

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

**REACTIVE RED 120'NİN BALKABAĞI (*CUCURBITA
MOSCHATA*) KABUĞU İLE GİDERİMİ**

**Tezi Hazırlayan
Fadime ÇELEKLİ**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Erdoğan ÇİÇEK**

**Biyoloji Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2013
NEVŞEHİR**

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

**REACTIVE RED 120'NİN BALKABAĞI (*CUCURBITA
MOSCHATA*) KABUĞU İLE GİDERİMİ**

**Tezi Hazırlayan
Fadime ÇELEKLİ**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Erdoğan ÇİÇEK**

**Biyoloji Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma Nevşehir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
2010/22 kodlu proje ile desteklenmiştir**

**Ocak 2013
NEVŞEHİR**

Doç. Dr. Erdoğan ÇİÇEK danışmanlığında **Fadime ÇELEKLİ** tarafından hazırlanan "**Reactive Red 120'nin Balkabağı (*Cucurbita moschata*) Kabuğu ile Giderimi**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

11.01.2013

JÜRİ:

Başkan : Doç. Dr. Erdoğan ÇİÇEK

Üye : Doç. Dr. Şahlan ÖZTÜRK

Üye : Yard. Doç. Dr. Özlem FINDIK

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulu'nun 28/01/2013 tarih ve 2013/03-91 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

28/01/2013

Doç. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak da bana çok şey katan Sayın Hocam Doç. Dr. Erdoğan ÇİÇEK'e,

Maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren değerli AİLEME,

Desteklerinden dolayı Yard. Doç. Dr. Zübeyde KUMBIÇAK, Yard. Doç. Dr. Zeliha LEBLEBİCİ ve Sevil BİRECİKLİGİL'e,

Teknik ve idari yardımlarından dolayı Nevşehir Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Fen-Edebiyat Fakültesi Dekanlığı'na, Biyoloji Bölüm Başkanlığı'na ve Nevşehir Üniversitesi BAP Birimi'ne teşekkür ederim.

REACTIVE RED 120'NİN BALKABAĞI (*CUCURBITA MOSCHATA*) KABUĞU İLE GİDERİMİ

Fadime ÇELEKLİ
Nevşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2013
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Erdoğan ÇİÇEK

ÖZET

Bu çalışmada, balkabağı (*Cucurbita moschata*) kabuğu ile Reactive Red (RR) 120'nin adsorpsiyonu üzerine adsorbent parçacık büyüklüğü, adsorbent miktarı, başlangıç pH düzeyi, sıcaklık, boya konsantrasyonu ve etkileşim zamanının etkileri araştırılmıştır. FTIR–ATR spektrum ile adsorbentin doğal ve boya yüklü yapısı karakterize edilmiştir. Balkabağı kabuğunun pH sıfır yük noktası (pHsyn) 6,4 olarak bulunmuştur. Başlangıç boya konsantrasyonunun artması ile adsorbent üzerinde tutulan boya miktarı artmıştır ($p < 0,01$). RR 120'nin balkabağı kabuğu üzerinde maksimum adsorpsiyonu pH 1'de, ulaşılmıştır. Logistik ve pseudo ikinci mertebe kinetik modeller kinetik verilere iyi uyum göstermiştir. Deneysel veriler, Langmuir ve Freundlich izotermi ile değerlendirilmiştir. Korelasyon katsayısı ve hata fonksiyonu değerlerine göre, adsorbent üzerine RR 120 boyasının balkabağı kabuğu üzerinde adsorpsiyonunu tanımlayan en uygun izotermi Freundlich model olmuştur. Sonuçlar, bu adsorbentin çevreye dost bir işlem olarak RR 120'nin uzaklaştırmasında büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Balkabağı Kabuğu, Reactive Red 120, Modelleme.

**TREATMENT OF REACTIVE RED 120 ON PUMPKIN (*CUCURBITA
MOSCHATA*) HUSK**

Fadime ÇELEKLİ

Nevşehir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, January 2013

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erdoğan ÇİÇEK

ABSTRACT

In this study, adsorption of Reactive Red (RR) 120 on pumpkin (*Cucurbita moschata*) husk (PH) was investigated as a function of particle size, adsorbent dose, initial pH level, temperature, initial dye concentration, and contact time. Natural and dye laden adsorbent structures were characterized by FTIR-ATR spectroscopy. Zero point charge (pH_{zpc}) of pumpkin husk was found as pH 6.4. Increasing initial dye concentration caused to increase dye uptake ($p<0.01$) on the adsorbent. Maximum adsorption of RR 120 on pumpkin husk was found to be at pH 1.0. Logistic and pseudo second order kinetic models showed to well fit for experimental kinetic data. Experimental data were analyzed by Langmuir and Freundlich isotherms. According to values of error function and determination of coefficient, Freundlich model was more appropriate isotherm to describe the adsorption of RR 120 on pumpkin husk. Results indicated that this adsorbent had a great potential for removing of RR 120 as an eco-friendly process.

Keywords: Adsorption, Pumpkin husk, Reactive Red 120, Modeling.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	10
3. BÖLÜM	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Adsorbentin Hazırlanması.....	15
3.2. Adsorbentin pH Sıfır Yük Noktasının Belirlenmesi	15
3.3. Adsorbentlerin Karakterizasyonu.....	15
3.4. Boya Çözeltisi	16
3.5. Adsorpsiyon Çalışmaları.....	17
3.6. Boya Miktarı Analizi	17
3.7. Kinetik Modelleme.....	18
3.8. Denge Modelleme	18
3.9. Hata Analizi	19
3.10. İstatistiksel Yöntemler	20
4. BÖLÜM	
BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1. Adsorbentin Karakterizasyonu.....	21
4.2. Parçacık Büyüklüğünün Etkisi.....	23
4.3. Başlangıç pH'sının Etkisi.....	24
4.4. Adsorbent Miktarının Etkisi.....	26
4.5. Sıcaklığın Etkisi	27
4.6. Başlangıç RR 120'nin ve Etkileşim Zamanının Etkisi	28

4.7. RR 120'nin Kinetik Modellemesi	30
4.8. RR 120'nin Denge Modellemesi.....	34
5. BÖLÜM	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	46

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Tekstil boyama endüstrisinde kullanılan başlıca boyalar	4
Tablo 3.1. RR 120'nin genel karakteristik özellikleri.....	16
Tablo 3.2. Kinetik model eşitlikleri	18
Tablo 3.3. Denge model eşitlikleri.....	19
Tablo 4.1. Başlangıç boya konsantrasyonlarında, pseudo ikinci derece kinetik ve Logistik modellerinin parametrelerinin değerleri (parçacık büyüklüğü; 45-63 μm , $m=0,5$ g/l, pH 1 ve $t=90$ dk).....	32
Tablo 4.2. BK ile Reactive Red 120 adsorpsiyonunun denge modellemesi ($C_0=40-240$ mg/l, parçacık büyüklüğü; 45-63 μm , $m=0,5$ g/l, pH 1 ve $t=90$ dk).....	34

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Bal Kabağı Üretilen Tarladan Bir Görünüm.	8
Şekil 3.1. RR 120'nin kimyasal yapısı.	16
Şekil 4.1. BK'nın Adsorpsiyon (a) öncesi ve (b) sonrası FTIR analizi (pH 1)..	22
Şekil 4.2. BK'nın parçacık büyüklüğünün RR 120'nin adsorpsiyonu üzerine etkisi ($C_0=100$ mg/l).	24
Şekil 4.3. BK'nın pH sıfır yük noktasının (pHsyn) belirlenmesi. pH _i ve pH _f sırasıyla çözeltilerin başlangıç ve son pH'sını göstermektedir. ...	25
Şekil 4.4. Başlangıç pH _i düzeyinin BK'nın RR 120'yi adsorpsiyonu üzerine etkisi ($C_0=100$ mg/l).	26
Şekil 4.5. Adsorbent miktarının RR 120'yi adsorpsiyonu üzerine etkisi ($C_0=100$ mg/l, 43-65 µm adsorbent parçacık büyüklüğü ve pH 1). ...	27
Şekil 4.6. Sıcaklığın RR 120'yi adsorpsiyonu üzerine etkisi (43-65 µm adsorbent parçacık büyüklüğü, pH 1 ve 0,5 g/l adsorbent dozu).	28
Şekil 4.7. Başlangıç boya konsantrasyonlarının pH 1'deki BK'nın RR 120'yi tutma kapasitesi üzerine etkisi. Daire sembolü deneysel verileri, çizgiler ise Logistik modelden hesaplan değerleri göstermektedir.	29
Şekil 4.8. BK ile Reactive Red 120 adsorpsiyonunun intra-partikül difüzyon modellemesi.....	33
Şekil 4.9. BK ile Reactive Red 120 adsorpsiyonunun Freundlich modellemesi	36

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

ANOVA	: Varyans analizi
b_0	: Langmuir sabiti (l/g)
C_e	: Dengede çözültide kalan boya konsantrasyonu (mg/l)
C_t	: t zamanda çözültide kalan boya konsantrasyonu (mg/l)
C_0	: Başlangıç boya konsantrasyonu (mg/l)
FTIR	: Frouier Transform Infrared Spectrum
k	: Pseudo ikinci derece kinetik model sabiti (g mg/dak)
K_F	: Freundlich adsorpsiyon kapasitesi [(mg/g) (mg/l) ^{1/n}]
m	: Adsorbent miktarı (g/l)
n	: Freundlich adsorpsiyon yoğunluğu
pH_f	: Son pH düzeyi
pH_{syn}	: pH sıfır yük noktası
pH_i	: Başlangıç pH düzeyi
q_e	: Dengede birim adsorbent kütlesi başına tutulan boya miktarı (mg/g)
q_m	: Adsorbent kütlesi tarafında tutulan maksimum boya miktarı (mg/g)
q_0	: Maksimum boya absorpsiyonu (Langmuir model) (mg/g)
q_t	: t zamanda adsorplanan boya miktarı (mg/g)
R^2	: Korelasyon katsayısı
R_L	: Langmuir modeli, adsorpsiyon işlemi uygunluk sabiti
RR 120	: Reactive Red 120
V	: Adsorbsiyon çözülti hacmi (l)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Biyosferin ekolojik dengesi, dünyada insan nüfusunun artmasına paralel olarak artan çevre kirliliği ve bunlara bağlı küresel iklim değişikliği nedeniyle bozulmaktadır. Dünya ekosisteminde iç sular son derece büyük öneme sahiptir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin doğal kaynakları endüstrinin gelişmesine paralel olarak özellikle son 30 yılda hızla kirlenip yok olmaktadır. Tarım, evsel ve sanayi atıkları tatlı suların kirlenmesine, canlı topluluğunun değişmesine ve ekosistemlerin bozulmasına neden olmaktadır. Atık suların içerisindeki istenmeyen maddelerin uzaklaştırılmadan sucul ekosistemlere karışması önemli çevre problemlerine neden olmaktadır.

Endüstri ürünlerinin çoğu tüketici beğenisini artırmak için boyanmaktadır. Endüstri faaliyetleri sırasında oluşan atık sular, doğal sulara karışarak kirliliğe neden olmaktadır. Ülkelerin akarsu, dere, göl, baraj gibi iç suları bir organizmanın can damarları gibidir. Bu yüzden su kaynaklarının verimli kullanımı ve devamlılığının sağlanması için kirleticilerden arındırılması gerekmektedir. Doğal su kaynaklarının kullanımı ve yaşatılması için istenilmeyen kirleticilerden arıtılması gerekmektedir. Sanayi kuruluşlarının atık suları çeşitli ve önemli bir miktarda boyar madde içermektedir. Boyar maddeleri içeren atık sular sadece birleştiği suları kirletmekle kalmayıp bu ekosistemlerdeki biyoçeşitliliği azaltmakta ve ekolojik döngünün bozulmasına neden olmaktadır.

Atık su hacmi ve bileşimi göz önüne alındığında tekstil endüstrisi çevresel açıdan en “kirletici” endüstrilerden birisidir. Klasik atık su arıtımının yanında tekstil boyama endüstrisi atık suyunun temel karakteristiği olan rengin giderilmesi için ilave tedbirlerin alınması gerekmektedir. Çünkü klasik arıtma tesisleri atık suyun renginin giderilmesinde ancak kısmi başarı sağlayabilmektedir.

Atık sulardan boya ve türevlerinin arıtımı için çok sayıda fiziko-kimyasal metot kullanılmaktadır [1, 2, 3].

Ancak, atık suların arıtımı için kullanılan bu yöntemler ikincil kirleticilerin oluşmasına, arıtma tesislerinin kurulması ve işlemlerin devamlılığı için maliyetin pahalı olması, bazı durumlarda etkili olmaması ve farklı atık sulara karşı arıtımın olmaması nedeniyle sınırlamalar içermektedir. Bu yüzden etkili, ama aynı zamanda maliyeti düşük ve daha çevreci alternatif yöntemlerin araştırılması gerekmektedir [1, 4, 5, 6]. Bu nedenlerden dolayı, alternatif olarak, atık sulardan istenilmeyen maddelerin uzaklaştırılmasında, bakteri [7], mantar [8] ve algler [9, 10] gibi çok sayıda mikroorganizma kullanılmıştır.

Son zamanlarda, biyolojik atıkların boya arıtımında etkili, maliyetinin düşük olması ve çevreci olmaları nedeniyle onlara odaklanılmasını sağlamıştır. Atık sulardan istenilmeyen materyalleri uzaklaştırmak için yer fıstığı kabuğu [11], badem kabuğu [12], palmiye gövdesi elyafı [13], fındık kabuğu [14], ananas kabuğu [15, 16], pirinç kabuğu [17], buğday samanı [18], fıstık kabuğu [19], Hindistan cevizi kabuğu [20], Antep fıstık kabuğu [21] ve ceviz kabuğu [22] gibi ziraat atıklar kullanılmıştır. Çalışmalar, biyolojik materyallerin kullanılması ile atık sulardan kirleticilerin uzaklaştırılmasında etkili ve daha ucuz maliyette oldukları için odaklanılmışlardır [2, 4, 23, 24]. Bu nedenle, fiziko-kimyasal metotlar ile atık sulardan istenilmeyen maddelerin uzaklaştırılmasına alternatif olarak daha etkili ve ekonomik yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Organizmaların hücre duvarı genellikle polisakaritler, protein ve lipitleri içermektedir. Bu biyopolimerlerin yapısında bulunan çoğunlukla karboksil, hidroksil, tiyol, sülfat, fosfat, amino ve imidozal gibi fonksiyonel gruplar boya ve metal moleküllerini bağlamada rol oynamaktadır [2, 4, 25]. Biyokütlelerde mevcut fonksiyonel gruplar, pH değişimlerine bağlı olarak amfoterik özellik kazanmaktadır. Boya iyonları katyonik veya anyonik formda olup hücre duvarı yüzeyindeki negatif veya pozitif gruplar tarafından tutulur. Aktif olmayan biyokütle boya bağlama mekanizması türden türe değişiklik göstermekle birlikte boya türüne ve miktarına da bağlı olmaktadır [26, 27, 28]. Dolayısıyla, biyokütlenin boya arıtma potansiyellerinde birçok faktör etkili olmaktadır; i) her türün kendine özgü bir yüzey yapısının olması, ii) pH, sıcaklık, ilk

boya konsantrasyonu, tuz, metal iyonları, çözeltilerin çalkalanması gibi fiziko-kimyasal değişkenler ve iii) adsorbent olarak kullanılan biyokütle miktarındaki ve parçacık büyüklüğündeki farklılık arıtım işlemlerinde büyük rol oynamaktadır [4, 22, 24].

Boyama işlemi sadece tekstil endüstrisinde değil, aynı zamanda, plastik, kozmetik, gıda ve kâğıt gibi sanayi kuruluşlarında kullanılmaktadır. Endüstri kuruluşlarında kullanılan boyanın % 50'si fabrika atık suları olarak doğal sulara deşarj edilmekte ve sucul sistemleri aşırı kirletmektedir [2, 4, 27, 30]. Böylece dünyanın geleceğinde olmazsa olmaz olan ekolojik denge bozulmakta ve doğal felaketlerin doğmasına neden olmaktadır. Doğal su kaynaklarının kullanımı ve yaşatılması için istenilmeyen kirleticilerden arıtılması gerekmektedir.

Tekstil, boya üretimi, gıda, kâğıt ve kozmetik endüstrilerinden çıkan atık sulardaki boya ve pigmentler dünya çapında, giderek artan boyutlarda sucul ekosistemleri tehdit etmektedir. Sağlık problemlerinin çoğu, gittikçe artan çevre kontaminasyonu ile ilgili olduğundan, atık sulardan bu kirleticilerin uzaklaştırılması büyük önem taşımaktadır. Çevre kirleticilerden olan boya ve boyar maddelerden 100.000'nin üzerindeki ticari çeşidinden yılda 7×10^5 ton boya üretilmektedir [2, 16, 27]. Hemen hemen bütün endüstriler tarafından kullanılan boyaların atıkları en önemli atık su problemlerinden birini oluşturmaktadır.

Boyama işlemlerinde genelde yüksek sıcaklıktaki su kullanılmaktadır, fakat bu sular işlem bittikten sonra kanalizasyon aracılığıyla direk arıtma tesisine gönderilmektedir. Yüksek sıcaklıktaki bu suların arıtma tesisine gönderilmeden önce mutlaka sıcaklığı düşürülmelidir. Bu atıkların, kimyasal yapılarının karmaşık olması ve kimyasal oksijen ihtiyacının oldukça fazla olması organizmaları olumsuz yönde etkilemektedir. Çevreye zarar veren atık sulardaki boyalar, sucul yaşamdaki fotosentetik aktiviteyi gerek ışığın suya girişini azaltması gerekse sucul organizmalara toksik etki yapması nedeniyle önemli derecede etkilemektedir [2, 16].

Tekstil atık suyu incelendiğinde göze çarpan ilk olumsuz bulgu renk varlığıdır. Bu atık suların, su yataklarına verilmeden önce arıtılması gerekmektedir. Bu tür kontaminantları içeren suların akarsulara karışması bir seri çevre problemlerini ortaya çıkarmaktadır:

- Sulardaki boyanın perdeleyici özelliği nedeniyle güneş ışığının girişi engellenmekte ve dolayısıyla organizmaların fotosentetik aktiviteleri olumsuz etkilenmektedir.
- Sucul sistemde ilk üretici olan canlıların yokluğu nedeniyle diğer organizmalar için de canlılık tehlikeye girmektedir.
- Boya çözeltileri içeriğindeki kimyasallar nedeniyle canlılar üzerinde toksik etki yapabilmektedirler.
- Renklenmiş suların karıştığı akarsularda kötü manzara ve kokuların oluşmasının yanı sıra sağlık problemleri ile karşı karşıya kalınmaktadır.
- Bu tür atık suları içeren sular ile sulanan endüstriyel bitkilerin insanlar tarafından tüketilmesi sonucunda önemli sağlık sorunları oluşabilmektedir.
- Ülkemizin can damarı olan akarsuların kirlenmesi ile doğal kaynaklar yok olmaya yüz tutmaktadır. Dolayısıyla, bu tür istenmeyen atık madde içeren suların doğaya verilmeden önce arıtılması büyük önem teşkil etmektedir.

Tekstil boyama işlemlerinde sıklıkla kullanılan boyarmaddeler Tablo 1.1'de sınıflandırılmıştır [3, 23, 24].

Tablo 1.1. Tekstil boyama endüstrisinde kullanılan başlıca boyalar

Boya sınıfı	Özellik
Asit Boyalar	Suda çözünen, anyonik içerikli boyalardır.
Bazik Boyalar	Suda çözünen, zayıf asidik boyama tankında uygulanan, çok parlak boyalardır.
Direkt boyalar	Suda çözünen, anyonik içerikli, mordant (krom ve bakır gibi metaller) olmaksızın selüloza doğrudan uygulanabilen boyalardır.
Dispers Boyalar	Suda çözünmeyen boyalardır.
Reaktif Boyalar	Suda çözünen, anyonik içerikli, en fazla çeşide sahip boyalardır.
Sülfür boyalar	Sülfür veya sodyum sülfid içeren organik yapılu boyalardır.
Vat boyalar	Suda çözünmez, en eski boyalar olup kimyasal olarak çok kompleks boyalardır.

Bazik boyarmaddeler parlak ve canlı renk vermelerine rağmen yaş haslıkları ve ışık haslıkları düşüktür. Yapılarından dolayı proton alan olarak etki ettiklerinden anyonik grup içeren liflerle bağlanırlar [5, 23].

Direkt boyarmaddeler anyonik boyarmaddeler olup çözücü grup olarak $-SO_3Na$ grubu içermektedirler. Sudaki çözünürlükleri fazla olduğundan düşük yaş haslıklarına sahiptirler.

Asidik boyarmaddeler genellikle yün, ipek, poliamid, kağıt, deri ve besin maddelerinin boyanmasında kullanılırlar. Moleküllerinde bir veya birden fazla sülfonik asit grubu (SO_3H) veya karboksilik asit grubu ($COOH$) içermektedirler [30].

Kromofor grup boyarmaddeye renk veren kısımdır. Kromofor, organik bir molekül içinde renkli görünümü sağlayan atom, atom grubu veya elektronlardır. Kromofor gruplarının hepsi azot, nitro, nitroso ve karbonil grubu gibi çift bağ içerirler. Boyarmadde içerisinde yer alan ve kromofor içeren aromatik halkalı bileşiklere kromojen denir. Genellikle bunların renkleri soluk olduğundan oksokrom denilen elektron verici hidroksil, amin, karboksil, sülfü gibi birinci dereceden yer değiştiricilerin ve antiokskrom denilen karbonil, nitroza gibi ikinci dereceden yer değiştiricilerin bağlanmasıyla hem renk koyulaşır, hem de renkli bileşik liflere karşı afinite kazanarak boyarmadde niteliği kazanır [23, 31].

Anyonik ve iyonik olmayan boyalardaki kromoforlar çoğunlukla azo grupları olur veya antraiyonik tiplerdir. Antrakiyonik tabanlı boyalar, yıkımlara çok dirençli oldukları için atık sularda uzun süre kalabilirler. Reaktif boyalar tipik olarak azo tabanlı kromoforlar olup reaktif grupların farklı tipleri ile bileşik halinde bulunurlar. Reaktif gruplar çoğunlukla vinil sülfon, kloro tiriazin, tri kloro pirimidin ve di fluoro kloro pirimidindir. Bunlar diğer boyalardan farklı olarak pamuk gibi tekstil fibrillerine kovalent bağlar ile bağlanmaktadır. Reaktif boyalar, parlak renkli olmaları, suda kolay ve hızlı çözünmeleri ve düşük enerji tüketimli basit uygulanabilirliğe sahip olduklarından dolayı tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [27, 29, 31]. Suda çözünen reaktif boyalar arıtma tesislerinde uzaklaştırılmadan atık sulara deşarj edildiğinde problem teşkil etmektedir. Bu nedenle, boya içeren atık suların çevreye salınmadan önce

arıtılması büyük önem taşımaktadır [32]. Bazik boyalar, yüksek parlaklık ve renk yoğunluğuna sahip olduğundan düşük konsantrasyonlarda bile yüksek görünürlüktedirler [33, 34, 35]. Bu boyalar, kimyasal olarak stabil olmaları ve biyolojik yıkımlarının çok zor olması nedeniyle konvansiyonel biyolojik atık suların arıtımında etkili olamamaktadırlar.

Reaktif azo boyalar yıkama işlemleri süresince boyama işlemlerinin basit olması ve iyi sabitlenmesi nedeniyle tekstil endüstrisinde boyama işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu boyaların yaklaşık % 20 ile % 40 arasında atık sularda kalmakta ve deşarj edilmektedir [24, 29]. Bu tür atık suların alıcı sulara verilmesi bunların reaktif, toksik ve kararlı yapıları nedeniyle maruz kalan organizmalara tehlikeli olabilmektedir [36]. Azo boyalar mutajenik ve karsinojenik ksenobiyotik kirleticilerin en büyük grubunu oluşturmaktadır. Bu boyaların bertaraf ve kalıntıları Dünyaca ilgilenilen bir durumdur. Daha birçok nedenlerden dolayı bu atık suların sucul ekosistemlere deşarj edilmeden önce kalıntı boyaların uzaklaştırılması yaşayan bir dünya için bir zorunluluk olmuştur.

Reaktif boyalar bir veya daha fazla azo bağı (-N=N-) içermektedir. Bunlar heterosiklik gruplar ve aromatik alt yapılara dayanan çok farklı kimyasal yapılar gösterirler [29, 37]. Günümüzde, reaktif boyaların kullanımı pamuk ve selüloz fibrillerin boyaması için en önemli metottur [21]. Reaktif boyalar kimyasal, fotokimyasal ve biyolojik yıkıma karşı dirençli olup doğal ortamlarda uzun süre kalabilmektedirler. Bu boyaların kararlılığı ve karmaşık yapılarına sahip olmaları nedeniyle konvansiyonel biyolojik arıtım metotları etkili olmamaktadır. Yukarıda ifade edilen metotlar arıtım işlemleri için enerji gerektiren, ekonomik ve çevreci olmayan işlemlerdir. Bu nedenle alternatif basit, ekonomik ve çevreye dost metotlar araştırılmıştır. Önerilen bir teknik olarak adsorpsiyon tekstil boya atıksularının arıtımında kıyasen düşük maliyette uygulanabilen, operasyonu kolay olması nedeniyle büyük önem taşımaktadır.

Dünyada adsorpsiyon ile yapılan çalışmalarda 2008 yılına kadar 330 makale ile % 11,68 oranı ile Türkiye ikinci sırada yer almıştır [38]. Dolayısıyla, ülkemizin biyosorpsiyon çalışmaları ile ilgili önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Ülkemizde tekstil boyalarının ortamdaki uzaklaştırılması için çok sayıda biyosorpsiyon araştırmaları

yapılmıştır. Bunlardan bazıları; tarımsal kaynaklı aktive edilmiş karbon ile boyaları [23], *Chlorella vulgaris* ile reaktif boyaları [26], *Enteromorpha prolifera* ile asit kırmızı 274 boyası [39], sepiyolit (lületaşı) ile reaktif mavi 221 ve asit mavi 62 boyaları [40], *Spirogyra rhizopus* ile asit mavi 290 ve asit mavi 324 boyaları [41], sepiyolit (lületaşı) ile metilen katyonik metilen viyole ve metilen mavisinin boyaları [14]; *Trametes versicolor* ile direkt mavi 1 ve direkt kırmızı 128 boyaları [42], *Lentinus sajor-caju* ile reaktif kırmızı 120 boyası [8], farklı funguslar ile gryfalan siyah RL boyası [43], sepiyolit ile maxilon mavi 5G boyası [39], *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* ile malaşit yeşili boyası [44], resin ile katyonik boyalar [42], doğal balçık ile bazik boyaları [45], *Spirogyra majuscula* ile reaktif kırmızı 120 boyası [27], kaolinit ile maxilon sarı 4 GL ve maxilon kırmızı GRL boyaları [46], *Aspergillus versicolor* ile reaktif boya [47] ve *Rhizopus arrhizus* ile metilen mavisini boyası [48] uzaklaştırılmıştır. Boya ortamdan uzaklaştırılması ile ilgili daha çok sayıda önemli çalışma yapılmıştır.

Balkabağı monoik bir bitkidir. Balkabağının rengi yapısında bol miktarda bulunan turuncu pigmentlerinden ileri gelmektedir. Yapısında lutein, α ve β karoten bulunur. Balkabağı dünyanın her yerinde ticari olarak insan besini ve süs eşyası olarak ve ayrıca hayvan yemi olarak yetiştirilmektedir. Yeryüzünde altı kıtadan sadece Antartika'da üretilmemektedir. Yıllık balkabağı üretimi en fazla uluslararası üreticiler sırasıyla Çin (6.309.623 ton), Hindistan (3.500.000 ton), Rusya (1.318150 ton) ve ABD (861.870 ton) [49]. Türkiye yıllık balkabağı üretimi 337.882 ton ile dünyada 12. sırada yer almaktadır [49]. Turuncu renkli balkabakları ABD, İngiltere, Kanada, Avustralya ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde kutlanan Cadılar Bayramının vazgeçilmez bir sembolüdür. Balkabağının Türk mutfağında en yaygın kullanım şekli kabak tatlısıdır. Aynı zamanda kabak bitkisinin çekirdekleri de yemiş olarak halk arasında çok sevilmektedir [49]. Meyveleri bol lifli bir bitki olan kabak, bağırsakları tembel olanlar için tercih edilmesi gereken yiyeceklerdendir. Kabak potasyum, fosfor, kalsiyum, magnezyum, sodyum, demir gibi madensel elementler içerir. Kabak bedeni temizler, sinirleri yatıştırır. Besin değerinin kaybolmaması için kabağı buğuda pişirmek önerilir. Kabak çiğ olarak rendelenip salatalara da katılabilir. Balkabağı sıcak iklim ürünü olup genellikle temmuz başında ekimi yapılmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Balkabağı üretilen tarladan bir görünüm

Latincesi *Cucurbita moschata* Duchesne ex Poir. olan balkabağı, Kabakgiller familyasından bir bitkidir. Bu bitkinin taksonomisi aşağıda verilmiştir.

- Alem : Plantae (Bitkiler)
 Bölüm : Magnoliophyta (Kapalı tohumlular)
 Sınıf : Magnoliopsida (İki çenekliler)
 Takım : Cucurbitales
 Familya : Cucurbitaceae (Kabakgiller)
 Cins : *Cucurbita* L.
 Species : *Cucurbita moschata* Duchesne ex Poir.

Günümüze kadar yapılmış olan adsorpsiyon çalışmaları incelendiğinde, balkabağının (*C. moschata*) boya arıtım potansiyeli ile ilgili herhangi bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle çalışmada balkabağı kabuğu adsorbent olarak seçilmiştir. Çalışmada, bal kabağı kabuğunun inaktif biyokütlesi ile tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Reactive Red (RR) 120'nin atık sulardan uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, Dünya üzerinde geniş bir yayılış göstermesi, bölgesel olarak bol bulunması ve deneylere uygulanabilirliğinin kolay olması nedeniyle seçilmiştir.

Çalışmanın başlıca amaçları:

- i.* RR 120 boyası balkabağı kabuğu (BK) yardımıyla farklı parçacık büyüklüğü, adsorbent miktarı, başlangıç pH düzeyi, iyonik güç, sıcaklık, başlangıç boya konsantrasyonu ve etkileşim zamanı gibi çeşitli çevresel koşullarda arıtılması,
- ii.* Boya arıtımı için en uygun koşullar tespit edilmesi,
- iii.* RR 120 adsorpsiyonunun kinetik, denge modellemesi, termodinamik ve desorpsiyon çalışmalarının yapılması,
- iv.* Hata analizinin yapılması ve
- v.* Daha etkili ve ucuz bir yöntemin Türkiye ekonomisine kazandırılması şeklindedir.

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Adsorpsiyon çalışmalarında çoğunlukla ucuz maliyetli ve bol elde edilebilen mikroorganizmalar ve tarımsal biyokütleler kullanılmıştır [2, 4, 29, 50]. Boyarmaddelerin arıtımında kullanılan adsorbentlerin boya uzaklaştırma potansiyelleri farklılıklar göstermektedir.

Rhizopus arrhizus (fungus) ile reaktif anyonik bir boya olan remazol siyah B boyasını arıtmışlardır [51].

Mantar hücre yüzeyinde bulunan kitin, asidik polisakkaritler, lipitler, aminoasit gibi aktif grupların anyonik boyalardaki vinil sülfan reaktif gruplarıyla etkileşimi adsorpsiyon olayında önemli rol oynamıştır.

O'Mahony ve ark. [52] yaptıkları çalışmada, adsorbent pH sıfır yük noktasının (pH_{syn}) önemini vurgulamışlardır. Kullandıkları adsorbentin pH_{syn} altındaki çözeltinin başlangıç pH değerlerinde biyokütlenin pozitif yüklenmesine ve dolayısıyla anyonik reaktif boyaların ortamdan daha fazla uzaklaştırılmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmalarında, *Rhizopus arrhizus* ile reaktif kırmızı, reaktif mavi 9 ve reaktif turuncu 16 boyalarının arıtımını araştırmıştır. Maksimum boya adsorpsiyonu pH 2'de elde edilmiştir.

Farklı maya türlerini (*Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Kluyveromyces marxianus*, *Candida sp.*, *Candida tropicalis*, *Candida lipolytica*, *Candida utilis*, *Candida quilliermendii* ve *Candida membranaefaciens*) remazol mavi reaktif boyasını ortamdan uzaklaştırmada kullanmışlardır [53]. Boya adsorpsiyon kapasitelerinde türden türe önemli farklılıklar olduğu görülmüştür. Bunun her türün hücre yapılarındaki farklılıklardan ileri geldiği ifade edilmiştir. Hücre duvarlarının iyon değişim özelliklerine sahip polisakkaritleri, proteinleri ve lipitleri içerdiği belirtilmiştir.

Organik moleküllerin yapısında bulunan fonksiyonel grupların (amino, karboksilik, sülfat, fosfat, tiyol vb) boyaların bağlanmasından sorumlu olup, adsorbent boya arıtım kapasitesinde önemli rol oynadığı rapor edilmiştir.

Özer ve ark. [39] çalışmalarında, yeşil bir alg olan *Enteromorpha prolifera* türü, asit kırmızı 274 boyasının arıtımında kullanılmıştır.

Tatlı sularda yoğun olarak bulunan yeşil bir alg olan *Spirogyra rhizopus*'un asit mavi 290 ve asit mavi 324 boyalarının adsorpsiyon kapasitesini araştırmıştır [41]. Arıtım işlemlerinde; adsorbent miktarı, ortam sıcaklığı, başlangıç pH ve boya konsantrasyonlarının alglerin boya adsorpsiyon kapasitesi üzerine etkileri çalışılmıştır.

Astrazon mavi bazik boyasının ortamdan uzaklaştırılması için kurutulmuş maya (*Saccharomyces cerevisiae*) biyosorbent olarak kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada boya konsantrasyonu, etkileşim zamanı, sıcaklık ve pH değişkenlerinin adsorpsiyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Denge konsantrasyonu ve adsorpsiyon kapasitesi Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermleri kullanılarak sonuçları karşılaştırılmıştır [54].

Lentinus sajor-caju (fungus) ile Reactive Red 120 boyasının adsorpsiyon çalışması yapılmıştır [8]. En fazla boya adsorpsiyonu pH 3'te olmuştur. Ayrıca, uzaklaştırılan boya miktarını, adsorbent miktarı, sıcaklık ve iyon miktarının önemli düzeyde etkilediği ifade edilmiştir.

Tarımsal bir atık olan fasulye yapraklarının katyonik bir boya olan metilen mavisini sulu ortamdan uzaklaştırma kapasitesi incelenmiştir [13]. Ayrıca, çalışmada denge ve kinetik modeller ile çalışılan boyanın adsorpsiyonu açıklanmıştır.

Hameed ve El-Khaiary [13] çalışmalarında, tarımsal katı bir atık olan yağlı palmiye gövdesi elyafı ile malaşit yeşili boyasının sulu ortamlardan adsorpsiyonunu araştırmışlardır. Etkileşim zamanı, başlangıç boya konsantrasyonu ve çözelti pH'sının adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma verileri Freundlich, Langmuir ve çok yüzeyli adsorpsiyon izotermleri ile değerlendirilmiştir.

Bazik bir boya olan metilen mavisi adsorpsiyonu için Malezya'da çok yoğun olarak bulunan ananas gövdesi adsorbent olarak kullanılmıştır [15]. Biyosorpsiyon düzeyi, başlangıç boya konsantrasyonu, etkileşim zamanı ve pH'nın etkileri çalışılmıştır.

Çelekli ve ark. [27] çalışmalarında doğada bol miktarda bulunan, yeşil bir alg olan *Spirogyra majuscula* ile Reactive Red 120 boyarmaddesinin uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. Adsorbent yüzeyindeki boyarmaddeyi tutmakta sorumlu olan fonksiyonel gruplar FTIR analizi ile ortaya konulmuştur.

Karim ve ark. [55] çalışmalarında, Fas kili ile bazik kırmızı (Basic Red) 46 boyasını sulu ortamdan uzaklaştırma kapasitesini araştırmıştır. Kullanılan adsorbentin pH_{syn} 9,5 olarak belirlenmiş ve yüksek pH seviyelerinde adsorpsiyon miktarı artmıştır. Bu boyanın tek tabaka maksimum adsorpsiyonu 54 mg/g olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon süresi olarak 20 dakikanın yeterli olduğunu rapor etmişlerdir.

Fıstık kabuğu ile Reactive Red 120'nin sulu ortamdan uzaklaştırma kapasitesi çalışılmıştır [6]. Adsorpsiyon çalışmasında başlangıç boya konsantrasyonu, etkileşim zamanı ve başlangıç pH rejimi adsorbent üzerinde tutulan boya miktarını önemli miktarda etkilemiştir. Adsorbentin pH_{syn} 8,5 olarak belirlenmiş ve düşük pH seviyelerinde adsorpsiyon miktarı artmıştır. Boya adsorpsiyon çalışmalarında ilk defa Logistic gelişim modeli uygulanmış ve bu boyanın kinetik adsorpsiyonu hakkında daha fazla bilgi sağlanmıştır.

Xu ve ark. [18] çalışmalarında, buğday samanı ile Acid Red 73 ve Reactive Red 24 boyaalarının adsorpsiyonunu araştırmışlardır. Maksimum boya adsorpsiyonu asit kırmızı 73 için 714,3 mg/g ve reaktif kırmızı 24 için 285,7 mg/g şeklinde bulunmuştur. Denge verilerini Langmuir modeli daha iyi açıklamıştır.

Hindistan cevizi kabuğu ile siyanosin adsorpsiyon işleminde adsorbent miktarı, boya konsantrasyonu, sıcaklık ve pH gibi faktörleri önemli rol oynamıştır [31]. Çözelti sıcaklığının artması adsorpsiyon düzeyini arttırmıştır.

Hameed ve ark. [15] RR 120'nin arıtımı için palm yağı endüstri atıkları kullanmıştır. Başlangıç boya konsantrasyonu, pH rejimi ve ortam sıcaklığı adsorpsiyon işlemini

üzerinde etkili oldukları bildirilmiştir. Çalışmanın kinetik verilerini pseudo ikinci mertebe kinetik model ve denge verilerini ise Freundlich model iyi bir şekilde açıklamıştır.

Kittinaovarat ve ark. [56] çalışmalarında kitosan kullanarak RR 120'nin ortamdan uzaklaştırılması araştırılmıştır. Boyanın yüzde giderimi üzerinde etkileşim zamanı, pH düzeyi ve adsorbent miktarı önemli rol oynamıştır. Denge adsorpsiyon verilerini Langmuir model iyi açıkladığı ifade edilmiştir.

Bentonit kullanarak RR 120'nin giderimi farklı sıcaklık, pH ve iyonik güç düzeylerinde çalışılmıştır [57]. Asidik ortamda ve düşük tuz konsantrasyonunda adsorpsiyon miktarı arttığı rapor edilmiştir.

Hydrilla verticillata biyokütlesi kullanarak RR 120'nin sulu ortamdan uzaklaştırmasını adsorbent dozun, başlangıç pH ve boya konsantrasyonunun etkileri çalışılmıştır [37]. Çalışmanın kinetik verileri Pseudo ikinci mertebe kinetik model ile daha iyi açıklanmıştır. Freundlich model denge verileri açıklayan en uygun model olmuştur. Düşük adsorbent miktarında ve asidik ortamda adsorpsiyon işlemi daha iyi gerçekleşmiştir.

Bacillus lentus BI377 ile RR 120 boya çözeltilisinin renk giderimi ve boyanın yıkımı çalışılmıştır [36]. Organizmanın biyokütle miktarı artıkça yüzde renk giderimi arttığı rapor edilmiştir. Sıcaklık, tuzluluk, pH, karbon kaynağı ve boya konsantrasyonu işlemi etkileyen çevresel faktörler olmuştur.

Absalan ve ark. [58] Fe_3O_4 magnetik nanopartiküller ile RR 120'nin sulu ortamdan uzaklaştırılması çalışılmıştır. Adsorbent dozu, boya konsantrasyonu, pH ve etkileşim zamanı adsorpsiyon kapasitesi üzerinde önemli etkiye sahip olmuşlardır.

Ceviz kabuğu ile sulu ortamdan Lanaset Red G'nin uzaklaştırılmasında partikül büyüklüğü, adsorbent miktarı, başlangıç pH düzeyi, boya konsantrasyonu ve etkileşim zamanının etkileri araştırılmıştır [22]. Ceviz kabuğu boya giderimi için iyi bir adsorbent olduğu rapor edilmiştir.

Chara contraria ile RR 120 boyasının adsorpsiyonunun adsorbentin parçacığına, adsorbent miktarına, pH'ya, ortam sıcaklığına, iyonik düzeye, boya konsantrasyonuna ve etkileşim zamanına bağlı olduğu ifade edilmiştir [29].

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Adsorbentin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan balkabağı (*C. moschata*) kabuğu (BK) Nevşehir tarım arazisinden toplanmıştır. Temin edilen BK iki kez musluk su ile yıkanarak istenilmeyen maddelerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Yıkanmış numuneler laboratuvarında bekletilerek kuru biyokütle elde edilmiştir. Elde edilen kuru biyokütle ezildikten sonra, farklı göz açıklıklarına sahip eleklerden geçirerek farklı toz parçacıklar (45-63, 125-250, 250-500 ve >500 μm) elde edilmiştir.

3.2 Adsorbentin Sıfır Yük Noktasının Belirlenmesi

BK'nin pH sıfır yük noktası (pH_{syn} ; pH zero point charge) adsorbent toz ekleme metoduna göre belirlenmiştir [6, 59]. 100 ml'lik erlen içerisinde 0,5 g adsorbent ile 50 ml NaCl çözeltisi karıştırılmıştır. İki serilik deneyler 0,1 M ve 0,01 M NaCl çözeltilerinde yürütülmüştür. Kesikli deney çözeltilerinin başlangıç pH'ları (pH_i) 0,1 M HCl ve 1,0 M NaOH çözeltileri ile ayarlanmıştır. Erlenler çalkalayıcı üzerinde 150 devir/dk'da 24 saat bekletilmiştir. Çözeltiler dengeye ulaştığında final pH'ları (pH_f) ölçülmüştür. pH_{syn} düzeyi pH_i 'ye karşı pH_f eğrisinden belirlenmiştir.

3.3 Adsorbentin Karakterizasyonu

Adsorbent yüzey yapıları Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR; Frourier transform infrared) Spektroskopisi (Perkin Emler Spectrum 100 FTIR Spectrometre) analizi sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Reactive Red (RR) 120 adsorpsiyon öncesi ve sonrası

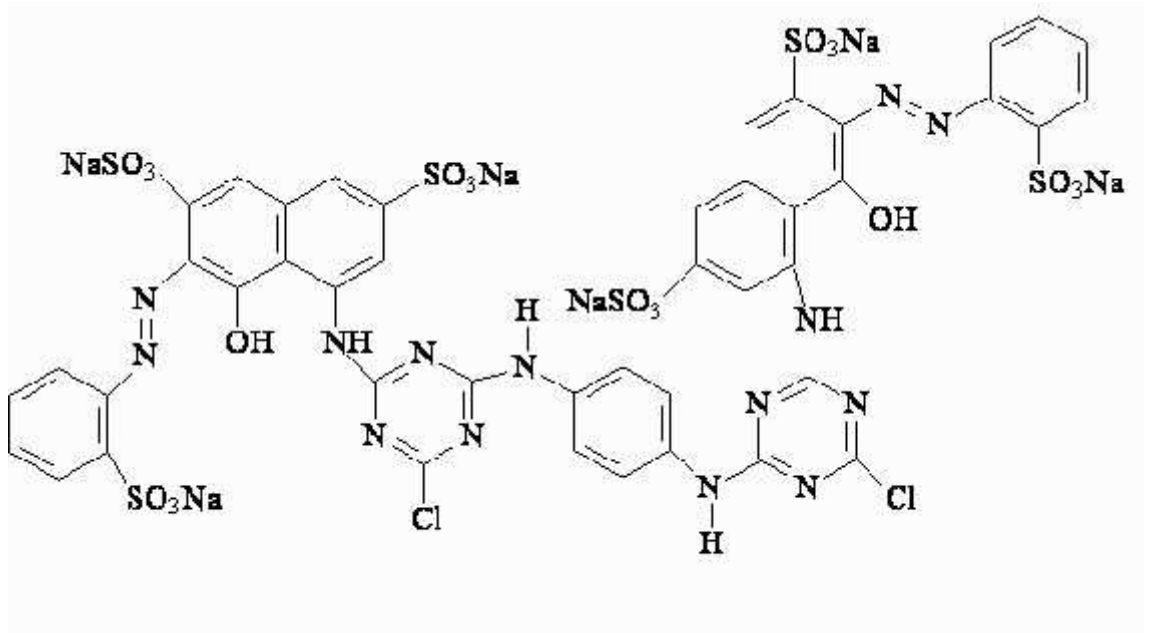
adsorbentlerin yüzey yapıları FTIR analizi ile belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda boya adsorpsiyonundan sorumlu fonksiyonel gruplar belirlenmiştir.

3.4 Boya Çözeltisi

Adsorpsiyon çalışmalarında RR 120 boyarmadde kullanılmıştır. Azo reaktif bir boyarmadde olan RR 120 Sigma firmasından (Sigma-Aldrich Chemical Co., St. Louis, USA) satın alınmıştır. Boyarmaddenin özellikleri Tablo 3.1’de ve kimyasal yapısı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. RR 120’nin genel karakteristik özellikleri

Boyar Maddenin Adı	Procion Red HE-3B
Kimyasal formülü	$C_{44}H_{24}Cl_2N_{14}O_{20}S_6Na_6$
Moleküler ağırlığı	1469,98
Color Index adı	Reactive Red-120
CAS numarası	61951-82-4
λ_{max} (nm)	515



Şekil 3.1. RR 120’nin kimyasal yapısı

Stok boya çözeltileri 1 g/l olacak şekilde distile su ile hazırlanmıştır. Boya derişimleri stok boya çözeltilerinden alınan çözeltiler miktarları ile ayarlanmıştır. Çözeltilerin pH'ları 1,0 M NaOH ve 0,1 M HCl asit ile ayarlanmıştır.

3.5 Adsorpsiyon Çalışmaları

RR 120 boyası BK ile sulu ortamdan uzaklaştırılmasında; (i) adsorbent parçacık büyüklüğünün (43–65, 125–250, 250–500 ve >500 μm), (ii) adsorbent miktarının (0,5; 1,0; 2,0 ve 4,0 g/l), (iii) başlangıç pH düzeyinin (pH_i 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9), (iv) tuz konsantrasyonunun (0,1; 0,01 ve 0,001 M NaCl), (v) sıcaklığın (298, 308, 318 ve 328 K), (vi) başlangıç boya konsantrasyonlarının ($C_o = 40, 80, 120, 160, 200$ ve 240 mg/l) ve etkileşim zamanının ($t = 0-90$ dk) etkileri araştırılmıştır.

Adsorpsiyon çalışmaları, 250 ml'lik erlenler içerisinde 100 ml adsorpsiyon çözeltileri olacak şekilde sürdürülmüştür. Erlenler orbital çalkalayıcı üzerinde 150 devir/dk döngüde dengeye gelinceye kadar bekletilmiştir. Belirli zaman aralıklarında (0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 30, 60 ve 90 dk) adsorpsiyon çözeltilerinden 5 ml örnek alınarak 6000 devir/dk'da 5 dakika santrifüj edilmiştir. Süpernatantan alınan çözeltilerin boya absorbansı λ_{max} 515 nm dalga boyunda spektrofotometrede ile belirlenmiştir. Bu boyaların standart eğrisi çizilerek boya konsantrasyonu (mg/l) ile Optik Densite (OD) değerleri arasındaki ilişki belirlenmiştir. Bu ilişki kullanarak deneysel OD değerleri mg/l cinsine dönüştürülmüştür. Tüm deneyler iki kez tekrarlanarak yapılmıştır.

3.6 Boya Miktarı Analizi

Deney ölçüm zamanları süresince adsorbent üzerinde tutulan boya miktarları (q_t , mg/g) ve dengede tutulan boya miktarı (q_e , mg/g) aşağıdaki denklemlere göre hesaplanmıştır.

$$q_t = \frac{(C_o - C_t) \times V}{M} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) \times V}{M} \quad (2)$$

Buradan;

C_o başlangıç boya konsantrasyonu (mg/l);

C_t t zamanda çözültide kalan boya konsantrasyonu (mg/l);

C_e dengede çözültide kalan boya konsantrasyonu (mg/l);

V çalışılan çözülti hacmi (litre);

M adsorbent (g/l) kütesidir.

3.7 Kinetik Modelleme

Adsorpsiyon kinetiği, çalışılan çevresel koşullarda deney verilerini iyi temsil edecek en iyi modelin araştırılmasını içermektedir. Çeşitli kinetik modeller, farklı çevre şartlarında kesikli adsorpsiyon kinetiğinin durumunu tanımlamak için kullanılmaktadır. Çalışmamızda, RR 120'nin kinetik adsorpsiyonlarını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan pseudo ikinci derece kinetik, logistik ve intra-partikül modelleri (Tablo 3.2) tercih edilmiştir.

Tablo 3.2. Kinetik model eşitlikleri

Kinetik Model	Eşitlik ve numarası	Kaynak
Pseudo ikinci derece kinetik model	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{t}{q_e}$ (3)	[60]
Logistic	$q_t = \frac{a}{\left\{1 + \left(\frac{x}{b}\right)^c\right\}}$ (4)	[61]
Intra-partikül difüzyon modeli	$q_t = k_t t^{0.5} + I$ (5)	[62]

Eşitliklerde bulunan sembollerin açıklamaları kısaltmalar bölümünde verilmiştir.

3.8 Denge Modelleme

Dengedeki verilerin modelleme çalışmaları adsorbentin boya uzaklaştırma kapasitesi ile ilişkilidir. Adsorpsiyon ile ilgili bilgiler atık sulardan istenmeyen maddelerin uzaklaştırılmasında adsorbentin tasarımı ve değerlendirilmesi için gereklidir. Dengede,

çözeltide kalan istenmeyen madde (C_e , mg/l) ile birim kütle adsorbent ile adsorplanan boya miktarı (q_e , mg/g) arasındaki durumu tanımlamada literatürde çok sayıda model kullanılmıştır [4, 63]. Çalışmada, Langmuir ve Freundlich modelleri kullanılmıştır. Modellerin eşitlikleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Denge model eşitlikleri

Denge Modelleri	Eşitlik ve numarası	Kaynak
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_e}{q_m}$ (6)	[64]
	$R_L = \frac{1}{1 + bC_o}$ (7)	[63]
Freundlich	$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$ (8)	[65]

Eşitliklerde bulunan sembollerin açıklamaları kısaltmalar bölümünde verilmiştir.

Langmuir modeli [64], katı yüzeyde sınırlı sayıda tanımlanan homojen bölgeler bulunduğunu farz etmektedir. Freundlich modeli, ne homojen bölgeler ne de adsorpsiyonun sınırlayıcı düzeyinin olmadığını farz etmektedir [65]. Bu model heterojen adsorpsiyonu olabileceğini ifade etmektedir.

3.9 Hata Analizi

Çalışmada, BK ile RR 120’nin adsorpsiyonunu açıklayan en uygun modeli bulmak için hataların karelerinin toplamı (Sum of Squares Errors (SSE)) fonksiyonu kullanılmıştır. Fonksiyon eşitliği;

$$SSE = \sqrt{\frac{\sum (q_{\text{exp}} - q_{\text{cal}})^2}{N}} \quad (9)$$

SSE : Hataların kareleri toplam (Sum of Squares Errors),

q_{exp} : deneysel birim biyokütle başına tutulan boya miktarı (mg/g),

q_{cal} : hesaplanan birim biyokütle başına tutulan boya miktarı (mg/g),

N : veri sayısıdır.

3.10 İstatistiksel Yöntemler

Çalışma süresince, adsorpsiyon çalışma koşullarında BK tarafından uzaklaştırılan boya miktarları arasındaki farklılıkları belirlemek için Varyans Analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Ayrıca, ikiden fazla ortalamanın kıyasında ANOVA Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) çoklu testten yararlanılmıştır. İstatistiksel analizler için SPSS versiyonu 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) paket programından faydalanılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler ile modellerden tahmin edilen değerler arasındaki uyum ilişkisi SigmaPlot sürüm 11 (Systat Software, Inc., California, USA) bilgisayar programı Marquardt-Levenberg algoritması yardımı ile hesaplanmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

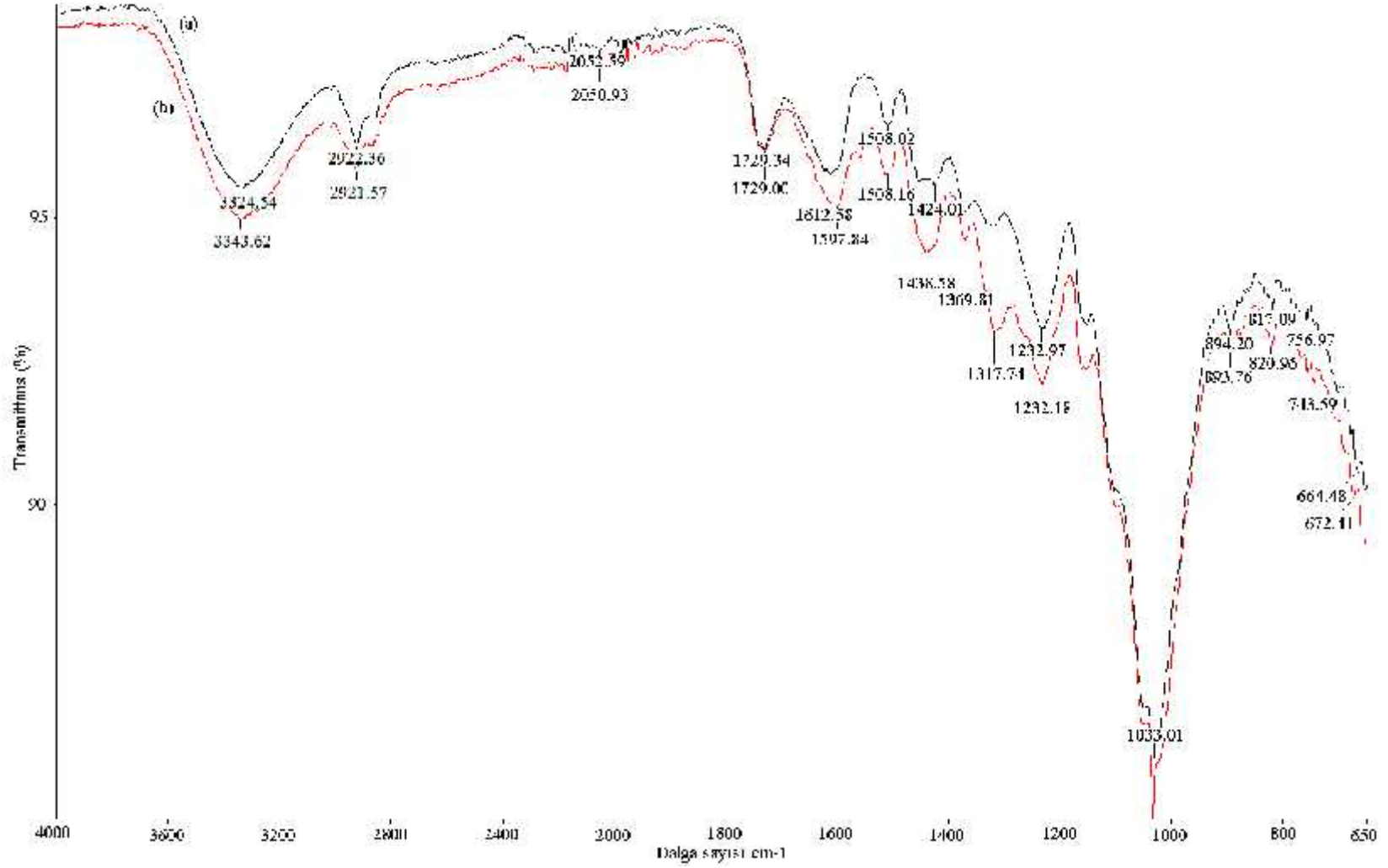
RR 120 boyasının sulu ortamdan BK ile uzaklaştırılmasında;

- i.* Adsorbent parçacık büyüklüğünün (45-63, 125-250, 250-500 ve >500 μm),
- ii.* Adsorbent miktarının (0,5; 1,0; 2,0 ve 4,0 g/l)
- iii.* Başlangıç pH düzeyinin (pH 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9),
- iv.* Sıcaklığın (298, 308, 318 ve 328 K),
- v.* Tuz konsantrasyonunun (0,1; 0,01 ve 0,001 M NaCl),
- vi.* Başlangıç boya konsantrasyonlarının ($C_o = 40, 80, 120, 160, 200$ ve 240 mg/l RR 120) ve
- vii.* Etkileşim zamanının ($t = 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 30, 45, 60$ ve 90 dk) etkileri araştırılmıştır.

4.1 Adsorbent Karakterizasyonu

RR 120 adsorpsiyon öncesi ve sonrası BK'nın yüzey yapıları FTIR-ATR spektrometre ile karakterize edilmiş ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Adsorpsiyon öncesi BK'nın FTIR spektrumunda önemli bantlar görülmüştür (Şekil 4.1a). Bunlardan bazıları; 3324, 2922, 1729, 1612, 1508, 1424, 1232, 1032, 894 ve 817 $1/\text{cm}$ dalga sayısıdır. Analiz sonuçlarına göre 3324 $1/\text{cm}$ 'deki pik $-\text{OH}$ ve $-\text{NH}_2$ gruplarını işaret etmektedir [10, 51, 66]. Metil ve metilen grupları 2922 $1/\text{cm}$ 'deki piki [27, 67] ve karboksil grubunun varlığı 1729 $1/\text{cm}$ 'deki piki göstermektedir [51]. 1232 ve 1032 $1/\text{cm}$ 'deki bantlar C-O gruplarını göstermektedir [27, 51].

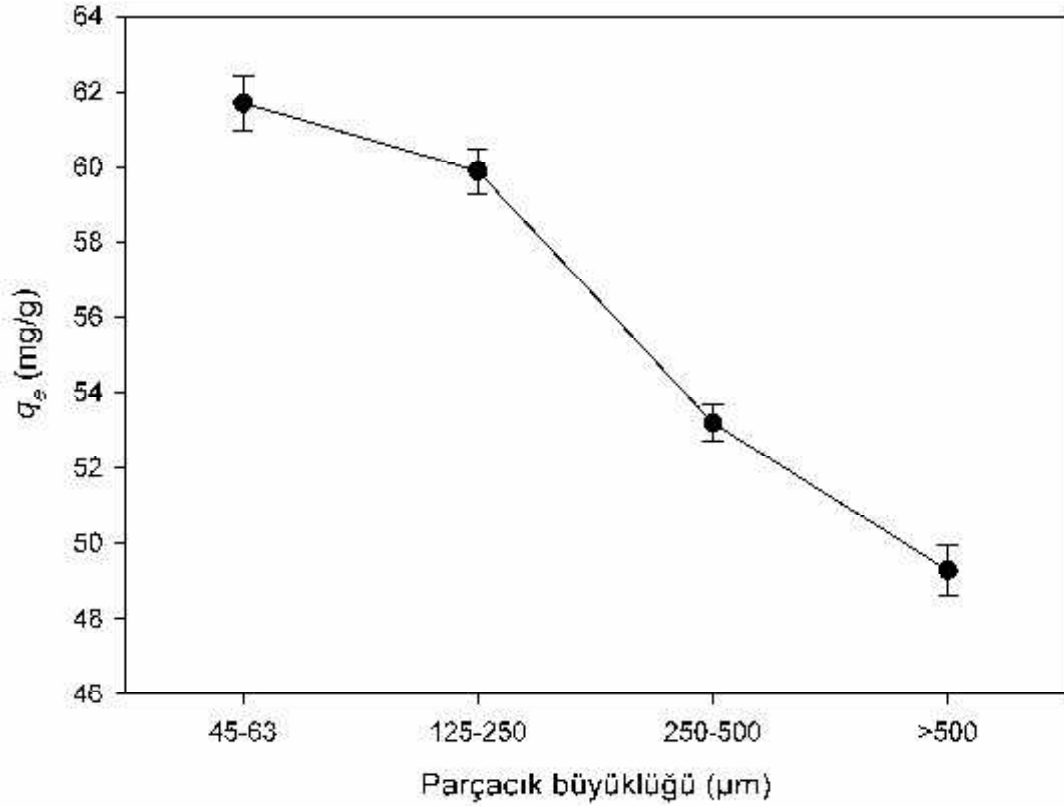


Şekil 4.1. BK'nın (a) adsorpsiyon öncesi ve (b) sonrası FTIR analizi pH 1

RR 120 boyasının *BK* ile adsorpsiyonundan sonra FTIR analiz sonuçları Şekil 4.1b’de gösterilmektedir. Adsorpsiyon sonrasında 3344, 2922, 1729, 1598, 1439, 1232, 1033, 894 ve 820 1/cm gibi bantlar görülmüştür. Şekil 4.1 a ve b’de açıkça görüldüğü üzere, adsorpsiyon sonrası adsorbent üzerinde mevcut bantların bazıları değişmezken, bir kısmı değiştiği ve yeni bantların ortaya çıktığı görülmüştür. Bu durum adsorbent üzerinde RR 120’nin tutulduğunu göstermektedir. Benzer sonuçlar, *Lentinus sajor-caju* [8], *Spirogyra majuscula* [27], fıstık kabuğu [21], *Hydrilla verticillata* [37] ve *Chara contraria* [29] ile RR 120’nin adsorpsiyonlarında rapor edilmiştir.

4.2 Parçacık Büyüklüğünün Etkisi

Adsorpsiyon çalışmalarında adsorbentin parçacık büyüklüğü adsorpsiyon kapasitesini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Parçacık büyüklüğünün RR 120 boyasının adsorpsiyon süreci üzerindeki etkisi dört adsorbent parçacık büyüklüğü ile (43-65, 125-250, 250-500 ve >500 μm) 100 mg/l RR 120 boya çözeltisi etkileşimi çalışılarak belirlenmiştir. Parçacık büyüklüğünün *BK* üzerinde RR 120’nin adsorpsiyonuna etkisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Parçacık büyüklüğü >500 μm ’de 43-65 μm ’ye küçültüldüğü zaman *BK*’nın adsorpsiyon kapasitesi 131,87 mg/g’dan 161,91 mg/g’a artmıştır. Farklı parçacık büyüklüğüne sahip *BK* adsorbentleri RR 120 giderim miktarları arasında istatistiksel olarak önemli derecede ($p < 0,01$) farklılık görülmüştür. Adsorbentin küçük parçacıklara dönüşmesi ile hem adsorbentin yüzey alanının artmasına hem de boya moleküllerinin adsorbent gözeneklerine girişinin kolay olmasına neden olmuştur [10]. Küçük parçacık büyüklüğüne sahip olan *BK*’nın yüzey alanının artması ile birlikte adsorpsiyondan sorumlu fonksiyonel grup miktar da artmıştır. Böylece adsorpsiyon miktarının artmasına olanak sağlamıştır. Benzer sonuçlar, Bambu ile Blue 5G’in [68], Hindistan ceviz kabuğu ile cyanosine boyasının [20] ve ceviz kabuğu ile Lanaset Red G’nin [22] adsorpsiyonlarında görülmüştür. *BK* ile RR 120 boyarmaddenin ortamdan uzaklaştırılması en fazla 43-65 μm adsorbent parçacık büyüklüğünde olmuştur. Bu nedenle yapılan sonraki çalışmalarda en küçük parçacık büyüklüğüne sahip adsorbent kullanılmıştır.



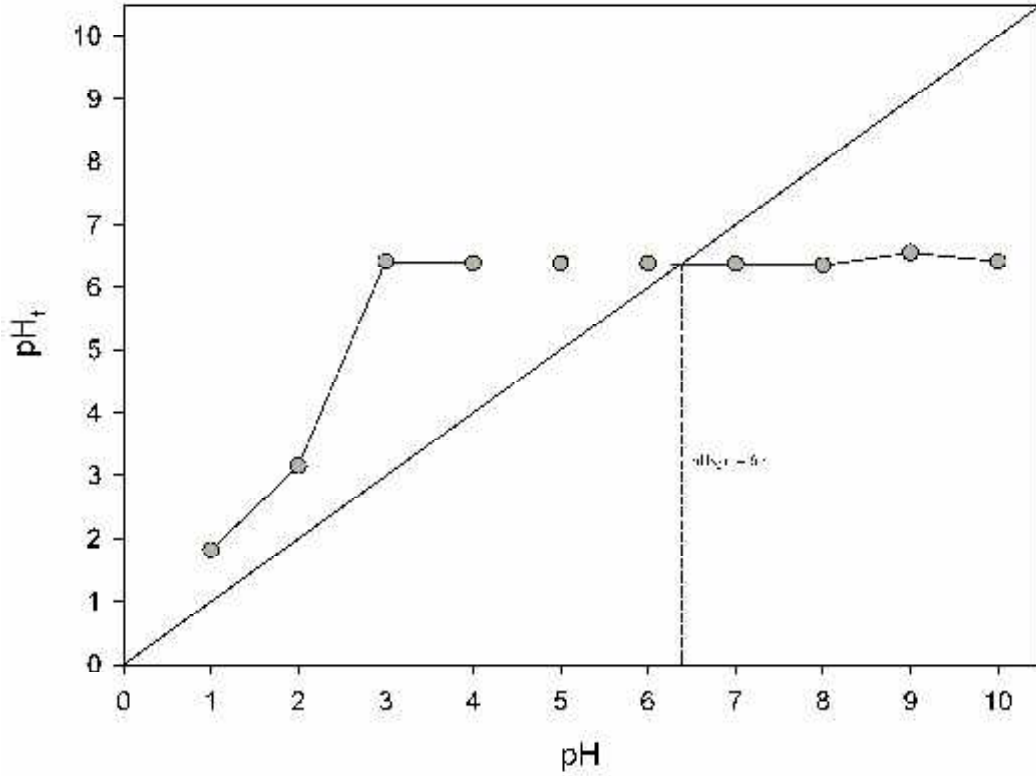
Şekil 4.2. BK'nın parçacık büyüklüğünün RR 120'nin adsorpsiyonu üzerine etkisi ($C_0=100$ mg/l)

4.3 Başlangıç pH'sının Etkisi

Adsorpsiyon çalışmalarında, pH önemli bir çevresel faktördür. Çözeltilerin başlangıç pH'sı sadece adsorbent üzerinde yüklü grupların değişmesinde rol oynamakla kalmaz, hem de çözeltideki boyanın kimyasını hem de ayrışmalarını etkilemektedir. Ayrıca, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, çökeltme ve hidroliz gibi çözeltilerin özelliklerini de etkilemektedir. Bu nedenle pH düzeyi sadece boyaların özelleştirilmesini ve adsorpsiyon mevcudiyetlerini değiştirmekle kalmamakta aynı zamanda adsorbent adsorpsiyon kapasitesini de etkilemektedir [5, 6, 69].

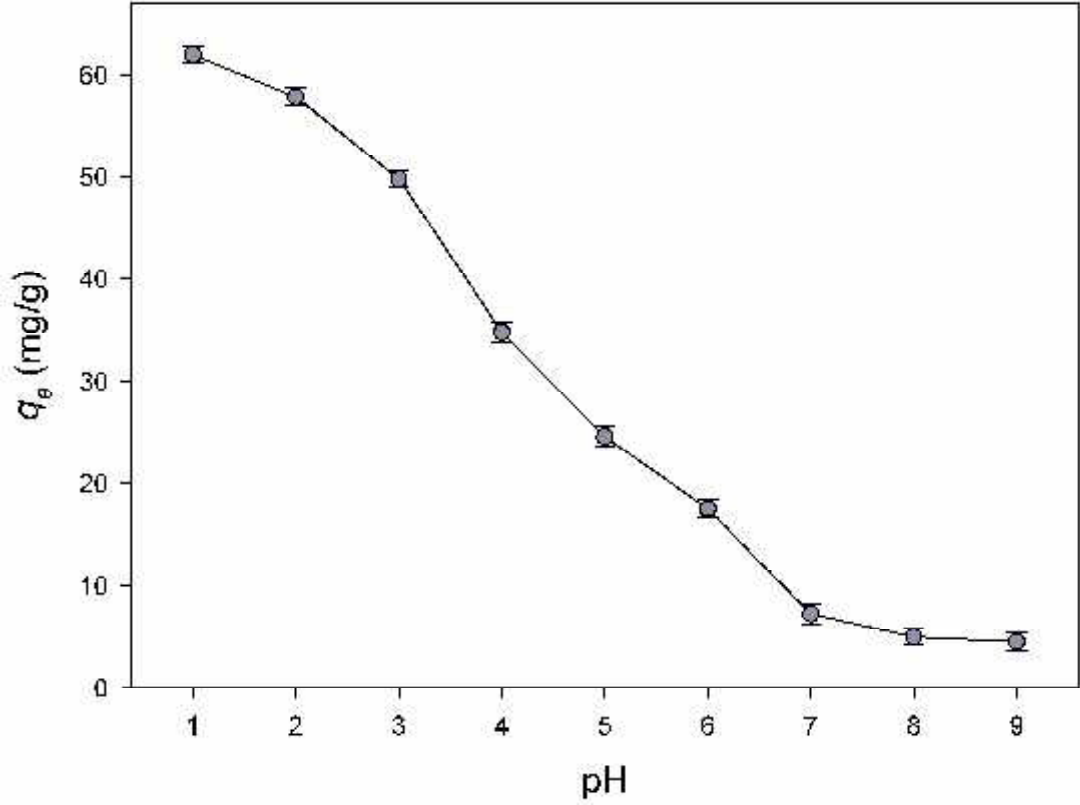
Adsorpsiyon mekanizmasının anlaşılması için adsorbent pH sıfır yük noktasının belirlenmesi (pH_{syn}) (zero point charge, pH_{zpc}) önemli bir unsurdur. Çalışma sonuçları BK'nın pH_{syn} 6,4 olduğunu göstermiştir (Şekil 4.3). Adsorpsiyon çözeltisinin başlangıç pH'sı pH_{syn} 'dan daha düşük olduğu zaman adsorbent proton yüklenir. Elektrostatik

çekim kuvvetinin artması nedeniyle anyonik boyaların adsorpsiyonunu destekleyecektir. Çözelti $pH > pH_{syn}$ olduğu zaman elektrostatik itme gücün artması nedeniyle anyonik boyaların adsorpsiyonlarını sınırlamıştır [10, 37, 70, 71].



Şekil 4.3. BK'nın pH sıfır yük noktasının (pH_{syn}) belirlenmesi. pH_i ve pH_f sırasıyla çözeltilerin başlangıç ve son pH'sını göstermektedir

RR 120'nin BK üzerinde adsorpsiyonun pH 1 ile 10 arasında çalışılmıştır. Başlangıç pH rejiminin RR 120 adsorpsiyonu üzerindeki etkisi Şekil 4.4'de verilmiştir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi adsorpsiyon miktarı alkalın çözeltilerde istatistiksel olarak önemli derecede ($p < 0,001$) azalmıştır. En fazla adsorpsiyon miktarı pH 1'de elde edilmiştir. Çözeltinin başlangıç pH'sı pH_{syn} 'dan daha küçük olduğu zaman BK yüzeyi proton yüklenir ve anyonik bir boya olan RR 120 adsorpsiyonunu desteklemiştir. Diğer taraftan adsorpsiyon düzeyi alkalın pH değerlerinde azalmıştır. Bu durumda, başlangıç pH düzeyinin artması ile pH_{syn} 'dan daha büyük olduğu için BK yüzeyi negatif yüklenir ve anyonik boya molekülleri ile aralarında bir itme kuvveti oluşur. Böylece, adsorbentın RR 120 adsorpsiyonunu sınırlayıcı etki yapmıştır. Bu nedenle yapılan diğer çalışmalarda pH_i 1 seçilmiştir.

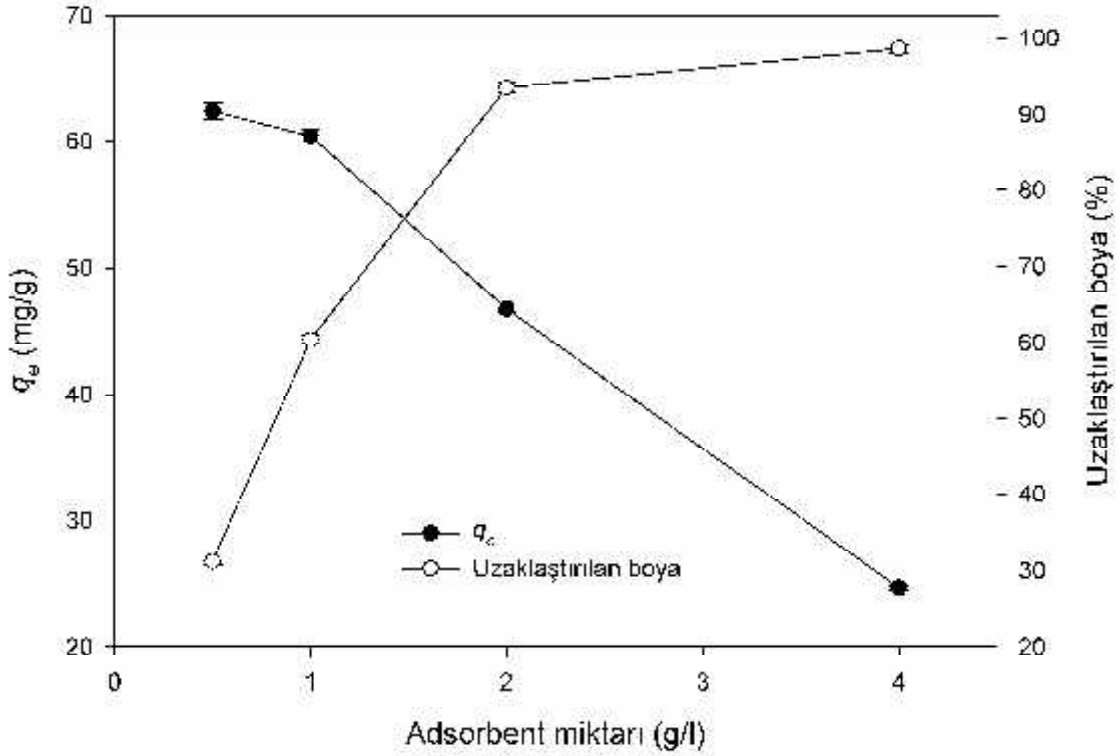


Şekil 4.4. Başlangıç pH_i düzeyinin BK'nın RR 120'yi adsorpsiyonu üzerine etkisi ($C_0=100$ mg/l)

4.4 Adsorbent Miktarının Etkisi

Adsorpsiyon çalışmalarında dört adsorbent miktarı (0,5, 1, 2 ve 4 g/l) ile 100 mg/l RR 120 boyası ile etkileşimi pH 1'de çalışılmıştır. Adsorbent dozunun reaktif boya adsorpsiyonu üzerinde etkileri Şekil 4.5'te verilmiştir. Adsorbent konsantrasyonu 0,5 g/l'den 4,0 g/l'ye artırıldığı zaman BK tarafından RR 120'nin adsorpsiyonu % 31,21'den % 98,64'e artmıştır. Diğer taraftan, gram adsorbent başına tutulan boya miktarı, adsorbent konsantrasyonu 0,5 g/l'den 4,0 g/l'ye artırıldığı zaman BK tarafından RR 120'nin adsorpsiyonu 62,43 mg/g'dan 24,66 mg/g'a düşmüştür. En yüksek adsorpsiyon düzeyi 0,5 g/l adsorbent miktarında elde edilmiştir ($p<0,01$). Yüksek biyokütle konsantrasyonunda adsorbentin üst üste yığılması nedeniyle adsorpsiyon kapasitesini sınırlayabilmektedir. Adsorbentin yığılması ile birlikte adsorbent boya molekülleri daha az etkileşime girmesi ile adsorpsiyon miktarının azalmasına neden olmaktadır. Kupuassu kabuğu ile Reactive Red 194 ve Direct Blue 53 boyalarının

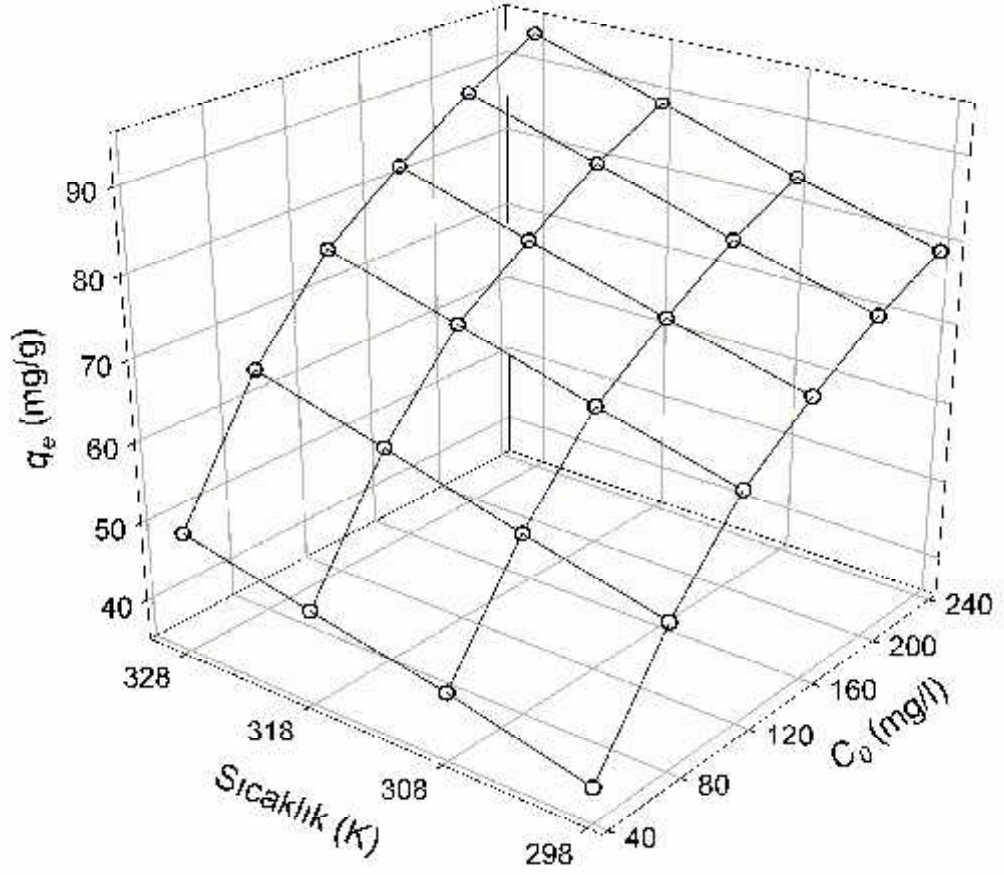
uzaklaştırmasında da adsorbent konsantrasyonunun azalması ile boya giderimi artmıştır [71]. Benzer sonuçlar mercimek samanı ile Lanaset Red G'nin arıtımında da görülmüştür [22]. Bu nedenle daha sonraki çalışmalarda 0,5 g/l adsorbent dozu kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Adsorbent miktarının RR 120'yi adsorpsiyonu üzerine etkisi ($C_0=100$ mg/l, 43-65 μ m adsorbent parçacık büyüklüğü ve pH 1)

4.5 Sıcaklığın Etkisi

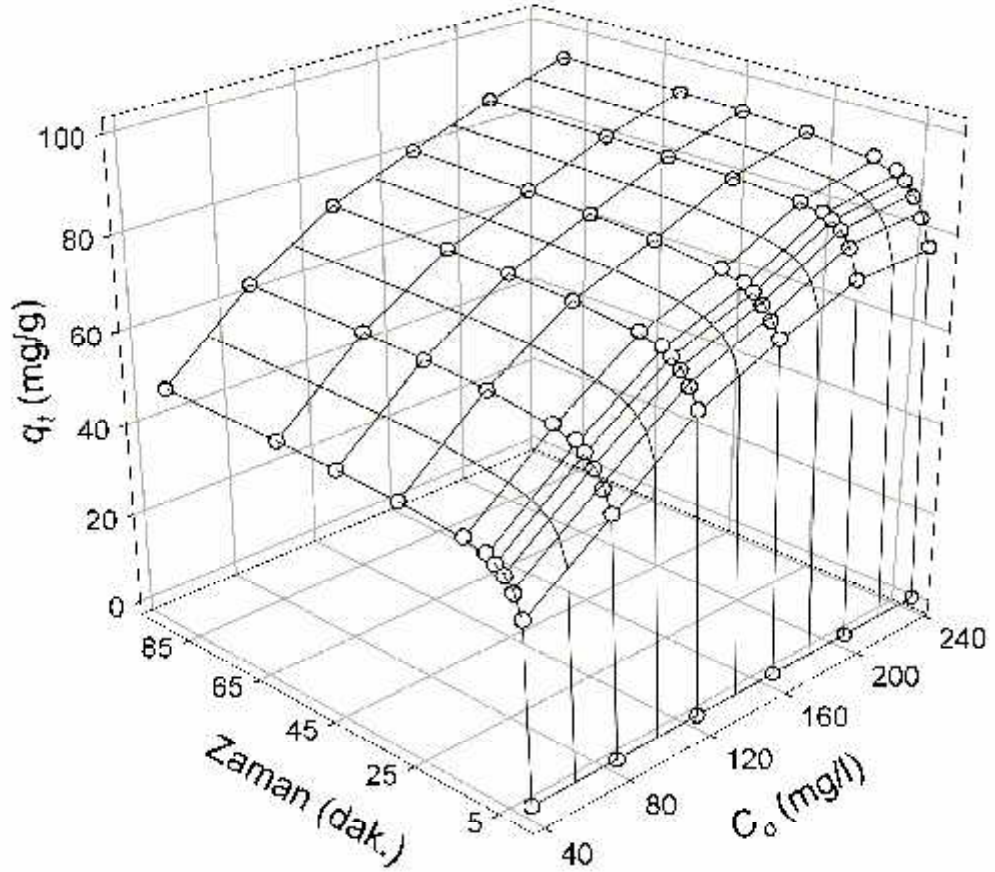
Sıcaklık, adsorpsiyon kapasitesini ve adsorpsiyon işlemini yöneten önemli parametrelerden biridir. *BK* ile RR 120'nin adsorpsiyonu farklı sıcaklık değerlerinde (298, 308, 318 ve 328 K) çalışmalar yapılmıştır. Sıcaklığın adsorpsiyon işlemi üzerinde etkileri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Çalışma sonuçları ortam sıcaklığı arttıkça *BK* ile RR 120'nin adsorpsiyon düzeyinin arttığı görülmüştür. Bu durum bu işlemin endotermik bir etkileşim olduğunu göstermektedir. Ortam sıcaklığı boya molekülleri ile adsorbent yüzeyindeki aktif bölgeler arasındaki adsorptif gücü arttırmış olabilir. RR 120'nin *Chara contraria* ile [29] ve *Hydrilla verticillata* [37] ortamdaki uzaklaştırmasında sıcaklığın benzer etkileri görülmüştür.



Şekil 4.6. Sıcaklığın RR 120'yi adsorpsiyonu üzerine etkisi (43-65 μm adsorbent parçacık büyüklüğü, pH 1 ve 0,5 g/l adsorbent dozu)

4.6 Başlangıç RR 120 ve Etkileşim Zamanının Etkisi

BK'nın reaktif boya adsorpsiyon kapasitesi 40, 80, 120, 160, 200 ve 240 mg/l başlangıç boya konsantrasyonlarında ve $t = 0-90$ dk etkileşim zamanında çalışılmıştır. Başlangıç boya konsantrasyonu ve adsorpsiyon etkileşim zamanının birim adsorbent kütle başına tutulan boya konsantrasyonuna (q_t , mg/g) etkisi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Başlangıç boya konsantrasyonlarının pH 1'deki BK'nın RR 120'yi tutma kapasitesi üzerine etkisi. (Daire sembolü deneysel verileri, çizgiler ise Logistik modelden hesaplan değerleri göstermektedir)

Başlangıç boya konsantrasyonunun 40 mg/l'den 240 mg/l'ye yükseltilmesi sonucunda adsorbent tarafından tutulan RR 120 miktarında istatistiksel olarak önemli bir farklılık ($p < 0,01$) görülmüştür. En fazla boya adsorpsiyonu 93,70 mg/g ile 240 mg/l başlangıç boya konsantrasyonunda elde edilmiştir. Başlangıç boya konsantrasyonundaki artış, sulu faz ile katı faz arasında boyanın transferi üzerinde önemli bir itici güç sağlamaktadır [14, 21, 23]. Başlangıç konsantrasyonunun artmasının difüzyon mekanizması üzerinde önemli etkiye sahip olduğu ifade edilmektedir [16, 72, 73]. Reactive Red 120'nin Antep fıstığı kabuğu ile [21], bentonit ile [61], *Hydrilla verticillata* [37] ve *Chara contraria* ile [29] artırılmasında benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın ilk 10 dakikasında RR 120 boyası adsorbent tarafından hızlı bir şekilde ortamdan uzaklaştırılmıştır (Şekil 4.7). Daha sonra boya uzaklaştırma oranı gittikçe azalmakta ve statik denge durumuna gelinceye kadar devam etmektedir. BK'nın RR 120 boyasını diğer adsorbentlere göre çok hızlı bir şekilde uzaklaştırmıştır [8, 21,27, 29, 37, 57].

4.7 RR 120'nin Kinetik Modellemesi

Çeşitli kinetik modeller, farklı çevre şartlarında kesikli adsorpsiyon kinetiğinin durumunu tanımlamak için kullanılmaktadır [74]. Çalışmada, RR 120 boyasının kinetik adsorpsiyonunu tanımlamak için literatürde yaygın olarak kullanılan ikinci derece kinetik model [65] ve son yıllarda önerilen ve kullanılan Logistik model [6, 29] tercih edilmiştir. Ayrıca, adsorpsiyon mekanizmasının iyi anlaşılması için intra partikül difüzyon modeli [72] çalışma kinetik verilerine uygulanmıştır.

Pseudo ikinci derece kinetik ve Logistik modellerin parametreleri üç sıcaklık ve altı başlangıç RR 120 boya konsantrasyonunun pH 1'deki değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Parametrelerin değerleri bir bilgisayar programı olan SigmaPlot sürüm 11 (Systat Software, Inc., California, USA) Marquardt-Levenberg algoritması yardımı ile bulunmuştur.

Pseudo ikinci derece kinetik model sabiti olan k değeri 0,0214 ile 0,0312 arasında değişmiştir. Modelin sabitinin değerleri BK ile RR 120 boyasını hızlı bir şekilde uzaklaştırdığını göstermektedir. Bu model ile BK üzerinde tutulan boya miktarı (q_{pred}) 39,66 ile 93,74 mg/g olarak bulunmuştur. Modelin tahmin ettiği değerler ile deneysel veriler arasında önemli bir fark görülmemiştir ($p < 0,05$).

Logistik modelleme sonucunda maksimum adsorpsiyon düzeyi ve adsorpsiyon oranı değerleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir. BK ile RR 120 boyasının maksimum adsorpsiyonu 40,39 ile 94,67 mg/g arasında değişmiştir. Model verileri ile deneysel ölçülen değerler arasında önemli bir fark görülmemiştir ($p < 0,05$). Logistik modellemeden elde edilen adsorpsiyon oranı 13,37 ile 37,91 mg/g/dk arasında bulunmuştur. Sıcaklık ve boya konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon oranı arttığı görülmüştür. Reaksiyonun endotermik

olduğunu ve yüksek boya konsantrasyonun boya difüzyonu üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Çalışmada kullanılan kinetik model performansları kıyaslamak için korelasyon katsayısı ve hata analizi değerleri kullanılmıştır. Pseudo ikinci mertebe kinetik modelleme sonucunda korelasyon katsayısını (R^2) 0,9952 ile 0,9991 arasında değişmiştir. Diğer taraftan Logistik modellemeye göre R^2 değeri 0,9980 ile 0,9999 şeklinde hesaplanmıştır. Hataların kareleri toplamı (SSE) analizine göre pseudo ikinci mertebe 0,2845-1,5135 ve Logistik model ise 0,2704-0,8059 arasında bulunmuştur. Gerek korelasyon katsayısının daha büyük olması gerekse hata analizi sonuçlarının daha küçük olması nedeniyle Logistik model RR 120'nin BK üzerinde adsorpsiyonunu açıklamak için daha uygun bulunmuştur.

C_0 başlangıç boya konsantrasyonunu; q_{exp} deneylerden ve q_{pred} pseudo ikinci derece kinetik modelden tahmin edilen BK tarafından tutulan boya miktarını, A maksimum boya adsorpsiyonunu, μ boya adsorpsiyon oranını ve SSE toplam hataların karesini ifade etmektedir.

RR 120 adsorpsiyonunun kinetik deneysel veriler ile Logistik modelleme sonucunda hesaplanan veriler arasında uyum Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Şekilde de açıkça görüldüğü gibi deneysel veriler ile modelden tahmin edilen değerler arasında çok iyi bir uyum olmuştur. Veriler arasındaki uyum hem çalışılan tüm boya konsantrasyonlarında hem bütün etkileşim zamanında bulunmuştur. Logistik model Cu^{+2} 'ın *Spirulina platensis* ile gideriminde ilk kez önerilmiş ve kinetik verileri çok iyi açıklamıştır [6]. Ayrıca, RR 120'nin Antep fıstığı [21] ve *Chara contraria* [29] ile sulu ortamdan uzaklaştırmasında Logistik model en uygun eşitlik olmuştur.

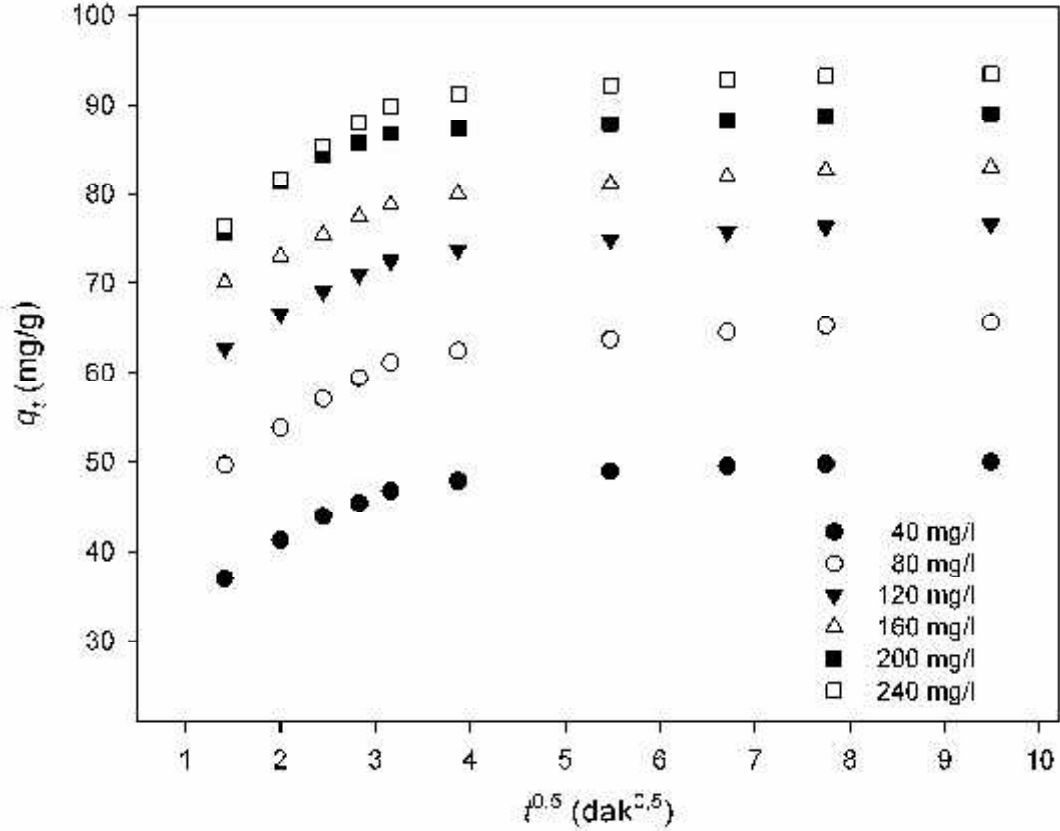
Boyarmaddenin çözüldüğü ortamdan adsorbent parçacıkların üzerine geçmesi birkaç aşamada gerçekleşmektedir. Adsorpsiyon işleminin tümü birkaç basamak tarafından kontrol edilmektedir. Bu adımlar; film veya yüzeysel difüzyon, por difüzyon, yüzey difüzyonu ve yüzey porlarındaki adsorpsiyonu içermektedir [68].

Tablo 4.1. Başlangıç boya konsantrasyonlarında, pseudo ikinci derece kinetik ve Logistik modellerinin parametrelerinin değerleri (parçacık büyüklüğü; 45-63 μm , $m=0,5$ g/l, pH 1 ve $t=90$ dk)

Sıcaklık	Pseudo ikinci derece kinetik						Logistic			
	C_0	q_{exp}	k	q_{pred}	R^2	SSE	A	μ	R^2	SSE
298 K	40	39,4	0,024	39,66	0,997	0,600	40,39	13,37	0,998	0,490
	80	53,2	0,026	53,30	0,999	0,582	54,01	19,83	0,999	0,466
	120	63,4	0,025	63,25	0,998	0,886	64,72	24,63	0,999	0,619
	160	69,7	0,026	69,34	0,997	1,059	71,27	27,66	0,999	0,715
	200	75,1	0,022	74,50	0,996	1,282	77,31	29,45	0,999	0,770
	240	78,9	0,025	78,51	0,997	1,158	80,72	31,99	0,999	0,763
308 K	40	43,6	0,025	43,58	0,996	0,755	44,58	15,36	0,998	0,603
	80	57,3	0,024	57,37	0,999	0,615	58,27	21,34	0,999	0,441
	120	67,7	0,025	66,92	0,995	1,276	70,35	26,53	0,999	0,644
	160	73,9	0,031	73,13	0,997	1,132	76,70	30,79	1,000	0,436
	200	79,5	0,026	78,43	0,995	1,514	83,35	32,41	0,999	0,688
	240	83,4	0,022	82,76	0,997	1,325	85,58	33,24	0,999	0,806
318 K	40	46,7	0,026	46,45	0,996	0,783	48,04	17,04	0,999	0,465
	80	61,7	0,022	61,59	0,999	0,629	62,75	22,99	1,000	0,352
	120	72,3	0,026	71,81	0,998	0,964	74,07	28,89	1,000	0,462
	160	78,6	0,029	78,39	0,999	0,771	79,69	32,54	1,000	0,511
	200	84,4	0,024	84,06	0,998	1,081	85,96	34,42	0,999	0,730
	240	88,6	0,019	89,03	1,000	0,552	89,30	34,57	1,000	0,530
328 K	40	50,1	0,026	50,26	0,999	0,396	50,85	18,36	1,000	0,270
	80	65,9	0,021	65,60	0,998	0,885	67,33	24,58	0,999	0,513
	120	76,8	0,026	76,31	0,998	0,873	78,35	31,20	1,000	0,370
	160	83,3	0,029	82,49	0,998	1,088	85,48	34,79	1,000	0,453
	200	89,2	0,031	89,34	1,000	0,285	89,21	37,72	1,000	0,273
	240	93,7	0,021	93,74	0,999	0,793	94,67	37,91	0,999	0,637

BK ile LR G adsorpsiyonunun intrapartikül difüzyon modellemesi Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Eğer q_t ile $t^{0,5}$ verileri arasında orjinden doğrusal olarak geçerse,

adsorpsiyon işlemi yalnızca intrapartikül difüzyon tarafından kontrol edilmektedir [68]. Şekil 4.8’de görüldüğü üzere, bütün boya konsantrasyonları için çizilen eğriler orjinden doğrusal olarak geçmemiştir. Dolayısıyla, BK ile RR 120 boyarmaddesi adsorpsiyon difüzyon işleminin iki aşama olduğunu göstermiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. BK ile Reactive Red 120 adsorpsiyonunun intra-partikül difüzyonu

RR 120'nin adsorpsiyonu iki bölümden oluşmaktadır. Doğrusal olan ilk bölümünde, adsorbentın yüzeyine RR 120 moleküllerinin hızlı difüzyonu ifade edilmektedir. İkinci aşamada, adsorpsiyon çözeltisinde boya konsantrasyonunun azalması nedeniyle difüzyonun oranı azalarak dengeye ulaşmıştır. Laksmi ve ark. [18] pirinç kabuğu tozu ile Indigo Carmin boyasının adsorpsiyonunda 2 farklı aşama olduğunu rapor etmişlerdir. Benzer adsorpsiyon davranışları önceki çalışmalarda da görülmüştür [21, 28, 29, 75].

4.8 RR 120'nin Denge Modellemesi

Çalışmada, BK ile RR 120'nin denge adsorpsiyonunu açıklamak için Langmuir ve Freundlich modelleri tercih edilmiştir. Denge modellerinin parametreleri, korelasyon katsayıları ve hata fonksiyon değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Langmuir modellemesi sonucunda, dengedeki boyanın tutma verileri 0,9966 ile 0,9990 korelasyon katsayısı (R^2) arasında açıklanabilmiştir. Bu modelleme sonuçlarına göre, maksimum boya miktarı (q_m) değeri 98,61 mg/g olarak bulunmuştur (Tablo 4.2). Maksimum adsorpsiyon miktarı sıcaklık arttıkça artmıştır. Dolayısıyla adsorpsiyon işlemi endotermiktir. Langmuir sabiti olan b_o değeri de ortam sıcaklığının artması ile artmıştır.

Tablo 4.2. BK ile Reactive Red 120 adsorpsiyonunun denge modellemesi ($C_0=40-240$ mg/l, parçacık büyüklüğü; 45-63 μ m, $m=0,5$ g/l, pH 1 ve $t=90$ dk)

Model Adı	Sıcaklık	298	308	318	328
Langmuir	q_m	87,68	90,81	94,65	98,61
	b_o	0,0494	0,0610	0,0762	0,0950
	R_L	0,1123	0,0929	0,0758	0,0619
	R^2	0,9990	0,9974	0,9970	0,9966
	SSE	0,0256	0,0268	0,0276	0,0277
Freunlich	K_F	25,9593	31,2852	37,4971	44,0579
	n	4,5549	5,1536	5,8738	6,6936
	R^2	0,9990	0,9996	0,9986	0,9958
	SSE	0,0020	0,0012	0,0020	0,0035

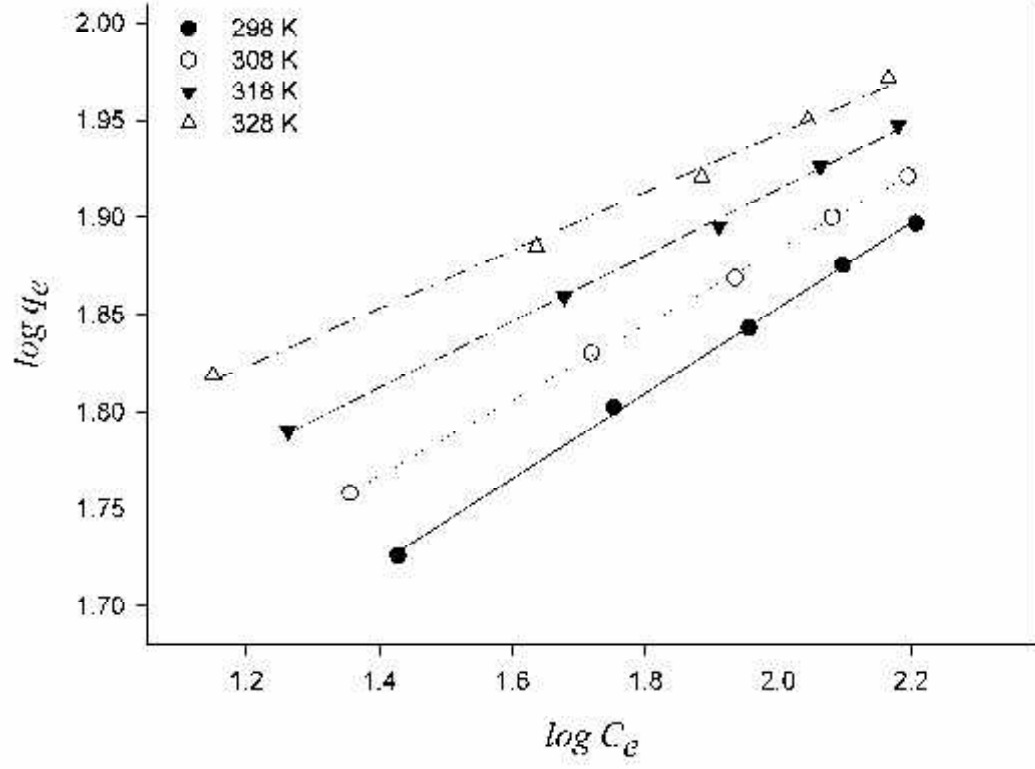
Adsorpsiyon çalışmalarında Langmuir modelinin uygunluğunun belirlenmesinde R_L değeri belirleyici olmaktadır. R_L değeri 0 ile 1 arasında olduğunda Langmuir modelin uygunluğunu desteklemektedir [10, 63, 76]. Tablo 4.2'de de görüldüğü gibi, R_L değeri

0,0129 ile 0,0244 arasında değişmiştir ve bu durum Langmuir modelinin BK ile RR 120'nin adsorpsiyonuna uygunluğunu desteklemiştir.

Freundlich model sabitlerinden K_F adsorpsiyon kapasitesi ve n ise adsorpsiyon yoğunluğu hakkında bilgi vermektedir. K_F değeri 25,9593 ile 44,0579 arasında değişirken, n değeri ise 4,5549 ile 6,6936 arasında bulunmuştur (Tablo 4.2). Freundlich modelinin sabitlerinin değerlerinin büyüklüğü sulu ortamdan RR 120'nin kolay uzaklaştırıldığını göstermektedir. Dolayısıyla, BK'nın RR 120'nin adsorpsiyonu için yüksek kapasiteye sahip olduğunu söylemek mümkündür. Benzer sonuçlar literatürde de bulunmuştur [11, 27, 29, 68].

BK ile RR 120'nin denge modellemesi sonucunda, Freundlich modeli ise R^2 0,9958 ile 0,9996 ve SSE 0,0012 ile 0,0035 arasında değişmiştir (Tablo 4.2). Freundlich modeli ile Langmuir modelinin R^2 değeri yüksek ve birbirine yakındır. Ancak diğer taraftan, Freundlich modelin SSE değeri Langmuir modeline göre on kat küçük bulunmuştur. Bu nedenle RR 120'nin adsorpsiyonu için Freundlich modeli daha uygun olduğunu göstermiştir.

Adsorpsiyon çalışmasının $\log C_e$ verilerine karşı $\log q_e$ verileri arasındaki ilişki Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekilde açıkça görüldüğü üzere denge verilerini açıklamak için Freundlich model iyi uyum göstermiştir. Dolayısıyla, seçilen boyanın BK ile adsorpsiyonunun heterojen olabileceğini göstermektedir [62].



Şekil 4.9. BK ile Reactive Red 120 adsorpsiyonunun Freundlich modellemesi

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma sonucunda ortaya çıkan bazı önemli sonuçlar;

- Çalışmada yeryüzünde çok fazla bulunan balkabağı kabuğu adsorbent olarak seçilmiştir. Dolayısıyla yaygın bir adsorbentin arıtım potansiyelinin belirlenmesi çok önem arz etmektedir.
- Adsorbentin yüzey yapısı FTIR-ATR spektroskopi ile ortaya çıkarılmış ve adsorpsiyon işleminde iş gören fonksiyonel gruplar belirlenmiştir.
- Adsorbentin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poir.) pH sıfır yük noktası pH_{syn} değeri 6,4 olarak tespit edilmiştir.
- Adsorbentin partikül büyüklüğü küçüldükçe boyaların giderim miktarı artmıştır ($p<0,01$).
- BK ile RR 120 boyarmaddesini en fazla pH 1'de ($p<0,01$) adsorbe etmiştir.
- Adsorpsiyon işlemlerinde maksimum adsorpsiyona 0,5 g/l adsorbent miktarında ulaşılmıştır.
- Adsorpsiyon miktarı sıcaklık arttıkça artmış ve endotermik bir reaksiyondur.
- Çalışılan boya konsantrasyonları arttıkça birim adsorbent başına tutulan boya miktarı da önemli oranda ($p<0,01$) artmıştır.
- Çalışmalar, BK ile RR 120 boyarmaddenin çalışmanın ilk 15 dakikasında büyük miktarını adsorbe ettiğini göstermiştir.
- Sigmoidal Logistik model deneysel kinetik verileri daha iyi açıklamıştır.

Freundlich izoterm yüksek güvenilirlikte çalışılan boyaların adsorpsiyonlarını açıklamak için yeterli olmuştur.

Bu çalışmadan çıkan sonuçlara ve edinilen gözlemlere göre ortaya çıkan öneriler ise aşağıda sıralanmıştır:

- Balkabağı kabuğu (BK) sulu ortamdan boyaların uzaklaştırılmasında önemli potansiyele sahiptir. Bu öncü çalışma BK'nın tekstil endüstrisinde yaygın kullanılan bu boyaların yüksek kapasitede sulu ortamdan uzaklaştırıldığını göstermiştir.
- Adsorbentin boya arıtımını çok hızlı bir şekilde gerçekleştirmiştir. Daha sonra, yapılacak orta ve büyük ölçekteki çalışmalarda adsorbentin arıtım koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Böylece, düşük maliyette adsorbent ile atık suların arıtılması ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Ayrıca, doğal bir maddenin arıtımda kullanılması ekolojik dengenin korunmasında önemli rol oynayacaktır.
- Balkabağı, ülkemizin her bölgesinde fazla miktarda yetişmekte ve balkabağı kabuğu kullanılmayıp fazla miktarda kuru biyokütle üretmesi nedeniyle potansiyel bir adsorbent olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Bhatnagar, A., Sillanpaa, M., Utilization of agro-industrial and municipal waste as potential adsorbents for water treatment. A review, *Chemical Engineering Journal*, 157, 277-296, 2010.
2. Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., Ahmad, A., Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review, *Journal of Hazardous Materials*, 177, 70-80, 2010.
3. Salleh, M. A. M., Mahmoud, D. K., Karim, W. A. W. A., Idris, A., Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review, *Desalination*, 280, 1-13, 2011.
4. Aksu, Z., Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review, *Process Biochem*, 40, 997-1026, 2005.
5. Crini, G., Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review, *Bioresource Technology*, 97, 1061-1085, 2006.
6. Çelekli, A., Yavuzatmaca, M., Bozkurt, H., An ecofriendly process: predictive modelling of copper adsorption from aqueous solution on *Spirulina platensis*, *Journal of Hazardous Materials*, 173, 123-129, 2010a.
7. Chang, J. S., Law, R., Chang, C. C., Biosorption of lead, copper and cadmium by biomass of *Pseudomonas aeruginosa* PU21, *Water Research*, 31, 1651-1658, 1997.
8. Arıca, M. Y., Bayramoğlu, G., Biosorption of Reactive Red-120 dye from aqueous solution by native and modified fungus biomass preparations of *Lentinus sajor-caju*, *Journal of Hazardous Materials*, 149, 499-507, 2007.
9. Dönmez, G., Aksu, Z., Removal of chromium (VI) from wastewaters by *Dunaliella* species, *Process Biochemistry*, 38, 751-762, 2002.
10. Çelekli, A., Tanrıverdi, B., Bozkurt, H., Predictive modeling of removal of Lanaset Red G on *Chara contraria*; kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies, *Chemical Engineering Journal*, 169, 166-172, 2011.
11. Han, R., Han, P., Cai, Z., Zhao, Z., Tang, M., Kinetics and isotherms of neutral red adsorption on peanut husk, *Journal of Environmental Sciences*, 20, 1035-1041, 2008.

12. Ardejani, F. D., Badii, K., Limaee, N. Y., Shafaei, S. Z., Mirhabibi, A. R., Adsorption of Direct Red 80 dye from aqueous solution onto almond shells: Effect of pH, initial concentration and shell type. *Journal of Hazardous Materials*, 151, 730-737, 2008.
13. Hameed, B. H., El-Khaiary, M. I., Sorption kinetics and isotherm studies of a cationic dye using agricultural waste: broad bean peels, *Journal of Hazardous Materials*, 154, 639-648, 2008.
14. Doğan, M., Karaoğlu, M. H., Alkan, M., Adsorption kinetics of maxilon yellow 4GL and maxilon red GRL dyes on kaolinite, *Journal of Hazardous Materials*, 165, 1142-1151, 2009.
15. Hameed, B. H., Krishni, R. R., Sata, S. A., A novel agricultural waste adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solutions, *Journal of Hazardous Materials*, 162, 305-311, 2009.
16. Chowdhury, S., Chakraborty, S., Saha, P., Biosorption of Basic Green 4 from aqueous solution by *Ananas comosus* (pineapple) leaf powder, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 84, 520–527, 2011a.
17. Lakshmi, U. R., Srivastava, V. C., Mall, I. D., Lataye, D. H., Rice husk ash as an effective adsorbent: Evaluation of adsorptive characteristics for Indigo Carmine dye, *J. Environ. Manage.*, 90, 710-720, 2009.
18. Xu, X., Gao, B. Y., Yue, Q. Y., Zhong, Q. Q., Preparation and utilization of wheat straw bearing amine groups for the sorption of acid and reactive dyes from aqueous solutions, *Journal of Hazardous Materials*, 182, 1-9, 2010.
19. Song, J., Zou, W., Bian, Y., Su, F., Han, R., Adsorption characteristics of methylene blue by peanut husk in batch and column modes. *Desalination*, 265, 119-125, 2011.
20. Gupta, V. K., Jain, R., Shrivastava, M., Adsorptive removal of Cyanosine from waste water using coconut husks, *J. Colloid Interf. Sci.*, 347, 309-314, 2010.
21. Çelekli, A., Yavuzatmaca, M., Bozkurt, H., Modelling for removing of reactive red 120 on pistachio husk, *Clean*, 38, 173-180, 2010b.
22. Çelekli, A., Birecikligil, S. S., Geyik, F., Bozkurt, H., Prediction of removal efficiency of Lanaset Red G on walnut husk using artificial neural network model, *Bioresource Technology*, 103, 64-70, 2012a.

23. Demirbaş, A., Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review, *Journal of Hazardous Materials*, 167, 1-9, 2009.
24. Srinivasan, A., Viraraghavan, T., Decolorization of dye wastewaters by biosorbents: A review, *J. Environ. Manage.*, 91, 1915-1929, 2010.
25. Çelekli, A., Bozkurt, H., Bio-sorption of cadmium and nickel ions using *Spirulina platensis*: Kinetic and equilibrium studies, *Desalination*, 275, 141-147, 2011.
26. Aksu, Z., Tezer, S., Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*, *Process Biochem*, 40, 1347-1361, 2005.
27. Çelekli, A., Yavuzatmaca, M., Bozkurt, H., Kinetic and equilibrium studies on biosorption of reactive red 120 from aqueous solution on *Spiriogyra majuscula*, *Chemical Engineering Journal*, 152, 139-145, 2009.
28. Tanrıverdi, B., *Chara contraria* ile Lanaset Red G'nin Artımı. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 80s, 2010.
29. Çelekli, A., İlgün G., Bozkurt, H., Sorption equilibrium, kinetic, thermodynamic, and desorption studies of Reactive Red 120 on *Chara contraria*, *Chemical Engineering Journal*, 191, 228-235, 2012b.
30. Başer, I., İnancı, Y., Boyar madde kimyası. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, 1990.
31. Gupta, V. K., Suhas, Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *Journal of Environmental Management* 90, 2313–2342, 2009.
32. Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P., Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative, *Bioresource Technology*, 77, 247-255, 2001.
33. Clarke, E. A., Anliker, R., Organic dyes and pigments. In: *The Handbook of Environmental Chemistry-Vol. 3. Part A. Anthropogenic Compounds*, Hutzinger, O. (Ed.), Springer-Verlag, Heidelberg, 181-215, 1980.
34. Banat, I. M., Nigam, P., McMullan, G., Marchant, R., Singh, D., Microbial decolorization of textile dye containing effluents. A Review, *Bioresource Technology*, 58, 217-27, 1996.
35. Fu, Y., Viraraghavan, T., Removal of Congo Red from an aqueous solution by fungus *Aspergillus niger*, *Advances in Environmental Research*, 7, 239 2002.

36. Oturkar, C. C., Nemade, H. N., Mulik, P. M., Patole, M. S., Hawaldar, R. R., Gawai, K. R., Mechanistic investigation of decolorization and degradation of Reactive Red 120 by *Bacillus lentus* BI377, *Bioresource Technology*, 102, 758-764, 2011.
37. Naveen, N., Saravanan, P. G., Baskar, S., Renganathan, Equilibrium and kinetic modeling on the removal of Reactive Red 120 using positively charged *Hydrilla verticillata*, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 42, 463-469, 2011.
38. Gadd, G. M., Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. A review, *Society Chem. Industry*, 84, 13-28, 2009.
39. Özer, A., Akaya, G., Turabik, M., Biosorption of Acid Red 274 (AR 274) on *Enteromorpha prolifera* in a batch system, *Journal of Hazardous Materials*, 126, 119-127, 2005.
40. Alkan, M., Doğan, M., Turhan, Y., Demirbaş, Ö., Turan, P., Adsorption kinetics and mechanism of maxilon blue 5G dye on sepiolite from aqueous solutions, *Chemical Engineering Journal*, 139, 213-223, 2008.
41. Özer, A., Akaya, G., Turabik, M., The removal of acid red 274 from wastewater: combined biosorption and biocoagulation with *Spirogyra rhizopus*, *Dyes Pigments*, 71, 83-89, 2006.
42. Bayramoğlu, G., Arıca, M. Y., Biosorption of benzidine based textile dyes "Direct Blue 1 and Direct Red 128" using native and heat-treated biomass of *Trametes versicolor*, *Journal of Hazardous Materials*, 143, 135-143, 2007.
43. Aksu, Z., Karabayır, G., Comparison of biosorption properties of different kinds of fungi for the removal of Gryfalan Black RL metal-complex dye, *Bioresource Technology*, 99, 7730-7741, 2008.
44. Bekçi, Z., Seki, Y., Cavas, L., Removal of malachite green by using an invasive marine alga *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. *Journal of Hazardous Materials*, 161, 1454-1460, 2009.
45. İyim, T. B., Güçlü, G., Removal of basic dyes from aqueous solutions using natural clay, *Desalination*, 249, 1377-1379, 2009.
46. Doğan, M., Karaoğlu, M. H., Alkan, M., Adsorption kinetics of maxilon yellow 4GL and maxilon red GRL dyes on kaolinite, *Journal of Hazardous Materials*, 165, 1142-1151, 2009.

47. Taştan, B. E., Ertuğrul, S., Dönmez, G., Effective bioremoval of reactive dye and heavy metals by *Aspergillus versicolor*, *Bioresource Technology*, 101, 870-876, 2010.
48. Aksu, Z., Ertuğrul, S., Dönmez, G., Methylene Blue biosorption by *Rhizopus arrhizus*: Effect of SDS (sodium dodecylsulfate) surfactant on biosorption properties, *Chemical Engineering Journal*, 158 (3), 474-481, 2010.
49. Balkaya, A., Özbakır, M., Karaağaç, O., Karadeniz Bölgesinden toplanan balkabağı (*Cucurbita moschata* Duch.) populasyonlarının karakterizasyonu ve meyve özelliklerindeki varyasyonun değerlendirilmesi, *Ankara Tarım Bilimleri Dergisi*, 16 (1):1725, 2010.
50. Arief, V. O., Trilestari, K., Sunarso, J., Indraswati, N., Ismadji, S., Recent progress on biosorption of heavy metals from liquids using low cost biosorbents: characterization, biosorption parameters and mechanism studies: A review, *Clean*, 36, 937-962, 2008.
51. Aksu, Z., Tezer, S., Equilibrium and kinetic modeling of biosorption of Remazol Black B by *Rhizopus arrhizus* in a batch system: effect of temperature, *Process Biochemistry*, 36, 431-439, 2000.
52. O'Mahony, T., Guibal, E., Tobin, J. M., Reactive dye biosorption by *Rhizopus arrhizus* biomass, *Enzyme and Microbial Technology* 31, 456-463, 2002.
53. Aksu, Z., Dönmez, G., A comparative study on the biosorption characteristics of some yeasts for Remazol Blue Reactive dye, *Chemosphere*, 50(8), 1075-1083, 2003.
54. Farah, J. Y., El-Gendy, N. S., Performance and Kinetic Studies on Biosorption of Astrazon Blue Dye by Dried Biomass of Baker's Yeast as a Low Cost Biosorbent, *Bioscience Biotechnology Research Asia*, 4, 359-370, 2007.
55. Karim, A. B., Mounir, B., Hachkar, M., Bakasse, M., Yaacoubi, A., Removal of Basic Red 46 dye from aqueous solution by adsorption onto Moroccan clay, *Journal of Hazardous Materials*, 168, 304-309, 2009.
56. Kittinaovarat, S., Kansomwan, P., Jiratumnukul, N., Chitosan/modified montmorillonite beads and adsorption Reactive Red 120, *Applied Clay Science*, 48, 87-91, 2010.

57. Tabak, A., Baltas, N., Afsin, B., Emirik, M., Çağlar, B., Eren, E., Adsorption of Reactive Red 120 from aqueous solutions by cetylpyridinium-bentonite, *Journal of Chemical Technology Biotechnology*, 85, 1199–1207, 2010.
58. Absalan, G., Asadi, M., Kamran, S., Sheikhan, L., Goltz, D. M., Removal of Reactive Red-120 and 4-(2-pyridylazo) resorcinol from aqueous samples by Fe₃O₄ magnetic nanoparticles using ionic liquid as modifier, *Journal of Hazardous Materials*, 192, 476–484, 2011.
59. Kumar, K. V., Porkodi, K., Mass transfer, kinetics and equilibrium studies for the biosorption of methylene blue using *Paspalum notatum*, *Journal of Hazardous Materials*, 146, 214-226, 2007.
60. Ho, Y. S., McKay, G., Pseudo second-order model for sorption processes, *Process Biochemistry*, 34, 451-465, 1999.
61. Zwietering, M. H., Jongenburger, I., Rombouts, F. M., Riet, K. V., Modeling of bacterial growth curve, *Appl. Environ. Microbiol.*, 56, 1875-1881, 1990.
62. Weber, W. J., Morris, J. C., Kinetics of adsorption on carbon from solution, *Journal of the Sanitary Engineering Division American Society of Civil Engineering*, 89, 31–59, 1963.
63. Foo, K. Y., Hameed, B. H., Insights into the modeling of adsorption isotherm systems, *Chemical Engineering Journal*, 156, 2–10, 2010.
64. Langmuir, I., The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica, and platinum, *J. American Chemical Society*, 40, 1361-1368, 1918.
65. Freundlich, H., Adsorption in solution, *Physical and Chemical Society*, 40, 1361–1368, 1996.
66. Mahmoodi, N. M., Arami, M., Bahrami, H., Khorramfar, S., Novel biosorbent (Canola hull): Surface characterization and dye removal ability at different cationic dye concentrations, *Desalination*, 264, 134-142, 2010.
67. Yang, J., Qiu, K., Preparation of activated carbons from walnut shells via vacuum chemical activation and their application for methylene blue removal, *Chemical Engineering Journal*, 165, 209-217, 2010.
68. Fiorentin, L. D., Trigueros, D. E. G., Móenes, A. N., Espinoza-Quiñones, F. R., Pereira, N. C., Barros, S. T. D. ve Santos, O. A. A., Biosorption of reactive blue 5G dye onto drying orange bagasse in batch system: Kinetic and equilibrium modeling, *Chemical Engineering Journal*, 163, 68-77, 2010.

69. Aravindhan, R., Rao, J. R., Nai, B. U., Removal of basic yellow dye from aqueous solution by sorption on green alga *Caulerpa scalpelliformis*, *Journal of Hazardous Materials*, 142, 68–76, 2007.
70. Kumar, P. S., Ramalingam, S., Senthamarai, C., Niranjanaa, M., Vijayalakshmi, P., Sivanesan, S., Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions, *Desalination*, 261, 52-60, 2010.
71. Cardoso, N. F., Lima, E. C., Pinto, I. S., Amavisca, C. V., Royer, B., Pinto, R. B., Alencar, W. S., Pereira, S. F. P., Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution, *Journal of Environmental Management*, 92, 1237-1247, 2011.
72. Khataee, A. R., Dehghan, G., Ebadi, A., Zarei, M., Pourhassan, M., Biological treatment of a dye solution by macroalgae *Chara* sp.: Effect of operational parameters, intermediates identification and artificial neural network modeling, *Bioresource Technology*, 101, 2252–2258, 2010.
73. Wang, L., Zhang, J., Zhao, R., Li, C., Li, Y., Zhang, C., Adsorption of basic dyes on activated carbon prepared from *Polygonum orientale* Linn: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies, *Desalination*, 254, 68-74, 2010.
74. Plazinski, W., Rudzinski, W., Plazinska, A., Theoretical models of sorption kinetics including a surface reaction mechanism: A review, *Adv. Colloid. Interface Sci.*, 152, 2-13, 2009.
75. Mane, V. S., Mall, I. D., Srivastava, V. C., Kinetic and equilibrium isotherm studies for the adsorptive removal of Brilliant Green dye from aqueous solution by rice husk ash, *J. Env. Manage.*, 84, 390-400, 2007.
76. Leechart, P., Nakbanpote, W., Thiravetyan, P., Application of waste wood-shaving bottom ash for adsorption of azo reactive dye, *J. Env. Manage.*, 90, 912-920, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Fadime ÇELEKLİ, 1977 yılında Konya’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Akşehir’de tamamladı. 1995’de kazandığı Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü’nden 2000 yılında mezun oldu. 2000-2002 yılları arasında sözleşmeli öğretmenlik yaptı. 2002-2011 yılları arasında Çevre ve Orman Bakanlığı, Konya, Bolu ve Gaziantep Çevre ve Orman Müdürlüğü’nde Biyolog olarak çalıştı. 2007-2011 yılları arasında, Gaziantep Çevre ve Orman İl Müdürlüğü Keklik Üretim İstasyonunun kurulması, faaliyete geçirilmesi ve üretimini yaptı. 2011 yılında Nevşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. Evli olup, 2011 yılından beri Gaziantep Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde Biyolog olarak görevine devam etmektedir.

Adres : Gaziantep Üniversitesi Lojmanları, E Blok No: 50
Şahinbey, GAZİANTEP

Telefon : 0 342 317 28 50

e-posta : fadimecelekli_f@hotmail.com

