pH artarken adsorpsiyon azalmıştır. Bazik ortamda pH artarken adsorpsiyon artsada pH=7' deki kadar artış göstermemiştir. Bunun nedeni sodyum hidroksitteki hidroksil iyonlarının normal ortamda boyar madde ile zayıf bağlar oluşturmasıdır. Daha önce A1-1 metilen mavisini adsorpsiyonunda olduğu gibi sodyum hidroksit ve metilen mavisi arasında gerçekleşen etkileşim nedeniyle bazik ortamda pH 7'ye göre adsorpsiyonu azaltmış, hidroksil iyonlarının pH8 ve pH9 da hidroksil iyonları adsorbe edilirken, pH 10 ve pH 11 de sistemin pH sı sırasıyla 8.19 ve 9.87'ye kadar düşmüştür. Bazik ortamda hidroksil iyonlarının artışı pH10'da en yüksek değere varmış, bu olayın aktif karbon yüzeyin hidroksil iyonlarının adsorpsiyona negatif etkisini yitirip metilen mavisinin gözenekler içerisinde daha fazla adsorbe olmasını sağladığı düşünülmektedir.

A1-2 kinolin sarisi adsorpsiyonunda sicaklik ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.52. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarisi ile adsorpsiyonu sicaklik konsantrasyon grafiği.

A1-2 aktif karbonunda kinolin sarisi Adsorpsiyonunda geçen süre içerisinde sıcaklık artışıyla adsorbe edilen madde miktarını artırdığı görülmektedir. Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır. Adsorbent ve adsorplanan madde molekülleri aralarındaki çarpışmanın artması adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyonu artırmaktadır.

A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.28. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A1-2 KS	Langmüir				Freundlich		Temkin		D-R		Termo
	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	%Ads.	qe(mg/g)	Ce/qe	logCe	logqe	lnCe	Σ^2	lnqe	1/T
298	50	26.003	23.996	47.9	59.991	0.4335	1.415	1.778	3.2582	6.62E+06	4.094	0.003356
	100	56.198	43.801	43.8	109.50	0.5132	1.749	2.039	4.0289	6.36E+06	4.696	
	200	124.55	75.445	37.7	188.61	0.6604	2.095	2.275	4.8247	6.24E+06	5.239	
	400	317.18	82.815	20.7	207.03	1.5320	2.501	2.316	5.7595	6.18E+06	5.332	
	600	508.3634	91.6366	15.27	229.0915	2.2190	2.7062	2.3600	6.2312	6.16E+06	5.4341	
303	50	25.1243	24.8757	49.75	62.1893	0.4040	1.4001	1.7937	3.2238	6637285.7745	4.1302	0.0033
	100	53.6284	46.3716	46.37	115.9290	0.4626	1.7294	2.0642	3.9821	6369955.7399	4.7530	
	200	122.5644	77.4356	38.72	193.5890	0.6331	2.0884	2.2869	4.8086	6239462.4529	5.2657	
	400	311.0698	88.9302	22.23	222.3255	1.3992	2.4929	2.3470	5.7400	6178412.7577	5.4041	
	600	505.1744	94.8256	15.80	237.0640	2.1310	2.7034	2.3749	6.2249	6163207.9048	5.4683	
318	50	23.0346	26.9654	53.93	67.4135	0.3417	1.3624	1.8287	3.1370	6683463.4998	4.2108	0.003145
	100	48.2436	51.7564	51.76	129.3910	0.3729	1.6834	2.1119	3.8763	6396012.5500	4.8628	
	200	118.0344	81.9656	40.98	204.9140	0.5760	2.0720	2.3116	4.7710	6243338.9624	5.3226	
	400	303.5428	96.4572	24.11	241.1430	1.2588	2.4822	2.3823	5.7155	6179394.6738	5.4854	
	600	501.7246	98.2754	16.38	245.6885	2.0421	2.7005	2.3904	6.2181	6163375.3482	5.5041	

A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

Çizelge 4.29. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyon sabitleri

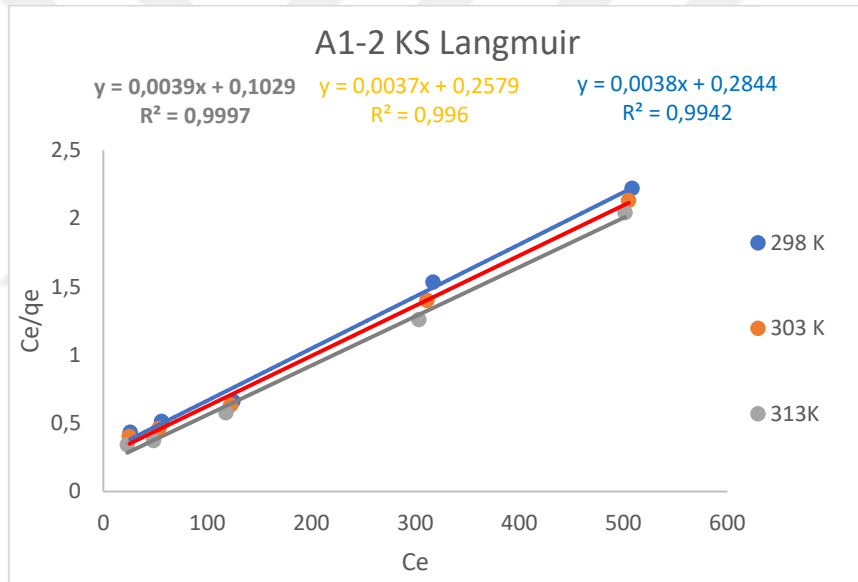
A1-2 KS	T(K)	298	303	318
Langmuir	b	0.0134	0.0143	0.0180
	Q _m	262.2552	272.0450	277.2757
	R ²	0.9942	0.9960	0.9997
Freundlich	n	2.3004	2.3134	2.4717
	1/n	0.4347	0.4323	0.4046
	K _f	17.5287	18.7502	23.5241
	R ²	0.8902	0.8921	0.8761
Temkin	B (J mol ⁻¹)	56.9060	59.1743	59.1584
	A _T (L g ⁻¹)	0.1315	0.1371	0.1756
	b _T	43.5398	41.8708	41.8821
	R ²	0.9451	0.9541	0.9455
D-R	X'm (mg g ⁻¹)	16733813287.2776	10123663602.7385	1488432736.7642
	K' (mol ⁻² J ²)	0.000002944	0.000002855	0.000002533
	R ²	0.9824	0.9891	0.9965
	E (kJmol ⁻¹)	0.0024265	0.0023894	0.0022509

Çizelge 4.28’de bakıldığında aynı sıcaklıkta adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

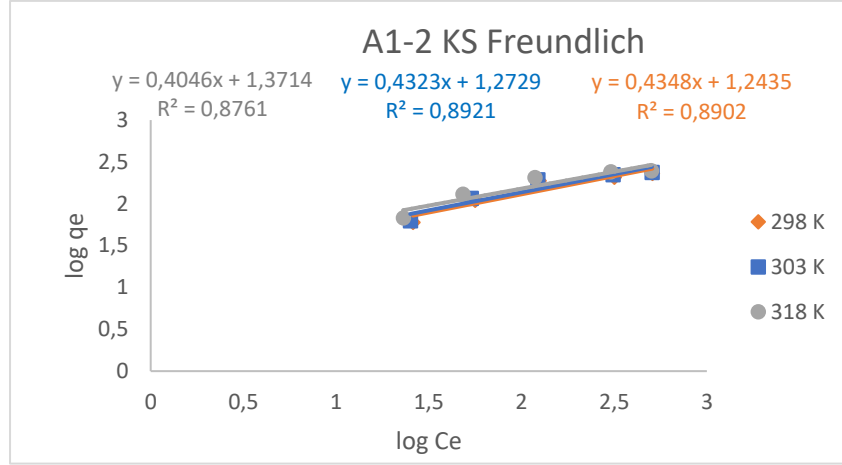
Çizelge 4.29’da görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayılarının 0.87’in üzerinde olduğu, en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir İzoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C’de 262.2552 mg/g, 30 °C’de maksimum adsorpsiyon 272.0450mg/ g, 45 °C’de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 277.2757mg/ g

dır. Sıcaklık arttıkça adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regrasyon sayısının 1'e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği b değerine bakılarak bağlanma enerjisinin sıcaklıkla arttığı, Freundlich izoterm sabitlerine göre $1/n$ değerler 0.4347-0.4323-0.4046 adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre 56,9060-59,1743-59,1584joule/mol olduğu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyon enerjisinin arttığı, 45°C de düşüş yolduğu gözükmemektedir. D-R izoterminde E değerine bakılarak adsorpsiyonun fiziksel bir adsorpsiyon olduğu söylenebilir.

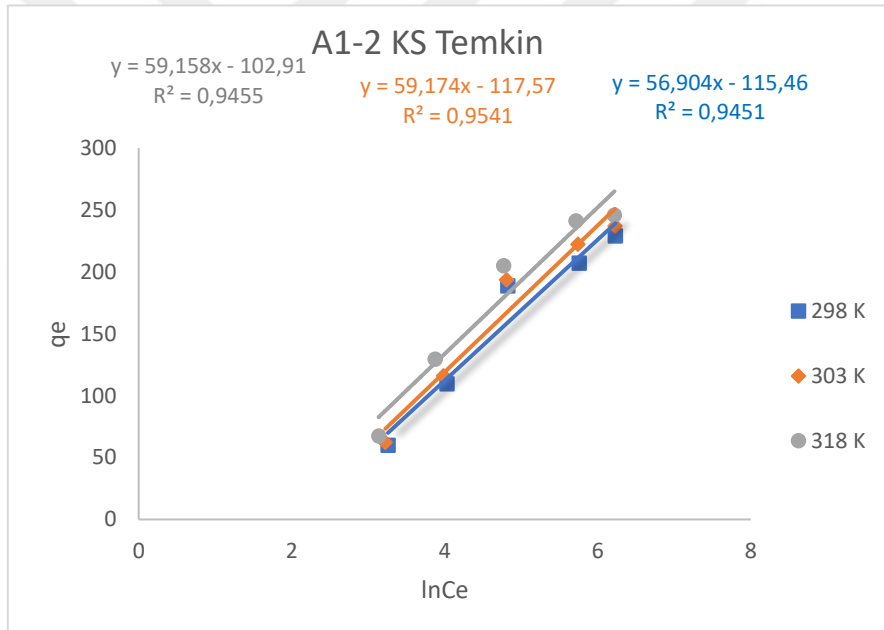
Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55, Şekil 4.56'da verilmiştir.



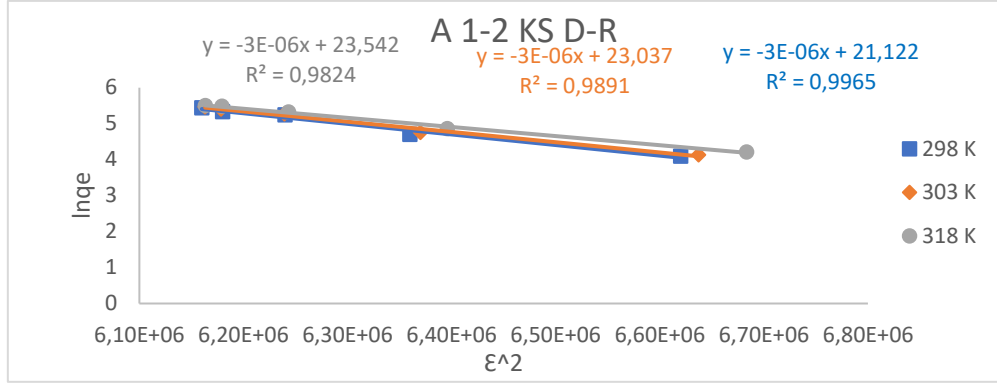
Şekil 4.53. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25 AD= 1 g, pH=6-7, KH=200 rpm).



Şekil 4.54. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği ($C_0 = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD = 1 g, pH = 6, KH = 200 rpm).



Şekil 4.55. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği ($C_0 = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD = 1 g, pH = 6, KH = 200 rpm).



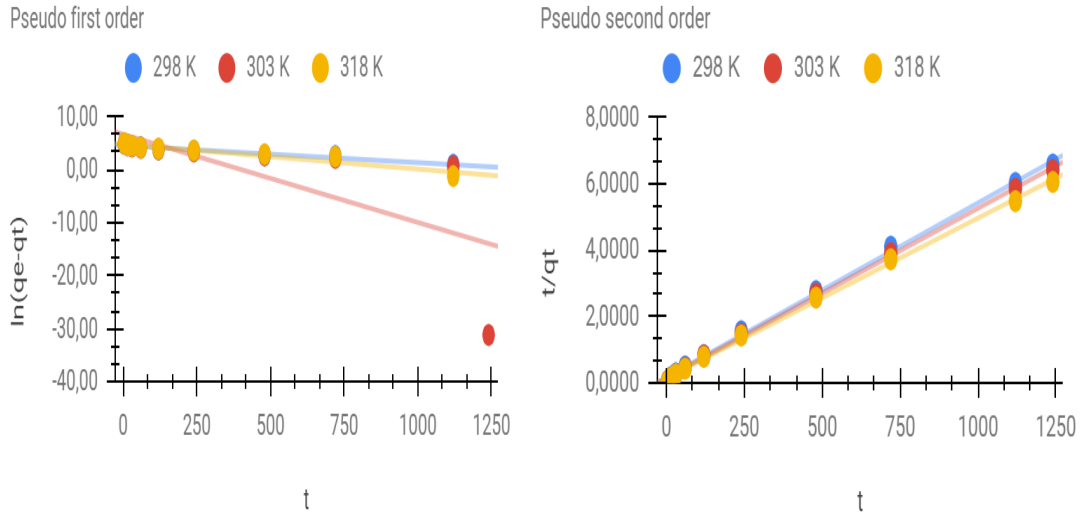
Şekil 4.56. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki D-R izotermi (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).

A1-2 aktif karbonu ile kinolin sarısı adsorpsiyonunda izotermelere bakıldığı zaman üç sıcaklıkta en uygun izotermin Langmuir izotermi olduğu görülmekle birlikte diğer izotermelerin de R^2 değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu adsorpsiyona başka faktörlerin de etki ettiğini göstermektedir.

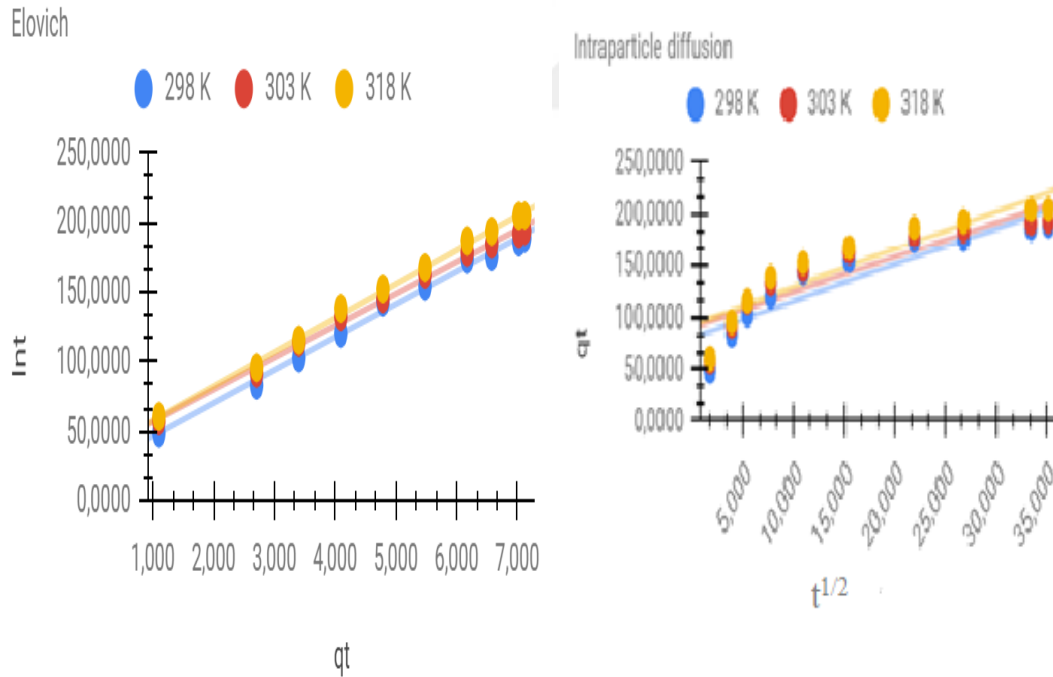
A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

Çizelge 4.30. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30°C ve 45 °C’deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrapartiküler difüzyon (intraparticle diffusion) kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0.25L, AD= 1g, pH=6-7, KH= 200 rpm)

T(°K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.003	0.017	0.005
	$q_{e,calc}$	93.008	793.425	121.017
	$q_{e,exp}$	188.613	193.589	204.914
	R^2	0.956	0.504	0.931
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00016	0.00017	0.00015
	$q_{e,calc}$	190.566	195.835	208.065
	$q_{e,exp}$	188.613	193.589	204.914
	R^2	0.999	0.999	0.998
Elovich	β	23.634	22.900	24.463
	α	0.112	0.193	0.159
	$q_{e,exp}$	188.613	193.589	204.914
	R^2	0.995	0.995	0.997
Intraparticle diffusion	k_p	3.520	3.398	3.672
	R^2	0.838	0.833	0.854



Şekil 4.57. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order) kinetik model grafikleri ($C_o = 200\text{mg/L}$, $V = 0,25\text{L}$, $AD = 1\text{ g}$, $\text{pH} = 6-7$, $KH = 200\text{ rpm}$).



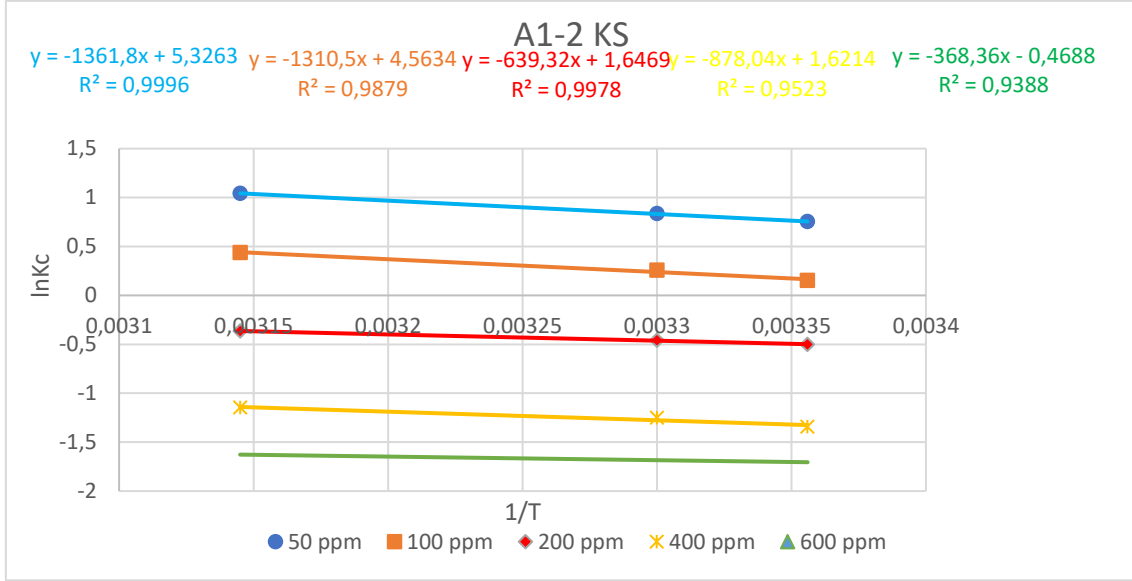
Şekil 4.58. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Elovich, intreparküler difüzyon kinetik model grafikleri ($C_o = 200\text{mg/L}$, $V = 0,25\text{L}$, $AD = 1\text{ g}$, $\text{pH} = 6-7$, $KH = 200\text{ rpm}$).

Çizelge 4.30, şekil 4.57 ve 4.58’de elde edilen verilere gre hesaplanan yalancı birinci mertebe (pseudo first order), pseudo ikinci mertebe kinetik, Elovich, İnterpartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) oldukça yüksektir. Bu kinetik modellerden regrasyon (kolarelasyon) sayısı en yüksek ve hesaplanan q_e (calc) değerleri deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri ile iyi uyum göstermektedir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi yalancı ikinci mertebe kinetik modele daha uyumludur.

A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.31. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A1-2 KS / Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	2.1243	0.7535	-1866.8283	11309.6054	44.2399
	303	2.3059	0.8355	-2070.0678		
	318	2.8359	1.0424	-2582.6678		
100 ppm	298	1.1646	0.1523	-377.4740	10878.1718	37.8816
	303	1.2921	0.2563	-634.9223		
	318	1.5482	0.4371	-1082.9528		
200 ppm	298	0.6057	-0.5013	1242.1563	5310.7989	13.6771
	303	0.6318	-0.4592	1137.7241		
	318	0.6944	-0.3647	903.5502		
400 ppm	298	0.2611	-1.3429	3327.1969	7284.4530	13.4243
	303	0.2859	-1.2522	3102.4609		
	318	0.3178	-1.1464	2840.4657		
600 ppm	298	0.1803	-1.7134	4245.1658	3056.1858	3.9188
	303	0.1877	-1.6729	4144.8162		
	318	0.1959	-1.6303	4039.3002		

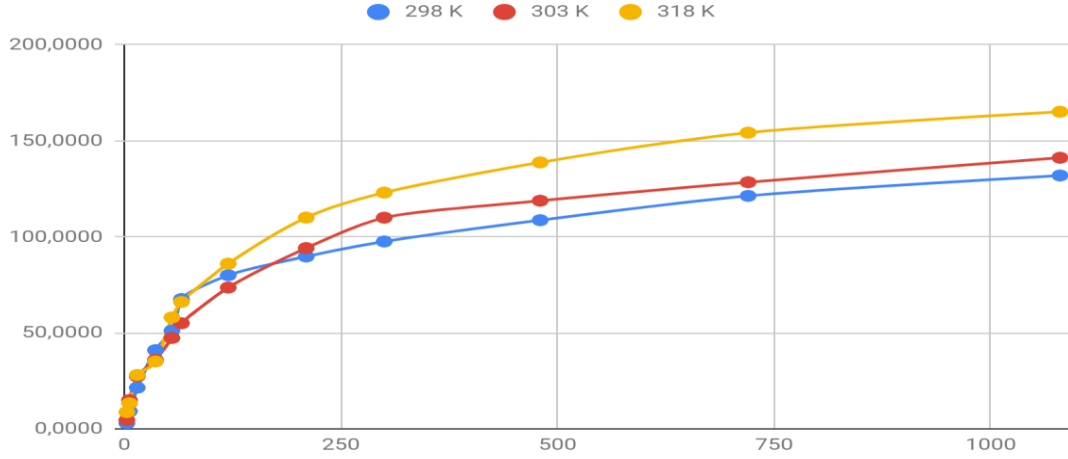


Şekil 4.59. A1-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

Çizelge 4.31 ve Şekil 4.59'a bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. Bu adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyon arttığını göstermektedir. Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm ve 100 ppm deki sıcaklıklarda (ΔG°) negatif işaretli olması prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. Fakat daha yüksek konsantrasyonlarda, gibbs serbest enerji değişimlerinin pozitif olması adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşmeyeceğini adsorpsiyonun devam edebilmesi için dışardan enerjiye ihtiyaç olduğu göstermektedir. Entropi (ΔS°) değerlerinin negatif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent-çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu, konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. Bundan dolayı aktif karbon yüzey doygunluğa ulaştığı söylenebilir.

4.2.3. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi ve kinolin sarısı deney sonuçları

A2-1 Aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.60. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği.

A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.32. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A2-1 MM					Langmuir	Freundlich	Temkin	D-R	Term		
	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	qe(ppm)	% Ads.	Ce/qe(mg/g)	logCe	logqe	lnCe	£^2	lnqe	1/T
298	50	1.9802	48.0198	96.04	120.0495	0.0165	0.2967	2.0794	0.6832	1.39E+07	4.7879	0.003356
	100	2.3044	97.6956	97.7	244.239	0.0094	0.3626	2.3878	0.8348	1.26E+07	5.4981	
	200	68.079	131.921	65.96	329.8025	0.2064	1.833	2.5183	4.2207	6.32E+06	5.7985	
	400	253.5668	146.4332	36.61	366.083	0.6926	2.4041	2.5636	5.5356	6.19E+06	5.9029	
	600	453.1266	146.8734	24.48	367.1835	1.2341	2.6562	2.5649	6.1162	6.17E+06	5.9059	
303	50	1.6418	48.3582	96.72	120.8955	0.0136	0.2153	2.0824	0.4958	15894559.72	4.7949	
	100	2.7866	97.2134	97.21	243.0335	0.0115	0.4451	2.3857	1.0248	11335449.04	5.4932	0.0033
	200	58.8301	141.1699	70.58	352.9248	0.1667	1.7696	2.5477	4.0747	6349352.191	5.8663	
	400	245.6454	154.3546	38.59	385.8865	0.6366	2.3903	2.5865	5.5039	6188963.222	5.9555	
	600	446.4212	153.5788	25.6	383.947	1.1627	2.6497	2.5843	6.1013	6166413.287	5.9505	
318	50	1.4234	48.5766	97.15	121.4415	0.0117	0.1533	2.0844	0.353	17794484.76	4.7994	
	100	2.2382	97.7618	97.76	244.4045	0.0092	0.3499	2.3881	0.8057	12849868.62	5.4988	
	200	34.8816	165.1184	82.56	412.796	0.0845	1.5426	2.6157	3.552	6495909.101	6.023	0.003145
	400	231.1966	168.8034	42.2	422.0085	0.5478	2.364	2.6253	5.4433	6192099.974	6.045	
	600	436.2456	163.7544	27.29	409.386	1.0656	2.6397	2.6121	6.0782	6167056.25	6.0147	

A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

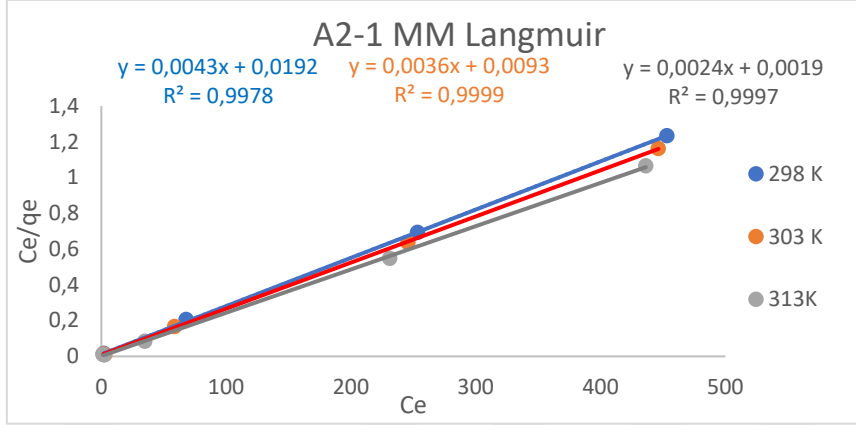
Çizelge 4.33. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri

A2-1 MM	T(K)	298	303	318
Langmuir	b	2.372	0.3086	1.2808
	Q_m	370.5957	387.5024	413.0055
	R^2	0.99997	0.9999	0.9997
Freundlich	n	6.4481	5.8798	5.6287
	1/n	0.1551	0.1701	0.1777
	K_f	154.3544	152.4772	163.9252
	R^2	0.7155	0.7755	0.7350
Temkin	B (J mol ⁻¹)	37.1353	41.8789	46.3773
	A_T (L g ⁻¹)	67.3057	38.8558	40.3175
	b_T	66.7203	59.1629	53.4244
	R^2	0.8280	0.8766	0.8131
D-R	X^*m (mg g ⁻¹)	711.9186	768.0463	801.5223
	K' (mol ⁻² J ²)	0.000000109	0.000000112	0.000000102
	R^2	0.8107	0.9762	0.9810
	E (kJmol ⁻¹)	0.00046783	0.00047394	0.00047394

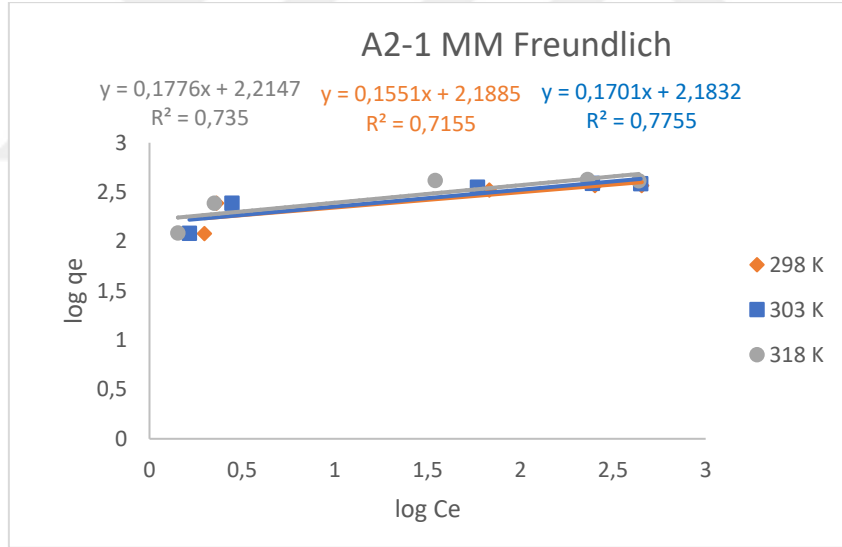
Çizelge 4.32. bakıldığında aynı sıcaklıkta adsorbat konsantrasyonun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.33'de görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayılarının 0.70'in üzerinde olduğu en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir İzoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C'de 370.5957 mg/g, 30 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 387.5024mg/ g, 45 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 439.4433mg/ g dır. Sıcaklık artıkça adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regresyon sayısının 1'e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği söylenebilir. Freundlich izoterm sabitlerine göre 1/n değerlerini 0.1<1/n <0.5 arasında olması yani 0.1551-0.1701-0.1777 değerlere sahip olması adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğunu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiğini, Temkin izotermi B verisine göre sıcaklık artıkça bağlanma enerjisinin de arttığı, D-R izoterminde E değerlerine bakıldığında 8 kJmol⁻¹'den küçük olmasından dolayı adsorpsiyonun fiziksel olarak gerçekleştiği söylenebilir.Langmuirizoterminde bağlanma enerjisinin 0.23722'den 1.28082 e sıcaklıkla artışı görülmektedir.

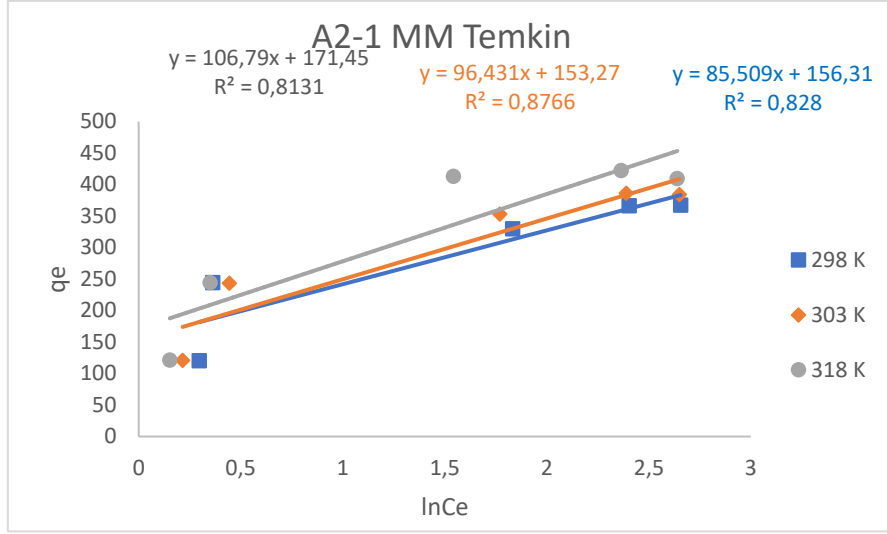
Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64’de verilmiştir.



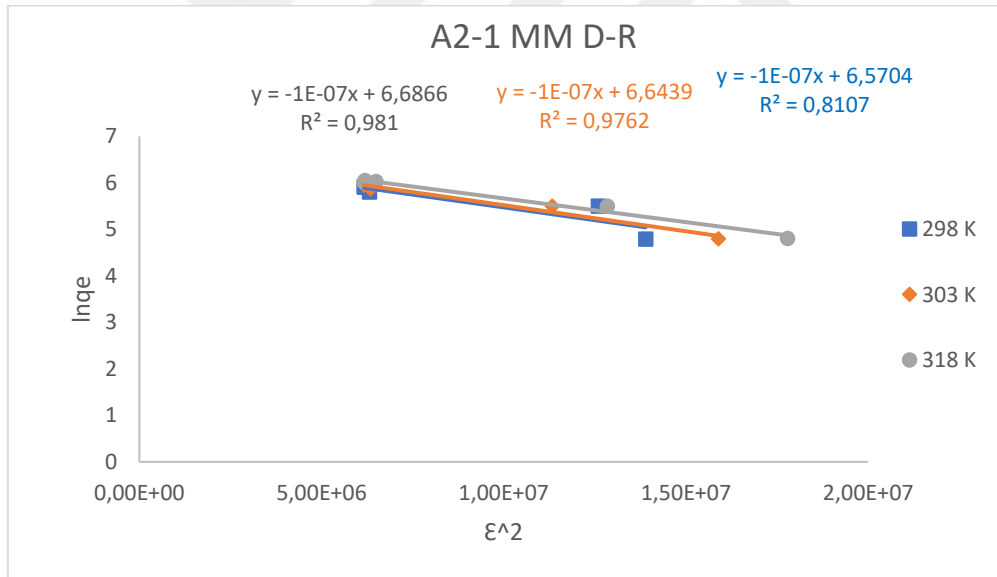
Şekil 4.61. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Langmuir izotermi grafiği ($C_0 = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.62. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Freundlich izotermi grafiği ($C_0 = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.63. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği ($C_o = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V=0,25$ L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



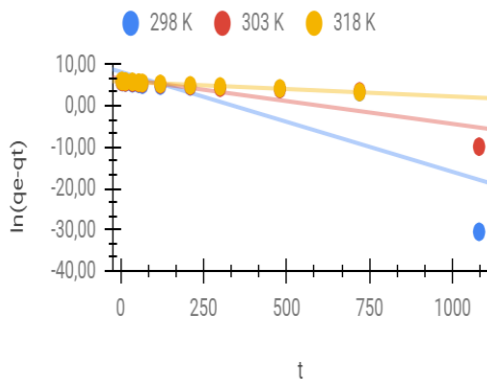
Şekil 4.64. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği ($C_o = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V=0,25$ L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).

A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

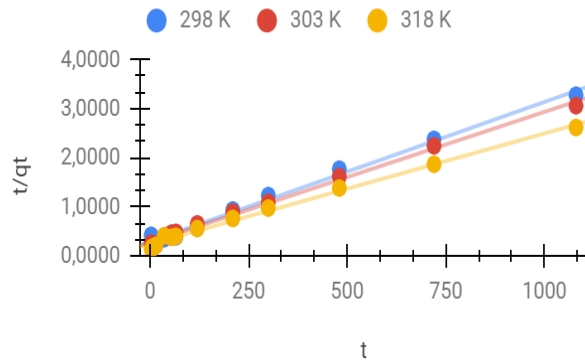
Çizelge 4.34. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik model sabitleri ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0.25\text{L}$, $AD= 1\text{ g}$, $r. \text{pH}=6-7$, $KH= 200\text{ rpm}$)

T(°K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.024	0.011	0.004
	$q_{e,calc}$	3691.052	756.733	344.078
	$q_{e,exp}$	329.803	352.925	412.796
	R^2	0.646	0.736	0.984
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00003	0.00003	0.00002
	$q_{e,calc}$	351.777	376.230	444.070
	$q_{e,exp}$	329.803	352.925	412.796
	R^2	0.994	0.994	0.993
Elovich	β	57.630	60.989	72.129
	α	0.004	0.004	0.003
	$q_{e,exp}$	329.803	352.925	412.796
	R^2	0.983	0.959	0.953
Intraparticle diffusion	k_p	10.244	11.215	13.335
	R^2	0.894	0.933	0.937

Pseudo first order

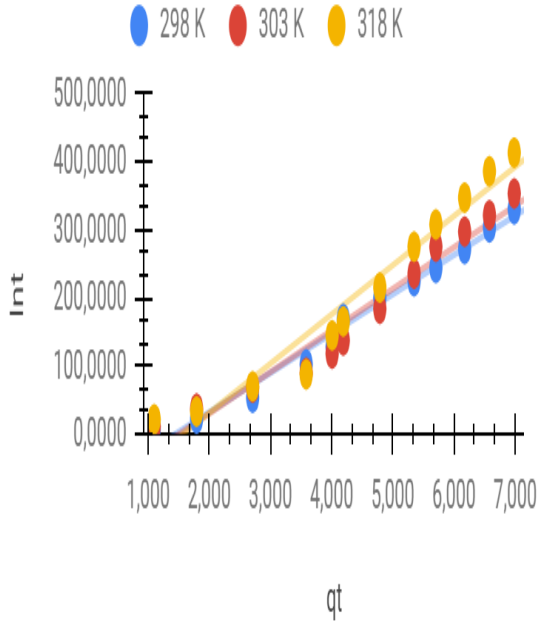


Pseudo second order

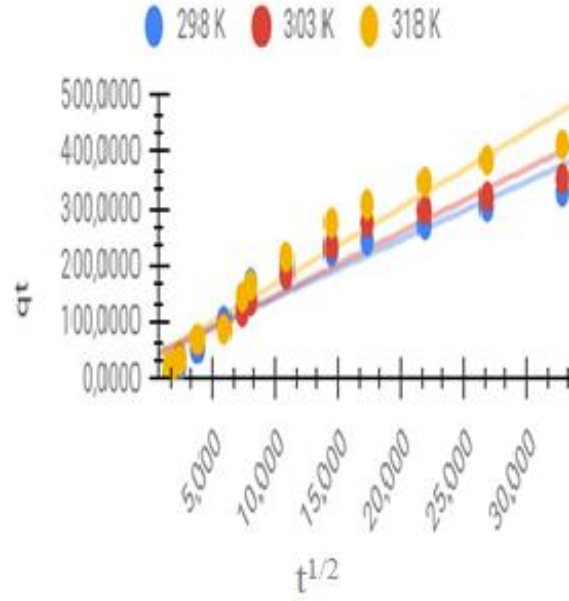


Şekil 4.65. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C,30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0.25\text{L}$, $AD= 1\text{g}$, $\text{pH}=6-7$, $KH= 200\text{ rpm}$).

Elovich



Intraparticle diffusion



Şekil 4.65. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrapartiküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0.25\text{L}$, $AD=1\text{ g}$, $\text{pH}=6-7$, $KH=200\text{ rpm}$) (devamı).

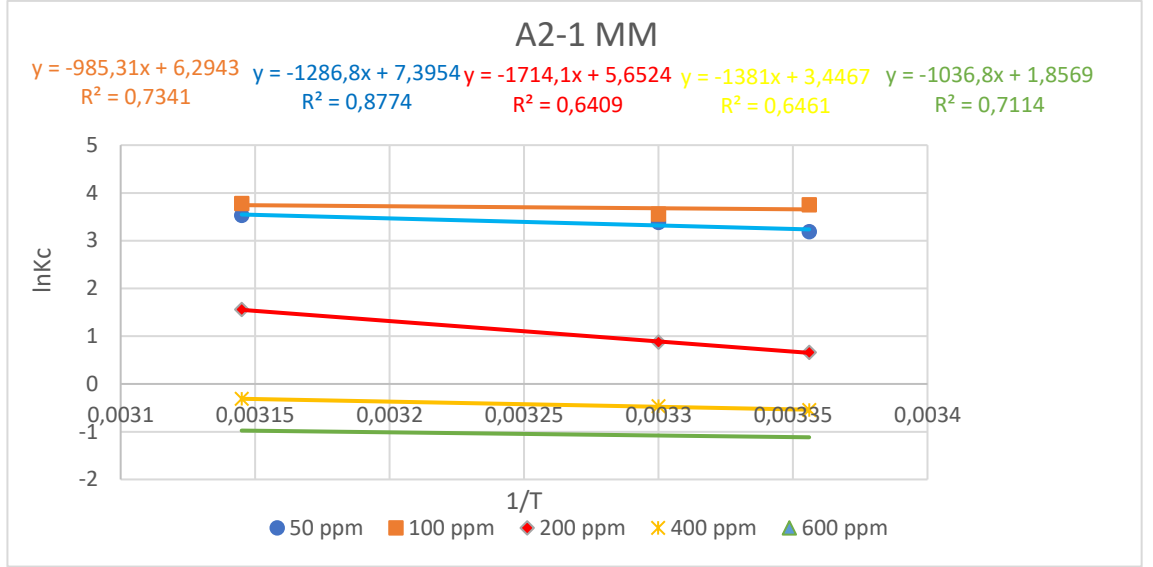
Çizelge 4.34 ve Şekil 4.65'den elde edilen verilere göre hesaplanan yalancı birinci mertebe (pseudo first order), pseudo ikinci mertebe kinetik, Elovich, İnterpartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) oldukça yüksektir. Bu kinetik modellerden regrasyon (kolarelasyon) sayısı en yüksek ve hesaplanan q_e (calc) değerleri deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri ile iyi uyum göstermektedir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi pseudo ikinci mertebe kinetik modele daha uyumludur.

A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.35. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A2-1MM/ Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	24.2500	3.1884	-7899.8617	12244.1813	67.9959
	303	29.4544	3.3828	-8381.5889		
	318	34.1272	3.5301	-8746.4291		
100 ppm	298	42.3952	3.7470	-9283.9427	3528.7423	42.2246
	303	34.8860	3.5521	-8800.9202		
	318	43.6788	3.7769	-9357.8413		
200 ppm	298	1.9378	0.6615	-1639.0683	35425.2079	124.2986
	303	2.3996	0.8753	-2168.7361		
	318	4.7337	1.5547	-3852.0516		
400 ppm	298	0.5775	-0.5491	1360.3879	8973.4194	25.6341
	303	0.6284	-0.4646	1151.2188		
	318	0.7301	-0.3145	779.3127		
600 ppm	298	0.3241	-1.1266	2791.3515	5537.4567	9.2951
	303	0.3440	-1.0670	2643.8023		
	318	0.3754	-0.9798	2427.7205		

Çizelge 4.35 ve Şekil 4.66'ya bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun arttığını göstermektedir. Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm deki sıcaklıklarda (ΔG°) negatif işaretlidir. Gibbs serbest enerji değişimlerinin negatif olması, prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. 400 ppm ve 600 ppm deki sıcaklıklarda daha önce kendiliğinden gerçekleşen adsorpsiyonun yeterli doygunluğa ulaştığını göstermektedir. Entropi (ΔS°) değerlerinin pozitif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin 67.9959 J/mol.K' den 9.2951'e düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. A1-1 MM adsorpsiyonunda olduğu gibi aktif karbon yüzey doygunluğunun arttığı söylenebilir.

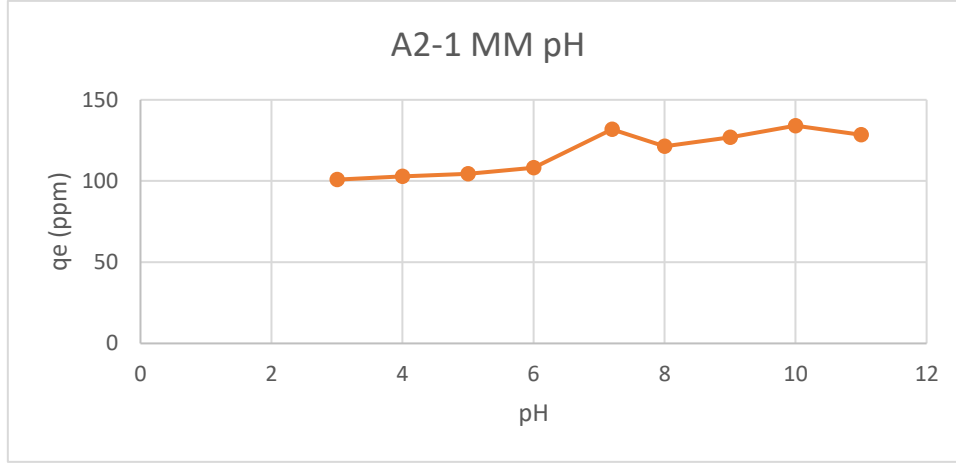


Şekil 4.66. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

Çizelge 4.36. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

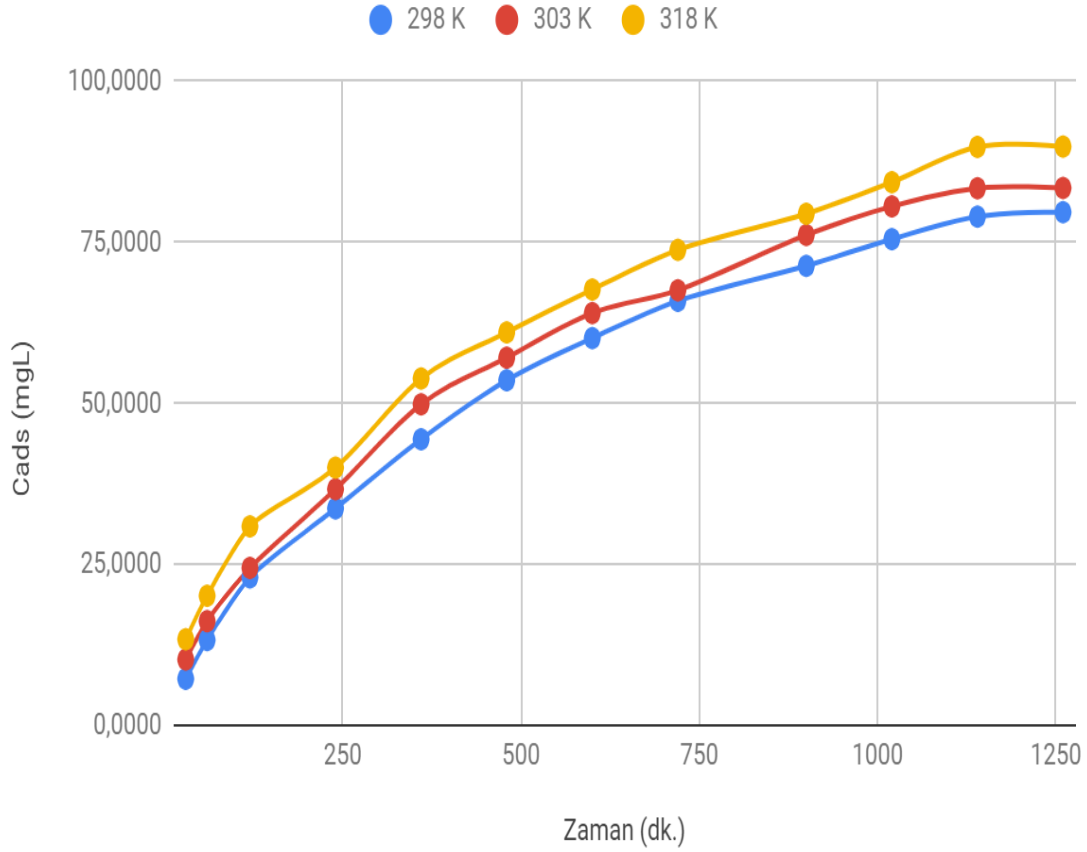
Aktif karbon	Co(MM)ppm	qe(ppm)	Başlangıç pH	Son Ph
A2-1	200	100.8645	3	3.55
	200	102.9456	4	7.14
	200	104.4254	5	7.12
	200	108.1846	6	7.02
	200	131.921	7	7.01
	200	121.4592	8	7.5
	200	126.9864	9	7.69
	200	134.088	10	8.1
	200	128.468	11	9.78



Şekil 4.67. A2-1 aktif karbonunun metilen mavisinin adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.

Çizelge 4.36 ve şekil 4.67’ye bakıldığında adsorpsiyonun metilen mavisinin doğal pH aralığında (pH=7.50) En yüksek adsorpsiyonu verdiği görülmüştür. Asit ortamında ortak iyon etkisinden dolayı metilen mavisinin adsorpsiyonu asidik pH larda pH artarken adsorpsiyon artmıştır. Bazik ortamda pH artarken adsorpsiyon artsada pH=7’deki kadar artış göstermemiştir. Bunun nedeni sodyum hidroksitteki hidroksil iyonlarının normal ortamda boyar madde ile zayıf bağlar oluşturmasıdır. Daha önce A1-1 metilen mavisinin adsorpsiyonunda olduğu gibi sodyum hidroksit ve metilen mavisinin arasında gerçekleşen bağ nedeniyle bazik ortamda pH 7’ye göre adsorpsiyonu azaltmış, pH8 ve pH9 da hidroksil iyonları aktif karbon tarafından adsorbe edilirken, pH 10 ve pH 11’de sistemin pH sı sırasıyla 8.1 ve 9.78’e kadar düşmüştür. Bazik ortamda hidroksil iyonlarının artışı pH10’da en yüksek değere varmıştır. Bu Aktif karbon yüzeyin negatif potansiyelinin sıfıra yaklaşması sonucu hidroksil iyonlarının adsorpsiyon yüzeyine negatif etkisini yitirip metilen mavisinin ile birlikte gözenekler içerisinde daha fazla adsorbe olmasını sağladığı düşünülmektedir. pH 11 de ise hidroksil miktarının artmasıyla adsorpsiyona olan düşürücü etki ettiği düşünülmektedir.

A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.68. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği.

A2-1 aktif karbonunda kinolin sarısı sıcaklık artışının adsorbe edilen madde miktarını arttığı görülmektedir. Sıcaklığın kinolin sarısı difüzyonunu arttırdığında daha fazla miktarda kinolin sarısı sıcaklık arttıkça aktif karbon içine yerleşmiştir. Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır.

A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.37. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A2-1KS					Langmuir	Freundlich	Temkin D-R		Term.		
	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	%Ads.	q _e (mg/g)	Ce/q _e	logCe	logq _e	lnCe	ξ ²	lnq _e	1/T
298	50	10.8795	39.1205	78.24	97.8013	0.1112	1.0366	1.9903	2.3869	7.32E+06	4.5829	0.003356
	100	32.6480	67.3520	67.35	168.3800	0.1939	1.5139	2.2263	3.4858	6.52E+06	5.1262	
	200	120.3311	79.6689	39.83	199.1723	0.6042	2.0804	2.2992	4.7902	6.24E+06	5.2942	
	400	316.4353	83.5647	20.89	208.9118	1.5147	2.5003	2.3200	5.7571	6.18E+06	5.3419	
	600	509.7654	90.2346	15.04	225.5865	2.2597	2.7074	2.3533	6.2340	6.16E+06	5.4187	
303	50	8.1785	41.8215	83.64	104.5538	0.0782	0.9127	2.0193	2.1015	7731882.4333	4.6497	0.0033
	100	26.6642	73.3358	73.34	183.3395	0.1454	1.4259	2.2633	3.2833	6607972.8256	5.2113	
	200	116.5687	83.4313	41.72	208.5783	0.5589	2.0666	2.3193	4.7585	6244658.0101	5.3403	
	400	310.8966	89.1034	22.28	222.7585	1.3957	2.4926	2.3478	5.7395	6178434.8167	5.4061	
	600	504.2348	95.7652	15.96	239.4130	2.1061	2.7026	2.3791	6.2230	6163253.2830	5.4782	
318	50	5.8804	44.1196	88.24	110.2990	0.0533	0.7694	2.0426	1.7716	8404323.6716	4.7032	0.003145
	100	19.6480	80.3520	80.35	200.8800	0.0978	1.2933	2.3029	2.9780	6779667.8506	5.3027	
	200	110.1436	89.8564	44.93	224.6410	0.4903	2.0420	2.3515	4.7018	6250856.3486	5.4145	
	400	306.6214	93.3786	23.34	233.4465	1.3135	2.4866	2.3682	5.7256	6178987.2267	5.4530	
	600	500.1844	99.8156	16.64	249.5390	2.0044	2.6991	2.3971	6.2150	6163450.8517	5.5196	

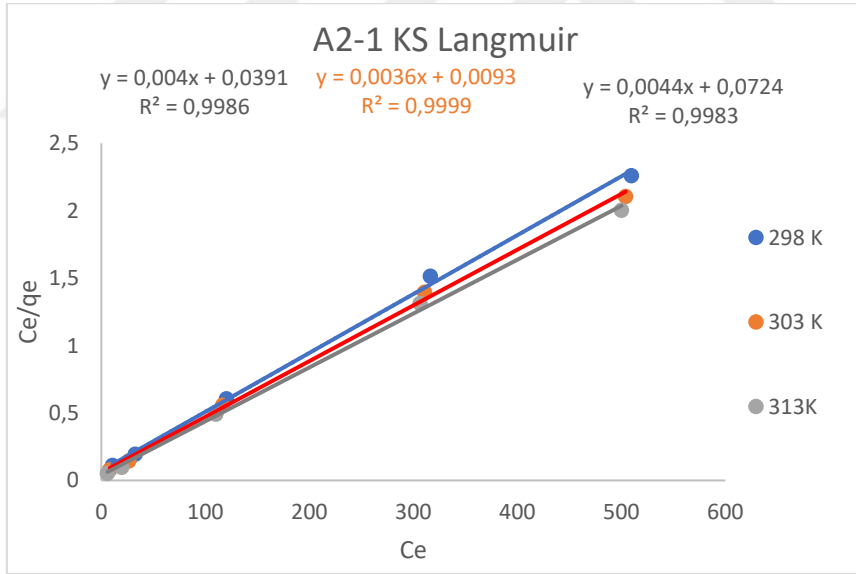
A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

Çizelge 4.38. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyon sabitleri

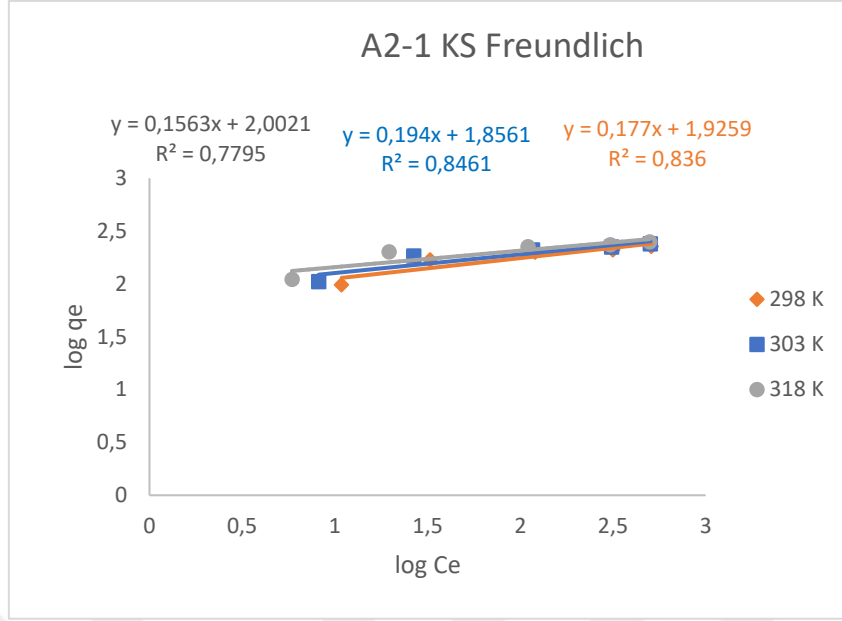
A2-1 KS	T(K)	298	303	318
Langmuir	b	0.0603	0.0712	0.1021
	Q _m	229.0850	241.9913	250.4043
	R ²	0.9978	0.9999	0.9986
Freundlich	n	5.1550	5.6500	6.3991
	1/n	0.1940	0.1770	0.1563
	K _f	71.7992	84.3201	100.4839
	R ²	0.8461	0.8363	0.7794
Temkin	B (J mol ⁻¹)	30.1604	29.2402	27.0368
	A _T (L g ⁻¹)	4.2051	8.4642	25.9987
	b _T	82.1499	84.7351	91.6410
	R ²	0.9085	0.8996	0.8418
D-R	X'm (mg g ⁻¹)	14739.6454	4823.5633	2010.6557
	K' (mol ⁻² J ²)	0.000000686	0.000000496	0.000000345
	R ²	0.9934	0.9887	0.9897
	E (kJmol ⁻¹)	0.0011710	0.0009957	0.0008301

Çizelge 4.37'ye bakıldığında aynı sıcaklıkta adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

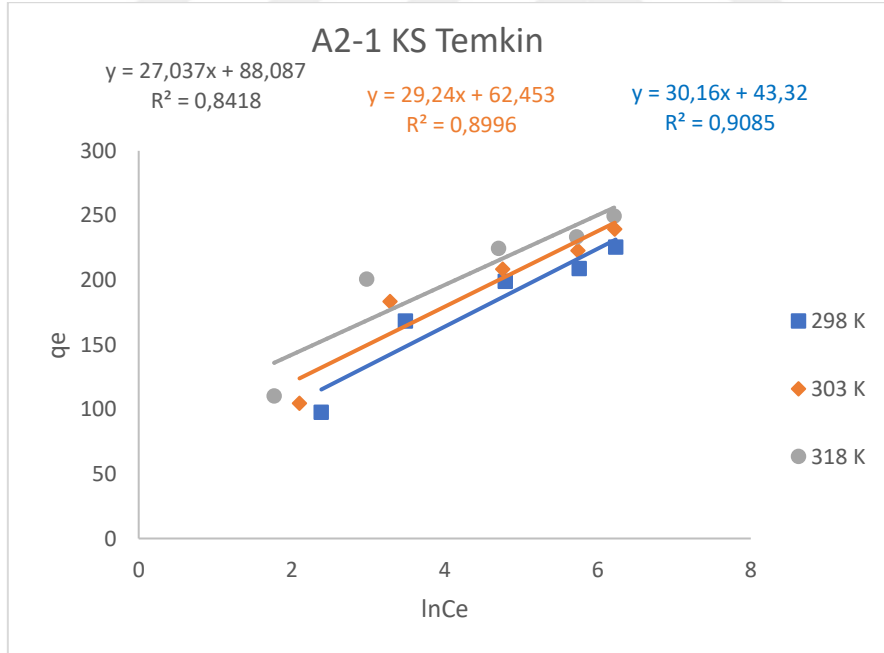
Çizelge 4.38’de görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayılarının 0.87’in üzerinde olduğu, en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir İzoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C’de 262.2552mg/g, 30 °C’de maksimum adsorpsiyon 272.0450mg/ g, 45 °C’de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 277.2757mg/g dır. Sıcaklık artıkça adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regrasyon sayısının 1’e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği b değerine bakılarak bağlanma enerjisinin sıcaklıkla arttığı, Freundlich izoterm sabitlerine göre $1/n$ değerler 0.1940-0.1770-0.1563 adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre 30.1604-29.2402-27.0368 joule/mol olduğu ve sıcaklık artıkça adsorpsiyon enerjisinin düştüğü görülmektedir. D-R izoterminde E değerine bakılarak adsorpsiyonun fiziksel bir adsorpsiyon olduğu söylenebilir. Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.69., Şekil 4.70., Şekil 4.71., Şekil 4.72.’ de verilmiştir.



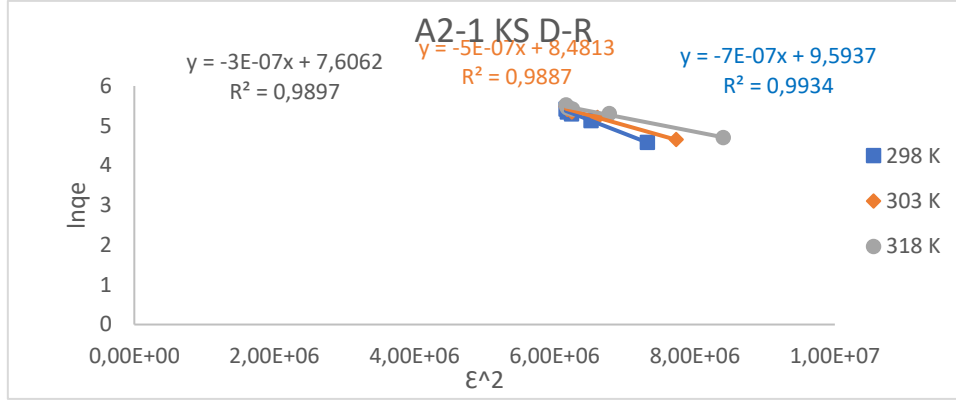
Şekil 4.69. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Langmuir izotermi grafiği (C_0 = 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V =0,25 AD= 1 g, pH=6-7, KH=200 rpm).



Şekil 4.70. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği ($C_0 = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD = 1 g, pH = 6, KH = 200 rpm).



Şekil 4.71. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği ($C_0 = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD = 1 g, pH = 6, KH = 200 rpm).



Şekil 4.72. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).

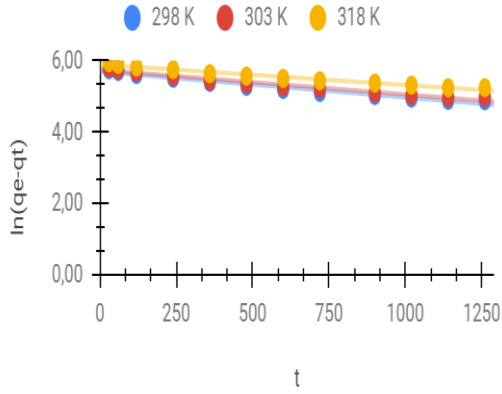
A2-1 aktif karbonu ile kinolin sarısı adsorpsiyonunda izotermelere bakıldığı zaman üç sıcaklıkta en uygun izotermin Langmuirizotermi olduğu görülmekle birlikte diğer izotermelerin de R^2 değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu adsorpsiyona başka faktörlerinde etki ettiğini göstermektedir.

A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

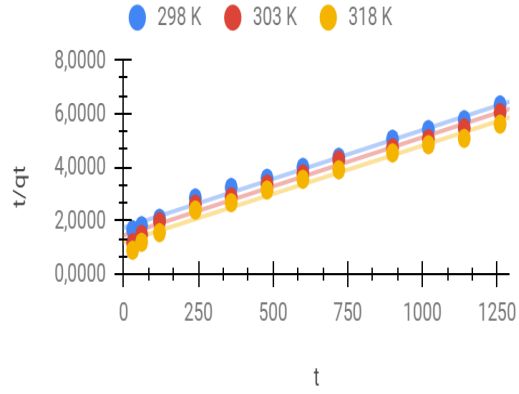
Çizelge 4.39. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm). (Co= 200mg/L, V=0,25L AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm)

		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.001	0.001	0.001
	$q_{e,calc}$	294.201	310.059	359.352
	$q_{e,exp}$	329.803	352.925	412.796
	R^2	0.971	0.968	0.969
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00001	0.00001	0.00001
	$q_{e,calc}$	274.311	273.163	276.939
	$q_{e,exp}$	329.803	352.925	412.796
	R^2	0.993	0.986	0.980
Elovich	β	52.181	53.372	54.297
	α	0.001	0.001	0.001
	$q_{e,exp}$	329.803	352.925	412.796
	R^2	0.966	0.963	0.963
Intraparticle diffusion	k_p	6.280	6.428	6.548
	R^2	0.991	0.990	0.993

Pseudo first order

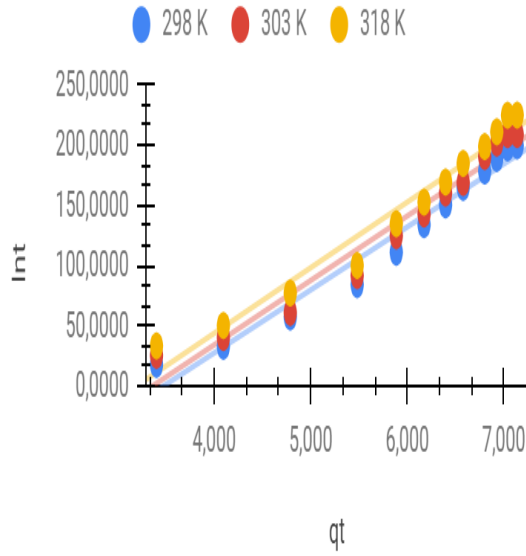


Pseudo second order

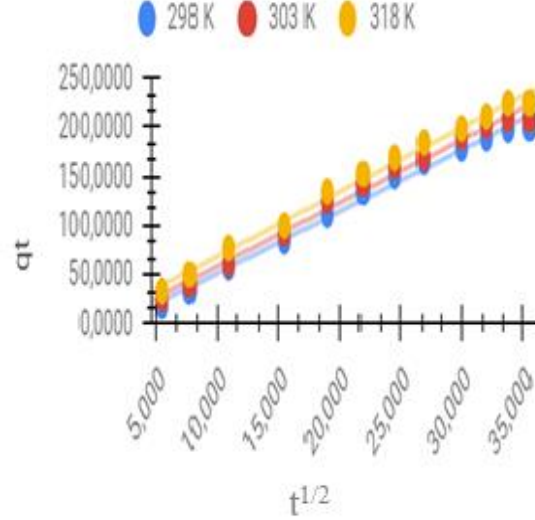


Şekil 4.73. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci merteye (pseudo first order) ve yalancı ikinci merteye (pseudo first order) kinetik grafikleri ($C_0 = 200 \text{ mg/L}$, $V = 0,25 \text{ L}$, $AD = 1 \text{ g}$, $\text{pH} = 6-7$, $KH = 200 \text{ rpm}$).

Elovich



Intraparticle diffusion



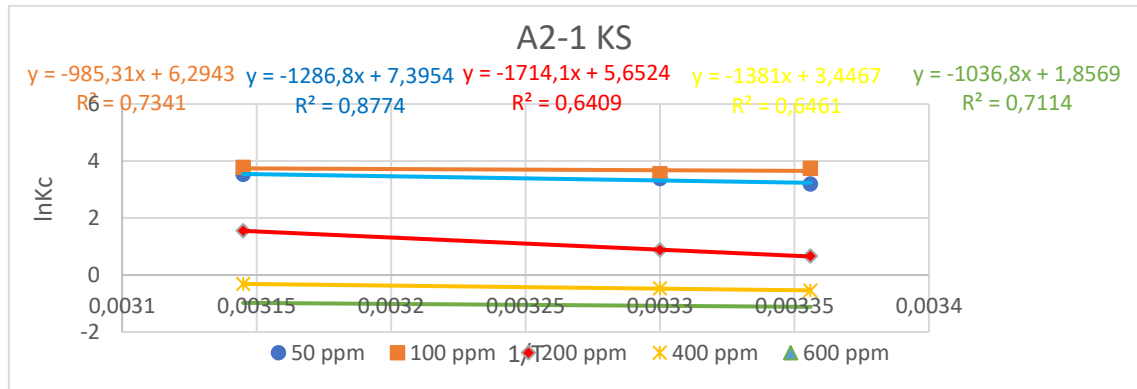
Şekil 4.73. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci merteye (pseudo first order) ve yalancı ikinci merteye (pseudo second order) kinetik grafikleri ($C_0 = 200 \text{ mg/L}$, $V = 0,25 \text{ L}$, $AD = 1 \text{ g}$, $\text{pH} = 6-7$, $KH = 200 \text{ rpm}$) (devamı).

Çizelge 4.39 ve Şekil 4.73’de elde edilen verilere göre hesaplanan yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order) kinetik, Elovich, İnterpartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) oldukça yüksektir. Bu kinetik modellerden İnterpartiküler difüzyon ve pseudo ikinci mertebe kinetik modellerin regrasyon (kolarelasyon) sayılarını yüksek olduğu, pseudo ikinci mertebe kinet modelde hesaplanan q_e (calc) değerleri deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri ile iyi uyum göstermektedir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi hem pseudo ikinci mertebe kinetik modeline hem de İnterpartiküler difüzyon modeline uyumludur.

A2-1 Aktif karbonunun Kinolin sarısı Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklıklarda Termodinamik Parametreleri

Çizelge 4.40. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A2-1 KS / Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	3.5958	1.2798	-3170.8467	27128.1588	102.2797
	303	5.1136	1.6319	-4043.3244		
	318	7.5028	2.0153	-4993.2099		
100 ppm	298	2.0630	0.7241	-1794.2068	25703.6880	92.6856
	303	2.7503	1.0117	-2506.7321		
	318	4.0896	1.4084	-3489.6620		
200 ppm	298	0.6621	-0.4124	1021.7140	7957.0598	23.3609
	303	0.7157	-0.3345	828.6768		
	318	0.8158	-0.2036	504.3858		
400 ppm	298	0.2641	-1.3315	3299.0201	5099.8325	6.2119
	303	0.2866	-1.2497	3096.2601		
	318	0.3045	-1.1890	2945.8371		
600 ppm	298	0.1770	-1.7315	4290.1899	4270.8859	0.0833
	303	0.1899	-1.6611	4115.7738		
	318	0.1996	-1.6117	3993.1528		

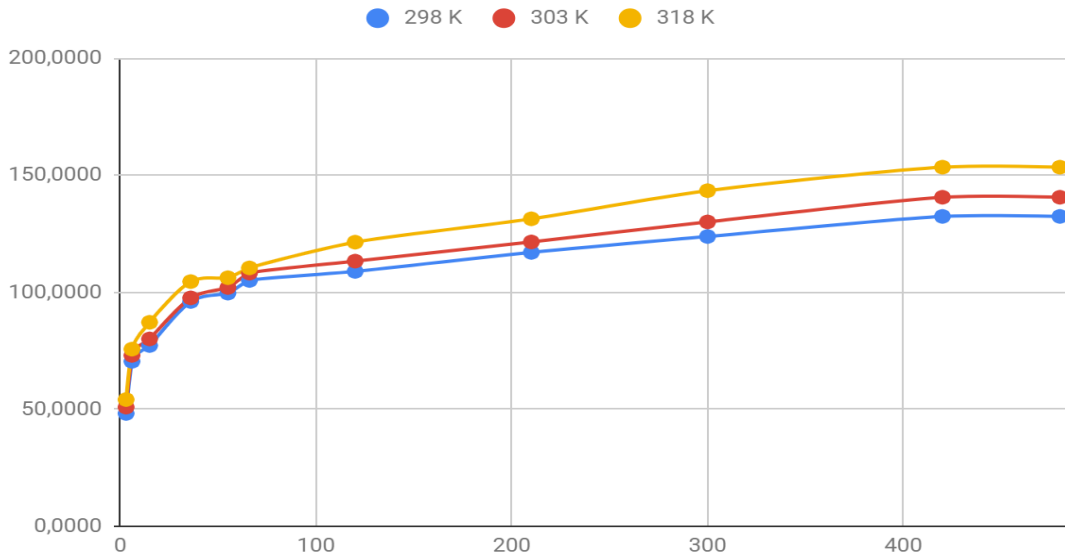


Şekil 4.74. A2-1 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

Çizelge 4.40 ve Şekil 4.74'e bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. Bu adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun artacağını göstermektedir. Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm ve 100 ppm deki sıcaklıklarda (ΔG°) ise negatif işaretli olması prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. Fakat daha yüksek konsantrasyonlarda, Gibbs serbest enerji değişimlerinin pozitif olması adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşmeyeceği adsorpsiyonun devam edebilmesi için dışardan enerjiye ihtiyaç olduğu gözükmemektedir. Entropi (ΔS°) değerlerinin negatif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent-çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu, konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. Aktif karbon yüzey doygunluğa ulaştığı söylenebilir.

4.2.4. A2-2 Aktif karbonunun metilen mavisi ve kinolin sarısı deney sonuçları

A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.75. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği.

A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm değerleri

Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır.

Çizelge 4.41. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A2-2 MM				Langmuir Freundlich			Temkin	D-R	Term.		
	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	%Ads.	q _e (mg/g)	Ce/qe	logCe	logqe	lnCe	ε ²	lnqe	1/T
298	50	5.9943	44.0057	88.01	110.0143	0.0545	0.7777	2.0414	1.7908	8.36E+06	4.7006	0.003356
	100	12.2134	87.7866	87.79	219.4665	0.0557	1.0868	2.3414	2.5025	7.19E+06	5.3912	
	200	67.6425	132.3575	66.18	330.8938	0.2044	1.8302	2.5197	4.2142	6.32E+06	5.8018	
	400	247.3468	152.6532	38.16	381.6330	0.6481	2.3933	2.5816	5.5108	6.19E+06	5.9445	
	600	426.2166	173.7834	28.96	434.4585	0.9810	2.6296	2.6379	6.0549	6.17E+06	6.0741	
303	50	4.6724	45.3276	90.66	113.3190	0.0412	0.6695	2.0543	1.5417	9047795.9886	4.7302	0.0033
	100	9.3763	90.6237	90.62	226.5593	0.0414	0.9720	2.3552	2.2382	7518153.4158	5.4230	
	200	59.4598	140.5402	70.27	351.3505	0.1692	1.7742	2.5457	4.0853	6347104.6297	5.8618	
	400	244.5678	155.4322	38.86	388.5805	0.6294	2.3884	2.5895	5.4995	6189184.3465	5.9625	
	600	421.1538	178.8462	29.81	447.1155	0.9419	2.6244	2.6504	6.0430	6168067.1327	6.1028	
318	50	3.3322	46.6678	93.34	116.6695	0.0286	0.5227	2.0670	1.2036	10376335.5910	4.7593	0.003145
	100	8.7868	91.2132	91.21	228.0330	0.0385	0.9438	2.3580	2.1733	7615686.8364	5.4295	
	200	46.6104	153.3896	76.69	383.4740	0.1215	1.6685	2.5837	3.8418	6405117.9816	5.9493	
	400	241.1916	158.8084	39.70	397.0210	0.6075	2.3824	2.5988	5.4856	6189889.9656	5.9840	
	600	414.9886	185.0114	30.84	462.5285	0.8972	2.6180	2.6651	6.0283	6168501.2699	6.1367	

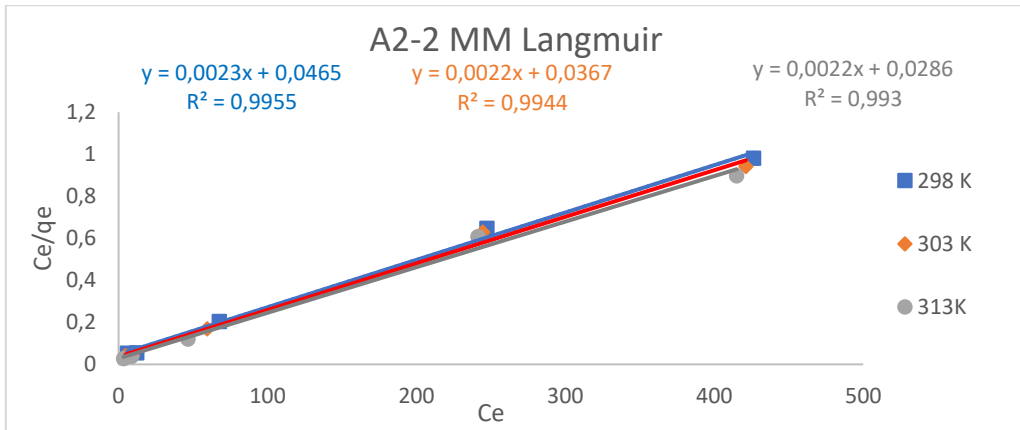
A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

Çizelge 4.42. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri

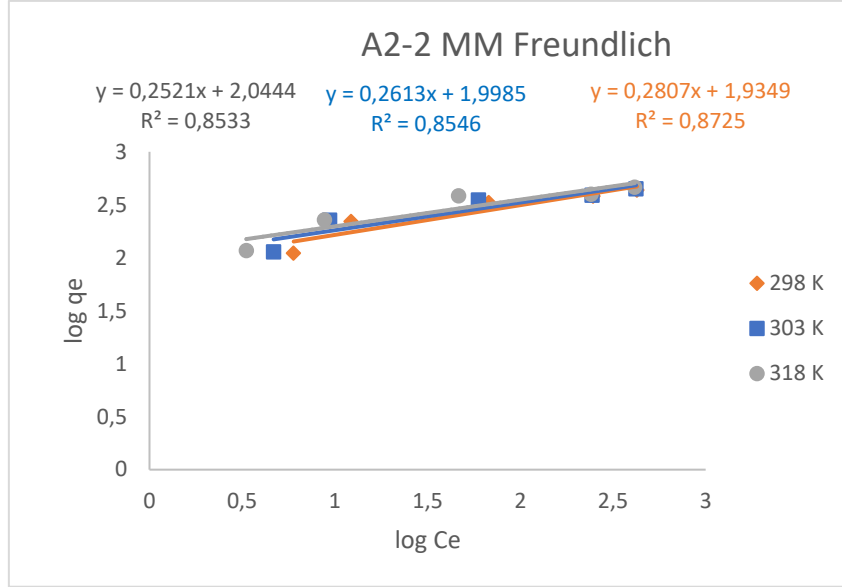
A2-2 MM	T(K)	298	303	318
Langmuir	b	0.0485	0.0604	0.0758
	Q _m	443.7353	450.8984	461.1486
	R ²	0.9955	0.9944	0.9930
Freundlich	n	3.5618	3.8263	3.9664
	1/n	0.2808	0.2614	0.2521
	K _f	86.0818	99.6453	110.7425
	R ²	0.8726	0.8546	0.8533
Temkin	B (J mol ⁻¹)	69.2538	66.3751	65.5915
	A _T (L g ⁻¹)	1.2831	2.0531	2.9884
	b _T	35.7768	37.3284	37.7743
	R ²	0.9620	0.9459	0.9234
D-R	X'm (mg g ⁻¹)	14487.4970	6279.1269	2799.4387
	K' (mol ⁻² J ²)	0.000000584	0.000000444	0.000000311
	R ²	0.9861	0.9879	0.9715
	E (kJmol ⁻¹)	0.0011	0.0009	0.0008

Çizelge 4.41'e bakıldığında aynı sıcaklıkta Adsorbat konsantrasyonun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

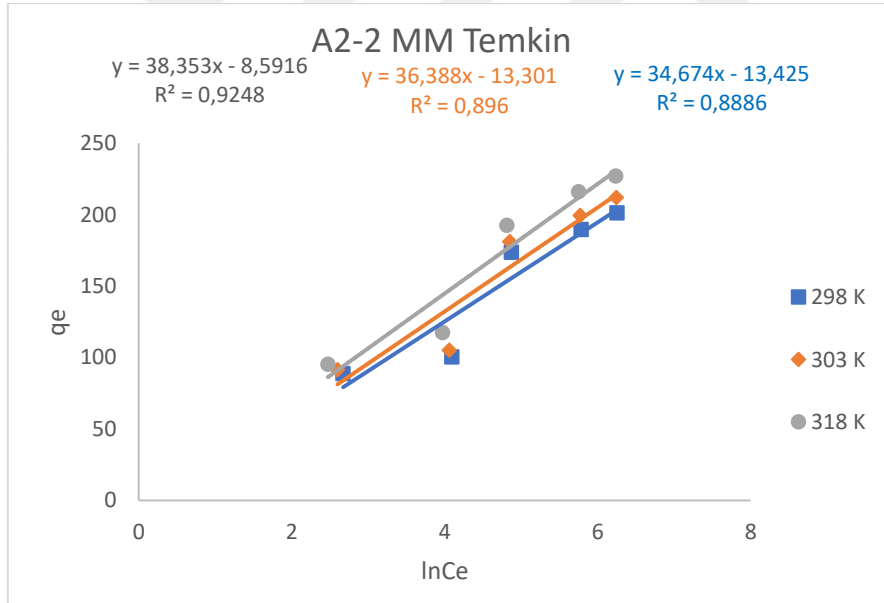
Çizelge 4.42.'de görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayıları 0.75'in üzerinde olduğu fakat en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir İzoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C'de 443.7353 mg/g, 30 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 450.8984 mg/ g, 45 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 461.1486 mg/ g dır. Sıcaklık artıka adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regrasyon sayısının 1'e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği söylenebilir. Freundlich izoterm sabitlerine göre $1/n$ değerinin 0.2808-0.2614-0.2521 değerlerinde olması ve 0.1 ve 0.5 arasında olması adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisinde 69.2538-66.375- 65.5915 göre sıcaklık artıka adsorpsiyon enerjisinin düştüğü, D-R izotermine E değerlerine bakıldığında adsorpsiyonun fiziksel olarak gerçekleştiği söylenebilir. Langmuirizotermine bağlanma enerjisinin sıcaklıkla artışı olurken, D-R izotermine E değeri 0.0011-0.0009-0.0008 olup 2'den küçük olması adsorpsiyon enerjisinin düştüğünü göstermektedir. Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.76, Şekil 4.77, Şekil 4.78, Şekil 4.79'da verilmiştir



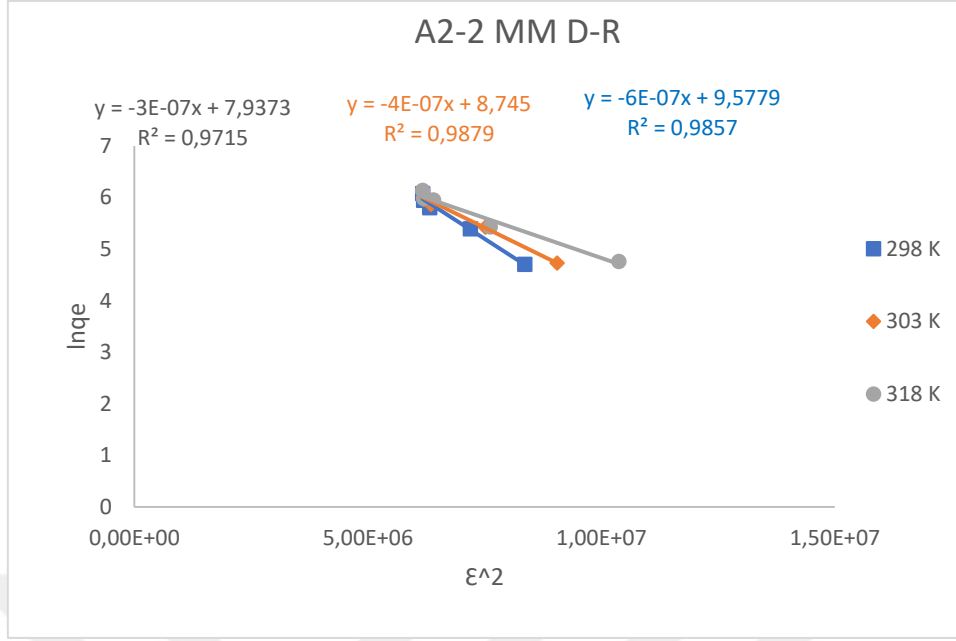
Şekil 4.76. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (C_0 = 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V =0,25L AD = 1 g, pH =7, KH =200 rpm).



Şekil 4.77. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.78. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



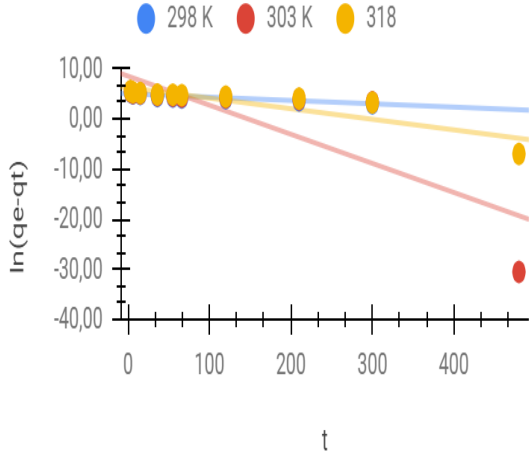
Şekil 4.79. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki D-R izotermi (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).

A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

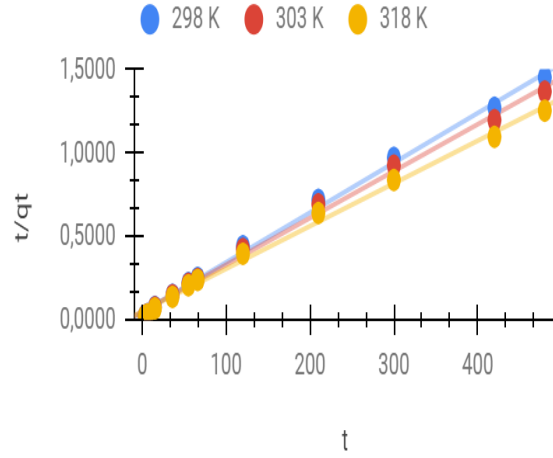
Çizelge 4.43. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm)

T(°K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.007	0.058	0.021
	$q_{e,calc}$	142.112	4824.422	487.281
	$q_{e,exp}$	330.883	351.348	383.465
	R^2	0.907	0.670	0.775
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00019	0.00016	0.00013
	$q_{e,calc}$	335.952	356.987	391.766
	$q_{e,exp}$	330.883	351.348	383.465
	R^2	0.997	0.996	0.995
Elovich	β	38.770	41.460	46.497
	α	0.279	0.221	0.149
	$q_{e,exp}$	330.883	351.348	383.465
	R^2	0.984	0.986	0.986
Intraparticle diffusion	k_p	8.654	9.414	10.721
	R^2	0.862	0.894	0.921

Pseudo first order

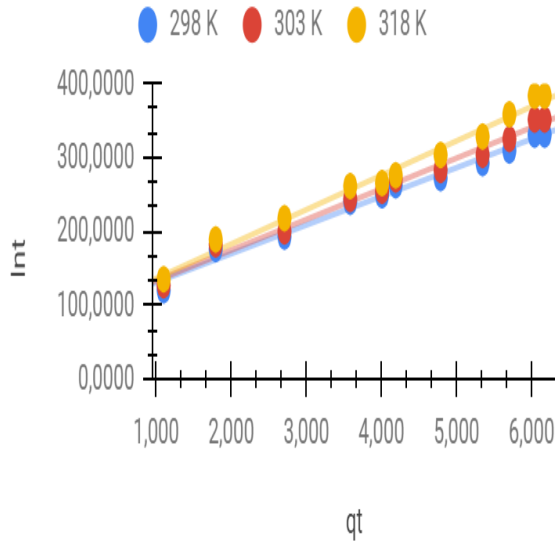


Pseudo second order

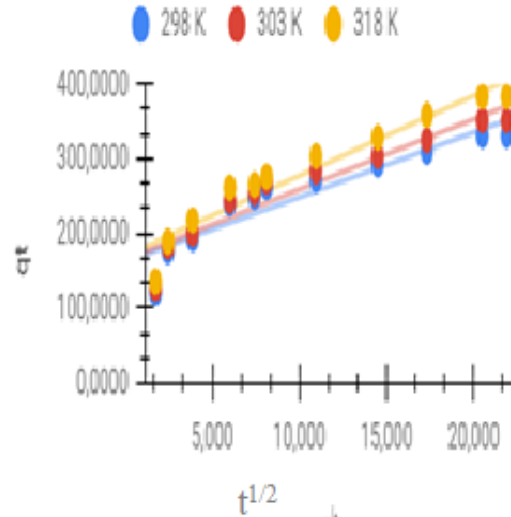


Şekil 4.80. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD= 1\text{ g}$, $\text{pH}=6-7$, $KH= 200\text{ rpm}$).

Elovich



Intraparticle diffusion



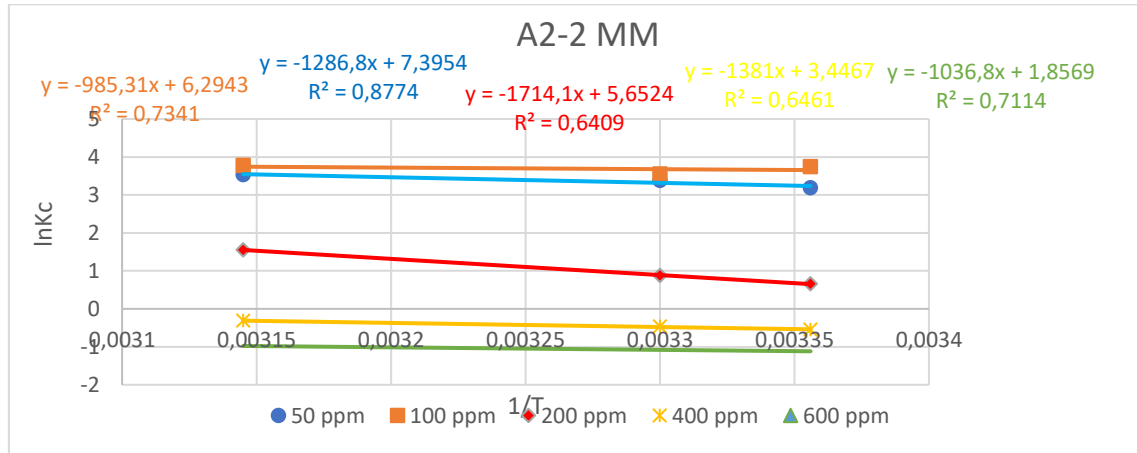
Şekil 4.80. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD= 1\text{ g}$, $\text{pH}=6-7$, $KH= 200\text{ rpm}$) (devamı)

Çizelge 4.43. ve Şekil 4.80'deki değerlere bakıldığında yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe kinetik, Elovich, İnterpartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) oldukça yüksektir. Bu kinetik modellerden regrasyon (kolarelasyon) sayısı en yüksek olan ve hesaplanan q_e (calc) değerleri deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri ile iyi uyum göstermektedir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi yalancı ikinci mertebe kinetik modele daha uyumludur.

A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.44. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A2-2MM/ Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	7.3413	1.9935	-4939.2729	24177.4471	98.1226
	303	9.7011	2.2722	-5629.8833		
	318	14.0051	2.6394	-6539.6325		
100 ppm	298	7.1877	1.9724	-4886.9072	12162.3875	57.9718
	303	9.6652	2.2685	-5620.6844		
	318	10.3807	2.3399	-5797.6363		
200 ppm	298	1.9567	0.6713	-1663.1900	19871.3867	72.4634
	303	2.3636	0.8602	-2131.2801		
	318	3.2909	1.1912	-2951.3025		
400 ppm	298	0.6172	-0.4826	1195.7829	2406.5951	4.1101
	303	0.6355	-0.4533	1123.0884		
	318	0.6584	-0.4179	1035.4041		
600 ppm	298	0.4077	-0.8971	2222.8175	3318.0944	3.7410
	303	0.4247	-0.8565	2122.0601		
	318	0.4458	-0.8078	2001.5502		



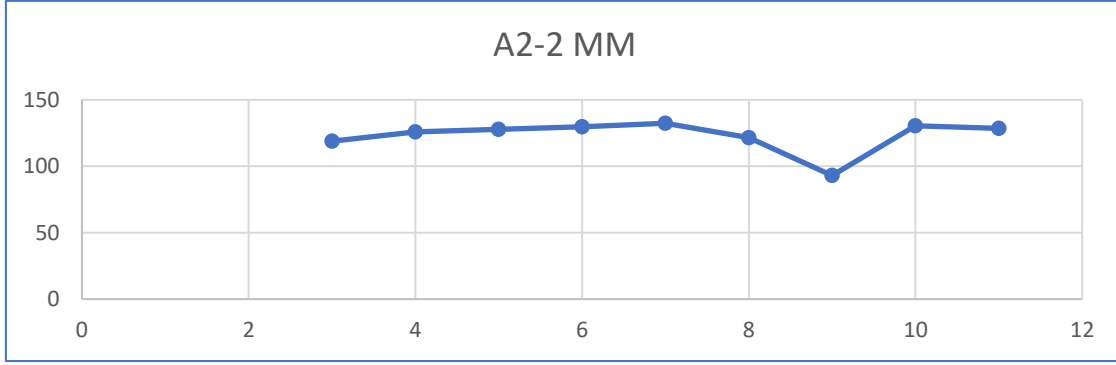
Şekil 4.81. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

Çizelge 4.44. ve Şekil 4.81'e bakıldığında bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun arttığını göstermektedir Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm deki sıcaklıklarda (ΔG_o) negatif işaretlidir. Gibbs serbest enerji değişimlerinin negatif olması, prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. 400 ppm ve 600ppm deki sıcaklıklarda daha önce kendiliğinden gerçekleşen adsorpsiyonun yeterli doygunluğa ulaştığını göstermektedir. Entropi (ΔS_o) değerlerinin pozitif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS_o) değerlerinin 98.1226 J/mol.K'den 3.7410'e düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. Adsorpsiyonunda olduğu gibi aktif karbon yüzey doygunluğunun arttığı söylenebilir.

A2-2 Aktif Karbonunun Metilen Mavisi Adsorpsiyonunda Başlangıç pH Değişiminin Etkisi

Çizelge 4.45. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

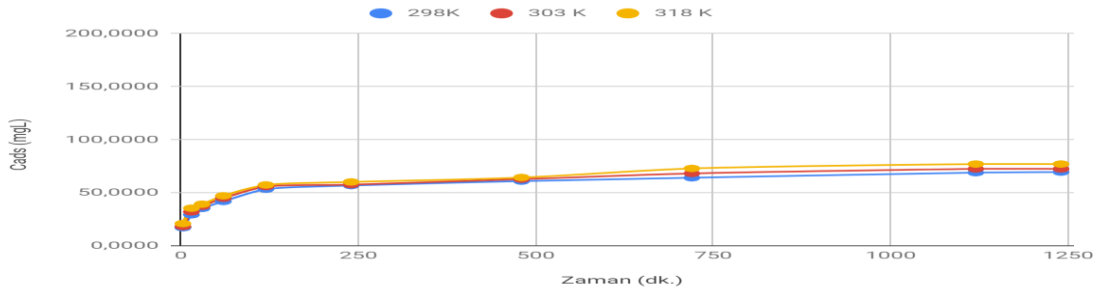
Aktif karbon	Co (MM)ppm	q _e (ppm)	Başlangıç pH	Son Ph
A2-2	200	118.7634	3	3.84
	200	125.8678	4	6.7
	200	127.8654	5	7.02
	200	129.6984	6	7.01
	200	132.3575	7	6.98
	200	121.5633	8	7.69
	200	93.0016	9	7.89
	200	130.4354	10	8.19
	200	128.4656	11	9.87



Şekil 4.82. A2-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.

Çizelge 4.45 ve Şekil 4.82'ye bakıldığında Adsorpsiyonun metilen mavisinin ölçülen doğal pH aralığında (pH=7.50) En yüksek adsorpsiyonu verdiği görülmüştür. Adsorpsiyon ortak iyon etkisinde dolayı yüzeyin pozitif ya da negatif yük durumuna göre değişiklik göstermektedir. Yüzeyin pozitif adsorplanan madenin negatif yüklü olması adsorpsiyonu artırırken ortamda farklı negatif yüklerin olması adsorpsiyonu düşürmektedir. Ya da yüzeyin negatif yüklü adsorbe edilecek olan maddenin pozitif yüklü olması adsorpsiyonu artırırken ortamda farklı negatif yüklerin olması adsorpsiyonu düşürmektedir. Aktif karbon yüzeyi ise asidik ya da bazik yüzyler bulundurabilir. Aktif karbonun gözenek genişliğinin adsorpsiyona etkisi bulunmaktadır. Ortamında ortak iyon etkisinden dolayı asidik ortamda ortamın asitliği artarken metilen mavisinin adsorpsiyonu adsorpsiyon azalmıştır. Katyonik bir boyamaddesi olan metilen mavisi asidik ortamdaki hidrojen sayısının artması mikro gözeneklerin hidrojenle dolması sebebiyle yüzeydeki adsorpsiyonu azalttığı düşünülmektedir. Bazik ortamda ise hidroksil iyonlarının metilen mavisi ve karbon yüzeyi ile etkileşiminde dolayı boyar maddenin doğal pH=7.50 daha az adsorpsiyon yapmasına sebep olmuştur. Ortamdaki hidroksil iyonlarının pH=8 ve pH=9 aktif karbon tarafından adsorbe edildiği düşünülmektedir. Yüksek pH=10 ve pH=11 de ortamın bazikliği artmış ve metilen mavisi katyonu ile zayıf bağlar oluşturarak adsorpsiyonunun artırdığı düşünülmektedir. Bazik ortamda aktif karbon mikro gözeneklerin hidroksil iyonları adsorbe edip, yeterli doyuluğa ulaştıktan sonra metilen mavisi boyar maddesinin adsorpsiyonuna olumlu yönde etki ettiği düşünülmektedir.

A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.83. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği.

A2-2 aktif karbonunda metilen mavisinin sıcaklık artışının adsorbe edilen madde miktarını arttığı görülmektedir. Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır. Adsorbent ve adsorplanan madde molekülleri aralarındaki çarpışmanın artması adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyonu artırmaktadır. Sıcaklığın artması ile boya taşınımının artmasından kaynaklı durumlarda da adsorpsiyon kapasitesinde artış meydana gelmektedir. Bu durum sıcaklığın adsorbent partikülünün iç gözeneklerine ve dış sınır tabakasına doğru difüzyonunu artırmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda sıcaklığın artması ile viskozitenin düşmesi de adsorpsiyon kapasitesini arttırmaktadır.

A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.46. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A2-2 KS	Langmuir				Freundlich		Temkin		D-R		Term.
	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	%Ads.	q _e (mg/g)	Ce/q _e	logCe	logq _e	lnCe	ξ ²	lnq _e	1/T
298	50	14.4653	35.5347	71.07	88.8368	0.1628	1.1603	1.9486	2.6718	7.02E+06	4.4868	0.003356
	100	59.8418	40.1582	40.16	100.3956	0.5961	1.7770	2.0017	4.0917	6.35E+06	4.6091	
	200	130.5548	69.4452	34.72	173.6130	0.7520	2.1158	2.2396	4.8718	6.23E+06	5.1568	
	400	324.1893	75.8107	18.95	189.5268	1.7105	2.5108	2.2777	5.7813	6.18E+06	5.2445	
	600	519.5095	80.4905	13.42	201.2263	2.5817	2.7156	2.3037	6.2529	6.16E+06	5.3044	

Çizelge 4.46. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri (devamı)

K	A2-2 KS				Langmuir		Freundlich		Temkin	D-R	Term.	
	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	%Ads.	q _e (mg/g)	Ce/qe	logCe	logqe	lnCe	ε ²	lnqe	1/T
303	50	13.4356	36.5644	73.13	91.4110	0.1470	1.1283	1.9610	2.5979	7086710.3258	4.5154	0.0033
	100	57.8934	42.1066	42.11	105.2666	0.5500	1.7626	2.0223	4.0586	6352786.8900	4.6565	
	200	127.5548	72.4452	36.22	181.1130	0.7043	2.1057	2.2579	4.8485	6235511.9389	5.1991	
	400	320.1698	79.8302	19.96	199.5755	1.6043	2.5054	2.3001	5.7689	6177287.3848	5.2962	
	600	515.2348	84.7652	14.13	211.9130	2.4314	2.7120	2.3262	6.2446	6162732.4181	5.3562	
318	50	11.8769	38.1231	76.25	95.3078	0.1246	1.0747	1.9791	2.4746	7216150.4567	4.5571	0.003145
	100	53.0043	46.9957	47.00	117.4892	0.4511	1.7243	2.0700	3.9704	6372701.8865	4.7663	
	200	122.9980	77.0020	38.50	192.5050	0.6389	2.0899	2.2844	4.8122	6239106.4374	5.2601	
	400	313.6214	86.3786	21.59	215.9465	1.4523	2.4964	2.3343	5.7482	6178090.6089	5.3750	
	600	509.1844	90.8156	15.14	227.0390	2.2427	2.7069	2.3561	6.2328	6163016.1251	5.4251	

A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

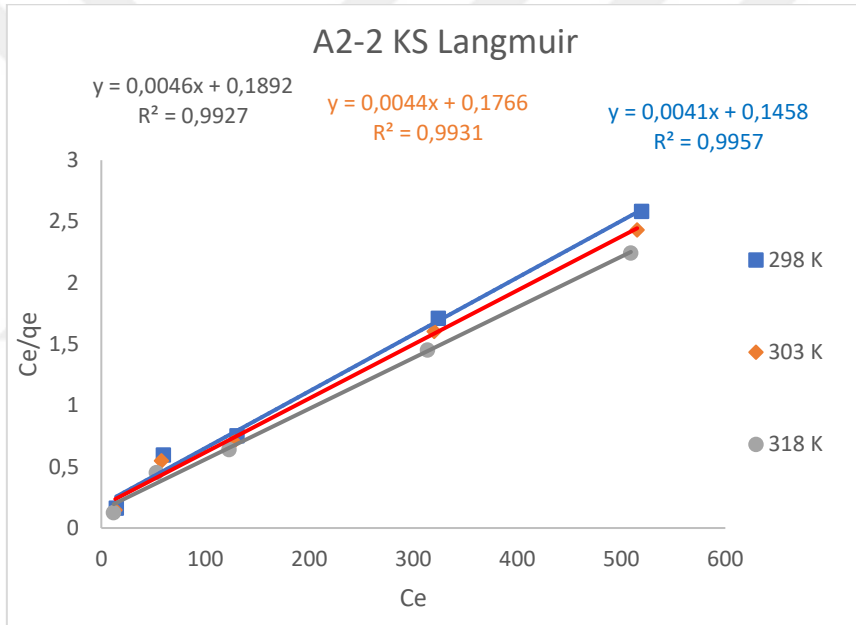
Çizelge 4.47. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

A2-2 KS	T(K)	298	303	318
Langmuir	b	0.0245	0.0249	0.0284
	Q _m	215.8687	227.1222	241.7701
	R ²	0.9927	0.9931	0.9957
Freundlich	n	3.9465	3.9247	3.9695
	1/n	0.2534	0.2548	0.2519
	K _f	42.9838	44.9788	49.6960
Temkin	R ²	0.8872	0.8963	0.9287
	B (J mol ⁻¹)	34.6739	36.3880	38.3525
	A _T (L g ⁻¹)	0.6790	0.6938	0.7993
D-R	b _T	71.4566	68.0906	64.6027
	R ²	0.8886	0.8960	0.9248
	X'm (mg g ⁻¹)	37593.9372	29152.1060	19902.1642
D-R	K' (mol ⁻² J ²)	0.000000873	0.000000824	0.000000749
	R ²	0.6724	0.6785	0.7293
	E (kJmol ⁻¹)	0.0013212	0.0012837	0.0012243

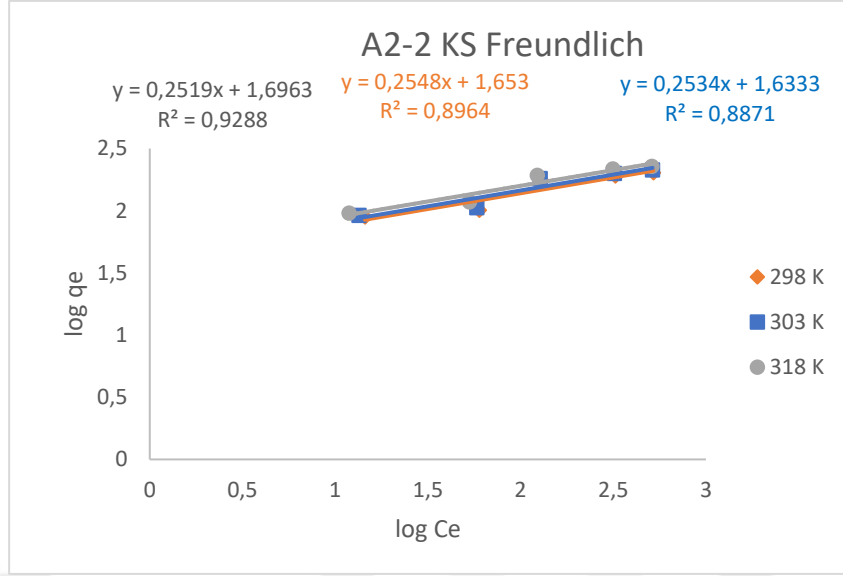
Çizelge 4.46'ya bakıldığında aynı sıcaklıkta Adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.47'de görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayıları D-R izotermi hariç 0,88'in üzerinde olduğu, en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir İzoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C'de 215.8687 mg/g, 30 °C'de maksimum adsorpsiyon 227.1222 mg/ g, 45 °C'de maksimum adsorpsiyon

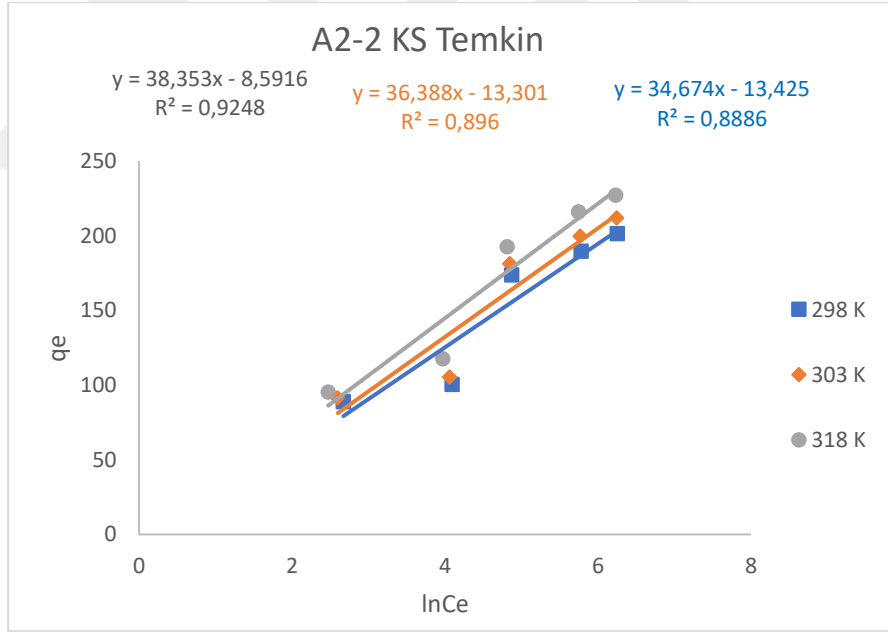
kapasitesi 241.7701 mg/ g dır. Sıcaklık artıkça adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regrasyon sayısının 1'e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği b değerine bakılarak bağlanma enerjisinin sıcaklıkla arttığı. Freundlich izoterm sabitlerine göre $1/n$ değerler 0.2534-0.2548-0.2519 adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre 34.6739-36.3880-38.3525joule/mol olduğu ve sıcaklık artıkça adsorpsiyon enerjisinin arttığı görülmektedir. D-R izoterminde E değerine bakılarak adsorpsiyonun fiziksel bir adsorpsiyon olduğu söylenebilir. Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.84, Şekil 4.85, Şekil 4.86, Şekil 4.87'de verilmiştir.



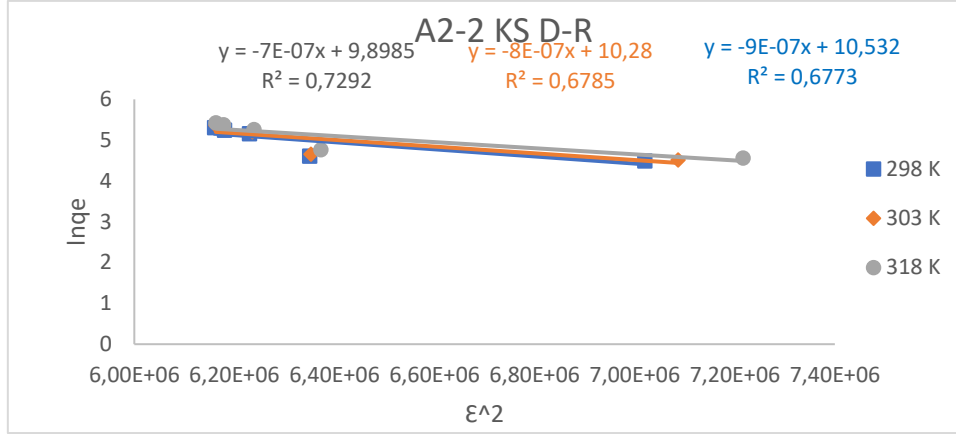
Şekil 4.84. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği ($C_o = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V=0,25$ AD= 1 g, pH=6-7, KH=200 rpm).



Şekil 4.85. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).



Şekil 4.86. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=6, KH=200 rpm).



Şekil 4.87. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1g, pH=6, KH=200 rpm)

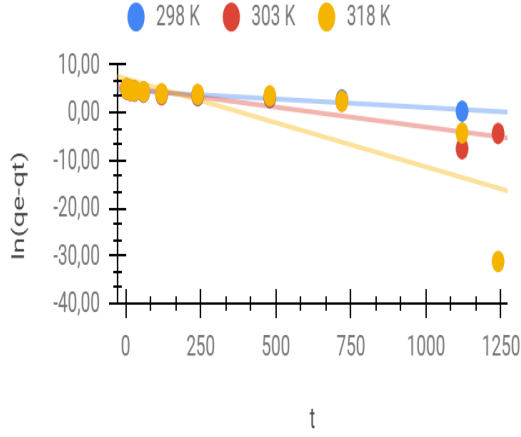
A2-2 aktif karbonu ile kinolin sarısı adsorpsiyonunda izotermi bakıldığı zaman üç sıcaklıkta en uygun izotermi Langmuir izotermi olduğu görülmekle birlikte diğer izotermi de R^2 değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu adsorpsiyona başka faktörlerinde etki ettiğini göstermektedir.

A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

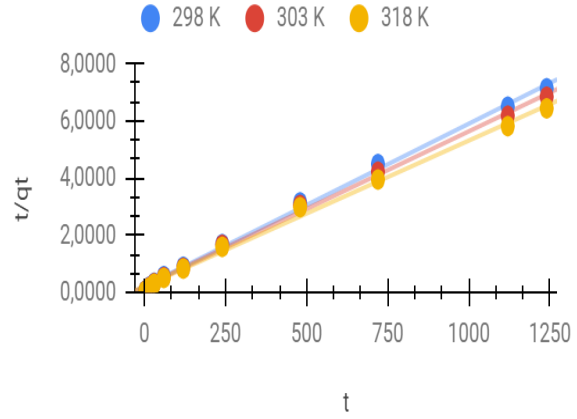
Çizelge 4.48. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1g, pH=6-7, KH= 200 rpm)

T(K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.004	0.008	0.018
	$q_{e,calc}$	96.428	196.063	1188.034
	$q_{e,exp}$	173.613	181.125	192.505
	R^2	0.945	0.835	0.607
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00015	0.00014	0.00012
	$q_{e,calc}$	175.811	184.286	196.069
	$q_{e,exp}$	173.613	181.125	192.505
	R^2	0.998	0.997	0.996
Elovich	β	26.879	41.131	28.533
	α	0.075	0.232	0.086
	$q_{e,exp}$	329.803	330.883	383.464
	R^2	0.976	0.984	0.981
Intraparticle diffusion	k_p	3.345	3.452	3.617
	R^2	0.848	0.856	0.884

Pseudo first order

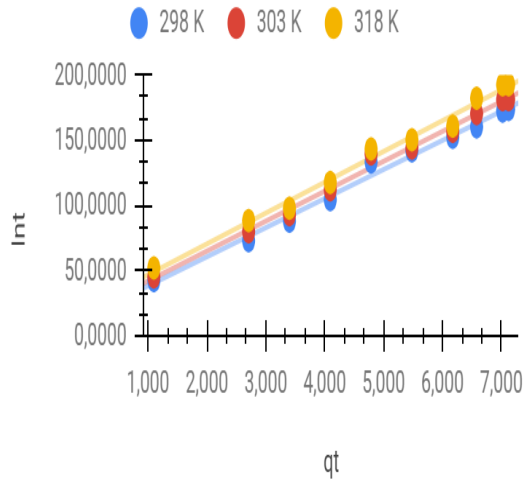


Pseudo second order

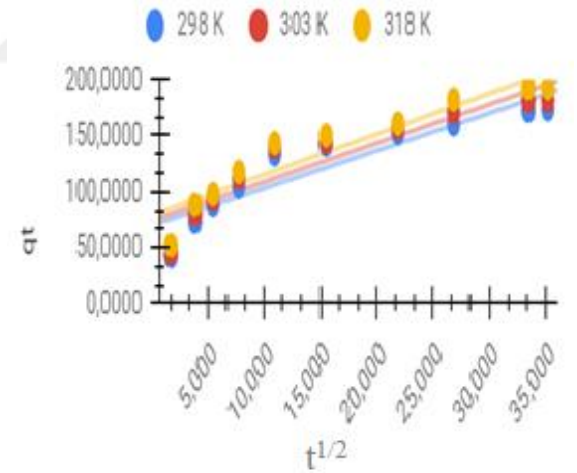


Şekil 4.88. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_o=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD= 1\text{g}$, $\text{pH}=6-7$, $\text{KH}= 200\text{ rpm}$).

Elovich



Intraparticle diffusion



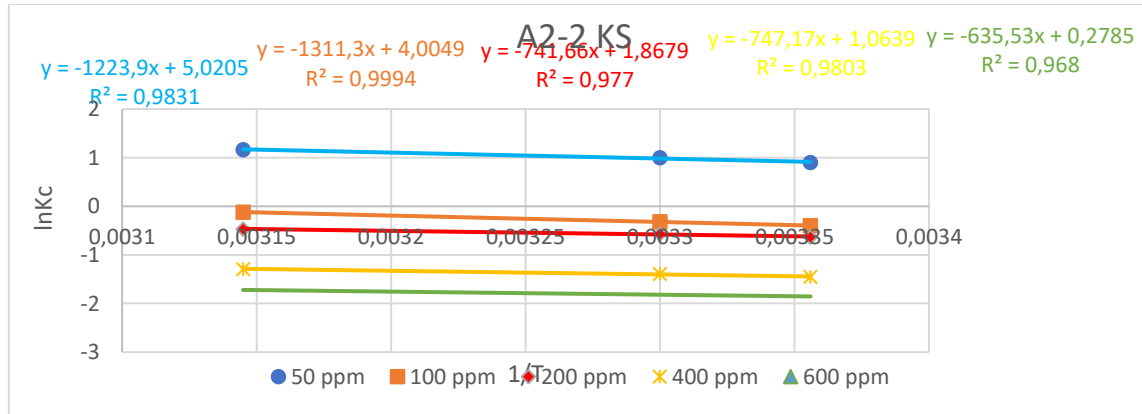
Şekil 4.88. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_o=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD= 1\text{ g}$, r , $\text{pH}=6-7$, $\text{KH}= 200\text{ rpm}$) (devamı).

Çizelge 4.48 ve Şekil 4.88’de elde edilen verilere göre hesaplanan pseudo birinci ve ikinci mertebe kinetik modellerinden yalancı ikinci mertebe (pseudo first order) kinetik değerlerinin ve yalancı birinci mertebe (pseudo first order)de elde edilen q_e (Calc) (mg/g) değerlerin deneysel q_e (Calc) (mg/g) değerlerinin daha uygun olduğu, bu uyumluluğu ifade eden R^2 değerleri tüm sıcaklık değerleri için yalancı ikinci mertebe (pseudo first order) kinetik modelinde yüksek ve 1’e yakın değerlere sahiptir.

A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.49. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A2-2 KS / Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	2.4565	0.8988	-2226.8289	10162.7683	41.6984
	303	2.7215	1.0012	-2480.5682		
	318	3.2099	1.1662	-2889.5282		
100 ppm	298	0.6711	-0.3989	988.2858	10888.0201	33.2487
	303	0.7273	-0.3184	788.8853		
	318	0.8866	-0.1203	298.1084		
200 ppm	298	0.5319	-0.6313	1564.0458	6153.5991	15.4879
	303	0.5680	-0.5657	1401.6603		
	318	0.6260	-0.4683	1160.3867		
400 ppm	298	0.2338	-1.4531	3600.2821	6200.5526	8.8064
	303	0.2493	-1.3889	3441.3675		
	318	0.2754	-1.2894	3194.8312		
600 ppm	298	0.1549	-1.8647	4620.2368	5277.6737	2.2939
	303	0.1645	-1.8047	4471.5557		
	318	0.1784	-1.7240	4271.4623		

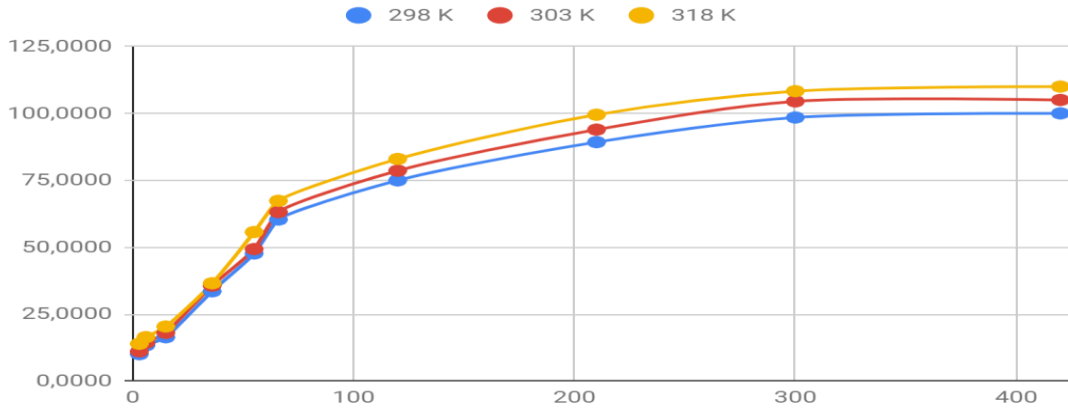


Şekil 4.89. A2-2 aktif karbonunun kinolin sarısı adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

Çizelge 4.49 ve Şekil 4.89'a bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. Bu adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun artacağını göstermektedir. Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm deki sıcaklıklarda (ΔG°) ise negatif işaretli olması prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. Fakat daha yüksek konsantrasyonlarda, Gibbs serbest enerji değişimlerinin pozitif olması adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşmeyeceği adsorpsiyonun devam edebilmesi için dışardan enerjiye ihtiyaç olduğu gözükmemektedir. Entropi (ΔS°) değerlerinin negatif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent- çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu, konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. Aktif karbon yüzey doygunluğa ulaştığı söylenebilir.

4.2.5. A3-1 Aktif karbonunun metilen mavisi deney sonuçları

A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.90. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu sıcaklık konsantrasyon grafiği.

Grafikte sıcaklığın metilen mavisi difüzyonunu arttırdığında daha fazla miktarda metilen mavisi sıcaklık arttıkça aktif karbon içine yerleşmiştir. Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni

bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır. Adsorbent ve adsorplanan madde molekülleri aralarındaki çarpışmanın artması adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyonu arttırmaktadır. Sıcaklığın artması ile boya taşınımının artmasından kaynaklı durumlarda da adsorpsiyon kapasitesinde artış meydana gelmektedir. Bu durum sıcaklığın adsorbent partikülünün iç gözeneklerine ve dış sınır tabakasına doğru difüzyonunu arttırmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda sıcaklığın artması ile viskozitenin düşmesi de adsorpsiyon kapasitesini arttırmaktadır

A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.50. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A3-1 MM					Langmuir	Freundlich	Temkin D-R		Term.		
298	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads	%Ads.	qe(mg/g)	Ce/qe	logCe	logqe	lnCe	ξ^2	lnqe	1/T
	50	5.6981	44.3019	88.6	110.7548	0.0514	0.7557	2.0444	1.740	8.48E+06	4.7073	0.003356
	100	44.7882	55.2118	55.21	138.0295	0.3245	1.6512	2.14	3.80	6.42E+06	4.9275	
	200	99.9458	100.05	50.03	250.1355	0.3996	1.9998	2.3982	4.604	6.26E+06	5.522	
	400	290.435	109.564	27.39	273.9118	1.0603	2.463	2.4376	5.671	6.18E+06	5.6128	
	600	477.95	122.047	20.34	305.119	1.5664	2.6794	2.4845	6.16	6.16E+06	5.7207	
303	50	4.8964	45.1036	90.21	112.759	0.0434	0.6899	2.0522	1.588	8902443.577	4.7253	0.0033
	100	39.7882	60.2118	60.21	150.5295	0.2643	1.5998	2.1776	3.683	6451335.517	5.0142	
	200	94.9458	105.054	52.53	262.6355	0.3615	1.9775	2.4194	4.553	6268874.185	5.5708	
	400	287.435	112.56	28.14	281.4118	1.0214	2.4585	2.4493	5.661	6181669.015	5.6398	
	600	470.952	129.047	21.51	322.619	1.4598	2.673	2.5087	6.154	6164977.591	5.7765	
318	50	2.9882	47.0118	94.02	117.5295	0.0254	0.4754	2.0701	1.094	10935122.91	4.7667	0.003145
	100	36.7882	63.2118	63.21	158.0295	0.2328	1.5657	2.1987	3.605	6477157.627	5.0628	
	200	89.9458	110.054	55.03	275.1355	0.3269	1.954	2.4395	4.499	6276140.404	5.6173	
	400	282.435	117.564	29.39	293.9118	0.961	2.4509	2.4682	5.643	6182427.857	5.6833	
	600	465.952	134.047	22.34	335.119	1.3904	2.6683	2.5252	6.144	6165257.938	5.8145	

Çizelge 4.50'ye bakıldığında aynı sıcaklıkta Adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

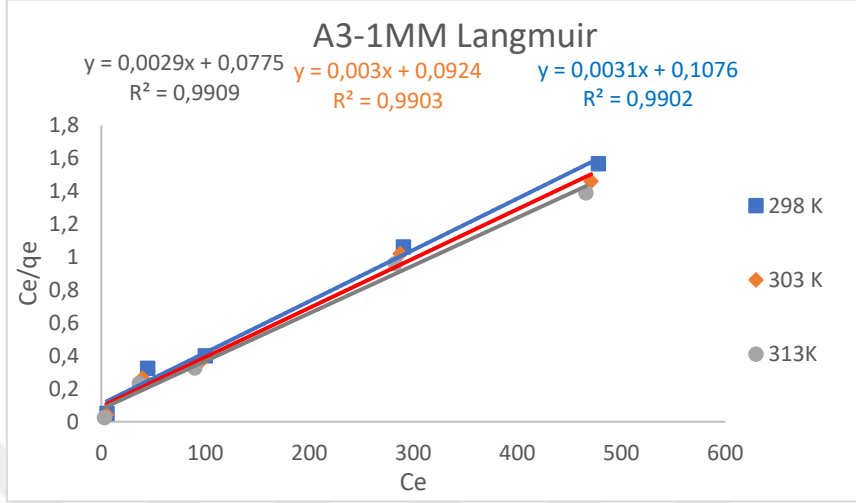
A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

Çizelge 4.51 A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri

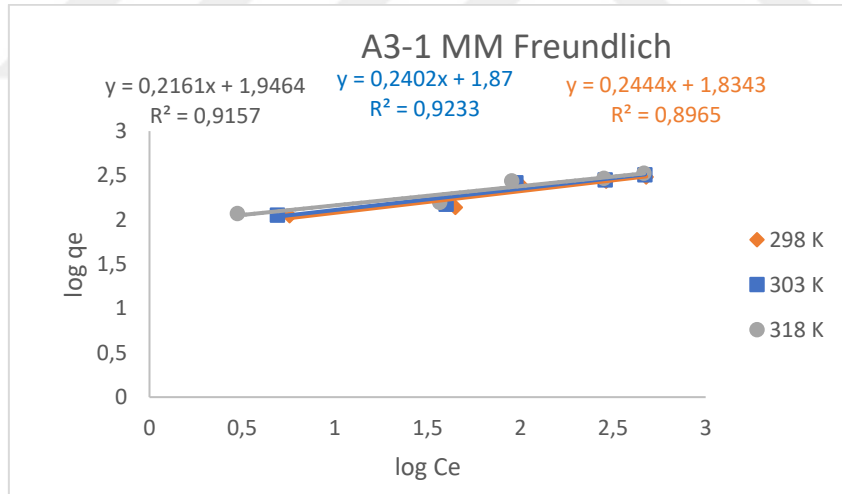
A3-1 MM	T(K)	298	303	318
Langmuir	b	0.0290	0.0324	0.0375
	Q _m	320.8068	334.0227	344.4689
	R ²	0.9902	0.9903	0.9909
Freundlich	n	4.0920	4.1631	4.6273
	1/n	0.2444	0.2402	0.2161
	K _f	68.2653	74.1158	88.3962
	R ²	0.8965	0.9234	0.9157
Temkin	B (J mol ⁻¹)	46.2179	47.1902	44.0309
	A _T (L g ⁻¹)	1.3062	1.5852	3.1941
	b _T	53.6086	52.5040	56.2713
	R ²	0.8815	0.9030	0.8879
D-R	X'm (mg g ⁻¹)	2207.0924	1775.0542	769.2189
	K' (mol ⁻² J ²)	0.000000358	0.000000314	0.000000174
	R ²	0.6318	0.6784	0.6514
	E (kJmol ⁻¹)	0.000847	0.000793	0.000590

Çizelge 4.51’de görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayıları D-R izotermi 0,70 altında diğer izotermeler 0,88’in üzerinde olduğu, en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir İzoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C’de 320.8068 mg/g, 30 °C’de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 334.0227 mg/ g, 45 °C’de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 344.4689mg/ g dır. Sıcaklık arttıkça adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regresyon sayısının 1’e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği b değerine bakılarak bağlanma enerjisinin sıcaklıkla arttığı, Freundlich izoterm sabitlerine göre 1/n değerler 0.2444-0.2402-0.2161 adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre 46.217-47.1902-44.0309 sıcaklık arttıkça 30 °C de adsorpsiyon enerjisinin arttığı 45 °Cde ise adsorpsiyon enerjisinin düştüğü söylenebilir.

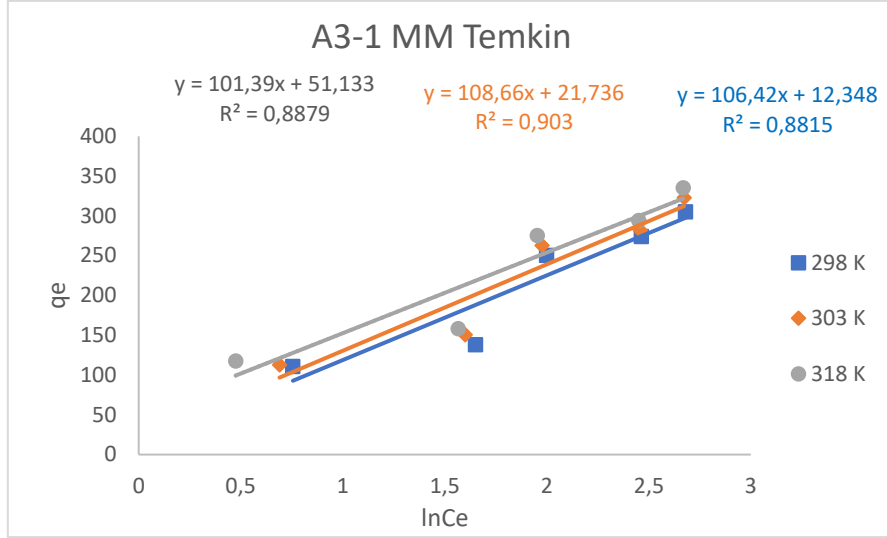
Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.91, Şekil 4.92, Şekil 4.93, Şekil 4.94' de verilmiştir.



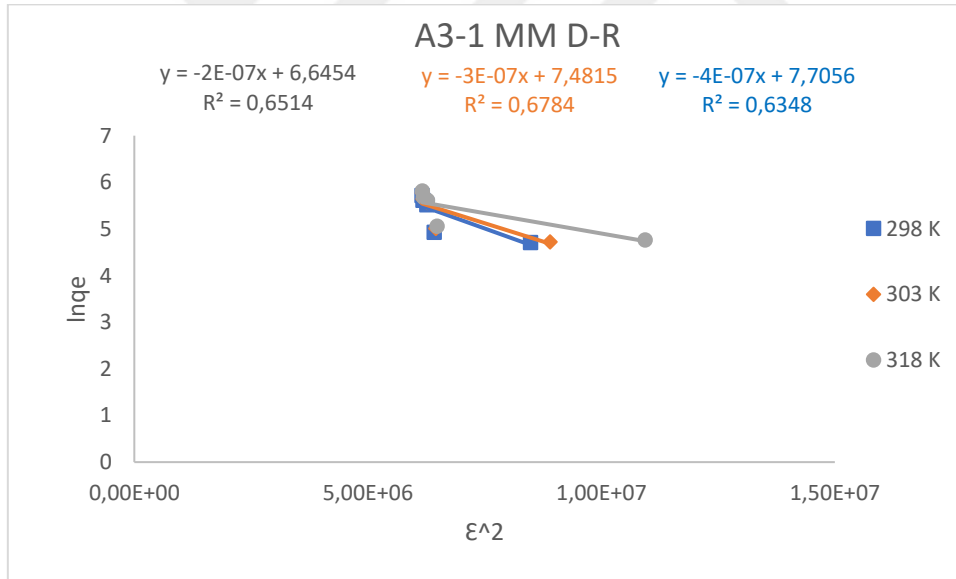
Şekil 4.91. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği ($C_o = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.92. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği ($C_o = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.93. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm)



Şekil 4.94. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).

A3-1 aktif karbonu ile metilen mavisinin adsorpsiyonunda izotermi bakıldığı zaman en uygun izotermin Langmuir izotermi olduğu görülmekle birlikte D-R izotermi

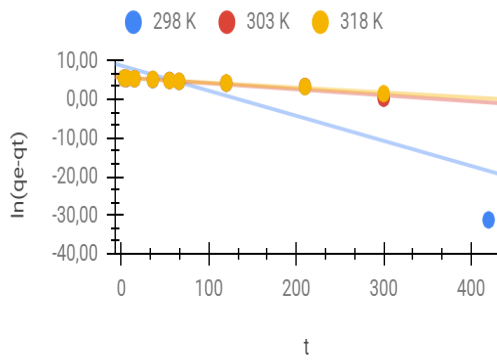
hariç diğer izotermelerin de R^2 değerlerinin yüksek olması adsorpsiyona etki eden faktörlerinde çeşitliliğini göstermektedir.

A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

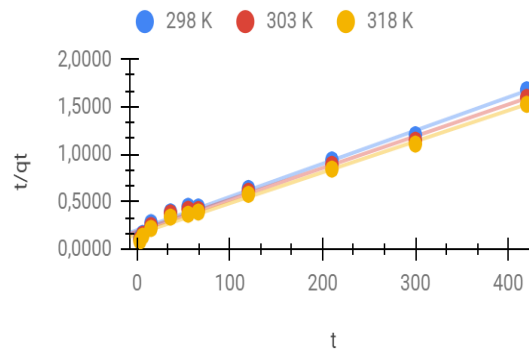
Çizelge 4.52. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order) ve yalancı ikinci mertebe (pseudo first order) kinetik model sabitleri ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$ AD= 1g, $\text{pH}=7$, $\text{KH}= 200 \text{ rpm}$)

T(K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.065	0.016	0.013
	$q_{e,\text{calc}}$	5975.773	295.856	262.735
	$q_{e,\text{exp}}$	250.136	262.636	275.136
	R^2	0.665	0.928	0.981
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00006	0.00006	0.00007
	$q_{e,\text{calc}}$	286.172	299.047	307.087
	$q_{e,\text{exp}}$	250.136	262.636	275.136
	R^2	0.990	0.990	0.992
Elovich	β	50.967	53.199	54.469
	α	0.006	0.006	0.007
	$q_{e,\text{exp}}$	250.136	262.636	275.136
	R^2	0.949	0.950	0.958
Intraparticle diffusion	k_p	13.154	13.719	13.951
	R^2	0.947	0.946	0.941

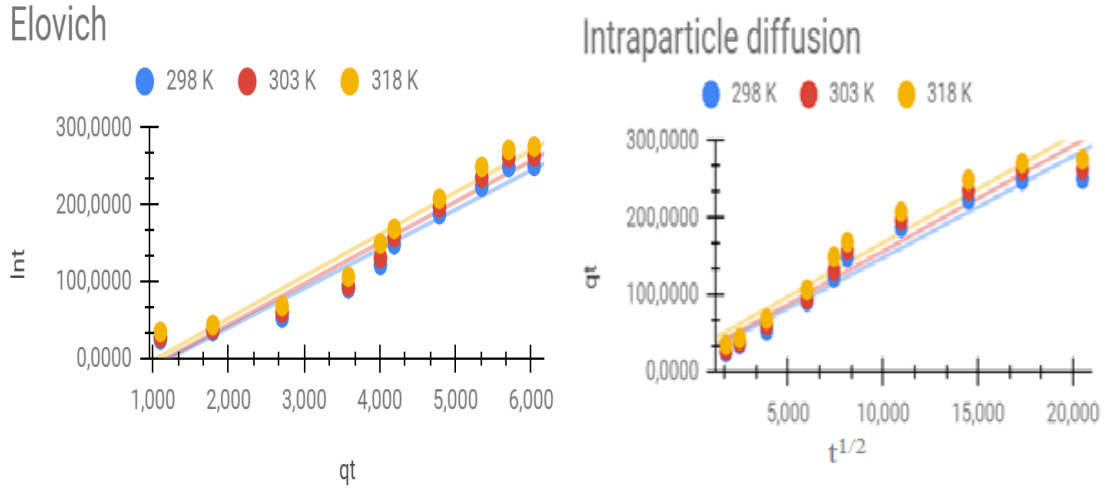
Pseudo first order



Pseudo second order



Şekil 4.95. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda yalancı birinci mertebe (pseudo first order) ve yalancı ikinci mertebe (pseudo first order) kinetik model sabitleri ve grafikleri ($C_0= 200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$ AD= 1g, $\text{pH}=7$, $\text{KH}= 200 \text{ rpm}$).



Şekil 4.95. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda Elovich ve İnterpartiküler kinetik model sabitleri ve grafikleri ($C_o = 200 \text{ mg/L}$, $V = 0,25 \text{ L}$, $AD = 1 \text{ g}$, $\text{pH} = 7$, $KH = 200 \text{ rpm}$) (devamı).

Çizelge 4.52 ve Şekil 4.95’de elde edilen verilere göre hesaplanan pseudo birinci ve ikinci mertebe kinetik modellerinden elde edilen q_e değerleri incelendiğinde, yalancı ikinci mertebe (pseudo first order)de elde edilen q_e (Calc) (mg/g) değerlerin deneysel q_e (Calc) (mg/g) değerlerinin daha uygun olduğu, bu uyumluluğu ifade eden R^2 değerleri tüm sıcaklık değerleri için yalancı ikinci mertebe (pseudo first order) kinetik modelinde daha yüksek ve yakın değerlere sahiptir.

A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

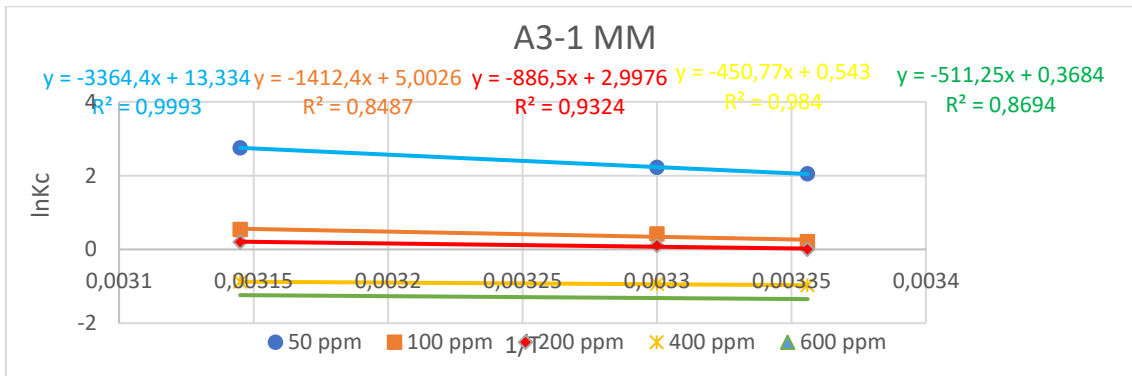
Çizelge 4.53. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A3-1MM/ C_o	T (K)	K_c	$\ln K_c$	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	7.7749	2.0509	-5081.4534	27945.2640	110.7695
	303	9.2116	2.2205	-5501.5856		
	318	15.7325	2.7557	-6827.8006		
100 ppm	298	1.2327	0.2092	-518.4091	11713.4224	41.4948
	303	1.5133	0.4143	-1026.4962		
	318	1.7183	0.5413	-1341.2005		

Çizelge 4.53. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri (devamı)

A3-1MM/ Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
200 ppm	298	1.0011	0.0011	-2.6858	7355.2891	24.8715
	303	1.1065	0.1012	-250.6670		
	318	1.2236	0.2018	-499.9101		
400 ppm	298	0.3772	-0.9749	2415.4014	3742.2861	4.4967
	303	0.3916	-0.9375	2322.7463		
	318	0.4163	-0.8765	2171.5858		
600 ppm	298	0.2554	-1.3651	3382.2760	4240.7868	3.0301
	303	0.2740	-1.2946	3207.5395		
	318	0.2877	-1.2459	3086.9085		

Çizelge 4.53 ve Şekil 4.96'ya bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. Bu adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun artacağını göstermektedir. Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm deki sıcaklıklarda (ΔG°)'ise negatif işaretlidir. Gibbs serbest enerji değişimlerinin negatif olması, prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. 400 ppm ve 600 ppm deki sıcaklıklarda daha önce kendiliğinden gerçekleşen adsorpsiyonun yeterli doygunluğa ulaştığını söylenebilir. Entropi (ΔS°) değerlerinin pozitif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent-çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu, konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. Aktif karbon yüzey doygunluğunun arttığı söylenebilir.

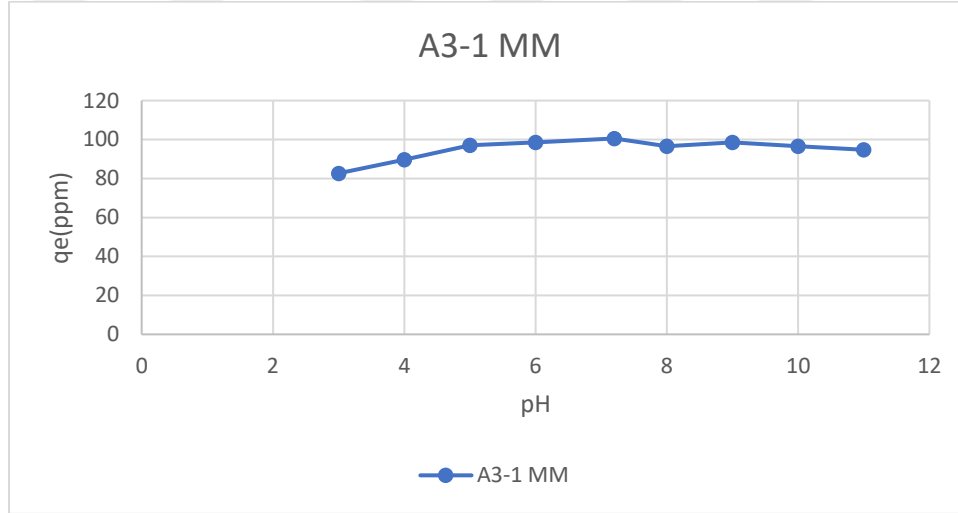


Şekil 4.96. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

Çizelge 4.54. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi.

Aktif karbon	Co(MM)ppm	qe(ppm)	Başlangıç pH	Son Ph
A3-1	200	82.6879	3	3.65
	200	89.6796	4	6.84
	200	96.9904	5	7.25
	200	98.4678	6	7.15
	200	100.5647	7	7
	200	96.543	8	7.89
	200	98.543	9	8.25
	200	96.6476	10	8.45
	200	94.7894	11	9.85

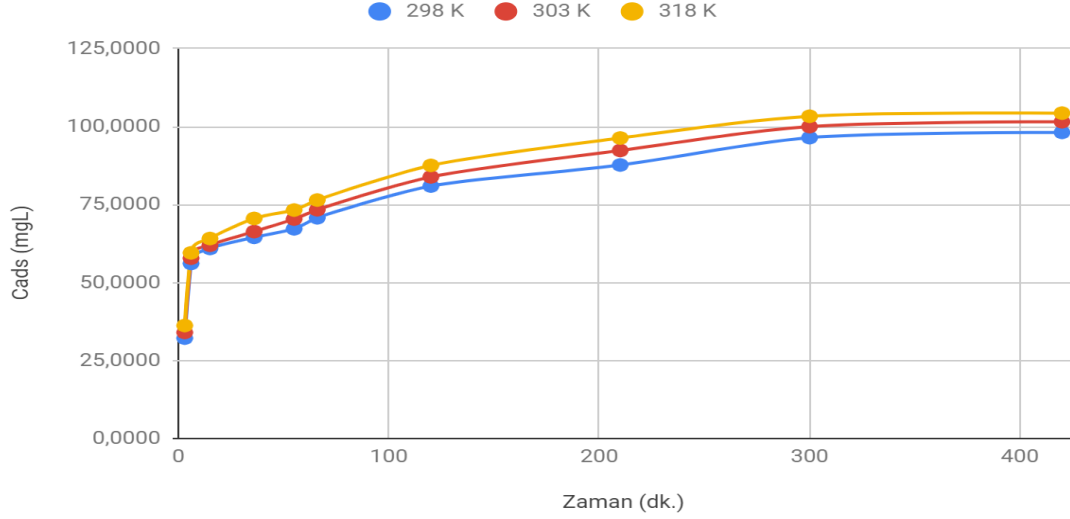


Şekil 4.97. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.

Çizelge 4.54 ve Şekil 4.97'ye bakıldığında adsorpsiyonun metilen mavisinin doğal pH aralığında (pH=7.50) en yüksek adsorpsiyonu verdiği görülmüştür. Asidik ortamında ortak iyon etkisinden dolayı metilen mavisinin adsorpsiyonu pH artarken adsorpsiyon artmıştır, yani ortamın asitliği azaldıkça adsorpsiyon artmaktadır. Bazik ortamda pH artarken adsorpsiyon artsada pH=7'deki kadar artış göstermemiştir. Bunun nedeni A1-1' de ifade edilen sodyum hidroksitteki hidroksil iyonlarının normal ortamda boyar madde ile zayıf etkileşimler oluşturmasıdır.

4.2.6 A3-2 Aktif karbonu metilen mavisi deney sonuçları

A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.98. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi grafiği.

A3-2 aktif karbonunda metilen mavisinin sıcaklık artışının adsorbe edilen madde miktarını artırdığı görülmektedir. Grafikte sıcaklığın metilen mavisi difüzyonunu arttırdığında daha fazla miktarda metilen mavisi sıcaklık arttıkça aktif karbon içine yerleşmiştir. Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır. Adsorbent ve adsorplanan madde molekülleri aralarındaki çarpışmanın artması adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyonu arttırmaktadır. Sıcaklığın artması ile boya taşınımının artmasından kaynaklı durumlarda da adsorpsiyon kapasitesinde artış meydana gelmektedir. Bu durum sıcaklığın adsorbent partikülünün iç gözeneklerine ve dış sınır tabakasına doğru difüzyonunu arttırmasından kaynaklanmaktadır.

A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.55. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A4-1 MM				Langmuir	Freundlich	Temkin	D-R		Term.		
	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	% Ads	qe(mg/g)	Ce/qe	logCe	logqe	lnCe	ξ ²	lnqe	1/T
298	50	2.5238	47.4762	94.95	118.6905	0.0213	0.4021	2.0744	0.926	1.20E+07	4.7765	
	100	4.5915	95.4085	95.41	238.5213	0.0192	0.662	2.3775	1.524	9.10E+06	5.4745	
	200	110.6997	89.3003	44.65	223.2508	0.4959	2.0441	2.3488	4.707	6.25E+06	5.4083	0.00336
	400	312.9348	87.0652	21.77	217.663	1.4377	2.4955	2.3378	5.746	6.18E+06	5.3829	
	600	505.8582	94.1418	15.69	235.3545	2.1493	2.704	2.3717	6.226	6.16E+06	5.4611	
303	50	2.1246	47.8754	95.75	119.6885	0.0178	0.3273	2.0781	0.754	13277723.97	4.7849	
	100	3.8876	96.1124	96.11	240.281	0.0162	0.5897	2.3807	1.358	9703251.737	5.4818	
	200	92.3989	107.6011	53.8	269.0028	0.3435	1.9657	2.4298	4.526	6272476.661	5.5947	0.0033
	400	291.3222	108.6778	27.17	271.6945	1.0722	2.4644	2.4341	5.674	6181097.132	5.6047	
	600	489.0943	110.9057	18.48	277.2643	1.764	2.6894	2.4429	6.193	6164008.563	5.625	
318	50	2.0034	47.9966	95.99	119.9915	0.0167	0.3018	2.0792	0.695	13796856.5	4.7874	
	100	3.4456	96.5544	96.55	241.386	0.0143	0.5373	2.3827	1.237	10219277.29	5.4864	
	200	89.0347	110.9653	55.48	277.4133	0.3209	1.9496	2.4431	4.489	6277552.848	5.6255	0.00315
	400	286.7856	113.2144	28.3	283.036	1.0132	2.4576	2.4518	5.659	618176.121	5.6456	
	600	483.6754	116.3246	19.39	290.8115	1.6632	2.6846	2.4636	6.181	6164290.385	5.6727	

A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

Çizelge 4.56. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri

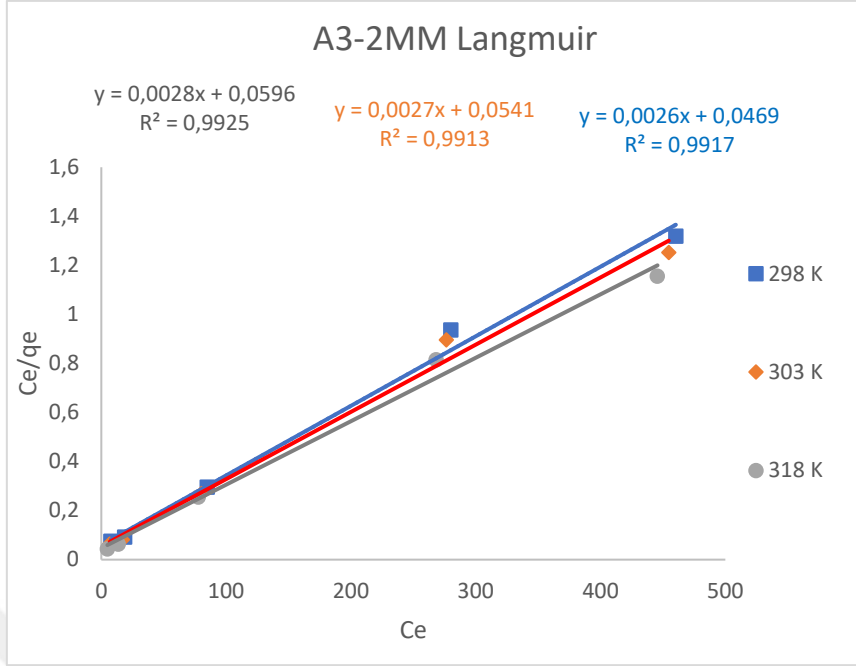
A3-2 MM	T(K)	298	303	318
Langmuir	b	0.0476	0.0507	0.0552
	Q _m	352.4715	364.7647	386.5215
	R ²	0.9925	0.9913	0.9917
	n	3.9249	3.9992	4.1778
Freundlich	1/n	0.2548	0.2501	0.2394
	K _f	78.1223	83.5847	94.2717
	R ²	0.8509	0.8569	0.8859

Çizelge 4.56. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri (devamı)

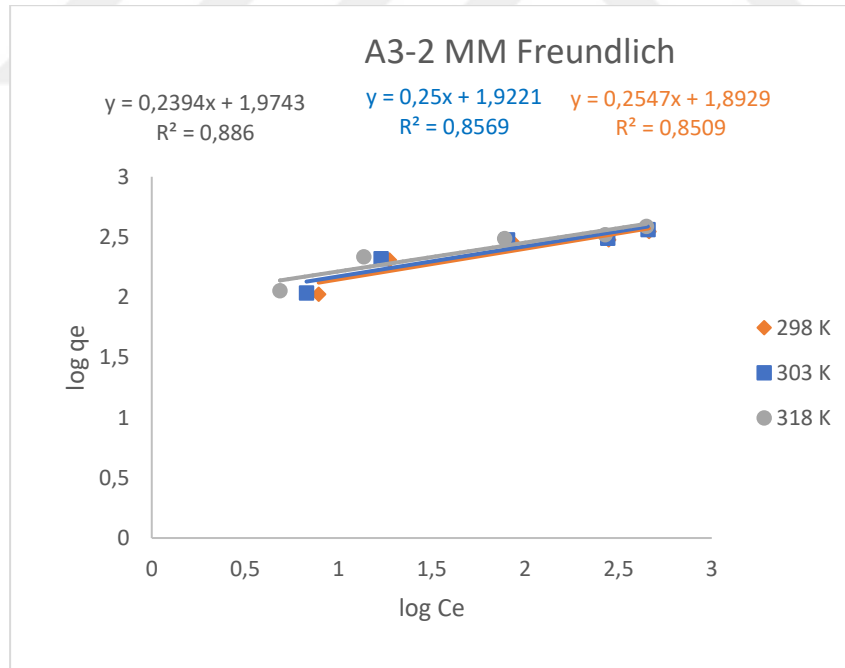
A3-2 MM	T(K)	298	303	318
	B (J mol ⁻¹)	53.2394	53.9329	54.3071
	A _T (L g ⁻¹)	1.5496	1.8187	2.5143
Temkin	b _T	46.5384	45.9400	45.6234
	R ²	0.9270	0.9286	0.9540
	X'm (mg g ⁻¹)	21509.5998	12177.5010	4274.9236
	K' (mol ⁻² J ²)	0.000000682	0.000000586	0.000000411
D-R	R ²	0.9875	0.9840	0.9719
	E (kJmol ⁻¹)	0.0011682	0.0010822	0.0009063

Çizelge 4.55'e bakıldığında aynı sıcaklıkta Adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir. Çizelge 4.56'da görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayılarının 0.85'in üzerinde olduğu, en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir İzoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C'de 352.4715 mg/g, 30 °C'de maksimum adsorpsiyon 364.7647 mg/ g, 45 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 386,5215mg/ g dır. Sıcaklık artıkça adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regrasyon sayısının 1'e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği b değerine bakılarak bağlanma enerjisinin sıcaklıkla arttığı, Freundlich izoterm sabitlerine göre 1/n değerler 0.2548-0.2501-0.2394 adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre 53.2394-53.9329-54.3071 joule/mol olduğu ve sıcaklık artıkça adsorpsiyon enrjisinin arttığı, D-R izoterminde E değerine bakılarak adsorpsiyonun fiziksel bir adsorpsiyon olduğu söylenebilir.

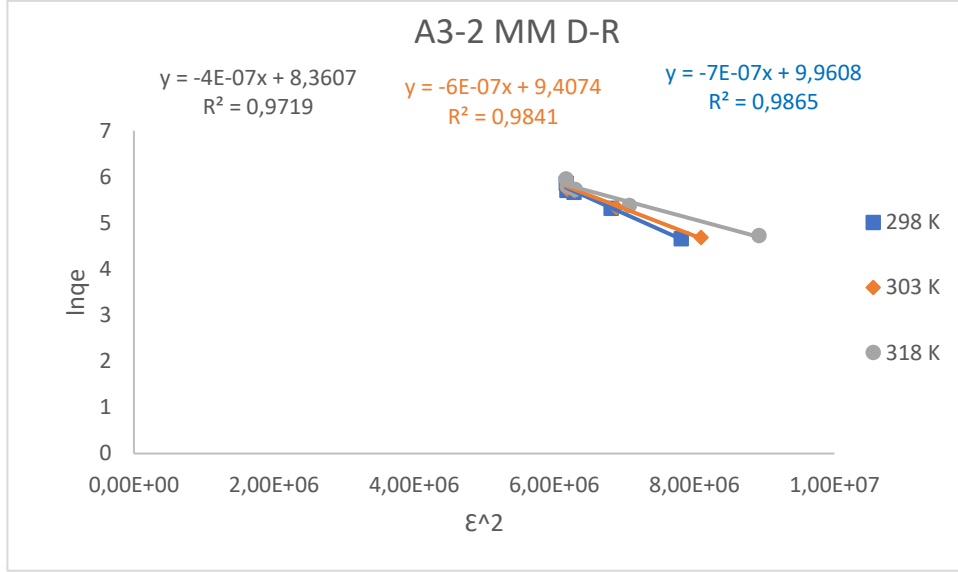
Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.99, Şekil 4.100, Şekil 4.101, Şekil 4.102' de verilmiştir.



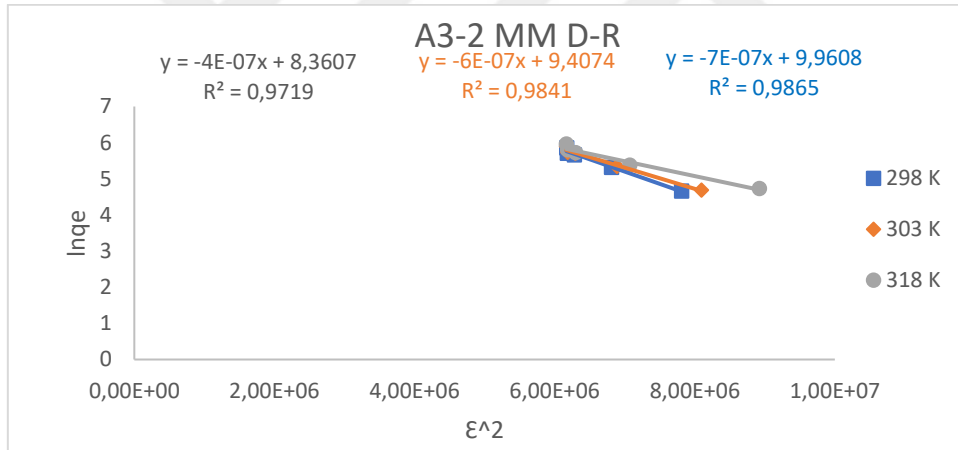
Şekil 4.99 A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği ($C_0 = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD = 1 g, pH = 7, KH = 200 rpm).



Şekil 4.100. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği ($C_0 = 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V = 0,25$ L AD = 1 g, pH = 7, KH = 200 rpm).



Şekil 4.101. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.102. A3-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1g, pH=7, KH=200 rpm).

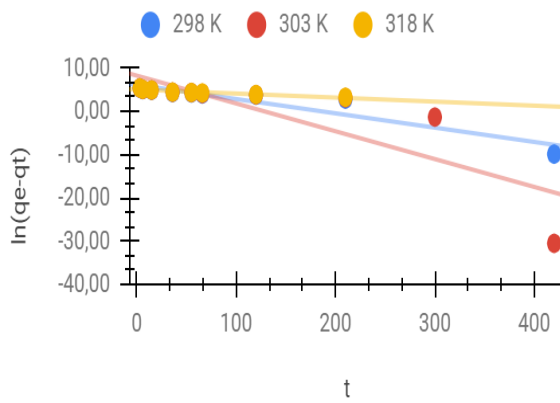
A3-2 aktif karbonu ile metilen mavisinin adsorpsiyonunda izotermi bakıldığı zaman en uygun izotermi Langmuir izotermi olduğu görülmekle birlikte diğer izotermi de R^2 değerlerinin yüksek olması adsorpsiyona etki eden faktörlerinde çeşitliliğini göstermektedir.

A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

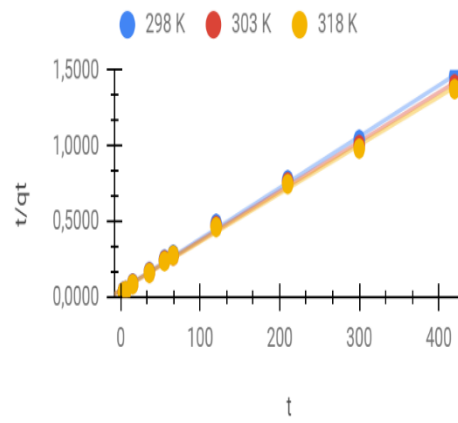
Çizelge 4.57. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik model sabitleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD=1\text{ g}$, r , $\text{pH}=6-7$, $KH=200\text{ rpm}$)

T(K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.033	0.033	0.009
	$q_{e,calc}$	449.312	479.228	149.996
	$q_{e,exp}$	287.859	297.859	305.774
	R^2	0.878	0.868	0.902
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00024	0.00023	0.00021
	$q_{e,calc}$	296.201	306.162	313.906
	$q_{e,exp}$	287.859	297.859	305.774
	R^2	0.998	0.998	0.997
Elovich	β	40.763	41.577	41.994
	α	0.094	0.097	0.101
	$q_{e,exp}$	287.859	298.903	305.774
	R^2	0.977	0.981	0.983
Intraparticle diffusion	k_p	9.602	9.877	10.029
	R^2	0.812	0.830	0.840

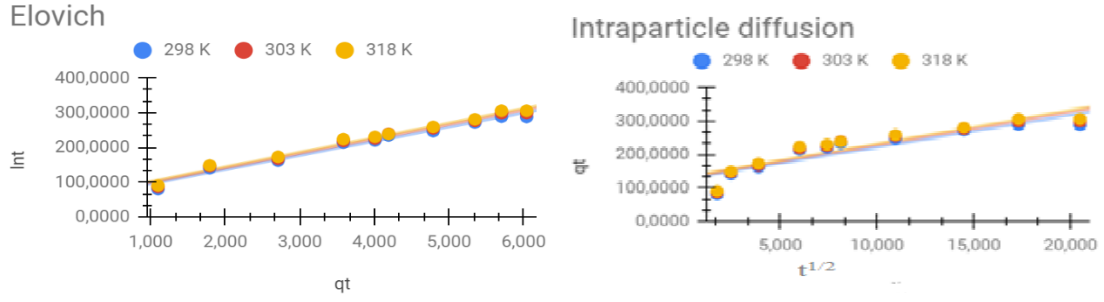
Pseudo first order



Pseudo second order



Şekil 4.103. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD=1\text{ g}$, r , $\text{pH}=6-7$, $KH=200\text{ rpm}$).



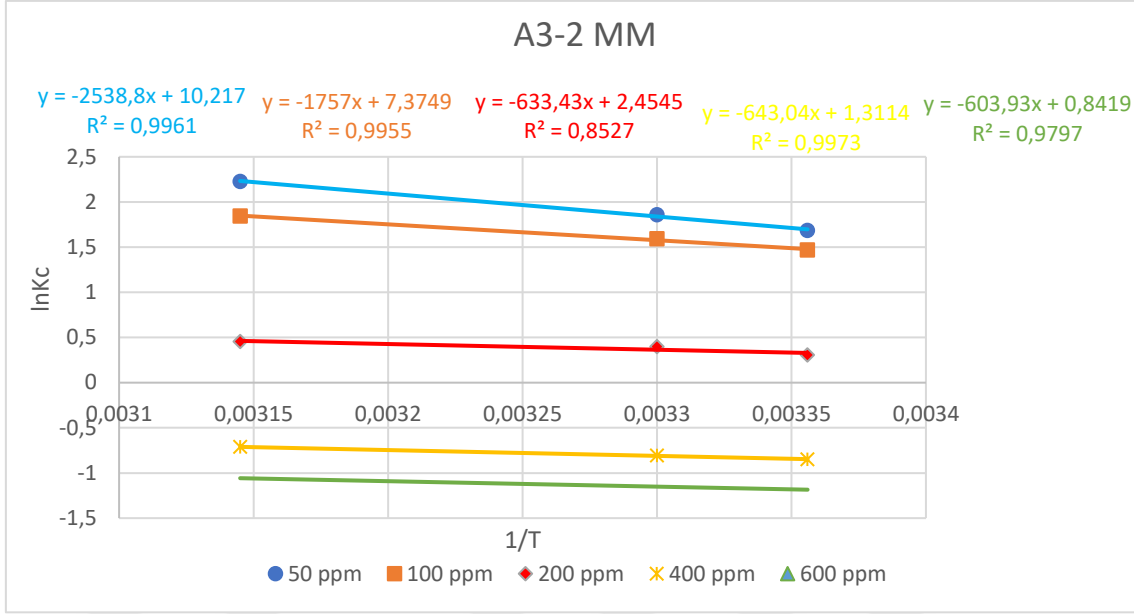
Şekil 4.103. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm) (devamı).

Çizelge 4.57 ve Şekil 4.103'e göre yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order) kinetik, Elovich, İnterpartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) oldukça yüksektir. Bu kinetik modellerden regrasyon (kolarelasyon) sayısı en yüksek olan ve hesaplanan q_e (calc) değerleri deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri ile iyi uyum göstermektedir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi pseudo ikinci mertebe kinetik modele daha uyumludur.

A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.58. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A3-2 MM/ Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	5.3802	1.6827	-4169.2286	21079.1126	84.8513
	303	6.4149	1.8586	-4605.0584		
	318	9.2766	2.2275	-5519.0245		
100 ppm	298	4.3391	1.4677	-3636.3952	14592.4370	61.2631
	303	4.9090	1.5911	-3942.1460		
	318	6.3297	1.8452	-4571.9231		
200 ppm	298	1.3569	0.3052	-756.2304	5251.1054	20.3570
	303	1.4864	0.3963	-981.9817		
	318	1.5744	0.4539	-1124.5329		
400 ppm	298	0.4276	-0.8497	2105.1905	5339.2331	10.8790
	303	0.4464	-0.8066	1998.5052		
	318	0.4906	-0.7121	1764.3082		
600 ppm	298	0.3034	-1.1927	2955.0490	5011.9159	6.9685
	303	0.3197	-1.1405	2825.8290		
	318	0.3463	-1.0603	2627.1121		



Şekil 4.104. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

Çizelge 4.58 ve Şekil 4.104'e bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. Bu adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyonun artacağını göstermektedir. Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm deki sıcaklıklarda (ΔG°)'ise negatif işaretlidir. Gibbs serbest enerji değişimlerinin negatif olması, prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. 400 ppm ve 600 ppm deki sıcaklıklarda adsorpsiyonun yeterli doygunluğa ulaştığını söylenebilir. Entropi (ΔS°) değerlerinin pozitif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent-çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu, konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. Aktif karbon yüzey doygunluğunun arttığı söylenebilir.

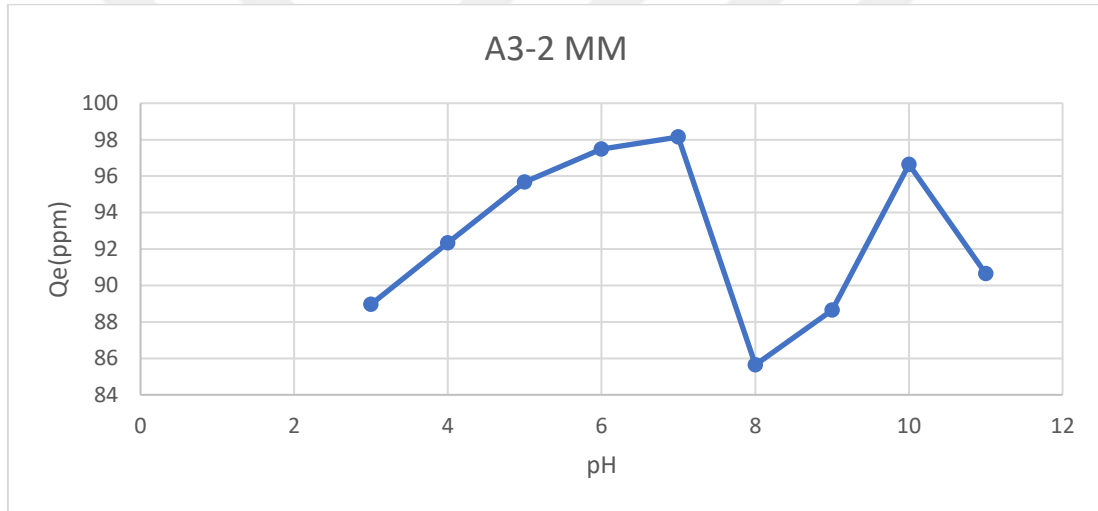
A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

Metilen mavisi A3-1 aktif karbonunda pH 3, pH 4, pH 5, pH 6, pH 7, pH 8, pH 9, pH 10, pH 11 denge konsantrasyonları ve son pH'larının tablosu çizelge 59.'da

verilmiştir. pH ayarlamaları asit içim HCl(hidro klorik asit), baz için NaOH(sodyum hidroksit) kullanılmıştır.

Çizelge 4.59. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

Aktif karbon	Co(MM)ppm	q _e (ppm)	Başlangıç pH	Son Ph
A3-2	200	88.967	3	3.94
	200	92.3442	4	6.42
	200	95.6648	5	6.85
	200	97.4864	6	6.97
	200	98.1435	7	7.03
	200	85.6428	8	7.5
	200	88.6458	9	8.13
	200	96.6426	10	8.56
	200	90.6455	11	9.98

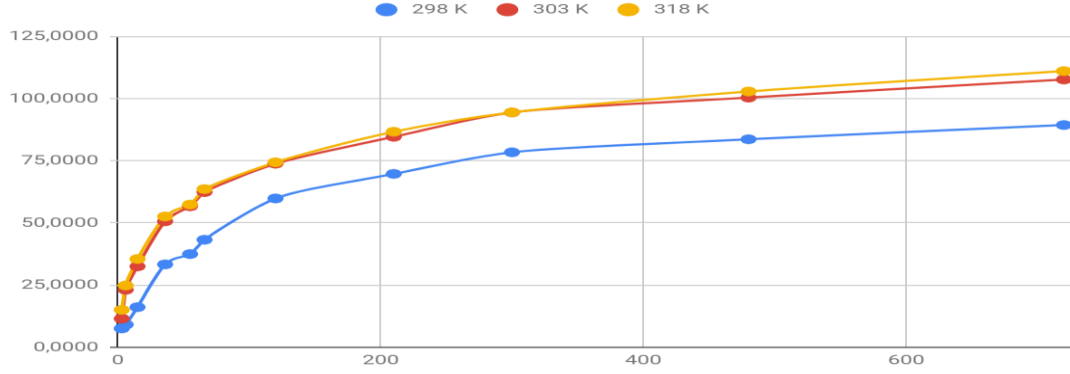


Şekil 4.105. A3-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.

Çizelge 4.59 ve Şekil 4.105'e bakıldığında adsorpsiyonun metilen mavisinin doğal pH aralığında (pH=7.50) en yüksek adsorpsiyonu verdiği görülmüştür. Asidik ortamında ortak iyon etkisinden dolayı metilen mavisinin adsorpsiyonu pH artarken adsorpsiyon artmıştır, yani ortamın asitliği azaldıkça adsorpsiyon artmaktadır. Bazik ortamda pH artarken adsorpsiyon artsada pH=7'deki kadar artış göstermemiştir. Bunun nedeni A1-1' de ifade sodyum hidroksitteki hidroksil iyonlarının normal ortamda boyar madde ile zayıf bağlar oluşturmasıdır.

4.2.7 A4-1 Aktif karbonu metilen mavisi deney sonuçları

A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.106. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi grafiği.

A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.60. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu Langmuir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A4-1 MM					Langmuir	Freundlich	Temkin	D-R		Term.	
298	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	%Ads	qe(mg/g)	Ce/qe	logCe	logqe	lnCe	ξ^2	lnqe	1/T
	50	2.5238	47.4762	94.95	118.6905	0.0213	0.4021	2.0744	0.926	1.20E+07	4.7765	0.0034
	100	4.5915	95.4085	95.41	238.5213	0.0192	0.662	2.3775	1.524	9.10E+06	5.4745	
	200	110.7	89.3003	44.65	223.2508	0.4959	2.0441	2.3488	4.707	6.25E+06	5.4083	
	400	312.935	87.0652	21.77	217.663	1.4377	2.4955	2.3378	5.746	6.18E+06	5.3829	
	600	505.858	94.1418	15.69	235.3545	2.1493	2.704	2.3717	6.226	6.16E+06	5.4611	
303	50	2.1246	47.8754	95.75	119.6885	0.0178	0.3273	2.0781	0.754	13277723.97	4.7849	0.0033
	100	3.8876	96.1124	96.11	240.281	0.0162	0.5897	2.3807	1.358	9703251.737	5.4818	
	200	92.3989	107.601	53.8	269.0028	0.3435	1.9657	2.4298	4.526	6272476.661	5.5947	
	400	291.322	108.678	27.17	271.6945	1.0722	2.4644	2.4341	5.674	6181097.132	5.6047	
	600	489.094	110.906	18.48	277.2643	1.764	2.6894	2.4429	6.193	6164008.563	5.625	
318	50	2.0034	47.9966	95.99	119.9915	0.0167	0.3018	2.0792	0.695	13796856.5	4.7874	0.0031
	100	3.4456	96.5544	96.55	241.386	0.0143	0.5373	2.3827	1.237	10219277.29	5.4864	
	200	89.0347	110.965	55.48	277.4133	0.3209	1.9496	2.4431	4.489	6277552.848	5.6255	
	400	286.786	113.214	28.3	283.036	1.0132	2.4576	2.4518	5.659	6181766.121	5.6456	
	600	483.675	116.325	19.39	290.8115	1.6632	2.6846	2.4636	6.181	6164290.385	5.6727	

A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

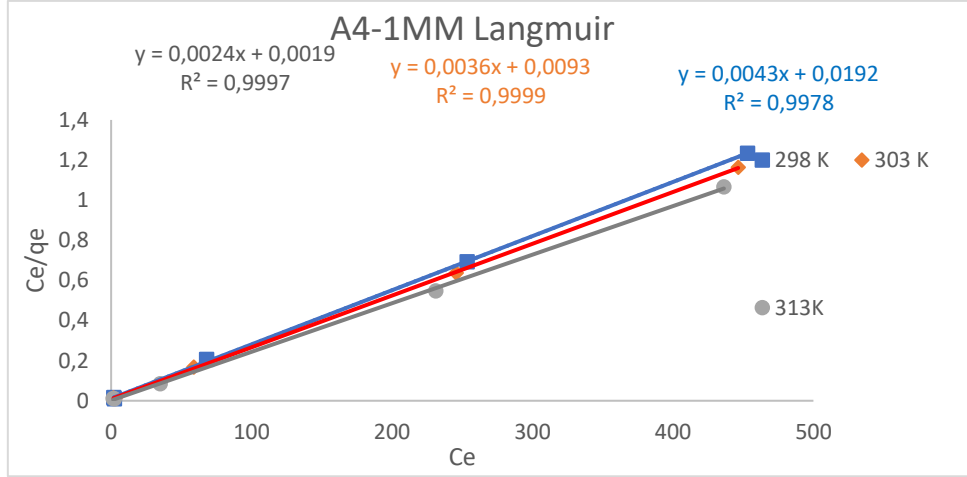
Çizelge 4.61. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri

A4-1 MM	T(K)	298	303	318
Langmuir	b	0.2237	0.3882	0.3106
	Q_m	232.5638	277.4745	290.9311
	R^2	0.9978	0.9999	0.9998
	n	13.6141	9.0886	8.6420
Freundlich	1/n	0.0735	0.1100	0.1157
	K_f	151.3575	150.0566	151.5483
	R^2	0.3700	0.5881	0.6159
	B (J mol ⁻¹)	11.9670	21.3642	23.2563
Temkin	A_T (L g ⁻¹)	691297.4967	1519.6932	876.7674
	b_T	207.0420	115.9734	106.5378
	R^2	0.3437	0.6469	0.6880
	X'm (mg g ⁻¹)	424.0125	547.7734	555.7691
D-R	K' (mol ⁻² J ²)	0.000000094	0.000000107	0.000000103
	R^2	0.6820	0.8841	0.8850
	E (kJmol ⁻¹)	0.0004346	0.0004619	0.0004535

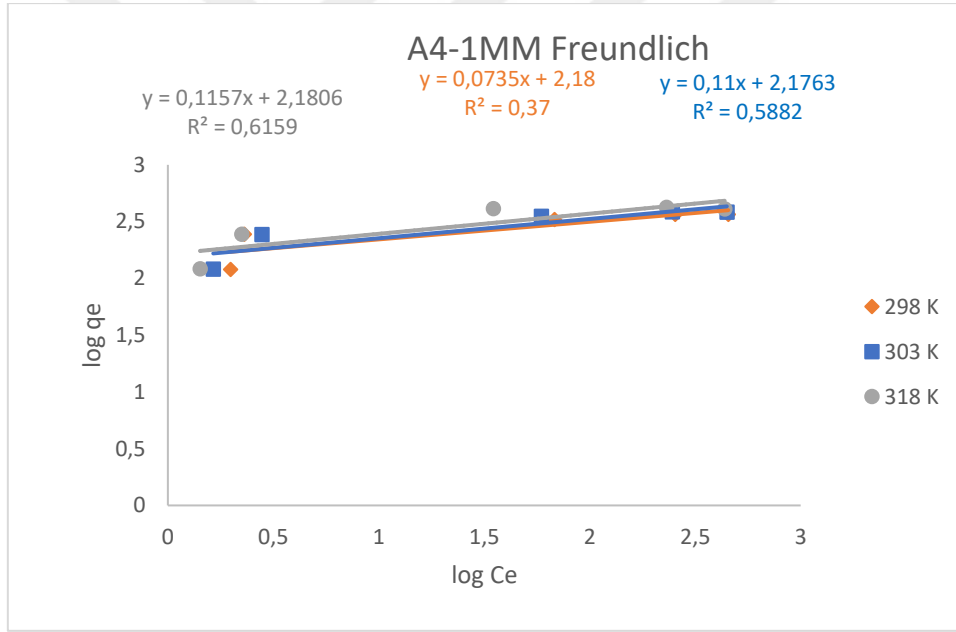
Çizelge 4.61'a bakıldığında aynı sıcaklıkta Adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.61'de görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayılarının 0,85'in üzerinde olduğu, en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir izoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C'de 232.5638 mg/g, 30 °C'de maksimum adsorpsiyon 277.4745 mg/ g, 45 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 290.9311 mg/ g dır. Sıcaklık artıkcı adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regrasyon sayısının 1'e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği b değerine bakılarak bağlanma enerjisinin sıcaklıkla arttığı, Freundlich izoterm sabitlerine göre 1/n değerler 0.0735-0.1100-0.1157 adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre 11.9670-21.3642-23.2563 joule/mol olduğu ve sıcaklık artıkcı adsorpsiyon enrjisinin arttığı, D-R izoterminde E değerine bakılarak adsorpsiyonun fiziksel bir adsorpsiyon olduğu söylenebilir.

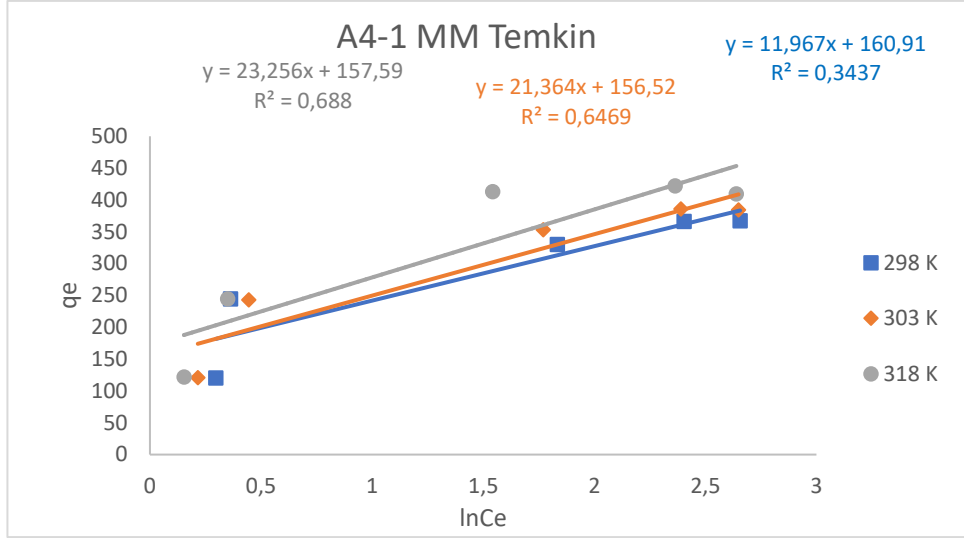
Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.107, Şekil 4.108, Şekil 4.109, Şekil 4.110' de verilmiştir.



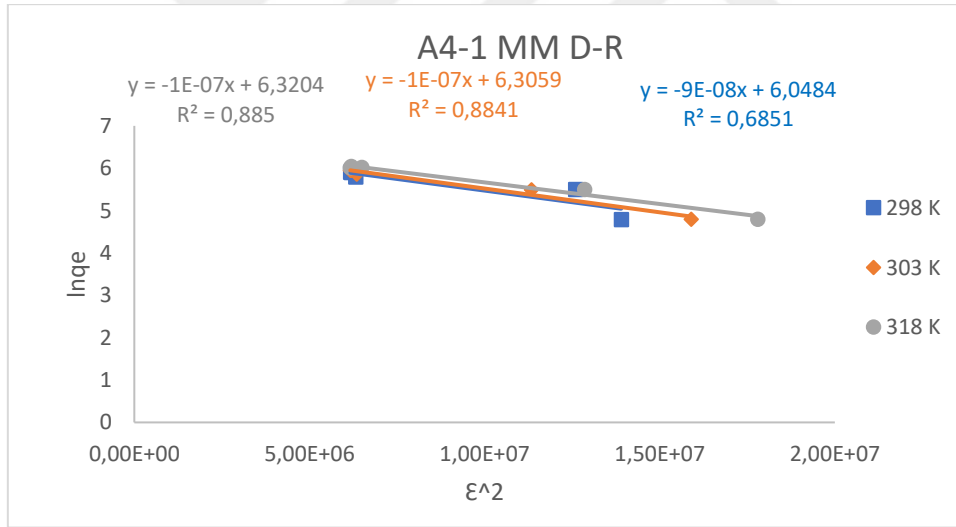
Şekil 4.107. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.108. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.109. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C’deki Temkin izotermi grafiği ($C_0= 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V=0,25L$ AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.110. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30°C ve 45 °C’deki D-R izotermi grafiği ($C_0= 50, 100, 200, 400, 600$ ppm, $V=0,25L$ AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).

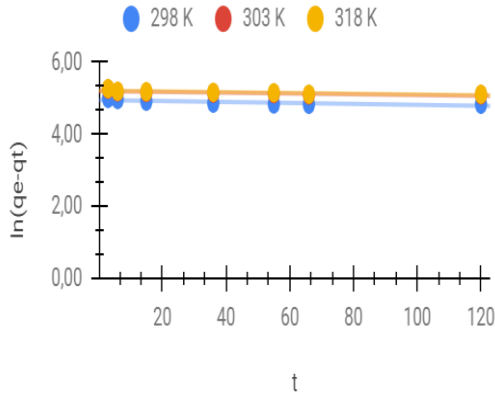
A4-1 aktif karbonu ile metilen mavisinin adsorpsiyonunda izotermi bakıldığı zaman yalnız en uygun izotermi Langmuir izotermi olduğu görülmekle birlikte diğer izotermi de R^2 değerlerinin düşük olduğu görülmektedir.

A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı adsorpsiyon kinetiği

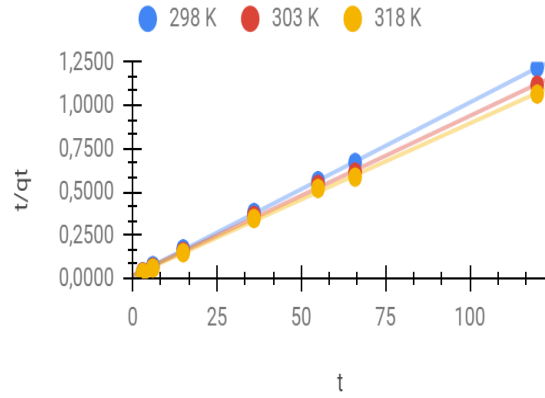
Çizelge 4.62. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik model sabitleri (Co= 200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, r. pH=6-7, KH= 200 rpm)

T(°K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.017	0.017	0.017
	$q_{e,calc}$	490.922	526.251	549.904
	$q_{e,exp}$	223.251	269.003	277.413
	R^2	0.768	0.754	0.744
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00006	0.00008	0.00008
	$q_{e,calc}$	241.598	278.677	285.510
	$q_{e,exp}$	223.251	269.003	277.413
	R^2	0.996	0.996	0.994
Elovich	β	41.517	45.050	44.675
	α	0.007	0.011	0.013
	$q_{e,exp}$	223.251	269.003	277.413
	R^2	0.965	0.993	0.991
Intraparticle diffusion	k_p	8.738	9.254	9.267
	R^2	0.918	0.900	0.916

Pseudo first order

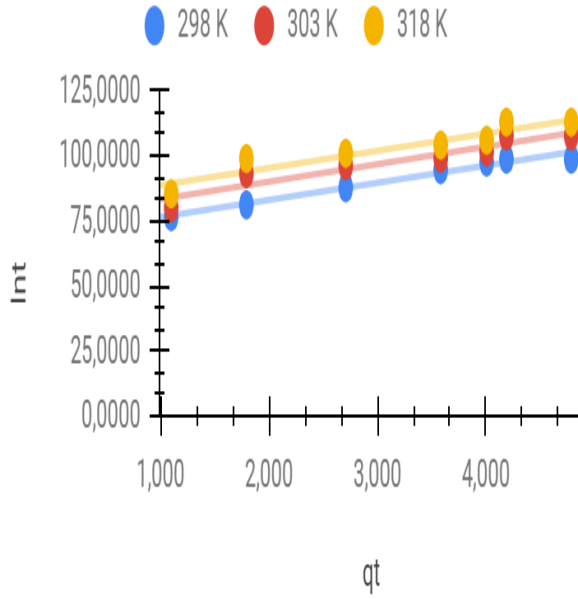


Pseudo second order

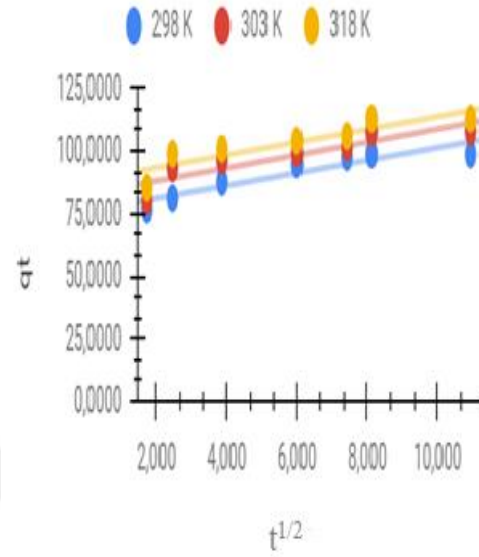


Şekil 4.111. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci merteye (pseudo first order), yalancı ikinci merteye (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).

Elovich



Intraparticle diffusion



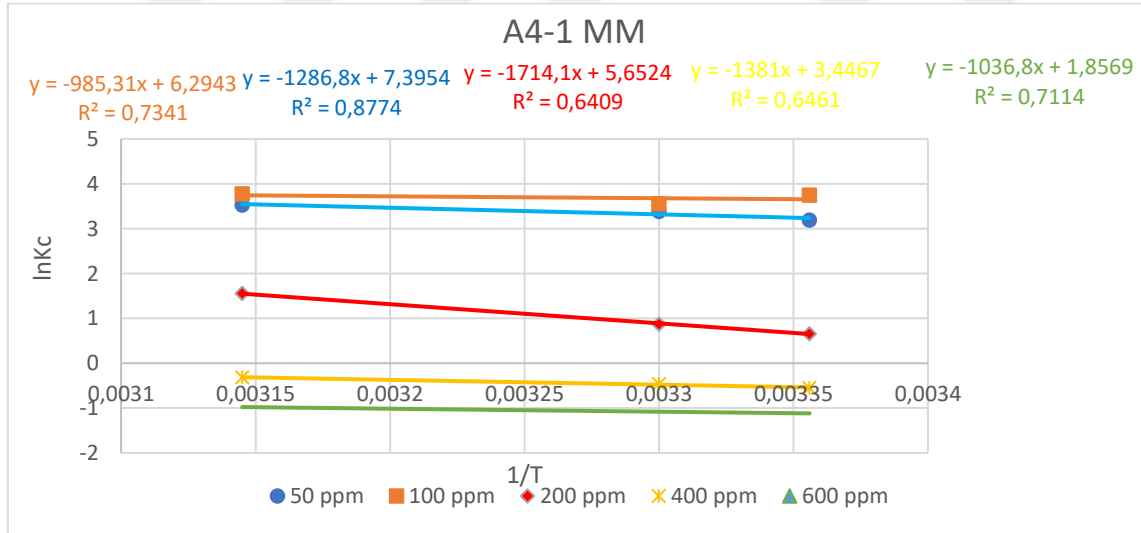
Şekil 4.111. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm) (devamı).

Çizelge 4.62 ve Şekil 4.111'de elde edilen verilere göre hesaplanan pseudo birinci ve ikinci mertebe kinetik modellerinden yalancı birinci mertebe (pseudo first order) kinetik değeri alınamamıştır, yalancı ikinci mertebe (pseudo second order)de elde edilen $q_e(\text{Calc})$ (mg/g) değerlerin deneysel $q_e(\text{Calc})$ (mg/g) değerlerinin daha uygun olduğu, bu uyumluluğu ifade eden R^2 değerleri tüm sıcaklık değerleri için yalancı ikinci mertebe (pseudo second order) kinetik modelinde yüksek ve 1'e yakın değerlere sahiptir.

A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.63. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A4-1MM/ Co	T (K)	K _c	lnK _c	ΔG°, J/mol	ΔH°, J/mol	ΔS°, J/mol.K
50 ppm	298	18.8114	2.9345	-7270.6490	8167.2306	52.2502
	303	22.5338	3.1150	-7718.0069		
	318	23.9576	3.1763	-7869.8047		
100 ppm	298	20.7794	3.0340	-7517.1730	10674.7551	61.4091
	303	24.7228	3.2077	-7947.7075		
	318	28.0225	3.3330	-8258.1162		
200 ppm	298	0.8067	-0.2148	532.2452	14200.4438	46.8284
	303	1.1645	0.1523	-377.3892		
	318	1.2463	0.2202	-545.5629		
400 ppm	298	0.2782	-1.2793	3169.7844	11444.9053	28.5350
	303	0.3731	-0.9860	2443.0937		
	318	0.3948	-0.9295	2302.8800		
600 ppm	298	0.1861	-1.6815	4166.0993	8589.3914	15.3387
	303	0.2268	-1.4839	3676.5620		
	318	0.2405	-1.4250	3530.7617		



Şekil 4.112 A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklar da termodinamik grafiği.

Çizelge 4.63 ve Şekil 4.112'e bakıldığında adsorpsiyonların hesaplanan entalpi (ΔH°) değişimleri pozitif işaretlidir. Bu adsorpsiyonun endotermik olduğunu ve sıcaklık

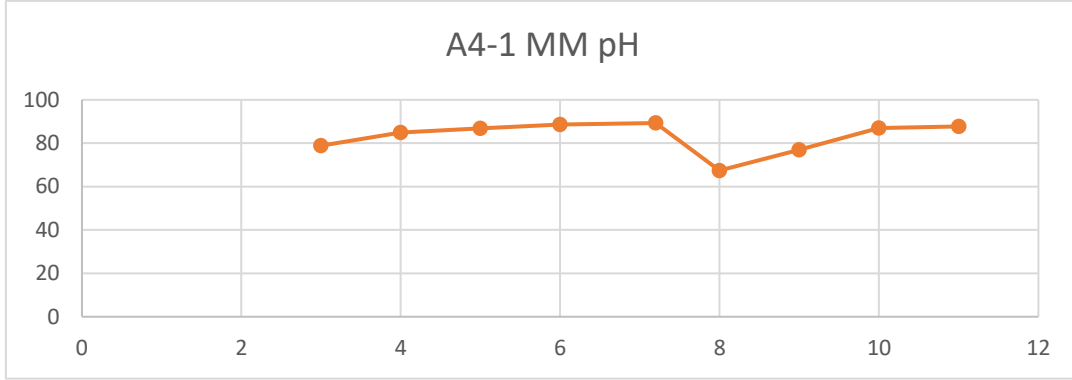
artıkça adsorpsiyonun artacağını göstermektedir. Gibbs serbest enerji değişimi 50 ppm, 100 ppm ve 200 ppm deki sıcaklıklarda (ΔG°)'ise negatif işaretlidir. Gibbs serbest enerji değişimlerinin negatif olması, prosesin söz konusu sıcaklıklarda kendiliğinden olabileceğini ifade etmektedir. 400 ppm ve 600 ppm deki sıcaklıklarda adsorpsiyonun yeterli doygunluğa ulaştığını söylenebilir. Entropi (ΔS°) değerlerinin pozitif olması, adsorbentte bazı yapısal değişiklikler sonucunda adsorbent-çözelti ara yüzeyindeki düzensizliğin düşük konsantrasyonlarda yüksek olması adsorbentin adsorbana olan ilgisinin yüksek olduğunu, konsantrasyon yükselmesi sonucu (ΔS°) değerlerinin düşmesi adsorbentin adsorbana olan ilgisinin azaldığını göstermektedir. Aktif karbon yüzey doygunluğunun arttığı söylenebilir.

A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

Metilen mavisi A4-1 aktif karbonunda pH 3, pH 4, pH 5, pH 6, pH 7, pH 8, pH 9, pH 10, pH 11 denge konsantrasyonları ve son pH'larının tablosu Çizelge 4.64 verilmiştir. pH ayarlamaları asit için HCl(hidroklorik asit), baz için NaOH (sodyum hidroksit) kullanılmıştır.

Çizelge 4.64. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

Aktif karbon	Co(MM)ppm	q _e (ppm)	Başlangıç pH	Son Ph
A4-1	200	78.8644	3	3.9
	200	84.8654	4	6.12
	200	86.8698	5	6.82
	200	88.641	6	7
	200	89.3003	7	7
	200	67.4054	8	7.6
	200	77	9	7.52
	200	86.9424	10	8.61
	200	87.768	11	9.15



Şekil 4.113. A4-1 aktif karbonunun metilen mavisini adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.

Çizelge 4.64 ve Şekil 4.113'e bakıldığında Adsorpsiyonun metilen mavisinin doğal pH aralığında (pH=7.50) en yüksek adsorpsiyonu verdiği görülmüştür. Asidik ortamında ortak iyon etkisinden dolayı metilen mavisinin adsorpsiyonu pH artarken adsorpsiyon artmıştır, yani ortamın asitliği azaldıkça adsorpsiyon artmaktadır. Bazik ortamda pH artarken adsorpsiyon artsada pH=7' deki kadar artış göstermemiştir. Bunun nedeni A1-1' de ifade edilen sodyum hidroksitteki hidroksil iyonlarının normal ortamda boyar madde ile zayıf bağlar oluşturmasıdır.

4.2.8 A4-2 Aktif karbonu metilen mavisini deney sonuçları

A4-2 Aktif karbonunun metilen mavisini adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi



Şekil 4.114. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisini adsorpsiyonu sıcaklık ve konsantrasyon etkisi.

Grafikte sıcaklığın metilen mavisi difüzyonunu arttırdığında daha fazla miktarda metilen mavisi sıcaklık arttıkça aktif karbon içine yerleşmiştir. Adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarının sıcaklıkla artması adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak adsorpsiyon veriminin artışının birçok nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler arasında en önemlisi sıcaklık artışı ile beraber adsorbent partiküllerinin kinetik enerjilerinin de artmış olmasıdır.

A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm değerleri

Çizelge 4.65. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi ile adsorpsiyonu langmüir, Freundlich, Temkin, D-R izoterm değerleri

K	A4-2 MM					Langmuir		Freundlich		Temkin		D-R	Term.
298	Co(ppm)	Ce(ppm)	Cads(ppm)	% Ads.	q _e (mg/g)	Ce/q _e	logCe	logq _e	lnCe	ε^2	lnq _e	1/T	
	50	27.4936	22.5064	45.01	56.266	0.4886	1.4392	1.7502	3.314	6.59E+06	4.0301	0.003356	
	100	66.7578	33.2422	33.24	83.1055	0.8033	1.8245	1.9196	4.2011	6.32E+06	4.4201		
	200	160.0664	39.9336	19.97	99.834	1.6033	2.2043	1.9993	5.0756	6.22E+06	4.6035		
	400	356.3456	43.6544	10.91	109.136	3.2652	2.5519	2.038	5.8759	6.17E+06	4.6926		
	600	550.8768	49.1232	8.19	122.808	4.4857	2.7411	2.0892	6.3115	6.16E+06	4.8106		
303	50	26.0072	23.9928	47.99	59.982	0.4336	1.4151	1.778	3.2584	6620046.797	4.094	0.0033	
	100	63.6754	36.3246	36.32	90.8115	0.7012	1.804	1.9581	4.1538	6333211.861	4.5088		
	200	156.9805	43.0195	21.51	107.5488	1.4596	2.1958	2.0316	5.0561	6217340.967	4.6779		
	400	352.7624	47.2376	11.81	118.094	2.9871	2.5475	2.0722	5.8658	6173733.795	4.7715		
	600	548.688	51.312	8.55	128.28	4.2773	2.7393	2.1082	6.3075	6161276.816	4.8542		
318	50	25.5876	24.4124	48.82	61.031	0.4193	1.408	1.7856	3.2421	6628088.523	4.1114	0.003145	
	100	64.0464	35.9536	35.95	89.884	0.7125	1.8065	1.9537	4.1596	6332077.439	4.4985		
	200	154.8896	45.0195	22.51	112.5488	1.377	2.1903	2.0513	5.0433	6218356.752	4.7234		
	400	353.2236	46.7764	11.69	116.941	3.0205	2.548	2.068	5.8671	6173688.222	4.7617		
	600	547.7784	52.2216	8.7	130.554	4.1958	2.7386	2.1158	6.3059	6161314.041	4.8718		

A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonu izoterm sabitleri değerleri

Çizelge 4.66. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri

A4-2 MM	T(K)	298	303	318
	b	0.0237	0.0281	0.0285
Langmuir	Q _m	128.9107	134.4977	135.851
	R ²	0.9958	0.9984	0.9965

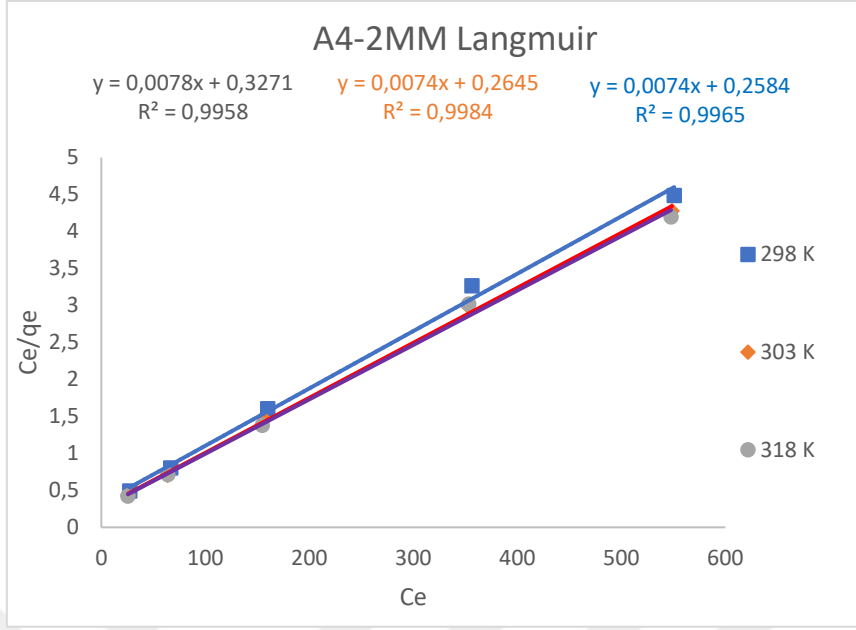
Çizelge 4.66. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyon sabitleri (devamı)

A4-2 MM	T(K)	298	303	318
Freundlich	n	4.1345	4.3051	4.3174
	1/n	0.2419	0.2323	0.2316
	K _f	27.4613	31.079	31.5935
	R ²	0.9408	0.9203	0.9175
	B (J mol ⁻¹)	20.7668	21.1568	21.3569
Temkin	A _T (L g ⁻¹)	0.6583	0.8546	0.8705
	b _T	119.3092	117.1104	116.0128
	R ²	0.976	0.9663	0.9546
	X'm (mg g ⁻¹)	3404899.966	1907587.545	1616478.773
D-R	K' (mol ² J ²)	0.000001673	0.000001568	0.000001539
	R ²	0.9733	0.9867	0.9796
	E (kJmol ⁻¹)	0.0018292	0.0017709	0.0017547

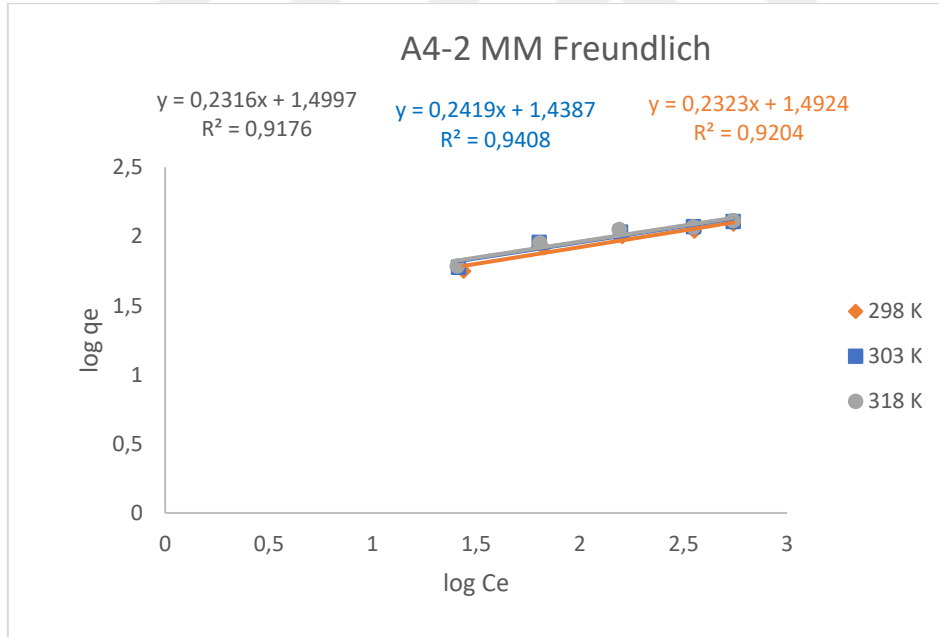
Çizelge 4.65'e bakıldığında aynı sıcaklıkta Adsorbat konsantrasyonunun artışıyla yüzde adsorpsiyon miktarının düştüğü, aynı konsantrasyonda sıcaklık artışı ile yüzde konsantrasyon miktarının arttığı görülmektedir

Çizelge 4.66'da görüldüğü gibi üç sıcaklıkta da regresyon katsayılarının 0,90'ın üzerinde olduğu, en yüksek regresyon katsayısına sahip Langmuir izoterminden elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi, 25 °C'de 128.9107 mg/g, 30 °C'de maksimum adsorpsiyon 134.4977mg/ g, 45 °C'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi 135.8510 mg/ g dır. Sıcaklık artıkça adsorbent kütlesi başına adsorplanmış madde miktarının artması endotermik bir adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Regrasyon sayısının 1'e çok yakın olması adsorpsiyonun tek tabakalı olarak meydana geldiği b değerine bakılarak bağlanma enerjisinin sıcaklıkla arttığı, Freundlich izoterm sabitlerine göre 1/n değerler 0.2419-0.2323-0.2316adsorpsiyon izoterm eğrisinin hafifçe yükselen ve elverişli olduğu, n değerine bakılarak da iyi bir adsorpsiyon gerçekleştiği, Temkin izotermi B verisine göre 11.9670-21.3642-23.2563 joule/mol olduğu ve sıcaklık artıkça adsorpsiyon enrjisinin arttığı, D-R izoterminde E değerine bakılarak adsorpsiyonun fiziksel bir adsorpsiyon olduğu söylenebilir.

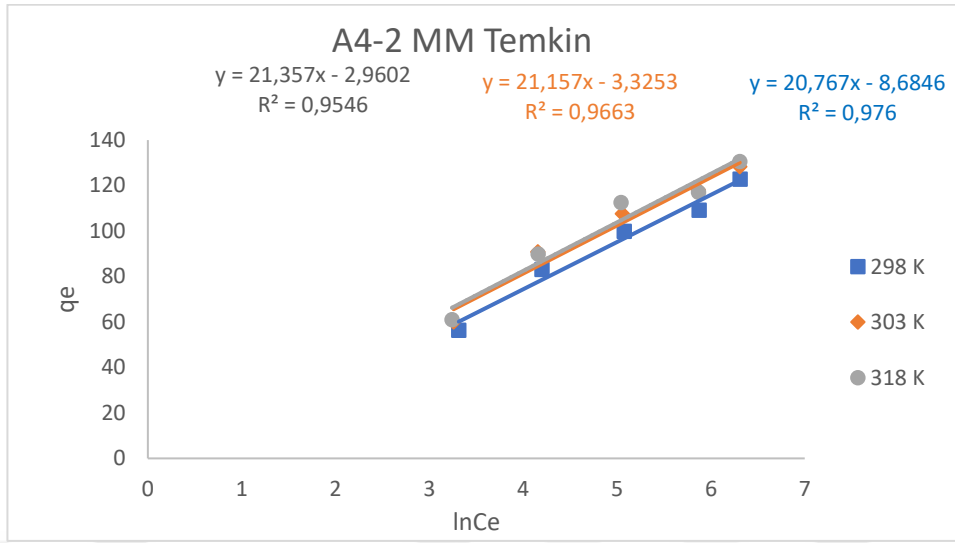
Adsorpsiyonlar ile ilgili izoterm grafikleri Şekil 4.115, Şekil 4.116, Şekil 4.117, Şekil 4.118' de verilmiştir.



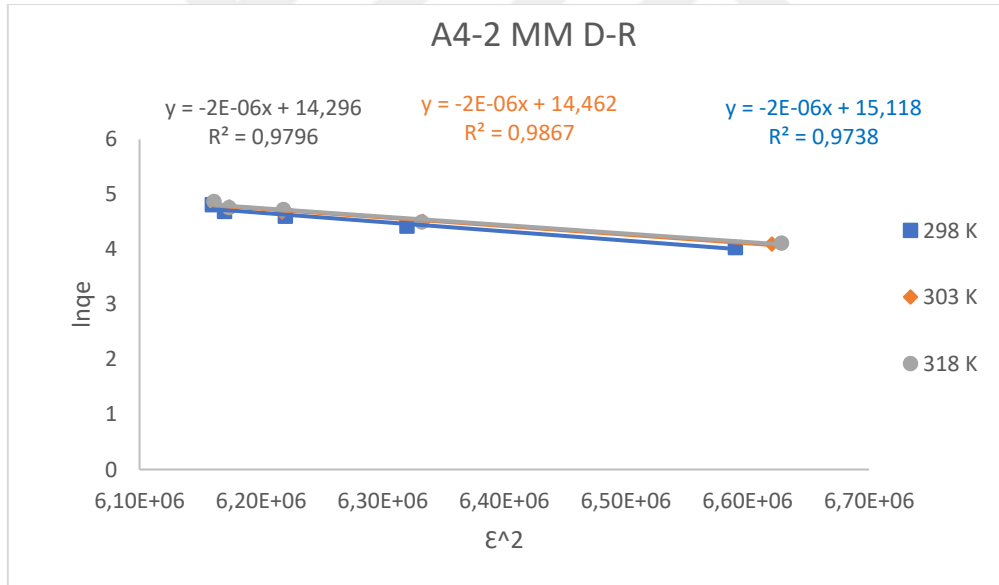
Şekil 4.115. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Langmuir izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.116. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki Freundlich izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.117. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki Temkin izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).



Şekil 4.118. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi giderimi adsorpsiyonu 25 °C, 30 °C ve 45 °C’deki D-R izotermi grafiği (Co= 50, 100, 200, 400, 600 ppm, V=0,25L AD= 1 g, pH=7, KH=200 rpm).

A4-2 aktif karbonu ile metilen mavisinin adsorpsiyonunda izotermi bakıldığı zaman üç sıcaklıkta en uygun izotermin Langmuir izotermi olduğu görülmekle birlikte

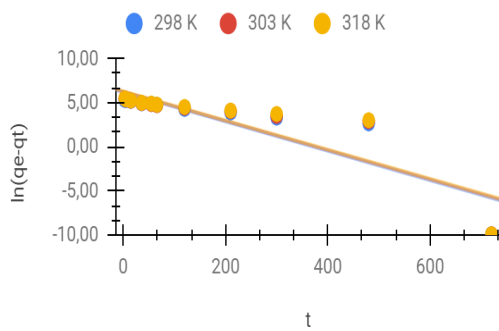
diğer izotermelerinde R^2 değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu adsorpsiyona başka faktörlerinde etki ettiğini göstermektedir.

A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği

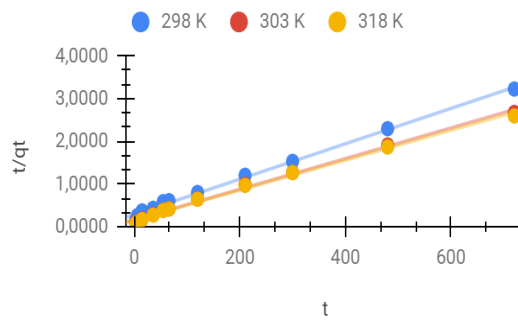
Çizelge 4.67. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30°C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik model sabitleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD=1\text{ g}$, $r. \text{pH}=6-7$, $KH=200\text{ rpm}$)

T(°K)		298	303	318
Yalancı birinci derece (Pseudo first order)	k_{1p}	0.285	0.110	0.021
	$q_{e,calc}$	1999.727	93.996	19.891
	$q_{e,exp}$	98.595	107.549	112.776
	R^2	0.862	0.871	0.773
Yalancı birinci derece (Pseudo second order)	k_{2p}	0.00679	0.00477	0.00467
	$q_{e,calc}$	99.927	108.672	113.853
	$q_{e,exp}$	98.595	107.549	112.776
	R^2	1.000	0.999	0.999
Elovich	β	6.590	6.713	6.594
	α	6033.768	13284.193	38342.082
	$q_{e,exp}$	98.595	107.549	112.776
	R^2	0.974	0.902	0.886
Intraparticle diffusion	k_p	2.517	2.580	2.545
	R^2	0.860	0.805	0.798

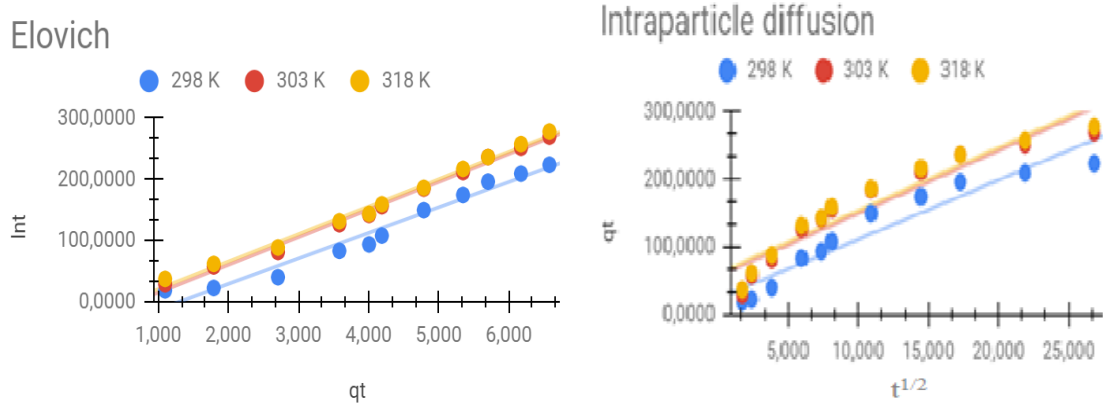
Pseudo first order



Pseudo second order



Şekil 4.119. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intreparküler difüzyon kinetik grafikleri ($C_0=200\text{mg/L}$, $V=0,25\text{L}$, $AD=1\text{ g}$, $\text{pH}=6-7$, $KH=200\text{ rpm}$).



Şekil 4.119. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda 25 °C, 30 °C ve 45 °C'deki yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order), Elovich, intrepartiküler difüzyon kinetik grafikleri (Co=200mg/L, V=0,25L, AD= 1 g, pH=6-7, KH= 200 rpm).

Çizelge 4.67 ve Şekil 4.119'da elde edilen verilere göre hesaplanan yalancı birinci mertebe (pseudo first order), yalancı ikinci mertebe (pseudo second order) kinetik, Elovich, İnterpartiküler difüzyon modellerinde elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) oldukça yüksektir. Bu kinetik modellerden regrasyon (kolarelasyon) sayısı en yüksek olan ve hesaplanan q_e (calc) değerleri deneysel olarak bulunan q_e (exp) değerleri ile iyi uyum göstermektedir. Bu nedenle adsorpsiyon sistemi yalancı ikinci mertebe kinetik modele daha uyumludur.

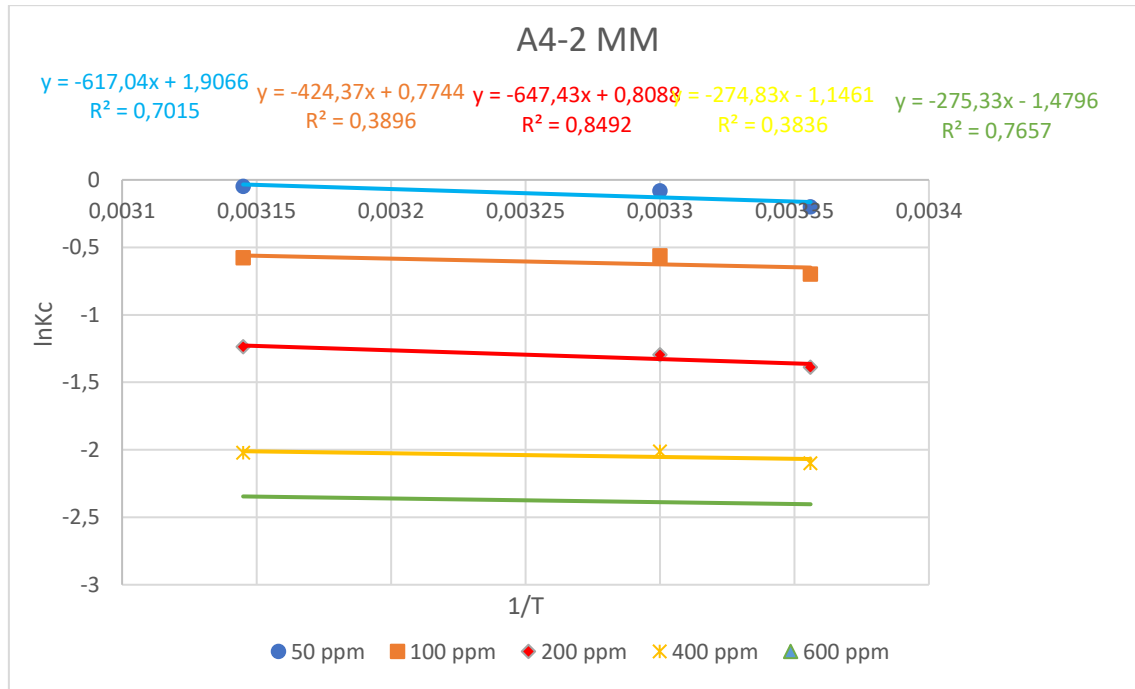
A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

Çizelge 4.68. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A4-2MM/ Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
50 ppm	298	0.8186	-0.2002	495.9157	511.7135	15.7910
	303	0.9225	-0.0806	199.7494		
	318	0.9541	-0.0470	116.4921		
100 ppm	298	0.4980	-0.6973	1727.5623	3509.4188	6.3767
	303	0.5705	-0.5613	1390.7274		
	318	0.5614	-0.5774	1430.5573		

Çizelge 4.68. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik parametreleri

A4-2MM/ Co	T (K)	Kc	lnKc	ΔG° , J/mol	ΔH° , J/mol	ΔS° , J/mol.K
200 ppm	298	0.2495	-1.3884	3439.9331	5368.0755	6.6755
	303	0.2740	-1.2945	3207.2729		
	318	0.2905	-1.2362	3062.9123		
400 ppm	298	0.1225	-2.0996	5202.1216	2272.0459	-9.5718
	303	0.1339	-2.0106	4981.6273		
	318	0.1324	-2.0217	5009.1739		
600 ppm	298	0.0892	-2.4172	5988.9890	2283.0231	-12.3219
	303	0.0935	-2.3696	5871.1150		
	318	0.0953	-2.3504	5823.4675		

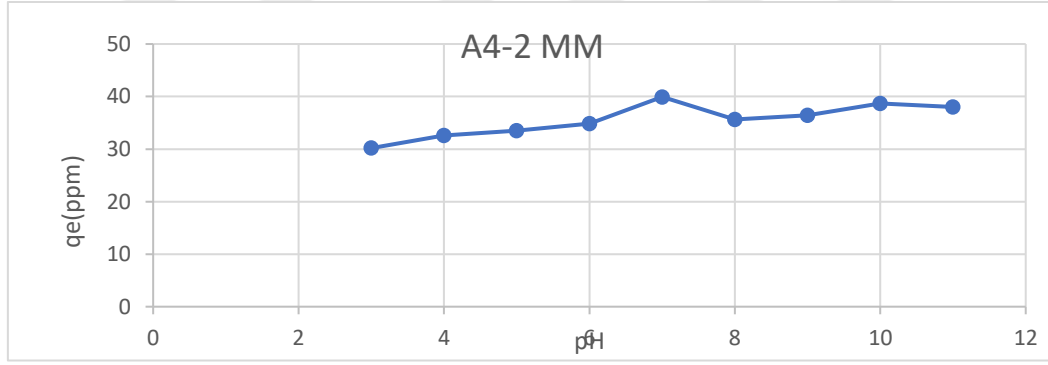


Şekil 4.120. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda termodinamik grafiği.

A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

Çizelge 4.69. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi

Aktif karbon	Co (MM)ppm	q _e (ppm)	Başlangıç pH	Son Ph
A4-2	200	30.1864	3	3.2
	200	32.5664	4	4.58
	200	33.4854	5	6.62
	200	34.8688	6	6.92
	200	39.9336	7	7.04
	200	35.6644	8	7.7
	200	36.4408	9	8.84
	200	38.6644	10	9.05
	200	38.0244	11	10.4



Şekil 4.121. A4-2 aktif karbonunun metilen mavisi adsorpsiyonunda başlangıç pH değişiminin etkisi grafiği.

Çizelge 4.69 ve Şekil 4.121'e bakıldığında Adsorpsiyonun metilen mavisinin doğal pH aralığında (pH=7.50) en yüksek adsorpsiyonu verdiği görülmüştür. Asidik ortamında ortak iyon etkisinden dolayı metilen mavisinin adsorpsiyonu pH artarken adsorpsiyon artmıştır, yani ortamın asitliği azaldıkça adsorpsiyon artmaktadır. Bazik ortamda pH artarken adsorpsiyon artsada pH=7'deki kadar artış göstermemiştir. Bunun nedeni A1-1' de ifade edilen sodyum hidroksitteki hidroksil iyonlarının normal ortamda boyar madde ile zayıf bağlar oluşturmasıdır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan çalışmada Aktif karbon olarak; Ham madde olarak Van yöresinde yetişen, yabani kuşburnu ağacı (A1), akasya ağacı (A2), dişbudak ağacı (A3), kavak ağacı (A4) ile $ZnCl_2$ (çinko klorür), NaOH (sodyum hidroksit), H_3PO_4 (fosforik asit), H_3BO_3 (Borik asit) empregnasyonlarından sonra N_2 gazı (ortamında) ile 800 °C’de piroliz edilmesi sonucunda 16 farklı aktif karbon üretilmiştir. Ham maddenin yapısı ve kullanılan kimyasalların, oluşan aktif karbonların yüzeylerinde, gözenek boyutları da olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.

Elementel analiz sonucu ham maddedeki karbon oranlarının üretilen aktif karbonlarda yükseldiği, hidrojen oranlarının ise düştüğü belirlenmiştir. Bu da karbon-karbon arası bağların arttığını göstermektedir.

Ftır analizine bakıldığında bütün aktif karbonlarda C=C bağlarının, C-O ve C=O bağlarının arttığı, karboksilat bandının kırıldığı söylenebilir.

Çinko klorürü ile emregnasyon sonucu oluşan aktif karbonların saf maddenin yapısındaki karboksilat bandının kırıldığı H ve OH etkileşimlerinin arttığı söylenebilir.

Sodyum hidroksit emregnasyonu sonucu oluşan aktif karbonlarda ise yüksek frekanstaki hidroksillerin (OH^{-1}) düşük frekanslarda oluştuğu, karbonun azot etkileşimini 1400- 1610 arasındaki C-C bağlarının kırıldığı, orta güçlükte aromatik C=C bağlarının ve C-Cl yada tetrahedral demir oksit bileşiklerinin oluştuğu söylenebilir.

Fosforik asit emregnasyonu sonucu oluşan aktif karbonlarda 1400- 1610 arasındaki C-C bağlarının kırıldığı, sodyum hidroksit ile emregnasyonu sonucu oluşan aktif karbonlar gibi yüksek frekanstaki hidroksillerin (OH^{-1}) düşük frekanslarda oluştuğu akasya ağacı talaşı emregnasyonu sonucu elde edilen aktif karbondaki hidroksil frekanslarının arttığı zayıf C-H bağlarının büyük kısmının kırıldığı yüksek frekanta C-H ve C-O frekansları da titreşimlerinin oluştuğu söylenebilir.

Borik asit emregnasyonu sonucu elde edilen aktif karbonlarda genel anlamda C-C bağlarının büyük çoğunluğunun kırıldığı, C-N arasında etkileşimleri oluştuğu, C-O bağ titreşimlerinin arttığı söylenebilir. A2-4 ve A4-4 C-Cl bağı yada tetrahedral yapıda demir oksit bileşikleri oluştuğu söylenebilir.

Bet analizlerine bakıldığında en yüksek Langmuir yüzey alanları çalı bitki türü olan yabani kuşburnu ağacı talaşı ve akasya ağacı talaşından elde edildiği görülmektedir. Ağaçların kendi yapıları benzer olmakla birlikte ihtiva etikleri bileşiklerini farklılıklarından dolayı aktif karbon üretiminde farklılık oluşturduğu görülmüştür. Kimyasal maddelerinde farklılığı yüzey yapısı ve gözenek yapılarını etkilemektedir. Yapılan bu çalışmada çinko klorür, sodyum hidroksit ve fosforik asit ile yapılan denemelerde genel itibariyle bet, Langmuir ve tek noktalı yüzey alanı ölçümlerinde en iyi yüzey alanları birinci sırada yabani kuşburnu ağacında ikinci sırada akasya ağacında üçüncü sırada dışbudak ağacında dördüncü sırada ise kavak ağacı bulunmaktadır. Borik asit ile üretilen aktif karbonlarda ise akasya ve dışbudak ağacından elde edilen aktif karbonların yüzey alanlarının daha fazla olduğu ve endüyük yüzey alanına kavak ağacından elde edilen aktif karbonun sahip olduğu görülmektedir. T plot mikropor ölçümlerine bakıldığında bütün aktif karbonların mikropor yüzey alanlarının arttığı en yüksek mikro por alanının akasya ağacının çinko klorürü ile impregnasyonu sonucu oluşturulan aktif karbonda görülmektedir. BJH adsorpsiyon gözenek genişliklerine bakıldığında makro gözenekli ve düşük mezo gözeneklere yapılar sahip saf ağaç talaşı karbonlarının, ağaç talaşına kimyasal impregnasyon sonucu üretilen aktif karbonların ortalama mezo hatta mikro gözeneğe yakın yapıda aktif karbonlar olduğu görülmüştür. Borik asitle üretilen aktif karbonların Langmuir ve bet yüzey alanına oranlandığında diğer kimyasallarla üretilen aktif karbon yüzey alanları oranına göre daha az olduğu görülmektedir. Bütün aktif karbonların BJH adsorpsiyon ve desorpsiyon ortalama gözenek genişliklerine bakıldığında aktif karbonların mezo gözenekli aktif karbonlar olduğu söylenebilir.

Seçilmiş olan aktif karbonların metilen mavisi ve kinolin sarısı ile yapmış olduğu adsorpsiyonlarda sıcaklık arttıkça adsorpsiyonların genel olarak arttığı görülmüştür. En yüksek adsorpsiyon A1-1 427.6295 mg/g A1-2 461.365 mg/g A2-1 409.386 mg/g A2-2 462.5285 mg/g olduğu görülmüştür.

Adsorpsiyonların R^2 değerinin en yüksek langmür izotermine uyduğu fakat Temkin, D-R ve Freundlich izotermelerinde de R^2 değerlerinin yüksek olması adsorpsiyona birçok etkenin etkisi olduğunu, ayrıca adsorpsiyon ısısı değerlerinin adsorbent ile adsorbat arasında fiziksel etkileşimler olduğunu göstermektedir.

Adsorpsiyonların kinetiğine bakıldığı zaman yalancı ikinci mertebeden kinetic modele uyduğu görülmektedir.

Adsorpsiyon termodinamik parametrelerine ve grafikleri bakıldığında adsorpsiyonların kendiliğinde gerçekleşen adsorpsiyonlar olduğu adsorbe edilecek madde arttıkça artış gösterdiği fakat % de adsorpsiyon miktarlarının düştüğü için adsorbe edilebilecek maksimum miktara yaklaştıkça serbest entalpi değerlerinin negatiften pozitive doğru değiştiği entalpinin sürekli olarak pozitif olduğu, entropi değerinin de düştüğü görülmektedir. Bu da sıcaklıkla adsorpsiyonun artmasına rağmen adsorbe eden maddenin adsorbe edebileceği maddenin sınırlı olduğunu göstermektedir.

Adsorpsiyonun pH değerlerine bakıldığında genel olarak asidik ve bazik ortam pH'ları artarken adsorpsiyonun da arttığı fakat en iyi adsorpsiyonun pH=7 de gerçekleştiği görülmüştür. Ölçümler esnasında farklı olarak santrifüj kullanılmamış ölçümün iyi yapılabilmesi için düşük miktarda aktif karbon kullanılmıştır. Aktif karbon yüzey alanın negatif yada pozitif olması adsorpsiyonu etilemektedir. Kullanılan boyar maddelerden metilen mavisi ve kinolin sarısı katyonik boyar maddede olduğu için asidik ortamda hidrojen iyonları metilen mavisinin yüzeye tutumasını engellemiştir. Bazik ortamda ise hidroksil iyonlarının metilen mavisi ile etkileşimi sonucu hem adsorbe edilecek metilen mavisinin moleküler boyutunu büyütmüş hem yüzeye tutumasını engellemiştir. Adsorbe olan hidroksil iyonlarının artışı metilen mavisinin aktif karbon içerisindeki tutunma miktarını artırmıştır.

Aktif karbonların SEM görüntülerine bakıldığında yüzeydeki gözeneklerin arttığı ayrıca yüzey gözenek çeşitliliğinin farklı ağaç ve aynı kimyasal kullanılması, aynı ağaç ve farklı kimyasallar kullanıldığında mikro mezo ve makro gözenek yapısında farklılıkların olduğu görülebilmektedir.

Aktif karbon üretimine yönelik yürütülecek çalışmaların hammaddenin doğasına son derece bağlı olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur. Farklı ağaç türlerinin yapısal ve kimyasal farklılıkları aktif karbon üretiminde farklılıklara sebep olmaklar birlikte farklı kimyasal maddelerin kullanımında aktif karboların yapısını etkilemektedir. Aktif karbonlarda oluşan mikro, mezo ve makro gözenek yapıları gözenek hacim ve çapları farklı ağaç ve kimyasallarda farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle, bu kapsamda

yürütülecek çalışmalar öncesinde hammaddelerin fiziksel ve kimyasal özellik ve davranışlarının detaylı olarak belirlenmesi önerilmektedir.

Yapılacak çalışmalarda kullanılacak boyar maddenin spektrofotometrede asidik ve bazik ortamdaki konsantrasyon ölçümleri ve etkileşimleri dikkate alınmalıdır. Benzer şekilde farklı ağaç türlerinin aktif karbon üretiminde farklı metodlarla üretimi çalışmaları yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Açışlı, Ö., 2019. Doum Palm Meyve Kabuklarından Aktif Karbon Üretimi ve Karakterizasyonu, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **16**: 544-551.
- Ahmad, A. L., Loh, M. M., Aziz, J. A., 2007. Preparation and Characterization of Activated Carbon from Oil Palm Wood and İts Evaluation on Methylene Blue Adsorption, *Dyes and pigments*, **75** (2): 263-272.
- Ahmadpour, A., Do, D.D., 1997. The Preparation of Activated Carbon from Macadamia Nutshell by Chemical Activation. *Carbon*, **35** (12): 1723-1732.
- Akkaya, G. 2012. *Sulu Çözeltilerden Bazı Boyar Madde ve Ağır Metallerin Adsorpsiyonu İçin Çeşitli Bitkisel Atıklardan Yeni Tür Biyosorplayıcılar Hazırlanması ve Karakterize Edilmesi*, (doktora tezi, basılmamış). DÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2012.
- Aksu, Z., İşoğlu, İ.A., 2005. Removal of Copper (II) İons from Aqueous Solution by Biosorption onto Agricultural Waste Sugar Beet Pulp, *Process Biochemistry*, **40** (9): 3031-3044.
- Alhamed, Y. A., 2009. Adsorption Kinetics and Performance of Packed Bed Adsorber for Phenol Removal Using Activated Carbon from Dates' Stones, *Journal of hazardous materials*, **170** (2-3): 763-770.
- Alkan, S., Gür, A., Ertan, M., Savran, A., Gür, T., Genel, Y., 2009. Immobilization of catalase via adsorption into natural and modified active carbon obtained from walnut in various methods, *African Journal of Biotechnology*, **8** (11).
- Altun, T., Parlayıcı, Ş., 2018. Sepiolit-Kitosan Kompozitlerinin Sentezi ve Bu Kompozit ile Sulu Çözeltilerden Cr (VI) Adsorpsiyonunun İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **6** (2): 242-254.
- Ahmet, C.A.N., Sivrikaya, H., 2017. Mantar Tahribatına Uğramış Titrek Kavak Odununun FT-IR Yöntemiyle Kimyasal Analizi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, **19** (1): 139-147.
- Al-Oweini, R., El-Rassy, H., 2009. Synthesis and Characterization by FTIR Spectroscopy of Silica Aerogels Prepared Using Several Si (OR)₄ and R' Si (OR')₃ Precursors, *Journal of Molecular Structure*, **919** (1-3): 140-145.
- Avcı, J.C. 1981. Yeni bir kristal manganee dioksit formunun hazırlanması: λ-MnO₂. *Kati Hal Kimyası Dergisi*, **39** (2): 142-147.
- Amin, N. K., 2009. Removal of Direct Blue-106 Dye from Aqueous Solution Using New Activated Catbons Developed from Pomegranate Peel: Adsorption Equilibrium and Kinetics, *Journal of Hazardous Materials*, **165**: 52.
- Arriagada, R., Garcia, R., Molina-Sabio, M., and Rodriguez-Reinoso, F., 1997. Effect of steam activation on the porosity and chemical nature of activated carbons from Eucalyptus globulus and peach stones. *Microporous Materials*, **8**(3-4): 123-130.
- Aydemir, D., Gündüz, G., 2009. Ahşabın Fiziksel, Kimyasal, Mekaniksel ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Isıyla Muamelenin Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, **11** (15): 61-70.
- Baçaoui, A., Yaacoubi, A., Dahbi, A., Bennouna, C., Luu, R.P.T., Maldonado-Hodar, F.J., Moreno-Castilla, C., 2001. Optimization of Conditions for the Preparation of Activated Carbons from Olive-Waste Cakes, *Carbon*, **39** (3): 425-432.

- Bahar N., 2011 *Şeker pancarı küspesi modifiye ürünleriyle sulu ortamlardan bazik boyar maddelerin giderilmesi* (doktora tezi, basılmamış). FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Baçaoui, A., Yaacoubi, A., Dahbi, A., Bennouna, C., Luu, R. P. T., Maldonado-Hodar, F. J., Rivera-Utrilla, j., Moreno-Castilla, C., 2001. Optimization of Conditions for the Preparation of Activated carbons from Olive-Waste cakes, *Carbon*, **39** (3): 425-432.
- Bağ, Ö., Tekin, K., 2019. Production and Characterization of Hydrothermal Carbon from Waste Lignocellulosic Biomass, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **35** (2): 1063-1076.
- Balakrishnan, K., Schwank, J., 1992. FTIR Study of Bimetallic Pt-Sn/Al₂O₃ Catalysts, *Journal of Catalysis*, **138** (2): 491-499.
- Bansal, R. C., Goyal, M., 2005, (*Activated Carbon Adsorption*), Taylor and Francis Group, 497
- Basha, S., Murthy, Z.V.P. 2007. Kinetic and equilibrium models for biosorption of Cr (VI) on chemically modified seaweed, *Cystoseira indica*. *Process Biochemistry*, **42** (11): 1521-1529.
- Baytar, O., Ceyhan, A. A., Şahin, Ö. 2021. Production of activated carbon from *Elaeagnus angustifolia* seeds using H₃PO₄ activator and methylene blue and malachite green adsorption, *International Journal of Phytoremediation*, **23** (7): 693-703.
- Başer, İ., İnancı, M., 1990. (*Boyar Madde Kimyası*), Marmara Üniversitesi Yayınları, 1. Baskı, İstanbul, 217s.
- Benguella, B., and Yacouta-Nour, A., 2009. Adsorption of bezanyl red and nylomine green from aqueous solutions by natural and acid-activated bentonite. *Desalination*, **235**(1-3) : 276-292.
- Berkem, A. R., Baykut, S. and Berkem, M. L., 1994. *Fizikokimya*. İ.Ü. İletişim Fakültesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul.
- Beşergil, B., 2015. *Enstrümantal Analiz Temel İlkeler*, 1. Baskı, Gazi Kitabevi, 833.
- Boehm, H. P. ve Voll, M., 1970. Basic surface oxides on carbon. 1. *adsorption of acids*. *Carbon*, **8** (2): 227.
- Boyd, G. E., ve Soldano, B. A. 1953. Self-diffusion of Cations in and through Sulfonated Polystyrene Cation-exchange Polymers, *1. Journal of the American Chemical Society*, **75**(24): 6091-6099.
- Bozkurt, E. A., Dönmez, Z., Zeynep, E. R. E. N., 2020 Fuel-Oil Kaynaklı Bir Uçucu Kül Olan Hopa Termik Santrali Uçucu Külünün Adsorpsiyon Kapasitesinin İncelenmesi. *JENAS Journal of Environmental and Natural Studies*, **2**(2): 69-85.
- Cheremisinoff P.N., Ellerbusch F., 1978. (*Carbon Adsorption Handbook*), Ann Arbor Science Publishers, Inc., New York.
- Chen, Y., Mastalerz, M., Schimmelmann, A., 2012. Mikro-FTIR spektroskopisi ile farklı kömürsaflarında makerallerdeki kimyasal fonksiyonel grupların karakterizasyonu. *Uluslararası Kömür Jeolojisi Dergisi*, **104**: 22-33.
- Cremer, D., Kraka, E. 1984. Chemical Bonding Without Binding Electron Densities-Is Differential Density Analysis Sufficient For Bonding Description?, *Chemischer Informationsdienst*, **15**: 48

- Corazzari, I., Nisticò, R., Turci, F., Faga, M. G., Franzoso, F., Tabasso, S., Magnacca, G., 2015. Advanced physico-chemical characterization of chitosan by means of TGA coupled on-line with FTIR and GCMS: Thermal degradation and water adsorption capacity, *Polymer Degradation and Stability*, **112**:1-9.
- Dalkıran, V., 2011. *Kazein yüzeyine bazı boyar maddelerin adsorpsiyonu* (yüksek lisans tezi, basılmamış). BÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Demirbas, E., Kobya, M., Senturk, E., Ozkan, T., 2004. Adsorption kinetics for the removal of chromium (VI) from aqueous solutions on the activated carbons prepared from agricultural wastes. *Water Sa*, **30** (4): 533-539.
- Doğan, M., Sabaz, P., Biçil, Z., Kizilduman, B. K., Turhan, Y., 2020. Activated carbon synthesis from tangerine peel and its use in hydrogen storage. *Journal of the Energy Institute*, **93** (6): 2176-2185.
- Dubinin, M.M., Plavnik G.M., Zaverina E.F., 1964. Integrated Study of the Porous Structure of Activated Carbons from Carbonized Sucrose, *Carbon*, **2**: 261-265.
- Dubinin, M. M., 1947. The equation of the characteristic curve of activated charcoal. *InDokl. Akad. Nauk. SSSR*. **55** :327-329.
- Durán-Valle, C. J., Gómez-Corzo, M., Pastor-Villegas, J., & Gómez-Serrano, V. (2005). Study of cherry stones as raw material in preparation of carbonaceous adsorbents. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **73**(1): 59-67.
- Dreissig, I., Machill, S., Salzer, R., Krafft, C., 2009. Quantification of brain lipids by FTIR spectroscopy and partial least squares regression. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **71**(5): 2069-2075.
- Dzurendova, S., Zimmermann, B., Kohler, A., Tafintseva, V., Slany, O., Certik, M., Shapaval, V., 2020. Microcultivation and FTIR spectroscopy-based screening revealed a nutrient-induced co-production of high-value metabolites in oleaginous *Mucoromycota* fungi, *PloS one*, **15** (6): e0234870.
- El-Khaiary, M. I., 2008. Least-squares regression of adsorption equilibrium data: comparing the options. *Journal of Hazardous Materials*, **158**(1): 73-87.
- El Nemr, A., El Sikaily, A., Khaled, A., & Abdelwahab, O. (2007). Removal of toxic chromium (VI) from aqueous solution by activated carbon using *Casuarina equisetifolia*. *Chemistry and Ecology*, **23** (2): 119-129.
- Eşme, A. (2013). *Sudan Moleküllerinin ve Metal Komplekslerinin Deneysel ve Teorik Olarak Yapılarının İncelenmesi*, (doktora tezi, basılmamış). KÜ, Fen Bilimleri Fakültesi, Kocaeli.
- Fengel, D., Wegener, G., 2011. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*, Walter de Gruyter. Berlin. NewYork
- Gad, H. M., El-Sayed, A. A., 2009. Activated carbon from agricultural by-products for the removal of Rhodamine-B from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*, **168** (2-3): 1070-1081.
- Galarneau, A., Villemot, F., Rodriguez, J., Fajula, F., Coasne, B., 2014. Validity of the t-plot method to assess microporosity in hierarchical micro/mesoporous materials. *Langmuir*, **30** (44): 13266-13274.
- Genel, Y., Ceylan, H., & Saltabaş, Ö. (2013). Heavy metal removal from aqueous solution by activated kaolin, *Fresenius Environmental Bulletin*, **22** (10): 2888-2895.
- Genel, Y., Ceylan, H., Saltabaş, Ö., 2012. Heavy metal removal from aqueous solution by activated bentonite, *Fresenius Environmental Bulletin*, **21** (7): 1810-1818.

- 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 and mesoporous materials***, 52 (2): 105-117.
- Gong, W., 2001. Titanya yüzeylerindeki doğrusal fosfat adsorpsiyonunun gerçek zamanlı yerinde ATR-FTIR spektroskopik çalışması. ***Uluslararası Maden İşleme Dergisi***, 63(3): 147-165.
- Goswami, S., Ghosh, U. C., 2005. Studies on adsorption behaviour of Cr (VI) onto synthetic hydrous stannic oxide, ***Water SA***, 31 (4): 597- 602.
- Gupta, S., Roy, R. K., Deb, B., Kundu, S., Pal, A. K. 2003. Low voltage electrodeposition of diamond-like carbon films. ***Materials letters***, 57 (22-23): 3479-3485.
- Gülbayır, D. D. (2008). *Şeftali çekirdeği ve polimer esaslı aktif karbon ile sulu çözeltilerden krom (VI) giderimi*, (doktora tezi, basılmamış). YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Günay, A., Arslankaya, E., Tosun, I., 2007. Lead removal from aqueous solution by natural and pretreated clinoptilolite: adsorption equilibrium and kinetics, ***Journal of hazardous materials***, 146 (1-2): 362-371.
- Güner, U. 2014. ***Toksikoloji***. TÜ Fen Fak., Yay. No: 2: Edirne.186-189.
- Gürten, İ. I., 2008. *Çay atığından adsorbent üretimi ve üretilen adsorbentin adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi*, (doktora tezi, basılmamış) AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Hameed, B. H., Ahmad, A. A., Aziz, N., 2007. Isotherms, kinetics and thermodynamics of acid dye adsorption on activated palm ash, ***Chemical Engineering Journal***, 133 (1-3): 195-203.
- Hadjiivanov, K., Knözinger, H., 2000. Species formed after NO adsorption and NO+ O 2 co-adsorption on TiO 2: an FTIR spectroscopic study, ***Physical Chemistry Chemical Physics***, 2 (12): 2803-2806.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A. B., Cansaran-Duman, D., Aras, S., 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, ***Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi***, 69 (4): 235-53.
- Ho, Y. S., McKay, G., 1999. Pseudo-second order model for sorption processes, ***Process biochemistry***, 34 (5): 451-465.
- Işık, H. A., 2012. *Çeşitli yöntemlerle tarımsal atıklardan üretilen aktif karbonların karakterizasyonu ve kesikli sistemde boyar madde giderimine uygulanması*, (doktora tezi, basılmamış). FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Karagöz, S., Tay, T., Ucar, S. ve Erdem, M., 2008. Activated carbons from waste biomass by sulfuric acid activation and their use on methylene blue adsorption. ***Bioresource technology***, 99(14): 6214-6222.
- Karacan, F. ve Karacan, S., 2014. KOH ve ZnCl₂ Aktivasyonu ile Çanakkale-çan linyitinden aktif karbon üretimi ve karakterizasyonu. ***Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 20 (1): 1-8.
- Kazemipour, M., Ansari, M., Tajrobehkar, S., Majdzadeh, M., and Kermani, H. R. 2008. Removal of lead, cadmium, zinc, and copper from industrial wastewater by carbon developed from walnut, hazelnut, almond, pistachio shell, and apricot stone. ***Journal of Hazardous Materials***, 150 (2): 322-327.
- Kholodkov, I., Biederman, H., Slavinská, D., Choukourov, A., Trchova, M., 2003. Plasma polymers prepared by RF sputtering of polyethylene, ***Vacuum***, 70 (4): 505-509.

- Kobayashi, H., Karasawa, H., Miyase, T., Fukushima, S., 1984. Studies on the constituents of *Cistanche herba*. III. Isolation and structures of new phenylpropanoid glycosides, ***Cistanosides a and b***. ***Chemical and Pharmaceutical Bulletin***, **32** (8): 3009-3014.
- Korkmaz, K., 2019. *Yeni bir gıda atığı kullanarak sulu çözeltiden biyosorpsiyon metoduyla bazı kirliliklerin giderimi*, (yüksek lisans), BÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Kumar, H., Singh, J. P., Srivastava, R. C., Negi, P., Agrawal, H. M., Asokan, K., 2014. FTIR and electrical study of dysprosium doped cobalt ferrite nanoparticles, ***Journal of Nanoscience***, **2014**: 10
- Küçükgül, E. Y., 2004. Ticari aktif karbon üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi***, **6** (3): 41-56.
- Lafi, W. K., 2001. Production of activated carbon from acorns and olive seeds, ***Biomass and Bioenergy***, **20** (1): 57-62.
- Lee-Ruff, E., Just, G., 1968. Reaction of bicyclobutanes with electrophiles, ***Canadian Journal of Chemistry***, **46** (11): 1887-1891.
- Liu, M., Zhang, H., Zhang, X., Deng, Y., Liu W. and Zhan, H., 2001. Removal and recovery of chromium (III) from aqueous Solutions by spheroidal cellulose adsorbent, ***Water Environment Research***, **73** (3): 322-328.
- López-González, J. D. D., Martínez-Vilchez, F., Rodríguez-Reinoso, F., 1980. Preparation and characterization of active carbons from olive Stones, ***Carbon***, **18** (6): 413-418.
- Gümüşkaya, E., 2005. Selülozun kristal yapısı, ***Artvin Orman Fakültesi Dergisi***, **6**(1-2): 69-78.
- Marsh, H. 1987. Adsorption Methods to Study Microporosity in Coals and Carbonsa Critique, ***Carbon***, **25** (1): 49-58.
- Mattson, J.S., Mark, H.B., 1971. ***Activated Carbon***, Marcel Dekker, New York.
- 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.
- Mahamad, M. N., Zaini, M. A. A., Zakaria, Z. A., 2015. Preparation and characterization of activated carbon from pineapple waste biomass for dye removal, ***International Biodeterioration ve Biodegradation***, **102**: 274-280.
- Molina-Sabio, M. and Rodríguez-Reinoso, F. 2004. Role of chemical activation in the development of carbon porosity. ***Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects***, **241** (1-3): 15-25
- Oğuz, A., 2013. *Harran Ovası'nda Yaygın Olarak Üretilen Pamuk ve Mısır Sapından Aktif Karbon Üretimi*, (yüksek lisans tezi, basılmamış). HÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Ohkoshi, M., 2002. Ftir-Pas Study Of Light-Induced Changes In The Surface Of Acetylated Or Polyethylene Glycol-İmpregnated Wood, ***Journal of wood science***, **48** (5): 394-401.
- Orbak, İ., 2002. *Tunçbilek Linyitinden Kimyasal Aktivasyon Yöntemi ile Aktif Karbon Üretimi* (doktora tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Olivares-Marín, M., Fernández-González, C., Macías-García, A., Gómez-Serrano, V., 2006. Preparation of activated carbons from cherry stones by activation with potassium hydroxide, ***Applied Surface Science***, **252** (17): 5980-5983.
- Othmer, K., 1998. Encyclopedia of Chemical Technology, 4th Edn., Volume Supplement, ***John Wiley and Sons***, New York.

- Otowa, T., Nojima, Y., Miyazaki, T., 1997. Development of KOH Activated High Surface Area Carbon and Its Application to Drinking Water Purification, **Carbon**, **35** (9): 1315-1319.
- Ozmak, M., 2010. *Biyokütle atıklardan aktif karbon üretimi*, (doktora tezi, basılmamış). AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Örkün, Y., 2011. *Fındık Kabuğundan Fiziksel ve Kimyasal Aktivasyonla Aktif Karbon Üretimi ve Karakterizasyonu*, (yüksek lisans), İTÜ, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Özan, Z. E., 2017. *Isl İşlem Görmüş Ahşap Malzemenin Çapraz Lamine Kereste Üretiminde Kullanım Olanaklarının Araştırılması*, (yüksek lisans), BÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Özdemir, H.İ., 1981, *Genel Anorganik ve Teknik Kimya*, Matbaa Teknisyenleri basımevi, 386, İstanbul,
- Özdemir, S.Ç., 2008. *Çeşitli Polimerik Temelli Atıklardan Yüksek Yüzey Alanlı Aktif Karbon Eldesi, Karakterizasyonu ve Uygulama Alanları*, (doktora tezi, basılmamış). İÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Pandey, K. K., Pitman, A. J., 2003. Ftr Studies Of The Changes In Wood Chemistry Following Decay By Brown-Rot And White-Rot Fungi, **International Biodeterioration ve Biodegradation**, **52** (3): 151-160.
- Pebotuwa, S., Kochan, K., Peleg, A., Wood, B. R., & Heraud, P., 2020. Influence of the Sample Preparation Method in Discriminating Candida spp. Using ATR-FTIR Spectroscopy, **Molecules**, **25** (7): 1551.
- Pedersen, J. A., Simpson, M. A., Bockheim, J. G., & Kumar, K., 2011. Characterization of soil organic carbon in drained thaw-lake basins of Arctic Alaska using NMR and FTIR photoacoustic spectroscopy, **Organic Geochemistry**, **42** (8): 947-954.
- Perry, R. H. and Green, D. 1984. *Flow in Pipes and Channels*. (Perry's Chemical Engineer's handbook), McGraw Hill: 5-23.
- Petibois, C., Gionnet, K., Gonçalves, M., Perromat, A., Moenner, M., Déléris, G., 2006. Analytical performances of FT-IR spectrometry and imaging for concentration measurements within biological fluids, cells, and tissues, **Analyst**, **131** (5): 640-647.
- Pir, H., 2008. *Flurbiprofen molekülü ve metal komplekslerinin deneysel ve teorik incelenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). KÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Pradeep, A., Chandrasekaran, G., 2006. FTIR study of Ni, Cu and Zn substituted nanoparticles of MgFe₂O₄, **Materials Letters**, **60** (3): 371-374.
- Qian, Q., Machida, M., Tatsumoto, H., 2007. Preparation of Activated Carbons From Cattle-Manure Compost by Zinc Chloride Activation, **Bioresource Technology**, **98** (2): 353-360.
- Rao, C. N. R., 1963. Chemical applications of infrared spectroscopy, **Academic Press**, New York, USA.
- Raveendran, K. and Ganesh, A., 1998. Adsorption characteristics and pore-development of biomass-pyrolysis char, **Fuel**, **77** (7): 769-781.
- Sayiner, B., 2013. *Siyanür Liçinde Altının Aktif Karbona Adsorpsiyonunda Çeşitli Metallerin Etkisinin Araştırılması* (doktora tezi, basılmamış). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Shi, Q., Zhang, J., Zhang, C., Li, C., Zhang, B., Hu, W., Xu, j., Zhao, R., 2010. Preparation of activated carbon from cattail and its application for dyes removal, **Journal of Environmental Sciences**, **22** (1): 91-97.

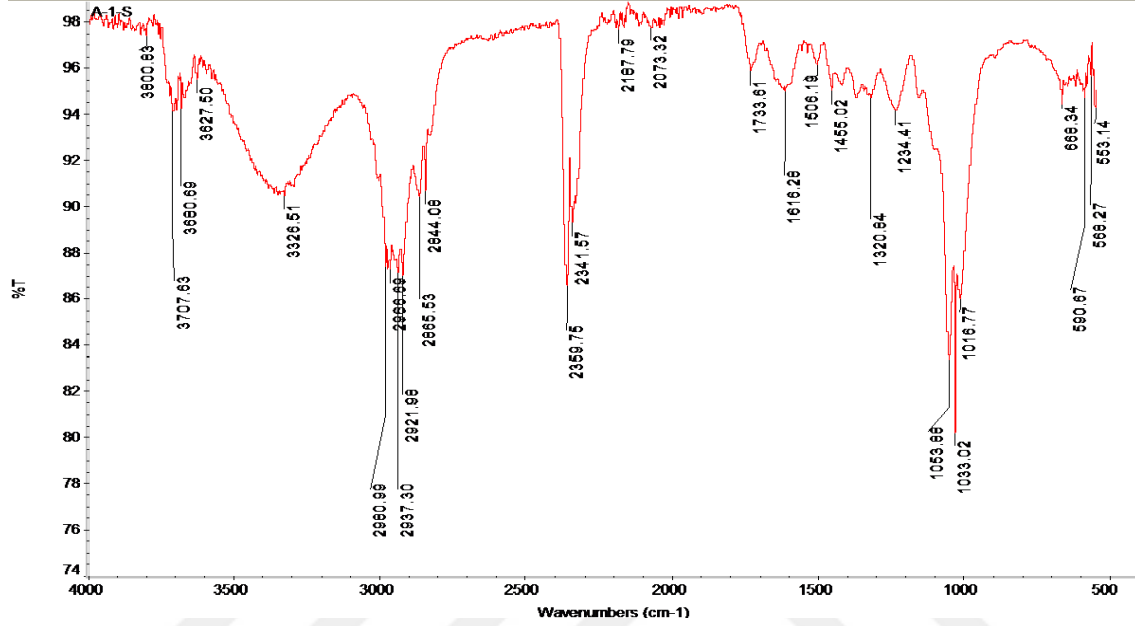
- Sing, K.S.W., Everett, D.H., 1987. T. Pure Appl., **Chem.**, **57**: 603
- Skim, J.W., Ryu, S.K. and Park, S.J., 2000. Metal Adsorption Properties of Pitch-based Activated Carbon Fibers Modified by HNO₃ and NaOH, **1st Carbon Confence on Carbon**, Vol II, Berlin
- Skoog D.A., Holler H.J., Nieman T. A., Kılıç, E., Köseoğlu F., Yılmaz H., 1998. **Enstrümantal analiz ilkeleri**. Bilim Yayınları, Ankara, 849.
- Smisek, M., Cerny, S., 1970. **Active Carbon Manufacture, Properties and Application**, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, London, New York, USA.
- Soto, A. M., Machuca, R. A., 1989. Adsorption of gold-thiourea complex on activated carbon, **Journal of Chemical Technology ve Biotechnology**, **44** (3): 219-223.
- Srivastava, V. C., Swamy, M. M., Mall, I. D., Prasad, B., and Mishra, I. M., 2006. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: equilibrium, kinetics and thermodynamics, **Colloids and surfaces a: physicochemical and engineering aspects**, **272** (1-2): 89-104.
- Stone, A. G., 1997. **Characterization of compost composition and its relationship to the suppression of Pythium root rot of cucumber**, (doctorial thesis)., TOSU, Ohio, ABD
- Şenel, Ü., Sur, H.İ., Demirtaş, M.2012. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Bazı Sentetik Direkt Boyar Maddelerin Mutajenik Etkisinin Umu-Testi ile Araştırılması. **KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi**, **15** (1): 13-19.
- Tien, C., 1994. **(Adsorption calculations and modeling)**, Butterworth-Heinemann, Boston, USA
- Toor, M., Jin, B. 2012. Adsorption Characteristics, Isotherm, Kinetics, And Diffusion Of Modified Natural Bentonite For Removing Diazo Dye, **Chemical Engineering Journal**, **187**: 79-88.
- Treybal, R. E., 1981. **Diffusion in solids. In Mass-Transfer Operations**. McGraw Hill Inc., Singapore, 88-93
- Tseng, R. L., Wu, F. C., 2008. Inferring The Favorable Adsorption Level And The Concurrent Multi-Stage Process With The Freundlich Constant, **Journal of hazardous materials**, **155** (1-2): 277-287.
- Tsubaki, M., Srivastava, R. B., Yu, N. T., 1982. Resonance Raman Investigation Of Carbon Monoxide Bonding İn (Carbon Monoxy) Hemoglobin And-Myoglobin: Detection Of İron-Carbon Monoxide Stretching And İron-Carbon-Oxygen Bending Vibrations And İnfluence Of The Quaternary Structure Change, **Biochemistry**, **21** (6): 1132-1140.
- Türkyılmaz, A., 2011. **Bazı bitkisel atıklardan aktif karbon eldesi ve yüzey özellikleri** (doktora tezi, basılmamış). BÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Ustabaş, E. 2016. **İşlenmiş ve demlenmiş atık çaydan elde edilen aktif karbonu tekstil boyar maddesi metilen mavisini adsorplama özellikleri** (Yüksek lisans tezi, basılmamış), T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Webb, P. A., and Orr, C., 1997. **Analytical methods in fine particle technology. Micromeritics Instrument Corporation**.
- Wahyuningsih, S., Ramelan, A. H., Wardani, D. K., Aini, F. N., Sari, P. L., Tamtama, B. P. N., Kristiawan, Y. R., 2017. Indigo dye derived from indigofera tinctoria as natural food colorant, **In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, **193**:1

- Wang, L., 2012. Application of Activated Carbon Derived from 'Waste' Bamboo Culms for the Adsorption of Azo Disperse Dye: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies, *Journal of Environmental Management*, **102**: 79-87.
- Wuttke, S., Bazin, P., Vimont, A., Serre, C., Seo, Y. K., Hwang, Y. K., Chang J.S., Ferey G, Daturi, M., 2012. Discovering the Active Sites for C3 Separation in MIL-100 (Fe) by Using Operando IR Spectroscopy, *Chemistry–A European Journal*, **18** (38): 11959-11967.
- Xing, Z., Tian, K., Du, C., Li, C., Zhou, J., Chen, Z., 2019. Agricultural Soil Characterization by FTIR Spectroscopy at Micrometer Scales: Depth Profiling by Photoacoustic Spectroscopy, *Geoderma*, **335**: 94-103.
- Valsamakis, S. And Simitzis, J., 2000. Characterization of Surface Functional Groups of Carbonaceous Materials Obtained from Precursors of Olive Stones with Novalac Resin, *1st Carbon Conference on Carbon*, Vol II, Berlin, Germany.
- Vargas, A. M., Cazetta, A. L., Garcia, C. A., Moraes, J. C. G., Nogami, E. M., Lenzi, E., Costa, W. F., Almeida, V. C., 2011. Preparation and Characterization of Activated Carbon from a New Raw Lignocellulosic Material: Flamboyant (Delonix Regia) Pods, *Journal of Environmental Management*, **92**: 178-184.
- Vadivelan, V. ve Kumar, K. V.,(2005). Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk. *Journal of colloid and interface science*, **286** (1):90-100.
- Volyutsky, S., 1978, *Colloid Chemistry*, Mir Publishing, 560, Moscow.
- Yargıç, A. Ş., Şahin, R. Z. Y., Özbay, N., 2021. Investigation of solvent type effect on the structural properties of bio-polyol-based carbon foam. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **36** (1): 133-145.
- Yaman, S., 2004. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks, *Energy conversion and management*, **45** (5): 651-671.
- Yilgor, N., Dogu, D., Moore, R., Terzi, E., Kartal, S. N., 2013. Evaluation of Fungal Deterioration in Liquidambar Orientalis Mill Heartwood by FT-IR and Light Microscopy, *Bio Resources*, **8** (2): 2805-2826.
- Yuan, Y., Cai, X., Tan, B., Zhou, S., Xing, B., 2018. Molecular Insights into Reversible Redox Sites in Solid-Phase Humic Substances as Examined by Electrochemical in Situ FTIR and Two-Dimensional Correlation Spectroscopy, *Chemical Geology*, **494** :136-143.

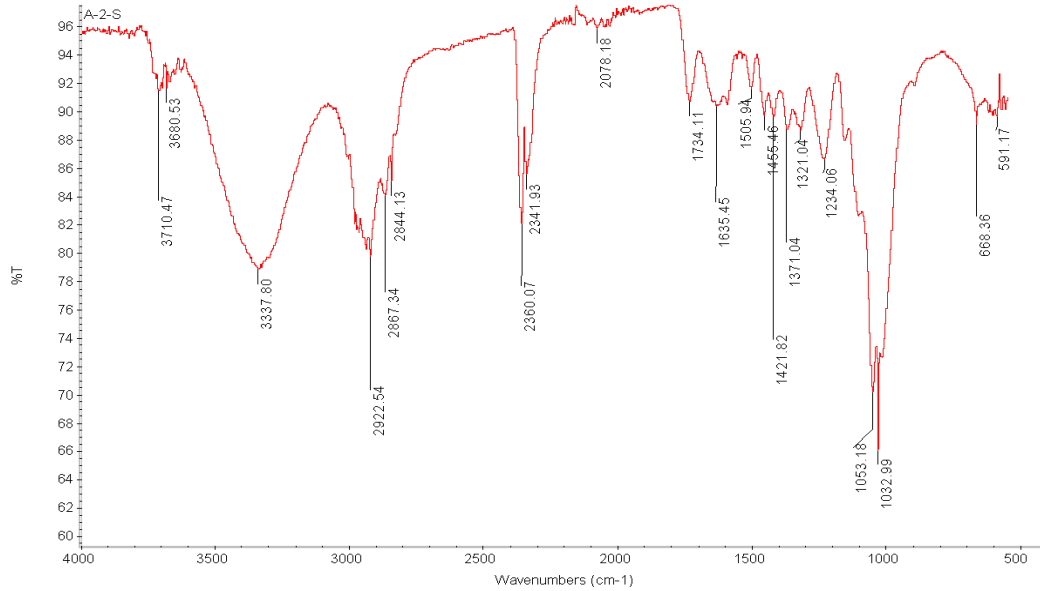
EKLER

Ek.1 Üretilmiş aktif karbonların FT-IR analiz grafikleri

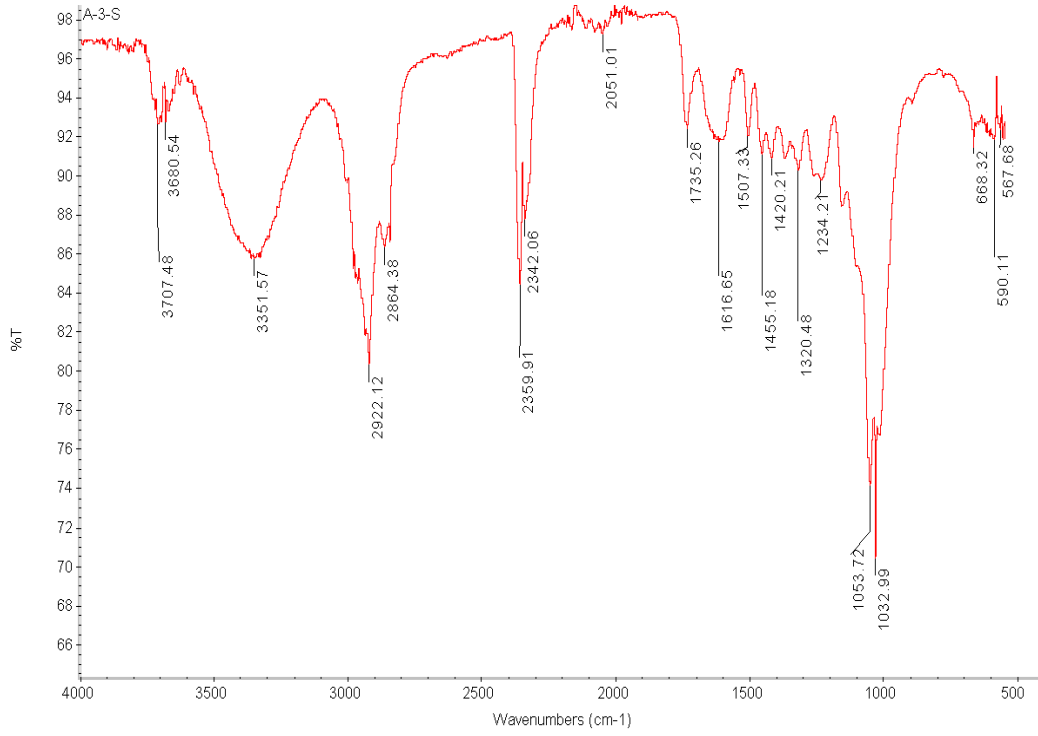
EK.1. Üretilen aktif karbonlara ait FT-IR analiz grafikleri



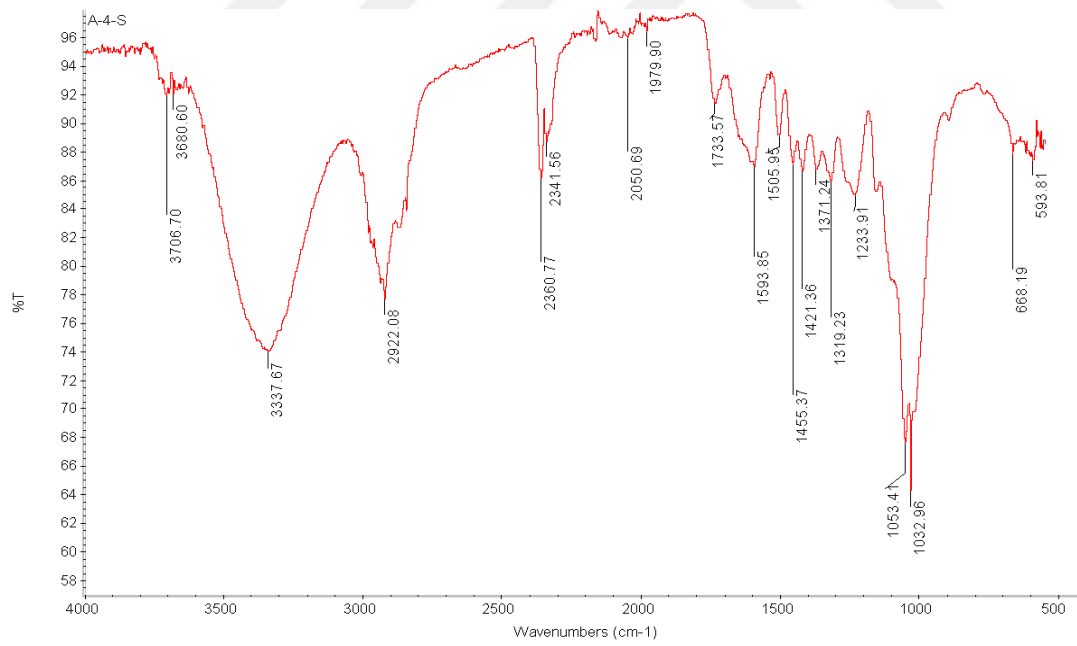
Ek.1.1. A1 talaşı FT-IR analiz grafiği.



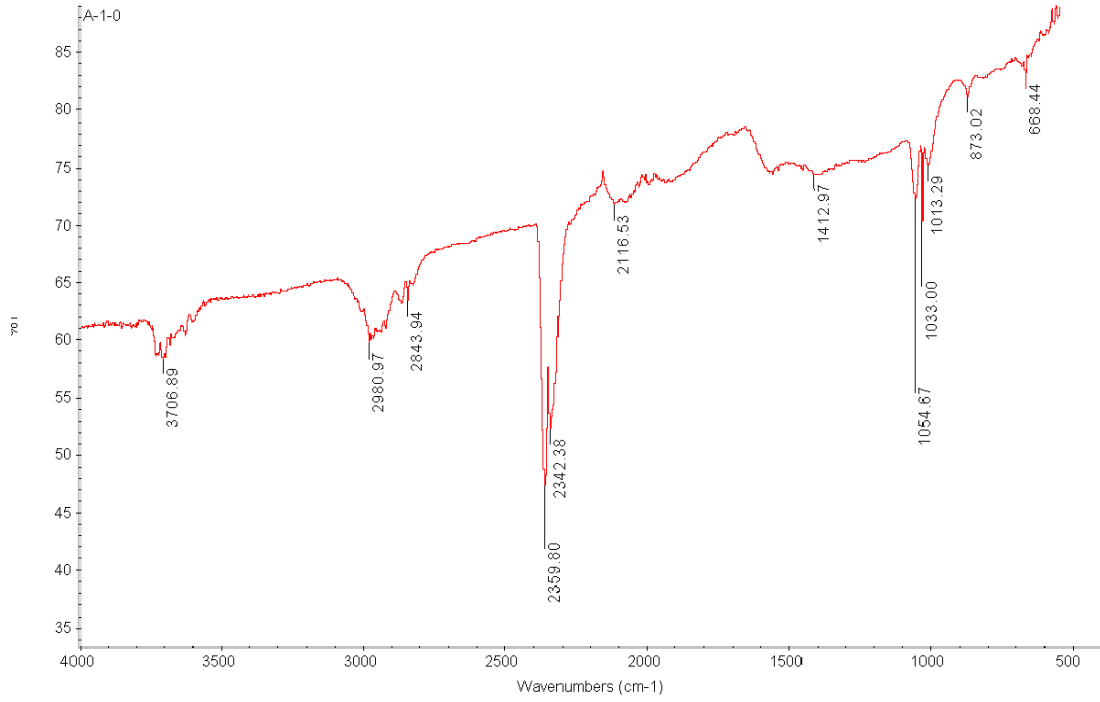
Ek.1.2. A2 talaşı FT-IR analiz grafiği.



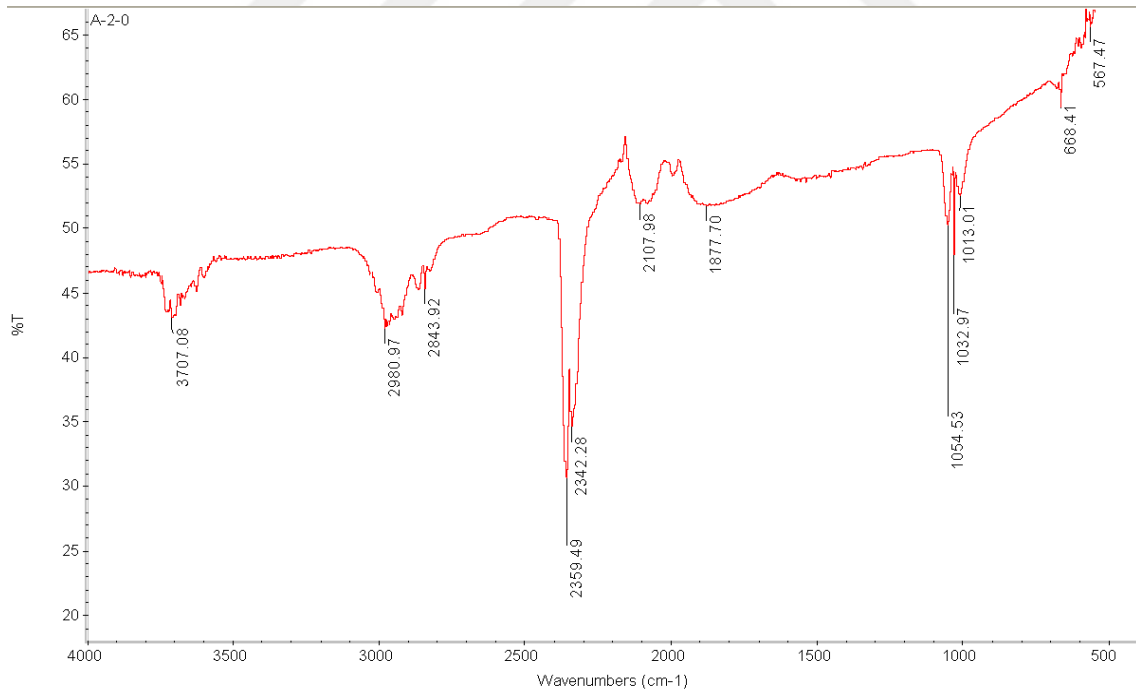
Ek.1.3. A3 talaşı FT-IR Analiz grafiği.



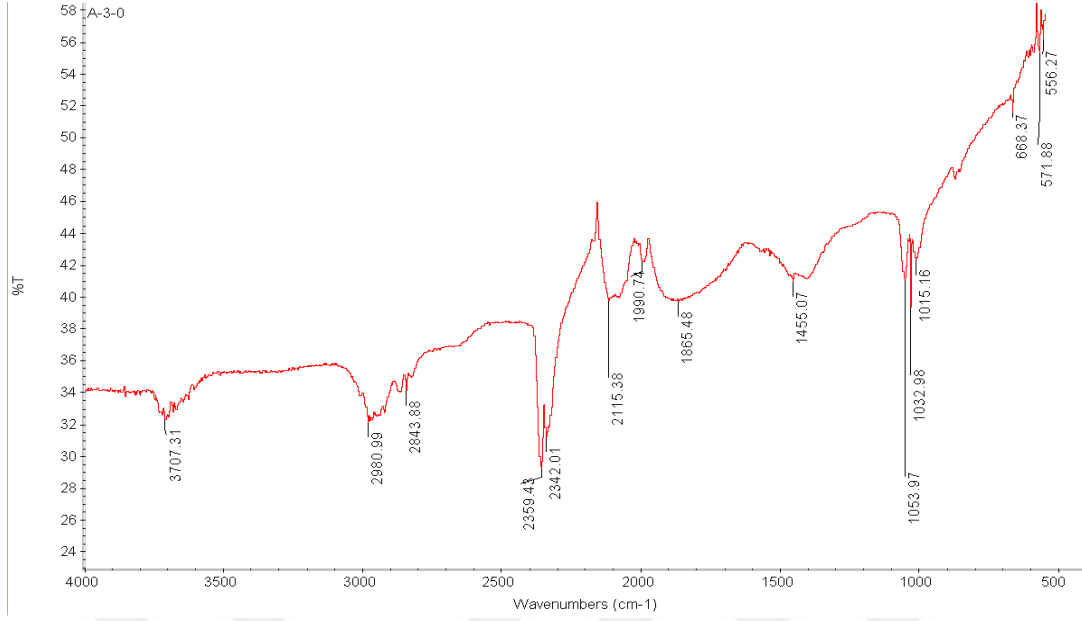
Ek.1.4. A4 talaşı FT-IR analiz grafiği.



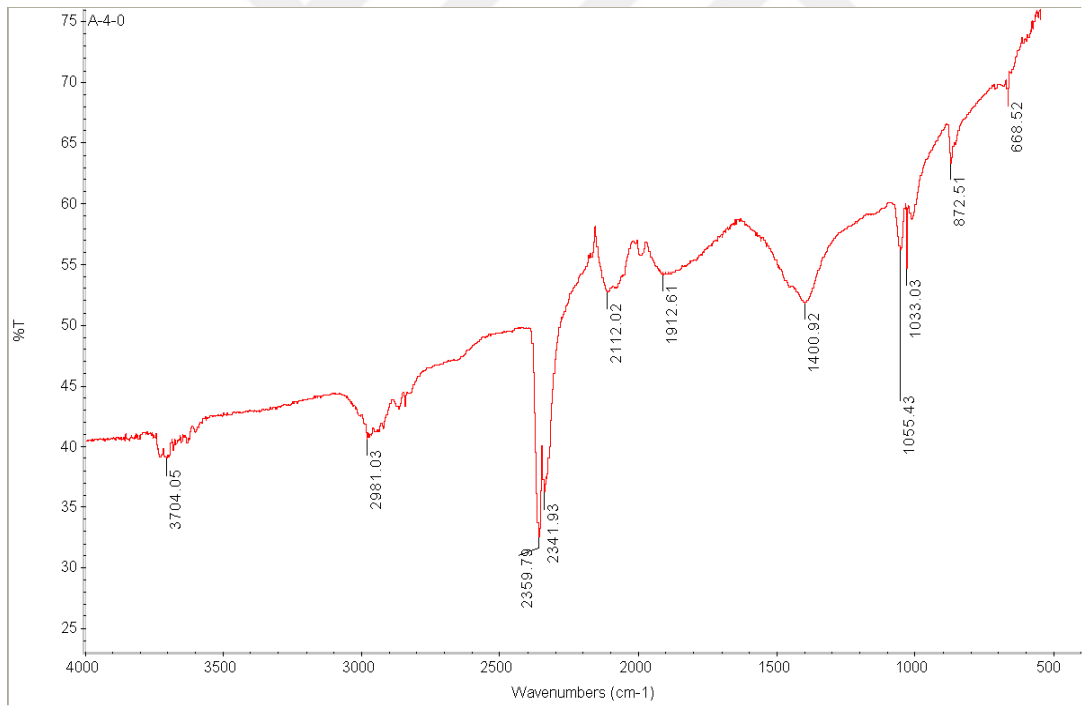
Ek.1.5. A1 karbonu FT-IR Analiz grafiği.



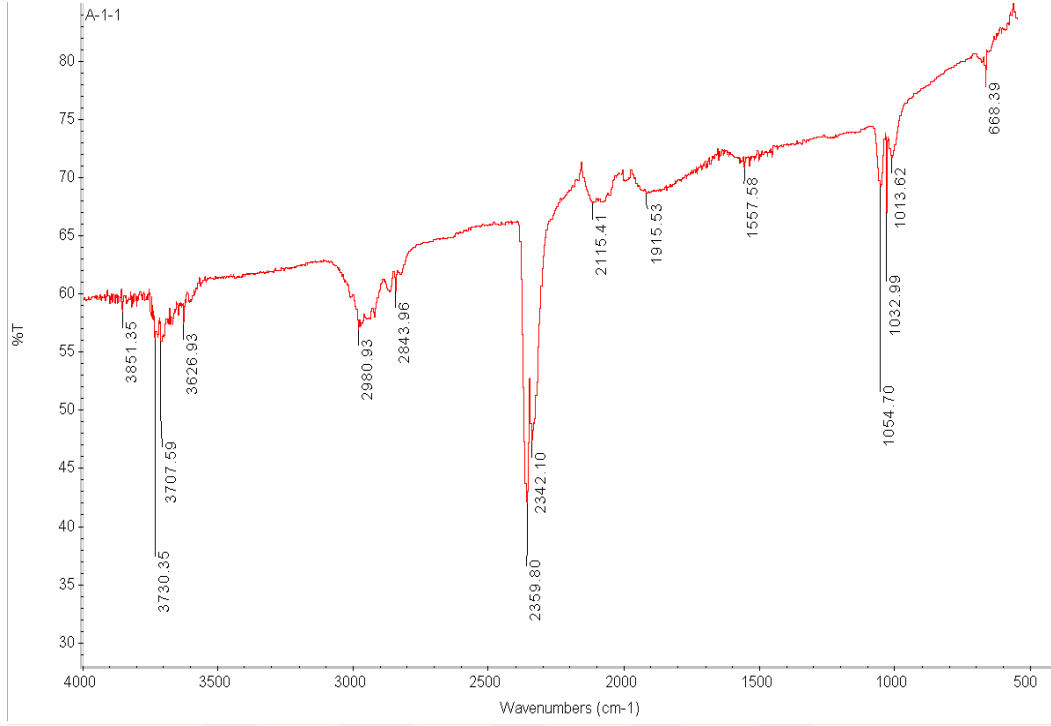
Ek.1.6. A2 karbonu FT-IR analiz grafiği.



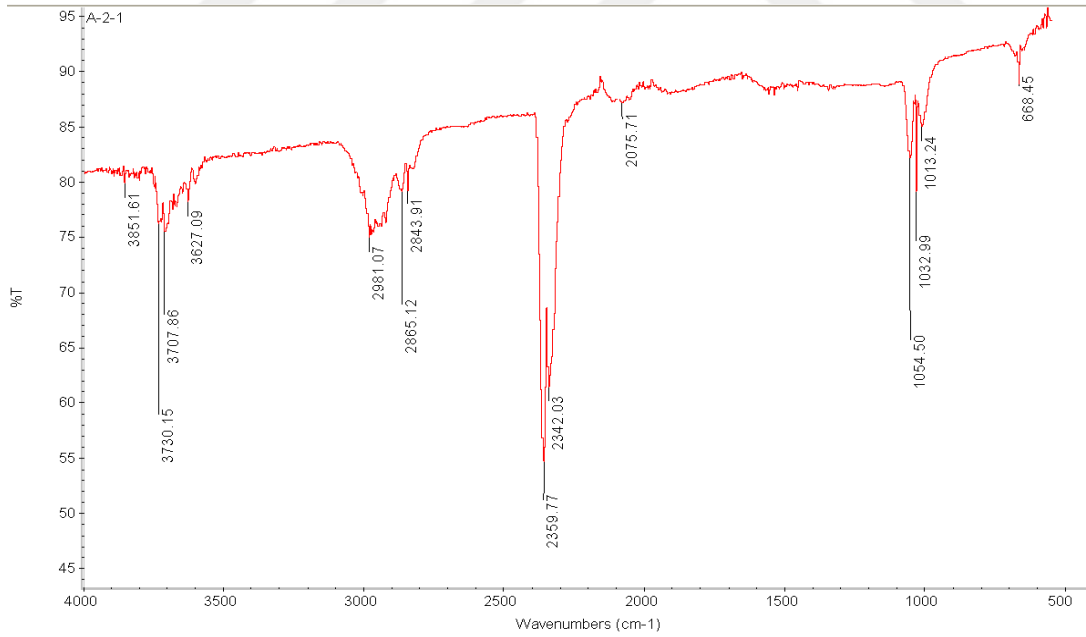
Ek.1.7. A3 karbonu FT-IR analiz grafiği.



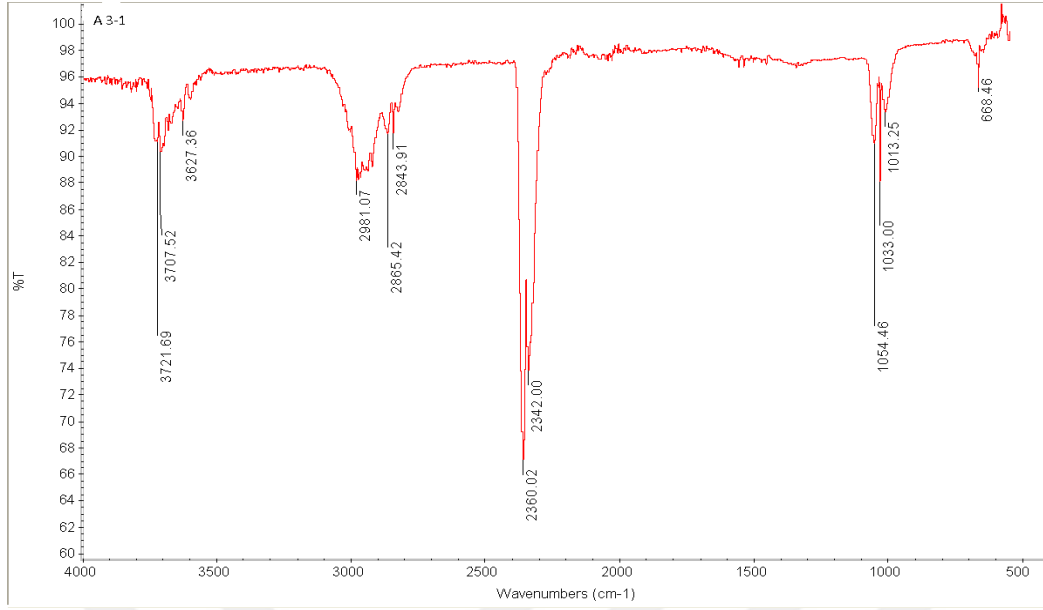
Ek.1.8. A4 karbonu FT-IR analiz grafiği.



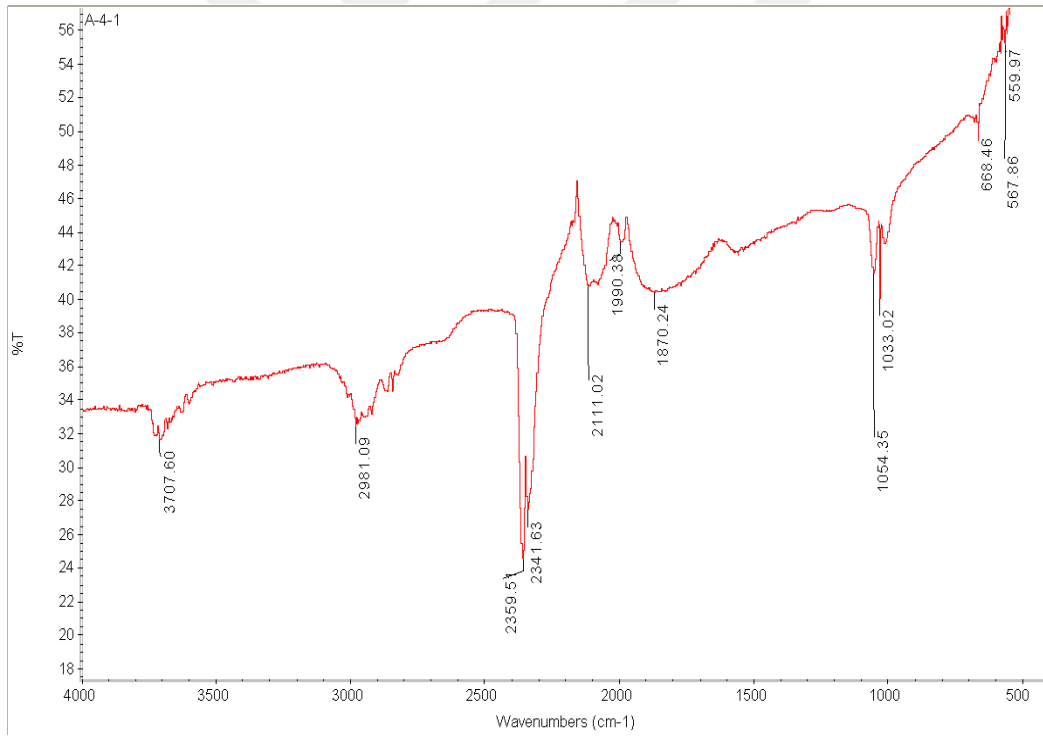
Ek.1.9. A1-1 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



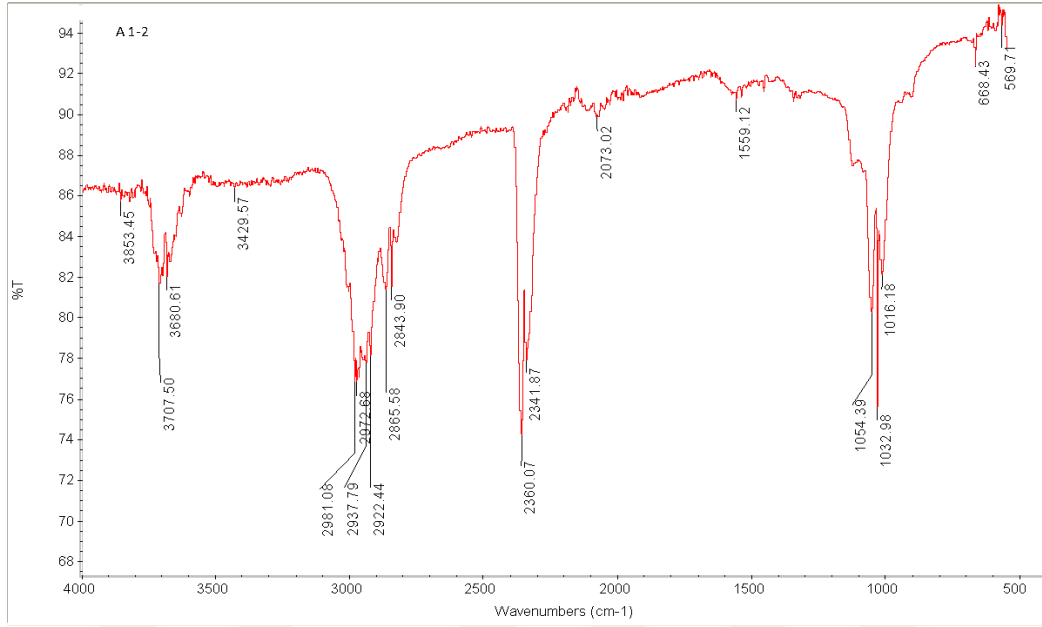
Ek.1.10. A2-1 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



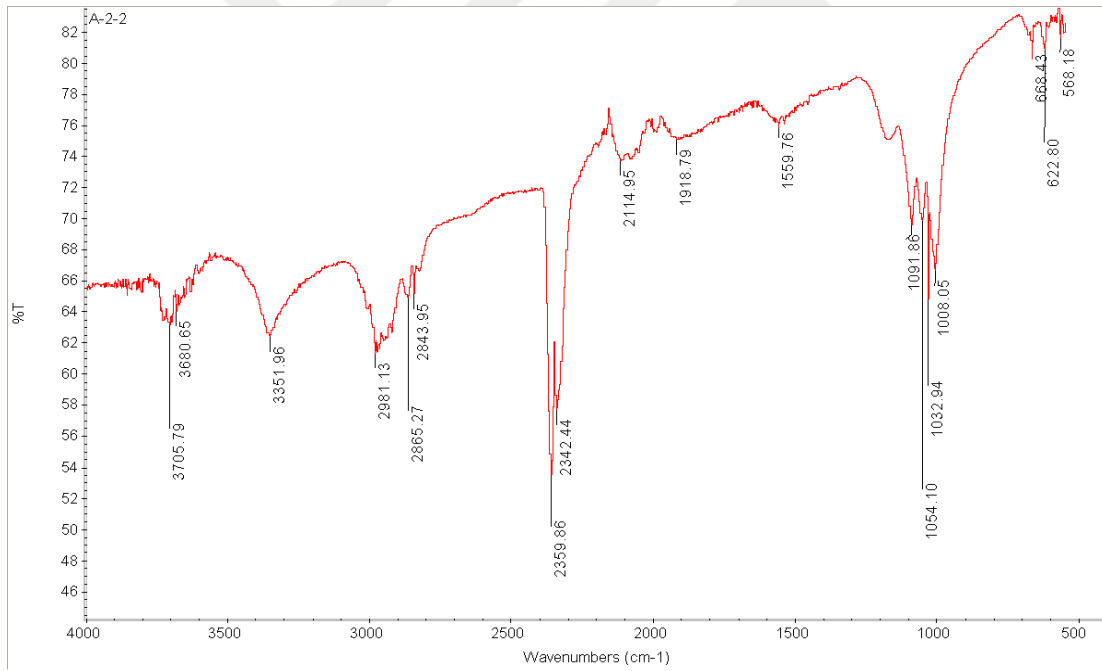
Ek.1.11. A3-1 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



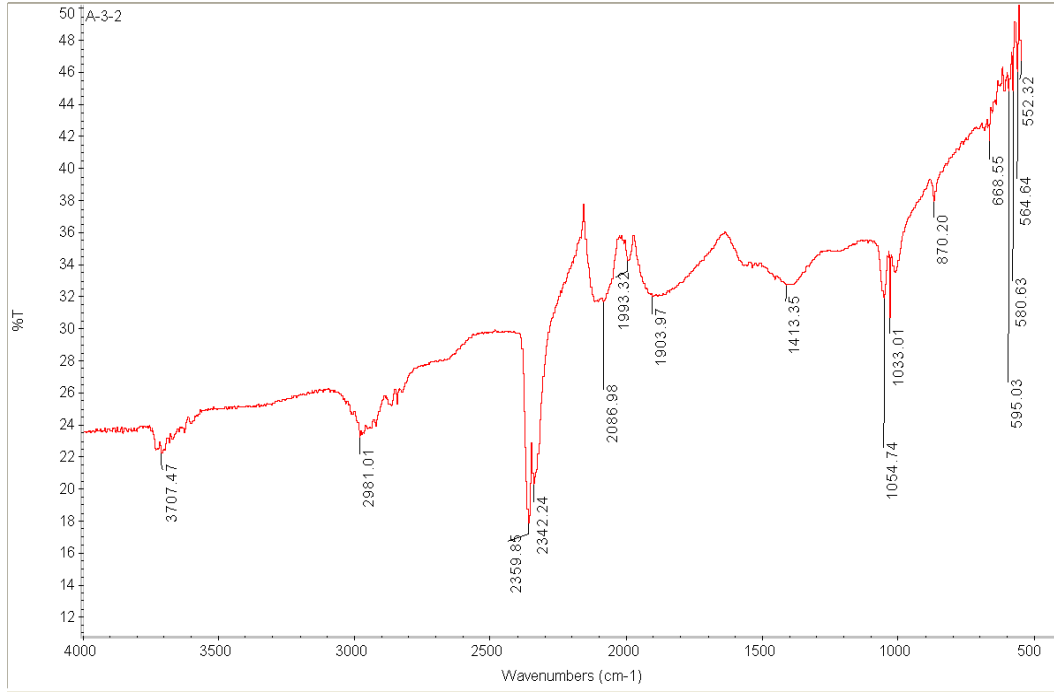
Ek.1.12. A4-1 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



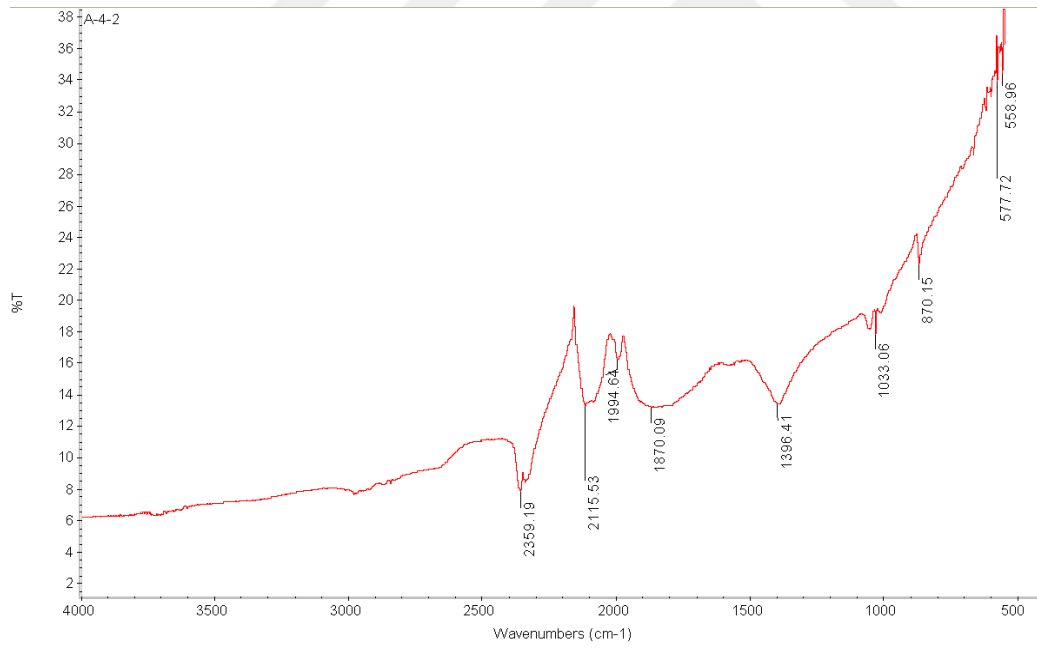
Ek.1.13. A1-2 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



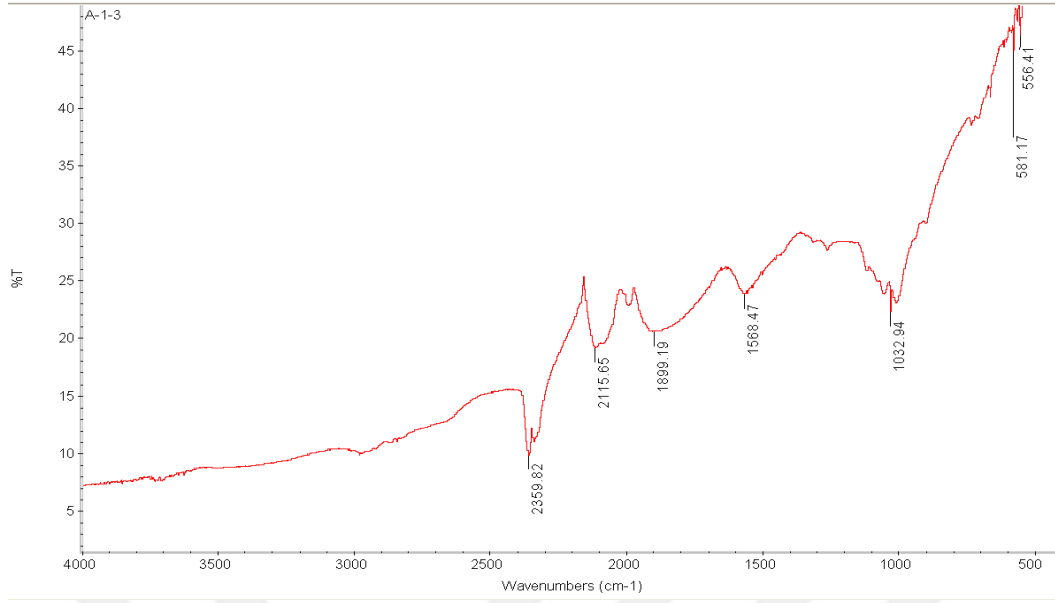
Ek.1.14. A2-2 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



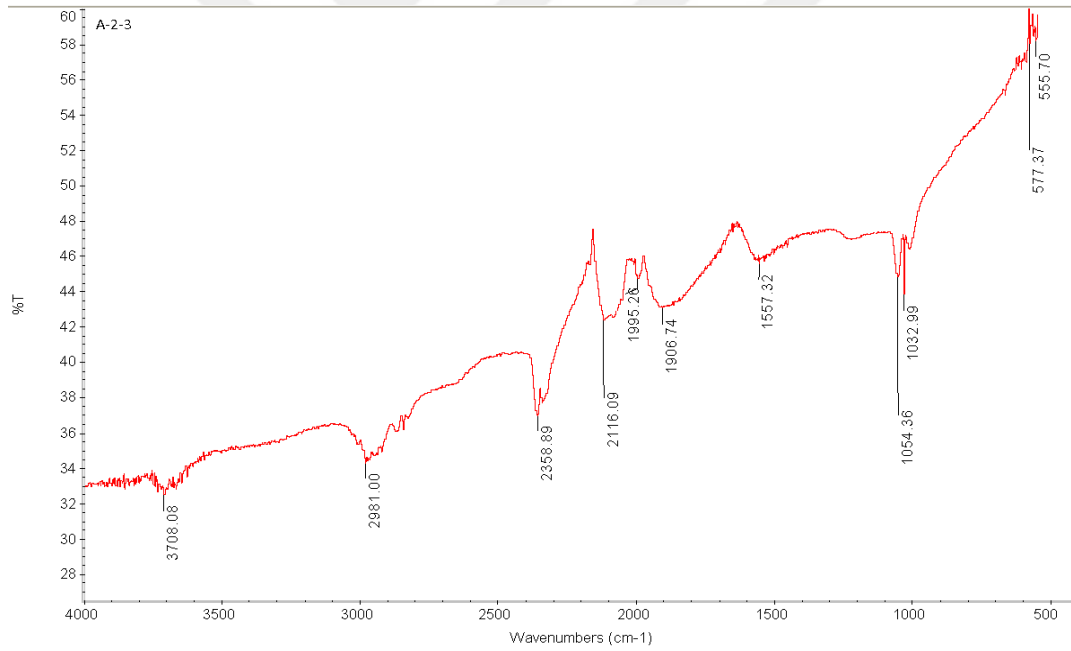
Ek.1.15. A3-2 Aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



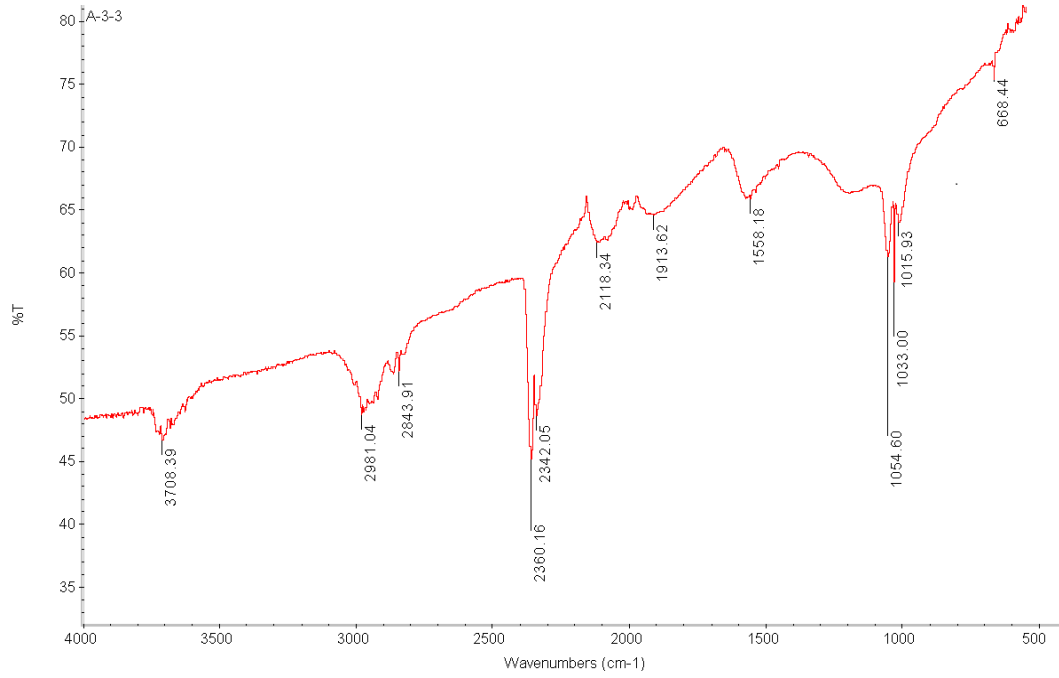
Ek.1.16. A4-2 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



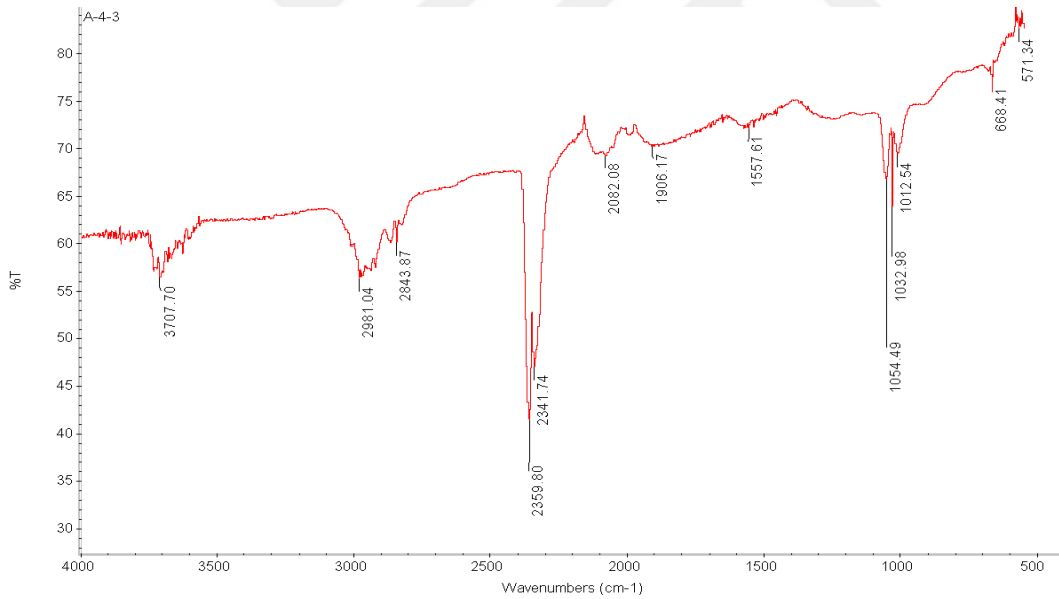
Ek.1.17. A1-3 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği



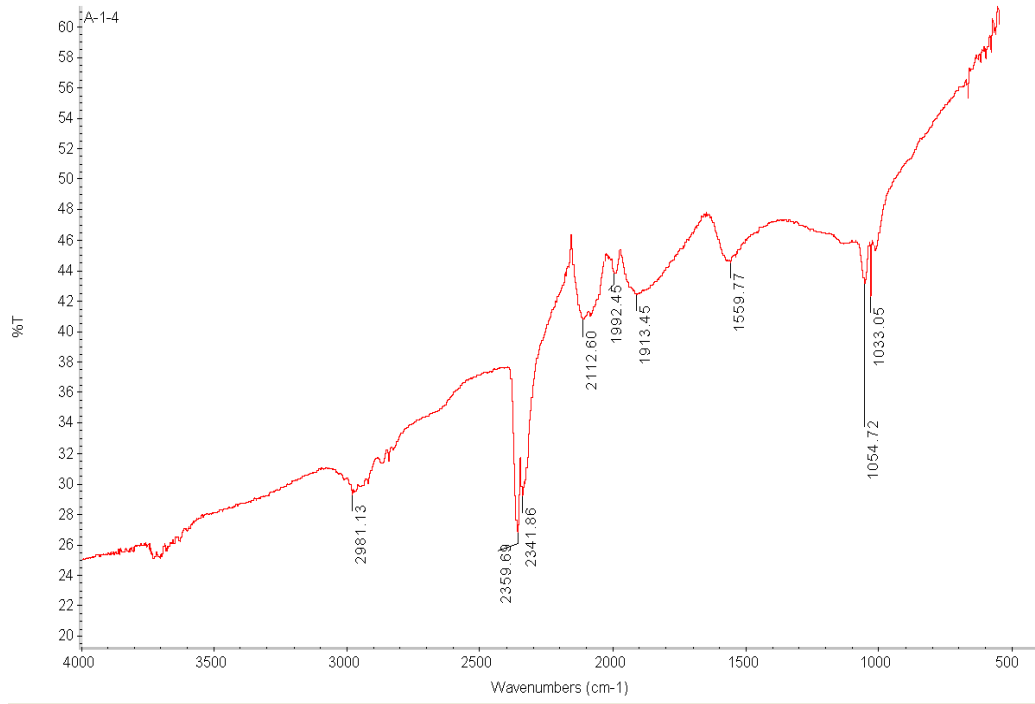
Ek.1.18. A2-3 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



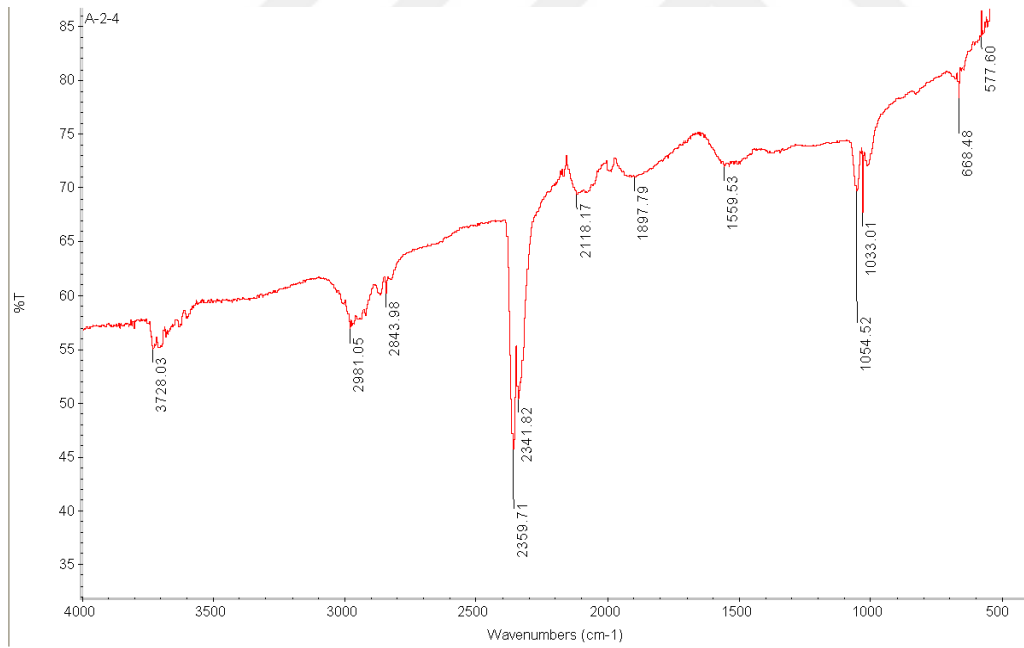
Ek.1.19. A3-3 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



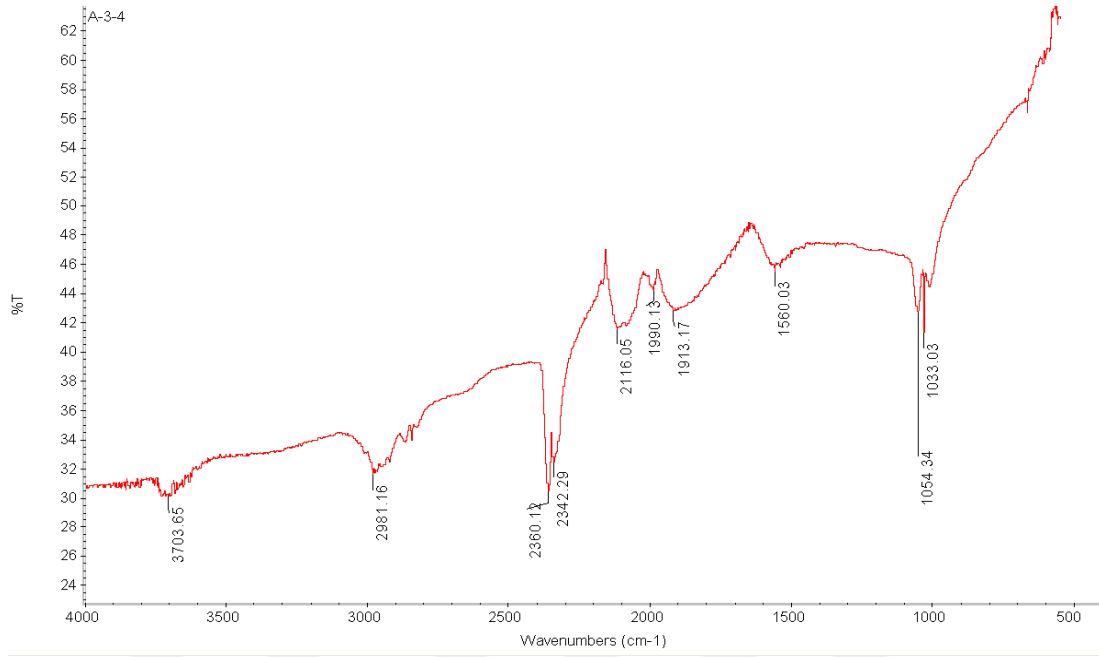
Ek.1.20. A4-3 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



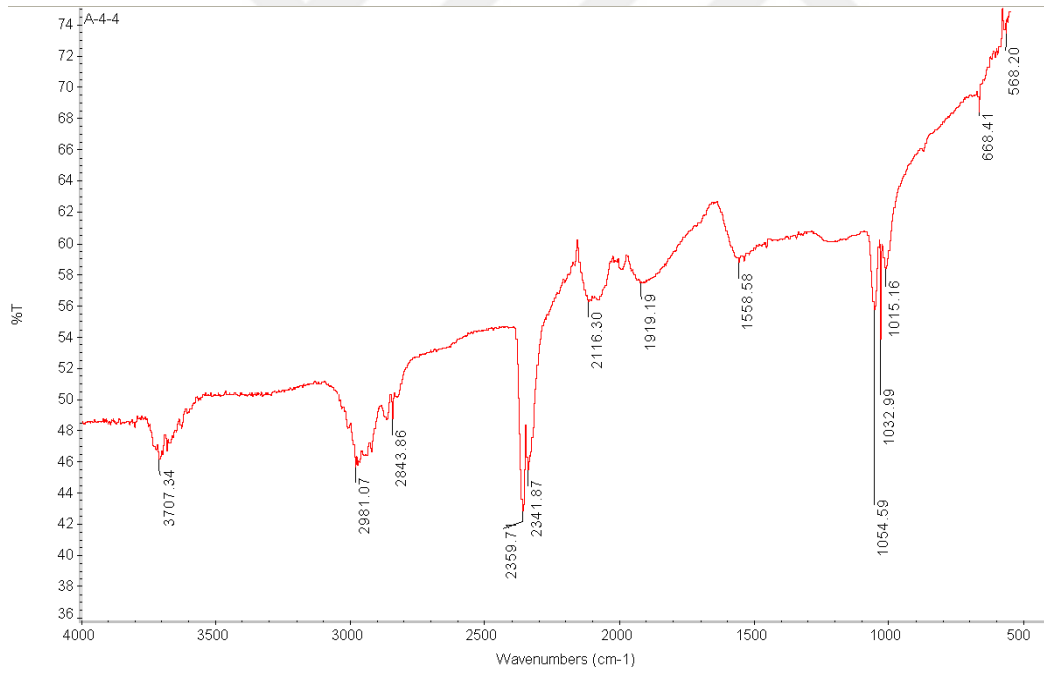
Ek.1.21. A1-4 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



Ek.1.22. A2-4 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.

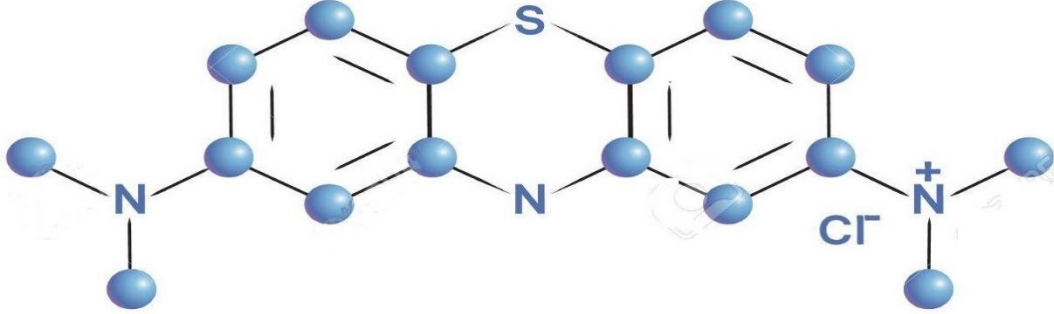


Ek.1.23. A3-4 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.



Ek.1.24. A4-4 aktif karbonu FT-IR analiz grafiği.

Metilen Mavisi



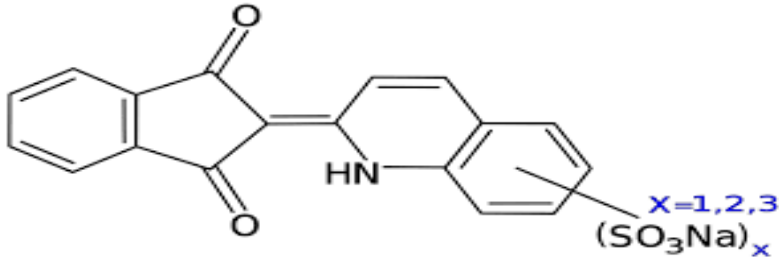
Metilen mavisi (bazık mavi) sentetik bazlı bazık (katyonik) bir boyar maddedir

IUPAC adlandırması : (7-(dimetilamino) fenotiyazin-3-iliden)-dimethylazanum klorür

Molekül formülü : $C_{16}H_{18}ClN_3S$

Molekül ağırlığı: 319,851 g/mol

Ek.1.25. Metilen mavisi yapısı ve özellikleri



Kinolin sarısı anyonik bir boyar maddedir.

IUPAC adlandırması Sodyum 2-(1,3-dioksoindan-2-il) kinolindisülfonat

Molekül formülü: $C_{18}H_{13}NO_{5/8/11}S_{1/2/3}Na_{1/2/3}$

Molekül ağırlığı :477.38 g/mol

Ek.1.26. Kinolin sarısı yapısı ve özellikleri



ÖZ GEÇMİŞ

İlyas Genel, Y. Dönerdere ilköğretim okulunda ilk öğrenimini tamamlamıştır. Lise öğrenimi Van Alparslan Anadolu öğretmen lisesinde devam etmiştir. Yüksek öğrenimini Karadeniz Teknik Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fenbilgisi öğretmenliğinde tamamladıktan sonra Van yüzüncüyıl üniversitesi Orta öğretim fen ve matematik alanları kimya öğretiminde yüksek lisans eğitimini bitirmiştir. 2016 yılında Van Yüzüncüyıl Üniversitesi Eğitim fakültesinde araştırma görevlisi olarak göreve başlamıştır. Halen aynı görevine devam etmektedir.



VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 22/12/2021

Tez Başlığı / Konusu:

AKTİF KARBON KULLANILARAK SULU ÇÖZELTİLERDEN BOYAR MADDE
UZAKLAŞTIRILMASI

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 205 sayfalık kısmına ilişkin, 22/12/2021 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinalite raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 16(Onaltı) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinalite Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

22/12/2021

Adı Soyadı: İlyas GENEL

Öğrenci No: 11911220083

Anabilim Dalı: KİMYA

Programı: KİMYA

Statüsü: ☐ Yüksek Lisans

☒ Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR

Doç.Dr. Yaşar GENEL