



T. C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÖĞÜT AĞACI POLENİ ÜZERİNE BRILLIANT CRESOL
BLUE ALD VE ACID BLUE 25 BOYAR MADDELERİNİN
ADSORPSİYONUNUN ARAŞTIRILMASI**

EMEL AKKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI**

ORDU 2024

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

EMEL AKKAN

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

ÖZET

SÖĞÜT AĞACI POLENİ ÜZERİNE BRILLIANT CRESUL BLUE ALD VE ACID BLUE 25 BOYAR MADDELERİNİN ADSORPSİYONUNUN ARAŞTIRILMASI

EMEL AKKAN

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 57 SAYFA

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SALİH ALKAN

Bu çalışmada, düşük maliyetli bir doğal adsorban olan söğüt ağacı poleni kullanılarak Brilliant Cresyl Blue ALD ve Acid Blue- 25 Boyar maddelerinin karakterizasyon ve adsorpsiyon özellikleri incelenmiştir. Tüm adsorpsiyon deneyleri, temas süresi, adsorban başlangıç konsantrasyon, adsorban dozajı ve sıcaklık fonksiyonları olarak ele alınmıştır. Denge izotermelerini açıklamak için Langmuir, Freundlich, Temkin ve Dubinin Radushkevich (D-R) doğrusal adsorpsiyon eşitlikleri kullanıldı. Adsorpsiyonun Langmuir eşitliğine uyduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, kinetik verileri belirlemek için yalancı birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden ve partikül içi difüzyon modelleri kullanılmıştır. Deneysel veriler yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uyduğunu göstermiştir. Söğüt ağacı poleni örnekleri için entalpi, Gibbs serbest enerjisi ve entropi gibi termodinamik parametreler incelendi. Elde edilen veriler adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşen bir proses olduğudur. Entalpinin pozitif olması ise adsorpsiyonun endotermik olduğunu gösterir. Pozitif entropi değerleri adsorbant yüzeyinde bazı değişimlerin olmasından kaynaklanmaktadır. Karakteristik sonuçlar ve boyutsuz ayırma faktörleri (R_L) polenin sulu çözeltiden ve atık sudan Brilliant Cresyl Blue ALD ve Acid Blue-25'in uzaklaştırılmasında ticari adsorbanlara bir alternatif olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Asit Mavisi -25, Parlak Kresil Blue-ALD, Söğüt Ağacı Polen, Termodinamik.

ABSTRACT

THE STUDY OF ADSORPTION OF BRILLIANT CRESYL BLUE ADL AND ACID BLUE-25 ON WILLOW TREE POLLEN

EMEL AKKAN

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCES

CHEMISTRY

MASTER THESIS, 57 PAGES

THESIS ADVISOR: PROFESSOR SALIH ALKAN

In this study, the characterization and adsorption properties of Brilliant Cresyl Blue (BCB- ALD) and Acid Blue-25 (AB-25) dyes were investigated using willow tree pollen, a low-cost natural adsorbent. All adsorption tests were performed in consideration to contact time, adsorbent concentration, adsorbent dosage, and temperature functions. Equilibrium isotherms were explained in terms of the Langmuir, Freundlich, Temkin, and Dubinin Radushkevich (D-R) linear adsorption equations. It was found that adsorption complied with the Langmuir equation. Moreover, pseudo-first order, pseudo-second order, and intraparticle diffusion models were used to determine kinetic data. Experimental data showed a match with the pseudo-second-order kinetic model. Thermodynamic parameters such as enthalpy, Gibbs free energy, and entropy were examined for willow tree pollen samples. The data obtained led us to the conclusion that adsorption is a spontaneous process. On the other hand, positive enthalpy indicates that adsorption is endothermic. Positive entropy values are a result of changes on the adsorbent surface. Characteristic results and dimensionless separation factors (RL) indicate that pollen can be used as an alternative to commercial adsorbents to remove BCB- ALD and AB-25 from aqueous solution and wastewater.

Keywords: Acit Blue-25, Adsorption, Brilliant Cresyl Blue-ADL, Willow Tree Pollen, Thermodynamic.

TEŞEKKÜR

Tez alıőması boyunca değerli yardım ve yönlendirmelerinden dolayı tez danıőmanım Prof. Dr. Salih ALKAN'a, labaratuvar alanında yardımlarıyla çalıőmalarımın başarıyla sonulanabilmesine destek veren kıymetli insan Meliha ÇALIŞKAN'a teşekkür ediyorum.

Çalıőmalarımı yürütürken öğretilerinden azami derecede istifade ettiğim değerli arkadaőlarım Aysun DEMİRAL ve eői Ar.Gör. Gökhan DEMİRAL'a teőekkürü bir borç bilirim. Yüksek lisans sürecinde ve hayatımın her anında maddi ve manevi katkılarıyla, sabır ve anlayıőlarıyla çalıőmalarımdaki baőarıma büyük katkısı olan aileme ve eőime teőekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZBİLDİRİMİ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Söğüt Ağacı Polenini.....	2
1.1.1. Söğüt Ağacı Poleninin Kullanım Alanları.....	3
1.2. Boyar Maddeler.....	4
1.2.1. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması.....	4
1.2.1.1. Boyama Özelliklerine Göre Boyar Maddeler.....	4
1.2.1.2. Çözünürlüklerine Göre Boyar Maddeler.....	5
1.2.1.3. Kimyasal Yapılarına Göre Boyar Maddeler.....	6
1.3. Adsorpsiyon.....	7
1.3.1. Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler.....	8
1.3.1.1. Adsorbatın Yüzey Alanı.....	8
1.3.1.2. Adsorbatın Tanecik Boyutu.....	8
1.3.1.3. Adsorbatın Çözünürlüğü.....	8
1.3.1.4. Karıştırma Hızı.....	8
1.3.2. Adsorpsiyon İzoterm Modelleri.....	9
1.3.2.1. Langmuir İzoterm Modeli.....	9
1.3.2.2. Freundlich İzoterm Modeli.....	9
1.3.2.3. Dubinin-Radushkevich (D-R) İzoterm Modeli.....	10
1.3.2.4. Temkin İzoterm Modeli.....	10
1.3.2.5. Flory-Huggings İzoterm Modeli.....	11
1.3.2.6. Hill İzoterm Modeli.....	11
1.3.2.7. Redlich-Peterson İzoterm Modeli.....	11
1.3.2.8. Sips İzoterm Modeli.....	11
1.3.2.9. Toth İzoterm Modeli.....	12
1.3.2.10. Koble-Corrigan İzoterm Modeli.....	12
1.3.2.11. Brunauer-Emmett-Teller (Çok Katmanlı Fiziiorpsiyon) İzotermi.....	12
1.3.3. Adsorpsiyon Kinetik Modelleri.....	12
1.3.3.1. Parçacık İçi Difüzyon Model.....	12
1.3.3.2. Yalancı Birinci Mertebeden Kinetik Model.....	13
1.3.3.3. Yalancı İkinci Mertebeden Kinetik Model.....	13
1.3.4. Termodinamik Parametreler.....	13
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Deneylerde Kullanılan Materyaller.....	18
3.1.1. Söğüt Ağacı Polenini.....	18
3.1.2. Deneylerde Kullanılan Boyar Maddeler.....	18

3.1.2.1. BCB-ALD	18
3.1.2.2. Acid Blue-25	19
3.1.2.3. Özellikleri ve Uygulamaları	20
3.1.2.4. Boyar Madde Çözeltisinin Hazırlanması	20
3.1.3. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar	21
3.2. Yöntem	21
3.2.1. Adsorpsiyon Deneyleri	22
3.2.2. Çözelti Ortamından Uzaklaştırılan Boyar Madde Miktarının Hesaplanması ..	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1. Adsorpsiyon Üzerine Başlangıç Boyar Madde Konstransyonunun Etkisi	23
4.2. Adsorpsiyona Sıcaklık Etkisi	31
4.3. pH	35
4.4. Adsorpsiyona pH'ın Etkisi	35
4.5. İzoterm İncelemesi	39
4.5.1. Freundlich Adsorpsiyon İzotermi	39
4.5.2. Langmuir İzotermi	41
4.5.3. Temkin İzotermi	43
4.5.4. Dubinin-Radushkovich İzotermi	45
4.6. Adsorpsiyon Kinetik Modelleri	47
4.6.1. Yalancı Birinci Dereceden (Pseudo first-order) Kinetik Modelleri	47
4.6.2. Yalancı İkinci Dereceden (Pseudo second order) Kinetik Modeli	49
4.6.3. Partikül İçi Difüzyon (Intra-particle diffusion) Modeli	51
4.7. Adsorpsiyona İlişkin Termodinamik İncelemeler	52
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	55
6. KAYNAKLAR	56
7.ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 BCB-ALD'nin Kimyasal Yapısı.....	20
Şekil 3.2 Acid Blue-25'in Kimyasal Yapısı	21
Şekil 4.1 Polen üzerine BCB-ALD adsorpsiyon konsantrasyonu (T=25°C,pH=6,46, W/V=0,02g).....	31
Şekil 4.2 P Polen üzerine BCB-ALD nin adsorpsiyon sıcaklığın etkisi (pH:6,46, Co:75 mg/L, W/V:0,02 g)	35
Şekil 4.3 Polen yüzeyine BCB-ALD nin adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi (pH:6,46, Co:75 mg/L, W/V:0,02 g).....	36
Şekil 4.4 pH'ın BCB- ALD'nin polen adsorpsiyon etkisi (Co:50mg/L, T:25°C).....	39
Şekil 4.5 pH'ın AB-25'in polen adsorpsiyon etkisi (Co:50mg/L, T:25°C).....	39
Şekil 4.6 BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon Freundlich izotermi (pH:6.64, W/V:0.2 g).....	41
Şekil 4.7 AB-25'in polen adsorpsiyon Freundlich İzotermi (pH:6.64, W/V:0.2 g)p	41
Şekil 4.8 BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon Langmuir modeli.....	43
Şekil 4.9 AB-25'in polen adsorpsiyon Langmuir modeli	43
Şekil 4.10 BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon Temkin izotermi.....	45
Şekil 4.11 AB-25'in polen adsorpsiyon Temkin izotermi	45
Şekil 4.12 BCB-ALD için D-R izotermi	47
Şekil 4.13 AB-25 için D-R izotermi	48
Şekil 4.14 Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon yalancı birinci dereceden grafiği (T:298K).....	49
Şekil 4.15 Farklı konsantrasyonlarda AB-25 in polen adsorpsiyon yalancı ikinci derece grafiği (T:298K).....	50
Şekil 4.16 Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin söğüt ağacı adsorpsiyon yalancı ikinci derece grafiği(T:298K).....	51
Şekil 4.17 Farklı konsantrasyonlarda AB-25'in söğüt ağacı adsorpsiyonu yalancı birinci derece grafiği (T:298K).....	51
Şekil 4.18 Değişik konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin söğüt ağacı poleni adsorpsiyon partikül içi difüzyon grafiği	52
Şekil 4.19 Değişik konsantrasyonlarda AB-25'in söğüt ağacı poleni adsorpsiyon partikül içi difüzyon grafiği	53
Şekil 4.20 Değişik konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin söğüt ağacı poleni adsorpsiyon Clasius Clapeyron grafiği	54
Şekil 4.21 Değişik konsantrasyonlarda AB-25'in söğüt ağacı poleni adsorpsiyon Clasius Clapeyron grafiği	54

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Farklı konsantrasyonlarında BCB-ALD'nin polen üzerine adsorpsiyon değerleri (T=25°C, pH=6.46, W/V:0.02g).....	25
Çizelge 4.2. Farklı konsantrasyonlarında BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon değerleri (T=25°C, pH=6.46, W/V:0.02g)	26
Çizelge 4.3. Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon değerleri (T=25°C, pH=6.46, W/V:0.02g)	27
Çizelge 4.4. Farklı konsantrasyonlarda Acid Blue 25'in polen adsorpsiyon değerleri (T=25°C, pH=6.64, W/V:0.02g).....	28
Çizelge 4.5. Farklı konsantrasyonlarda Asid Blue 25'in polen adsorpsiyon (T=25°C, pH=6.64, W/V:0.02g).....	29
Çizelge 4.6. Farklı konsantrasyonlarda Asid Blue 25'in polen adsorpsiyon değerleri (T=25°C, pH=6.64, W/V:0.02g).....	30
Çizelge 4.7. Değişik sıcaklıklarda BCB-ALD nin polen adsorpsiyon değerleri (pH:6.46, C ₀ :75 mg/L WV/V:0,02 g).....	33
Çizelge 4.8. Değişik sıcaklıklarda AB-25'in polen adsorpsiyon değerleri (pH:6.64, C ₀ :75 mg/L WV/V:0,02 g).....	34
Çizelge 4.9. Farklı pH larda BCB-ALD'in polen adsorpsiyon (C ₀ :50 mg/L, T:25°C).....	37
Çizelge 4.10. Farklı pH'larda BCB-ALD'nin polen değerleri (C ₀ :50 mg/L, T:25°C).....	38
Çizelge 4.11. Farklı sıcaklıklarda BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon değerleri (pH:6.46, W/V:0.02g).....	40
Çizelge 4.12. Farklı sıcaklıklarda BCB-ALD'nin ve Asit Blue 25'in polen adsorpsiyon Freundlich izoterm sabitleri	42
Çizelge 4.13. Değişik sıcaklıklarda BCB-ALD'nin ve Asit Blue 25'in polen adsorpsiyon Langmuir verileri	44
Çizelge 4.14. Farklı sıcaklıklarda BCB-ALD'nin ve Asit Blue 25'in polen adsorpsiyon Temkin sabitleri	46
Çizelge 4.15. BCB-ALD ve Asit Blue 25 için D-R sabitleri	46
Çizelge 4.16. Farklı sıcaklıklarda BCB-ALD nin ve Asit Blue 25'in polen adsorpsiyon birinci derece değerleri (298K).....	49
Çizelge 4.17. Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD nin ve Asit Blue 25'in söğüt ağacı poleni adsorpsiyon yalancı ikinci derece değerleri (298K).....	50
Çizelge 4.18. Değişik konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin ve Asit Blue 25'in söğüt ağacı poleni adsorpsiyon partikül içi difüzyon değerleri (298K).....	52
Çizelge 4.19. BCB-ALD'nin termodinamik değerleri (C ₀ :50 mg. L ¹ , pH:6.46).....	55
Çizelge 4.20. AB-25'in termodinamik değerleri (C ₀ :50 mg. L ¹ , pH:6.64).....	55

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

b	: Adsorpsiyonun serbest enerji sabiti
C_e	: Çözeltideki çözeltinin denge konsantrasyonu (mg.L^{-1})
q_e	: Denge adsorbentinin birim ağırlığı başına adsorbe edilen çözünen miktarı (mg.g^{-1})
q_m	: Maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg.g^{-1})
K_F	: Adsorbanın bağıl adsorpsiyon kapasitesi ($\text{mg}^{1-(1/n)}.\text{L}^{1/n}.\text{g}^{-1}$)
n	: Adsorpsiyon yoğunluğu
C_0	: Boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu (mg.L^{-1})
V	: Kullanılan çözelti hacmi (L)
m	: Kullanılan adsorbent miktarı (g)
R	: Evrensel gaz sabiti (8.314 J/mol.K)
T	: Sıcaklık (K)
K_0	: Temkin denge sabiti
0	: Yüzey kaplama kesri
n_F	: Flory-Huggins izoterm üssü
B_{DR}	: Dubinin-Radushkevich izoterm sabiti
a_R	: Redlich-Peterson izoterm sabiti (L.mg^{-1})
a_s	: Sips izoterm sabiti (L.mg^{-1})
a_T	: Toth izoterm sabiti (L.mg^{-1})
A	: Koble-Corrigan izoterm sabiti ($\text{L}^n.\text{mg}^{1-n}/\text{g}$)
dk:	: Dakika
ΔH°	: Standart Entalpi Değişimi (kJ.mol^{-1})
ΔG°	: Standart Gibbs Serbest Enerji Değişimi (kJ.mol^{-1})
ΔS°	: Standart Entropi Değişimi (kJ.mol^{-1})
nm	: Nanometre
q_t	: t zamanda birim adsorbanda adsorplanan adsorbat miktarı
k_1	: Yalancı birinci dereceden hız sabiti (dak^{-1})
k_2	: Yalancı birinci dereceden hız sabiti (dak^{-1})
α	: Başlangıç sorpsiyon hızını (mg.g^{-1})
β	: Yüzey alan kasamı
C_{ads}	: Denge de adsorplanan boyar madde değişimi (mg.L^{-1})
K_c	: Adsorpsiyon denge sabiti
B.B.	: Basic Blue
N.R.	: Neutral Red

1. GİRİŞ

Günümüzde insan sağlığını etkileyen en önemli problemlerin başında çevre kirliliği yer almaktadır. Endüstriyel prosesler neticesinde oluşan kirleticiler daha karmaşık hale gelmekte ve insan sağlığını tehdit etmektedir. İnsanların ve gelecek nesillerin hiç şüphesiz vazgeçilmez ihtiyacı ve yaşam kaynağı sudur. Ancak günümüz sanayilerinde üretim prosesi sonucu olarak atık sular oluşmaktadır (Al-Qudah, 2000). Özellikle tekstil endüstrisindeki boyalı atık sular içerdikleri maddeler nedeniyle canlılara zarar vermekte, renkli olmaları nedeniyle de çevre estetiği açısından çirkin görüntülere neden olmaktadır.

Çevre kirlenmesi endüstriyel gelişmeyle birlikte gün geçtikçe artmaktadır. Tekstil sektörü dünyada ve ülkemizde önde gelen sektörlerden birisidir. Zamanla gelişmekte ve yüksek miktarda boyar madde içeren atık sular ciddi problemler oluşturmaktadır (Al-Ghouti ve ark., 2003; Khalil ve Girgis, 1998).

Endüstriyel atık sulardaki renkli ve renksiz organik kirleticilerin giderilmesinde uygun adsorbanların kullanılması adsorpsiyon prosesinin önemli bir uygulaması olarak dikkat çekmektedir. Günümüzde adsorpsiyon, birçok doğal, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerde nem taşımaktadır (Hamid ve ark., 2019; Mahmoodabadi ve ark., 2019). Aktif karbon ve reçineler konsantre atık sulardan kimyasal atıkların giderilmesinde en iyi adsorban olarak ortaya çıkmasına rağmen pahalı ve geri yıkama ihtiyacı gibi dezavantajları da mevcuttur (Mckay, 1981).

Bununla birlikte araştırmacılar daha ekonomik adsorbanlarla da çalışmalar yapmıştır. Şeker kamışı, Vinil sülfon ve klorotriazine reaktif boyalar, doğal kil, bazik ve asidik boyalar, ay çiçeği, bazik boyalar, sepiolit, uçucu kül, azo boya, montmorillonit, doğal zeolit, bazik boya yapılan çalışmalardan bazılarıdır (Mckay, 1982; Meshko ve ark., 2001).

Bu çalışmada, endüstriyel atık suların neden olduğu boyar madde kirliliklerinin adsorpsiyon yöntemiyle giderilmesi amaçlanmaktadır. Adsorpsiyon işleminde söğüt ağacı poleni adsorbent olarak kullanılmıştır. Polen ile boyar maddelerin uzaklaştırılması gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Brillant Cresyl Blue ALD ve Acid Blue 25 boyar maddeleri kullanılmıştır.

Boyalar, diğler malzemelere göre parlak ve sağlam renk getirebilen parametrik bileşiklerdir. Günümüzde birçok endüstriyel alanda boyar madde kullanılmaktadır. Bu alanlar tekstil, kağıt, plastik, deri, kozmetik, gıda ve ilaç gibi endüstrilerdir. Boyalar atıksu içinde toksit ve bozulma direnci nedeniyle su ömrünü etkilemektedir. Çevre açısından bakıldığında, atık suların boyaların uzaklaştırılması zordur.

Boyar maddeler diğler boyalara göre birçok avantaj sağlamaktadır. Polen düşük maliyetli, uygun ve ekonomik bir adsorbandır. Tekstil ve atık suların arıtımında adsorban olarak kullanılmıştır. Ayrıca atık sudaki boyaların giderilmesi sorununa da çözüm aranmaktadır. Adsorpsiyon prosesinde adsorban olarak söğüt ağacı poleni kullanılmıştır. Ayrıca bu adsorban, boyar maddenin uzaklaştırılmasında kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve kolaylıkla bulunabilen alternatif bir adsorbandır. Buna bağlı olarak adsorpsiyon üzerine temas süresi, boyar madde konsantrasyonu ve sıcaklık etkisi incelenmiştir. Bunun yanında bu adsorbentin boyar maddelerin gideriminde kullanılmasının nedeni ucuz ve kolay bulunur alternatif bir adsorbent olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan söğüt ağacı poleni Van'dan temin edildi. Söğüt ağacı, Söğütlüler ailesinden Salik cinsini oluşturmakta olan boylu ağaç ya da bodur çalı halinden bulunabilen, büyük bir kısmı kışın yapraklarını döken, ender olarak da her mevsim yeşil kalmayı başaran odunsu bitkilerin genel adıdır. Söğüt ağacının morfolojik özelliklerine bakıldığında zaman tek bir pulla örtülmüş olan tomurcuklarının çoğunlukla sürgüne yatmış durumda olduğu görülür. Bu ağaç ev ilaçlarında kullanılmaktadır ve her yerde rahatlıkla büyüebilmektedir. Söğüt ağacının faydalarına bakıldığında zaman ateşi düşürdüğü, ishali kestiği, kanamayı dindirdiği, mikropları öldürdüğü, iştah açtığı ve vücuda kuvvet verdiği görülmektedir.

1.1 Söğüt Ağacı Poleni

Söğüt ağacı poleni, Salik cinsine ait ağaçların üreme sürecinde üretilen çiçek polenlerinden biridir. Kimyasal olarak, söğüt poleni çeşitli önemli bileşenleri içerir. Bu bileşenler arasında proteinler, yağlar, karbonhidratlar ve çeşitli organik ve inorganik maddeler bulunur. Söğüt poleni, özellikle tıbbi alanda önemli bir rol oynamaktadır. İçerdiği salisin gibi bileşenler nedeniyle anti inflamatuvar ve analjezik özelliklere sahiptir. Bu nedenle, geleneksel tıpta baş ağrısı, ateş ve diğler ağrılı durumların tedavisinde kullanılmıştır. Ayrıca, alerji tedavisinde de etkili olabilir;

özellikle bahar alerjilerine karşı duyarlı olan kişilerde semptomları hafifletebilir. Bunun yanı sıra, gıda endüstrisinde söğüt poleni bazı gıda ürünlerine tat ve aroma katmak için kullanılabilir. Çevre alanında da söğüt poleni çeşitli endüstriyel ve araştırma uygulamalarında biyolojik göstergeler olarak kullanılabilir. Özellikle çevresel kirlilik düzeylerini belirlemek için kullanılan biyolojik göstergeler olarak araştırmacılar tarafından ilgi görmektedir. Sonuç olarak, söğüt ağacı poleni, içeriğindeki kimyasal bileşenler nedeniyle tıbbi, gıda ve çevresel alanlarda çeşitli kullanım amaçlarına sahiptir.

1.1.1 Söğüt Ağacı Poleninin Kullanım Alanları

Söğüt ağacı poleni, çeşitli kullanım alanlarıyla dikkat çeken değerli bir doğal kaynaktır. Bu polenin çeşitli sektörlerdeki kullanım potansiyeli, tıbbi, gıda ve çevre alanlarında önemli fırsatlar sunar.

Tıbbi alanda, söğüt ağacı poleni anti inflamatuvar ve analjezik özelliklere sahiptir. İçerdiği salısın ve diğer bileşenler nedeniyle, baş ağrısı, ateş, romatizma gibi çeşitli ağrılı durumların tedavisinde kullanılmıştır. Ayrıca, alerji semptomlarını hafifletmek için kullanılabilir; özellikle bahar alerjilerine karşı duyarlı olan kişilerde etkili olabilir.

Gıda endüstrisinde, söğüt poleni doğal bir tat ve aroma kaynağı olarak kullanılabilir. Özellikle bal üretiminde ve bazı içeceklerde tatlandırıcı olarak tercih edilir. Ayrıca, bazı gıda takviyelerinde ve besin desteklerinde de bulunabilir.

Çevre alanında, söğüt poleni çeşitli endüstriyel ve araştırma uygulamalarında biyolojik göstergeler olarak kullanılabilir. Çevresel kirlilik düzeylerini belirlemek için kullanılan biyolojik göstergeler arasında yer alır. Su ve toprak örneklerinde kirlilik seviyelerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir.

Bu kullanım alanları, söğüt ağacı polenin çeşitli sektörlerde değerli bir kaynak olarak kabul edilmesini sağlar. Söğüt ağaçlarının, ekolojik ve kültürel öneme sahip olmalarının yanı sıra insan sağlığı ve çevre koruması açısından da önemli faydaları vardır.

1.2 Boyar Maddeler

Boyar maddeler, genellikle kumaş, deri, kâğıt ve diğer malzemelerin renklendirilmesinde kullanılan kimyasal maddelerdir. Bu maddeler, doğal veya sentetik kaynaklardan elde edilebilirler. Doğal boyar maddeler genellikle bitkiler, hayvanlar veya minerallerden elde edilirken, sentetik boyar maddeler laboratuvar koşullarında sentezlenir.

Boyar maddeler, kumaşların veya diğer malzemelerin yüzeyine bağlanarak renk değişikliği sağlarlar. Bu bağlanma süreci, kimyasal etkileşimler veya fiziksel adsorpsiyon gibi mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşebilir. Boyar maddeler, malzemenin içine nüfuz edebilir veya sadece yüzeyinde kalabilirler.

Boyar maddelerin renk verme özellikleri, moleküler yapılarından kaynaklanır. Renk, ışığın farklı dalga boylarını emen pigment moleküllerinin varlığına bağlıdır. Bu pigment molekülleri, belirli dalga boylarındaki ışığı absorbe ederek ve diğerlerini yansıtarak belirli bir renk oluştururlar.

Günümüzde, boyar maddeler tekstil endüstrisinden gıda endüstrisine, grafik tasarımdan dekorasyona kadar pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bazı boyar maddeler çevresel ve sağlık riskleri taşıyabilir, bu nedenle çevre dostu ve toksik olmayan boyar maddelerin geliştirilmesi önemlidir.

1.2.1 Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Boyar maddeler genellikle doğal veya sentetik olarak sınıflandırılırlar. Doğal boyar maddeler genellikle bitkiler, hayvanlar veya minerallerden elde edilirken, sentetik boyar maddeler laboratuvar koşullarında sentezlenir. Ayrıca, kimyasal yapıya, uygulama alanına, renk verme mekanizmasına ve toksikolojik özelliklere göre de sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmalar, boyar maddelerin özelliklerini ve kullanım alanlarını anlamak için kullanılır.

1.2.1.1 Boyama Özelliklerine Göre Boyar Maddeler

Boyama özelliklerine göre boyar maddeler, malzemenin yüzeyine uygulandıklarında nasıl davrandıklarını ve hangi etkileşimleri gösterdiklerini ifade

eder. Bu özellikler, boyar maddenin kimyasal yapısına, pigmentasyon özelliklerine ve uygulama yöntemlerine bağlı olarak değişir.

Öncelikle, boyama özelliklerine göre boyar maddelerin renk verme yetenekleri önemlidir. Renk verme yeteneği, boyar maddenin malzeme yüzeyine uygulandığında istenen renk tonunu oluşturma kabiliyetidir. Bu, boyar maddenin pigmentasyon özellikleri ve renk kararlılığıyla ilgilidir.

Boyama özellikleri ayrıca boyar maddenin malzeme yüzeyine nasıl bağlandığını ve dağıldığını da içerir. Bazı boyar maddeler malzeme yüzeyine sıkıca bağlanırken, diğerleri daha gevşek bir şekilde bağlanabilir ve malzeme yüzeyinde daha homojen bir dağılım gösterir. Bu, boyama işlemi sırasında boyar maddenin penetrasyon kabiliyeti ve bağlanma gücü ile ilgilidir.

Ayrıca, boyama özellikleri boyar maddenin malzeme yüzeyine uygulanma yöntemine de bağlıdır. Bazı boyar maddeler sulu çözeltiler halinde uygulanırken, diğerleri solventler veya özel bağlayıcılarla karıştırılarak uygulanır. Boyama işlemi sırasında uygulama yöntemi, boyar maddenin malzeme yüzeyine nüfuz etme ve istenen sonuçları elde etme yeteneğini etkiler.

Sonuç olarak, boyama özelliklerine göre boyar maddelerin seçimi ve uygulanması, malzemenin istenilen renk, dayanıklılık ve görünüm özelliklerini belirler. Bu nedenle, boyama işlemi öncesinde boyar maddenin özellikleri dikkatlice değerlendirilmeli ve uygun uygulama yöntemi seçilmelidir.

1.2.1.2 Çözünürlüklerine Göre Boyar Maddeler

Boyar maddelerin çözünürlüğü, onların su veya diğer çözücülerde ne kadar iyi çözündüklerini ifade eder. Bu özellik, boyar maddelerin belirli bir uygulama için uygun olup olmadığını belirlemede kritik bir rol oynar. Genellikle, boyar maddeler su, organik çözücüler, yağlar veya özel dispersiyonlar içinde çözünürler.

Su çözünür boyar maddeler, su içinde kolayca çözünebilen maddelerdir. Bu tür boyar maddeler, genellikle tekstil boyama, gıda boyama ve mürekkep üretimi gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Su çözünür boyar maddeler, su bazlı çözeltiler halinde uygulanabilir ve kolayca yıkanabilir, bu da son kullanıcılar için kullanım kolaylığı sağlar.

Öte yandan, yağlar veya organik çözücülerde çözünen boyar maddeler genellikle endüstriyel veya özel uygulamalarda tercih edilir. Bu tür boyar maddeler, su bazlı boyalara göre daha farklı özelliklere sahip olabilirler ve belirli endüstriyel süreçlerde gereken özellikleri sağlayabilirler. Örneğin, otomotiv endüstrisinde kullanılan boya ve kaplamalar genellikle organik çözücülerde çözünen boyar maddeler içerir.

Boyar maddelerin çözünürlüğü, ayrıca boyama işlemi sırasında boyar maddenin malzeme yüzeyine nasıl nüfuz ettiğini ve nasıl dağıldığını da etkiler. Çözücülerin ve dispersiyonların seçimi, boyar maddenin malzeme yüzeyine uygun şekilde uygulanmasını ve istenilen renk tonunun elde edilmesini sağlar.

Sonuç olarak, boyar maddelerin çözünürlüğü, boyama işlemlerinde kritik bir faktördür ve belirli bir uygulama için uygun boyar maddenin seçilmesinde önemlidir. Boyar maddelerin farklı çözünürlük özellikleri, çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalar için geniş bir yelpazede kullanılmasını sağlar. Bu nedenle, boyama işlemi öncesinde boyar maddenin çözünürlüğü dikkatlice değerlendirilmelidir.

1.2.1.3 Kimyasal Yapılarına Göre Boyar Maddeler

Boyar maddeler, kimyasal yapılarına ve özelliklerine göre farklı sınıflara ayrılabilirler. Bu sınıflandırma, boyar maddelerin sentezi, reaksiyonları, kullanım alanları ve özelliklerinin anlaşılmasına yardımcı olur.

Azo Boyar Maddeler: Azo boyar maddeler, azo grubuna (-N=N-) sahip olan organik bileşiklerdir. Bu boyar maddeler genellikle tekstil boyama, mürekkep üretimi ve gıda boyama gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Azo boyar maddeler, farklı renk tonlarını oluşturmak için farklı azo bileşiklerinin sentezi ile elde edilirler.

Ftalosiyanın Boyar Maddeler: Ftalosiyanın boyar maddeler, genellikle metal iyonları ile kompleks oluşturan organik bileşiklerdir. Bu boyar maddelerin karakteristik özelliği, zengin ve canlı renkler üretebilmeleridir. Bu nedenle, fotokopi mürekkepleri, boya ve kaplamalar, plastikler ve tekstil boyama gibi birçok uygulamada kullanılırlar.

Atraksiyon Boyar Maddeler: Atraksiyon boyar maddeler, atraksiyon halkasına sahip organik bileşiklerdir. Bu boyar maddeler, özellikle mavi, mor ve kırmızı renk

tonlarını üretmek için kullanılır. Tekstil boyama, mürekkep üretimi ve matbaa endüstrisi gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Bitki Kökenli Doğal Boyar Maddeler: Bitki kökenli doğal boyar maddeler, bitkilerin yaprakları, kökleri, meyveleri veya çiçeklerinden elde edilirler. Bu boyar maddeler genellikle tekstil boyama, gıda boyama ve ilaç endüstrisi gibi alanlarda kullanılırlar. Örnek olarak, kurkumun (zencefil ve zerdeçal gibi bitkilerden elde edilir) ve klorofil (bitki yapraklarından elde edilir) gibi doğal boyar maddeler verilebilir.

Sentetik Organik Boyar Maddeler: Sentetik organik boyar maddeler, laboratuvar koşullarında sentezlenen organik bileşiklerdir. Bu boyar maddeler, tekstil endüstrisi, mürekkep üretimi, plastikler ve boya endüstrisi gibi birçok alanda geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Sentetik organik boyar maddeler, genellikle belirli renk tonları ve özellikler için tasarlanmıştır.

Boyar maddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması, bu maddelerin özelliklerini ve uygulama alanlarını anlamamıza yardımcı olur. Her bir boyar madde sınıfı, farklı reaksiyonlar, özellikler ve kullanım alanlarına sahiptir. Bu nedenle, belirli bir uygulama için uygun boyar maddenin seçilmesi, boyama işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için önemlidir.

1.3 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, bir katı yüzeyin bir sıvı veya gaz içindeki maddeleri çekmesi veya tutmasıdır. Bu süreç, fiziksel, kimyasal ve iyonik olmak üzere üç farklı mekanizma tarafından gerçekleştirilebilir.

Fiziksel adsorpsiyon, moleküller arasındaki zayıf kuvvetlerle desteklenen geçici etkileşimlerle oluşur. Bu tür adsorpsiyon genellikle düşük sıcaklıklarda ve tersine dönüşebilir bir şekilde gerçekleşir.

Kimyasal adsorpsiyon ise, adsorbat moleküllerinin katı yüzeyin aktif merkezleriyle kimyasal bağlar oluşturmasıyla meydana gelir. Bu süreç, daha yüksek sıcaklıklarda ve kalıcı bir şekilde gerçekleşir.

İyonik adsorpsiyon, yüzeydeki elektriksel yükler nedeniyle adsorbat molekülleri arasındaki çekimlerle gerçekleşir.

Atık sulardan kirleticilerin uzaklaştırılmasında adsorpsiyon sıkça kullanılır. Bu yöntem, düşük maliyeti ve etkinliği nedeniyle tercih edilir. Diğer yöntemler arasında pıhtılaşma, elektrokoagülasyon, flotasyon, membran prosesi, indirgeme ve oksidasyon gibi teknikler bulunur. Bu yöntemler, atık suların kirleticilerden arındırılması için farklı koşullara ve kirleticilere bağlı olarak kullanılabilir.

1.3.1 Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler

Adsorpsiyon sürecini belirleyen unsurlar arasında adsorbatın yüzey alanı, tanecik boyutu, gözenek yapısı ve büyüklüğü, çözünürlüğü, karıştırma hızı, pH değeri ve sıcaklık yer alır.

1.3.1.1 Adsorbatın Yüzey Alanı

Adsorbatın yüzey alanı, adsorpsiyon sürecinin temel bir belirleyicisidir. Daha büyük bir yüzey alanı, daha fazla adsorpsiyon sitesi sağlar ve bu da adsorplanan madde miktarının artmasına neden olur. Bu nedenle, adsorbatın yüzey alanı arttıkça, adsorpsiyon işlemi daha etkili hale gelir ve daha fazla madde yüzeyde tutulabilir.

1.3.1.2 Adsorbatın Tanecik Boyutu

Adsorbatın tanecik boyutu, adsorpsiyon hızını belirleyen önemli bir faktördür. Büyük taneciklerin, yüzey alanının azalması nedeniyle adsorpsiyon hızını düşürdüğü gözlemlenir. Bu durumda, adsorbatın küçük tanecik boyutları daha etkili bir adsorpsiyon sağlar.

1.3.1.3 Adsorbatın Çözünürlüğü

Adsorbanlar genellikle mikro, mezo veya makro gözenek yapısına sahiptirler. Mikroporöz yapılar 0.8-2 nm arasında yer alırken, mezoporöz yapılar 2-50 nm arasındadır ve makroporöz yapılar 50 nm üzerindedir. Gözeneklerin boyutu, adsorbat moleküllerinin bu gözeneklere bağlanma yeteneğini belirler. Dolayısıyla, gözeneklerin büyüklüğü arttıkça, adsorpsiyon kapasitesi de artar çünkü adsorbat molekülleri daha fazla yüzey alanına erişebilir ve gözeneklerde daha sıkı bir şekilde tutunabilirler.

1.3.1.4 Karıştırma Hızı

Adsorpsiyon hızı, çevresel karıştırma hızına bağlı olarak değişir. Karıştırma hızı arttıkça, genellikle adsorpsiyon hızı da artar; ancak, belli bir noktadan sonra artışın

devam etmesi beklenmez. Bu noktadan sonra, adsorpsiyon hızında azalmalar meydana gelebilir.

1.3.2 Adsorpsiyon İzoterm Modelleri

Adsorpsiyon izotermi, sabit bir sıcaklıkta adsorban üzerine adsorbe edilen madde miktarı ve pH ile adsorbe edilmemiş artık maddelerin konsantrasyonu arasındaki denge durumunu temsil eden bir grafikdir. Bu izoterm, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltilerin bilinen bir adsorban miktarı ile dengelenmesiyle elde edilebilir. Fizikokimyasal değişkenler esasında termodinamik varsayımların beraberinde adsorpsiyon mekanizması yüzey özellikleri ve derecesi hakkında bilgi sahibi yapmaktadır.

1.3.2.1 Langmuir İzoterm Modeli

Adsorpsiyonun homojen yüzeylerde ve tek tabakalarda gerçekleştiğini varsayar. Langmuir aynı zamanda tüm aktif bölgelerin aynı enerjiye ve adsorbe edilecek moleküller için aynı afiniteye sahip olduğuna dikkat çekilmiş bir şekilde kabul eder.

$$Q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (1.1)$$

Q_e = dengede absorbetin birim ağırlığı başına adsorbe edilen çözünen miktar (mg g⁻¹)

C_e = çözeltilerdeki çözeltilerin denge konsantrasyonu (mg L⁻¹)

Q_m = maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg g⁻¹)

b = adsorpsiyonun serbest enerjisine (L mg⁻¹)

1.3.2.2 Freundlich İzoterm Modeli

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 denklemi şu şekilde kurulabilir:

$$Q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (1.2)$$

K_f = adsorbanın bağıl adsorpsiyon kapasitesi

n = adsorpsiyon yoğunluğunun bir göstergesi olan sabittir.

Adsorpsiyonun çok tabakalı olduğunu varsayan üstel bir fonksiyondur. Ayrıca, adsorplayıcı yüzeyinin, adsorpsiyon alanları ve enerjisi bakımından heterojen olduğunu kabul eder. Maksimum adsorpsiyon kapasitesini ölçmek için sabit bir başlangıç konsantrasyonu C_0 ve adsorbent değişkeni olarak ağırlıklar ile çalışılmalıdır.

1.3.2.3 Dubinin-Radushkevich (D-R) İzoterm Modeli

Dubinin-Radushkevich karakter özelliklerini gösteren grafik mikro gözeneklerde hacimsel dağılımın göstergesi gauss eğrisidir. Bu görüş, metal iyonlarda fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun ortalama olarak serbest enerjiyle molekül başına E molekülünü ayırmak için kullanılır. Şu yöntemle hesaplanır:

$$E = [1\sqrt{2KDR}] \quad (1.3)$$

Burada BDR izoterm sabit olarak ele alınır. Bu değişken;

$$\epsilon = RT \ln[1 + 1/C_e] \quad (1.4)$$

Bu eşitlikte R , gaz sabiti, $T(K)$ mutlak sıcaklık C_e adsorbat denge konsantrasyonunu ifade etmektedir.

Bu modelin diğer modellerden farkı sıcaklığa endeksli olmasıdır. Farklı sıcaklıktaki adsorpsiyon bulguları adsorbe edilen miktarın logaritması ile potansiyel enerjinin karesiyle ilişkilendirilerek çizilen eğri, karakteristik eğri üzerindedir.

1.3.2.4 Temkin İzoterm Modeli

Bu modelin denklemine göre, bütün moleküllerin adsorpsiyon ısısı adsorbent-adsorbant etkileşimi sebebiyle doğrusal olarak azalış gösterir. Temkin görüşü;

$$\Theta = RT \Delta q \ln KOC_e \quad (1.5)$$

Θ = kesirli kapsam

R = evrensel gaz sabiti

T = sıcaklık

$$\Delta Q = (-\Delta H) \text{ adsorpsiyon enerjisinin değişimi}$$

K_0 = temkin denge sabiti

1.3.2.5 Flory-Huggins İzoterm Modeli

Bu modelde, adsorbe edilen maddenin yüzey kaplama özellik derecesi türettiği ve kendiliğinden gerçekleştiği görülmektedir. Lineer olmayan denklemi şu şekildedir:

$$\Theta C_e = KF_H(1-\Theta)^{n_{FH}} \quad (1.7)$$

bu görüşte Θ yüzey kapsam derecesini KF_H denge sabiti ve n_{FH} modelin izoterm üssüdür. Serbest Gibbs enerjisinin hesaplanması ise şu şekildedir:

$$\Delta G_0 = RT \ln(KF_H) \quad (1.8)$$

1.3.2.6 Hill İzoterm Modeli

Farklı türlerin benzer özellikteki substratlara bağlanmasını ifade etmek için kullanılır. Şu şekilde formalize edilir:

$$Q_e = q_{sh} \frac{C_e^{n_H}}{K_D + C_e^{n_H}} \quad (1.9)$$

Bu eşitlikte K_D hill sabitini, q_{sh} hill izoterm en yüksek seviyede tutunma sabiti n_H hill bağ etkileşim sabiti olarak adlandırılmaktadır.

1.3.2.7 Redlich-Peterson İzoterm Modeli

Bu izotermi diğer izotermelerden ayıran temel nokta üç değişkenin yer almasıdır. Bunlar adsorplama sabiti birim adsorbant üzerine adsorplanan madde miktarı ve adsorplanma sonrası çözeltide kalan maddenin değişimidir ve şu şekilde ifade edilmektedir:

$$Q_e = \frac{K_R C_e^{1+a_R}}{1 + K_R C_e^{1+a_R}} \quad (1.10)$$

1.3.2.8 Sips İzoterm Modeli

Heterojen adsorpsiyon sistemlerini tahmin etmek ve freunlich izoterm model ilişkisi ile yükselmekte olan adsorbat konsantrasyonunun sınırlandırılmasını engellemek için yapılmış kombine formüldür.

$$Q_e = K_s C_e^{1/a_s} \beta_s e^{1+a_s C_e \beta_s} \quad (1.11)$$

Bu denklemde, a_s ve K_s sips izoterm sabitleridir. Düşük adsorbat konsantrasyonlarında Freunlich izoterm özelliği, yüksek konsantrasyonlarda Langmuir izotermine tek tabakalı özelliğini göstermektedir.

1.3.2.9 Toth İzoterm Modeli

Bu görüşe göre bulguları iyileştirmek için geliştirilen ve konsantrasyon hem alt sınır hem üst sınırı karşılayan heterojen sistemleri tanımlamak için kullanılır.

1.3.2.10 Koble-Corrigan İzoterm Modeli

Sips izoterm modeline benzeyen bu izoterm denge absorpsiyon bulgusunu ifade etmek için freunlich ve langmuir izoterm modellerini birleştiren modeldir. İzoterm sabitleri A, B ve n bir deneme yanılma birleşimi kullanılarak doğrusal bölge üzerindedir.

1.3.2.11 Brunauer-Emmnett-Teller (Çok Katmanlı Fiziörpsiyon) İzotermi

Bu modeldeki izoterm teorik olmakla beraber en çok gaz-katı dengesinde kullanılmaktadır. Çok tabakalı adsorpsiyon sistemlerini geliştirmek için kullanılmaktadır.

1.3.3 Adsorpsiyon Kinetik Modelleri

Ampirik bulguları farklı kinetik modellere uydurmak, adsorpsiyon hızını, prosesin modelini ve adsorbent/adsorbat arasındaki etkileşimin fiziksel mi yoksa kimyasal mı olduğu hakkında tahmini bilgileri incelememizi sağlamaktadır. Bu çalışmada yalancı birinci mertebeden kinetik model ve yalancı ikinci mertebeden kinetik model ve partikül içi difüzyon modeli olmak üzere üç farklı kinetik model incelenmiştir.

1.3.3.1 Parçacık İçi Difüzyon Model

Bu model art arda üç aşamada tanımlanır:

- Toplam çözeltiden sorbatın veya film difüzyonu olarak bilinen moleküllerin difüzyonla dış yüzeye taşınması
- İç difüzyon sorbatın parçacık yüzeyinden iç bölgelere taşınması
- Erimiş parçaların aktif bölge gözeneklerin iç yüzeyine çekilmesi

Sorpsiyon işleminde en yavaş basamak hızı kısıtlayan adımla denetlenir. Bir partikül sisteminde hız kısıtlama aşamasının doğası çözünen madde ve sorbetin özelliklerine göre belirlenir.

1.3.3.2 Yalancı Birinci Mertebeden Kinetik Model

Yalancı birinci mertebe eşitliği, adsorpsiyon prosesinin hız sabitini bulmak için kullanılmıştır.

$$\text{Log}(q_e - qt) = \text{log}q_e - k_1/2.303.t \quad (1.12)$$

Burada, q_e (mg g⁻¹) denge adsorpsiyon kapasitesi ve qt (mg g⁻¹), herhangi bir t süresindeki adsorpsiyon kapasitesi ve k_1 (dakika⁻¹) hız sabiti olmaktadır.

1.3.3.3 Yalancı İkinci Mertebeden Kinetik Model

Bu model hız sınırlayıcı olarak adımının elektron paylaşımı veya değişim yoluyla valans güçlerini içeren kimyasal emilim ya da kimyasal adsorpsiyon varsayımına tekabül eder ve kinetik hız kanuna göre şu şekilde yazılır ve hız eşitliği yalancı ikinci mertebe kinetik modeli şu şekilde verilebilir:

$$t/qt = 1/(K_2 q_e^2) + t/q_e \quad (1.13)$$

Burada, K_2 (g mg⁻¹ dak.⁻¹), yalancı ikinci mertebe hız sabitidir. Burada, t' ye karşı, t/q_e t değerleri, iki farklı konsantrasyon için doğrusal olarak eğri olarak elde edilmiş ve bu doğrunun eğimi ve kaymasından K_2 q_e değerleri hesaplanmıştır.

1.3.4 Termodinamik Parametreler

Adsorpsiyon termodinamik parametreleri ΔG_0 , ΔH_0 ve ΔS_0 şeklindedir.

$$\Delta G_0 = -RT \ln K_c \quad (1.14)$$

$$\Delta \ln K_c = \Delta S_0/R - \Delta H_0/RT \quad (1.15)$$

$$K_c = C_{ads}/C_e \quad (1.16)$$

ΔG_0 = standart gibbs serbest enerji değişimi

ΔH_0 =standart entalpi değişimi

ΔS_0 =standart entropi değişimi

K_c =adsorpsiyon denge sabiti

C_{ads} = denge anında adsorplama boyar madde derisimini(mgL)

C_e =denge anında çözültide kalan boyar maddenin derisimini (mgL)

R =evrensel gaz sabiti (8.314J mol⁻¹K⁻¹)

$1/T$ 'nin $\ln K_c$ 'ye karşı çizilen eğrinin eğimi ΔH^0 kesiştiği yerde ΔS^0 değerleri hesaplanmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sevil ve Alyuez (2007), tarafından yapılan araştırmada, Çankırı bentoniti gibi doğal bir kilin kullanılmasıyla bakır (Cu^{2+}) ve çinko (Zn^{2+}) gibi ağır metallerin sulu çözeltilerden çıkarılması incelenmiştir. Araştırma, adsorpsiyon işleminin çeşitli parametrelerini değerlendirmek amacıyla batch tekniğini kullanmıştır. Bu parametreler arasında çözeltinin pH değeri, kullanılan kil miktarı, ağır metal konsantrasyonu ve çalkalama süresi bulunmaktadır. Ayrıca, adsorpsiyon verimliliğini belirlemek için Langmuir, Freundlich ve Dubinin–Radushkevich (D–R) izotermi gibi çeşitli izoterm kullanılmıştır. Çalışmanın bulguları, doğal kilin Cu^{2+} ve Zn^{2+} gibi ağır metalleri sulu çözeltilerden etkili bir şekilde adsorplama yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, adsorpsiyon işleminin ikinci mertebeden reaksiyon kinetiği ile uyumlu olduğunu ve tüm izotermilerin doğrusal olduğunu ortaya koymuştur. Bu araştırma sonuçları, doğal kilin çevresel kirliliklerin azaltılmasında potansiyel bir adsorban olarak kullanılabileceğini ve ağır metallerin sudan giderilmesinde etkili bir çözüm olabileceğini öne sürmektedir.

Dehvari ve ark., (2017) tarafından yapılan araştırmada, Mürekkep balığı kemik tozu kullanılarak Reaktif Kırmızı 198 boyasının (RR-198) çıkarılması incelenmiştir. Adsorban olarak, laboratuvar koşullarında hazırlanmış ve ASTM standardı eleklerle (60-100 gözenek) öğütülmüş mürekkep balığı kemik tozu kullanılmıştır. Sürecin ilerleyişi, 518 nm dalga boyunda boyanın absorbansı spektrofotometrik olarak ölçülerek izlenmiştir. Ayrıca adsorban dozu, pH, başlangıç boya konsantrasyonu ve temas süresi gibi süreç parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. SEM mikrografları ve XRD kırınım formu, mürekkep balığı kemiğinin yüzeyinin açıkça görülen gözeneklere ve kristalize bir forma sahip olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, adsorban dozu ve bekletme süresi artırılarak, boya çıkarma verimi önemli ölçüde artırılmıştır. Başlangıç boya konsantrasyonu (50 mg/L) için adsorpsiyon izotermi, Langmuir ve Freundlich modelleriyle tam uyum içindeydi. Adsorpsiyon kinetik çalışmaları, RR198 boyasının adsorpsiyonunun pseudo-ikinci derece kinetik ile uyumlu olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Xue ve ark., (2019) altın ve platin grubu elementler için yüksek seçicilik ve adsorpsiyon kapasitesine sahip esnek kompozit malzemelerin elde edilmesi üzerine

yoğun çaba harcamıştır. Bu araştırmada, PUF matrisi kullanılarak bir dizi poliüretan köpük (PUF) kompoziti sentezlenmiştir. Yüzey taramalı elektron mikroskobu, Raman spektrumları, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi, X-ışını fotoelektron spektroskopisi analizleri, yüzey açısı ve Brunauer–Emmett–Teller spesifik yüzey alanı gibi yöntemlerle karakterize edilmiştir. Asidik klorür çözeltilerinden değerli metal iyonlarının katı faz ekstraksiyonu yığın deneylerle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, sistein polimer fırçayla aşılınmış PDA@GPUF'nin (Poly-Cys-g-PDA@GPUF) yüzeyinde yüksek konsantrasyonda hidroksil, imin ve tiyol grupları içerdiğini ve bunun, Au (III), Pd(II), Pt (IV) ve Ru (III) için yüksek ayırıştırma performansı sağladığını göstermektedir. Poly-Cys-g-PDA@GPUF için yapılan yığın adsorpsiyon çalışmaları, çözelti pH'ı, temas süresi, ilk metal iyon konsantrasyonu ve sıcaklık gibi çeşitli parametrelerle gerçekleştirilmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasiteleri, Au(III), Pd(II) ve Pt(IV) için pH 0 ve Ru(III) için pH 3.0 olarak belirlenmiştir. Deneysel verilerin analizi için Langmuir, Freundlich ve Dubinin-Radushkevich izoterm modelleri kullanılmış ve en iyi uyumun Langmuir izotermi ile elde edildiği görülmüştür.

Çözelti asitliği, temas süresi, metal iyonlarının başlangıç konsantrasyonu, sıcaklık, bir arada bulunan iyonlar ve geri kazanım davranışının etkileri rapor edilmiştir. Kinetik verilerin analizi için birinci derece, ikinci derece ve parçacık içi difüzyon modelleri kullanılmış, ikinci derece kinetik modelin deneysel verilerle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Poli-Cys-g-PDA@GPUF için entalpi (ΔH^0), serbest Gibbs enerjisi (ΔG^0) ve entropi (ΔS^0) gibi termodinamik parametreler hesaplanmıştır. Katı faz özetleyici olarak Poly-Cys-g-PDA@GPUF; Au(III), Pd(II), Pt(IV) ve Ru(III)'un ön konsantrasyonu için sulu örneklerde, metalürjik cürufta ve onaylı örneklerde tatmin edici sonuçlarla başarıyla uygulandığı gösterilmiştir (Xue ve ark., 2019).

Çiçekçi ve ark., (2020) çalışmasında, malahit yeşilinin ham şeftali çekirdeği kabuğu üzerine yaygın adsorpsiyon izoterm modelleri ve termodinamik analizi incelemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, korelasyon katsayılarına dayanarak en uygun modelin Freundlich izotermi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, hesaplanan n değerinin 1'den büyük olması, adsorbentin heterojen bir yüzeye sahip olduğunu göstermiştir. Langmuir izoterm modelinde maksimum adsorpsiyon kapasitesi 8.19 mg.g^{-1} olarak hesaplanmıştır. Termodinamik analizlerde, serbest entalpi değişiminin $-21.53 \text{ kJ.mol}^{-1}$

ve Gibbs serbest enerji değerinin yaklaşık -39 kJ.mol^{-1} olması, adsorpsiyon prosesinin ekzotermik, fiziksel karakterli ve kendiliğinden yürüdüğünü ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, şeftali çekirdeği kabuğunun, sulu çözeltilerdeki malahit yeşilinin uzaklaştırılması hususunda uygun bir adsorbent olarak kullanılabilereği ve elde edilen izoterm modeli ve termodinamik parametrelerin, endüstriyel olarak malahit yeşilinin giderilmesi prosesine faydalı veriler sağlayacağı belirtilmiştir.

Çalışkan ve ark., (2011) tarafından yapılan çalışmada, Zn(II) iyonlarının sulu çözeltilerden ayrıştırılması, doğal ve MnO₂ ile modifiye edilerek diatomit örnekleri kullanmış, araştırmacılar tarafından bu örnekler farklı sıcaklıklarda incelenmiştir. Denge izotermelerini tanımlamak için doğrusal Langmuir, Freundlich ve Dubinin-Radushkevich (D–R) adsorpsiyon denklemleri uygulanmıştır. D–R modelinden elde edilen ortalama adsorpsiyon enerjisi $> 8 \text{ kJ mol}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır, bu da Zn(II)'nin diatomit ve Mn-diyatomit üzerine adsorpsiyonunun fiziksel olarak gerçekleştirildiğini gösterir. Ayrıca, pseudo-birinci dereceden, pseudo-ikinci dereceden ve parçacık içi difüzyon modelleri kinetik verileri belirlemek için kullanılmıştır. Deneysel veriler, pseudo-ikinci derece kinetik model ile iyi bir uyum sağlamıştır. Doğal ve MnO₂ modifiye diatomit için entalpi (ΔH^0), serbest Gibbs enerjisi (ΔG^0) ve entropi (ΔS^0) gibi termodinamik parametreler hesaplanmıştır. Bu değerler, Zn(II) iyonlarının diatomit numunelerine adsorpsiyonunun fiziksel bir mekanizma tarafından kontrol edildiğini ve kendiliğinden gerçekteştiğini göstermiştir.

Santhi ve Kumar (2015), tarafından yapılan bir çalışmada, *Typha Angustata L* bitkisinden elde edilen aktif karbonun karakterizasyonu yapılmış ve atık suyun Rodamin B adlı bir boya maddesinden etkin bir şekilde arındırılmasında kullanılmıştır. Rodamin B, suda çözünen ve genellikle su izleme floresanı olarak kullanılan bir bazik kırmızı katyonik Ksanten sınıfı boyadır. Çalışmada, yığın adsorpsiyon deneyleri yapılmış ve pH temas süresi, başlangıç adsorbat konsantrasyonu, adsorban dozajı ve sıcaklık gibi faktörlerin etkisi incelenmiştir. Deneysel veriler, pseudo-ikinci derece kinetik model kullanılarak analiz edilmiştir. Denge verileri ise Langmuir İzoterm modeli ile uyumlu bulunmuştur. Ayrıca, serbest standart enerji (ΔG^0), standart entropi (ΔS^0) ve standart entalpi (ΔH^0) değişiklikleri hesaplanmıştır. Termodinamik çalışma, AC-MnO₂-NC üzerine boya adsorpsiyonunun tercih edilebilir, endotermik ve

kendiliğinden olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, aktif karbonun Rodamin B gibi su kirleticilerini arındırmak için etkili bir seçenek olduğunu vurgulamaktadır.

Saroyan ve ark., (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, grafen oksit (GO) ve mangan oksit (MnO₂) kullanılarak bir nanokompozit katalizör hazırlanmış ve bu katalizör Reaktif Siyah 5 (RB5) adlı bir azo boyasının bozunması için kullanılmıştır. Nanokompozit, XRD ile yapı, SEM ile morfoloji, FTIR ile yüzey kimyası ve potansiyometrik titrasyon ölçümleri gibi yöntemlerle karakterize edilmiştir. Elde edilen verilere dayanarak, GO-MnO₂ nanokompozitin RB5'in çevresel koşullarda bozunması veya oksidasyonu için saf MnO₂'den daha yüksek bir katalitik aktivite sunduğu belirlenmiştir. Bu yüksek aktivitenin, mangan oksit ve grafen oksidin katkılarının birleşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir (Saroyan ve ark., 2019). Sonuç olarak, bu çalışma GO-MnO₂ nanokompozitin, RB5 gibi azo boyalarının çevresel koşullarda etkin bir şekilde parçalanması için potansiyel bir katalizör olduğunu göstermektedir.

Karaca ve ark., (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, yığın adsorpsiyon deneyleri kullanılarak katyonik boyanın sulu çözeltiden kompozit aktif karbon üzerine adsorpsiyonu incelenmiştir. Aktif kompozit karbon, bira üreticisinin kullanılmış tahılından ve deniz fasulyesi kabuğundan hazırlanmıştır.

Çalışmada, kararlılık çalışmaları farklı konsantrasyonlarda ve sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Kararlılık verileri Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich ve Temkin izoterm modellerine uydurulmuştur. Sonuçlar hem Langmuir hem de Freundlich izoterm modellerinin verilere oldukça iyi uyduğunu, ancak Freundlich izoterminin incelenen sıcaklık aralığına daha iyi uyduğunu göstermiştir. Bu da adsorpsiyonun heterojen olduğunu, spesifik olmadığını ve doğada tek tip olmadığını doğrulamıştır (Karaca ve ark., 2008). Ayrıca, birinci derece, ikinci derece, pseudo-birinci derece, pseudo-ikinci derece, Elovich, Boyd ve tanecik içi difüzyon modelleri açısından kinetik çalışmalar da yapılmıştır. Sonuçlar, verilerin yüzey adsorpsiyonu ve adsorbat-adsorban etkileşimi sırasında eşzamanlı olarak çalışan partikül içi difüzyon ile ikinci derece modeli takip ettiğini göstermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. DeneYlerde Kullanılan Materyaller

3.1.1 Söğüt Ağacı Poleni

DeneYlerde kullanılan söğüt ağacı poleni Van (Türkiye) da temin edildi. DeneYlerde Sigma Aldrich marka Brillant Cresyl Blue ALD (BCB ALD) ve AB-25 boyar maddeleri kullanılmıştır. Söğüt ağacı, söğütgiller ailesinden salix cinsini oluşturmakta olan boylu ağaç ya da bodur çalı halinde bulunabilen, büyük bir kısmı kışın yapraklarını döken, ender olarak da her mevsim yeşil kalmayı başaran odunsu bitkilerin genel adıdır. Söğüt ağacının morfolojik özelliklerine bakıldığı zaman tek bir pulla örtülmüş olan tomurcuklarının çoğunlukla sürgüne yatmış durumda olduğu görülür. Bu ağaç ev ilaçlarında kullanılmaktadır ve her yerde rahatlıkla büyüebilmektedir. Söğüt ağacının faydalarına bakıldığı zaman ateşi düşürdüğü, ishali kestiği, kanamayı dindirdiği, mikropları öldürdüğü, iştah açtığı ve vücuda kuvvet verdiği görülmektedir.

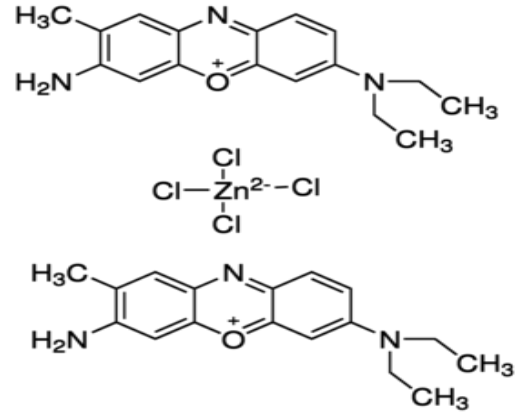
3.1.2. DeneYlerde Kullanılan Boyar Maddeler

3.1.2.1 BCB-ALD

BCB-ALD, genellikle organik elektronik cihazların üretiminde kullanılan bir tür boyama maddesidir. "BCB", "Benzocyclobutene" kelimesinin kısaltmasıdır ve organik sentezde, polimer kimyasında ve yarı iletken endüstrisinde kullanılan bir bileşiktir. "ALD" ise "Atomic Layer Deposition"ın kısaltmasıdır ve ince film kaplama sürecinde kullanılan bir tekniktir.

BCB-ALD, bu organik bileşimin atomik katman biriktirme yöntemiyle yüzeylere uygulanmasıyla elde edilen ince film kaplamaları için kullanılan bir boyama maddesi olarak adlandırılır. Bu kaplamalar genellikle elektronik cihazların yalıtım ve koruma amaçları için kullanılır. BCB-ALD kaplamaları, yarı iletken üretiminde, mikroelektronik cihazların üretiminde ve diğer endüstriyel uygulamalarda önemli bir rol oynar. Bu kaplamalar genellikle yüksek sıcaklıklara ve kimyasal maddelere dayanıklıdır ve elektriksel izolasyon sağlarlar.

boya adı: Brilliant Cresyl blue ALD
molekül formülü: $C_{17}H_{20}ClN_3O,5ZnCl_2$
molekül ağırlığı, $g.mol^{-1}$: 385,96
 λ max. (nm): 622



Şekil 3.1 BCB-ALD'nin kimyasal yapısı

BCB-ALD esas olarak oositlerin seçimi için kullanılır. Glikoz-6-fosfat dehidrogenaz (G6PD) aktivitesinin belirlenmesine yardımcı olur. Bu enzim büyüyen oositlerde üretilir. Ancak büyümesini tamamlayan oositlerde G6PD seviyesi düşüktür. Düşük G6PD aktivitesi sitoplazmanın mavi renk almasına neden olur çünkü parlak kresil mavisi renksiz bir bileşiğe indirgenmez. Ayrıca boyanın retikülünü boyadığı retikülositlerde boyama için de kullanılır.

3.1.2.2 Acid Blue-25

Acid Blue-25, tekstil endüstrisinde ve diğer uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılan bir boyar madde türüdür. Genellikle mavi renkte olan bu boyar madde, organik bileşiklerden oluşur ve genellikle sulu çözeltilerde kullanılır. Acid Blue-25, özellikle polyester, naylon, yün ve ipek gibi sentetik liflerin boyanması için tercih edilir. Ayrıca kâğıt, deri ve plastik gibi malzemelerin boyanmasında da kullanılabilir. Bu tür boyar madde, asidik ortamlarda iyi çözünebilir ve genellikle asetik asit gibi asitler kullanılarak boyama işlemi gerçekleştirilir. Acid Blue-25, tekstil ürünlerine zengin ve canlı mavi tonlar vermek için tercih edilir. Ancak, Acid Blue-25 gibi boyar maddelerin atık sulardan uzaklaştırılması çevre kirliliği potansiyeli taşıyabilir. Bu nedenle, çevre dostu ve sürdürülebilir boyama işlemleri için alternatif yöntemler araştırılmaktadır.

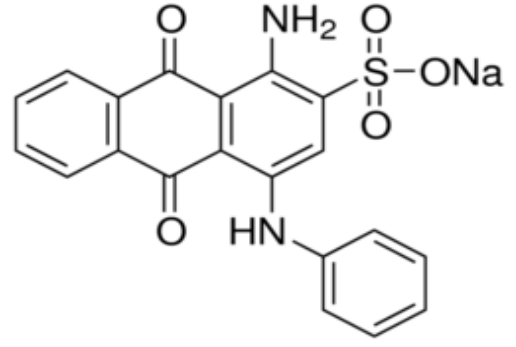
Acid Blue-25

Boya adı: Acid Blue- 25

molekul formülü: $C_{20}H_{13}N_2O_5S$

molekular ağırlığı, $g.mol^{-1}$: 416,38

λ max. (nm): 600



Şekil 3.2 Acid Blue-25'in kimyasal yapısı

3.1.2.3 Özellikleri ve Uygulamaları

Mavi toz halinde suda çözünür, ancak asetonda, etanolde ve benzende az çözünür, hidrojen, naftalin, nitrobenzen ve ksilende çözünmez. Seyreltilmiş mavi çökeltiden sonra koyu olarak güçlü sülfürik asitle reaksiyona girer. Esas olarak boyayı desteklemek için naylon, poliamid boyamak için kullanılır. Yün, ipek ve karışım kumaş boyama ve doğrudan baskı için ayrıca deri, elektrik kontrollü alüminyum sabun ve renkte de kullanılabilir.

Bu çalışmada kullanılan söğüt ağacı poleni Van dan temin edildi. Deneylerde Sigma Aldrich marka Brilliant Cresyl Blue ALD ve Acid Blue 25 Boyar Maddeleri kullanılmıştır.

3.1.2.4 Boyar Madde Çözeltisinin Hazırlanması

Boyar madde çözeltileri hazırlamak için 500-1000 mg/L lik stok çözeltiler hazırlandı. Daha sonra istenilen konsantrasyonlardaki (25,50,75 mg/L) stok çözeltilerden seyreltme yapılarak hazırlandı. Boya çözeltilerini pH'ları 0,1N sodyum hidroksit ve 0,1 hidroklorik asit çözeltileri kullanılarak hazırlandı.

3.1.3 Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

Çalışmada porselen havan, erlen, beher şişe, piset, pipet, santrifüj tüpleri ve mezür kullanıldı.

Elek Seti (LOYKA ESM-200): Polenin 400 mesh eleme işlemi yapıldı.

Hassas Terazî (RADWAG AS 220/C/2): Polen BCB-ALD ve AB-25'in tartılmasında kullanıldı.

Çalkalamalı Su Banyosu (Nüve ST 30): Adsorpsiyon işlemlerinin gerçekleşmesi için kullanıldı.

pH metre (ISOLAB): Başlangıç ve deneylerde çalışılan pH'ların ayarlanmasında kullanıldı.

Mikropipet: Numunelerin alınmasında kullanıldı.

Spektrofotometre (SHIMATZU UV-1800): Boyarmaddelerin maksimum dalga boyundaki absorbansının belirlenmesinde kullanıldı.

3.2 Yöntem

Denge izotermelerini açıklamak için Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (D-R) doğrusal adsorpsiyon eşitlikleri kullanıldı. Adsorpsiyonun Langmuir izotermine uyduğu belirlenmiştir. Buna ek olarak, kinetik verileri belirlemek için yalancı birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden ve partikül içi difüzyon modelleri kullanıldı. Deneysel veriler, yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uyduğunu göstermiştir. Söğüt ağacı poleni örnekleri için entalpi gibbs serbest enerjisi ve entropi gibi termodinamik parametreler incelendi. Elde edilen veriler adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşen bir proses olduğudur. Entalpinin pozitif olması ise adsorpsiyonun endotermik olduğunu gösterir. Pozitif entropi doğruları adsorbant yüzeyinde bazı değişimlerin olmasıdır.

Çözelti ortamından uzaklaştırılan boyar madde miktarının hesaplanmasında

$q_e = (C_0 - C_e) \cdot v/w$ eşitliği kullanıldı.

Burada, q_e : adsorbentin birim ağırlığı başına adsorplanan boyar madde miktarı (mg/g),

V: Kullanılan çözelti hacmi (L), W: kullanılan adsorbentin miktarı(g).

Boya giderim yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

(%) boya giderilmesi = $(C_0 - C_e) / C_0 \cdot 100$

C_0 ve C_e nin (mgL⁻¹) çözelti içindeki boyanın başlangıç ve denge konsantrasyonları olduğu yerlerdir.

C_0 : Boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu((mg/g),

Ce: Adsorpsiyon sonrası çözeltilerde kalan boyar madde konsantrasyonu (mg/L)

3.2.1 Adsorpsiyon Deneyleri

Adsorpsiyon deneyleri 0,02 g polen üzerine 10 ml boya çözeltileri ilave edilerek 110d/d karıştırılma hızında, sıcaklık kontrollü çalkalamalı su banyosunda gerçekleştirildi. Numuneler 3500 rpm de 5 dk santrifüjlendi. Bu numunelerin maksimum absorbansları uvvisible spektrofotometre cihazında maksimum dalga boyunda Acid Blue-25 için 600 nm de, Brilliant Cresyl Blue ALD için 622 nm de ölçüldü. Adsorpsiyon üzerine konsantrasyon, sıcaklık ve temas süresi gibi parametrelerin etkisi incelendi. Adsorpsiyon üzerine konsantrasyonun etkisi 25,50 ve 75 mg L⁻¹lik boyar madde çözeltileri kullanılarak yapıldı. Boyarmaddeler için 25°C, 45°C ve 65°C sıcaklıklar çalışıldı.

3.2.2 Çözelti Ortamından Uzaklaştırılan Boyar Madde Miktarının Hesaplanması

Çözelti ortamından uzaklaştırılan boyar madde miktarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanıldı.

$$q_e = [(C_0 - C_e) \times V] / W \quad (3.1)$$

q_e=Adsorbentin birim ağırlığı başına adsorplanan boyar madde miktarı (mg/g)

C_o=Boyar maddenin başlangıç konsantrasyonu(mg/L)

C_e=Adsorpsiyon sonrası çözeltilerde kalan boyar madde konsantrasyonu (mg/L)

V: Çözelti hacmi (L)

W: Adsorbentin miktarı(g)

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, söğüt ağacı poleni kullanılarak Cresyl Blue ALD ve Acid Blue-25 boyar maddelerinin adsorpsiyonu ve adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi çalışıldı. Boyar maddelerin sulu ortamdan uzaklaştırılmasında başlangıç boyar maddesi konsantrasyonu, temas süresi, ptt ve sıcaklık etkileri çalışıldı. Cresyl Blue ALD ve Acid Blue-25 için izoterm verilerinin Langmuir, Freundlich ve Dubinin Radushkevich (D-R) doğrusal adsorpsiyon eşitlikleri incelendi. Her iki boyar madde için adsorpsiyon kinetiği incelenerek termodinamik parametreler hesaplandı.

4.1 Adsorpsiyon Üzerine Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonunun Etkisi

Düşük konsantrasyonda, adsorpsiyon prosesi boya moleküllerinin adsorpsiyon bölgelerine düşük oranı nedeni ile denge durumuna daha hızlı ulaşır. Başlangıçtaki konsantrasyonunun artması ile adsorpsiyonun etkisinde de bir artış olduğu gözlenir. Başlangıç boyar madde konsantrasyonunun etkisini belirlemek için Cresyl Blue ALD ve Acid Blue-25'in 75, 50 ve 25 mg L⁻¹ lik konsantrasyonlarda çalışıldı. BCB- ALD için elde edilen bulgular Çizelge 4.1., 4.2., 4.3. ve Acid Blue-25 için ise Çizelge 4.4, 4.5., 4.6. da verilmiştir.

Çizelge 4.1 Farklı konsantrasyonlarında BCB-ALD'nin polen üzerine adsorpsiyon değerleri (T=25°C, pH=6.46, W/V:0.02g)

C₀	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe (mg/g)	% Ads
25mg/L	1	3,85	21,15	5.28	84.6
	5	3,79	21,21	5.30	84.8
	10	3,47	21,53	5.38	86.1
	15	3,28	21,72	5.43	86.8
	20	3,10	21,90	5.47	87.6
	30	2,98	22,02	5.50	88.0
	60	2,90	22,10	5.52	88.4
	90	2,66	22,34	5.58	89.3
	120	2,35	22,65	5.66	90.6
45mg/L	1	3,77	21,23	5.30	84.92
	5	3,70	21,30	5.32	85.20
	10	3,62	21,38	5.34	85.52
	15	3,41	21,59	5.39	86.36
	20	3,25	21,75	5.43	87.00
	30	3,12	21,88	5.47	87.52
	60	2,96	22,04	5.51	88.16
	90	2,34	22,66	5.66	90.64
	120	2,13	22,87	5.71	91.48
65mg/L	1	0,83	24,17	6.04	96.68
	5	0,70	24,30	6.07	97.20
	10	0,68	24,32	6.08	97.28
	15	0,69	24,31	6.07	97.24
	20	0,66	24,34	6.08	97.36
	30	0,70	24,30	6.07	97.20
	60	0,51	24,49	6.12	97.96
	90	0,54	24,46	6.11	97.84
	120	0,40	24,60	6.15	98.40

Çizelge 4.2 Farklı konsantrasyonlarında BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon değerleri
(T=25°C, pH=6.46, W/V:0.02g)

C₀	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe (mg/g)	% Ads
25mg/L	1	8,58	41,42	10.35	82.84
	5	8,00	42,00	10.50	84.00
	10	7,94	42,06	10.51	84.12
	15	7,63	42,37	10.59	84.74
	20	6,21	43,79	10.94	87.58
	30	5,26	44,74	11.18	89.48
	60	4,55	45,45	11.36	90.90
	90	3,44	46,56	11.64	93.12
	120	2,97	47,03	11.75	94.06
45mg/L	1	7,77	42,3	10.57	84.60
	5	7,03	42,7	10.67	89.40
	10	7,00	43	10.75	86.00
	15	6,7	43,3	10.82	86.60
	20	6,0	44,0	11.00	88.00
	30	5,8	44,2	11.05	88.4
	60	4,1	45,9	11.47	91.8
	90	3,3	46,7	11.67	93.4
	120	2,8	47,2	11.80	94.4
65 mg/L	1	2,64	47,36	11.84	94.72
	5	2,44	47,56	11.89	95.12
	10	2,30	47,70	11.92	95.40
	15	2,27	47,73	11.93	95.46
	20	2,25	47,75	11.93	95.50
	30	2,17	47,83	11.95	95.66
	60	2,05	47,95	11.98	95.90
	90	1,93	48,07	12.01	96.14
	120	1,70	48,30	12.07	96.60

Çizelge 4.3 Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon değerleri
(T=25°C, pH=6.46, W/V:0.02g)

C₀	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe (mg/g)	% Ads
25 mg/L	1	13,90	61,0	15.27	81.33
	5	12,72	62,28	15.57	83.04
	10	11,41	63,59	15.89	84.78
	15	10,22	64,78	16.19	86.37
	20	9,20	65,80	16.45	87.73
	30	8,50	66,50	16.62	88.66
	60	7,79	67,21	16.80	89.61
	90	6,93	68,07	17.01	90.76
	120	6,74	68,26	17.06	91.01
45 mg/L	1	11,18	63,82	15.95	85.09
	5	11,02	63,98	15.99	85.30
	10	10,92	64,08	16.02	85.44
	15	8,88	66,12	16.53	88.16
	20	8,80	66,2	16.55	88.26
	30	8,84	66,12	16.54	88.16
	60	8,79	66,21	16.55	88.28
	90	7,50	67,50	16.87	90.0
	120	6,60	68,40	17.10	91.20
65 mg/L	1	7,54	72,46	18.11	96.61
	5	7,26	72,74	18.18	96.98
	10	6,98	73,02	18.25	97.36
	15	6,93	73,07	18.26	97.42
	20	6,70	73,30	18.32	97.73
	30	6,25	73,75	18.43	98.33
	60	6,20	73,80	18.45	98.40
	90	6,11	73,89	18.47	98.52
	120	5,83	74,17	18.54	99.89

Çizelge 4.4 Farklı konsantrasyonlarda Acid Blue 25'in polen adsorpsiyon değerleri
(T=25°C, pH=6.64, W/V:0.02g)

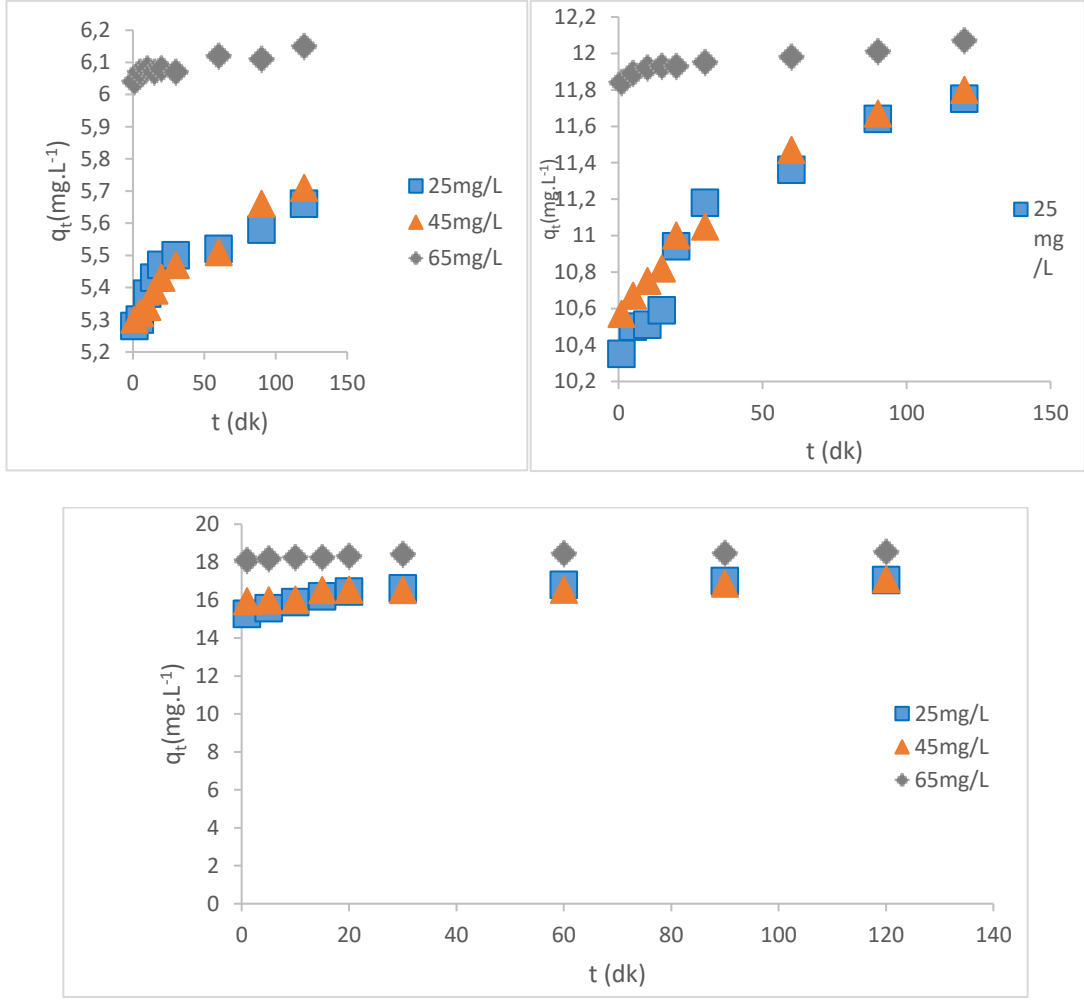
C₀	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe (mg/g)	% Ads
25mg/L	1	0,38	24,62	6,15	98,48
	5	0,36	24,64	6,16	98,56
	10	0,34	24,66	6,16	98,64
	15	0,32	24,68	6,17	98,72
	20	0,25	24,75	6,18	99,00
	30	0,30	24,70	6,17	98,80
	60	0,24	24,76	6,19	99,04
	90	0,23	24,77	6,19	99,08
	120	0,23	24,77	6,19	99,08
45 mg/L	1	0,27	24,73	6,18	98,92
	5	0,23	24,77	6,19	99,08
	10	0,18	24,82	6,20	99,28
	15	0,19	24,81	6,20	99,24
	20	0,18	24,82	6,20	99,28
	30	0,13	24,87	6,21	99,48
	60	0,09	24,91	6,22	99,64
	90	0,11	24,89	6,22	99,56
	120	0,08	24,92	6,23	99,68
65 mg/L	1	0,23	24,77	6,19	99,08
	5	0,18	24,82	6,20	99,28
	10	0,20	24,80	6,20	99,20
	15	0,13	24,87	6,21	99,48
	20	0,11	24,89	6,22	99,56
	30	0,11	24,89	6,22	99,56
	60	0,09	24,91	6,22	99,64
	90	0,07	24,93	6,23	99,72
	120	0,07	24,93	6,23	99,72

Çizelge 4.5 Farklı konsantrasyonlarda Asid Blue 25'in polen adsorpsiyon (T=25°C, pH=6.64, W/V:0.02g)

C₀	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe (mg/g)	% Ads
25mg/L	1	0,80	49,20	12,300	98,40
	5	0,77	49,23	12,310	98,46
	10	0,72	49,28	12,321	98,56
	15	0,69	49,31	12,327	98,62
	20	0,68	49,32	12,330	98,64
	30	0,65	49,35	12,337	98,70
	60	0,70	49,30	12,347	98,60
	90	0,61	49,39	12,347	98,78
	120	0,54	49,46	12,365	99,12
45mg/L	1	0,82	49,18	12,295	98,36
	5	0,75	49,25	12,312	98,50
	10	0,72	49,28	12,321	98,56
	15	0,73	49,27	12,317	98,54
	20	0,65	49,35	12,337	98,70
	30	0,71	49,29	12,322	98,58
	60	0,60	49,32	12,330	98,64
	90	0,54	49,46	12,365	99,12
	120	0,50	49,50	12,375	99,00
65mg/L	1	0,67	49,33	12,330	99,66
	5	0,66	49,34	12,335	99,68
	10	0,49	49,51	12,377	99,02
	15	0,46	49,54	12,385	99,08
	20	0,41	49,59	12,397	99,18
	30	0,51	49,49	12,372	98,98
	60	0,36	49,64	12,410	99,28
	90	0,34	49,66	12,415	99,32
	120	0,28	49,72	12,430	99,44

Çizelge 4.6 Farklı konsantrasyonlarda Asid Blue 25'in polen adsorpsiyon değerleri
(T=25°C, pH=6.64, W/V:0.02g)

C₀	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe(mg/g)	%Ads
25mg/L	1	2,89	72,11	18,027	96,14
	5	2,83	72,17	18,042	96,22
	10	2,65	72,35	18,087	96,46
	15	2,55	72,45	18,112	96,60
	20	2,45	72,55	18,137	96,73
	30	2,54	72,46	18,115	96,61
	60	2,51	72,49	18,122	96,65
	90	2,50	72,50	18,125	96,66
	120	2,48	72,52	18,130	96,69
45 mg/L	1	2,85	72,15	18,037	96,20
	5	2,76	72,24	18,060	96,32
	10	2,81	72,19	18,047	96,25
	15	2,60	72,40	18,100	96,53
	20	2,51	72,49	18,122	96,65
	30	2,54	72,46	18,115	96,61
	60	2,41	72,59	18,147	96,78
	90	2,30	72,70	18,175	96,93
	120	2,25	72,75	18,187	97,00
65 mg/L	1	2,47	72,53	18,132	96,70
	5	2,30	72,70	18,175	96,93
	10	2,17	72,83	18,207	97,10
	15	2,22	72,78	18,195	97,04
	20	2,21	72,79	18,197	97,05
	30	1,83	73,17	18,292	97,56
	60	1,96	73,04	18,260	97,38
	90	1,80	73,20	18,300	97,60
	120	1,70	73,30	18,325	97,73



Şekil 4.1 Polen üzerine BCB-ALD adsorpsiyon konsantrasyonu ($T=25^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=6,46$, $W/V=0,02\text{g}$)

Çizelge 4.1.de BCB-ALD için elde edilen verilere göre 75, 50 ve 25mg/L'lik konsantrasyonlarda 30 dakikada $22,02 \text{ mg.g}^{-1}$, $44,74 \text{ mg.g}^{-1}$ ve $66,50 \text{ mg.g}^{-1}$ 120 dk için ise 25 mg.g^{-1} , $22,65 \text{ mg.g}^{-1}$ ve 50 mg.g^{-1} , $47,03 \text{ mg.g}^{-1}$ olarak belirlendi. Düşük konsantrasyonlarda adsorpsiyon aynı özellikler göstermiştir. Düşük sürelerde yüksek giderim sonucu dengeye gelmektedir. Bu noktadan sonra adsorplanan madde miktarında farklılık olmamaktadır.

4.2 Adsorpsiyona Sıcaklık Etkisi

Sıcaklığın adsorpsiyona etkisi 35, 45 ve 65°C 'de yapılan deneysel çalışmalar ile gerçekleştirilmiştir. BCB-ALD ve AB-25'in polen tarafından adsorpsiyonu üzerine yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen C_e , C_{ads} , q_e ve % Ads değerleri çizelge 4.7. ve 4.8. de listelenmiştir.

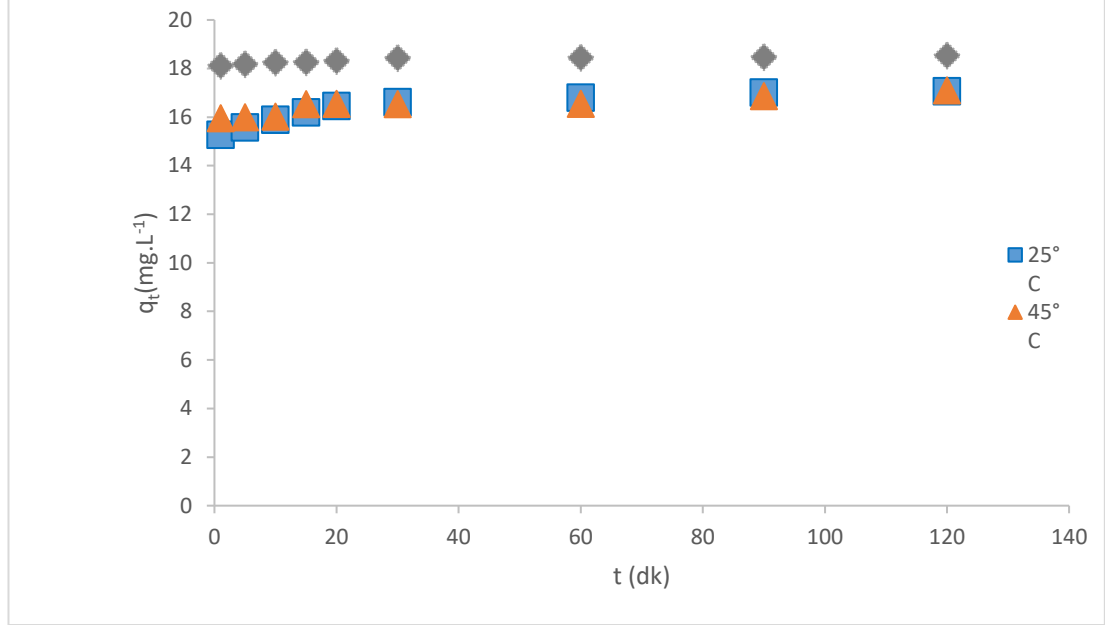
Çizelge 4.7 Değişik sıcaklıklarda BCB-ALD nin polen adsorpsiyon değerleri
(pH:6.46, C₀:75 mg/L WV/V:0,02 g)

T(°C)	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe (mg/g)	% Ads
25°C	1	13,90	61,0	15.27	81.33
	5	12,72	62,28	15.57	83.04
	10	11,41	63,59	15.89	84.78
	15	10,22	64,78	16.19	86.37
	20	9,20	65,80	16.45	87.73
	30	8,50	66,50	16.62	88.66
	60	7,79	67,21	16.80	89.61
	90	6,93	68,07	17.01	90.76
	120	6,74	68,26	17.06	91.01
45°C	1	11,18	63,82	15.95	85.09
	5	11,02	63,98	15.99	85.30
	10	10,92	64,08	16.02	85.44
	15	8,88	66,12	16.53	88.16
	20	8,80	66,2	16.55	88.26
	30	8,84	66,12	16.54	88.16
	60	8,79	66,21	16.55	88.28
	90	7,50	67,50	16.87	90.0
	120	6,60	68,40	17.10	91.20
65°C	1	7,54	72,46	18.11	96.61
	5	7,26	72,74	18.18	96.98
	10	6,98	73,02	18.25	97.36
	15	6,93	73,07	18.26	97.42
	20	6,70	73,30	18.32	97.73
	30	6,25	73,75	18.43	98.33
	60	6,20	73,80	18.45	98.40
	90	6,11	73,89	18.47	98.52
	120	5,83	74,17	18.54	99.89

Çizelge 4.8 Değişik sıcaklıklarda AB-25'in polen adsorpsiyon değerleri (pH:6.64, C₀:75 mg/L WV/V:0,02 g)

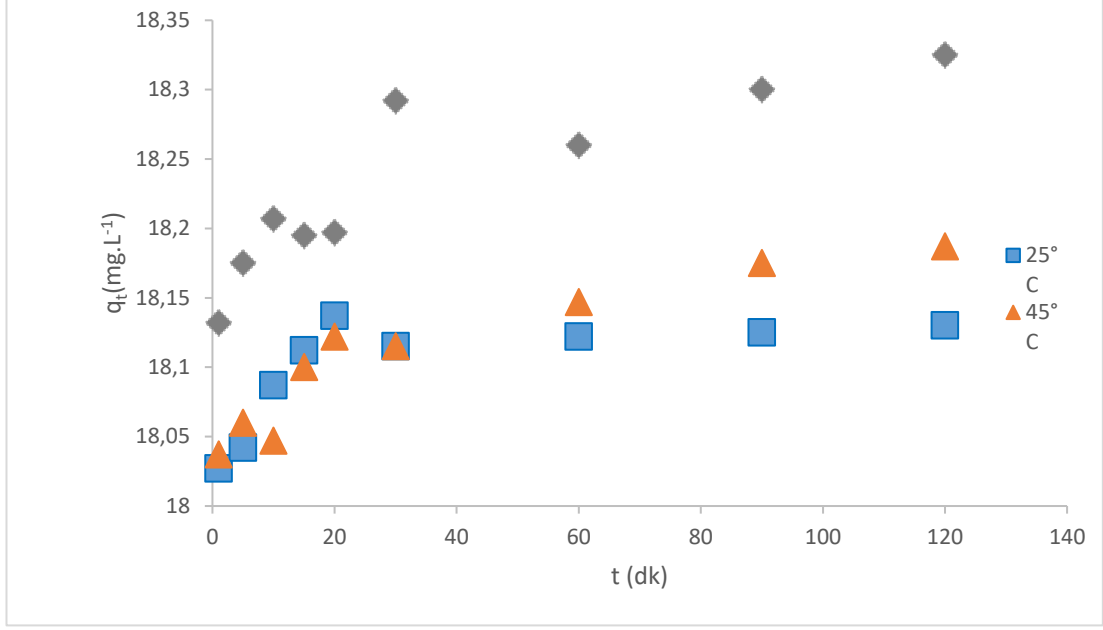
T(°C)	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe(mg/g)	%Ads
25°C	1	2,89	72,11	18,027	96,14
	5	2,83	72,17	18,042	96,22
	10	2,65	72,35	18,087	96,46
	15	2,55	72,45	18,112	96,60
	20	2,45	72,55	18,137	96,73
	30	2,54	72,46	18,115	96,61
	60	2,51	72,49	18,122	96,65
	90	2,50	72,50	18,125	96,66
	120	2,48	72,52	18,130	96,69
45°C	1	2,85	72,15	18,037	96,20
	5	2,76	72,24	18,060	96,32
	10	2,81	72,19	18,047	96,25
	15	2,60	72,40	18,100	96,53
	20	2,51	72,49	18,122	96,65
	30	2,54	72,46	18,115	96,61
	60	2,41	72,59	18,147	96,78
	90	2,30	72,70	18,175	96,93
	120	2,25	72,75	18,187	97,00
65°C	1	2,47	72,53	18,132	96,70
	5	2,30	72,70	18,175	96,93
	10	2,17	72,83	18,207	97,10
	15	2,22	72,78	18,195	97,04
	20	2,21	72,79	18,197	97,05
	30	1,83	73,17	18,292	97,56
	60	1,96	73,04	18,260	97,38
	90	1,80	73,20	18,300	97,60
	120	1,70	73,30	18,325	97,73

Çizelge 4.7 ve 4.8 değerler dikkate alınarak adsorbentin gram başına adsorplanan BCB-ALD nin miktarının zamanın bir fonksiyonu olarak sıcaklık ile değişimi şekil 4.2. de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Polen üzerine BCB-ALD nin adsorpsiyon sıcaklığın etkisi (pH:6,46, C₀:75 mg/L, W/V:0,02 g)

BCB-ALD'nin polen tarafından adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini göstermektedir. Burada ilk dakikadan itibaren yüksek oranda adsorpsiyon gözlemlenmiş ve maksimum düzeye ulaşmıştır. Maksimum adsorpsiyon 90. Dakikada 17.01 mg/g (%90,76), 25° ve 45° C de 120 dakikada 17.10 mg/g (%91,20) 65° de 120 dk da 18.54 mg/g (%98.99) olarak belirlenmiştir. Sıcaklıklara göre adsorplanan miktarlar birbirine yakın olduğundan dolayı sıcaklığın etkisi azdır. Artan sıcaklık ile adsorpsiyon kapasitesindeki artış adsorpsiyon olayının endotermik olduğuna işaretir. Benzer bir çalışmada mürekkep balığı kılçık tozlarının reaktif kırmızı 198 boyasının adsorpsiyon kinetiği ve denge çalışmalarında görülmüştür (Porter et al., 1999).



Şekil 4.3 Polen yüzeyine BCB-ALD'nin adsorpsiyon sıcaklık etkisi (pH:6,46, C₀:75 mg/L, W/V:0,02 g)

Şekil 4.3.te AB-25'in polen tarafından adsorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisini göstermektedir. Maksimum adsorpsiyon 90. Dakikada 18.125 mg/g(%96.66), 25° ve 45° de 120 dakikada 18.187 mg/g (%97), 65° de 120. dk da 18.325 mg/g (%97.73) olarak bulunmuştur.

4.3 pH

Yalnızca adsorbanın özelliklerini değiştiren değil aynı zamanda çözültideki polen yüzey yapımını da etkileyen hem fiziksel hem de kimyasal olarak değiştirebilen önemli bir parametredir. Bu faktör, adsorban numunelerinin 5 ila 9 arasındaki farklı pH'larda düzelterek optimum pH değerini belirlemek için yapılmıştır. pH miktarının 5 den 9 a yükseltilmesi adsorpsiyon yüzdesinin artmasıyla sonuçlanmıştır.

4.4 Adsorpsiyona pH'ın Etkisi

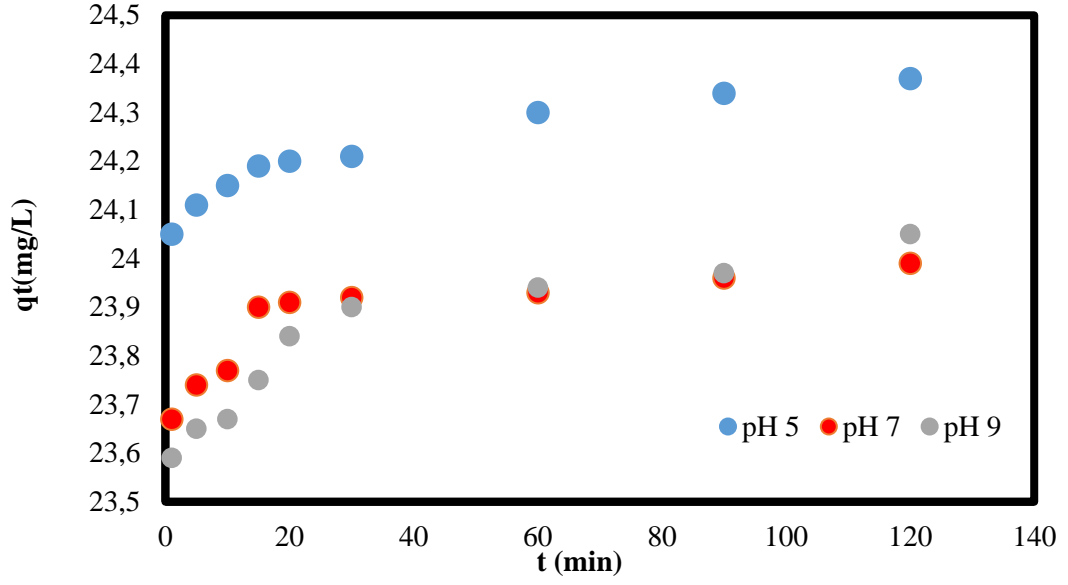
Boyar madde çözültülerinin pH'ları adsorbent ve boyar maddenin kimyasal davranışını etkiler. Bu nedenle adsorplanan boya miktarındaki değişimlere neden olur. Yapılan deneysel çalışmada, BCB-ALD ve AB-25 boyar maddelerinin adsorpsiyonu üzerine pH'ın etkisi 5,7 ve 9 olmak üzere 3 farklı pH da gerçekleştirilmiştir. pH'ın etkisi incelendiğinde deneylere ait bulgular çizelge 4.9 da gösterilmiştir. C_e(mg/L), C_{ads}(mg/L), q_e(mg/g) ve %Ads değerleri listelenmiştir.

Çizelge 4.9 Farklı pH larda BCB-ALD'in polen adsorpsiyon (C₀:50 mg/L, T:25°C)

pH	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe (mg/g)	% Ads
5	1	1,90	48,10	24,05	96,20
	5	1,78	48,22	24,11	96,44
	10	1,70	48,30	24,15	96,60
	15	1,62	48,38	24,19	96,76
	20	1,59	48,41	24,20	96,82
	30	1,58	48,42	24,21	96,84
	60	1,40	48,60	24,30	97,20
	90	1,31	48,69	24,34	97,38
	120	1,25	48,75	24,37	97,50
7	1	2,65	47,35	23,67	94,70
	5	2,52	47,48	23,74	94,96
	10	2,45	47,55	23,77	95,10
	15	2,20	47,80	23,90	95,60
	20	2,18	47,82	23,91	96,64
	30	2,16	47,84	23,92	95,68
	60	2,13	47,87	23,93	95,74
	90	2,07	47,93	23,96	95,86
	120	2,01	47,99	23,99	95,98
9	1	2,82	47,18	23,59	94,36
	5	2,70	47,30	23,65	94,60
	10	2,65	47,35	23,67	94,70
	15	2,50	47,50	23,75	95,00
	20	2,31	47,69	23,84	95,38
	30	2,20	47,80	23,90	95,60
	60	2,12	47,88	23,94	95,76
	90	2,05	47,95	23,97	95,90
	120	1,90	48,10	24,05	96,20

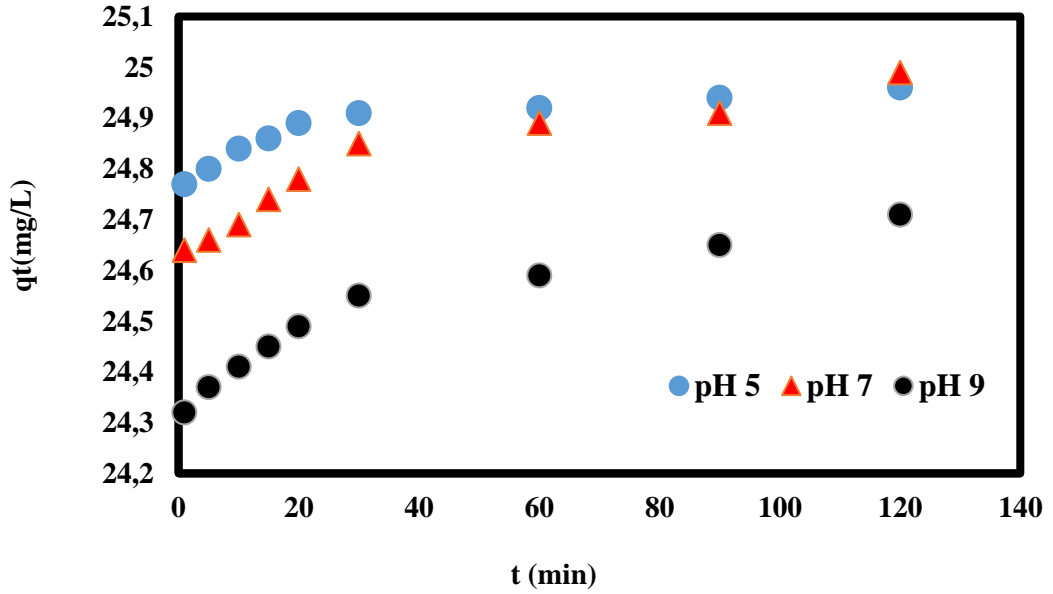
Çizelge 4.10 Farklı pH'larda BCB-ALD'nin polen değerleri (C₀:50 mg/L, T:25°C)

pH	t(dk)	Ce(mg/L)	Cads	qe (mg/g)	% Ads
5	1	0,45	49,55	24,77	99,10
	5	0,40	46,60	24,80	99,20
	10	0,32	49,68	24,84	99,36
	15	0,25	49,72	24,86	99,44
	20	0,21	49,79	24,89	99,58
	30	0,18	49,82	24,91	99,64
	60	0,15	49,85	24,92	99,70
	90	0,11	49,89	24,94	99,78
	120	0,07	49,93	24,96	99,86
7	1	0,71	49,29	24,64	98,58
	5	0,68	49,32	24,66	98,64
	10	0,61	49,39	24,69	98,78
	15	0,52	49,48	24,74	98,96
	20	0,44	49,56	24,78	99,12
	30	0,30	49,70	24,85	99,40
	60	0,22	49,78	24,89	99,56
	90	0,18	49,82	24,91	99,64
	120	0,10	49,99	24,99	99,80
9	1	1,36	48,64	24,32	97,28
	5	1,25	48,75	24,37	97,50
	10	1,18	48,82	24,41	97,64
	15	1,10	48,90	24,45	97,80
	20	1,02	48,98	24,49	97,96
	30	0,90	49,10	24,55	98,20
	60	0,82	49,18	24,59	98,36
	90	0,70	49,30	24,65	98,60
	120	0,58	49,942	24,71	98,84



Şekil 4.4 pH'ın BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon etkisi (C_0 :50mg/L, T :25°C)

Şekil 4.4. BCB-ALD nin polen tarafından adsorpsiyonu üzerine pH'nın etkisini göstermektedir. pH 5, 7 ve 9'da birinci dakikada en düşük adsorpsiyon sırasıyla 48.1 mg/L, 47.35 mg/L ve 47.18 mg/L'dir. Maximum adsorpsiyon ise 120 dakikada pH 5,7 ve 9 için 48,75 mg/L, 47,99 mg/L ve 4810 mg/L olarak belirlendi.



Şekil 4.5 pH'ın AB-25'in polen adsorpsiyon etkisi (C_0 :50mg/L, T :25°C)

Şekil 4.5 AB-25 in polen tarafından adsorpsiyonu üzerine pH'ın etkisini göstermektedir. pH 5, 7 ve 9 da 1.dk daki maksimum adsorpsiyon sırası ile 49.55 mg/L, 49.29mg/L ve 48.65 mg/L dir. 120 dakikadaki maksimum adsorpsiyon pH 5, 7 ve 9 da sırasıyla 49.93 mg/L, 49.99mg/L ve 49.42 mg/L dir. En düşük adsorpsiyonun H⁺ iyonlarının katyonik karakterli olduğunu belirtir. pH arttığında, negatif yüklü olan polen yüzeyi elektrostatik etkileşimin artışı ile adsorpsiyonda da artışa neden olduğunu söyleyebiliriz.

4.5 İzoterm İncelemesi

BCB-ALD ve Acid-Blue 25 in polen tarafından adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklardaki izoterm incelemeleri yapılmıştır.

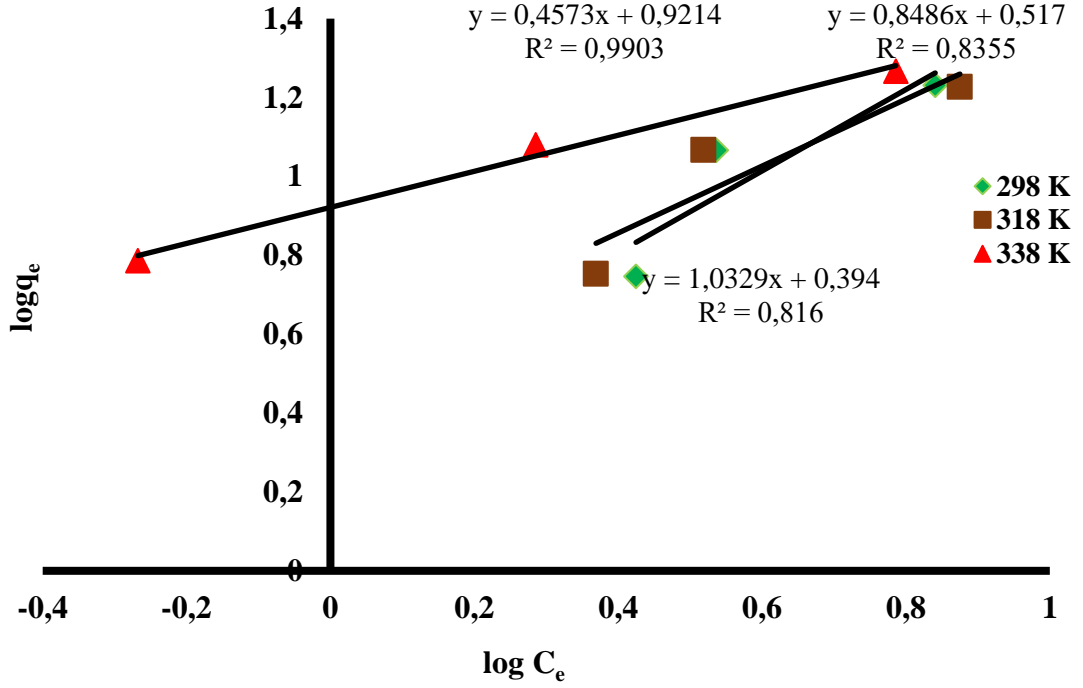
4.5.1 Freundlich Adsorpsiyon İzotermi

Polen üzerine BCB-ALD ve Acid Blue-25 in adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklardaki deneysel veriler çizelge 4.11. ve çizelge 4.12. de verilmiştir. Freundlich izotermi ise şekil 4.6. ve şekil 4.7. de verilmiştir.

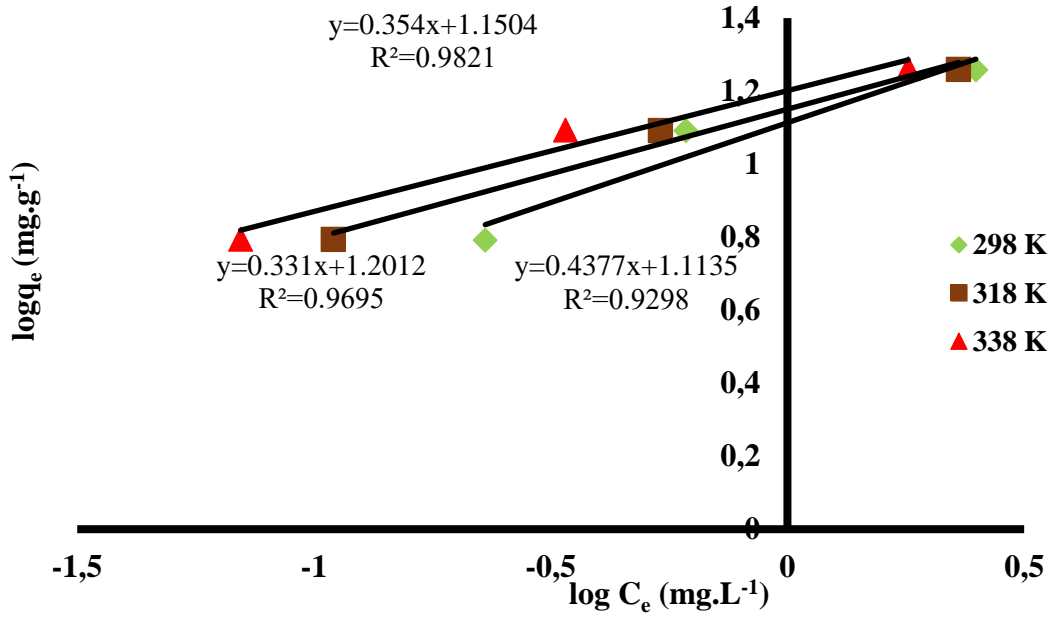
Çizelge 4.11 Farklı sıcaklıklarda BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon değerleri (pH:6.46, W/V:0.02g)

T(°C)	ppm	Ce(mg/L)	logCe	qe (mg/g)	log qe
25°C	25	2,66	0,4248	5,58	0,7466
	50	3,44	0,5365	11,64	1,0659
	75	6,93	0,8407	17,01	1,2307
45°C	25	2,34	0,3692	5,66	0,7528
	50	3,20	0,5185	11,67	1,0670
	75	7,50	0,8750	16,87	1,2271
65°C	25	0,54	-0,2676	6,11	0,7860
	50	1,93	0,2855	12,01	1,0795
	75	0,11	0,7860	18,47	1,2664

Polen üzerine BCB-ALD ve Acid Blue 25 in adsorpsiyonunda farklı sıcaklıklarda çizilen Freundlich izotermi şekil 4.6. ve şekil 4.7. de verilmiştir. İki boyar maddeye ait Freundlich sabitleri ve n değerleri ile çizilen doğruların korelasyon değerleri çizelgede verilmiştir.



Şekil 4.6 BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon Freundlich izotermi (pH:6.64, W/V:0.2 g)



Şekil 4.7 AB-25'in polen adsorpsiyon Freundlich İzotermi (pH:6.64, W/V:0.2 g)p

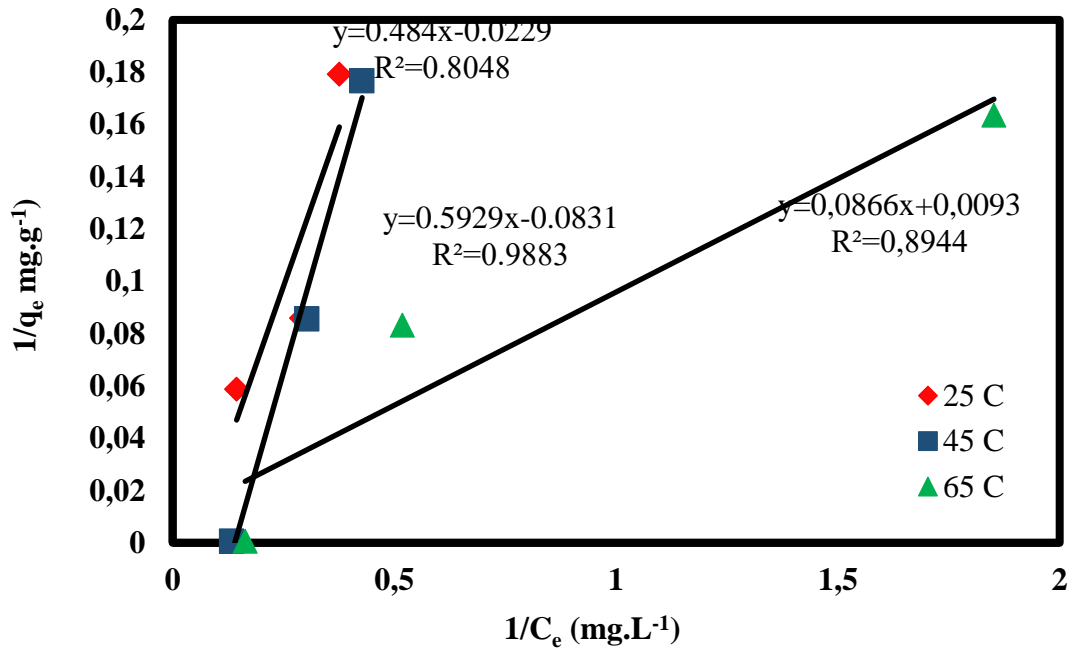
Çizelge 4.12 Farklı sıcaklıklarda BCB-ALD'nin ve Asit Blue 25'in polen adsorpsiyon Freundlich izoterm sabitleri

	Brillant Crystal Blue ALD			Acid Blue-25		
	T(K)	K _F (mg/g)	n	T(K)	K _F (mg/g)	n
T(K)	298	318	338	298	318	338
K _F (mg/g)	2.47	3.28	8.34	0.046	0.061	0.071
n	0.96	1.17	2.18	2.30	2.80	3.02
R ²	0.816	0.8355	0.9903	0.9298	0.9822	0.9695

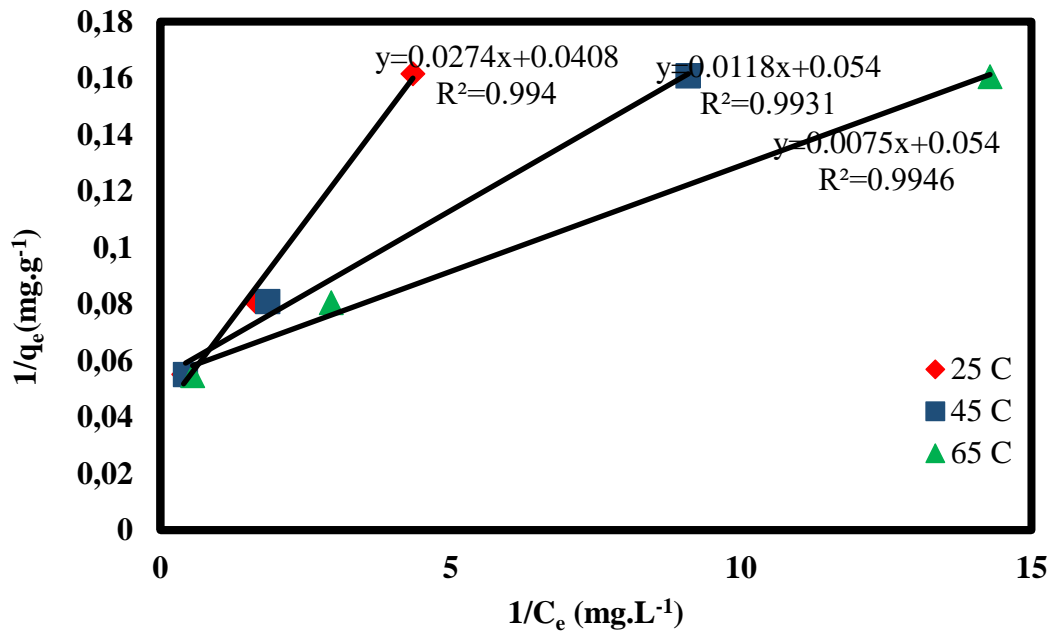
Freundlich izotermine uygunluk durumu korelasyon kat sayısı R² sonuçlarına göre değerlendirildi. Korelasyon kat sayısı 1'e yaklaştığında uygunluğun arttığı bilinir. n değerinin 1'den büyük olması polen tarafından dikkate alındığında korelasyon değerlerinin uyduğu görülmektedir. Brillant Crystel Blue ve ALD için korelasyon sayısına göre 339K da uyumlu olduğu belirlenmiştir. Freundlich grafiğinin 4. bölgede çıkmasının nedeni adsorpsiyonun düşük konsantrasyonda gerçekleştiğinin belirtisidir. Konsantrasyon ile adsorbe edilen madde miktarının artışı daha yüksek konsantrasyonlarda belirgin hale geldiği görülmüştür. Benzer bir çalışmada Tamara ve arkadaşlarının rezene tohumu kullanarak atık sularından kristal menekşe ve metilen mavisinin adsorpsiyonudur. Adsorpsiyon heterojen bölgelerde gerçekleşmiştir (Vinod ve Anirvdhan, 2003).

4.5.2 Langmuir İzotermi

Polen üzerine BCB-ALD ve AB-25 boyar maddelerinin pH'ları değiştirilmeden farklı sıcaklıklarda çizilen Langmuir izotermi Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon Langmuir modeli



Şekil 4.9 AB-25'in polen adsorpsiyon Langmuir modeli

Farklı sıcaklıklarda her iki boyar maddeye ait Langmuir parametreleri q_m ve b değerleri ile çizilen doğruların korelasyon değerleri çizelge 4.13 de sunulmuştur.

Çizelge 4.13 Değişik sıcaklıklarda BCB-ALD'nin ve Asit Blue 25'in polen adsorpsiyon Langmuir verileri

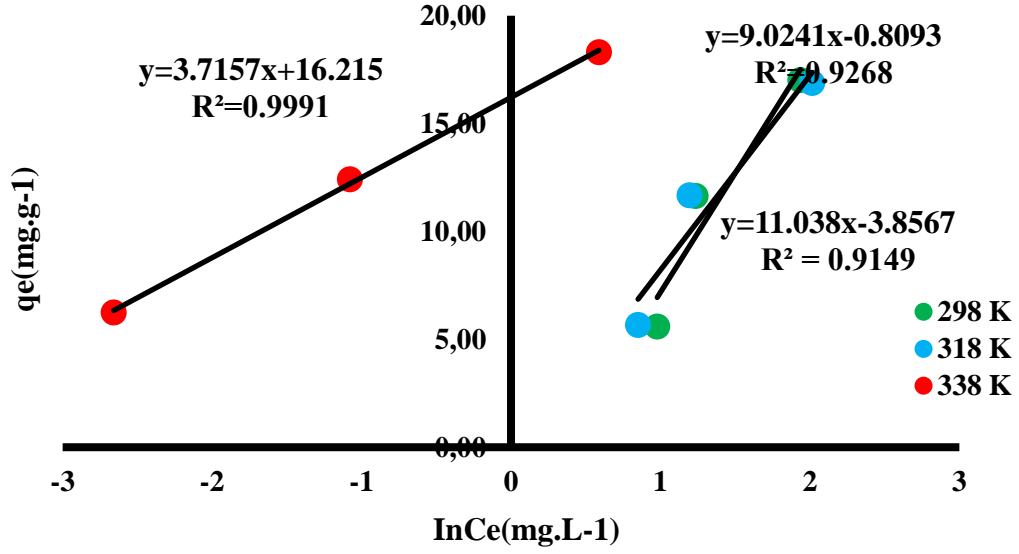
SICAKLIK	BCB-ALD			AB-25		
	25°C	45°C	65°C	25°C	45°C	65°C
q_m	21,27	7,57	9,34	36,49	84,74	133
b	2,06	1,74	1,54	0,671	0,218	0,138
R₂	0,019	0,052	0,042	0,056	0,1545	0,223
R²	0,8048	0,9839	0,8944	0,994	0,9931	0,9946

Çizelge 4.13'te görüldüğü gibi AB-25 için farklı sıcaklıklardaki korelasyon değerleri 0>99 olduğundan dolayı adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeline uyduğu söylenebilir. BCB-ALD için ise 318 K uyumlu olduğu görülmüştür. Buna göre, AB-25 için adsorpsiyonun polen üzerindeki spesifik homojen bölgelerde gerçekleştiğini söyleyebiliriz. BCB-ALD için ise kısmen gerçekleşmiştir. Ayrıca boyar maddeler polen yüzeyine tek tabaka halinde örtülmüştür.

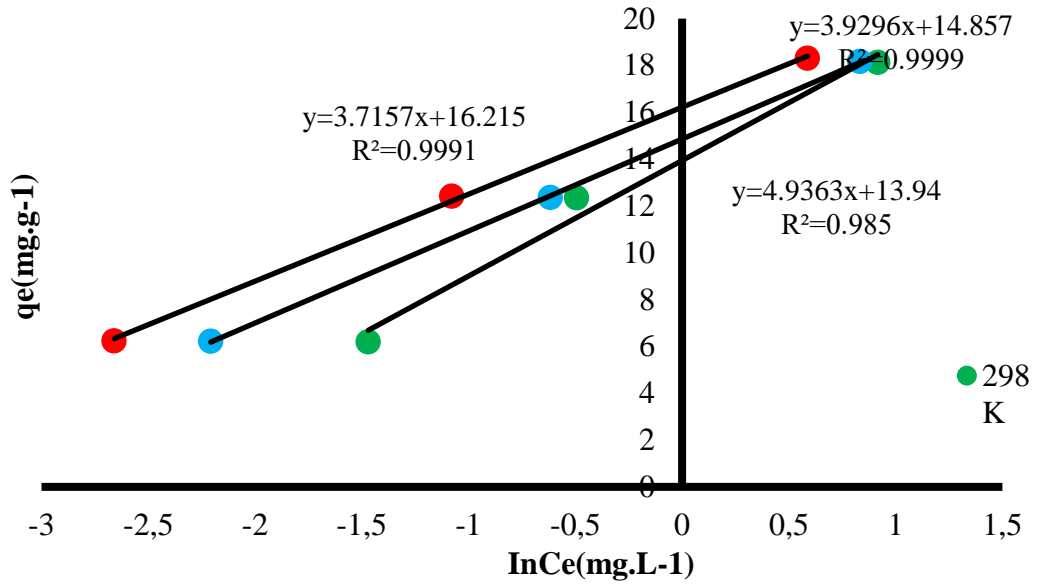
Langmuir adsorpsiyon kapasitesini ifade eden q_m BCB-ALD için 25°C'de 21,27mg/g, 45°C'de 7.57, 65 °C'de 9,34 mg/g olarak; AB-25 için 25°C'de 36.49 mg/g, 45°C'de 84.74 mg/g, 65 °C'de 133 mg/g olarak hesaplanmıştır. Adsorpsiyon enerjisini ifade eden b değerleri BCB-ALD için 25°C'de 2.06 L/mg, 45 °C'de 1.74 L/mg, 65 °C'de 1.54 L/mg olarak; AB-25 için 25°C'de ve 65 °C'de 0.671 L/mg, 45 °C'de 0.218 L/mg olarak bulunmuştur. Diğer taraftan bulunan bütün R_L değerleri 0 ile 1 arasındadır. Her iki boyar madde için adsorpsiyonun uyumlu bir şekilde gerçekleştiğini göstermiştir.

4.5.3 Temkin İzotermi

BCB-ALD ve AB-25'in polen tarafından adsorpsiyon verilerine göre uygulanması sonucu elde edilen veriler Şekil 4.10. ve Şekil 4.11 da verilmiştir.



Şekil 4.10 BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon Temkin izotermi



Şekil 4.11 AB-25'in polen adsorpsiyon Temkin izotermi

Her iki boyar madde için Temkin izoterm denge bağlama sabiti A_T ve adsorpsiyon ısısı olarak bilinen $B=RT/b_T$ değerleri ile korelasyon değerleri Çizelge 4.14. te sunulmuştur (Hussein ve ark., 2019).

Çizelge 4.14 Farklı sıcaklıklarda BCB-ALD'nin ve Asit Blue 25'in polen adsorpsiyon Temkin sabitleri

SICAKLIK	BCB-ALD			AB-25		
	25°C	45°C	65°C	25°C	45°C	65°C
T(K)	298	318	338	298	318	338
A _T	0,705	0,914	1,472	1,035	1,330	1,473
b _T	224	292	756	501	672	756
R ²	0,9149	0,9268	0,9991	0,9849	0,9999	0,9991

BCB-ALD ve AB-25 için üç sıcaklıkta da Temkine uyumlu olduğu belirlendi. Buna göre her iki boyar madde için tabakadaki tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısının adsorbent ve adsorbat etkileşimlerinden dolayı yüzey kaplandıkça lineer olarak azaldığını söyleyebiliriz.

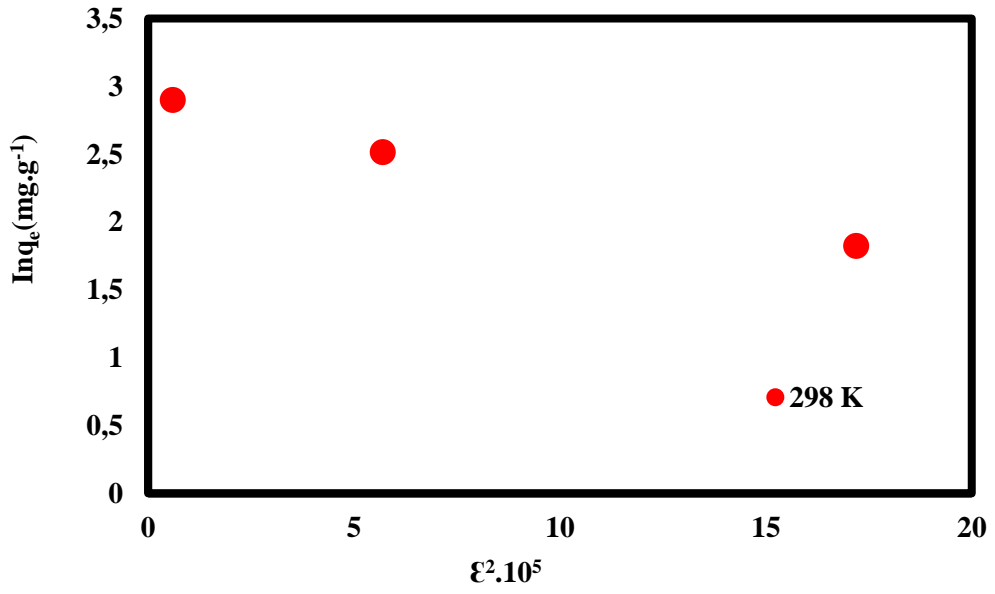
4.5.4 Dubinin-Radushkovich İzotermi

D-R adsorpsiyon izoterminden elde edilen adsorpsiyon enerjisinin BCB-ALD için adsorpsiyon enerjisi (E) 2,07 kg/mol (298K), 1,41 kg/mol (318K) ve 1,42 kg/mol (338K) aralığında değiştiği görülmektedir. AB-25 için adsorpsiyon enerjisi (E) 3,46 kg/mol (298K), 2,44 kg/mol (318K) ve 2 kg/mol (338K) dur. Bu değerlerin 8 kg/mol'den küçük olması adsorpsiyonun fiziksel etkileşimler ile ilgili olduğunu göstermektedir.

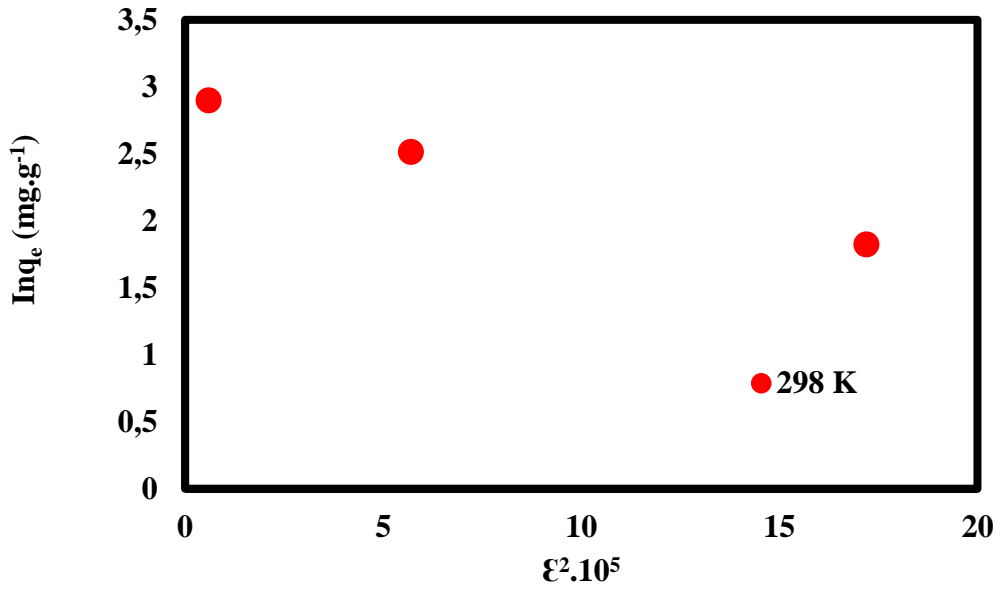
Çizelge 4.15 BCB-ALD ve Asit Blue 25 için D-R sabitleri

BCB-ALD				
T(K)	K _{ad} (kg/mol)	q _e (mg/g)	E (kg/mol)	R ²
298	2,15	2,83	2,07	0,9436
318	1,006	2,45	1,41	0,9998
338	1,007	2,48	1,42	0,9309

B-25				
T(K)	K _{ad} (kg/mol)	q _e (mg/g)	E (kg/mol)	R ²
298	0,028	1,82	3,46	0,9969
318	3,008	12,36	2,44	0,9654
338	2,1	18,3	2	0,9436



Şekil 4.12 BCB-ALD için D-R izotermi



Şekil 4.13 AB-25 için D-R izotermi

4.6 Adsorpsiyon Kinetik Modelleri

Söğüt ağacı poleni üzerine BCB-ALD ve AB-25 in adsorpsiyonunun kinetiği yalancı birinci derecen, yalancı ikinci dereceden ve partikül içi difüzyon modellerine göre incelendi.

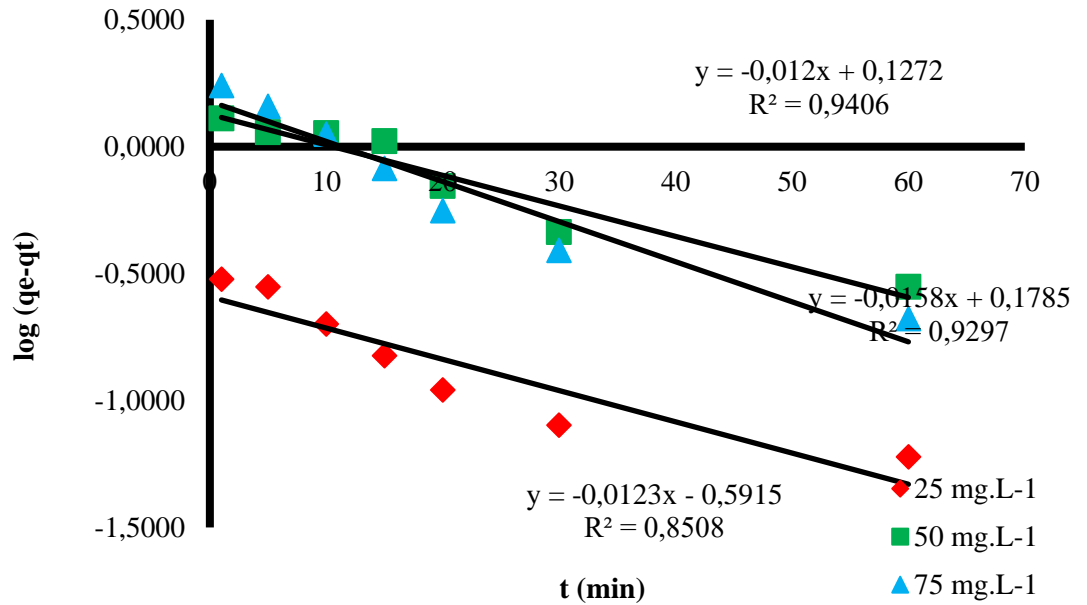
4.6.1 Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Modelleri

Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD ve AB-25 için elde edilen veriler çizelge 4.16 da verilmiştir. Söğüt ağacı üzerine BCB-ALD ve AB-25 in yalancı birinci dereceden kinetik model grafikleri şekil 4.14 ve şekil 4.15 de gösterildi.

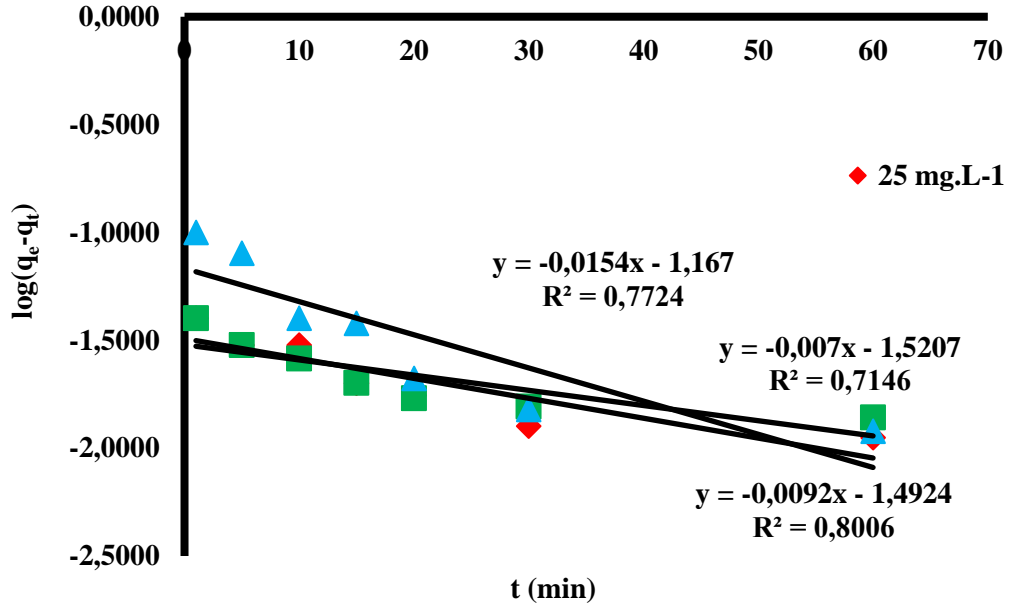
Çizelge 4.16 Farklı sıcaklıklarda BCB-ALD nin ve Asit Blue 25'in polen adsorpsiyon birinci derece değerleri (298K)

	Konsantrasyon (mg/L)	DeneySEL q _e (mg/g)	k ₁ (dk ⁻¹)	Hesaplanan q _e (mg/g)	R ²
BCB- ALD	25	5,58	0,0283	0,256	0,9406
	50	11,64	0,0276	1,340	0,9297
	75	17,01	0,0363	1,500	0,8508
AB-25	25	6,19	0,0211	0,0211	0,9006
	50	12,34	0,0161	0,0301	0,7140
	75	18,12	0,0345	0,0345	0,7724

Korelasyon değerlerinin düşük olması nedeniyle adsorpsiyonun yalancı birinci dereceden kinetik modele uymadığı söylenebilir. Denklemlerden elde edilen q_e değerlerinin deneysel q_e değerleriyle birbirine yakın olması gerekir (Wong and Ariyanto, 2007).



Şekil 4.14 Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin polen adsorpsiyon yalancı birinci dereceden grafiği (T:298K)



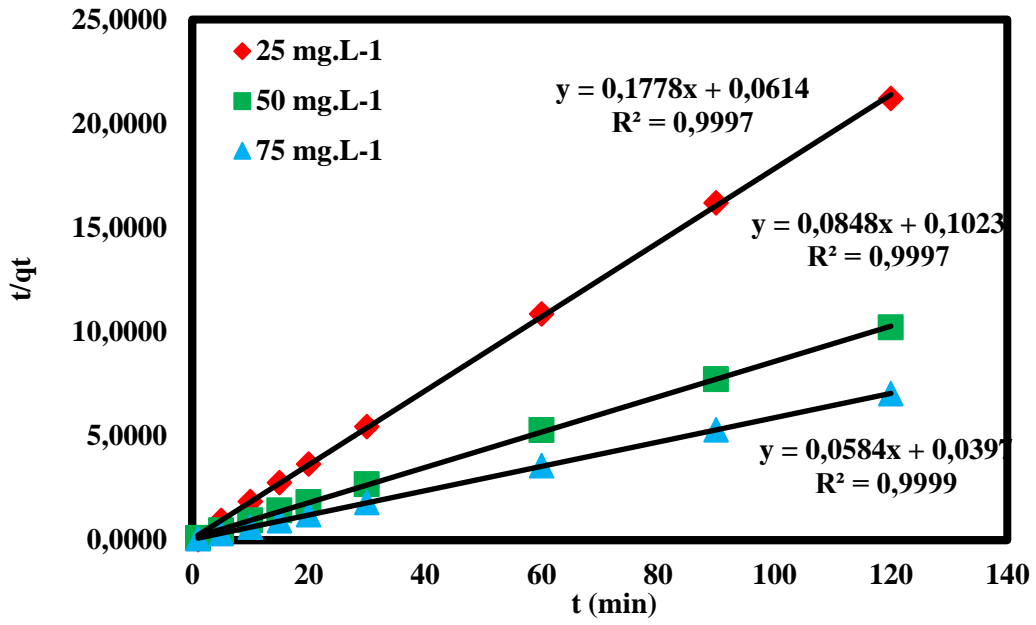
Şekil 4.15 Farklı konsantrasyonlarda AB-25 in polen adsorpsiyon yalancı ikinci derece grafiği (T:298K)

4.6.2 Yalancı İkinci Dereceden (Pseudo Second Order) Kinetik Modeli

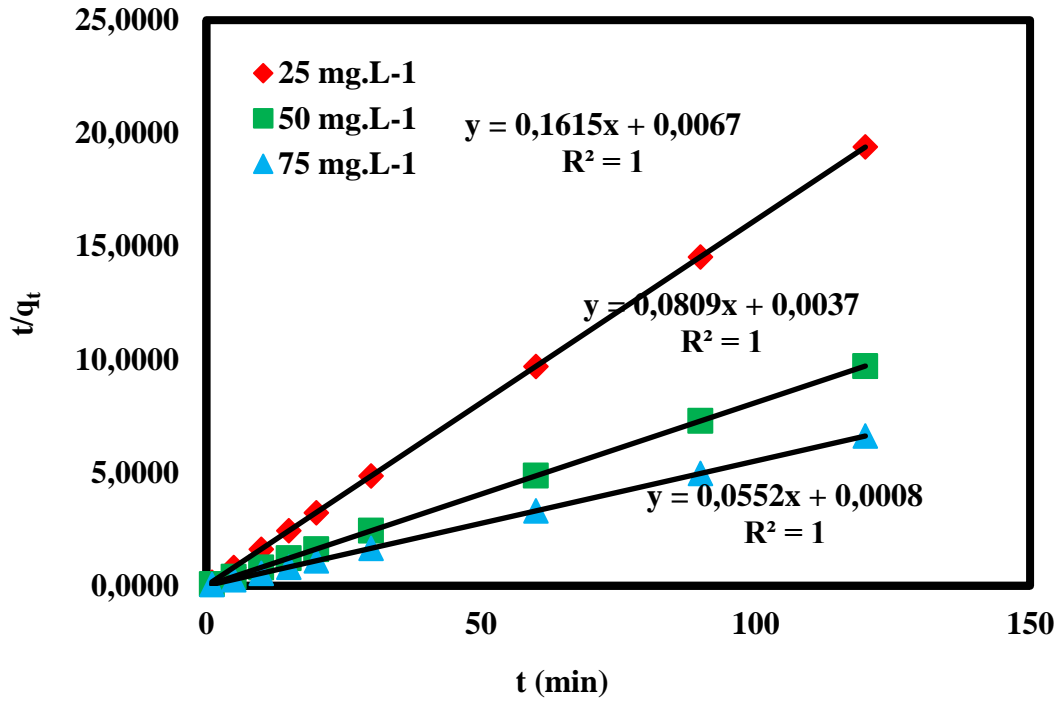
Çizelge 4.17’de, BCB-ALD ve AB-25 için elde edilen kinetik doğruları ve korelasyon değerlerinin ($R^2:0.999-1$) olduğu görülür. Denklemlerden elde edilen q_e değerlerinin deneysel q_e değerleri ile aynı veya yakın olması beklenir. Bulunan değerlerin birbirine uyumlu olması, adsorpsiyonun yalancı ikinci dereceden kinetik modele uyduğu söylenebilir. Bu her iki boyar madde için söğüt ağacı poleni ile kimyasal etkileşmenin olabileceğini gösterir (Demirbaş, 2004).

Çizelge 4.17 Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD nin ve Asit Blue 25’in söğüt ağacı poleni adsorpsiyon yalancı ikinci derece değerleri (298K)

	Konsantrasyon	Deneysel	Hesaplanan	k_1	R^2
		q_e	q_e		
BCB-ALD	25	6,23	5,62	0,5156	0,9997
	50	12,41	12,13	0,0233	0,9952
	75	18,32	17,01	0,0859	0,9999
AB-25	25	6,19	5,92		
	50	12,34	12,36		
	75	18,12	16,89		



Şekil 4.16 Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin söğüt ağacı adsorpsiyon yalancı ikinci derece grafiği(T:298K)



Şekil 4.17 Farklı konsantrasyonlarda AB-25'in söğüt ağacı adsorpsiyonu yalancı birinci derece grafiği (T:298K)

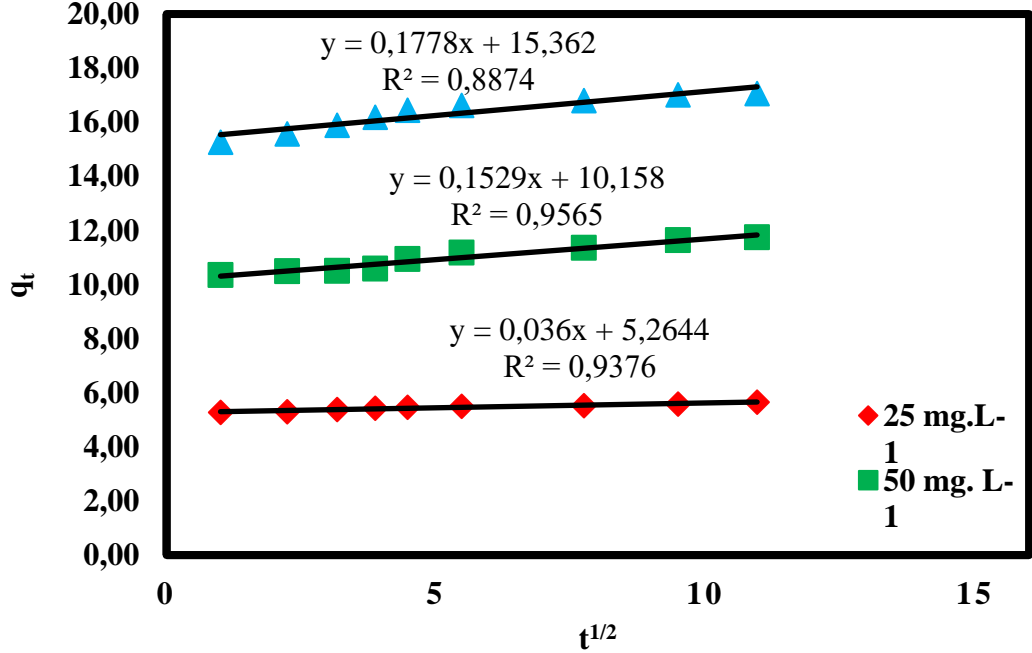
4.6.3 Partikül İçi Difüzyon Modeli

Farklı konsantrasyonlarda BCB-ALD ve AB-25 için elde edilen veriler Çizelge 4.18 verilmiştir. BCB-ALD ve AB-25 için grafikler ile şekil 4.18 ve şekil 4.19 da gösterildi.

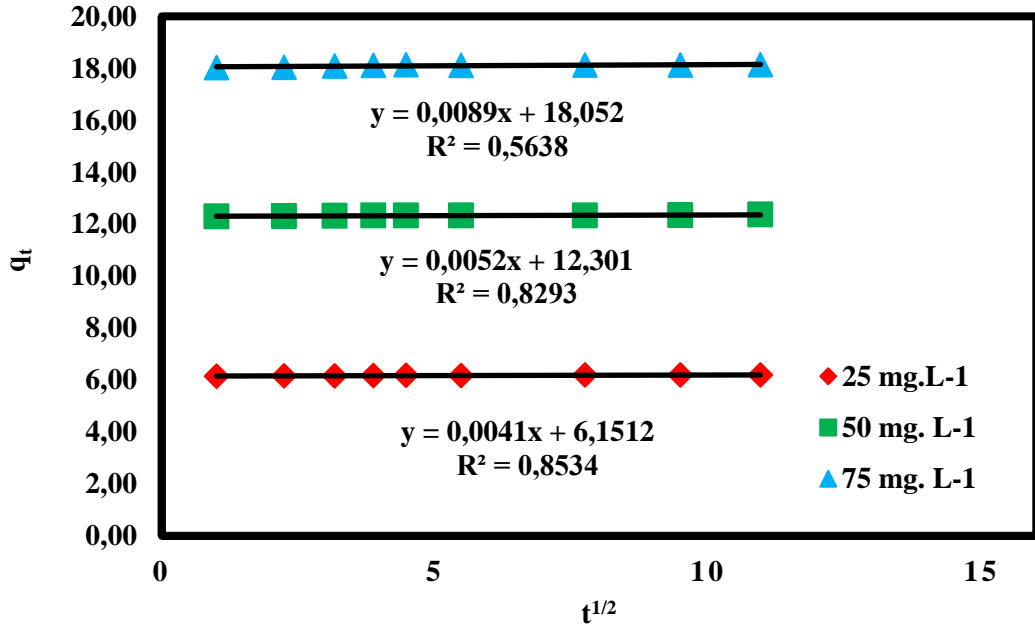
Çizelge 4.18 Değişik konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin ve Asit Blue 25'in söğüt ağacı poleni adsorpsiyon partikül içi difüzyon değerleri (298K)

	Konsantrasyon (mg. L ⁻¹)	k _{ci}	R ²
BCB-ALD	25	0,036	0,9376
	50	0,1529	0,9565
	75	0,1778	0,9974
AB-25	25	0,0041	0,8934
	50	0,0052	0,9293
	75	0,0089	0,5638

Partikül içi modelinde grafiklerden elde edilen hız sabiti değerinin değişim arttıkça arttığı gözlemlenmiştir (Depci ve ark., 2012).



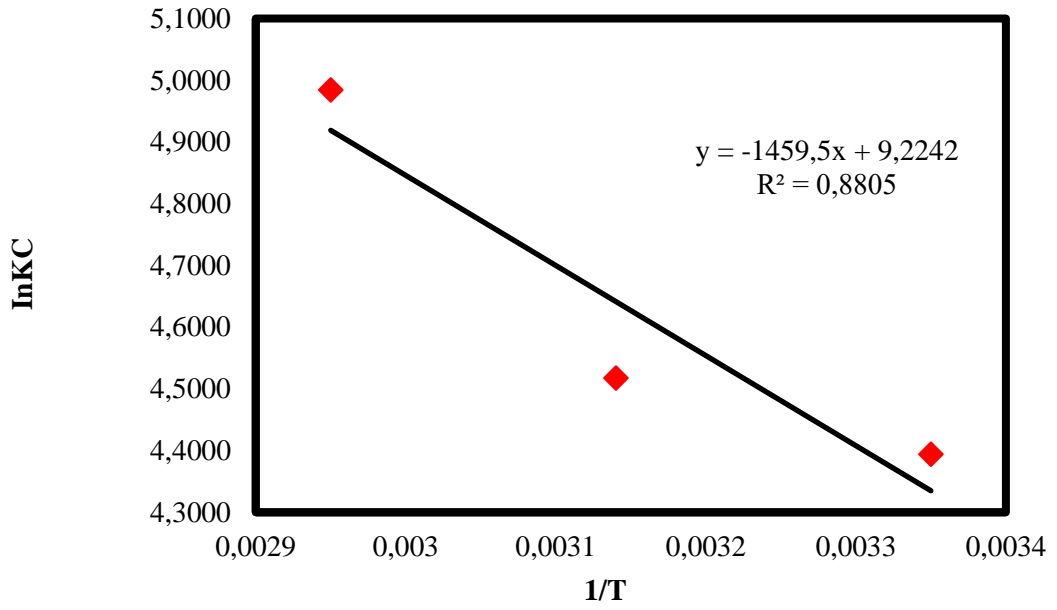
Şekil 4.18 Değişik konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin söğüt ağacı poleni adsorpsiyon partikül içi difüzyon grafiği



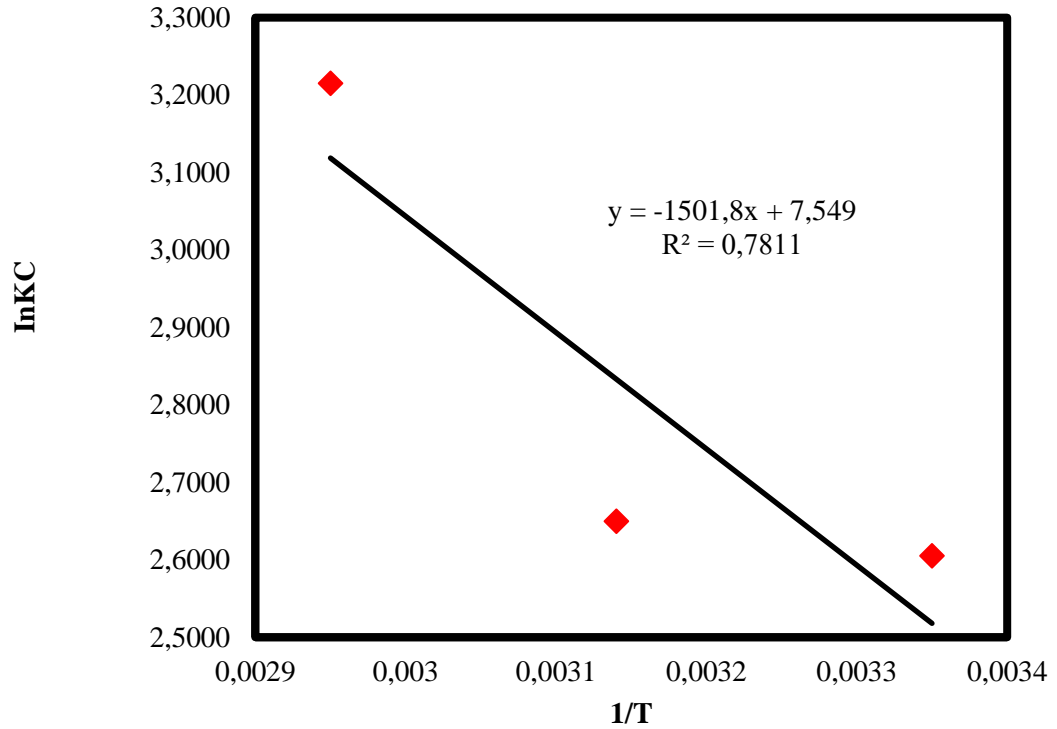
Şekil 4.19 Değişik konsantrasyonlarda AB-25'in söğüt ağacı poleni adsorpsiyon partikül içi difüzyon grafiği

4.7 Adsorpsiyona İlişkin Termodinamik İncelemeler

BCB-ALD ve AB-25 boyar maddelerinin söğüt ağacı üzerine adsorpsiyonunun termodinamik incelemeleri 50 mg/L lik boyar madde konsantrasyonunda ve doğal pH değerlerinde (BCB-ALD pH:6.46, AB-25 için pH:6.64) 25⁰C 45⁰C ve 65⁰C sıcaklıklarında gerçekleşmiştir.



Şekil 4.20 Değişik konsantrasyonlarda BCB-ALD'nin söğüt ağacı poleni adsorpsiyon Clasius Clapeyron grafiği



Şekil 4.21 Değişik konsantrasyonlarda AB-25'in söğüt ağacı poleni adsorpsiyon Clasius Clapeyron grafiği

Çizelge 4.19 BCB-ALD'nin termodinamik değerleri ($C_0:50 \text{ mg. L}^{-1}$, pH:6.46)

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	K_c	$\Delta G^{\circ}(\text{J.mol}^{-1})$	$\Delta H^{\circ}(\text{J.mol}^{-1})$	$\Delta S^{\circ}(\text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1})$
298	13,59	-6454,2		
318	14,15	-7005,1	12130	76,65
338	24,90	-9054,5		

Çizelge 4.20 AB-25'in termodinamik değerleri ($C_0:50 \text{ mg. L}^{-1}$, pH:6.64)

Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	K_c	$\Delta G^{\circ}(\text{J.mol}^{-1})$	$\Delta H^{\circ}(\text{J.mol}^{-1})$	$\Delta S^{\circ}(\text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1})$
298	80,96	-10886		
318	91,59	-11923	12479	62,76
338	146	-13768		

BCB-ALD ve AB-25 boyar maddelerinin standart gibbs serbest enerji değişimi ΔG° değerleri negatif bulundu. Buna göre, her iki boyar madde için söğüt ağacı poleni tarafından adsorplanma işlemlerinin kendiliğinden gerçekleşen proses olduğu söylenir bu durumu BCB-ALD ve AB-25 için artan sıcaklıkla serbest gibbs enerjisinin azaldığını gösterir. BCB-ALD ve AB-25'e ait standart entalpi (ΔH°) ve standart entropi(ΔS°) değerleri pozitif bulunmuştur. Entalpinin pozitif olması adsorpsiyonun endotermik olduğunu gösterir. Pozitif entropi değerleri ise adsorbant yüzeyinde bazı değişimlerin olmasıdır (31,32). Her iki boyar madde için entropinin düşük olması kayda değer değişiminin olmadığını gösterir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, BCB-ALD ve AB-25 boyaalarının polen yüzeyine adsorpsiyonu incelenmiştir. Çözelti konsantrasyonu, temas süresi, pH ve sıcaklık gibi faktörlerin her iki boyarmaddenin sulu ortamda uzaklaştırılması üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Her iki boyanın polen tarafından adsorpsiyonu incelenirken, sıcaklığın adsorpsiyon üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Adsorpsiyon süreci incelendiğinde, her iki boyanın da polen yüzeyinde adsorpsiyonunun başlangıçtan itibaren arttığı ve 90 dakika içinde maksimum seviyeye ulaştığı gözlemlenmiştir.

İzoterm incelemelerine göre, AB-25 için Freundlich izoterm modeline uygun olduğu belirlenmiştir. BCB-ALD için ise Langmuir izoterm modelinin, 318 K'de uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Korelasyon değerleri incelendiğinde, AB-25 için Temkin izotermiyle uyumlu bulunmuş, BCB-ALD için ise kısmen uygun olduğu görülmüştür.

Kinetik çalışmalara göre, BCB-ALD ve AB-25'in polen yüzeyindeki adsorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik modele uygun olduğu belirlenmiştir. Serbest enerji değişimi negatif bulunurken, standart entalpi ve entropi pozitif değerler sergilemiştir.

Sonuç olarak, BCB-ALD ve AB-25 adsorpsiyonunda kullanılan polenin uygun bir adsorban olduğu ve diğer boyarmaddelerin adsorpsiyonunda alternatif adsorban olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Daha düşük konsantrasyonda, adsorpsiyonun daha hızlı dengeye ulaştığı gözlemlenirken, başlangıçtaki boya konsantrasyonunun artmasıyla adsorpsiyonun etkisinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, adsorpsiyon süresinin ve pH değerinin de adsorpsiyon üzerinde belirleyici faktörler olduğu tespit edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Al-Ghouti, M. A., Khraisheh, M. A. M., Allen, S. J. & Ahmad, M. N. (2003). The removal of dyes from textile wastewater: A study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth. *Journal of Environmental Management*, 69(3), 229-238.
- Caliskan, N., Kul, A. R., Alkan, S., Sogut, E. G. & Alacabey, I. (2011). Adsorption of Zinc (II) on diatomite and manganese-oxide-modified diatomite: A kinetic and equilibrium study. *Journal of Hazardous Materials*, 193, 27-36.
- Çiçekçi, A., Dönmez, B., Kavcı, E. & Laçın, Ö. (2020). Malahit yeşilinin şeftali çekirdeği kabuğu üzerine adsorpsiyon izotermi ve termodinamiği. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 103-111.
- Dehvari, M., Mahmoobeh, E., Ehnampoush, M., Hasan Ghaneian, M. & Taghi, M. (2017). Adsorption kinetics and equilibrium studies of reactive red 198 dye by cuttlefish bone powder in Iran. *Chemical Engineering Journal*, 36(2), 143-151.
- Demirbas, A. (2004). Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72(2), 243-248.
- Depci, T., Kul, A. R., Önal, Y., Disli, E., Alkan, S. & Funda, Z. (2012). Adsorption of crystal violet from aqueous solution on activated carbon derived from Gölbaşı lignite. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 48(1), 253-270.
- Hamid, M., Babaeipour, V., Imani, M. & Bahrami, A. (2019). Dissolution and regeneration of the produced nano bacterial cellulose of food industries wastewaters by a cost-benefit method. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 38(3), 9-21.
- Hussem, T. K., Adil, N. & Hasim, H. (2019). Removal of crystal violet and methylene blue from synthetic industrial wastewater using fennel seed as an adsorbent. *Journal of Engineering Science and Technology*, 14(5), 2947-2963.
- Karaca, S., Gürses, A., Açıkyıldız, M. & Ejder, M. (2008). Adsorption of cationic dye from aqueous solutions by activated carbon. *Microporous and Mesoporous Materials*, 115(3), 376-382.
- Khalil, L. B. & Girgis, B. S. (1998). Column removal of some dyestuffs by activated carbons derived from apricot stone shells. *Adsorption Science and Technology*, 16, 405-414.
- Mahmoodabadi, M., Khoshdast, H. & Shojaei, V. (2019). Efficient dye removal from aqueous solutions using rhamnolipid biosurfactants by foam flotation. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, 38(4), 127-140.
- McKay, G. (1981). Design models for adsorption system in wastewater treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 31, 717-772.
- McKay, G. (1982). Adsorption of dyestuffs from aqueous solutions with activated carbon I: Equilibrium and batch contact-time studies. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 32, 759-731.

- Meshko, V., Markovska, L., Mincheva, M. & Rodrigues, A. E. (2001). Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite. *Water Research*, 35, 3357-3366.
- Porter, J. F., McKay, G. & Choy, K. H. (1999). The prediction of sorption from a binary mixture acid dyes using single and mixed isotherm variants of the ideal absorbed solute theory. *Chemical Engineering Science*, 54, 5863-5885.
- Santhi, M. & Kumar, P. E. (2015). Adsorption of rhodamine B from an aqueous solution: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Adsorption*, 4(2), 497-510.
- Saroyan, H., Kyzas, G. Z. & Deliyanni, E. A. (2019). Effective dye degradation by graphene oxide supported manganese oxide. *Processes*, 7(1), 40.
- Sevil, V. & Alyuez, B. (2007). Adsorption of copper and zinc from aqueous solutions by using natural clay. *Journal of Hazardous Materials*, 149(1), 226-233.
- Vinod, V. P. & Anirvdhan, T. S. (2003). Adsorption behaviour of basic dye on the humic acid immobilized pillared clay. *Water Air Soil Pollution*, 150, 193-217.
- Wong, S. & Ariyanto, E. J. (2007). Competitive adsorption of malachite green and Pb ions on natural zeolite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 314(1), 25-31.
- Xue, D., Ting, L., Yanhong, L., Yueheng, Y., Yuxing, Z., Jun, C. & Dongben, G. (2019). Selective adsorption and recovery of precious metal ions from water and metallurgical slag by polymer brush graphene-polyurethane composite. *Reactive and Functional Polymers*, (136), 138-152.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Emel AKKAN
Doğum Yeri	*****
Doğum Tarihi	*****
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	-
E-Posta Adresi	*****
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Bitlis Eren Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	16.06.2015
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Kimya Anabilim Dalı
Bilim Dalı	-
Mezuniyet Tarihi	Devam Ediyor
Yayınlar	
Alkan, S., Karakoc, E., Caliskan, M., Savran, A. and Kubilay, Ş. “Adsorption of textile dyes on willow tree pollen: Determination of equilibrium, kinetics, and thermodynamic”, Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 41(5), 1588-1601, (2022).	