T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK SULARDAN KEFİR BİYOKÜTLESİ İLE REAKTİF BOYAR MADDE GİDERİMİ

ALİ OSMAN ERDOĞDULAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. DİLEK KILIÇ APAR

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK SULARDAN KEFİR BİYOKÜTLESİ İLE REAKTİF BOYAR MADDE GİDERİMİ

Ali Osman ERDOĞDULAR tarafından hazırlanan tez çalışması 27.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Dilek KILIÇ APAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Dilek KILIÇ APAR

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Emel AKYOL

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Korkut AÇIKALIN

Yalova Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Tüketimin hızla arttığı günümüz dünyasında geri dönüşüm ve arıtma işlemleri çevre korunumu ve tüm canlıların sağlığı için büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, okuyacağınız çalışma da arıtma işlemlerine katkı sağlayabilmek adına yapılmıştır. Tezin her aşamasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen hocam Doç. Dr. Dilek KILIÇ APAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi deteklerini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Kasım, 2018

Ali Osman ERDOĞDULAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xv

ABSTRACT xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 3

BÖLÜM 2

BOYAR MADDE 5

2.1 Boyar Maddelerin Sınıflandırılması 6
2.1.1 Boyar Maddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması 7
2.1.1.1 Suda Çözünen Boyar Maddeler 7
2.1.1.2 Suda Çözünmeyen Boyar Maddeler 7
2.2 Boyama Özelliklerine Göre Boyar Maddeler 7
2.2.1 Bazik (Katyonik) Boyar Maddeler 7
2.2.2 Asit (Anyonik) Boyar Maddeler 8
2.2.3 Direkt Boyar Maddeler 8
2.2.4 Mordan Boyar Maddeler 9
2.2.5 Reaktif Boyar Maddeler 9
2.2.6 Küpe (Vat) Boyar Maddeleri 10
2.2.7 İnkişaf (Azoik) Boyar Maddeleri 10
2.2.8 Dispers Boyar Maddeler 10
2.2.9 Pigment 11

2.3 Boyar Maddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması 11
2.4 Boyar Maddelerin Zararlı Etkileri 12

BÖLÜM 3

RENKLİ ATIKSU VE ARITMA YÖNTEMLERİ 14

3.1 Dünyada ve Türkiye'de Renkli Atık Su 14
3.2 Renkli Atık Su Üreten Endüstriler 17
3.2.1 Tekstil Endüstrisi 17
3.2.2 Deri Endüstrisi 19
3.2.3 Gıda ve İçecek Endüstrisi 20
3.2.4 Kağıt Endüstrisi 20
3.2.5 Diğer Edüstriler 21
3.3 Renkli Atık Sulardan Boyar Madde Giderim Yöntemleri 21
3.3.1 Kimyasal Yöntemler 21
3.3.2 Fiziksel Yöntemler 22
3.3.2.1 Adsorpsiyon 22
3.3.2.2 Membran Filtrasyonu 23
3.3.2.3 Koagulasyon – Flokulasyon 23
3.3.2.4 Radyasyonlama 24
3.3.3 Biyolojik Yöntemler 24
3.3.4 Atık Su Arıtma Tesislerindeki Genel Proses 25
3.3.5 Türkiye'de Atık Su Arıtma Tesisleri 25

BÖLÜM 4

KEFİR 27

4.1 Kefir Tanelerinin Mikroflorası ve Üretimi 28
4.2 Kefir Tanelerinin Muhafazası 30
4.3 Türkiye'de ve Dünyada Kefir Üretimi 30

BÖLÜM 5

ADSORPSIYON 32

5.1 Adsorpsiyon Mekanizması 33
5.2 Adsorpsiyon Türleri 33
5.2.1 Fiziksel Adsorpsiyon 33
5.2.2 Kimyasal Adsorpsiyon 34
5.2.3 Biyolojik Adsorpsiyon (Biyosorpsiyon) 34
5.3 Adsorpsiyonu Etkileyen Parametreler 35
5.3.1 Çözelti pH'ının Etkisi 35
5.3.2 Başlangıç adsorbat konsantrasyonu 35
5.3.3 Sıcaklığın etkisi 35
5.3.4 Adsorban Miktarının Etkisi 36
5.3.5 Adsorbanın Yüzey Alanı 36
5.3.6 Adsorbanın Yapısı 36
5.3.7 Temas Süresi 37
5.3.8 Çalkalama Hızı 37

5.4 Sıvı Fazdan Boyar Madde Giderimi İçin Kullanılan Çeşitli Adsorbanlar .. 37
5.4.1 Aktif Karbon 37
5.4.2 Katı Tarım Atıkları 38
5.4.3 Sanayi Yan Ürünleri 39
5.4.4 Kil 39
5.4.5 Silisli malzemeler 40
5.4.6 Zeolit 40
5.4.7 Biyosorbanlar 40
5.4.7.1 Kitin ve Kitosan 41
5.4.7.2 Biyokütle 41
5.5 Adsorpsiyon İzoterm Modelleri 42
5.5.1 Langmuir İzotermi 42
5.5.2 Freundlich İzotermi 43
5.5.3 Temkin İzotermi 44
5.6 Adsorpsiyon Kinetiğini İfade Etmek İçin Kullanılan Modeller 44
5.6.1 Birinci Mertebe Kinetik Model 44
5.6.2 İkinci Mertebe Kinetik Model 45
5.6.3 Yalancı Birinci Mertebeden Kinetik Model 45
5.6.4 Yalancı İkinci Mertebeden Kinetik Model 46
5.6.5 Partiküliçi Difüzyon Modeli 46
5.6.6 Elovich Kinetik Modeli 47

BÖLÜM 6

BİYOSORPSİYON İLE BOYAR MADDE GİDERİM ÇALIŞMALARI 49

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMA 58

7.1 Kullanılan Materyaller 58
7.1.1 Boyar Madde 58
7.1.2 Kefir Taneleri 58
7.1.2.1 Kefir Tanelerinin Aktivasyonu 58
7.1.2.2 Kefir Tanelerinin İnaktivasyonu 58
7.2 Kullanılan Cihazlar 59
7.3 Adsorpsiyon Deneyleri 59
7.3.1 Kalibrasyon Eğrilerinin Oluştrulması 60
7.3.2 Hesaplamalar 62
7.4 Teorik (İstatiksel) Çalışma 62

BÖLÜM 8

ARAŞTIRMA BULGULARI 63

8.1 Boyar Madde Giderimine Başlangıç pH'ının Etkisi 63
8.2 Boyar Madde Giderimine Sıcaklığın Etkisi 70
8.3 Boyar Madde Giderimine Çalkalama Hızının Etkisi 77
8.4 Boyar Madde Giderimine Boyar Madde Konsantrasyonunun Etkisi 77
8.5 Kinetik Verilerin Modellenmesi 87
8.6 Adsorpsiyon İzotermi 98

BÖLÜM 9

SONUÇ VE ÖNERİLER 102

KAYNAKLAR 105

EK-A

YALANCI 2. MERTEBE VE ELOVICH KİNETİK MODEL SABİTLERİ VE İSTATİSTİKSEL VERİLER 118

EK-B

ÇEŞİTLİ BİYOSORBANLARLA BOYAR MADDE GİDERİMİ ÇALIŞMALARININ DENEYSEL ŞARTLARI VE SONUÇLARI 124

ÖZGEÇMİŞ 131

SİMGE LİSTESİ

b	Adsorpsiyon ısısı ile ilişkili Temkin sabiti
C_e	Dengede çözeltideki adsorbat konsantrasyonu
C_t	t anındaki adsorbat konsantrasyonunu
C_0	Başlangıçtaki adsorbat konsantrasyonunu
K_F	Freundlich izoterm sabiti
K_L	Langmuir izoterm sabiti
k_p	Partiküliçi difüzyon hız sabiti
K_T	Temkin izoterm sabiti
k_1	Birinci derece hız sabiti
k_2	İkinci derece hız sabiti
m	Adsorbanın kuru ağırlığı
q_e	Dengede adsorplanan miktar ya da kapasite
q_m	Maksimum adsorpsiyon kapasitesi
R_L	Adsorbanın adsorbata uygunluk faktörü
V	Çözelti hacmi
α	Başlangıç adsorpsiyon hız sabiti
β	Yüzey kaplanma ve kimyasal adsorpsiyon aktivasyon enerjisine bağlı sabit

KISALTMA LİSTESİ

ADMI	American Dye Manufacturer Institute
BIS	Bureau Indian Standards (Hin Standartları Dairesi)
DAF	Dissolved Air Flotation (Çözünmüş Hava Flotasyonu)
DSİ	Devlet su İşleri
DTAB	Dodesil trimetil amonyum bromür
ICI	Imperial Chemical Industries
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MF	Mikrofiltrasyon
NF	Nanofiltrasyon
PID	Proportional – Integral – Derivative kontrol sistemi
STAB	Setil trimetil amonyum bromid
TO	Ters Osmos
UF	Ultrafiltrasyon
USPHS	United States Public Health Services (ABD Halk Sağlığı Hizmetleri)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Dünyada artıma işlemi uygulanan ve uygulanmayan atık su oranları ...16
Şekil 3.2 Türkiye'de renkli atık su üretimi yapan firmaların yüzdesel dağılımı 16
Şekil 3.3 İstanbul ileri biyolojik arıtma tesisi proses akım şeması.....26
Şekil 4.1 Kefir tanesi 28
Şekil 4.2 Kefir tanelerinin oluşumunun şematik gösterimi 29
Şekil 7.1 Remazol Ultra Red RGB reaktif boyar maddesi için kalibrasyon grafiği 61
Şekil 7.2 Remazol Navy RGB reaktif boyar maddesi için kalibrasyon grafiği 61
Şekil 8.1 Farklı başlangıç pH değerlerinde, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderim verimi 65
Şekil 8.2 Farklı başlangıç pH değerlerinde, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderim verimi 65
Şekil 8.3 Farklı başlangıç pH değerlerinde, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderim verimi 68
Şekil 8.4 Farklı başlangıç pH değerlerinde, inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderim verimi 68
Şekil 8.5 Farklı sıcaklıklarda, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi 72
Şekil 8.6 Farklı sıcaklıklarda, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi 72
Şekil 8.7 Farklı sıcaklıklarda, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi 75
Şekil 8.8 Farklı sıcaklıklarda, inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi 75
Şekil 8.9 Farklı çalkalama hızlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi 79
Şekil 8.10 Farklı çalkalama hızlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi 79
Şekil 8.11 Farklı Başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi 82
Şekil 8.12 Farklı Başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi 82
Şekil 8.13 Farklı Başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi 85
Şekil 8.14 Farklı Başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi 85

Şekil 8.15 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile (a) farklı pH değerlerinde, (b) farklı sıcaklıklarda, (c) farklı çalkalama hızlarında, (d) faklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında adsorpsiyonu için yalancı 1. mertebe kinetik modelin deneysel verilere uygunluğu 93
Şekil 8.16 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile (a) farklı pH değerlerinde, (b) farklı sıcaklıklarda, (c) faklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, adsorpsiyonu için yalancı 1. mertebe kinetik modelin deneysel verilere uygunluğu 94
Şekil 8.17 Remazol Navy RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile (a) farklı pH değerlerinde, (b) farklı sıcaklıklarda, (c) farklı çalkalama hızlarında, (d) faklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, adsorpsiyonu için yalancı 1. mertebe kinetik modelin deneysel verilere uygunluğu 95
Şekil 8.18 Remazol Navy RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile (a) farklı pH değerlerinde, (b) farklı sıcaklıklarda, (c) faklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, adsorpsiyonu için yalancı 1. mertebe kinetik modelin deneysel verilere uygunluğu 96
Şekil 8.19 Remazol Ultra Red RGB'nin aktif kefir tanelerine adsorpsiyonunda Temkin İzotermi grafiği 99
Şekil 8.20 Remazol Ultra Red RGB'nin inaktif kefir tanelerine adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi grafiği 99
Şekil 8.21 Remazol Navy RGB'nin aktif kefir tanelerine adsorpsiyonunda Temkin İzotermi grafiği 100
Şekil 8.22 Remazol Navy RGB'nin aktif kefir tanelerine adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi grafiği 100

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Amerika ve Hinistan'da çeşitli endüstrilerde üretilen atık su miktarları ve renklilik limitlerinin karşılaştırılması 15

Çizelge 4.2 Standart ve deneysel yöntemle üretilen kefir tanelerinin kompozisyonu 29

Çizelge 7.1 Remazol Ultra Red RGB Reaktif boyar maddesi için boya konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerleri 60

Çizelge 7.2 Remazol Navy RGB Reaktif boyar maddesi için boya konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerleri 61

Çizelge 8.1 Farklı başlangıç pH değerlerinde, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 66

Çizelge 8.1 Farklı başlangıç pH değerlerinde, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 66

Çizelge 8.2 Farklı başlangıç pH değerlerinde, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 67

Çizelge 8.3 Farklı başlangıç pH değerlerinde, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 69

Çizelge 8.4 Farklı başlangıç pH değerlerinde, inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 70

Çizelge 8.5 Farklı sıcaklıklarda, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 73

Çizelge 8.6 Farklı sıcaklıklarda, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 74

Çizelge 8.7 Farklı sıcaklıklarda, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri....76
Çizelge 8.8 Farklı sıcaklıklarda, inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri ...77
Çizelge 8.9 Farklı çalkalama hızlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 80
Çizelge 8.10 Farklı çalkalama hızlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 80
Çizlge 8.11 Farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 83
Çizlge 8.12 Farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri.....84
Çizlge 8.13 Farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 86
Çizlge 8.14 Farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri 87
Çizelge 8.15 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 1. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 89
Çizelge 8.16 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 1. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 90
Çizelge 8.17 Remazol Navy RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 1. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 91
Çizelge 8.18 Remazol Navy RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 1. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 92
Çizelge 8.19 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin sulu çözeltilerden aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen deneysel ve teorik denge verileri 98

Çizelge 8.20 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin sulu çözeltilerden inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen deneysel ve teorik denge verileri 98
Çizelge 8.21 Remazol Navy RGB boyar maddesinin sulu çözeltilerden aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen deneysel ve teorik denge verileri 98
Çizelge 8.22 Remazol Navy RGB boyar maddesinin sulu çözeltilerden inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen deneysel ve teorik denge verileri 98
Çizelge 8.23 Modelleme çalışmaları sonucunda izoterm modelleri için elde edilen denklem katsayıları ve istatistik değerler 99
Çizelge A-1 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 117
Çizelge A-2 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen Elovich kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 118
Çizelge A-3 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 119
Çizelge A-4 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen Elovich kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 119
Çizelge A-5 Remazol Navy RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 120
Çizelge A-6 Remazol Navy RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen Elovich kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 121
Çizelge A-7 Remazol Navy RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 122
Çizelge A-8 Remazol Navy RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen Elovich kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler 122
Çizelge B-1 Literartürde boyar madde gideriminde farklı biyosorbanlarla yapılmış benzer çalışmaların şartları ve sonuçları (% Boyar madde giderimi/ adsorpsiyon kapasitesi) 123

ÖZET

ATIK SULARDAN KEFİR BİYOKÜTLESİ İLE REAKTİF BOYAR MADDE GİDERİMİ

Ali Osman ERDOĞDULAR

Kimya Mühendisliği Anabilimdalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Dilek Kılıç APAR

Bu çalışmada, aktif ve inaktif kefir taneleri ile sulu çözeltilerden boyar madde giderimi incelenmiştir. Çalışma için Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB, hedef boyar maddeler olarak seçilmiş ve boyar madde giderimi için deneyler kesikli olarak, farklı pH (2-8), sıcaklık (18-39°C) ve başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında (50-400 mg/L) gerçekleştirilmiştir. Aktif ve inaktif kefir taneleri ile 25°C sıcaklıkta, 100 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonunda, 2.4 g/L kefir tanesi kullanılarak 180 dakika süre ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda, Remazol Ultra Red RGB boyar maddesi için sırası ile %93 ve %56.4 ve Remazol Navy RGB boyar maddesi için sırası ile %96.3 ve %79.4 boyar madde giderimi elde edilmiştir. İncelenen tüm koşullarda inaktif kefir tanelerine kıyasla aktif kefir taneleri ile daha yüksek renk giderim verimleri elde edilmiştir. Aktif ve inaktif kefir taneleri için maksimum adsorpsiyon kapasite değerleri sırası ile 134.59 ve 56.92 mg/g olarak elde edilmiştir. Gerçekleştirilen modelleme çalışmaları sonucunda, kefir taneleri ile boyar madde biyosorpsiyon kinetiğinin yalancı birinci derece kinetik modeli ile, biyosorpsiyon dengesinin ise aktif ve inaktif kefir taneleri için sırası ile Temkin ve Langmuir izoterm modelleri ile ifade edilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boyar madde giderimi, biyosorpsiyon, kefir tanesi, modelleme, kinetik

ABSTRACT

REMOVAL OF REACTIVE DYES FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY KEFIR BIOMASS

Ali Osman ERDOĞDULAR

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Dilek Kılıç APAR

In the present study the potential use of living and non-living kefir grains on removal of dyes from aqueous solutions were investigated. Remazol Ultra Red RGB and Remazol Navy RGB were selected as target dyes for the study and batch experiments were carried out under different process conditions such as initial pH (2-8), temperature (18-39°C) and initial dye concentration (50 - 400 mg/L). 93% and 56.4% dye removal for Remazol Ultra Red and 96.3% and 79.4% dye removal for Remazol Navy were obtained with living and non-living kefir grains respectively, at pH 2, 25°C for 100 mg/L initial dye concentration by using 2.4 g/L kefir grain, in 180 minutes. The living kefir grains exhibited higher dye removal potential than the non-living grains at all examined conditions. The maximum adsorption capacities by living and inactivated kefir grains were obtained as 134.59 and 56.92 mg/g. As a result of the modelling studies performed the kinetics of biosorption by living and non-living kefir grains were best described with pseudo-first-order model. On the other hand the biosorption equilibrium was well described by Temkin and Langmuir models respectively for living and non-living kefir grains.

Keywords: Dye removal, biosorption, kefir grain, modeling, kinetic

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Sanayi devriminden bu yana sentetik ürünler kimya sektörünün ilgi odağı olmuş, yüksek miktarda ve kolay üretimleri sebebi ile doğal ürünlere tercih edilmişlerdir. Teknolojik ilerlemelerin katkısıyla uzun yıllarda meydana gelebilecek olan gelişmeler, günümüz şartlarında aylar içinde elde edilebilmektedir. Üretimin kolaylaşması ürün maliyetini azaltmakta ve ürüne ulaşılabilirliği kolaylaştırmaktadır. Bu durum tüketici talebinin artırmasına neden olmaktadır. Üretim proseslerinde meydana gelen yan ürünler ve atıklar da arz-talep ilişkisi ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

1970'li yıllara kadar atık sular önemsenmeden üretim tesislerinden çevreye bırakılmıştır. Sonraki yıllarda oluşan çevre bilinci ile yapılan araştırmalar neticesinde öncelikle ileri sanayi teknolojisine sahip ülkelerde iyileştirmeye yönelik çalışmalar başlatılmıştır [1]. Günümüzde endüstriyel atıksuların %70'i halen hiçbir iyileştirme yapılmadan doğrudan deşarj edilmektedir [2].

Tekstil, deri, kâğıt, kozmetik, ecza, gıda, plastik ve halı gibi pek çok sanayi dalında boyar maddeler renklendirme amacıyla kullanılmaktadır [3]. Yaklaşık 10.000 faklı boyar madde mevcuttur ve tüm dünyada yılda 700.000 ton'a yakın sentetik boyar madde üretimi yapılmaktadır [4]. Boyar maddelerin üretim proseslerinde, üretilen boyar maddenin kilogramı başına ortalama 700 L su sarfiyatı yapılmaktadır. Vat boyar maddeler için bu miktar 8000 L gibi muazzam bir seviyeye ulaşmaktadır [5]. Boyar maddeler başka sanayilerde kullanılmadan, kendi üretim proseslerinde bile yüksek miktarda atık su oluşumuna neden olmaktadırlar. Boyar maddelerin en çok kullanıldığı sektör olan tekstil endüstrisinde; boyama ve apre (bitim işlemi) aşamalarında %50'ye

varan oranlarda boyar madde firesi verilmektedir [6]. Tekstil endüstrisinde yılda ortalama 200.000 ton boyar madde atık sulara karışmaktadır [5].

Işık ve yıpratıcı etkilere karşı dirençli olarak üretilmiş olan sentetik boyar maddelerin yapıları gereği bozunması ve konvansiyonel aktif çamur yöntemleri ile atık sulardan giderilmesi zordur [3]. Hatta reaktif boyar maddeler bu sistemlerden neredeyse hiç etkilenmeden geçmektedirler [6]. Reaktif boyar maddeler mükemmel haslık özellikleri, geniş renk yelpazeleri ve uygulama basitliği sayesinde, tekstil üretiminin yarısını kapsayan selülozik elyaf için birincil boyar madde olmuştur [7]. Selülozik elyafların boyanmasında kullanılan boyar maddelerin %50'si reaktif boyar maddelerden oluşmaktadır [8].

Boyar maddelerden kaynaklı renkli atık sular, suyun görünüşünü bozarak görsel bir rahatsızlığa neden olmakla beraber çevre ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Boyar madde içeren atıksular bitkilerin klorofil sentezini azaltarak büyümeyi engellemektedir. Renkli atıksular nedeniyle balık ve kabuklu deniz canlılarında mutajenik ve kanserojen maddeler birikmektedir. Tüketim yolu ile dolaylı olarak insanlara geçen bu maddeler ağır fizyolojik ve psikolojik bozukluklara sebep olmakta, etkileri ölümcül seviyelere ulaşabilmektedir [9], [10].

Özellikle Azoboyar maddelerin toksik ve mutajenik etkisi sebebi ile kanserojen oldukları bilinmektedir [9].

Sulara karışan boyar maddelerin zararlı etkilerini ortadan kaldırmak için gerçekleştirilen çalışmalar, son yıllarda yükselen çevresel duyarlılıkla paralel olarak artış göstermiştir. Araştırmacılar, var olan boyar madde giderim yöntemlerinin kimyasal, ekonomik ya da her iki yönden eksiklerini gidermek amacıyla iyileştirmeler yapmaya veya tamamen yeni yöntemler oluşturmaya yönelmişlerdir.

Atıksu iyileştirmede, nötralizasyon, flokülasyon, koagulasyon, çöktürme, karbon adorpsiyonu, oksidasyonla organik bileşenlerin detoksifikasyonu (UV ya da H_2O_2) ve biyolojik muamele gibi işlemler kullanılmaktadır [5].

Boyar madde gideriminde kolay uygulanabilirlik ve yüksek verim avantajlarından dolayı en çok kullanılan yöntem, adsorban olarak aktif karbonun kullanıldığı adsorpsiyon yöntemidir.

Çok geniş yüzey alanına ve birçok organik kirletici için çok yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olmalarına rağmen ticari aktif karbonların maliyeti yüksektir. Bu durum ucuz alternatif adsorban arayışını gündeme getirmiştir. Bu nedenle araştırmacılar atıkların adsorban olarak değerlendirilmesine yönelmiş ve talaş, meyve ve yemiş kabukları (muz, portakal, ceviz kabuğu vb.) şeker kamışı küspesi gibi tarımsal atıkların doğrudan ve işlenerek (karbonizasyon vb.) adsorban olarak kullanımlarını incelemişlerdir [11], [12], [13], [14], [15], [16].

Son yıllarda atık gideriminde özellikle biyolojik bazlı adsorbanların kullanımı gündeme gelmiştir. Çok farklı organizmaların adsorpsiyon performansının incelenebileceği bu alanda, mantar çeşitleri ve bakteriler en çok incelenen biyolojik adsorbanlar olmuştur. Biyolojik adsorbanlar gösterdikleri yüksek adsorpsiyon verimi, düşük maliyetleri nedeniyle ayrıca biyosorpsiyonun yanı sıra uygun koşullarda biyodegradasyon sağlayarak da toksisiteyi azatlabildikleri için gelecek çalışmalar için cezp edici alternatif adsorbanlar olarak görünmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada,

- Atık sulardan adsorpsiyon yöntemi ile boyar madde gideriminde adsorban olarak kompleks bakteri ve maya florasından oluşan kefir tanelerinin kullanılabilirliğinin incelenmesi,
- Aktif ve inaktif kefir taneleri kullanılarak gerçekleştirilecek olan adsorpsiyon prosesinin optimizasyonu,
- Adsorpsiyon prosesi için uygun kinetik ve izoterm modellerinin belirlenmesi,

hedeflenmiştir.

1.3 Hipotez

Reaktif boyar maddeler konvansiyonel ayırma yöntemlerine yüksek direnç göstermektedir ve tamamen bozundurularak zarasız hale getirilmeleri oldukça zordur. Bu nedenle boyar maddelerin ve zararlı bileşenlerinin ortamdan uzaklaştırılması için adsorpsiyon diğer yöntemlere göre daha uygundur ve yüksek giderim verimi sağlar.

Adsorpsiyon prosesinde kullanılan adsorbanın adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olması, kolay üretilebilir, kolay ulaşılabilir başka bir deyişle maliyetinin düşük olması istenir. Son yıllarda aktif karbona alternatif yeni ve daha ucuz adsorbanlar bulmak amacıyla gerçekleştirilen bazı çalışmalarda biyokütleler adsorban olarak kullanılmış ve adsorpsiyon verimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Kefir taneleri polisakkarit bir yapı içinde çeşitli laktik asit bakterilerini ve mayaları içeren, yumru şeklinde girintili çıkıntılı bir yapıya sahip (3 mm'den 35 mm'ye kadar değişen çapta), kolay üreyebilen biyokütlelerdir. Yapıları gereği yüzey alanları geniştir. Bu nedenle çalışmada yüksek giderim verimi sağlayacağı düşünülerek kefir taneleri boyar madde gideriminde kullanılmak üzere adsorban olarak seçilmiştir.

BÖLÜM 2

BOYAR MADDE

Cisimlerin dış etkenlerden korunması ya da cisme hoş bir görüntü sağlamak için kullanılan maddeler boya olarak adlandırılmaktadır. Boyalar yüzeye fırça veya püskürtülerek uygulandığında yeni bir tabaka meydana getirir ve kazınma ile parçalar halinde uygulandıkları yüzeyden ayrılabilirler. Çoğunlukla inorganiktirler ancak organik olanları da mevcuttur [17].

Boyar maddeler ise fiziksel ve fizikokimyasal çeşitli etkileşimlerle malzemenin kendini renkli hale getiren organik bileşiklerdir. Boyar maddelerin fiziksel işlemlerle malzemeden ayrılması mümkün değildir [18].

Boya ve boyar maddelerin kullanımı ilk çağlara kadar uzanmaktadır. Ancak ilk sentetik boyar madde üretimi denemesi 1771 yılında Alman bilim adamı Wolfe tarafından indigonun nitrik asitle muamele edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. İpeği, ürettiği boyar madde ile sarıya boyayan araştırmacının çalışması o yıllarda pek ilgi görmemiştir [19]. 1845 yılında Alman bilim adamı A.W. Hofmann'ın anilin üzerine yaptığı araştırmalar anilin boyar maddelerinin temelini teşkil etmiştir. Ayrıca Hofmann'ın İngiliz öğrencisi Mansfield, hocasının ilk çalışmalarından olan, katranın organik yapısının incelenmesinden yola çıkarak benzen ve toluenin ticari açıdan üretimi için pratik ekstraksiyon metodları geliştirmiştir. Geliştirdiği yöntemlerle bu maddeleri boyar madde üretiminde kullanılan nitro bileşenlerine ve aminlere dönüştürmüştür. Sentetik boyar madde üretimindeki bu büyük adım o yıllarda anlaşılamamıştır [20]. 1856 yılına gelindiğinde Hofmann'ın Londra Kraliyet Akademisi'ndeki öğrencilerinden William H. Perkin, kinin sentezlemek için çalışırken tesadüf eseri, Mauvine isimini verdiği, ilk sentetik katyonik boyar maddeyi üretmiş ve diğer araştırmacıların bu alandaki

çalışmalarını tetiklemiştir. Anilin sarısı öncesinde üretilmiş olsa da 1863 yılında Alman kimyager Peter Griess tarafından elde edilen Bismarck kahverengisi, azo boyar maddeler grubunda sentezi yapılan ilk ticari boyar madde sayılmaktadır [21].

Moleküler anlamda renk oluşumunun sebebi merikinoid, koordinatif doymamışlık, mezomeri vb. pek çok teori ile açıklanmıştır [22].

Çalışmaların başladığı ilk yıllarda ortaya atılan "rengin moleküllerin doymamışlığından ileri geldiği" tezi, günümüzde hala renkliliğin temel prensipleri arasında yer almaktadır [17]. Alman kimyager Otto Witt tarafından 1876'da ortaya konan kromofor teorisine göre renk, moleküldeki doymamış karakterdeki nitro/nitrozo, karbonil, azo gruplarının zayıf asidik karakterdeki amino veya hidroksil grupları ile karşılıklı etkileşiminden meydana gelmektedir. Doymamış gruplardan biri, renkliliğin kaynağı sayılan kromofor, diğeri oksokrom, taşıyıcı molekül ise kromojen olarak adlandırılmaktadır [22].

Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra çöken Alman sanyii, boya endüstrisinde gerekli güncellemelerin yapılmasında gecikmelere sebep olmuştur. Bu açığı gören İngiliz bir araştırmacı halen kullanılan ve binlerce boyar madde hakkında gerekli tüm bilgileri içeren uluslararası Colour Index'i oluşturmuş ve 1924'te yayımlamıştır. Aktif bir yapı olarak hala hizmet veren Colour Index, sentezlenen tüm yeni boyar maddeleri içeriğine ekleyen ve mühendislerin kullanıma sunan bir siber kuruluştur [19].

Günümüzde, boya pazarına hâkim olan Alman BASF ve DyStar, İngiliz Avecia, İsviçreli Clariant ve Ciba Specialties gibi dev şirketlerin yanında, Çin, Hindistan, Japonya, Kore, Tayvan, Brezilya ve Meksika'da sentetik boyar madde sentezleri ve üretimleri yapılmaktadır [19].

2.1 Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Kimyasal yapı, çözünürlük, boyama özellikleri, kullanılış yeri gibi karakteristik özellikleri göz önüne alınarak boyar maddeler için çeşitli sınıflandırmalar yapılmaktadır. Bu bölümde boyar maddelerin çözünürlüklerine, boyama özelliklerine ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırmalarına yer verilmiştir.

2.1.1 Boyar Maddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması

2.1.1.1 Suda Çözünen Boyar Maddeler

Boyar madde molekülünün sentezi sırasında suda çözünürlüğü sağlayan bir grup boyar maddenin bileşenleri arasında yer almaktadır. Bu grup yapıda yer almasa da sonradan moleküle eklenerek bileşiğe suda çözünürlük kazandırılabilmektedir. Fakat sonradan suda çözünürlük kazandırabilmek için boyar madde molekülünün en az bir tane tuz oluşturabilen grup taşıması gerekir. İçerdiği iyonik gruba göre suda çözünen boyar maddeler üçe ayrılmaktadırlar.

- Anyonik suda çözünen boyar maddeler, sülfonik ve kısmen karboksilik asitlerin sodyum tuzlarını içermektedirler. Asit ve direkt boyar maddeler bu gruba dâhildir.
- Katyonik suda çözünen boyar maddelerde, çözünürlüğü sağlayan bir bazik grup asitlerle tuz teşkil etmiş halde bulunur.
- Zwitter iyon karakterli boyar maddeler, yapılarındaki hem asidik hem de bazik gruplar sebebi ile boyama sırasında bazik ya da nötral ortamda anyonik davranış gösteren boyar maddelerdir [17].

2.1.1.2 Suda Çözünmeyen Boyar Maddeler

Organik çözücülerde çözünen, geçici çözünürlüğü olan, substratta çözünen, polikondensasyon boyar madddeleri bu gruba girer. Substrata karşı afinitesi olmayan pigmentler de bu gruba dâhildir [17].

2.2 Boyama Özelliklerine Göre Boyar Maddeler

Malzemenin hangi yöntemle boyanabildiğine bakılarak yapılmış olan sınıflandırmadır.

2.2.1 Bazik (Katyonik) Boyar Maddeler

Organik bazların hidroklorürleri olan bazik boyar maddeler katyonik grubu renkli kısımlarında taşırlar. Pozitif yük taşıyıcı olarak N veya S atomu içerirler. Katyonlar elektrostatik olarak negatif yüklü substrat tarafından tutulmaktadır [17]. Suda hemen çözünmezler. Etanol, seyreltik asetik asit ilavesi ya da sıcak suda çözünerek çözeltide renkli katyonlar oluştururlar. Uzun süre yüksek sıcaklığa maruz bırakılan boyar madde

moleküllerinin kimyasal yapıları bozulabileceğinden suda çözündürülürken 65˚C'nin üzerine çıkılmamalıdır [23].

Akrilik, kâğıt, ipek, yün ve naylonun yanı sıra modifiye polimerin boyanmasında kullanılırlar. İpek ve yün boyanmasında ışık ve yıkama haslıkları düşük olduğundan kullanımları azalmıştır. Ancak poliakrilonitril fiberlerin boyanmasında oldukça kullanışlı olmaları sebebi ile bu hammadde ile üretilmiş kumaşların boyanmasında kullanılmaktadırlar. 80˚C ve daha düşük sıcaklıklarda akrilik fibere çekimi yavaştır, fakat artan sıcaklıkla birlikte çok süratli emilim gerçekleştiğinden işlemin boyanma kalitesini azaltmaması için geciktirici kimyasal ilavesi yapılır. Doygun buharla gerçekleştirilen sürekli sistem boyama prosesleri boyar madde moleküllerinin yüksek sıcaklıktaki kimyasal bozunabilirliği sebebi ile geciktirici ile beraber dikkatli kullanılmalıdır [23].

2.2.2 Asit (Anyonik) Boyar Maddeler

Asidik banyolarda substratlara uygulandıkları ve organik asitlerin tuzları oldukları için asit boyar maddeler olarak isimlendirilmişlerdir. Moleküllerinde bir veya birden fazla sülfonik (-SO_3H) asit grubu veya karboksil (–COOH) asit grubu içermektedirler. Bu boyar maddeler öncelikle yün ve ipek olmak üzere poliamid, katyonik modifiye akrilonitril elyafı, kâğıt, kozmetik, deri ve besin maddelerinin boyanmasında kullanılmaktadırlar [24]. Ametal ve metal-kompleks olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Metal-kompleks olanlarda haslığı arttırmak için fazladan mordanlamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Işık ve yaş haslıkları yüksektir [25].

2.2.3 Direkt Boyar Maddeler

Karboksilik asitlerin çoğunlukla da sülfonik asitlerin sodyum tuzlarıdır. Asit boyar maddelerden uygulama yöntemi ile ayrılmaktadırlar. Ön işleme gerek olmadan elyafa çekilirler. Suni ipek (reyon), kâğıt, keten ve deri boyanmasında kullanılmaktadırlar. Suya karşı dayanımları işlem sonrasında ek uygulamalarla arttırılmaktadır. Haslık özellikleri; uygulama karakteri ve kromofor'a göre karakterize edilmektedir. Kolay uygulanmalarına rağmen yıkama haslıkları düşük olduğundan, selülozik liflerin boyanmasında bir dönem yagın olarak kullanılmış olsalar da sanayideki yerlerini reaktif

boyar maddelere bırakmışlardır. Kongo kırmızısı olarak bilinen boyar madde bu sınıftandır [26].

2.2.4 Mordan Boyar Maddeler

Mordan; substrat ve boyar maddeye karşı aynı afiniteye sahip olan maddedir. Asidik ve bazik fonksiyonel gruplar, mordanla muamele edilmiş bitkisel ya da hayvansal elyaf üzerinde daha kararlı bileşikler oluşturarak tutunurlar. Suda çözünmeyen hidroksitler oluşturan Al, Sn, Fe, Cr tuzları mordan olarak kullanılmaktadır [17].

2.2.5 Reaktif Boyar Maddeler

Kromofor denen rengi veren grubun yanında elyafın yapısındaki fonksiyonel gruplarla gerçek kovalent bağ oluşturan reaktif ve moleküle çözünürlük sağlayan bir grup içeren, diğer boyar maddelere nispeten daha basit bir kimyasal yapıya sahip olan boyar maddelerdir [17]. Daha parlak netice vermeleri ve dar absorpsiyon spektrumuna sahip olmalarından ötürü direkt boyar maddelere tercih edilmektedirler. Güneş ışınlarının bozundurucu etkisine karşı iyi direnç gösterirler. Selülozik elyaf ile boyar madde molekülleri aralarında kararlı kovalent bağ oluşturdukları için yaş haslıkları mükemmeldir. Sahip oldukları bu özellikler nedeniyle tekstil sanayiinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [26].

Rekatif boyar maddeler dört kısımdan oluşur:

- Rengi veren kromoforik ya da kromojen kısım
- Substratla reaksiyona girmesini sağlayan reaktif kısım; bu kısım çözeltideki su ile tepkimesine de sebep olmaktadır, fakat bu istenmeyen bir durumdur.
- Kromojeni reaktif sisteme bağlayan bir köprü
- Suda çözünürlüğü sağlayan çözündürücü grup [26]

Reaktif boyar maddeler çektirme ve fularlama olmak üzere iki yöntemle uygulanmaktadırlar. Uygulamada daha az kimyasal, su buharı ve elektrik harcanması, yüksek üretim verimi, iyi haslık ve iyileştirilmiş son görüntü gibi sebeplerden, kullanım yönüyle, fularlama çektirme yönteminin önüne geçmektedir [19].

Reaktif boyar maddeler kendi içlerinde aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

- Monoazo,
- Disazo,
- Azo boyar maddelerin metal kompleksleri,
- Formazan boyar maddeler,
- Antrakinonlar,
- Trifenodioksazinler,
- Ftalosiyaninler [26].

Reaktif boyarlar ilk defa 1956 yılında ticari olarak İngiliz ICI (Imperial Chemical Industries) tarafından piyasaya sürülmüştür [26].

2.2.6 Küpe (Vat) Boyar Maddeleri

Karbonil grubu içeren ve suda çözünmeyen boyar maddelerdir. İndirgenme ile leuco bileşenlerine (oksidasyonla renkli haline geri dönebilen yapılar) dönüşerek suda çözünür hale geldikten sonra elyafa çektirilirler. İndirgen olarak sodyum ditiyonit ($Na_2S_2O_4$) kullanılmaktadır. Oksidasyonla suda çözünmez hallerine geri dönüştürülürler. En eski boyar maddelerden olan indigo türevi bu gruba dâhildir [17].

2.2.7 İnkişaf (Azoik) Boyar Maddeleri

Elyaf üzerinde oluşturularak son şekline dönüştürülen boyar maddelerdir. İşlem yapılacak elyafa afinitesi olan bileşen emdirildikten sonra indirgenme reaksiyonu substrat üzerinde yapılarak suda çözünmeyen boyar madde elde edilmektedir. Ticari olarak üretilen ilk inkişaf boyar maddesi Holiday & Co. Tarafından 1880'de Vacacine Kırmızısı adıyla piyasaya sürülmüştür [17].

2.2.8 Dispers Boyar Maddeler

Suda eser miktarda çözünürler. Hidrofobik elyafın içinde difüzyon yolu ile çözünerek elyafı renklendirirler. Polyester, poliamid ve akrilik elyafların boyanmasında ve yüksek teknolojik lazer ve optik sistemlerde kullanılırlar [27]. Uygulanma esnasında difüzyonu hızlandırıp kolaylaştırmak için taşıyıcılardan faydalanılır, ancak taşıyıcı kalıntısı kötü kokunun yanında ışık haslığını da düşürmektedir. Son zamanlarda kullanılagelen

basınçlı boyama makinaları sayesinde buna ihtiyaç kalmadan etkin difüzyon sağlanmaktadır. Ancak fazladan temizleme adımına ihtiyaç duyulur. Zaman ve maliyet ihtiyacını beraberinde getiren bu son adımdan kurtulmak için Dispersol C adı verilen boyar madde sentezlenmiştir. Bu boyar madde yapısında bulunan sülfonil florit veya daha yaygın olan karboksilat ester gruplarının etkisiyle zayıf alkali ortamlarda çözünmektedir. Bu sayede tek aşamada temiz substrat yüzeyi elde edilebilmektedir [26].

2.2.9 Pigment

Organik olanları daha çok tercih edilmekle beraber inorganik olanları da mevcuttur. Suda çözünmediklerinden emülsüyon halinde boyanacak elyafa emdirilirler. Bağlayıcı aracılığıyla yüzeye tutunan pigment yüksek sıcaklıkta termofiks edilmektedir. Işık ve yıkama haslıkları yüksek, ama sürtünme haslıkları bağlayıcı filmin zedelenmesi sebebi ile zayıftır [17].

2.3 Boyar Maddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Boyar maddeler, kimyasal yapılarına göre, molekülün temel yapısı, kromojen ve renk verici kısmı vb. esas alınarak birkaç şekilde sınıflandırılmaktadır. Sentez ve uygulanmalarına göre yapılmış olan sınıflandırma şöyledir:

- Azo boyar maddeler: Yapısında azo grubu (–N=N–) bulunan bileşiklerdir. Azo grubunun sayısına göre isimlendirilmektedirler. Doğada azo grubu içeren boyar maddelere rastlanmaz.

- Nitro ve nitrozo boyar maddeleri: Yapılarında nitro grubu ($–NO_2$) olan bileşiklerden oluşan bu sınıftaki boyar maddeler en eski sentetik boyar maddelerdir. Yaş ve ışık haslıkları zayıf olduğundan endüstride tercih edilmezler.

- Polimetin boyar maddeleri: Organik renkli bileşenlerin geniş kısmını kapsayan bu sınıf boyar madde molekülleri, temel olarak metin grubu halkasından (–CH=) oluşmaktadırlar. Fotoğraf filmlerinde kullanılmışlardır.

- Arilmetin boyar maddeleri: bu sınıftaki boyar maddeler triarilmetandan türetilmektedirler. Pek çoğu pH indikatörü olarak kullanılmaktadır.

- Aza anulen boyar maddeleri: Hemoglobin ve klorofil bu sınıftandır.
- Karbonil boyar maddeleri: İndigo ve antrakinon altsınıflarında incelenen bu boyar madde molekülleri yapılarında konjuge çift bağlar ve en az iki karbonil grup içeren bileşiklerdir.
- Kükürt boyar maddeleri: Amin ve fenol gibi organik bileşiklerin kükürt, sodyum sülfür ya da sodyum polisülfür ile reaksiyonu sonucu sentezlenen makromoleküllerdir. Suda çözünmezler [17].

2.4 Boyar Maddelerin Zararlı Etkileri

Boyar maddelerin çoğu kendi başına toksik değildir. Yaklaşık %70'i azo bileşenlerinden oluşan bu maddeler, yüzey sularına deşarjları sonrasında mikroflora tarafından kanserojen aromatik aminlere indirgenme riskini taşımaktadır. Ancak anilin esaslı bazı azo boyar maddelerin kanserojen ve mutajenik oldukları bilinmektedir. Asidik ve bazik boyar maddeler su canlıları için toksik etkisiyle diğerleri arasında öne çıkan gruplardır. Azo boyar maddelerinin insanlarda az konsantrasyonlarda dahi ekzema gibi allerjik reaksiyonlara, fetüsün zihinsel ve bedensel gelişim anomalilerine sebep olduğu bilinmektedir [28]. Aromatik hidrokarbonlar DNA ve RNA gibi makromoleküllerle kovalent bağ yaparak mutasyona sebep olmaktadırlar [9].

Toksik özellik boyar maddelerin üç boyutlu yapısından kaynaklanmaktadır. Bileşikte bulunan nitro, metil, metoksi grupları toksik etkiyi arttırırken karboksil ve sülfonatlar azaltmaktadır. Reaktif ve bazik boyar maddeler uygulama kolaylıklarından ve yapılarının basitliğinden dolayı tercih edilmekte, ancak suda iyi çözündüklerinden daha fazla tehlike arz etmektedirler [28].

Direct Black 38 adıyla anılan boyar madde, kanserojen olduğu bilinen benzidinden sentezlenmektedir. Serbest benzidine dönüşmesi ihitmali gözönüne alındığında kanser faktörü kaçınılmazdır. Bu nedenle, Direct Black 38 benzeri yirmi aromatik amin esaslı boyar maddenin kullanımı yapılan düzenlemelerle bazı ülkelerde yasaklanmıştır [29]. Tekstil boyama, kâğıt baskı ve deri sonlandırma bölümlerinde çalışan işçilerin mesane kanserine yakalanma oranları yüksektir. İdrarlarında yapılan tetkikte benzidine rastlanmıştır [30].

Boyar madde içeren atıksular bitkilerin klorofil sentezini azaltarak büyümeyi engellemektedirler. Renkli atıksular nedeniyle balık ve kabuklu deniz canlılarında mutajenik ve kanserojen maddeler birikmektedir. Tüketim yolu ile dolaylı olarak geçen bu maddeler insanlarda ağır fizyolojik ve psikolojik bozukluklara sebep olmakta, etkileri ölümcül seviyelere ulaşabilmektedir [9].

BÖLÜM 3

RENKLİ ATIKSU VE ARITMA YÖNTEMLERİ

3.1 Dünyada ve Türkiye'de Renkli Atık Su

20. yüzyılın başında, endüstriyel anlamda gelişen boyar madde üretiminde, batı Avrupa devletlerinin hâkimiyeti, geçirilen iki büyük dünya savaşı sorasında azalmış olsa da baskınlığını sürdürmektedir. Almanya, İngiltere ve İsviçre'ye sonradan dahil olan ABD'nin yanı sıra bugün Japonya, Kore, Tayvan, Hindistan ve Çin'de yüksek ölçekde boyar madde üretimi yapılmaktadır. Son yirmi yılda üretim hacminde güçler dengesi Avrupa ve Amerika'dan Asya'ya kaymıştır.

Ticari olarak 100.000 civarında boyar madde bulunmaktadır. Senede yaklaşık olarak bir milyon ton olan boyar madde üretim hacminin %50'sini tekstil boyaları oluşturmaktadır. Kumaş elyafının boyanması dışında, baskı vb. işlemlerde kullanılan boyalarla beraber tüm boyar madde üretim hacminin üçte ikilik kısmı tekstil sanayii tarafından tüketilmektedir [31], [32].

Avrupa'da 1970'li yıllardan bu yana artan çevre bilinci ile beraber atık su iyileştirmeye yönelik pek çok çalışma yürütülmüş ve beraberinde firmalara yaptırım getiren tedbirler alınmıştır. 1996 yılında "Integrated Pollution Prevention and Control" adı ile deşarj koşullarının belirlendiği bir yönerge Avrupa Birliği'ne sunulmuştur.

ABD'de eyaletlere göre farklılık gösteren renk sınır değeri Çevre Koruma Ajansı tarafından 15 renk birimi olarak belirlenmiştir. Bazı eyaletlerde deşarj suyunun rengi ile ilgili herhangi bir düzenleme yapılmamıştır. Tekstil üretiminin en çok yapıldığı yerlerden biri olan Hindistan'da yüzey sularına deşarj için 300 Hazen birimi sınır değer olarak belirlenmiştir. Çağın yükselen sanayi devi Çin'de ise atık sularda kalıntı boyar

madde içeriğinin 300 ADMI (American Dye Manufacturer Institute) biriminden küçük olma zorunluluğu vardır. Farklı sektörler tarafından üretilen renkli atık suyun Amerika ve Hindistan hükümetlerince belirlenen deşarj standartları karşılaştırmalı olarak çizelge 3.1'de sunulmuştur [1].

Çizelge 3.1 Amerika ve Hinistan'da çeşitli endüstrilerde üretilen atık su miktarları ve renklilik limitlerinin karşılaştırılması [1]

Endüstri		**Normal şartlarda üretilen su miktarı**	**Renk konsantrasyonu (Hazen)**	**Renk Limiti (Hazen)**	
				USPHS[1]	**S BIS[2]**
Şeker		0.4 m^3/t şeker kamışı	150-200	5-10	20
Kağıt	Büyük	175 m^3/t kağıt	100-600	0-10	5-101
	Küçük	150 m^3/t kağıt			
Tekstil		120 m^3/t elyaf	1100-1300	0-25	20
Tabakhane		28 m^3/t ham deri	400-500	10-50	25
Kraft değirmeni		40 m^3/t	2100-2300	10-40	20
Bira fabrikası		0.25 m^3/t bira	200-300	5-10	20
Alkol fabrikası		12 m^3/t alkol	200-300	5-10	20

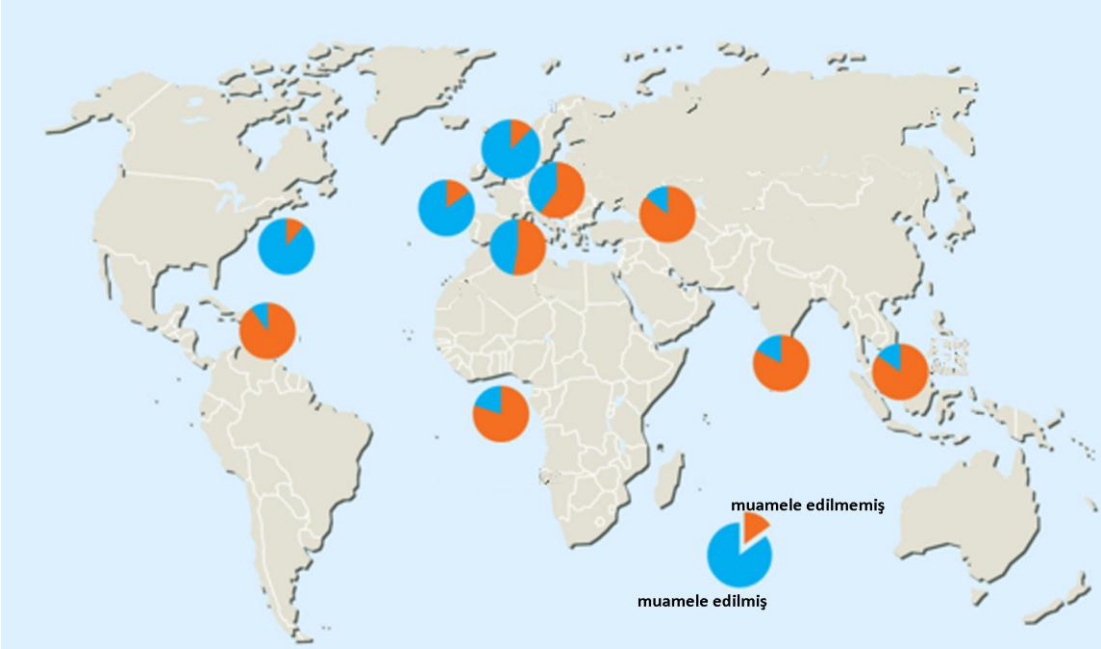
Standartlar belirlenmiş olsa da küresel anlamda meydana gelen atık suyun arıtımı ülkelere göre farklılık göstermektedir (Şekil 3.1). Avrupa Birliği'nde işletmenin kendisine son arıtmayı yapma zorunluluğu getirilmiştir. Ancak Avrupa Birliği üyesi bazı ülkelerde son arıtma hala belediyelere ait arıtma tesislerinde yapılmaktadır.

Endüstriyel atık suların alıcı ortamlara deşarjı Türkiye'de Avrupa Birliği'nin belirlediği standartlar esas alınarak düzenlenen EN ISO 7887 ile denetlenmektedir. Bu modele göre, renklilik sayısı olarak adlandırılan birimle renk ölçümleri üç kategoride incelenmektedir. Bu üç kategoriyi Remazol sarı, kırmızı ve mavi boyar maddeleri oluşturmaktadır. Değerlendirmede bu boyar maddeler için kararlaştırılan sınır değerler referans kabul edilmektedir.

Türkiye'de renkli atık su deşarjı yapan firmaların % 92'lik kısmını Tekstil üretimi yapan firmalar oluşturmaktadır (Şekil 3.2). Bu firmaların bazıları açığa çıkan atık suyu ön

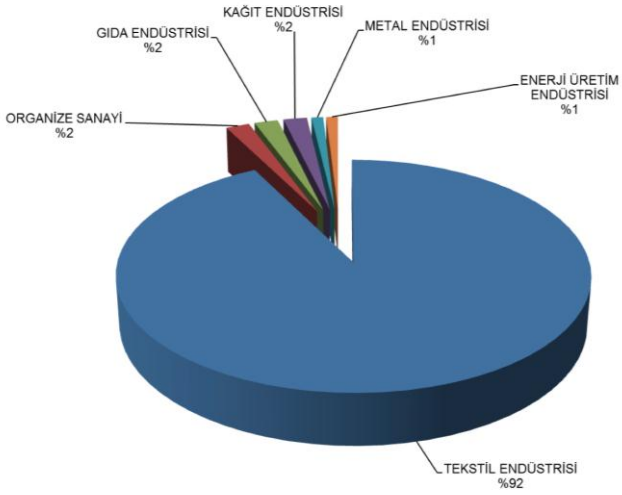
[1] USPHS, United States Public Health Services (Birleşik Devletler Halk Sağlığı Hizmetleri)
[2] BIS, Bureau of Indian Standarts (Hint Standartları Dairesi)

arıtma sonrasında belediye kanalizasyon sistemine vermektedir. Diğer bir kısmı, işletme içinde bulunan arıtma tesislerinde atık suya gerekli işlemleri uygulayıp mevzuatın gerektirdiği şartlara uygun hale getirdikten sonra yüzey sularına veya DSİ (Devlet Su İşleri)'nin açık kanallarına deşarj etmektedir.



Şekil 3.1 Dünyada artıma işlemi uygulanan ve uygulanmayan atık su oranları [33]

Fabrikaların büyük kısmı sadece biyolojik arıtma, bazıları ise kademeli olarak kimyasal ve biyolojik arıtma yapmaktadır. Yükümlü oldukları koşulları sağlayabilen firmaların büyük çoğunluğu hem kimyasal hem de biyolojik arıtma uygulayanlardır. Ülkemizde mevcut firmların %58'i gerekli atık su standartlarını sağlayamamaktadır.



Şekil 3.2 Türkiye'de renkli atık su üretimi yapan firmaların yüzdesel dağılımı [34]

3.2 Renkli Atık Su Üreten Endüstriler

3.2.1 Tekstil Endüstrisi

Tekstil endüstrisi elyaf ve kumaş üretiminden elbise üretimine pekçok farklı sektörü barındırmaktadır. Çeşitli ve çok sayıda kirletici barındıran aşırı miktarda atık su üretmesinden dolayı tekstil sanayii özellikle renkli atık su üretiminde birinci sırada yer almaktadır. Renkli atık su liderliğinin sebebi, dünya çapında üretilen boyar maddelerin yaklaşık %80'inin tekstil sanayiinde kullanılıyor olmasıdır [35].

Tekstil endüstrisinde uygulanan işlemler kuru ve ıslak olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İstenen ürün özelliklerini elde edebilmek için fazlaca suyun kullanıldığı boyama işlemleri ıslak işlemlerdendir. Direkt, reaktif, kükürt, azo boyar maddeler ve pigmentler elyafın boyanmasında kullanılmaktadır. Elyaf üzerine tutunamayan boyar maddeler boyama ve yıkama aşamalarında doğrudan su ile deşarj edilmektedir.

Tekstil endüstrisinde uygulanan yöntemlere göre üretilen atık su miktarı farklılık göstermektedir. Oluşan atık su azalsa da sudaki boyar madde konsantrasyonu çoğunlukla artar. Yıkama, ağartma, boyama ve baskı aşamalarında proses içinde doğrudan su tüketilmektedir. Sadece boyama işleminde, boyanan kg elyaf başına 40-150 L su sarfedilmektedir [34].

Renkli atık su üretimi boyama safhasında meydana gelmektedir. Boyama safhası; hazırlama, boyama ve sonlandırma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Hazırlama kısmında kumaş ya da elyafdaki istenmeyen maddeler uzaklaştırılmaktadır. Uzaklaştırma işlemi alkali bileşenler, deterjanlar veya enzimlerle yıkama neticesinde gerçekleştirilmekedir. Klorlu bileşenler ya da hidrojen peroksit ile ağartılan kumaş eğer boyanmadan beyaz olarak satışa sunulacaksa optik parlatıcılarla beyazlaştırılmaktadır. Boyama aşaması çoğunlukla sentetik organik boyar maddelerin kullanıldığı tekstil substratının renklendirildiği aşamadır. Boyar maddelerin özelliklerine göre farklı subtratlara afiniteleri vardır. Her boyar madde doğal ve sentetik eyafların tümünü renkelendirememektedir. Farklı basınç ve sıcaklık koşullarında tepkileri değişmektedir. Bu aşamada asit ve alkali desteğinin dışında yumuşatıcı ajanlar, elektrolit, taşıyıcı ve bağlayıcı ajanların kullanımı söz konusudur [4]. Kesikli, yarı kesikli ve sürekli boyama prosesleri yapılmaktadır. Kesikli proses, tekstil malzemelerinin boyanmasında

kullanılan en yaygın yöntemdir. Substrat yüksek hacimli banyoda uzun sürede boyandığından bu işleme çektirme boyaması da denmektedir. Boyanacak tekstil ürünü elyaf, kumaş yahut doğrudan hazır giyecek olabilir. Malzemenin döndüğü ve boyanın sabit olduğu banyolar en çok kullanılanıdır, ancak bunun yanında banyonun ya da her ikisinin döndüğü banyolar da uygulanmaktadır. Yarı kesikli proses, esas olarak pamuklu kumaşların reaktif boyar maddelerle boyanması için kullanılmaktadır. Boya ile muamele edilen kumaş bir silindir üzerine sarılıp belirli bir süre bekletilerek rengin kumaş üzerine nüfuz etmesi sağlanır. Sürekli prosesler, pamuk ve polyester karışımlarını boyamak için tasarlanmıştır. Naylon halılar da sürekli proses yöntemiyle boyanmaktadır [36].

Boyama prosesinin sonlandırma aşamasında ürün kalitesini arttıracak muameleler yapılmaktadır. Su geçirmezlik, antimikrobiyellik, yumuşatma, leke tutmama vb. özellikler sonradan kumaşa eklenebilen özelliklerdir [4].

Aşamalarından kısaca bahsedilen boyama prosesinde kullanılan boyar maddelerin neredeyse yarısının atık suya karıştığı göz önüne alınırsa, arz ettiği tehlikenin büyüklüğünün farkına varılabilir. Atık suya karışan boyar maddeler, ışığın su içine nüfuzunu azaltarak fotosentez ve doğal yaşamı olumsuz etkilemektedir. Ayrıca toksik ve kanserojen yapıları ile sadece su canlılarını değil tüm çevreyi tehdit ederler. Bu açıdan proses iyileştirmede farklı teknikler de geliştirilmiştir. Öncelikle, toksik etkiyi azaltmanın çıkış noktasında değil proses aşamasında yapılması gerektiği 90'lı yıllarda Amerika'da gündeme gelmiştir. "Limits to Success" başlığıyla anılan çalışmada, proses optimizasyonu ile boyar maddenin etkin kullanımı sayesinde, popüler kazan-kazan mantığı ile, meydana gelecek atığın yenilenebilirliği vurgulanmıştır [35].

Yıllardır laboratuvar ölçekli kullanımı olan ancak endüstride hala kullanılamalyan bir teknik, ultrasonik boyamadır. Ultrasonik dalgaların ortaya çıkardığı kavitasyon sayesinde boyar maddenin düşük konsantrasyonda etkin nüfuzu sağlanabilmektedir. Atık suda kalan boyar madde miktarı bu yöntemle azalırken kumaşın haslık özellikleri de iyileşmektedir [37]. Diğer tekniklere göre genelde daha iyi neticeler alınmaktadır. Yöntem düşük proses sıcaklığı gerektirdiği ve reaksiyon basamakalarını azaltığı için enerji ve zaman tasarrufu sağlamaktadır [37], [38].

Atık su oluşumunun tamamen ortadan kaldırılabilirliği açısından en yeni teknoloji süperkritik karbondioksit ortamında boyama yöntemidir. Bu yöntemle boyanan polyester, ipek, naylon ve yün ipliklerde mükemmel yıkama ve yıpranma haslık neticeleri elde edilmiştir [39], [40], [41]. Ancak bu yöntemde boyama işlemi çok hızlı gerçekleştiğinden boyanma kalitesinde olumsuzluklar meydana gelebilmektedir. Solvent besleme hızının artırılmasıyla bu istenmeyen etkinin giderilmesi öngörülmüştür [42]. Yöntemde, boyama tankının içine eser miktarda eklenen suyun boyanma verimini arttırdığı görülmüştür [39]. Endüstriyel uygulaması bulunmayan bu yöntem için pilot uygulamalar mevcuttur [43].

3.2.2 Deri Endüstrisi

Ham derilerin yıkanması, kimyasalların deri ile etkileşiminin sağlanması, boyama kimyasallarının taşınması ve kontamine edici maddelerin uzaklaştırılması için deri işlenmesi sırasında bol miktarda su tüketilmektedir. Tabaklayıcı malzemenin türüne göre çok veya az su kullanılmaktadır. Kullanılan yöntem su safriyatında belirleyici etmendir. Geleneksel konvansiyonel yöntemlerle üretilen 1 ton ürün başına 34-56 m^3 su kullanılırken ileri teknoloji yöntemleriyle bu miktar %80 oranında azalmaktadır [34].

Meydana gelen atık su kirleticiler yönüyle oldukça zengindir. Deri parçaları, kıllar ve çözünmüş proteinlerle beraber kireç, sodyum sülfat, sodyum hidroksit, yüksek oranda krom bileşikleri, fenollü maddeler, alifatik asitler, boyar madde ve pigmentler atık suya karışan bileşenlerden bazılarıdır. Deri boyama işleminde asidik ve direkt boyar maddeler kullanılmaktadır [34].

Deri endütrisi atık suyundan boyar madde gideriminde, ozon ve fenton gibi ileri oksidasyon sistemlerinin yanı sıra son yıllarda çok daha popüler olan biyokütlelerin kullanıldığı arıtım prosesleri uygulanmaktadır [44], [45]. Gereken standart deşarj koşullarını sağlayabilmek için kimyasal arıtmanın yeterli olmadığı, fakat ikinci kademe biyolojik arıtma sonrasında hedeflenen değerin altında giderimin sağlanabildiği pratik uygulamalar da görülmüştür [46].

3.2.3 Gıda ve İçecek Endüstrisi

Tüketime hazır son ürünlerin yanı sıra başka proseslerde hammadde olarak kullanılacak yan ürünler bu grupta üretilmektedir. Proseslerin farklı aşamalarında fazlaca su tüketilmektedir. Meydana gelen atık su evsel atık suya göre on kat daha fazla KOİ ve BOİ konsantrasyonlarına sahiptir. Bu sınıfta renkli atık su üretimi en çok maya ve alkol üretim tesislerinde olmaktadır [34].

Maya üretiminde hammadde olarak kullanılan şeker pancarlarının yapısındaki melanoid pigmenti üretim suyuna geçmektedir. Karmaşık biyopolimer yapıya sahip olan bu bileşik suya geçtiğinde bulanıklığa sebep olarak ışık geçirgenliğini azalttığından su canlılarını olumsuz etkilemektedir. Atık sudaki rengin sebebi olan melanoidler, giderimlerinde uygulanan anaerobik yöntemlerde anlaşılamayan nedenlerden yapı değiştirmektedirler ve renkleri koyulaşmaktadır. Antioksidan özellikleri sebebi ile biyolojik giderim yöntemleriyle giderilememektedirler [47]. Wang vd., aluminyum sülfat kullanarak yaptıkları koagulasyonla maya üretimi atık suyundan yüksek verimle renk giderimi sağlamışlardır [48].

Shoda ve Lee tarafından gerçekleştirilen çalışmada, fenton oksidasyon metodu ile yüksek oranda renk gideriminin sağlanabildiği ancak elde edilen çamurun yüksek oranda Fe içermesinin dezavantaj olduğu belirtilmiştir [49].

Alkol üretiminde hem organikleri hem de rengi aynı zamanda etkin olarak giderebilecek verimli bir sistem mevcut değildir. Biyolojik ve fiziksel ayırma metodları ile, laboratuvar şartlarında renk giderimi ve organik içeriğin bozundurulması başarılmıştır, ancak tam ve etkili giderim için entegre prosesler gerekmektedir [47].

3.2.4 Kağıt Endüstrisi

Kâğıt üretiminde; kabuk soyma ve yonga yıkama sırasında, yonga çürütme aşamasında, eleklerde sulu hamurun süzülmesi sırasında, ağartma prosesinde ve makinelerin yıkanmasında atık sular oluşmaktadır. Üretilen kâğıt için ton başına 220-380 m^3 yüksek renk içerikli atık su meydana gelmektedir. Lignin kâğıt üretiminde atık suya rengi veren temel bileşendir. Bunun yanısıra bazı boyama işlemlerinde kullanılan boyar maddeler de atık suya geçebilmektedir. Nanofiltrasyon, ozonlama ve ters osmos kâğıt endüstrisi atık suyunun renk giderimi için kullanılan çeşitli yöntemlerdir [34].

3.2.5 Diğer Edüstriler

Boya, kauçuk ve lastik, ilaç, gübre ve petrokimya sanayiinde renkli atık sular oluşmaktadır. Su, bu sanayi dallarında doğrudan proses içinde kullanımı dolayısıyla değil temizlik ve soğutma sırasında kontamine olmaktadır.

Boya üretimi proses tanklarının yıkanmasıyla suya karışan boya ve hammaddeleri flokülasyon ile geri kazanılmakadır [50]. Tanyolaç ve Körbahtı, elektrokimyasal muamele ile boya sanayii atık suyunun deşarj kriterlerine uygun hale getirilmesini inceledikleri çalışmalarında %86.2 renk giderimi sağlamışlardır [51].

Petrokimya sanayiinde kullanılan arıtma prosesleri: flokulasyon, DAF (Dissolved Air Flotation-Çözünmüş Hava Flotasyonu) ve biyolojik arıtma ünitelerini içermetedir. Ozonlama, elektro-Fenton prosesleri, aktif gübre ile anaerobik yöntem, ultrasonik yöntem vb. yöntemlerle mevcut petrokimya proseslerinde oluşan atık su arıtımını iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır [52], [53], [54], [55].

3.3 Renkli Atık Sulardan Boyar Madde Giderim Yöntemleri

3.3.1 Kimyasal Yöntemler

Oksidatif proses, uygulama rahatlığından dolayı en sık kullanılan kimyasal yöntemlerden biridir. Kimyasal oksidasyon yönteminde, boyar madde oksidasyon neticesinde aromatik yapısındaki parçalanma ile atık sudan ayrılmaktadır. Ana oksitleme ajanı olarak yaygın olarak hidrojen peroksit (H_2O_2) kullanılmaktadır. Renk gideriminde uygulanacak olan yöntem, bu ajanın aktive edilme metoduna bağlı olarak farklılık göstermektedir [56]. Ozon, diğer oksitleyicilere kıyasla fazla kararsız yapıda olduğundan ön plana çıkmıştır. Fenol, pestisit ve aromatik hidrokarbonları bozundurabilmektedir. Gaz halde uygulanabildiğinden toplam hacmi artırmamaktadır. Deşarj suyundaki boyar madde miktarı ve KOİ'ye bağlı olarak, tortu ya da çamur oluşturmadan giderim sağlamaktadır. Ozonun yarı ömrünün çok kısa olması, yüksek sıcaklık ve alkali ortamda dekompozisyonunun hızlanması olumsuz özeklliklerdir.

İleri oksidasyon prosesleri, konvansiyonel yöntemler tek başlarına kullanıldıklarında sağladıkları verimin yükseltilmesi amacı ile ortaya çıkarılmıştır. H_2O_2, Fe (II) tuzları (Fenton reaktifi) katalizörlüğünde kullanıldığında oksidasyon ve koagulasyonun

avantajalarından da faydalanılabilmektedir [57]. Bu yöntemler özellikle biyolojik uygulamalara dirençli olan atık suların muamelsine uygundur. Ancak flok oluşumunun ikincil bir bertarafı gerektirmesi, dezavantajlarıdır [56].

Elektrokoagulasyon ve elektrokimyasal oksidasyon yöntemleri; koagulant oluşumunun ve aşırı kimyasal tüketiminin azaltıldığı yöntemlerdir. Elektrolitik teknik ise, yüksek enerjili elektron ve hidroksil radikalleri kullanılarak boyar madde bileşiklerinin tamamen karbondioksit ve suya parçalandığı bir yöntemdir [58]. Kontamine suların kirleticilerden arındırılmasında etkili bir yöntem olmasına rağmen, yüksek elektrik enerjisi gereksinimi ve kimyasal ajanların tüketimi sebebi ile maliyeti çok yüksektir ve tercih edilmemektedir [59].

3.3.2 Fiziksel Yöntemler

İyon değiştiriciler, adsorpsiyon, membran filtrasyonu, koagulasyon-flokulasyon ve radyasyonlama boyar madde gideriminde kullanılan fiziksel yöntemlerdendir. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

3.3.2.1 Adsorpsiyon

Akışkan fazdaki bileşenlerin katı veya sıvı yüzeyinde birikerek toplanması prosesine adsropsiyon denir. Yüzeyde toplanan iyon veya moleküller adsorbat, adsorpsiyon işleminin gerçekleştiği yüzey adsorban olarak adlandırılmaktadır. Doğal ve aynı zamanda etkili bir ayırma prosesidir [60].

Kimyasal ve fiziksel adsorpsiyon olmak üzere ikiye ayrılır. Kimyasal adsorpsiyonda, adsorbat iyon ya da moleküller ile adsorban yüzey arasında elektron değişimi sebebi ile sağlam bağlar oluşmakadır ve bu nedenle de tersinmezdir. Fiziksel adsorpsiyonda itici güç adsorban ve adsorbat arasındaki zayıf van der Waals, hidrojen bağları ve dipol-dipol etkileşimleri olduğundan tersinir özelliğe sahiptir [61].

Konvansiyonel biyolojik atık su arıtma yöntemleriyle giderilemeyen boyar maddelerin gideriminde kullanılan en etkili yöntemdir. Tasarımının kolaylığı ve esnekliği, kurulum maliyetinin düşük olması, işletim kolaylığı ve zararlı yan ürünler meydana getirmemesi nedeniyle diğer yöntemlere tercih edilmektedir. Adsorpsiyonu etkileyen temel parametreler adsorbat-adsorban etkileşimleri, adsorban yüzey alanı, adsorban-

adsorbat oranı, adsorbat partikül boyutu, sıcaklık, pH ve etkileşim süresidir [62]. Adsorpsiyon yöntemi detaylı olarak Bölüm 5'te ele alınmıştır.

3.3.2.2 Membran Filtrasyonu

Atık sulardan boya giderimi için mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmos (TO) yöntemleri kullanılmaktadır. Membran, boyar maddeleri bozundurmak yerine atık suların önünde fiziksel bir set görevi görmektedir. Potansiyel olarak boyar maddenin, kimyasal bileşenlerin ve suyun geri kazanımı ve kullanımını sağlamaktadır. Boyar madde gideriminde kullanılacak olan membranın makul kimyasal ve termal kararlılığa sahip olması, prosesin yüksek akıda gerçekleşmesine olanak sağlaması, geniş pH ve sıcaklık aralığına uygun ve solventlere dayanıklı olması gerekmektedir.

MF geniş porları sebebi ile boyar madde gideriminde tercih edilmez. Ancak UF, indigo ve dispers boyarlar gibi çözünmeyen boyar maddelerin gideriminde başarı ile kullanılmaktadır. TO ve UF membranları üretiminde polyamid, polyakrilonitril, polysülfon, polykarbonat, stiren ve florokarbon bazlı polimerler gibi çeşitli polimerler kullanılmaktadır. Konvansiyonel yöntemle parçalanamayan bazı boyar maddeler NF membranları ile giderilebilmektedir. Bu yöntem suyun geri kazanımında önemli olsa da çözünmüş katı partiküllerin tamamen giderilememesi sorun teşkil etmektedir.

3.3.2.3 Koagulasyon – Flokulasyon

Partikül yüzeylerinin zeta potansiyellerini düşürerek, partiküllerin kümelenip yığınlar oluşturulmasının sağlandığı prosese koagulasyon denmektedir. Atık sulardan boyar madde giderimi çalışmalarında koagulasyon yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu prosesi gerçekleştiren koagulanlar anyonik, katyonik ve noniyonik polimerlerden sentezlenen organik yapılar olabileceği gibi $FeCl_3$, $Ca(OH)_2$ ve $Fe_2(SO_4)_3$ gibi inorganik yapılar da olabilir [63].

Yöntem kısmî boyar madde gideriminin yanı sıra kullanılan koagulanın kapasitesine göre KOİ'yi de azaltır. Koagulasyon prosesinde karşılaşılan temel sorunlardan birincisi kullanılan kimyasalların geri kazanımının mümkün olmaması ve atılmasıdır. İkincisi, suda yüksek çözünürlüğe sahip olan boyar maddelerin giderilebilmesi için fazla

miktarda koagulana gereksinim duyulmasıdır. Boyanmış toksik koagulan meydana gelmesi ve bunun belirlenmiş olan standartlar dahilinde bertaraf edilmek zorunda olunmasının yanında muamele edilen suda toplam çözünmüş katı madde mikarının artması da karşılaşılan başka bir dezavantajdır [57].

3.3.2.4 Radyasyonlama

Gama radyasyonu, kimyasal oksidasyon ya da indirgenme proseslerine karşı dirençli olan boyar maddelerin gideriminde önemlidir. Bozunma için gereken oksijen kaynağı ve radyasyon miktarı bozunma hızını belirleyen faktördür [57].

3.3.3 Biyolojik Yöntemler

Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin ortaya çıkardıkları problemlere karşı düşük maliyetleri, az çamur meydana getirmeleri ve en önemlisi çevre dostu olmaları sebebi ile biyolojik uygulamalar, araştırmacıların ilgi kaynağı haline gelmiştir. Atık sulardan organik yapıdaki boyar maddelerin gideriminde, aerobik ya da anaerobik biyolojik yöntemler en verimli uygulamalardır. Kararlı yapılarından dolayı boyar maddelerin parçalanmaları oldukça zordur. Bu aşamada, mikroorganizmalar, kompleks yapıdaki organik molekülleri parçalamada önemli rol oynarlar. Aerobik yöntemde, atık suya, içinde çözünmüş oksijen varlığında, mikroorganizmalarla muamele edilir. Konvansiyonel aeorbik sistemler; stabilizasyon havuzlarını, dolgulu yatak reaktörlerini ve aktif çamur işlemini içerirler. Yaygın olarak kullanılanı, aktif çamur sistemleridir. Atık su, içinde çözündürülen mikroorganizmalarla beraber aktif çamurdan geçirilir. İşlemin asıl kısmını çamurda adsorpsiyon oluşturur. Asidik ve reaktif boyar maddeler çamur üzerine tutunmadan su ile beraber geçmektedirler. Bu nedenle, bazı boyar maddelerin yapısal özelliklerine göre giderim verimi düşük olur. Ortaya çıkan biyolojik ve toksik çamurun bertarafı, maliyeti arttırmasının yanında, aerobik yöntem tek başına uygulandığında atık suyun toksikolojik özelliklerini ortadan kaldırmaz [57].

Anaerobik yöntemler, atığın bir miktar ısı açığa çıkararak metan ve karbondiokside parçalandığı kapalı tanklarda gerçekleştirilir. Açığa çıkan ısı ve metan enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Eğer tam mineralizasyon gerçekleşirse elde edilen biogazın kullanımı ısı, güç ve enerji maliyetini düşüreceğinden bu yöntem için bir tercih sebebi

olur. Fakat bazı boyarların toksik özellikleri tam mineralizasyonu engeller. Anaerobik sistemler aerobik sistemlere göre daha az yer kaplarlar [64].

Sadece renk giderimi sağlayan aerobik yöntem yanında anaerobik sistem de kullanıldığında atık suyun toksik özelliği de büyük oranda ortadan kaldırılabilmektedir. Ancak anaerobik indirgenme sırasında oluşacak aromatik aminlerin otooksidasyonu toksikolojik açıdan çekincelere sebep olmaktadır. Bu durumda, belirlenmiş deşarj standartlarına ulaşabilmek için biyolojik proses yanında ileri oksidasyon proseslerinin de kullanılmasına ihtiyaç duyulabilir [65].

3.3.4 Atık Su Arıtma Tesislerindeki Genel Proses

Konvansiyonel atık su arıtımı; ön işlem, birincil işlem, ikincil işlem, ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşmaktadır.

Ön işlem: Atık su ön arıtmaya girmeden önce büyük katı maddelerin ayrılması için bir ızgaradan geçirilir. Sonraki aşamada içeriğindeki yağ ve kum havalandırmalı havuzda ayrılır. Havalandırma işlemi alttan pompalamayla ya da su yüzeyinin karıştırılmasıyla sağlanmaktadır. Ayrılan maddeler arazi dolgu malzemesi olarak kullanılır [66].

Birincil işlem (Ön arıtma): Askıdaki katı maddeler ve organik maddelerin çöktürme ile ayrılması işlemidir. Bazı sistemlerde kimyasal ilavesi ya da filtrasyon bu aşamadaki çökrümeye yardımcı olması için kullanılır [67].

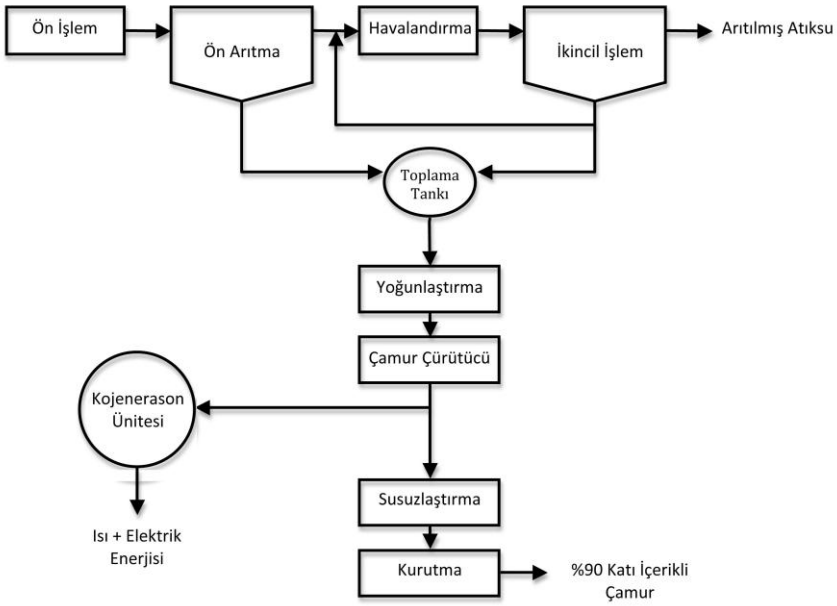
İkincil işlem: Atık su, aktif çamurun iyice karışması ve oksijen ihtiyacı için havalandırma havuzundan geçirilmektedir. İleri arıtma sitemlerinde bu aşamada anaerobik ve aerobik ortamda fosfat ve azotun giderimi yapılmaktadır. Ayrılan çamur, çöktürme işleminden sonra çamur işleme ünitelerine pompalanır [67].

Dezenfeksiyon: Bu ünitede ikincil işlemde arıtılan su, deşarj öncesinde patojenlerden arındırılmaktadır [67].

3.3.5 Türkiye'de Atık Su Arıtma Tesisleri

Türkiye'nin bazı şehrlerinde faaliyet gösteren ileri arıtma tesisleri mevcuttur. Türkiye'nin ilk ileri biyolojik arıtma tesisi İstanbul Ataköy'de 2012 yılında hizmete girmiştir. Tesis tam kapasite ile çalıştığında günde 600.000 m^3 su arıtmaktadır. Arıtma

sonrası ortaya çıkan çamur, %90 katı madde içeriği ile zararsız hale getirilmekte ve arıtılmış atık su Marmara Denizi'ne deşarj edilmektedir. Tesisin proses akış şeması Şekil 3.3'de gösterilmiştir [68].



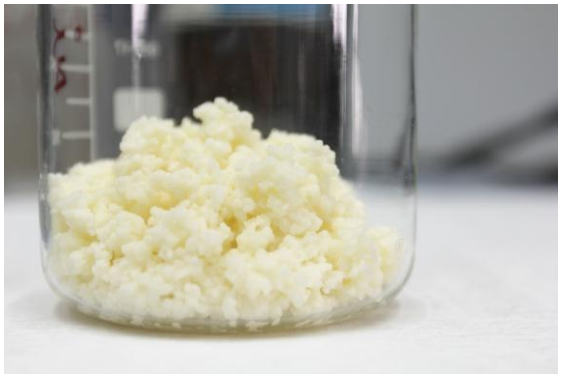
Şekil 3.3 İstanbul ileri biyolojik arıtma tesisi proses akım şeması [68]

BÖLÜM 4

KEFİR

Kefir; kefir tanelerinin starter kültür olarak kullanımıyla sütün fermantasyonu neticesinde elde edilen viskoz, asidik (~pH 4.4) ve hafif alkollü içecektir [69]. Tüketimi sonrasındaki verdiği rahatlama sebebi ile keyif sözcüğünün eski hali olan "kef" sözcüğünden türediği düşünülmektedir [70]. Kefyr, kephir, kefer, kiaphur, knapon, kepi ve kippi gibi farklı yörelerde değişik isimlerle anılmıştır [71].

İlk olarak nasıl üretildiği çeşitli efsanelere dayandırılmaktadır. Ancak kesin olarak bilinmemekle birlikte deri tulum içerisinde saklanan sütte kefir tanelerinin kendiliğinden oluştuğu ve sütü fermente ederek kefir içeceğini ürettiği söylenmektedir (Şekil 4.1) [69]. Menşei yüzyıllardır tüketildiği Kafkas dağları olan bu içeceğin probiyotik özelliği ve besin değerleri ile sağlığa faydaları bilinmektedir. Başta Rusya'da gördüğü ilgiden sonra son yıllarda tüm dünyada ticari üretimi hız kazanmıştır [71]. Araştırmacıların ortaya koyduğu sayısız faydalarından bazıları; antibakteriyel, immün sistemi güçlendirici, tümör oluşumunu engelleyici ve kolesterol düşürücü etkileridir [72].



Şekil 4.1 Kefir tanesi

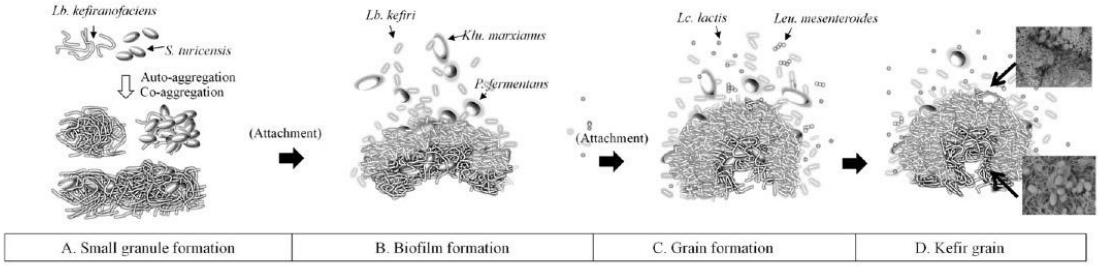
Kefir tanesi (mayası); beyaz ile sarımtırak beyaz arasında renkte, inert polisakkarit/protein matrisinde, pek çok bakteri ve maya çeşidinin kümelenmesi neticesinde meydana gelen, karnabahara benzer görünümlü bir bakteriler topluluğudur [69], [72].

4.1 Kefir Tanelerinin Mikroflorası ve Üretimi

Kefir tanesinin bakteriyel florası; *Lactobacilli* (*Lactobacillus kefir*, *Lactobacillus kefiranofaciens*, *Lactobacillus kefirgranum*, *Lactobacillus parakefir*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus paraplantarum*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus fructivorans*, *Lactobacillus hilgardii*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus viridescens*, *Lactobacillus bulgaricus)*, *Lactococci* (*Lactococcus lactis subsp. lactis, Lactococcus lactis subsp. cremoris*)*, Streptococci* (*Streptococcus thermophilus)*, *Enterococci* (*Enterococcus durans, Enterococcus faecium*), *Leuconostocs* (*Leuconostoc mesenteroides, Leuconostoc mesenteroides subsp. cremoris*), Asetikasit bakterileri (*Acetobacter aceti, Acetobacter pasteurianus*) ve mayalardan oluşmaktadır. Glikoz ve galaktozdan mürekkep kefiran adı verilen suda çözünen polisakkarit matrisinde bakteri ve mayaların biraraya gelmesiyle oluşmaktadır [73]. Florasında temelde değişiklik olmasa da kaynağın geldiği bölgeye göre farklılıklar göstermektedir. Üretildiği bölge, ortam şartları (pH, sıcaklık, vb.) ve kullanılan sütün türü (sığır, koyun, keçi, vb.) oluşan bakteri çeşitliliğini ve oranını etkilemektedir [74], [75].

Ayrı ayrı çoğalan laktikasit bakterileri ve mayalar biofilm oluşumu sonrasında kümelenerek önce kendi içlerinde sonra da karşılıklı karışarak kefir tanesini meydana getirmektedirler (Şekil 4.2). Düzensiz bir yapıya sahiptirler. Yüzey kısımda laktikasit bakterileri kısa iken tanenin iç kısımlarında uzundur ve mayaların sayısı da artmaktadır [76]. Kefir tanesinin yaklaşık %90'ını oluşturan sarımsı polisakkarit sıvı olan kefiranın, temel olarak laktikasit bakterisi *Lactobacillus Kefiranofaciens* tarafından sentezlendiği Koolman (1968) tarafından tespit edilmiştir [77]. Bu polisakkarit yapının tane oluşumunda baskın etkiye sahip olduğu düşünülmektedir [76]. Oluşan tanelerin boyutları kaynaklarda belirtilene göre birbirlerinden farklılık göstermektedirler [78].

Kefir tanesinin kimyasal bileşimi ağırlıkça % 89-90 su, % 0.2 yağ, % 3.0 protein, % 6.0 şeker ve % 0.7 kül'dür (Çizelge 4.2) [79].



Şekil 4.2 Kefir tanelerinin oluşumunun şematik gösterimi [76]

Hücrenin bir yüzeye tutunmasında hidrofobiklik ve yüzeyin elektriksel yükü önemli faktörlerdir. Hücre yüzeyinde bulunan proteinin tanelere yüksek hidrofobik özellik, polisakkaritin ise yüksek hidrofilik özellik kazandırdığı bilinmektedir. Buna göre Wang vd. çalışmalarında, laktik asit bakterilerinin çoğunun hidrofilik yapıya ve negatif yüzey yüküne sahip olduklarını gözlemlemişlerdir. Fakat kefir tanesinin yapısını oluşturan *Lactobacillus Kefiranofaciens* ve *Lactobacillus Kefiri* laktik asit bakerilerinin yüksek hidrofobik özellikte olduğu açıklanmıştır. Bu bakterilerin pH 4.2'de pozitif, pH 6.2'de negatif yüzey yüküne sahip oldukları araştırmacılar tarafından kaydedilmiştir. pH 4.2'de pozitif yüklü laktik asit bakterilerinin hidrofobik ve negatif yüklü maya hücreleri ile kümelenerek kefir tanelerini meydana getirdikleri belirtilmiştir [76].

Kefir tanelerinin oluşumunda; süt/kefir tanesi oranı, sıcaklık, fermantasyon süresi, ortam şartları, çalkalama ve tanelerin filtrasyon sonrasında yıkanması etkili parametrelerdir [80].

Çizelge 4.2 Standart ve deneysel yöntemle üretilen kefir tanelerinin kompozisyonu [81]

	Standart kefir taneleri	Deneysel kefir taneleri[1]
Laktik asit bakterileri (cfu)	$(1.1–43.0) \times 10^8$	$(5.0–34.0) \times 10^7$
Maya (cfu)	$(9.0–260.0) \times 10^4$	$(1.9–150.0) \times 10^2$
Nem(g/100g)	82.6 – 83.5	71.4 – 76.5
Protein(g/100g)	4.61 – 5.43	4.17 – 4.66
Toplam şeker(g/100g)	6.34 – 7.76	8.93 – 9.46
Yağ(g/100g)	1.35 – 1.69	2.68 – 7.48

Britz ve Schoevers, ticari üretim için kullanılacak olan kefirlerin nasıl daha hızlı ve daha yüksek miktarda üretilebileceklerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada, kefir

[1] Triptoz katkılı düşük yağ oranlı sütte çalkalamalı yöntemle üretilen kefir tanleri.

tanelerinin düşük yağ oranlı sütte tam yağlı süte göre daha yüksek oranda üretiklerini görmüşlerdir. Maya ve triptoz gibi besin katkılarının üremeye etkisinin olumlu olduğunu ancak maliyeti fazlasıyla artıran etmenler olduklarını belirtmişlerdir. Tam yağlı sütün içinde dahi, muhtemelen besin alış verişini hızlandırdığından, çalkalama ile üreme miktarının iki katına çıktığını tespit etmişlerdir. İncelemeleri neticesinde, fermente sütün günaşırı tazesiyle değiştirilerek, 25˚C optimum sıcaklıkta, 130 devir/dak. çalkalama hızı ve 20 g/L triptoz katkısı ile yirmi ikinci günün sonunda kefir tanlerinin %582 oranında çoğaladığını kaydetmişlerdir [81].

4.2 Kefir Tanelerinin Muhafazası

Fermantasyon sonrasında filterlenen kefir taneleri bir sonraki kullanımlarına kadar kısa raf ömürleri sebebi ile bozunmalarını engellemek amacıyla belirli koşullarda saklanmaktadırlar [71]. Liyofilizasyon, açık havada kurutma, dondurma ve buzdolabında saklama kefir tanelerinin korunmasında kullanılan bazı yöntemlerdir. Liyofilize edilmiş taneler 12-18 ay muhafaza edilebilmektedir. Saklama süresince kullanılan kabın malzemesi kefir tanesinin mikrobiotasında önemli kompozisyon farklarına neden olmaktadır [82].

Garotte vd. kefir tanelerinin muhafazası üzerine yaptıkları çalışmada, -80˚C'de dondurularak yapılan muhafazada süt içinde aktifliklerini korudukları ve büyümeye devam ettiklerini bildirmişlerdir. Ancak 4˚C'de saklandıklarında, birkaç süt tazelemesinden sonra büyümeyi durdurdukları, ayrıca kontaminasyon riski taşıdıkları belirtilmiştir. -20˚C ve -80˚C'de saklanan taneler benzer büyüme tepkileri verdiğinden kefir tanelerinin -20˚C'de dondurularak saklanmasının uygun olduğu beyan edilmiştir [79].

Endüstriyel üretimde kullanılmakta olan dondurulmuş kefir taneleri 18 g/500 mL tam yağlı süt içinde 80˚C'de 20 dakika süreyle tutulduktan sonra 24 saatlik setlerle 1 L sütte inkübasyonlarına üç gün zarfında devam edilerek aktive edilmektedirler [83].

4.3 Türkiye'de ve Dünyada Kefir Üretimi

19. yüzyılın başlarında Sovyetler Birliği ülkelerinde popülerlik kazanan kefir bugün İsveç, Norveç, Almanya gibi Avrupa ülkelerinin yanısıra Amerika kıtasında da ticari olarak üretilmektedir. Güney Amerika ülkelerinde geleneksel bir içecek olduğundan

kefirin üretimi evlerde sürdürülmektedir ve endüstriyel üretimi yaygın değildir [70]. Rusya'da ilk ticari kefir üretimi işletmesi 1908 yılında kurulduğundan beri kefir içeceği; ekmek, tuz vb. temel besin maddeleri kadar yaygın tüketilmektedir [84]. Yapılan araştırmalarla sağlığa faydaları keşfedildikçe tüketimi dünya çapında artmaktadır.

Türkiye'de 1980'li yıllarda ilk kez ambalajlı olarak satışa sunulmuş, ancak ilgi görmemiştir. 2005 yılında yapılan girişimler olumlu netice vermiş ve 2009 yılına kadar kararlı bir piyasa edinmiştir. Son yıllarda üretim piyasası talep azlığından daralmıştır [85].

BÖLÜM 5

ADSORPSİYON

Adsorpsiyon, sıvı ya da gaz fazındaki bileşenlerin ayrılması için uygulanan bir kütle aktarımı prosesidir. Yapılan en genel tanımlama, akışkan fazdaki bileşenlerin katı veya sıvı yüzeyinde birikerek toplanmasıdır. Yüzeyde toplanan iyon veya moleküller adsorbat, adsorpsiyon işleminin gerçekleştiği yüzey adsorban olarak adlandırılmaktadır. Doğal ve aynı zamanda etkili bir ayırma prosesi olan adsorpsiyon, su arıtımında yoğun olarak kullanılmaktadır. Su arıtımında ayrıştırılacak iyon ya da moleküller elektriksel yük ve karakterizasyonlarına bağlı olarak katı taneciklerle etkileşerek adsorplanmaktadır [60].

Adsorpsiyon; kimyasal ve fiziksel adsorpsiyon olmak üzere temel olarak ikiye ayrılır [61]. Ticari adsorbanların yanısıra tarımsal atıklar dahil olmak üzere pek çok ucuz alternatif adsorbanın kullanıldığı boyar madde giderim proseslerinde fiziksel adsorpsiyon baskındır [62].

Adsorpsiyon, konvansiyonel biyolojik atıksu arıtma yöntemleriyle giderilemeyen boyar maddelerin gideriminde kullanılan en etkin ve yaygın yöntemdir. Kullanılmakta olan diğer yöntemlere göre tasarımının kolaylığı ve esnekliği, kurulum maliyetinin düşük olması, işletim kolaylığı sebepleri ile tercih edilmektedir. Zararlı yan ürünler meydana getirmez. Adsorpsiyonu etkileyen temel parametreler adsorbat-adsorban etkileşimleri, adsorban yüzey alanı, adsorban-adsorbat oranı, adsorbat partikül boyutu, sıcaklık, pH ve temas süresidir [62].

5.1 Adsorpsiyon Mekanizması

Adsorpsiyon prosesi, gaz-sıvı, gaz-katı, sıvı-sıvı ve sıvı-katı fazlarında gerçekleşebilir. Ayrılması istenen bileşeni tutan faza adsorban, adsorplanan bileşene adsorbat denir. Tutulan moleküllerin adsorban yüzeyinden serbest bırakılması ise desorpsiyon olarak adlandırılır.

Katı adsorbanlar içindeki atom ve/veya moleküller çeşitli fiziksel ve kimyasal etkileşimler neticesinde zayıf Van der Waals çekim kuvvetleri ve iyonik bağların etkisi ile bir arada tutulmaktadırlar. Katı partiküllerin yüzeyindeki kuvvetlerin kısmen serbest halde olması sebebi ile oluşan doymamışlık, yüzey gerilimine sebep olur. Yüzeydeki bu kuvvetler sıvı ya da gaz fazındaki moleküllerin çekim kuvvetleri ile birleşerek adsorpsiyon şiddetini açığa çıkarırlar. Yüzey geriliminin azalması ile yavaşlayan adsorpsiyon, yüzey kuvvetleri dengelenene kadar sürer. Sistem; adsorpsiyon ve desorpsiyonun devam ettiği kinetik bir dengeye sahiptir [62].

5.2 Adsorpsiyon Türleri

Temel olarak, fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki adsorpsiyon türü vardır. 1980'li yıllardan itibaren çalışmaları yoğunlaşan ve biyosorpsiyon olarak adlandırılan biyolojik adsorpsiyon, üçüncü türü meydana getirmiştir.

5.2.1 Fiziksel Adsorpsiyon

Adsorplanan iyon ya da moleküller ile adsorban yüzeyi arasında meydana gelen çekim kuvvetinin sebebi zayıf Van der Waals kuvvetleri ise bu tür adsorpsiyona fiziksel adsorpsiyon denir. Proses kendiliğinden gerçekleşmekte ve kolay bir şekilde dengeye gelmektedir. Adsorplanan maddenin adsorban yüzeyini tamamen kaplama eğilimi desorpsiyon ile engellenmektedir.

Adsorbanların yüzey alanı, gözenek büyüklüğü ve dağılımlarının belirlenmesi karışımlardaki bileşenlerin bir fazdan diğerine aktarılmasını sağlayan fizisel adsorpsiyon için önemlidir.

Sıvı-katı ve gaz-katı ara yüzeyleri fiziksel adsorpsiyonda önemlidir. Fiziksel tutunma kuvveti ile katı yüzeye adsorbe olmuş molekül yüzeye tutunma kuvveti kimyasal

kuvvete göre oldukça zayıftır. Bu nedenle yerine yeni bir molekül geçmesi ile ya da çok düşük bir vakumda bile yüzeyden ayrılabilir. Sıvı fazda bulunan adsorbatın hidrofilik ya da hidrofobik olması fiziksel adsorpsiyonda ortaya çıkan fiziksel çekim kuvvetlerini etkileyeceğinden önemlidir [62].

5.2.2 Kimyasal Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, adsorban ve adsorbat molekülleri arasındaki elektron alışverişi sonucu oluşan kimyasal bağlar neticesinde gerçekleşiyorsa kimyasal adsropsiyon olarak adlandırılır. Tek yönlü gerçekleşen reaksiyon sonrasında adsorban yüzeyi tamamen kaplandığında adsropsiyon prosesi sonlanmış olur.

Adsorplanan molekülü yüzeyden koparmak güçtür. Ayırma işlemi sadece yüksek sıcaklıkta ve vakum altında gerçekleştirilebilir. Kimyasal adsorpsiyon prosesinin ekzotermik olduğu bilinmektedir. Ancak meydana gelebilecek desorpsiyon ile molekül ayrışma enerjisi bağlanma enerjisinden daha yüksek olur ise proses endotermik olur. Kimyasal adsorpsiyon yüksek sıcaklıkta ve yavaş gerçekleşir.

Kimyasal adsorpsiyon prosesi tek katmanlı gerçekleşir. Kuvvetli kimyasal bağlarla adsorban yüzeyine tutuklanan moleküller yüzey üzerinde bulundukları yerde sabittirler. Fiziksel adsorpsiyonda moleküllerin adsorban yüzeyinde hareket etmesine muhtemel bir engel olsa da adsorplanan moleküller yer değiştirebilir [62].

5.2.3 Biyolojik Adsorpsiyon (Biyosorpsiyon)

Alg, mantar, bakteri vb. biyokütlelerin adsorban olarak kullanıldığı proseslerdir. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun yanısıra biyodegradasyon da proses mekanizmasının bir parçası olabilmektedir. Mikroorganizmalarla yapılan biyosorpsiyon işlemlerinde adsorban inert bir madde üzerine entegre edilirse adsropsiyon hızlanmakta ve proses süreklilik kazanmaktadır [62].

5.3 Adsorpsiyonu Etkileyen Parametreler

5.3.1 Çözelti pH'ının Etkisi

Adsorbatın ve adsorban yüzeyinin iyonlaşma derecesini belirlemesi sebebi ile atıksu arıtımında adsorban kapasitesini etkileyen en önemli etkenlerden biri çözelti pH'ıdır. Çözeltinin asitlik ya da bazlığı boyar maddenin elektriksel yüküne göre adsorpsiyonu olumlu ya da olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin, düşük pH değerlerinde adsorban yüzeyini protonlamak için daha fazla proton hazır bulunmaktadır. Anyonik boyar maddeler, düşük pH etkisi ile adsorbanda oluşan pozitif yüklü adsorpsiyon bölgeleri sebebiyle meydana gelen elektrostatik etkileşim sayesinde yüksek verimle adsorplanmaktadırlar. Yükselen pH değeri ile verim giderek azalmaktadır [86].

5.3.2 Başlangıç adsorbat konsantrasyonu

Başlangıç adsorbat konsantrasyonu arttıkça tutuklama yüzdesi aşırı doygunluk sebebi ile azalmaktadır [87]. Buna karşı, adsorban kapasitesi yüksek başlangıç konsantrasyonunun kütle aktarımına itici güç teşkil etmesi sebebi ile artmaktadır [88].

5.3.3 Sıcaklığın etkisi

Sıcaklık, adsorbanın adsropsiyon kapasitesini etkileyen önemli bir fizikokimyasal parametredir. Adsorpsiyon prosesini oluşturan fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon mekanizmaları sıcaklıktan farklı şekilde etkilenmektedirler. Fiziksel adsorpsiyon prosesleri genellikle ekzotermiktir ve adsorpsiyon ısısı 1-15 kcal/g.mol aralığındadır. Fiziksel adsorpsiyonda, adsorban ile adsorbat yüzeyi arasındaki çekim kuvvetleri zayıf dipol momentlerine bağlı olduğu için sıcaklık artışı ile adsorpsiyon miktarı azalmaktadır. Kimyasal adsorpsiyonda ise reaksiyona dayalı bir tutunma gerçekleştiğinden sıcaklığın etkisi kimyasal reaksiyonun ısısına bağlı olarak farklılık göstemektedir ve fiziksel adsropsiyona göre kimyasal adsorpsiyon sıcaklıktan daha fazla etkilenmektedir. Kimyasal bağın oluşması için gerekli olan aktivasyon enerjisi sebebi ile proses yüksek sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Kimyasal adsorpsiyon da genellikle ekzotermiktir ve adsorpsiyon ısısı 10-100 kcal/g.mol aralığındadır [89].

Sıcaklık artışından etkilenmeyen adsorpsiyon prosesleri olduğu gibi sıcaklık artışı ile adsorban kapasitesi artan endotermik adsorpsiyon prosesleri de mevcuttur. Artan sıcaklığa bağlı olarak boyar madde moleküllerinin hareketliliğinin ve/veya adsorban üzerindeki aktif bölgelerin sayısının artmasının adsorpsiyon kapasitesini yükselttiği düşünülmektedir [90].

5.3.4 Adsorban Miktarının Etkisi

Aktif adsorpsiyon bölgelerinin sayısı, adsorban miktarının artmasıyla arttığı için, optimum adsorban miktarına kadar olan artış boyar madde giderim yüzdesini yükseltmektedir. Ancak optimum seviyenin üzerindeki adsorban artışında partiküllerarası etkileşim sebebiyle adsorpsiyon alanının azalması, giderim veriminin düşmesine neden olmaktadır. Adsorban dozajının adsorpsiyona etkisinin incelenmesi, azami verime ulaşılabilecek değerin belirlenerek en ekonomik işlem şartlarının elde edilebilmesi açısından önemlidir [91], [92].

5.3.5 Adsorbanın Yüzey Alanı

Adsorpsiyon yüzeyde gerçekleşen bir proses olduğundan yüzey alanı önemli bir parametredir. Toplam yüzey alanının adsorpsiyonda kullanılabilir kısmını ifade eden spesifik yüzey alanı, maksimum adsorpsiyonu belirler. Dolayısıyla, katı partikülün küçük parçalara ayrılması ya da daha fazla gözenekli yapıya sahip olması yüzey alanını artıracağı için adsorplanan madde miktarını artırmaktadır [91].

5.3.6 Adsorbanın Yapısı

Adsorban partikülünün boyutu adsorpsiyon hızını ters orantılı olarak etkilemektedir. Farklı boyuttaki partiküller çözeltide kalan safsızlıkta büyük değişikliklere sebep olmaz. Gözenekli yapı yüzey alanını yüksek oranda etkilediğinden adsorpsiyon miktarını önemli ölçüde etkiler. Porların genişliği tutuklanacak moleküllerin büyüklüğüne bağlı olarak adsorplanma potansiyelini artırmaktadır. Küçük ve çok gözenekli katı partiküllerin iyi adsorbanlar olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür [92].

5.3.7 Temas Süresi

Adsorban diğer faz ile temas ettiği andan itibaren hızla adsorpsiyona başlar. Yüzey gerilimi azaldığı için adsorpsiyon hızı giderek azalır. Bir süre sonra ise sabitlenir ve bu süre optimum temas süresi olarak belirlenir [92].

5.3.8 Çalkalama Hızı

Sıvı-katı sistemleri etkileyen bir parametredir. Sıvı fazdaki katı partikülü kaplayan bir film tabakası vardır. Düşük karıştırma hızlarında film tabakası kalın olduğundan çalkalama hızı adsorpsiyon hızını belirleyen etmendir. Yeterli karışım sağlandığında film tabaka azalarak etkisini yitirir ve partikül difüzyonu hız sınırlayıcı etmen olur [92].

5.4 Sıvı Fazdan Boyar Madde Giderimi İçin Kullanılan Çeşitli Adsorbanlar

Organik ve inorganik adsorbanların adsorpsiyon verimine katkıları birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda genel olarak, organik adsorbanların ticari değeri olmayan yan ürün veya atık oluşları avantaj olarak gösterilirken, inorganik adsorbanlar içinse mekanik ve kimyasal kararlılık ve mikrobiyel bozunmaya karşı dirençli oluşları avantaj olarak nitelendirilmiştir [57].

5.4.1 Aktif Karbon

Aktif karbonlar, en yaygın kullanılan adsorbanlardır. Ticari olarak mevcut olan aktif karbonlar tahta, linyit ya da kömür vb. doğal karbon kaynaklarından elde edilmektedir. Ucuz ve kolay erişilebilir olması açısından aktif karbon üretiminde en çok kömür kullanılmaktadır. Bol miktarda açığa çıkan ağaç sanayii ve tarım atıkları, aktif karbon üretimi için ikincil bir kaynak oluşturmaktadır. Bu atıklar değersizdir ve bertaraf edilmeleri gereklidir. Bu atıklar aktif karbon kaynağı olarak değerlendirilerek bir ürüne dönüştürülürken, bertaraf masrafları da azaltılmış olur [12], [93].

Çeşitli küspeler, Hindistan cevizi kabuğu, Hindistan cevizi lifi, muz kabuğu, mısır koçanı, darı koçanı, pirinç kabuğu, bambu, kuruyemiş kabukları, atık gazete, PET şişeler ve kanalizasyon çamuru gibi pek çok malzeme, aktif karbon üretiminde hammadde olarak denenmiştir.

Aktif karbonların adsorpsiyon özellikleri de yapısal içeriklerine ve fizikokimyasal yapılarına göre çeşitlilik göstermektedir [94].

Aktif karbonlar kimyasal ya da fiziksel olarak aktive edilmiş, karbonca zengin hammaddelerden üretilen, fazlasıyla porozif yapıda malzemelerdir. Düzensiz mikroporlu içyapıları nedeni ile geniş yüzey alanına sahiptirler. Piroliz ile karbonizasyondan sonra elde edilen tanecikler kimyasal olarak çinko klorür, fosforik asit ya da potasyum hidroksit ile muamele edilerek aktive edilmektedirler [95].

Boyar maddelerin atık sulardan gideriminde, aktif karbonlar etkin olarak kullanılmaktadırlar. Diğer yüksek maliyetli yöntemlerle kıyaslandığında daha yüksek miktarda boyar madde giderimi sağladıkları için daha çok tercih edilmektedirler. Ancak üretim maliyetlerinin yüksek olması ve rejenerasyon gereksinimleri dezavantaj oluşturmaktadır [86]. Tek başlarına kullanıldıklarında yüksek maliyetleri ve rejenerasyonları sırasındaki kayıplar dolayısıyla ekonomik olmadıkları için polimer flokulasyonu, kimyasal koagulasyon ya da biyodegradasyon ile beraber kullanılmaktadırlar [59].

Boyar maddelerin moleküler boyutu ve çözünürlüğü adsoropsiyonu etkiler. Suda çözünen hidrofilik boyar maddelerin polar yapısına karşı, aktif karbonun apolar yapısının olması zayıf adsorpsiyona sebep olmaktadır. Düşük molekül ağırlığına sahip olan asidik ve reaktif boyar maddelerde düşük adsorpsiyon gözlemlenirken, nispeten yüksek molekül ağırlıklı olan bazik ve direkt boyar maddeler için aktif karbonların iyi adsorban oldukları belirtilmiştir [59].

5.4.2 Katı Tarım Atıkları

Katı tarım atıkları son yıllarda yapılan çalışmalarda çoğunlukla aktif karbon ya da uçucu küle dönüştürülerek kullanılmalarının yanında dekontamine edilip kurutulduktan sonra doğrudan adsorbana dönüştürülebilmektedirler. Ayrıca asit, baz veya yüzey aktif madde gibi kimyasallarla modifiye edildikten sonra da kullanılmaktadırlar. Şeker kamışı küspesi [96]'da, kanola sapları [97]'de, kakao tohumu kabuğu [98]'de, pirinç kabuğu [99]'de, ceviz kabuğu [100]'de, saman [101]'de, nohut kabuğu, yeşil fasülye kabuğu, bezelye kabuğu, greyfurt kabuğu [96]'da, mercimek kabuğu [102]'de, yer fıstığı kabuğu [103]'de, hindistancevizi posası [104]'de, portakal kabuğu [105]'de, muz kabuğu

[13]'de, mango kabuğu [106]'da, nar kabuğu [107]'de literatürde boyar madde gideriminde adsorban olarak kullanılmış olan tarım atıklarına örnek olarak verilebilir.

5.4.3 Sanayi Yan Ürünleri

Enerji hammaddesi olarak kömür kullanan termik santrallerde bol miktarda uçucu kül açığa çıkmaktadır. Değersizdir ve yol, tuğla ve çimento yapımında kullanılmaktadır [108]. Kullanılmayan uçucu külün bertaraf sıkıntıları, araştırmacıların, külü kirlilik kontrolünde adsorban olarak kullanmalarına sebep olmuştur [109], [110], [111], [112], [113]. Yüksek fırın tozları ve cürufu [114], İçerisinde kalsiyum hidroksit ve metal iyonları barındıran kaplama sanayii yan ürünü olarak elde edilen hidroksit çamuru [115], boksitten Bayer prosesi ile alüminyum üretiminde yan ürün olarak elde edilen kırmızı çamur literatürde adsorban olarak kullanılan diğer sanayi atıklarıdır [116].

Ayrıca ağaç sanayii yan ürünleri de adsorpsiyonda potansiyel kullanıma sahiptirler. Ucuz ve boyar madde gideriminde etkilidirler. Ağaç sanayiinde açığa çıkan talaş ve ağaç kabuğunun adsorban olarak kullanıldığı çalışmalara literatürde sıkça rastlanmaktadır [86].

5.4.4 Kil

Kil; toprak, kaya ve sudaki kolloid fraksiyonu oluşturan ince granüler kuartz, karbonat ve metal oksit minerallerinin karışımından meydana gelmektedir. Doğada bol miktarda bulunması sebebiyle uygarlığın ilk yıllarından beri iyi bilinen kil, iyonik yapısı sayesinde iyon değiştirerek, adsorpsiyonla ya da her ikisi ile doğal temizleyici görevi görmektedir.

Killer, negatif yüklü katmanlara sahip olmaları sebebi ile doğal koşullarda katyon değişiminde etkindirler. Fakat az olan anyon değiştirme özellikleri çeşitli yüzey aktif maddelerin eklenmesi ile artırılabilmektedir [117]. Uygulanan asidik-termal işlemler sonucu bentonit partiküllerinin yüzey alanlarının arttığı bilinmektedir [118].

Aktif karbondan 20 kat daha ucuz olması sebebi ile son yıllarda özellikle tercih edilmeye başlanmıştır. Bentonit, kaolinit ve diatomit gibi kil minerallerinin adsorban olarak kullanımı araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmektedir [119], [120], [121], [122].

5.4.5 Silisli malzameler

Silika taneleri, cam, alunit, perlit ve dolomit gibi doğal silisli malzemeler bol bulunmaları ve ucuz olmaları nedeni ile atıksu arıtımında ilgi odağı olmaktadırlar. Hidrofilik yüzeylerinde bulunan silanol gruplarının kimyasal reaktivitesi bu ilgiyi artıran sebeplerdendir. Mekanik kararlılıkları, porlu yapıları ve geniş yüzey alanları silisli malzemeleri adsorpsiyon için cazip kılmaktadır. Fakat alkali ortamlarda dirençlerinin düşük olması, çalışma koşullarını pH yönünden sınırlamaktadır [59].

Dolomit, genellikle termal modifikasyonlarla kristal ve morfolojik yapısı iyileştirildikten sonra adsorban olarak kullanılmaktadır [123].

Alunit yapısında yaklaşık %50 silikat içeren başka bir mineraldir. Ancak modifiye edilmediğinde iyi bir adsorban değildir. Termal işlem ya da kalsinleme neticesinde adsorbsiyon kapasitesinin birkaç katına çıktığı belirtilmiştir [124]. Silisli malzemelerin mineral yapılarını oluşturan bileşenlerinin oranları elde edildiği bölgeye göre farklılık gösterdiğinden adsorpsiyon özellikleri de değişebilmektedir.

5.4.6 Zeolit

Kristal yapısının %50'si boşluklardan oluşan zeolitler, hidrasyona uğramış aluminyum silikatlardır. Üç boyutlu negatif yüklü bir kafes yapısına sahiptirler. Doğada mikropor aralığında bulunan por yapısına sahip olarak tanımlanmış tek kristal yapılı malzemedir [125]. Zeolitler kafes yapıları sayesinde iyi iyon değiştirici özelliği göstermektedirler. Mineralizasyonuna bağlı olarak doğada kırk iki zeolit türü bulunmaktadır. Klinoptilolit, ucuz olması sebebiyle, boya gideriminde adsorban olarak en çok kullanılan zeolit türüdür, ancak zayıf adsorpsiyon özelliği göstermektedir [126], [127]. Zeolitlerin adsorpsiyon kapasitelerinin asidik boyar maddelere kıyasla katyonik boyar maddelerde daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Adsorban olarak kullanılan diğer bir zeolit türü olan erionitin düşük adsorpsiyon kapasitesinin artırılabilmesi için kimyasal modifikasyon yapılması önerilmektedir [128].

5.4.7 Biyosorbanlar

Maya, kitin, kitosan, turba, bakteriyel biyokütle, mantar vb. pek çok biyolojik malzeme ile çözeltilerde bulunan kirletici bileşenleri ayırma işlemi biyosorpsiyon olarak

adlandırılmaktadır. Bu biyosorbanlar ve türevleri sahip oldukları fonksiyonel gruplar sayesinde boyar madde molekülleri ile bileşikler oluşturabilirler. Bilinen iyon değiştiriciler ve ticari aktif karbonlara göre çok daha seçici olduklarından çözeltideki boyar madde konsantrasyonunu ppb seviyelerine kadar indirebilirler.

5.4.7.1 Kitin ve Kitosan

Eser miktardaki konsantrasyonlarında dahi yüksek oranda boyar madde giderimi sağlayan biyopolimerlerdir. Literatürde kitin ve türevleriyle, ham halde ya da modifiye edilerek gerçekleştirilmiş olan pek çok biyosorpsiyon çalışması yer almaktadır [129]. Kullanımı gelişmekte olan bu biyosorbanlar bol bulunan ve yenilenebilir kaynaklardır.

Kitin; mantarlar, kabuklu hayvanlar, böcekler ve yumuşakçalar vb. doğal kaynaklarda bulunan mukopolisakkarittir. Ticari olarak satılan kitin ve kitosan ekstraktları gıda prosesleri yan ürünü olması dolayısıyla ıstakoz ve kerevit gibi deniz kabuklularından elde edilmektedir. Dünya çapında yılda yaklaşık olarak 1.2 milyon ton kitin açığa çıktığı göz önünde bulundurulursa, bunun başka bir proseste değerlendirilmesinin ekonomik ve çevresel açıdan önemi fark edilecektir [130].

Kendine has moleküler yapısı sebebi ile kitin, bazik boyar maddeler dışında dispers, direkt, reaktif, asit, vat, sülfür and naftol boyar madde türlerinin hepsi için yüksek afiniteye sahiptir [130].

5.4.7.2 Biyokütle

Suda çözünmüş metaller, boyar maddeler ve kokuya sebep olan bileşenlerin adsorpsiyonla gideriminde son yıllarda adsorban olarak biyokütlelerin kullanımı gündeme gelmiştir. Bazı boyar maddeler, mikrobiyel yapılara karşı afiniteye sahip olduklarından, uygun biyokütlelerden türetilen biyosorbanlar boyar maddelerin gideriminde etkin olarak kullanılabilmektedir. Biyosorpsiyonda; alg, mantar ya da bakteri gibi aktif ya da inaktif mikrobiyel biyokütleler kullanılmaktadır. Düşük maliyetli olarak doğadan ve çeşitli üretim atıklarından kolay elde edilebilir olmaları, bilinen proses ekipmanları ile kolay uygulanmaları, atık çamur üretmemeleri ve yüksek giderim verimi sağlamaları biyokütlelerin tercih edilme nedenleridir [131].

Biyosorban olarak kullanılan biyokütlelerden olan mantarlar; lakkaz, manganez

peroksit ve lignin peroksit gibi enzimler salgılar. Bu enzimler mantar türüne göre faklılık gösterir. Canlı mantarlarla muamele edilen boyar maddelerde işlemin ön adımını belirsiz bir mineralizasyon prosesi oluşturmaktadır. Ayırma işleminde biyodegradasyon ve biyosorpsiyon beraber gerçekleşmektedir. İnaktive edilmiş mantarlarda ise biyosorpsiyon, çökelme ve iyon değişimi gibi yalnız fizikokimyasal etkileşimlerle meydana gelmektedir [132]. Toksik bileşenlerden etkilenmemesi sebebiyle boyar maddelerin gideriminde, biyosorban olarak çoğunlukla inaktif mantar biyokütleleri tercih edilmektedir [131].

Beyaz çürükçül mantarlar başta olmak üzere çeşitli mantar türleri biyosorpsiyonda yaygın olarak kullanılmaktadır [133]. Biyokütlelere yapılan modifikasyonlar, biyosorban kararlılığını artırmanın yanında biyosorpsiyon kapasitesini de artırmaktadır [134]. Örneğin Chitprasert ve Wangpradit tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kitosanla kaplanan *Lentinus polychrous Lév.* mantarının, kaplama yapılmamış haline göre daha yüksek performans gösterdiği bildirilmiştir [135]. Algler, çeşitli bakteriyel biyokütleler, bira ve hamur mayaları literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan biyosorbanlardır [92], [136], [137], [138].

5.5 Adsorpsiyon İzoterm Modelleri

Adsorpsiyon mekanizmasının tasarımında ve adsorban-adsorbat arasındaki etkileşimin açıklanmasında izoterm modelinin saptanması önemlidir. Adsorpsiyon prosesi tek katmanlı ya da çok katmanlı yüzey tabakasında gerçekleşebilmektedir. İzotermler, denge değerlerinin korelasyonu ile farklı modeller denenerek belirlenmektedir [60].

5.5.1 Langmuir İzotermi

En yaygın kullanılan izotermdir. Langmuir izoterm modelinde, uniform enerjili özdeş adsorpsiyon bölgelerine sahip katı yüzeyine tek katmanlı adsorpsiyonun gerçekleştiği varsayılmaktadır. Matematiksel ifadesi şöyledir:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \tag{5.1}$$

Eşitlikte, q_e dengede adsorplanan miktar ya da kapasite (mg/g), K_L Langmuir izoterm sabiti (L/g), C_e dengede çözeltideki adsorbat konsantrasyonu (mg/L) ve q_m maksimum adsorpsiyon kapasitesidir (mg/g). Eşitlik 5.1'in lineerleştirilmiş biçimi (Eşitlik 5.2) kullanıldığında, $1/q_e$'ye karşılık çizilen $1/C_e$ grafiğinin eğim ve kesim noktası değerlerinden sırası ile $1/q_mC_e$ ve $1/q_m$ değerleri elde edilir [139].

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L C_e} \tag{5.2}$$

Langmuir izotermi tek tabakalı homojen adsorpsiyonu açıklamak için kullanılan izoterm modelidir ve tek tabakalı adsorpsiyonun meydana geldiği heterojen adsorpsiyon sistemlerinde denge durumunu net olarak açıklayamaz. Adsorpsiyonun elverişliliğini bulmak için denge parametresi olarak adlandırılan ve adsorbanın adsorbata uygunluk faktörü olan R_L hesaplanır Eşitlik 5.3) [124].

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \tag{5.3}$$

Eşitlik 5.3'de, C_0 başlangıç konsantrasyonudur. R_L değerine göre izoterm tipi; $0<R_L<1$ için elverişli, $R_L>1$ için elverişsiz, $R_L=0$ için tersinmez, $R_L=1$ için lineer olarak değerlendirilir [140].

5.5.2 Freundlich İzotermi

Freundlich izotermi, çok katmanlı heterojen yüzeyli sistemlerde, adsorpsiyon ısısının ve adsorpsiyonun eşit dağılmadığı, tersinir ve ideal olmayan adsorpsiyon için tanımlanmıştır. Freundlich tarafınan çözeltideki adsorpsiyonu açıklamak için türetilmiş olan eşitlik aşağıda verilmiştir (Eşitlik 5.4).

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \tag{5.4}$$

Eşitlik 5.4 lineerleştirilerek:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \tag{5.5}$$

biçiminde ifade edilebilir. Eşitlik 5.5'de, q_e dengede adsorplanan miktar ya da kapasite (mg/g), K_F Freundlich izoterm sabiti ($mg^{1-1/n}.L^{1/n}/g$), C_e dengede çözeltideki adsorbat

konsantrasyonu (mg/g) ve n lineerlikten sapma ölçüsü ya da Freundlich üssü olarak bilinen birimsiz değerdir.

n=1 ise adsorpsiyon lineerdir. n<1 ise kimyasal, n>1 ise fiziksel adsorpsiyon meydana gelmektedir [124].

5.5.3 Temkin İzotermi

Bu izoterm modeli çözelti içersindeki tüm moleküllerin adsorpsiyon entalpisi dikkate alınarak, dolaylı adsorban-adsorbat etkileşimlerini ifade etmek için geliştirilmiştir. İzotermi ifade eden denklem aşağıdaki gibidir (Eşitlik 5.6).

$$q_e = \frac{RT}{b}\ln\left(K_T C_e\right) \tag{5.6}$$

Denklemin lineer biçimi:

$$B = \frac{RT}{b} \tag{5.7}$$

$$K_t + B\ln C_e \tag{5.8}$$

şeklinde gösterilir. Eşitlik 5.8'de, q_e dengede adsorplanan miktar ya da kapasite (mg/g), K_T Temkin izoterm sabiti (L/mg), C_e dengede çözeltideki adsorbat konsantrasyonu (mg/L) ve b adsorpsiyon ısısı ile ilişkili Temkin sabitidir [141].

5.6 Adsorpsiyon Kinetiğini İfade Etmek İçin Kullanılan Modeller

Adsorpsiyon kinetiğinin incelenmesi adsorpsiyon işleminin hızına etki eden adsorpsiyon basamaklarının belirlenmesi için önemli bir adımdır. Adsorpsiyon işlminin kaekterize edilmesi ve giderim işleminin hızının tahmin edilebilmesi, büyük ölçekli işletme koşullarında tasarımın uygun şekilde yapılabilmesi açısından önem arz etmektedir.

5.6.1 Birinci Mertebe Kinetik Model

Birinci mertebe kinetik model denklemi:

$$\frac{dC_t}{dt} = -k_1 C_t \tag{5.9}$$

Denklemin, t=0'dan t=t'ye ve C_t=0'dan C_t=C_t'ye sınır koşullarında integre edilmesiyle:

$$C_t = C_0 \exp(-k_1 t) \quad (5.10)$$

ifadesi elde edilmektedir. Eşitlikte; k_1, birinci derece hız sabitini (dak^{-1}), C_0 ve C_t sırasıyla başlangıçtaki ve t anındaki adsorbat konsantrasyonunu göstermektedir [141].

5.6.2 İkinci Mertebe Kinetik Model

İkinci derece kinetik model denklemi:

$$\frac{dC_t}{dt} = -k_2 C_t^2 \quad (5.11)$$

Denklemin t=0'dan t=t'ye ve C_t=0'dan C_t=C_t'ye sınır koşullarında integre edilmesiyle:

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_0} + k_2 t \quad (5.12)$$

eşitliği elde edilmektedir. Eşitlikte; k_2, ikinci derece hız sabitini (dak^{-1}), C_0 ve C_t sırasıyla başlangıçtaki ve t anındaki adsorbat konsantrasyonunu göstermektedir [142].

Katı yüzeyler nadiren homojen yapıya sahip olduklarından adsorban sistemleri için birinci ve ikinci mertebe gibi basit kinetik modeller uygulanamamaktadır [141].

5.6.3 Yalancı Birinci Mertebeden Kinetik Model

Lagergren 1898'de, oksalik asit ve malonik asidin kömüre adsorpsorpsiyonu için birinci mertebe kinetik modeli sunmuştur. Denklemin çözelti konsantrasyonu ve katı adsorpsiyon kapasitesine bağlı kinetik denklemden ayırdedilebilmesi için yalancı birinci mertebe olarak adlandırılmıştır [143].

Sıvı-katı adsorpsiyon sistemleri için yalancı birinci mertebeden hız denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{dq_t}{dt} = k(q_e - q_t) \quad (5.13)$$

Denklemde, q_e ve q_t (mg/g) sırasıyla dengede ve t anındaki adsorpsiyon kapasiteleridir. k ($dak.^{-1}$) yalancı birinci mertebeden adsorpsiyon sabitidir.

Denklem t=0'dan t=t'ye ve q_t =0'dan q_t=q_t'ye sınır değerleri için integre edildiğinde:

$$\ln\left(\frac{q_e}{q_e - q_t}\right) = kt \tag{5.14}$$

ve

$$q_t = q_e(1 - e^{-kt}) \tag{5.15}$$

ifadesi elde edilir. Son eşitlik yeniden düzenlenip takip eden denklemdeki gibi lineerleştirilebilir.

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k}{2.303}t \tag{5.16}$$

5.6.4 Yalancı İkinci Mertebeden Kinetik Model

Adsorpsiyon kapasitesinin katı yüzeyindeki aktif bölgelerle orantılı olduğu varsayıldığında adsorsiyon hızı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\frac{dq_t}{dt} = k(q_e - q_t)^2 \tag{5.17}$$

Değişkenler ayrıldığında:

$$\frac{dq_t}{(q_e - q_t)^2} = kdt \tag{5.18}$$

Denklem t=0'dan t=t'a ve q_t =0'dan q_t=q_t'ye sınır değerleri için integre edildiğinde yalancı ikinci mertebe kinetik model denklemi:

$$\frac{1}{(q_e - q_t)} = \frac{1}{q_e} + kt \tag{5.19}$$

Denklemde, k (g/(mg.dak.)) adsorpsiyon hız sabitidir. q_e ve q_t (mg/g) sırasıyla dengede ve t anındaki adsorpsiyon kapasiteleridir [144].

5.6.5 Partiküliçi Difüzyon Modeli

Birkaç adımda gerçekleşen adsorpsiyonda sınırlayıcı adım bir veya birden fazla adımın kombinasyonu olabilmektedir. Bu adımlardan birinin partiküliçi difüzyonu olması ihtimali partiküliçi difüzyon modeli ile belirlenmektedir (Eşitlik 5.20) [139].

$$q_t = k_p t^{1/2} + C \tag{5.20}$$

Eşitlik 5.20'de, k_p (mg.(g.dak$^{1/2}$), partiküliçi difüzyon sabitidir. C (mg/g), her deney için sınır yüzeyin kalınlığına bağlı olarak başlangıç adsorpsiyon miktarını gösteren bir sabittir.

Bir sınır tabakanın varlığı adsorbanın adsorbatı tutmasını engellemektedir. Sınır tabaka katmanın kalınlığı ile orantılı olarak engel artmaktadır. Bunun partiküliçi difüzyonu geciktirdiği düşünülür. C sabiti bu sınır tabaka için belirlenmektedir [145].

Partikül içi difüzyon denklemi tekrar düzenlenirse;

$$q_{ref} = k_p t_{ref}^{1/2} + C \tag{5.21}$$

$$q_{ref} - q_t = k_p \left(t_{ref}^{1/2} - t^{1/2} \right) \tag{5.22}$$

$$\left(\frac{q_t}{q_{ref}} \right) = 1 - R_i \left[1 - \left(\frac{t}{t_{ref}} \right)^{1/2} \right] \tag{5.23}$$

$$R_i = \frac{k_p t_{ref}^{1/2}}{q_{ref}} \tag{5.24}$$

R_i partiküliçi difüzyon modeli için başlangıç adsorpsiyon faktörüdür. Yeniden düzenlenirse:

$$R_i = \frac{q_{ref} - C}{q_{ref}} = 1 - \left(\frac{C}{t_{ref}} \right) \tag{5.25}$$

ifadesi elde edilir. $0 \leq R_i \leq 1$ olmalıdır, R_i değeri bire yaklaştıkça başlangıç adsorpsiyon hızı zayıflamaktadır.

5.6.6 Elovich Kinetik Modeli

Elovich kinetik modeli heterojen adsorpsiyon yüzeylerinde özellikle kimyasal adsorpsiyonu ifade etmek için kullanılmaktadır. Model denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{dq_t}{d_t} = \alpha \exp\left(-\beta q_t \right) \tag{5.26}$$

Eşitlik 5.26 sınır koşullarında integre edildiğinde,

$$q_t = \frac{1}{\beta}\ln(t + t_0) - \frac{1}{\beta}\ln(t_0) \tag{5.27}$$

İfadesi elde edilir.

$t_0 = \frac{1}{\alpha\beta}$ ve t>>0 olduğunda Eşilik 5.27 aşağıdaki denkleme indirgenir.

$$q_t = \frac{1}{\beta}\ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta}\ln(t) \tag{5.28}$$

Eşitlik 5.28'de, α (mg/(g.dak)), başlangıç adsorpsiyon hız sabiti, β (g/mg) yüzey kaplanma ve kimyasal adsorpsiyon aktivasyon enerjisine bağlı sabitdir [146].

BÖLÜM 6

BİYOSORPSİYON İLE BOYAR MADDE GİDERİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, son beş yılda çeşitli biyosorbanlar kullanılarak boyar madde giderimi için gerçekleştirilen biyosorpsiyon çalışmlarından bazıları incelenmiş ve kısaca özetlenmiştir.

Wu vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sıvı özütü ilaç yapımında kullanılan *Ganoderma Lucidum* mantarının küspesi ile Malachite Green, Safranine T ve Methylen Blue boyar maddelerinin sulu çözeltilerden giderimi incelenmiştir. Biyosorpsiyon prosesinin Langmuir ve Freundlich izotermlerinin her ikisine de uygunluk gösterdiği ve ikinci mertebe kinetik modelle ifade edilebileceği bildirilmiştir [147].

Karim vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tekstil endüstrisi atık sularından Novacron Orange FN-R, Novacron Brilliant Blue FN-R, Novacron Super Black G, Bezema Yellow S8-G ve Bezema Red S2-B olmak üzere beş farklı boyar maddenin giderimi için bakterilerin kullanımı incelenmiştir. Öncelikle, proses için morfolojik olarak uygun olduğu öngörülen otuz bakteri izole edilip fizyolojik ve kimyasal analizleri yapıldıktan sonra en uygun beş bakteri türü (*Neisseria* sp., *Vibrio* sp., *Bacillus* sp., *Bacillus* sp. ve *Aeromonas* sp.) çalışma için seçilerek, boyar maddeler 37˚C sıcaklık ve pH 7'de 6 gün bakteriler ile inkübe edilmiştir. Glikoz ve maya ekstraktı ile zenginleştirilmeden herhangi bir boyar madde gideriminin gerçekleşmediği, ancak ortam zenginleştirmesi sonrasında en yüksek ve en düşük giderimin sırasıyla Novacron Brilliant Blue FN-R ile Novacron Super Black G'nin gideriminde %90 ve Bezema Yellow S8-G'nin gideriminde %65 olduğu rapor edilmiştir. Proses sonrasında bakterilerin orijinal renklerini korumaları sebebiyle giderim işleminin biyosorpsiyondan ziyade enzimatik prosesle gerçekleşmiş olduğu belirtilmiştir [148].

Krishnan vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Reactive Brilliant Red X-3B, Direct Blue-6 ve Direct Black-19 olmak üzere üç farklı boyar maddenin gideriminde yerel bir atıksu artıma merkezinden alınan çamur örenğinden izole edilen mikrobiyel kültür kullanılmıştır. Boyar madde konsantrasyonu, pH ve mikrobiyel kültür konsantrasyonu parametrelerinin oksijenli ortamda kesikli olarak gerçekleştirilen boyar madde giderimine etkileri araştırılmıştır. Biyosorpsiyon sonucunda elde edilen giderim verilerinin her bir boyar madde için sırasıyla %31.2, %71.5, ve %87.6 olduğu bildirilmiştir [149].

Xianhui vd. tarafından gerçekleştrilen çalışmada, sitrik asit ile muamele edilen atık çay yapraklarının her kullanımdan sonra soğuk atmosferik plazma yöntemiyle yenilenerek atık sulardan Metilen Mavisinin gideriminde kullanılması incelmiştir. Yapılan çalışmada adsorpsiyon prosesinin Langmuir izoterm modeline uygun olduğu bildirilmiştir. Metilen Mavisi için maksimum adsorpsiyon kapasitesinin 297˚K sıcaklıkta 212,77 mg/g olduğu rapor edilmiştir [150].

Naraian ve Kumari tarafından gerçekleştirilen çalışmada, synthetic brilliant green boyar maddesinin *Pleurotus florida* ve *Rhizoctonia solani* olmak üzere iki mantar türü ile biyosorpsiyonu incelenmiştir. Mantarlar tek başlarına kullanıldıklarında 12 gün işlem süresinde %2 boyar madde konsantrasyonu için elde edilen giderim verimlerinin sırasıyla %82,12 ve %68,89, birlikte kullanıldıklarında %98,54 olduğu bildirilmiştir [151].

Cho vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Reactive Orange 16 boyar maddesinin atık bira mayasına biyosorpsiyonu incelenmiş, çözelti pH'ı ve sıcaklığın boyar madde giderim veriminde en önemli parametreler olduğu belirtilmiştir. Çalışmada deneysel verilerin Langmuir, Freundlich ve Sips izotremlerine uygunluğu incelenmiş ve verilerin en iyi Langmuir izoterm modeline uygunluk gösterdiği bildirilmiştir. Biyosorpsiyon prosesinin ekzotermik olduğu ve biyosorpsiyon kinetiğinin yalancı ikinci mertebe kinetik model ile ifade edilebileceği rapor edilmiştir [137].

Daneshvar vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, biyosorban olarak *Penaeus indicus* (Beyaz Hint karidesi) kabuğu kullanılarak Acid Blue 25 boyar maddesinin sulu çözeltilerden giderimi incelenmiştir. Boyar madde giderimi için boyar madde konsantrasyonu, pH, tuzluluk oranı, işlem süresi ve biyosorban konsantrasyonu gibi proses parametrelerinin optimizasyonu hedeflenmiştir. Çözeltinin tuzluluk oranı

arttıkça giderim veriminin arttığı bildirilmiştir. Boyar madde giderimi için optimum pH değeri 2 olarak belirlenmiş ve bu pH değerinde maksimum boyar madde gideriminin %95.64 olarak elde edildiği bildirilmiştir. Biyosorpsiyon prosesinin fiziksel olduğu ve ekzotermik olarak gerçekleştiği rapor edilmiştir [152].

Chitprasert ve Wangpradit tarafından gerçekleştirilen çalışmada, boyar madde olarak Reactive Blue 19, 160 ve 198 boyar madde karışımı kullanılmış ve biyosorpsiyon ve biobozundurma yöntemlerinin entegre olarak kullanılması ile boyar madde giderimi incelenmiştir. Çalışmada entegre biyosorpsiyon ve biobozunma sağlamak için kitosan kaplı *Lentinus polychrous* Lév. mantarı kullanılmış ve boyar madde giderim süresinin kısaltılması amaçlanmıştır. Kaplama sonucunda işlem süresinin kısaldığı ve kaplama yüzdesinin artırılması ile biyosorpsiyon veriminde yüksek oranda artış görüldüğü bildirilmiştir. Entegre sistemde kitosan kaplaması arttıkça prosesin biyosorpsiyon yönüne kaydığı ve adsorbe edilen boyar maddenin daha sonraki aşamada biyosorban içinde salgılanan enzimler tarafından parçalandığı bildirilmiştir [135].

Corso ve Almeida tarafından gerçekleştirilen çalışmada, azo boyar maddeler sınıfından Procion Red MX-5B'nin *Aspergillus niger* and *Aspergillus terreus* mantarlarına biyosorpsiyonu incelenmiştir. İki hafta sürdürülen biyosorpsiyon ve biodegradasyon prosesinden belirli aralıklarla numuneler alınarak toksisite değerleri belirlenmiştir. Prosesin ilk aşamasında renk gideriminde biyosorpsiyon mekanizmasının baskın olduğu bildirilmiştir. Gerçekleştirilen işlem sonunda %100 renk giderimi elde edildiği, ancak toksisite testlerinin biodegradasyon sonucu açığa çıkan metabolitlerin önemli seviyede toksik olduğunu gösterdiği rapor edilmiştir [153].

El Haddad vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, üç farklı boyar maddenin (Rhodamine B, Alizarin Red S ve Orange II) sulu çözeltilerden biyosorpsiyonla gideriminde, *Edulis mytilus* (midye) kabuğunun kullanımı inclenmiştir. Rhodamine B, Alizarin Red S ve Orange II boyar maddelerinin giderimi için optimum pH değerleri sırasıyla 9, 4 ve 6 olarak belirlenmiştir. Her üç boyar madde için 60 dakikada dengeye ulaşıldığı belirtilmiştir. Biyosorpsiyon prosesinin en iyi Langmuir izoterm modeli ile ifade edildiğinin bildirildiği çalışmada, elde edilen maksimum biyosorpsiyon kapasiteleri Rhodamine B için 45.67 mg/g, Alizarin Red S için 39.65 mg/g ve Orange II

için 41.75 mg/g olarak rapor edilmiştir. Araştırmacılar elde ettikleri kinetik verilerin, yalancı ikinci mertebe kinetik modele uygunluk gösterdiğini bildirmişlerdir [154].

Taha vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sentetik boyar maddeler içeren atık suların renk gideriminde termofilik mantarların biyosorban olarak kullanımı incelenmiştir. Araştırmacılar, azo ve antrokinon boyar madde karışımından oluşan çözeltinin (Azure B, Congo Red, Trypan Blue ve Remazol Brilliant Blue R) renk gideriminde aktif ve inaktif *Thermomucor indicae-seudaticae* ve *Aspergillus fumigatus* mantarlarının performanslarını karşılaştırmış ve inaktif *T. indicae-seudaticae*'nin 30-55˚C sıcaklık ve 100-1000 mg/L boyar madde konsantrasyonu aralığında aktif mantarlara nazaran daha etkin ve kısa sürede renk giderimi sağladığını rapor etmişlerdir. 1000 mg/L boyar madde konsantrasyonunda, maksimum giderim verimine (%74.96), 55˚C'de, inaktif *T. indicae-seudaticae* ile 12 saat sürdürülen inkübasyon sonucunda ulaşılmıştır. Yalancı ikinci mertebe kinetik model ile ifade edilen biyosorpsiyon prosesinin denge verilerinin Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinin her ikisine de uyum sağladığı bildirilmiştir. Çalışmada, *T. indicae-seudaticae*'nin azo ve antrokinon boyar maddelerle kontamine olmuş atık suların yüksek sıcaklıklarda detoksifikasyonunda iyi bir biyosorban olduğu sonucuna varılmıştır [155].

Mohamed ve El-Kassas tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bir tür mikroalg olan *Chlorella vulgaris*'in tekstil atık sularının renk gideriminde ve KOİ'nin indirgenmesinde kullanımı incelenmiştir. İskenderiye (Mısır) tekstil endüstri atık suyunun kullanıldığı çalışmada, 15 gün sürdürülen inkübasyon sonucunda maksimum giderim verimi %75.68 olarak elde edilmiştir. Giderim sonunda kontamine olan alglerin biyoyakıt üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir [156].

Khataee vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Acid Orange 7, Basic Red 46 ve Basic Blue 3 boyar maddelerinin atık sulardan biyosorpsiyon yöntemi ile giderimi bir ipliksi tatlı su algi olan *Spirogyra sp.* kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada, işlem süresi (0-120 dak.), pH (4-10), başlangıç boyar madde konsantrasyonu (5-45 mg/L), alg miktarı (0.5-2.5 g/L), sıcaklık (25˚C) ve biyosorban partikül boyutu (178 ve 385 μm) gibi farklı proses parametrelerinin renk giderim verimine etkisi incelenmiştir. Biyosorpsiyon proseslerinin 60 dakika kadar kısa bir süre zarfında dengeye ulaştığı ancak üç boyar

maddenin giderim verimlerinin büyük farklılık gösterdiği bildirilmiştir. Farklı boyar maddelerin aynı biyosorbana karşı farklı afiniteye sahip olmaları moleküler yapı ve iyonik yarıçap farklılıkları ile açıklanmıştır [157].

Saratale vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Remazol Red reaktif boyar maddesinin sulu çözeltilerden *Lysinibacillus sp.* RGS bakterisi ile giderimi incelemiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, 50 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonuda, pH7'de 9.8 g/L biyokütle ilavesi ile çalkalama olmadan 6 saatte %100 giderim elde edilmiştir. Aynı koşullarda 200 ve 250 mg/L'lik boya çözeltileri ile gerçekleştirilen deneyler için sırasıyla %82 ve %45 giderim verimi elde edilmiştir. Ortama ilave edilen karbon ve nitrojen kaynağının boyar madde giderimine olumlu etkisi olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, biyosorbanın yedi farklı boyar madde karışımı içeren sulu çözelti ve çeşitli kirleticileri barındıran gerçek tekstil atık suyundaki giderim performansı incelenmiş ve renk giderimleri sırasıyla %87 ve %72 olarak raporlanmıştır [158].

Bhunia vd. tarafından bir tür beyaz çürükçül mantar ile gerçekleştirilen biyosorpsiyon çalışmasında, 600 mg/L başlangıç boya konsantrasyonunda Kongo Kırmızısı için 48 saatte %99.99 giderim sağlanmıştır. Aktif mantarlarla yapılan bu çalışmada 121˚C ve 15 psi'de hücre parçalanması olmadan desorpsiyonun sağlandığı bildirilmiştir [159].

Daneshvar vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bir tür makroalg olan *Stoechospermum marginatum* ile Acid Blue 25, Acid Orange 7 ve Acid Black 1 boyar maddelerinin sulu çözeltilerden giderimi incelenmiştir. Alglerin izoelektrik noktası genellikle pH 3-4 aralığındadır. İzoelektrik nokta tanımına göre, bu değerin altındaki pH şartlarında alg yüzeyi pozitif yüklenmektedir ve anyonik boyar maddelerin giderimi bu asidik ortam şartlarında artmaktadır. Tam tersi koşullarsa katyonik boyarlar için geçerli olmaktadır. Araştırmacılar bu çalışmada 1 g/L adsorban konsantrasyonunda, 30 mg/L boyar madde konsantrasyonunda, pH 2 ve 27˚C sıcaklıkta Acid Blue 25, Acid Orange 7 ve Acid Black 1 boyar maddeler için sırasıyla 22.2, 6.73, 6.57 mg/g adsorpsiyon kapasitesi elde etmişlerdir. Aynı adsorban için elde edilen farklı kapasite değerlerinin kimyasal ve morfolojik yapı kadar boyar madde moleküllerinin büyüklüğünden de kaynaklandığı vurgulanmıştır [92].

Çelekli vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, *Chara contraria* makroalginin Reactive Red 120'nin adsropsiyonundaki potansiyel kullanımı incelemiştir. Çalışmada,

adsorpsiyon için optimum pH 1 ve sıcaklık 30˚C olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon sıcaklıkla artığı için prosesin endotermik olduğu belirtilmiştir. Boyar maddeler, gerçek endüstriyel atık sularda metaller ve tuzlar gibi pek çok kirletici ile beraber bulunduklarından, ortama farklı konsantrasyonlarda NaCl ve Fe3O4 ilave edilerek, adsorpsiyon verimi incelenmiştir. Adsorpsiyon kapasitesinin azalan NaCl konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak azaldığı bildirilmiştir. Denge adsorpsiyon verilerinin, biyokütle üreme kinetiği için kullanılan Logistic kinetik modeline ve Freundlich izotermine uyum gösterdiği rapor edilmiştir [160].

Crowly vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Acid Black 172 (AB 172)'nin *Pseudomonas sp.* (bir alg çeşidi)'ye biyosorpsiyonunun mekanizması ve kinetiği incelenmiştir. Isıl muamele ile inaktive edilen algler ve canlı alglerin, farklı proses şartlarındaki biyosorpsiyon verimleri karşılaştırılmıştır. Başlangıç boyar madde konsantrasyonunun artırılmasının inaktif alglerin biyosorpsiyon kapasitesini artırdığı, fakat canlı hücrelerde herhangi bir etkiye sebep olmadığı belirtilmiştir. Ayrıca, artan proses sıcaklığının inaktif alglerin biyosorpsiyon kapasitelerini artırdığı beyan edilmiştir. Araştırmacılar gerçekleştirdikleri analizler sonucunda, aynı boyar madde için inaktif biyosorbanların aktif olanlara göre daha iyi biyosorpsiyon performanına sahip oldukları soncuna ulaşmışlardır. İnaktif alg hücrelerine AB 172'nin biyosorpsiyonunda, en önemli etkenin amin grupları (hücrelerarası proteinler) oluğu bildirilmiştir [161].

Gül ve Dönmez tarafından gerçekleştirilen çalışmada, melas ortamında Remazol Blue reaktif boyar maddesinin *Aspergillus versicolor* mantarı ile giderimine dodesil trimetil amonyum bromürün (DTAB) etkisi, kesikli sistemde farklı pH (3-7), boyar madde (50-800 mg/L) ve yüzey aktif madde (0.1-2 mM) konsantrasyonlarında incelenmiştir. 100 mg/L boyar madde başlangıç konsantrasyonu için pH 6 değerinde, 1 mM DTAB ilavesi ile 3 gün sürdürülen inkübasyon sonucu %100 renk giderimi elde edilmiştir. Mantarın enzimatik aktivitesinin renk giderimine etkisini incelemek üzere aktif ve inaktif biyosorbanlarla paralel deneyler gerçekleştirilmiştir. DTAB ilavesi olmadan aktif ve inaktif biyosorbanlar için maksimum giderim kapasiteleri sırasıyla 12.3 ve 12.4 mg/g, 1 mM DTAB varlığında 66.56 ve 27.5 mg/g olarak bulmuştur. Elde edilen sonuçlar yüzey aktif maddelerin, renk gideriminde rol alan metabolik faliyetleri etkilediğini

göstermiştir. Ayrıca, yüzey aktif maddenin inkübasyon süresini kısaltması sebebi ile renk giderim proseslerinde enerji tasarrufu sağladığı bildirilmiştir [162].

Xin vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sulu çözeltilerden boyar madde giderimi için mantar partikülleri kullanılmıştır. Çalışmada, büyüyen, olgun (durağan) ve inaktif mantarların spesifik adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması ve kapasite farklılığına sebep olan mekanizmaların incelenmesi hedeflenmiştir. 200 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonuna kadar, elde edilen maksimum biyosorpsiyon kapasitesi değerleri için sıralamanın büyüyen>olgun>inaktif partiküller şeklinde olduğu, 200 mg/L üzerindeki konsantrasyonda sıralamanın olgun>büyüyen>inaktif partiküller şeklinde değiştiği bildirilmiş, başlangıç boyar madde konsantrasyonunun biyosorpsiyondaki önemi vurgulanmıştır [163].

He vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Crystal Violet boyar maddesinin sulu çözeltilerden biyosorpsiyon ile gideriminde *Ceriporia lacerata* mantarının kullanılması incelenmiştir. Çalışmada, *C. lacerata*'nın geniş pH aralığında etkin olduğu ve maksimum verimin alkali ortamda elde edildiği bildirilmiş, 200 mg/L biyosorban konsantrasyonunda maksimum biyosorpsiyon kapasitesine (239.25 mg/g) ulaşılmıştır. Başlangıç boyar madde konsantasyonunun biyosorpsiyona etkisinin incelendiği deneylerde 50, 100 ve 150 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonları için elde edilen denge biyosorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 47.17, 96.27 ve 140.88 mg/g olarak rapor edilmiştir. Araştırmacılar, inceledikleri biyosorpsiyon prosesinin, farklı çalışmalardaki bulgularının aksine, iyonik şiddetten bağımsız olduğunu bildirmişlerdir. Gerçekleştirilen modelleme çalışmaları sonucunda, biyosorpsiyon kinetiğinin en iyi yalancı ikinci mertebe kinetik modeli ile ifade edildiği, denge adsorpsiyon verilerinin ise Koble-Corrigan izoterm modeline uyum sağladığı rapor edilmiştir [164].

Zhao Tarafından gerçekleştirilen çalışmada Acid Blue 25'in inaktif *Penicillium* YW 01 (bir mantar türü) ile biyosorpsiyonu incelenmiştir. Çalışmada biyosorban hem ham olarak hem de setilpridinyum klorür ile modifiye edilerek kullanılmıştır. Biyosorban direkt kullanıldığında biyosorpsiyonun Langmuir ve Freundlich izotermlerine uygunluk gösterdiği, modifiye edilerek kullanıldığında ise Freundlich izotermine uygunluk gösterdiği rapor edilmiştir [165].

Pajot vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bir maya çeşidi olan *Trichosporon akiyoshidainum* ile Reactive Blue 221, Reactive Red 141 ve Reactive Black 5 boyar maddelerinin gideriminde, biyosorpsiyon ve biyodegradasyonun etkinliği araştırılmıştır. Çalışmada, 500 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonuna kadar kadar %100 giderim sağlanmasına rağmen maya tanelerinde renklenme görülmediği bildirilmiştir. Araştırmacılar, maya içersindeki enzimelerin biodegradasyon ile renk gideriminde aktif olduklarını belirlediklerini bu nedenle renk giderim prosesinde tek bir mekanizmanın hakim olmadığını beyan etmişlerdir [166].

Gao vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Acid Red 14 ve Reactive Red 15 boyar maddelerinin karışımının, asitle muamele edilmiş (0.1 M HCl çözeltisinde 24 saat bekletilerek) soya küspesine biyosorpsiyonu incelenmiştir. Araştırmada, karışım halinde bulunan boyar maddelerin spesifik konsantrasyonlarının belirlenebilmesi için kısmi küçük kareler regresyon metodu kullanılmıştır. Ham halde kullanılan küspe için 170 dakikalık işlem sonunda, Acid Red 14 ve Reactive Red 15 boyar maddeleri için sırasıyla %42.36 ve %47.33 oranında, asitle muamele edilen soya küspesi ile ilk 50 dakikada sırasıyla %93.73 ve %95.82 oranında adsorpsiyon elde edildiği bildirlimşitir. Çalışmada, Langmuir ve Freundlich izotermlerinin farklı konsantrasyon aralıklarında deneysel verileri doğruladıkları ve Langmuir izoterminin maksimum biyosorpsiyon kapasitesini verdiği (243.90 mg/g) rapor edilmiştir [167].

Kaushik vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, siyanobakteriler (mavi-yeşil algler) tarafından meydana getirilen atık biyokütle olan *Nostoc linckia* üzerine Reactive Red 198 boyar maddesinin adsorpsiyonu araştırılmıştır. Boyar madde konsantrasyonu, pH ve sıcaklığın biyosorban kapasitesine etkisi Box-Behnken deneysel tasarımı kullanılarak incelenmiş ve Hidrojen biyoreaktörü atığı olan *Nostoc linckia*'nın tekstil atık sularındaki boyar maddelerin giderimi için etkili bir biyosorban olduğu belirtilmiştir [3].

Aksu ve Balibek tarafından gerçekleştirilen çalışmada, bir ipliksi mantar çeşidi olan *Rhizopus arrhizus* Yellow RL anyonik boyar maddesinin sulu çözeltilerden biyosorpsiyon ile gideriminde kullanılmış ve başlangıç çözelti pH'ı, boyar madde konsantrasyonu ve başlangıç tuz (NaCl) oranının boyar madde giderimine etkisi incelenmiştir. Çalışmada, belirlenen optimum pH 2 değerinin tuz oranından etkilenmediği, 100 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonunda 85.4 mg/g olan *R.arrhizus*'un spesifik kapasitesinin,

50 g/L tuz ilavesi ile %28.8 oranında azaldığı bildirilmiştir. Tuz içeren ve içermeyen çözeltilerin her ikisi için de boyar madde biyosorpsiyonu Redlich-Peterson ve Langmuir-Freundlich izoterm modelleri kullanılarak ifade edilmiştir. Çalışmada biyosorpsiyon kinetiğini ifade etmek için yalancı ikinci mertebe kinetik modeli kullanılmış ve yalancı ikinci mertebe kinetik model sabitlerinin, çözelti tuz konsantrasyonuna göre farklılık gösterdiği belirtilmiştir [168].

Gürses vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Metilen Mavisinin sulu çözeltilerden gideriminde bir ipliksi yeşil alg olan *Ulothrix sp*.'nin biyosorban olarak kullanımı incelenmiştir. Proseste dengeye 30 dakika içinde ulaşıldığı, pH ve çalkalama hızının artırılmasının giderim verimini olumulu etkilediği, ancak sıcaklık ve biyosorban dozajının artırılmasının adsorplanan Metilen Mavisi miktarının azalmasına neden olduğu bildirilmiştir. Elde edilen maksimum biyosorban kapasitesi pH 7.9 değerinde, 25˚C sıcaklıkta, 90 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonunda ve 150 devir/dak. çalkalama hızında 86.1 mg/g olarak rapor edilmiştir [169].

Akar ve Divriklioğlu tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sulu çözeltilerden Reactive Red 2 (RR 2) boyar maddesi gideriminde, yüzey aktif madde ile modifiye edilmiş *Agaricus bisporus* makro mantarlarının biyosorpsiyon karekteristikleri incelenmiştir. Modifikasyon işlemi, mantarların sterilize edilip 24 saat süre ile 80˚C'de kurutulduktan ve belirli bir boyuta getirildikten sonra setil trimetil amonyum bromid (STAB) çözeltisinde farklı konsantrasyonlarda biyosorbanların (%0.25-2) 24 saat bekletilmesi ile gerçekleştirilmiştir. STAB muamelesi neticesinde biyosorbanlarn biyosorpsiyon veriminin arttığı kaydedilmiştir. Araştırmacılar, adsorbanın Zeta potansiyelini incelediklerinde, modifikasyonla yüzeydeki pozitif yük yoğunluğunun arttığını belirlemiş ve bu nedenle biyosorpsiyon veriminin artığını bildirmişlerdir. Çalışmada, 1 g/L biyosorban konsantrasyonu ve pH2'de %93.45 adsorpsiyon verimi elde edildiği, artan sıcaklıkla birlikte artan biyosorpsiyon kapasitesi nedeni ile, RR 2 boyar maddesinin biyosorpsiyonun endotermik olduğu, biyosorpsiyon prosesinin yalancı ikinci mertebe kinetik ve Langmuir izoterm modellerine uyum sağladığı bildirilmiştir [133].

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMA

7.1 Kullanılan Materyaller

7.1.1 Boyar Madde

Bu çalışmada, Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB ticari adlarıyla bilinen, kırmızı ve mavi iki farklı reaktif boyar madde kullanılmıştır. Kullanılan boyarmadeller DyStar Kimya San. ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir.

7.1.2 Kefir Taneleri

Biyosorban olarak kullanılan kefir taneleri, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir.

7.1.2.1 Kefir Tanelerinin Aktivasyonu

Deneysel çalışma öncesinde kefir taneleri yağsız inek sütüne aşılanarak (inkübasyon için yerel marketlerden temin edilen, SEK markalı yağsız süt kullanılmıştır) 25°C'de, 24 saat fermantasyona bırakılmıştır. 24 saat sonunda fermantasyon sıvısı süzülerek atılmış ve biyokütle saf su ile yıkanarak tekrar yağsız inek sütüne aşılanarak aynı koşullarda fermantasyona bırakılmıştır. Kefir tanelerinin aktivasyonu için bu işlem bir hafta süresince tekrarlanmıştır.

7.1.2.2 Kefir Tanelerinin İnaktivasyonu

Kefir taneleri 40°C 'de kurutulduktan sonra, 75˚C'ye ayarlanmış etüvde yaklaşık 3 saat

süreyle tutularak inaktive edilmişlerdir. Yüksek oranda su içeren kefir tanelerinin kuru kütlesi 0.12 g kuru ağırlık/g yaş ağırlık olarak belirlenmiştir.

İnaktif kefirler adsorpsiyondan bir gün önce gerekli miktarda tartılmış ve 24 saat saf suda bekletilerek şişmeleri sağlanmıştır. İnaktive edilen kefir tanelerinin eski su içeriklerinin sadece %35'ini tekrar absorplayabildikleri belirlenmiştir.

7.2 Kullanılan Cihazlar

Çalkalayıcı İnkübatör: Çalışmada adsorpsiyon çözeltilerinin çalkalanması için İKA (KS-4000 IC) markalı çalkalayıcı inkkübatör kullanılmıştır. PID kontrol mekanizması ile sıcaklık kontrolü sağlayan cihaz 0-500 devir/dak aralığında çalkalama imkanı sağlamaktadır.

Spektrofotometre: Örneklerin absorbans değerini belirleyebilmek için Shimadzu marka UV-1800 UV-Vis Spektrofotometre kullanılmıştır.

Hassa Terazi: Çalışmada gerekli tüm tartımlar için 0.001 g hassasiyette ve maksimum 410 g tartma kapasitesine sahip Scaltec (SBA 41) marka hassas terazi kullanılmıştır.

Santrifüj: Çalışmada, örneklerin santrifüjü için Hettich (Micro 20) markalı, 0-13000 devir/dak aralığında ayarlanabilir devir hızına sahip bir santrifuj kullanılmıştır.

pH Metre: Adsorpsiyon çözeltilerinin pH değerini ayarlamak için, Eutech (alpha pH 800) markalı bir pH kontrol edici kullanılmıştır.

Etüv: Kefir tanelerinin kurutulmasında ve ısıl inaktivasyonunda Memmert UM-400 markalı bir etüv kullanılmıştır.

7.3 Adsorpsiyon Deneyleri

Adsorpsiyon deneyleri 250 ml'lik erlenlerde, 100 ml çalışma hacminde gerçekleştirilmiştir. Erlene alınan boya çözeltisi istenilen sıcaklık değerine getirildikten ve pH ayarı yapıldıktan sonra (pH ayarı, 0.1 M KOH ve 0.1 M HCl kullanılarak gerçekleştirilmiştir), erlen çalkalamalı inkübatöre yerleştirilmiş ve çözeltiye belirlenen miktarda kefir ilave edilerek adsorpsiyon işlemi başlatılmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde boya adsorpsiyonu zamana karşı incelenmiş ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasiteleri ve % boya giderimi, belirli zaman aralıklarında çözeltiden

alınan örneklerin, santrifüjlendikten sonra, absorbans değerlerinin ölçülmesi ile belirlenmiştir.

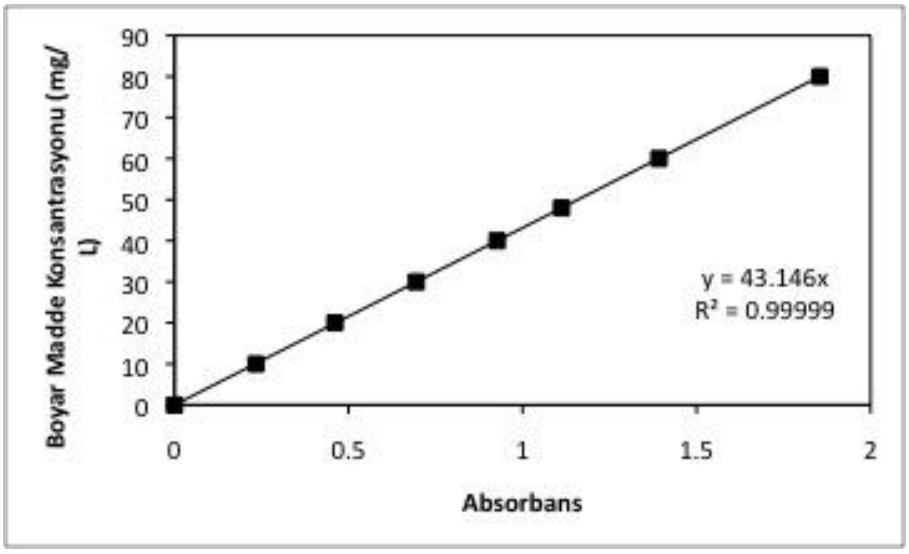
7.3.1 Kalibrasyon Eğrilerinin Oluşturulması

Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB boyar madde çözeltileri için gerçekleştirilen dalga boyu taraması sonucunda maksimum absorbans değerinin elde edildiği dalgaboyları sırasıyla 520 nm ve 616 nm olarak belirlenmiştir.

Boya miktarının tayininde kullanmak için standart bir kalibrasyon grafiği oluşturmak amacıyla belirli konsantrasyonlarda boya çözeltileri hazırlanarak absorbans değerleri belirlenen dalgaboylarında okunmuştur. Belirli boya konsantrasyonlarına karşı okunan absorbans değerleri ve oluşturulan kalibrasyon grafiği Remazol Ultra Red RGB için Çizelge 7.1 ve Şekil 7.1 de ve Remazol Navy RGB için Çizelge 7.2 ve Şekil 7.2'de sunulmuştur. Kalibrasyon grafiği oluşturmak için boya çözeltileri üçer kez hazırlanmış ve boya konsantrasyonlarına karşı elde edilen absorbans değerlerinin ortalamaları kullanılmıştır.

Çizelge 7.1 Remazol Ultra Red RGB Reaktif boyar maddesi için boya konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerleri

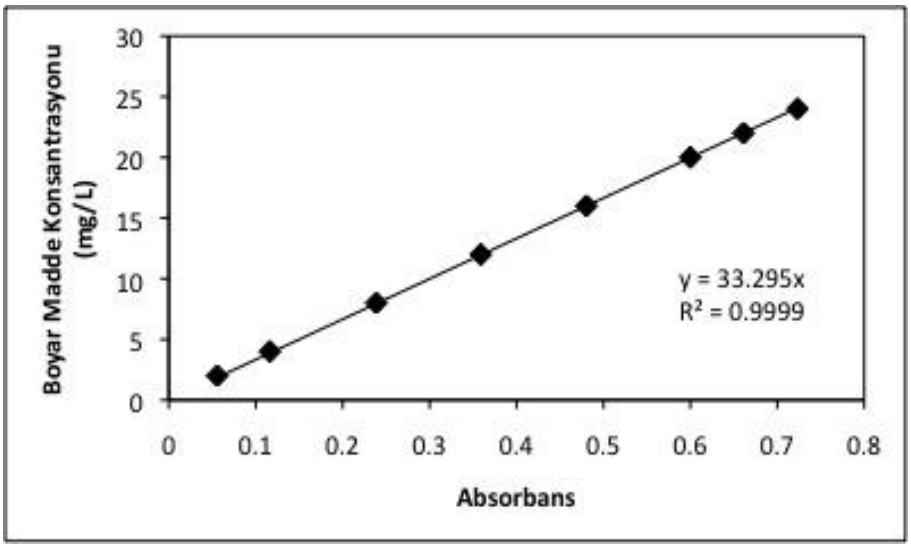
Boya Konsantrasyonu ($mg.L^{-1}$)	Ortalama Absorbans Değerleri
0	0
10	0.234
20	0.461
30	0.695
40	0.927
48	1.112
60	1.392
80	1.854



Şekil 7.1 Remazol Ultra Red RGB reaktif boyar maddesi için kalibrasyon grafiği

Çizelge 7.2 Remazol Navy RGB Reaktif boyar maddesi için boya konsantrasyonlarına karşılık gelen absorbans değerleri

Boya Konsantrasyonu ($mg.L^{-1}$)	Ortalama Absorbans Değerleri
2	0.056
4	0.116
8	0.239
12	0.359
16	0.481
20	0.600
22	0.661
24	0.723



Şekil 7.2 Remazol Navy RGB reaktif boyar maddesi için kalibrasyon grafiği

7.3.2 Hesaplamalar

Boya konsantrasyonu değerleri, kalibrasyon grafiği kullanılarak hesaplandıktan sonra % boya giderimi ve adsorpsiyon kapasitesi (mg boya/g adsorban) değerleri sırası ile Eşitlik 7.1 ve Eşitlik 7.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\%\ Boyar\ Madde\ Giderimi = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0}\right) \times 100 \qquad \textbf{(7.1)}$$

Eşitlik (7.1)'de, C_0:başlangıç boyar madde konsantrasyonu ($mg.L^{-1}$) ve C_t: t anındaki boyar madde konsantrasyonudur.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_t)\ V}{m} \qquad \textbf{(7.2)}$$

Eşitlik (7.2)'de, C_0:başlangıç boyar madde konsantrasyonu ($mg.L^{-1}$) ve C_t: t anındaki boyar madde konsantrasyonudur. V ve m sırasıyla, çözelti hacmi (L) ve adsorbanın kuru ağırlığıdır (g).

7.4 Teorik (İstatiksel) Çalışma

Modelleme çalışmalarında deklem sabitleri ve istatistiksel değerlerin hesaplanmasında Curve Expert Pro 2.2 ve Microsoft Excel programları kullanılmıştır.

BÖLÜM 8

ARAŞTIRMA BULGULARI

8.1 Boyar Madde Giderimine Başlangıç pH'ının Etkisi

Sulu çözeltilerden Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddelerinin aktif ve inaktif kefir taneleri ile giderimine, çözelti pH'ının etkisini incelemek amacıyla, 100 mg/L boyar madde içeren 100 mL'lik boya çözeltsi, 2-8 aralığında değişen başlangıç pH değerlerinde, 25°C sıcaklıkta, 2.4 g (kuru ağırlık)/L kefir tanesi ilavesi ile 140 devir/dak. çalkalama hızında, 180 dakika boyunca adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Farklı pH değerlerinde aktif ve inaktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddeleri için elde edilen boyar madde giderim verimleri Şekil 6.1-6.4'de grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca, Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddeleri için zamana karşılık elde edilen boyar madde konsantrasyonu, % boyar madde giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri, sırası ile aktif kefir tanelerinin kullanıldığı deneyler için Çizelge 8.1 ve Çizelge 8.3'de, inaktif kefir tanelerinin kullanıldığı deneyler için Çizelge 8.2 ve Çizelge 8.4'de verilmiştir.

Değişen pH değerlerine karşı elde edilen boyar madde giderim verimleri (% boyar madde giderimi) incelendiğinde, hem aktif hem de inaktif kefir tanelerinin kullanıldığı deneylerde her iki boyar madde için, % boyar madde gideriminin azalan pH değeri ile arttığı ve özellikle bu artışın pH 3 değerinden sonra önem kazandığı açıkça görülmektedir. Bu ani yükselişin sebebi adsorbanın zeta potansiyeli ile açıklanabilir.

Zeta potansiyeli, süspansiyonlardaki katıların sahip olduğu elektriksel potansiyelin ölçütüdür. Polar sıvı içinde çözünen katı partikül eğer negatif yüklü ise yüzeyini kaplayan bir pozitif yükler katmanı meydana gelir. Stern tabakası olarak adlandırılan bu

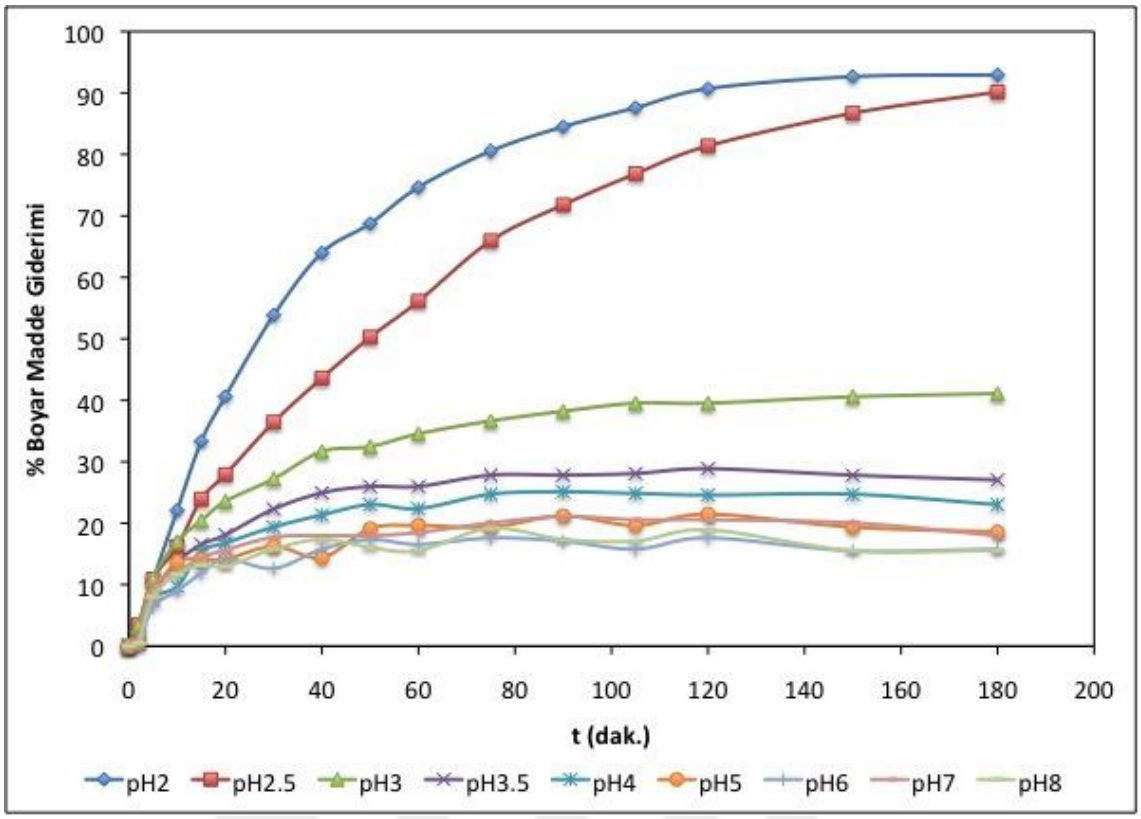
katman, katı partiküllerle sıvı içinde beraber hareket eden stabil bir yapıdır. Stern tabakasının üzerinde kalan yükler bulutu daha kararsız elektriksel potansiyele sahiptir. Nötral hali ifade eden izoelektrik nokta ile bu kararsız tabaka arasındaki fark zeta potansiyelini vermektedir. Taneciğin dış yüzeyindeki birincil tabaka olduğu için elektrokinetik etkileşimlerde taneciğin yükü yerine zeta potansiyelinin değeri önem arz etmektedir. Sıvının iyonik dengesine göre değeri değişmektedir [170]. Buna bağlı olarak, pH düştükçe adsorpsiyon veriminin artması, protonlanan adsorban yüzeyleri ile negatif yüklü boyar madde anyonları arasında meydana gelen elektrostatik çekimin artmasından kaynaklanmaktadır [171].

Boyar madde giderim verimi aktif ve inaktif kefir tanelerinin kullanıldığı her iki durumda ortamın asitlik derecesi arttıkça artış göstermiştir. Çalışılan pH aralığında, aktif ve inaktif kefir taneleri ile 180 dakikalık adsorpsiyon işlemi sonucunda, maksimum giderim verimi Remazol Ultra Red RGB boyar maddesi için %92.94 ve %56.36, Remazol Navy RGB boyar maddesi için %96.25 ve %79.39 olarak pH 2 değerinde elde edilmiştir. Bu nedenle pH 2 değeri adsorpsiyon için optimum pH değeri olarak seçilmiştir.

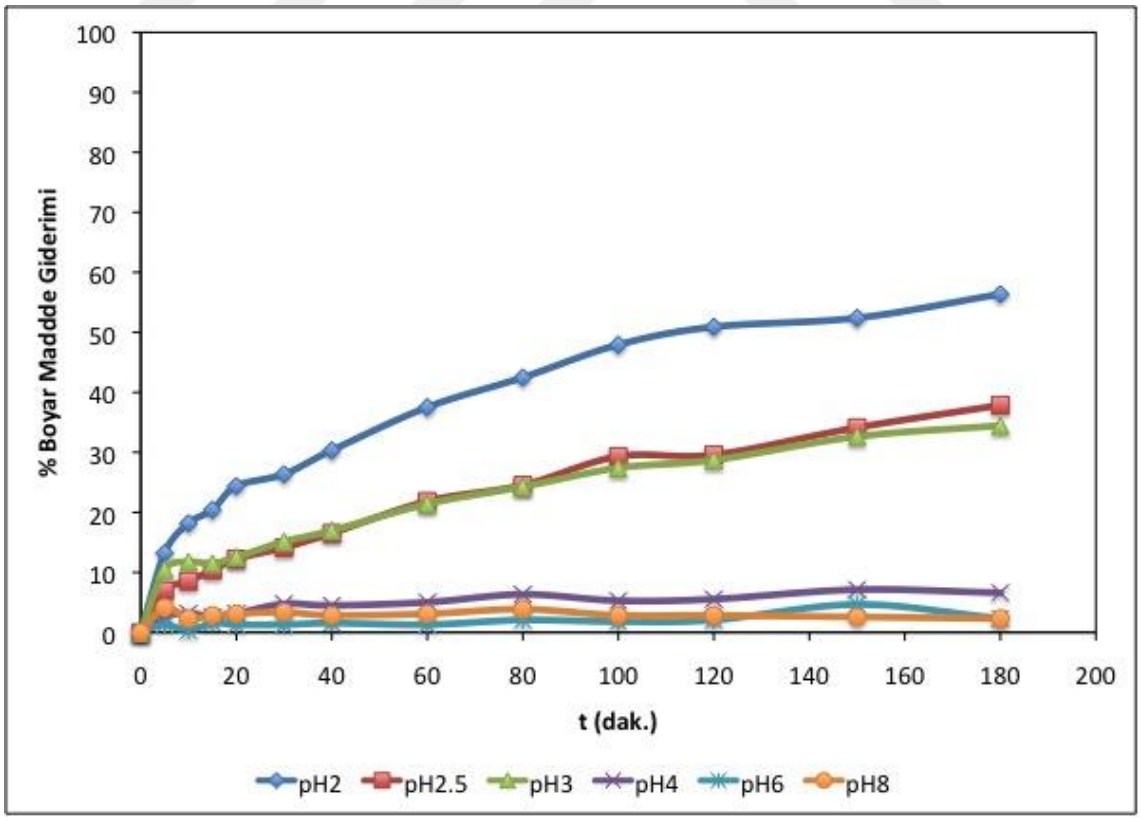
Aktif ve inaktif kefir tanelerinin verimi karşılaştırıldığında her iki boyar madde için de çalışılan tüm pH değerlerinde aktif kefir tanelerinin veriminin inaktif kefir tanelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Aktif ve inaktif kefir tanelerinin adsorpsiyon performasları arasındaki bu farklılık aktif kefir tanelerinde aktif halde bulunan ve hücre içi reaksiyonlarla boya giderimine katkıda bulunabilecek laktik asit ve asetik asit bakterileri ve mayalardan -başka bir deyişle kefirin mikroflorasından- kaynaklanabileceği gibi, yüksek sıcaklıkta kurutularak inaktive edilen kefirin suyunu kaybederken porozif yapısında meydana gelen değişikliklerden de kaynaklanabilir.

Çalışma öncesinde gerçekleştirilen ön denemelerde, kurutulmuş olan kefirlerin suda bekletilerek şişirildiğinde orijinal hallerinden %65 kadar daha az su absorpladıkları belirlenmiştir. Bu nedenle aynı kuru ağırlığa sahip inaktif kefirlerin toplam yüzey alanı, aktiflere göre daha düşüktür. Yüzey alanı adsorpsiyonu etkileyen temel parametrelerden biridir. Dolayısı ile inaktivasyon sonucu azalan yüzey alanı da boyar madde gideriminin düşmesinde önemli bir etken olarak gösterilebilir.



Şekil 8.1 Farklı başlangıç pH değerlerinde, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderim verimi (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=25°C, ÇH= 140 devir/dak)



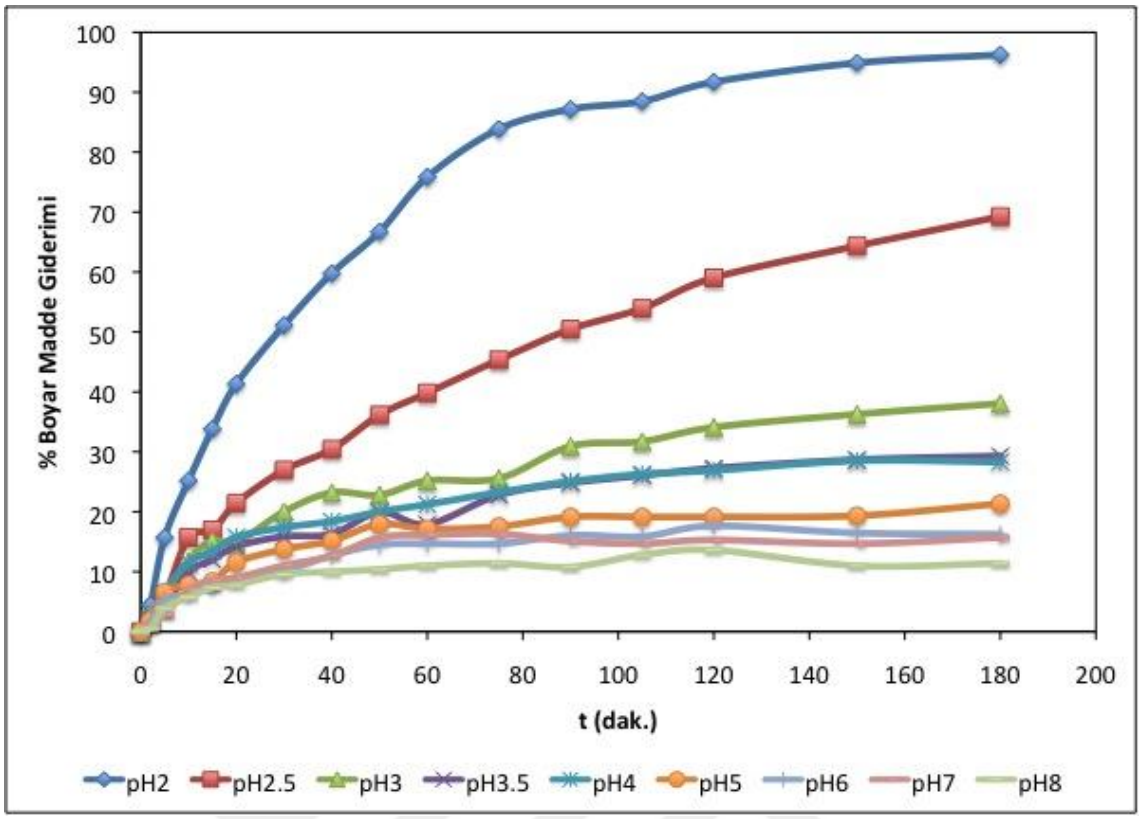
Şekil 8.2 Farklı başlangıç pH değerlerinde, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderim verimi (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=25°C, ÇH= 140 devir/dak)

Çizelge 8.1 Farklı başlangıç pH değerlerinde, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=25°C, ÇH= 140 devir/dak)

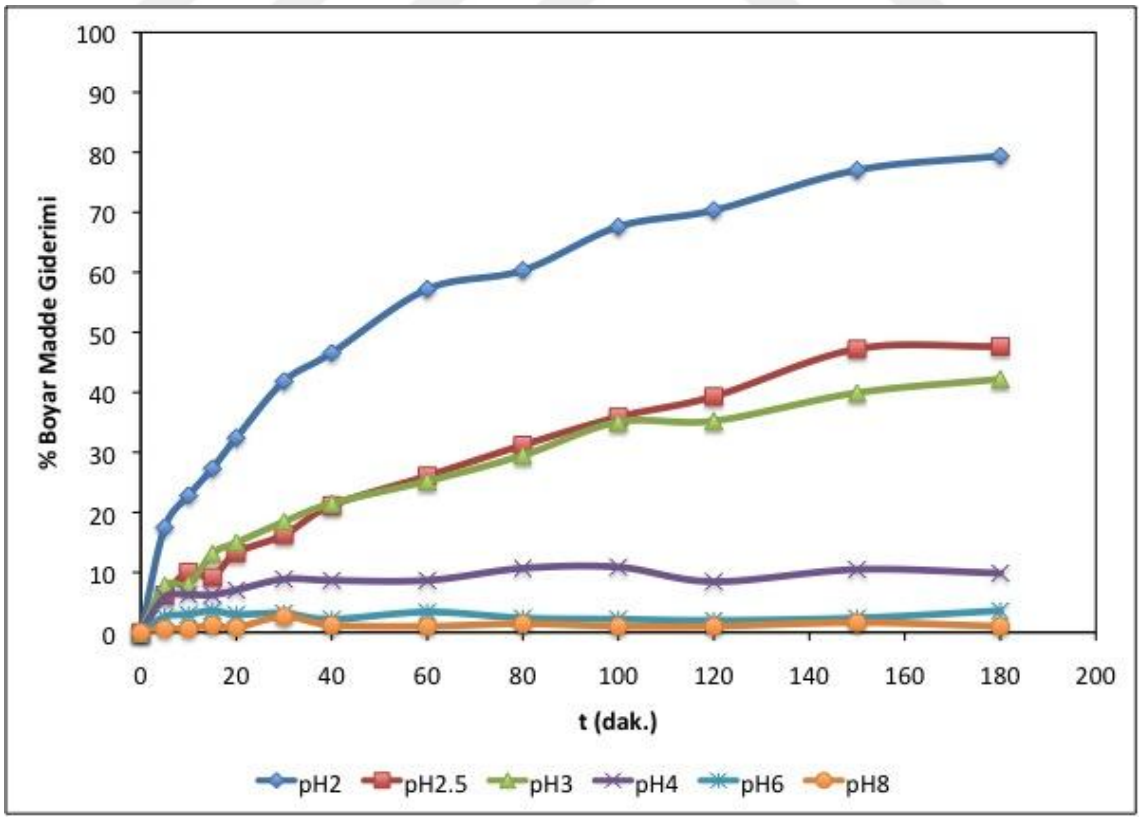
Zaman (dak)		0	2	5	10	15	20	30	40	60	90	120	150	180
pH 2	C_B(mg/L)	100	98.74	89.46	77.93	66.68	59.37	46.15	36.03	25.34	15.5	9.31	7.34	7.06
	%giderim	0	1.26	10.54	22.07	33.32	40.63	53.85	63.97	74.66	84.5	90.69	92.66	92.94
	q_t (mg/g)	0	0.53	4.39	9.20	13.88	16.93	22.44	26.65	31.11	35.21	37.79	38.61	38.73
pH 2.5	C_B(mg/L)	100	96.55	89.1	83.78	76.07	72.08	63.57	56.39	43.89	28.19	18.62	13.3	9.84
	%giderim	0	3.45	10.9	16.22	23.93	27.92	36.43	43.61	56.11	71.81	81.38	86.7	90.16
	q_t (mg/g)	0	1.44	4.54	6.76	9.97	11.63	15.18	18.17	23.38	29.92	33.91	36.13	37.57
pH 3	C_B(mg/L)	100	96.6	89.01	82.98	79.58	76.44	72.78	68.33	65.45	61.78	60.47	59.42	58.90
	%giderim	0	3.4	10.99	17.02	20.42	23.56	27.22	31.67	34.55	38.22	39.53	40.58	41.10
	q_t (mg/g)	0	1.42	4.58	7.09	8.51	9.82	11.34	13.20	14.40	15.93	16.47	16.91	17.13
pH 3.5	C_B(mg/L)	100	99.21	91.6	86.35	83.47	81.89	77.69	75.07	74.02	72.18	71.13	72.18	72.97
	%giderim	0	0.79	8.4	13.65	16.53	18.11	22.31	24.93	25.98	27.82	28.87	27.82	27.03
	q_t (mg/g)	0	0.33	3.50	5.69	6.89	7.55	9.30	10.39	10.83	11.59	12.03	11.59	11.26
pH 4	C_B(mg/L)	100	99.63	92.46	90.26	84.64	83.22	80.62	78.65	77.62	74.89	75.42	75.28	76.97
	%giderim	0	0.37	7.54	9.74	15.36	16.78	19.38	21.35	22.38	25.11	24.58	24.72	23.03
	q_t (mg/g)	0	0.15	3.14	4.06	6.40	6.99	8.08	8.90	9.33	10.46	10.24	10.30	9.60
pH 5	C_B(mg/L)	100	99.5	91.62	86.39	85.86	85.86	83.77	85.6	80.37	78.8	78.53	80.63	81.41
	%giderim	0	0.5	8.38	13.61	14.14	14.14	16.23	14.4	19.63	21.2	21.47	19.37	18.59
	q_t (mg/g)	0	0.21	3.49	5.67	5.89	5.89	6.76	6.00	8.18	8.83	8.95	8.07	7.75
pH 6	C_B(mg/L)	100	99.6	93.61	91	88.14	85.79	87.35	84.22	83.44	82.92	82.4	84.48	84.22
	%giderim	0	0.4	6.39	9	11.86	14.21	12.65	15.78	16.56	17.08	17.6	15.52	15.78
	q_t (mg/g)	0	0.17	2.66	3.75	4.94	5.92	5.27	6.58	6.90	7.12	7.33	6.47	6.58
pH 7	C_B(mg/L)	100	98.32	90.3	87.97	85.65	84.35	82.28	82.02	81.51	78.92	79.44	79.95	82.02
	%giderim	0	1.68	9.7	12.03	14.35	15.65	17.72	17.98	18.49	21.08	20.56	20.05	17.98
	q_t (mg/g)	0	0.70	4.04	5.01	5.98	6.52	7.38	7.49	7.70	8.78	8.57	8.35	7.49
pH 8	C_B(mg/L)	100	99.49	91.97	88.35	86.79	87.05	84.2	82.65	84.46	82.65	81.09	84.46	84.46
	%giderim	0	0.51	8.03	11.65	13.21	12.95	15.8	17.35	15.54	17.35	18.91	15.54	15.54
	q_t (mg/g)	0	0.21	3.35	4.85	5.50	5.40	6.58	7.23	6.48	7.23	7.88	6.48	6.48

Çizelge 8.2 Farklı başlangıç pH değerlerinde, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=25°C, ÇH= 140 devir/dak)

Zaman (dak)		**0**	**5**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**60**	**80**	**100**	**120**	**150**	**180**
pH 2	**C_B(mg/L)**	100	86.78	81.82	79.59	75.62	73.64	69.67	62.48	57.52	52.07	49.09	47.6	43.64
	%giderim	0	13.22	18.18	20.41	24.38	26.36	30.33	37.52	42.48	47.93	50.91	52.4	56.36
	q_t (mg/g)	0	5.51	7.58	8.50	10.16	10.98	12.64	15.63	17.70	19.97	21.21	21.83	23.48
pH 2.5	**C_B(mg/L)**	100	93.07	91.47	89.61	87.74	85.87	83.47	78.14	75.47	70.67	70.41	65.87	62.14
	%giderim	0	6.93	8.53	10.39	12.26	14.13	16.53	21.86	24.53	29.33	29.59	34.13	37.86
	q_t (mg/g)	0	2.89	3.55	4.33	5.11	5.89	6.89	9.11	10.22	12.22	12.33	14.22	15.78
pH 3	**C_B(mg/L)**	100	89.56	88.26	88.52	87.48	84.86	83.04	78.6	75.73	72.59	71.29	67.37	65.54
	%giderim	0	10.44	11.74	11.48	12.52	15.14	16.96	21.4	24.27	27.41	28.71	32.63	34.46
	q_t (mg/g)	0	4.35	4.89	4.78	5.22	6.31	7.07	8.92	10.11	11.42	11.96	13.60	14.36
pH 4	**C_B(mg/L)**	100	97.37	96.84	97.37	96.84	95.25	95.52	94.99	93.67	94.73	94.46	92.88	93.41
	%giderim	0	2.63	3.16	2.63	3.16	4.75	4.48	5.01	6.33	5.27	5.54	7.12	6.59
	q_t (mg/g)	0	1.10	1.32	1.10	1.32	1.98	1.87	2.09	2.64	2.20	2.31	2.97	2.75
pH 6	**C_B(mg/L)**	100	98.71	99.75	98.45	98.71	98.71	98.45	98.71	97.94	98.2	97.94	95.35	97.68
	%giderim	0	1.29	0.25	1.55	1.29	1.29	1.55	1.29	2.06	1.8	2.06	4.65	2.32
	q_t (mg/g)	0	0.54	0.10	0.65	0.54	0.54	0.65	0.54	0.86	0.75	0.86	1.94	0.97
pH 8	**C_B(mg/L)**	100	95.88	97.68	97.17	96.91	96.65	97.17	96.91	96.14	97.17	97.17	97.43	97.68
	%giderim	0	4.12	2.32	2.83	3.09	3.35	2.83	3.09	3.86	2.83	2.83	2.57	2.32
	q_t (mg/g)	0	1.72	0.97	1.18	1.29	1.40	1.18	1.29	1.61	1.18	1.18	1.07	0.97



Şekil 8.3. Farklı başlangıç pH değerlerinde, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderim verimi (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=25°C, ÇH= 140 devir/dak)



Şekil 8.4 Farklı başlangıç pH değerlerinde, inaktif kefir taneleri ile, Remazol Navy RGB giderim verimi (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=25°C, ÇH= 140 devir/dak)

Çizelge 8.3 Farklı başlangıç pH değerlerinde, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=25°C, ÇH= 140 devir/dak)

Zaman (dak)		**0**	**2**	**5**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**60**	**90**	**120**	**150**	**180**
pH 2	**C_B(mg/L)**	100	95.57	84.31	74.84	66.19	58.69	48.89	40.24	24.16	12.83	8.30	5.12	3.75
	%giderim	0	4.43	15.69	25.16	33.81	41.31	51.11	59.76	75.84	87.17	91.70	94.88	96.25
	q_t(mg/g)	0	1.85	6.54	10.49	14.09	17.21	21.29	24.90	31.60	36.32	38.21	39.53	40.10
pH 2.5	**C_B(mg/L)**	100	98.38	94.29	84.28	83.05	78.56	73.04	69.57	60.17	49.55	40.97	35.65	30.75
	%giderim	0	1.62	5.71	15.72	16.95	21.44	26.96	30.43	39.83	50.45	59.03	64.35	69.25
	q_t(mg/g)	0	0.68	2.38	6.55	7.06	8.93	11.23	12.68	16.60	21.02	24.60	26.81	28.85
pH 3	**C_B(mg/L)**	100	97.03	95.64	87.14	83.21	83.65	77.98	74.49	72.31	65.99	62.50	60.10	58.14
	%giderim	0	2.97	4.36	12.86	16.79	16.35	22.02	25.51	27.69	34.01	37.50	39.90	41.86
	q_t(mg/g)	0	1.24	1.82	5.36	6.99	6.81	9.18	10.63	11.54	14.17	15.63	16.62	17.44
pH 3.5	**C_B(mg/L)**	100	97.80	95.73	90.04	88.00	85.76	84.14	83.73	82.10	75.18	72.74	71.32	70.71
	%giderim	0	2.20	4.27	9.96	12.00	14.24	15.86	16.27	17.90	24.82	27.26	28.68	29.29
	q_t(mg/g)	0	0.92	1.78	4.15	5.00	5.93	6.61	6.78	7.46	10.34	11.36	11.95	12.21
pH 4	**C_B(mg/L)**	100	98.00	93.34	88.48	86.66	84.24	82.62	81.61	78.77	74.93	73.11	71.49	71.70
	%giderim	0	2.00	6.66	11.52	13.34	15.76	17.38	18.39	21.23	25.07	26.89	28.51	28.30
	q_t(mg/g)	0	0.83	2.78	4.80	5.56	6.57	7.24	7.66	8.84	10.44	11.20	11.88	11.79
pH 5	**C_B(mg/L)**	100	98.21	93.43	92.23	91.63	88.44	86.25	84.85	82.86	80.86	80.86	80.66	78.67
	%giderim	0	1.79	6.57	7.77	8.37	11.56	13.75	15.15	17.14	19.14	19.14	19.34	21.33
	q_t(mg/g)	0	0.74	2.74	3.24	3.49	4.82	5.73	6.31	7.14	7.97	7.97	8.06	8.89
pH 6	**C_B(mg/L)**	100	98.50	94.85	93.66	92.47	91.28	89.89	87.32	85.33	83.95	82.36	83.55	83.75
	%giderim	0	1.50	5.15	6.34	7.53	8.72	10.11	12.68	14.67	16.05	17.64	16.45	16.25
	q_t(mg/g)	0	0.63	2.15	2.64	3.14	3.63	4.21	5.29	6.11	6.69	7.35	6.85	6.77
pH 7	**C_B(mg/L)**	100	98.69	97.07	93.02	91.40	90.99	88.97	87.35	83.91	84.92	84.72	85.32	84.31
	%giderim	0	1.31	2.93	6.98	8.60	9.01	11.03	12.65	16.09	15.08	15.28	14.68	15.69
	q_t(mg/g)	0	0.55	1.22	2.91	3.58	3.75	4.60	5.27	6.71	6.28	6.37	6.11	6.54
pH 8	**C_B(mg/L)**	100	99.50	96.08	94.26	92.65	92.24	90.43	90.03	89.02	89.22	86.40	89.02	88.62
	%giderim	0	0.50	3.92	5.74	7.35	7.76	9.57	9.97	10.98	10.78	13.60	10.98	11.38
	q_t(mg/g)	0	0.21	1.64	2.39	3.06	3.23	3.99	4.16	4.58	4.49	5.67	4.58	4.74

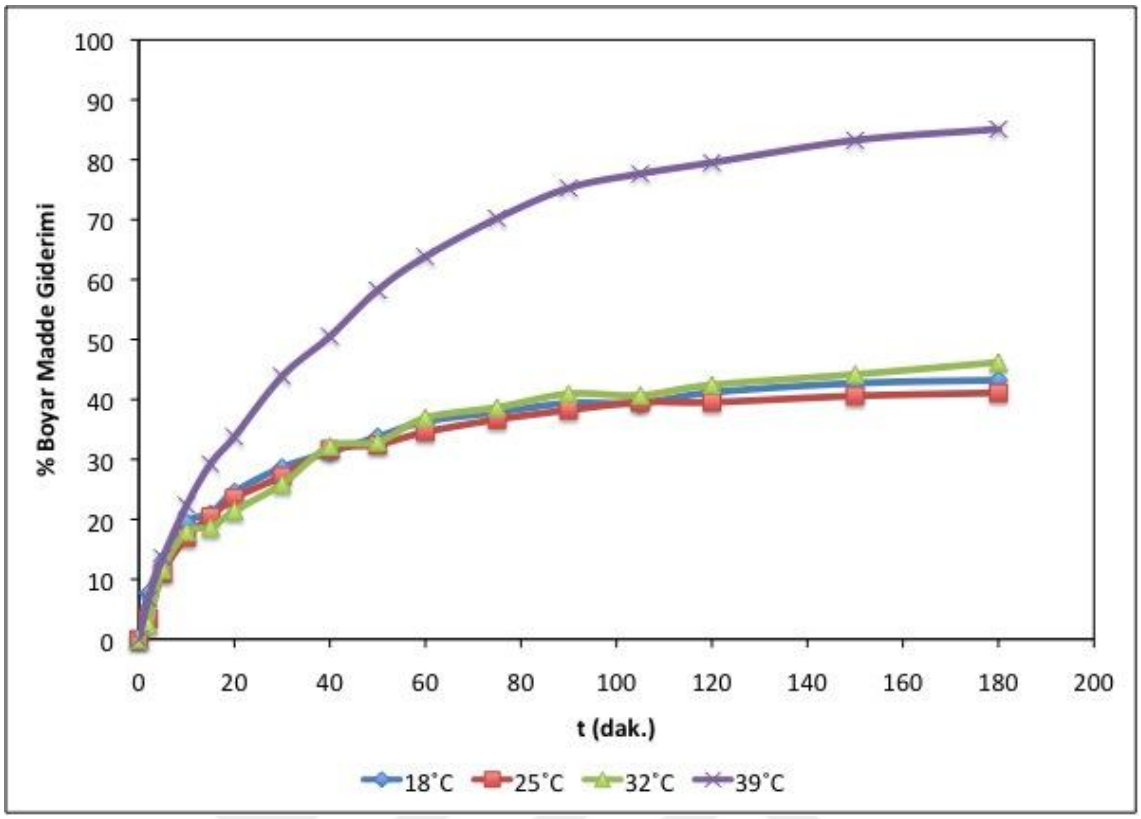
Çizelge 8.4 Farklı başlangıç pH değerlerinde, inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=25°C, ÇH= 140 devir/dak)

Zaman (dak)		**0**	**5**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**60**	**80**	**100**	**120**	**150**	**180**
pH 2	**C_B(mg/L)**	100	82.51	77.21	72.69	67.58	58.15	53.43	42.82	39.67	32.4	29.65	22.97	20.61
	%giderim	0	17.49	22.79	27.31	32.42	41.85	46.57	57.18	60.33	67.6	70.35	77.03	79.39
	q_t (mg/g)	0	7.29	9.50	11.38	13.51	17.44	19.40	23.83	25.14	28.17	29.31	32.10	33.08
pH 2.5	**C_B(mg/L)**	100	93.81	89.96	90.81	86.75	83.76	78.85	73.93	68.81	64.1	60.69	52.78	52.35
	%giderim	0	6.19	10.04	9.19	13.25	16.24	21.15	26.07	31.19	35.9	39.31	47.22	47.65
	q_t (mg/g)	0	2.58	4.18	3.83	5.52	6.77	8.81	10.86	13.00	14.96	16.38	19.68	19.85
pH 3	**C_B(mg/L)**	100	92.22	92.02	86.89	85.05	81.56	78.49	74.8	70.5	64.96	64.76	60.08	57.79
	%giderim	0	7.78	7.98	13.11	14.95	18.44	21.51	25.2	29.5	35.04	35.24	39.92	42.21
	q_t (mg/g)	0	3.24	3.33	5.46	6.23	7.68	8.96	10.50	12.29	14.60	14.68	16.63	17.59
pH 4	**C_B(mg/L)**	100	94.16	93.76	93.76	92.95	91.13	91.34	91.34	89.32	89.12	91.54	89.52	90.13
	%giderim	0	5.84	6.24	6.24	7.05	8.87	8.66	8.66	10.68	10.88	8.46	10.48	9.87
	q_t (mg/g)	0	2.43	2.60	2.60	2.94	3.70	3.61	3.61	4.45	4.53	3.53	4.37	4.11
pH 6	**C_B(mg/L)**	100	97.40	97	96.40	97	96.80	97.80	96.60	97.60	97.80	98	97.60	96.40
	%giderim	0	2.60	3.00	3.60	3.00	3.20	2.20	3.40	2.40	2.20	2.00	2.40	3.60
	q_t (mg/g)	0	1.08	1.25	1.50	1.25	1.33	0.92	1.42	1.00	0.92	0.83	1.00	1.50
pH 8	**C_B(mg/L)**	100	99.4	99.4	98.78	99.19	97.35	98.78	98.99	98.58	98.99	98.99	98.37	98.99
	%giderim	0	0.6	0.6	1.22	0.81	2.65	1.22	1.01	1.42	1.01	1.01	1.63	1.01
	q_t (mg/g)	0	0.25	0.25	0.51	0.34	1.10	0.51	0.42	0.59	0.42	0.42	0.68	0.42

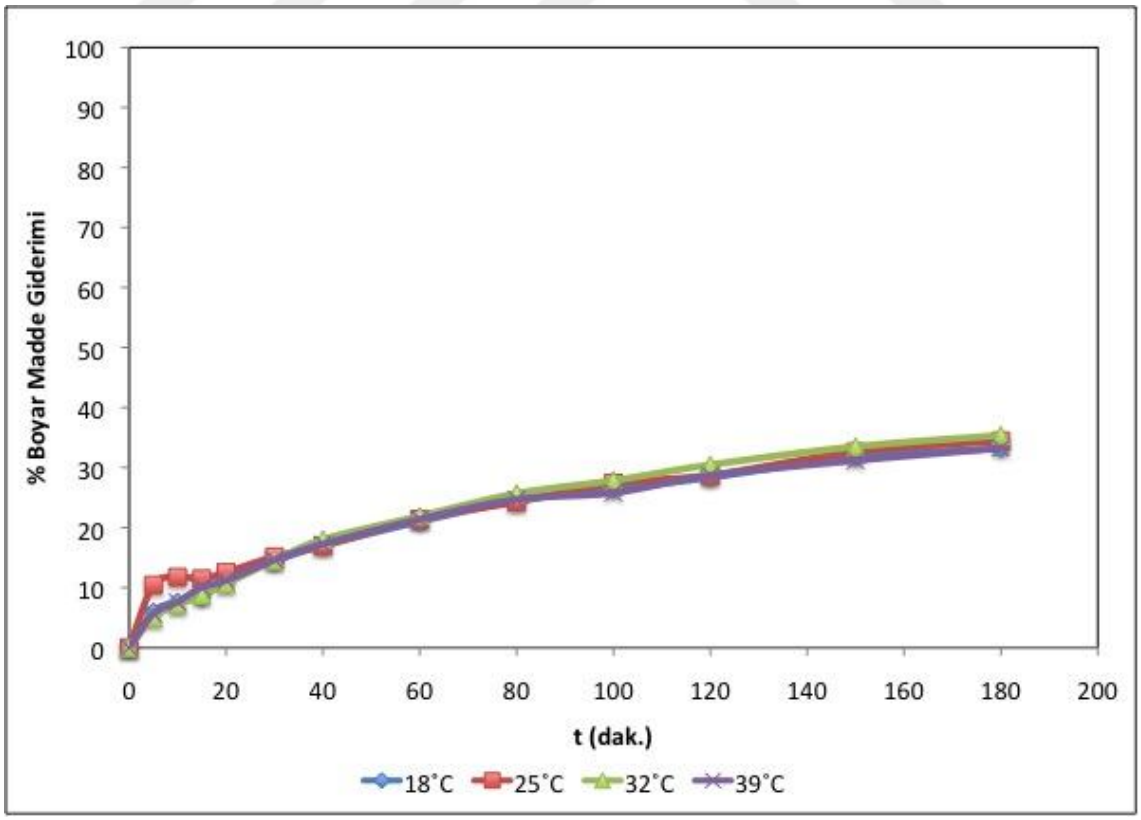
8.2 Boyar Madde Giderimine Sıcaklığın Etkisi

Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB boyar maddelerinin sulu çözeltilerden aktif ve inaktif kefir taneleri ile gideriminde sıcaklığın etkisi, 100 mg/L boyar madde konsantrasyonunda, 2.4 g (kuru ağırlık)/L kefir tanesi ilavesi ile, pH 3 değrinde, 140 devir/dak. sabit çalkalama hızında 18˚C-39˚C arasında değişen sıcaklıklarda incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, farklı sıcaklık değerlerinde aktif ve inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddeleri için elde edilen boya giderim verimleri Şekil 8.5-8.8'de grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca, Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddeleri için zamana karşılık elde edilen boyar madde konsantrasyonu, % boyar madde giderimi ve kefir tanelerinin biyosorpsiyon kapasitesi değerleri, sırası ile aktif kefir tanelerinin kullanıldığı deneyler için Çizelge 8.5 ve Çizelge 8.7'de, inaktif kefir tanelerinin kullanıldığı deneyler için Çizelge 8.6 ve Çizelge 8.8'de verilmiştir.

Aktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen deneylerde sıcaklığın boyar madde giderimi üzerindeki etkisi incelendiğinde her iki boyar madde için de (Şekil 8.5 ve 8.7), 18-32°C sıcaklık aralığında, boyar madde gideriminde sıcaklık artışına bağlı önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. 180 dakikalık adsorpsiyon işlemi sonucunda belirtilen sıcaklık aralığında Remazol Ultra Red RGB boyar maddesi için %40 civarında, Remazol Navy RGB boyar maddesi için % 42 civarında giderim elde edilmiştir. Ancak sıcaklık 32°C'den 39°C'ye yükseltildiğinde her iki boyar madde için de giderim veriminde önemli ölçüde artış elde edildiği görülmüştür. 180 dakikalık adsorpsiyon işlemi sonunda % giderim Remazol Ultra Red RGB boyar maddesi için %77.66'ya (yaklaşık olarak % 94 oranında artmıştır) , Remazol Navy RGB boyar maddesi için % 70.23'e yükselmiştir (yaklaşık olarak % 67 oranında artmıştır). İnaktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen deneylerde (Şeki 8.6 ve Şekil 8.8) sıcaklık 39°C'ye artırıldığında her iki boyar madde için de giderim değerlerinde benzer bir artış gözlemlenmediğinden bu durumun kefirin canlı mikroflorasından kaynaklandığı ve sıcaklık artışı ile kefir bakterileri ya da mayalarının hücre içi ve/veya dışı faliyetlerinde meydana gelen değişikliklerin boya giderimine katkı sağlamış olabileceği söylenebilir.



Şekil 8.5 Farklı sıcaklıklarda, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, pH=3, ÇH= 140 devir/dak)



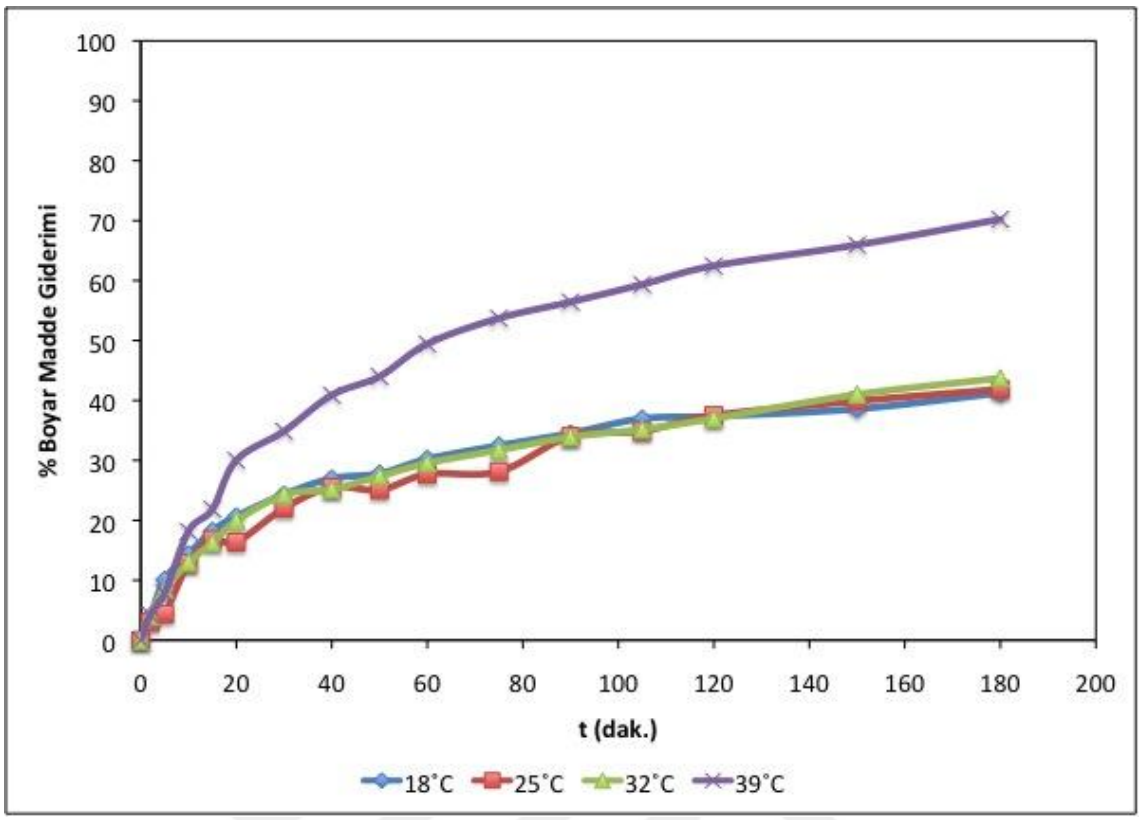
Şekil 8.6 Farklı sıcaklıklarda, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, pH=3, ÇH= 140 devir/dak)

Çizelge 8.5 Farklı sıcaklıklarda, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, pH=3, ÇH=140 devir/dak)

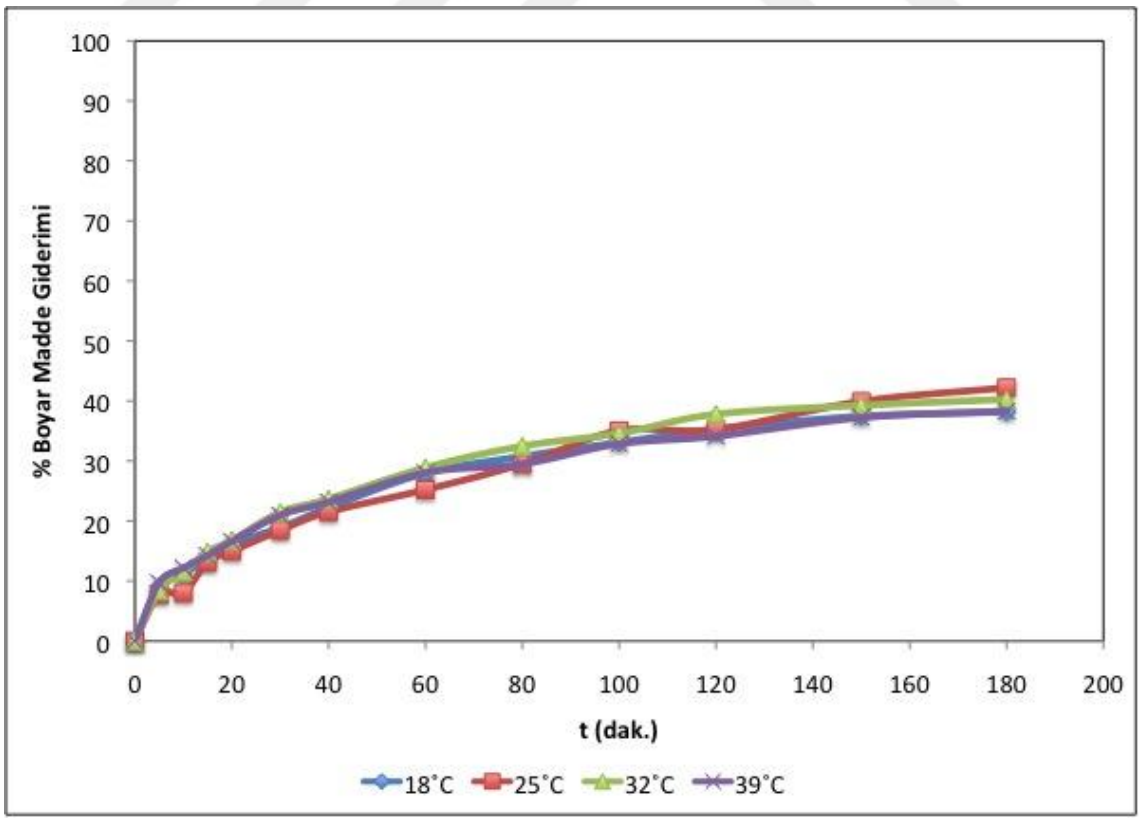
Zaman (dak)		0	2	5	10	15	20	30	40	60	90	120	150	180
18˚C	C_B(mg/L)	100	92.33	86.96	80.56	79.03	75.45	71.36	68.80	63.68	60.61	58.82	57.29	56.78
	%giderim	0	7.67	13.04	19.44	20.97	24.55	28.64	31.20	36.32	39.39	41.18	42.71	43.22
	q_t (mg/g)	0	3.20	5.43	8.10	8.74	10.23	11.93	13.00	15.13	16.41	17.16	17.80	18.01
25˚C	C_B(mg/L)	100	96.6	89.01	82.98	79.58	76.44	72.78	68.33	65.45	61.78	60.47	59.42	58.90
	%giderim	0	3.4	10.99	17.02	20.42	23.56	27.22	31.67	34.55	38.22	39.53	40.58	41.10
	q_t (mg/g)	0	1.42	4.58	7.09	8.51	9.82	11.34	13.20	14.40	15.93	16.47	16.91	17.13
32˚C	C_B(mg/L)	100	97.62	88.36	82.10	81.35	78.60	74.09	67.84	63.08	59.07	57.57	55.82	53.82
	%giderim	0	2.38	11.64	17.90	18.65	21.40	25.91	32.16	36.92	40.93	42.43	44.18	46.18
	q_t (mg/g)	0	0.99	4.85	7.46	7.77	8.92	10.80	13.40	15.38	17.05	17.68	18.41	19.24
39˚C	C_B(mg/L)	100	93.36	86.44	77.67	70.75	66.23	56.12	49.47	36.17	24.74	20.48	16.76	14.89
	%giderim	0	6.64	13.56	22.33	29.25	33.77	43.88	50.53	63.83	75.26	79.52	83.24	85.11
	q_t (mg/g)	0	2.77	5.65	9.30	12.19	14.07	18.28	21.05	26.60	31.36	33.13	34.68	35.46

Çizelge 8.6 Farklı sıcaklıklarda, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, pH=3 ve ÇH=140 devir/dak)

Zaman (dak)		0	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120	150	180
18˚C	C_B(mg/L)	100	94.06	92.40	91.57	88.94	85.62	82.99	78.98	75.53	73.59	71.65	68.20	66.81
	%giderim	0	5.94	7.60	8.43	11.06	14.38	17.01	21.02	24.47	26.41	28.35	31.80	33.19
	q_t (mg/g)	0.00	2.48	3.17	3.51	4.61	5.99	7.09	8.76	10.20	11.00	11.81	13.25	13.83
25˚C	C_B(mg/L)	100	89.56	88.26	88.52	87.48	84.86	83.04	78.60	75.73	72.59	71.29	67.37	65.54
	%giderim	0	10.44	11.74	11.48	12.52	15.14	16.96	21.40	24.27	27.41	28.71	32.63	34.46
	q_t (mg/g)	0	4.35	4.89	4.78	5.22	6.31	7.07	8.92	10.11	11.42	11.96	13.60	14.36
32˚C	C_B(mg/L)	100	95.04	92.86	91.27	89.39	85.48	82.00	78.09	74.33	72.16	69.55	66.51	64.63
	%giderim	0	4.96	7.14	8.73	10.61	14.52	18.00	21.91	25.67	27.84	30.45	33.49	35.37
	q_t (mg/g)	0	2.07	2.98	3.64	4.42	6.05	7.50	9.13	10.70	11.60	12.69	13.95	14.74
39˚C	C_B(mg/L)	100	94.35	92.42	89.93	88.83	85.38	82.76	78.63	75.32	74.21	71.32	68.83	66.77
	%giderim	0	5.65	7.58	10.07	11.17	14.62	17.24	21.37	24.68	25.79	28.68	31.17	33.23
	q_t (mg/g)	0	2.35	3.16	4.20	4.65	6.09	7.18	8.90	10.28	10.75	11.95	12.99	13.85



Şekil 8.7 Farklı sıcaklıklarda, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, pH=3, ÇH= 140 devir/dak.)



Şekil 8.8 Farklı sıcaklıklarda, inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, pH=3, ÇH= 140 devir/dak.)

Çizelge 8.7 Farklı sıcaklıklarda, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, pH=3, ÇH=140 devir/dak.)

Zaman (dak)		0	2	5	10	15	20	30	40	60	90	120	150	180
18˚C	C_B(mg/L)	100	96.03	89.92	85.65	81.78	79.33	75.67	73.02	69.76	65.48	62.63	61.41	58.76
	%giderim	0	3.97	10.08	14.35	18.22	20.67	24.33	26.98	30.24	34.52	37.37	38.59	41.24
	q_t (mg/g)	0	1.65	4.20	5.98	7.59	8.61	10.14	11.24	12.60	14.38	15.57	16.08	17.18
25˚C	C_B(mg/L)	100	97.03	95.64	87.14	83.21	83.65	77.98	74.49	72.31	65.99	62.50	60.10	58.14
	%giderim	0	2.97	4.36	12.86	16.79	16.35	22.02	25.51	27.69	34.01	37.50	39.90	41.86
	q_t (mg/g)	0	1.24	1.82	5.36	6.99	6.81	9.18	10.63	11.54	14.17	15.63	16.62	17.44
32˚C	C_B(mg/L)	100	95.92	91.55	87.01	83.73	80.10	75.73	74.82	70.46	66.10	63.01	59.01	56.28
	%giderim	0	4.08	8.45	12.99	16.27	19.90	24.27	25.18	29.54	33.90	36.99	40.99	43.72
	q_t (mg/g)	0	1.70	3.52	5.41	6.78	8.29	10.11	10.49	12.31	14.13	15.41	17.08	18.22
39˚C	C_B(mg/L)	100	95.82	92.13	81.84	78.14	69.99	65.13	59.11	50.56	43.56	37.54	34.05	29.77
	%giderim	0	4.18	7.87	18.16	21.86	30.01	34.87	40.89	49.44	56.44	62.46	65.95	70.23
	q_t (mg/g)	0	1.74	3.28	7.57	9.11	12.51	14.53	17.04	20.60	23.51	26.02	27.48	29.26

Çizelge 8.8 Farklı sıcaklıklarda, inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, pH=3, ÇH=140 devir/dak.)

Zaman (dak)		0	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120	150	180
18˚C	C_B(mg/L)	100	90.90	88.67	86.53	83.84	81.14	77.80	72.04	69.25	66.93	64.70	62.56	61.82
	%giderim	0	9.10	11.33	13.47	16.16	18.86	22.20	27.96	30.75	33.07	35.30	37.44	38.18
	q_t (mg/g)	0	3.79	4.72	5.61	6.73	7.86	9.25	11.65	12.81	13.78	14.71	15.60	15.91
25˚C	C_B(mg/L)	100	92.22	92.02	86.89	85.05	81.56	78.49	74.80	70.50	64.96	64.76	60.08	57.79
	%giderim	0	7.78	7.98	13.11	14.95	18.44	21.51	25.20	29.50	35.04	35.24	39.92	42.21
	q_t (mg/g)	0	3.24	3.33	5.46	6.23	7.68	8.96	10.50	12.29	14.60	14.68	16.63	17.59
32˚C	C_B(mg/L)	100	91.65	88.54	85.14	83.22	78.54	76.34	71.11	67.53	65.42	62.21	60.74	59.74
	%giderim	0	8.35	11.46	14.86	16.78	21.46	23.66	28.89	32.47	34.58	37.79	39.26	40.26
	q_t (mg/g)	0	3.48	4.78	6.19	6.99	8.94	9.86	12.04	13.53	14.41	15.75	16.36	16.78
39˚C	C_B(mg/L)	100	90.31	87.86	85.77	83.41	79.05	76.87	71.96	70.51	67.15	65.88	62.79	61.70
	%giderim	0	9.69	12.14	14.23	16.59	20.95	23.13	28.04	29.49	32.85	34.12	37.21	38.30
	q_t (mg/g)	0	4.04	5.06	5.93	6.91	8.73	9.64	11.68	12.29	13.69	14.22	15.50	15.96

Aktif ve inaktif kefir tanelerinin verimi karşılaştırıldığında farklı pH değerlerinde gerçekleştirilen deneylerde olduğu gibi farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerde de her iki boyar madde için aktif kefir tanelerinin veriminin inaktif kefir tanelerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

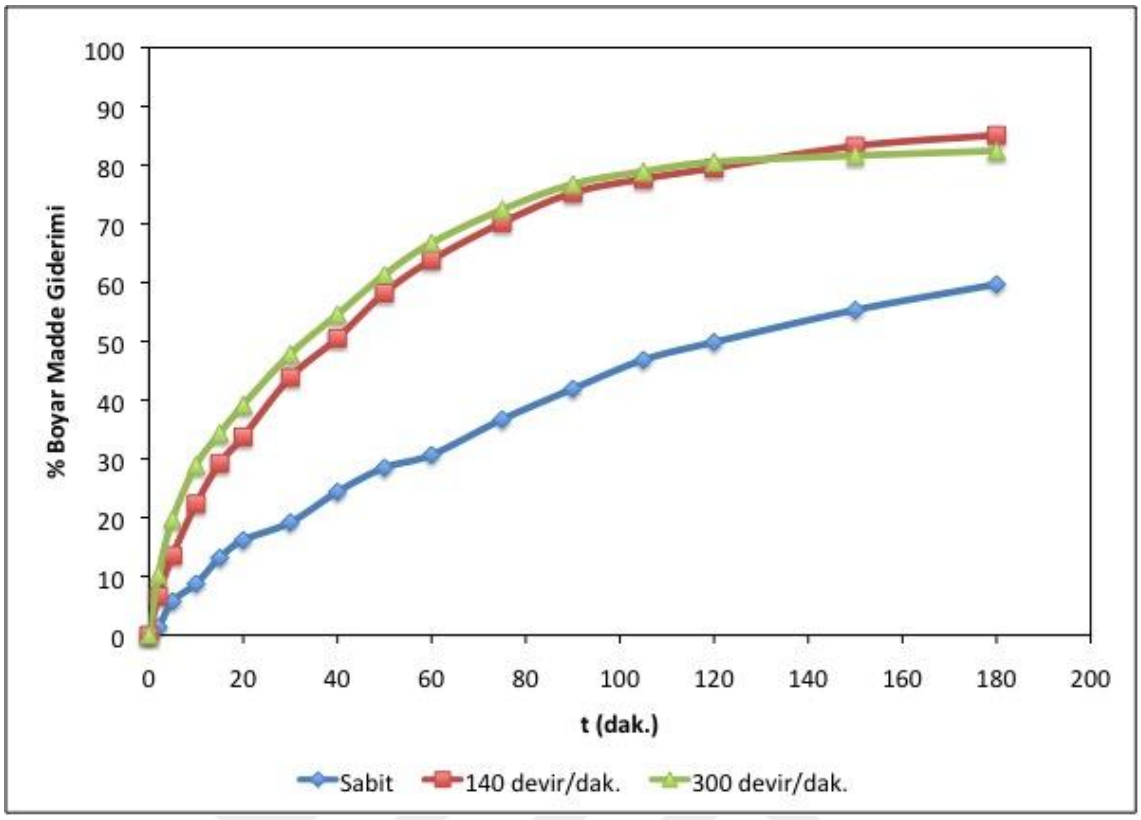
8.3 Boyar Madde Giderimine Çalkalama Hızının Etkisi

Çalkalama hızının % boyar madde giderimine etkisini incelenmek üzere Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB boyar maddelerinin 100 mL hacimde 100 mg/L'lik sulu çözeltileri 0-300 devir/dak. aralığında değişen çalkalama hızlarında, 2.4 g (kuru ağırlık)/L aktif kefir tanesi ilavesi ile, 39˚C sıcaklıkta, pH 3 değerinde, 180 dakika süresince adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, farklı çalkalama hızlarında Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddeleri için elde edilen boya giderim verimleri Şekil 8.9 ve 8.10'da grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca, Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddeleri için zamana karşılık elde edilen boyar madde konsantrasyonu, % boyar madde giderimi ve kefir tanelerinin adosorpsiyon kapasitesi değerleri Çizelge 8.9 ve 8.10'da verilmiştir.

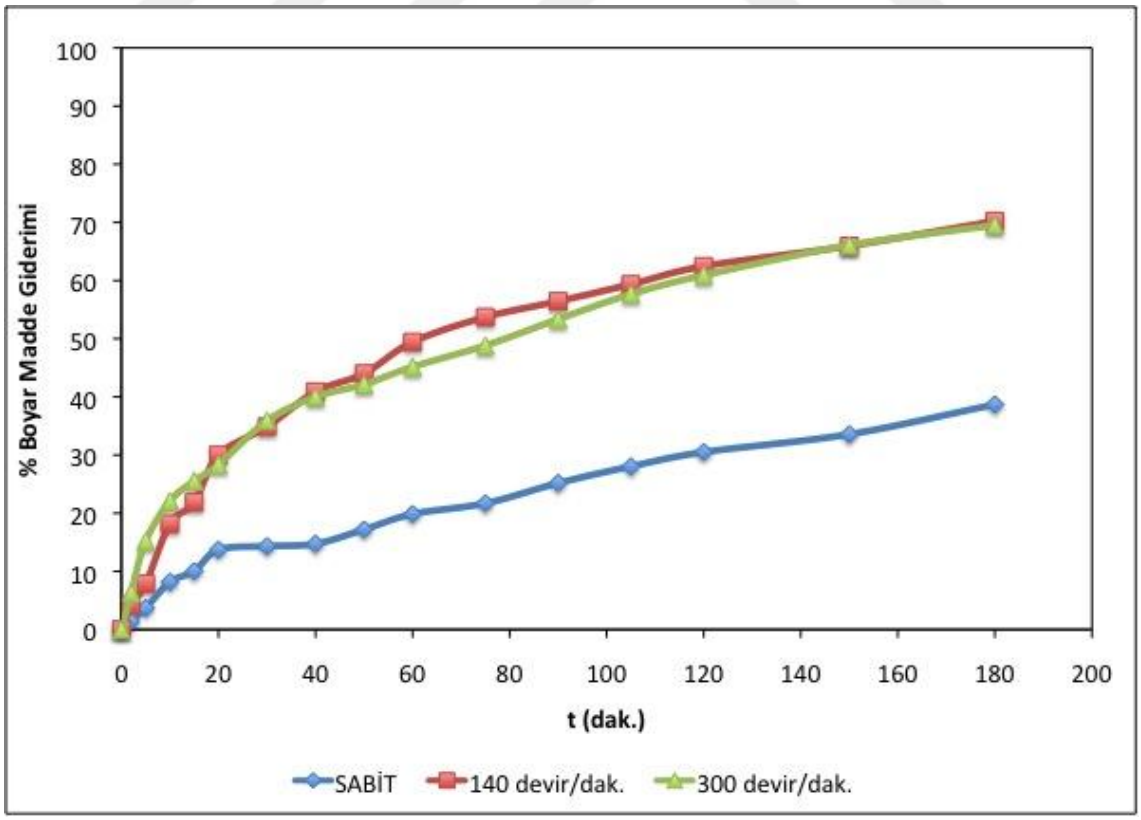
Elde edilen veriler, çalkalama kullanıldığında, her iki boyar madde için de adsorpsiyonun daha hızlı gerçekleştiğini ancak çalkalama hızının yükseltilmesinin adsorpsiyon hızını daha fazla artırmadığını göstermiştir.

8.4 Boyar Madde Giderimine Boyar Madde Konsantrasyonunun Etkisi

Sulu çözeltilerden Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddelerinin aktif ve inaktif kefir taneleri ile giderimine, başlangıç boyar madde konsantrasyonunun etkisini incelemek amacıyla adsorpsiyon deneyleri 50-400 mg/L aralığında değişen boyar madde konsantrasyonlarında, pH 2 değerinde, 25°C sıcaklıkta ve 140 devir/dak. çalkalama hızında gerçekleştirilmiştir. 100 ml çalışma hacminde gerçekleştirilen deneylerde 1.2 g (kuru ağırlık) kefir kullanılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında aktif ve inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddeleri



Şekil 8.9 Farklı çalkalama hızlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi(C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=39°C, pH=3)



Şekil 8.10 Farklı çalkalama hızlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=39°C, pH=3)

Çizelge 8.9 Farklı çalkalama hızlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=39°C, pH=3)

Zaman (dak)		0	2	5	10	15	20	30	40	60	90	120	150	180
Sabit	C_B(mg/L)	100	98.64	94.26	91.24	86.86	83.84	80.83	75.62	69.32	58.09	50.14	44.66	40.28
	%giderim	0	1.36	5.74	8.76	13.14	16.16	19.17	24.38	30.68	41.91	49.86	55.34	59.72
	q_t (mg/g)	0	0.57	2.39	3.65	5.48	6.73	7.99	10.16	12.78	17.46	20.78	23.06	24.88
140 devir/dak.	C_B(mg/L)	100	93.36	86.44	77.67	70.75	66.23	56.12	49.47	36.17	24.74	20.48	16.76	14.89
	%giderim	0	6.64	13.56	22.33	29.25	33.77	43.88	50.53	63.83	75.26	79.52	83.24	85.11
	q_t (mg/g)	0	2.77	5.65	9.30	12.19	14.07	18.28	21.05	26.60	31.36	33.13	34.68	35.46
300 devir/dak.	C_B(mg/L)	100	89.73	80.27	71.08	65.68	60.81	52.16	45.41	33.24	23.24	19.46	18.38	17.57
	%giderim	0	10.27	19.73	28.92	34.32	39.19	47.84	54.59	66.76	76.76	80.54	81.62	82.43
	q_t (mg/g)	0	4.28	8.22	12.05	14.30	16.33	19.93	22.75	27.82	31.98	33.56	34.01	34.35

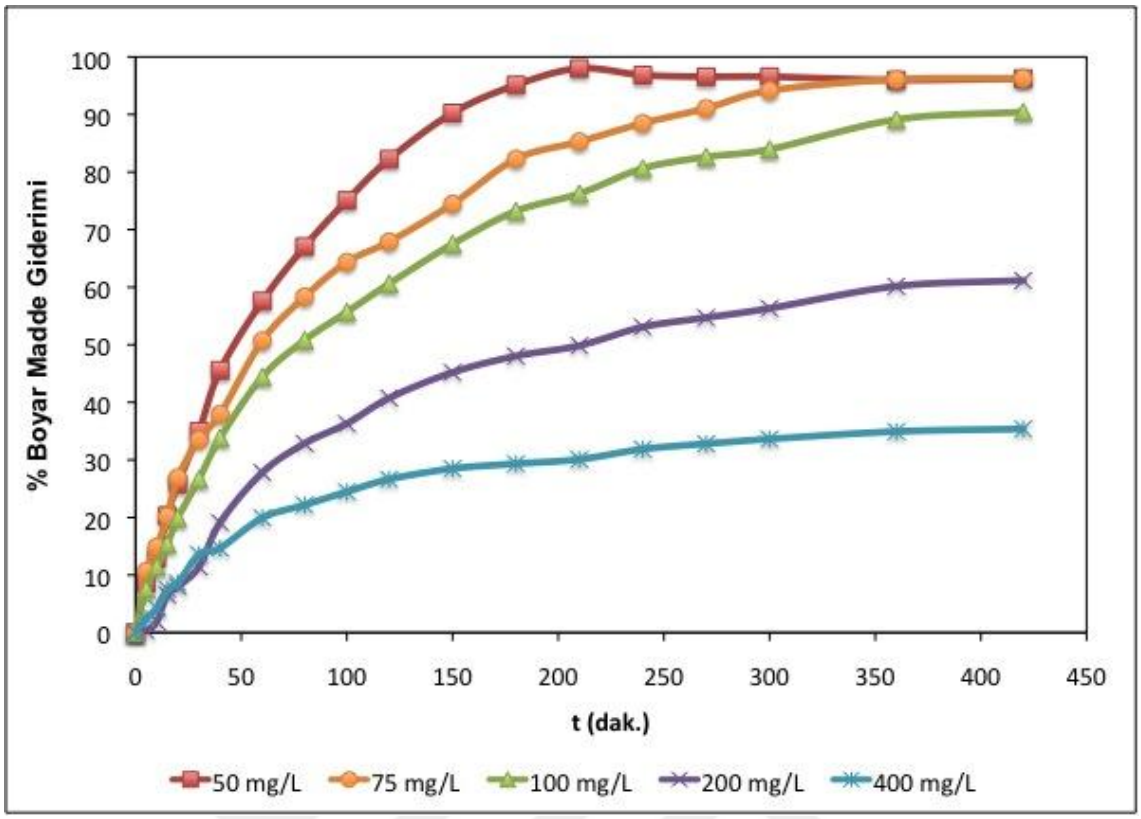
Çizelge 8.10 Farklı çalkalama hızlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_B=100 mg/L, C_K=2.4 g/L, T=39°C, pH=3)

Zaman (dak)		**0**	**2**	**5**	**10**	**15**	**20**	**30**	**40**	**60**	**90**	**120**	**150**	**180**
Sabit	**C_B(mg/L)**	100	98.57	96.32	91.81	89.97	86.29	85.67	85.26	80.14	74.82	69.50	66.43	61.31
	%giderim	0	1.43	3.68	8.19	10.03	13.71	14.33	14.74	19.86	25.18	30.50	33.57	38.69
	q_t (mg/g)	0	0.60	1.53	3.41	4.18	5.71	5.97	6.14	8.28	10.49	12.71	13.99	16.12
140 devir/dak.	**C_B(mg/L)**	100	95.82	92.13	81.84	78.14	69.99	65.13	59.11	50.56	43.56	37.54	34.05	29.77
	%giderim	0	4.18	7.87	18.16	21.86	30.01	34.87	40.89	49.44	56.44	62.46	65.95	70.23
	q_t (mg/g)	0	1.74	3.28	7.57	9.11	12.51	14.53	17.04	20.60	23.51	26.02	27.48	29.26
300 devir/dak.	**C_B(mg/L)**	100	93.64	84.80	77.90	74.45	71.65	64.11	60.01	54.83	46.64	39.09	33.92	30.47
	%giderim	0	6.36	15.20	22.10	25.55	28.35	35.89	39.99	45.17	53.36	60.91	66.08	69.53
	q_t (mg/g)	0	2.65	6.33	9.21	10.65	11.81	14.95	16.66	18.82	22.23	25.38	27.53	28.97

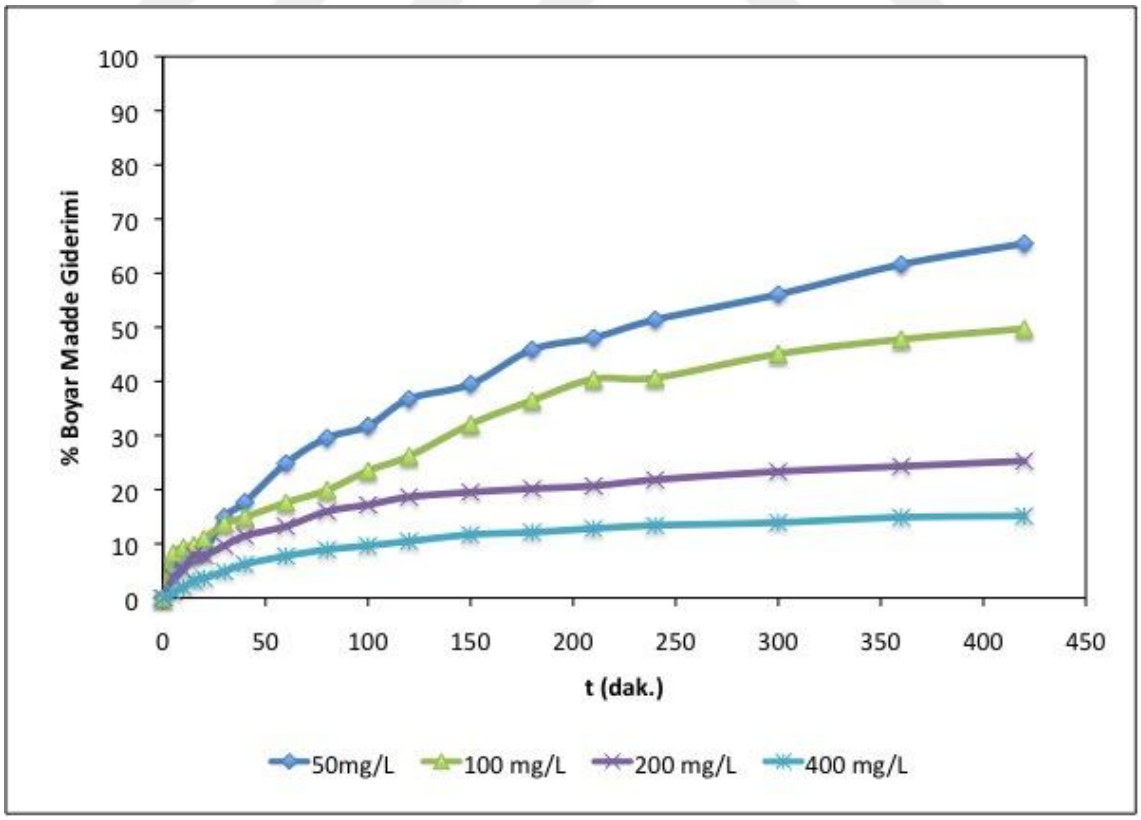
elde edilen boyar madde giderim verimleri Şekil 8.11-8.14'da grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca, Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddeleri için zamana karşılık elde edilen boyar madde konsantrasyonu, % boyar madde giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri, sırası ile aktif kefir tanelerinin kullanıldığı deneyler için Çizelge 8.11 ve Çizelge 8.13'de, inaktif kefir tanelerinin kullanıldığı deneyler için Çizelge 8.12 ve Çizelge 8.14'da verilmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde, aktif ve inaktif kefir tanelerinin kullanıldığı her iki durumda, her iki boyar madde için, başlangıç boyar madde konsantrasyonun artmasıyla adsorpsiyon hızının belirgin şekilde azaldığı dolayısı ile % boyar madde gideriminin düştüğü açık bir şekilde görülmektedir. Kefir tanelerinin adsropsiyon kapasiteleri incelendiğinde ise, kapasite değerlerinin artan boyar madde konsantrasyonu ile artış gösterdiği görülmektedir. Deneylerde kullanılan adsorban miktarı sabit olduğu için bunlar beklenilen sonuçlardır. Başlangıç boya konsantrasyonunun 50 mg/L'den 400 mg/L'ye yükseltilmesi ile Remazol Ultra Red RGB boyar maddesi için % giderim; aktif ve inaktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen 180 dakikalık adsorpsiyon işlemi sonunda %63.25 ve %76.87 oranında azalmıştır. Benzer şekilde Remazol Navy RGB boyar maddesi için % giderim; aktif ve inaktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen 180 dakikalık adsorpsiyon işlemi sonunda %58.57 ve % 79.68 oranında azalmıştır.

Aktif ve inaktif kefir tanelerinin verimi karşılaştırıldığında, önceki bölümlerde elde edilen sonuçlara benzer şekilde her iki boyar madde için de çalışılan tüm başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında aktif kefir tanelerinin veriminin inaktif kefir tanelerine göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 8.11 Farklı Başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi (C_K=1.2 g/L, T=25°C, pH=2, ÇH= 140 devir/dak)



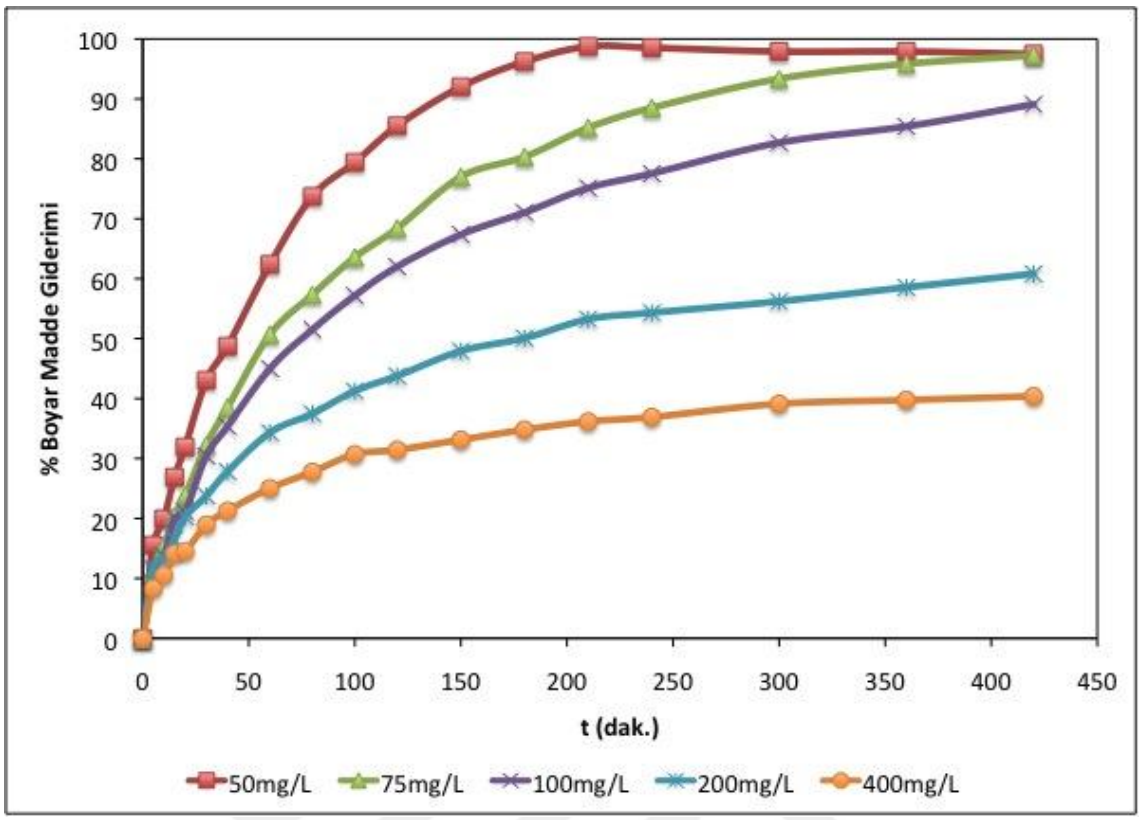
Şekil 8.12 Farklı Başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi (C_K=1.2 g/L, T=25°C, pH=2, ÇH= 140 devir/dak)

Çizlge 8.11 Farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında aktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_K=1.2 g/L, T=25°C, pH=2, ÇH= 140 devir/dak)

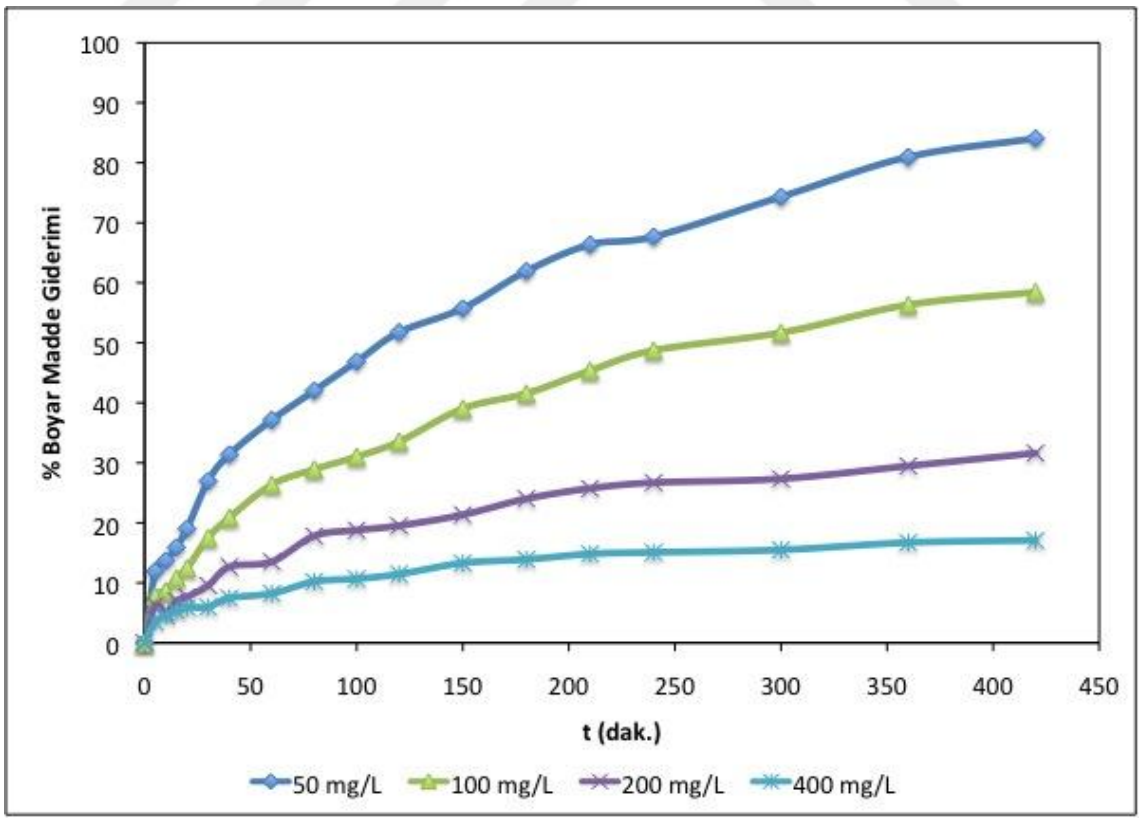
Zaman (dak.)		0	10	20	40	80	120	180	240	300	360	420
50 mg/L	C_B(mg/L)	50	43.55	37.1	27.22	16.47	8.88	2.44	1.58	1.72	2.01	1.86
	%giderim	0	12.91	25.8	45.57	67.05	82.24	95.13	96.85	96.56	95.99	96.28
	q_t (mg/g)	0	5.38	10.75	18.98	27.94	34.27	39.63	40.35	40.23	39.99	40.12
75 mg/L	C_B(mg/L)	75	63.83	54.79	46.54	31.25	24.07	13.3	8.64	4.39	2.93	2.79
	%giderim	0	14.89	26.95	37.94	58.33	67.91	82.27	88.47	94.15	96.1	96.28
	q_t (mg/g)	0	9.31	16.84	23.72	36.46	42.44	51.42	55.30	58.84	60.06	60.18
100 mg/L	C_B(mg/L)	100	88.6	80.11	66.18	49.21	39.39	26.79	19.36	16.05	10.88	9.55
	%giderim	0	11.4	19.89	33.82	50.79	60.61	73.21	80.64	83.95	89.12	90.45
	q_t (mg/g)	0	9.50	16.58	28.18	42.33	50.51	61.01	67.20	69.96	74.27	75.38
200 mg/L	C_B(mg/L)	200	196.14	184.01	161.77	134.27	118.49	103.94	93.82	87.35	79.67	77.65
	%giderim	0	1.93	8	19.12	32.87	40.75	48.03	53.09	56.32	60.16	61.18
	q_t (mg/g)	0	3.22	13.33	31.86	54.78	67.93	80.05	88.48	93.88	100.28	101.96
400 mg/L	C_B(mg/L)	400	382.96	365.43	341.3	311.32	293.44	282.66	272.51	265.48	260.27	258.47
	%giderim	0	4.26	8.64	14.67	22.17	26.64	29.33	31.87	33.63	34.93	35.38
	q_t (mg/g)	0	14.20	28.81	48.92	73.90	88.80	97.78	106.24	112.10	116.44	117.94

Çizlge 8.12 Farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında inaktif kefir taneleri ile Remazol Ultra Red RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_K=1.2 g/L, T=25°C, pH=2, ÇH= 140 devir/dak)

Zaman (dak.)		0	10	20	40	80	120	180	240	300	360	420
50 mg/L	C_B(mg/L)	50	46.55	45.86	41.17	35.23	31.63	27.08	24.31	21.96	19.20	17.27
	%giderim	0	6.89	8.27	17.67	29.55	36.73	45.85	51.37	56.07	61.60	65.46
	q_t (mg/g)	0	2.88	3.45	7.36	12.31	15.31	19.10	21.41	23.37	25.67	27.28
100 mg/L	C_B(mg/L)	100	90.71	89.07	85.10	80.09	73.82	63.52	59.35	54.94	52.24	50.28
	%giderim	0	9.29	10.93	14.90	19.91	26.18	36.48	40.65	45.06	47.76	49.72
	q_t (mg/g)	0	7.74	9.11	12.42	16.59	21.82	30.40	33.88	37.55	39.80	41.44
200 mg/L	C_B(mg/L)	200	189.61	184.32	177.11	168.06	162.74	159.68	156.37	153.33	151.39	149.45
	%giderim	0	5.19	7.84	11.44	15.97	18.63	20.16	21.82	23.34	24.31	25.28
	q_t (mg/g)	0	8.65	13.07	19.07	26.62	31.05	33.60	36.36	38.89	40.51	42.13
400 mg/L	C_B(mg/L)	400	392.24	385.51	375.12	364.35	358.15	351.54	346.46	344.35	340.47	339.43
	%giderim	0	1.94	3.62	6.22	8.91	10.46	12.11	13.39	13.91	14.88	15.14
	q_t (mg/g)	0	6.47	12.08	20.73	29.71	34.88	40.38	44.62	46.38	49.61	50.47



Şekil 8.13 Farklı Başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi (C_K=1.2 g/L, T=25°C, pH=2, ÇH= 140 devir/dak)



Şekil 8.14 Farklı Başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi (C_K=1.2 g/L, T=25°C, pH=2, ÇH= 140 devir/dak)

Çizlge 8.13 Farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında aktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_K=1.2 g/L, T=25°C, pH=2, ÇH= 140 devir/dak)

Zaman (dak.)		0	10	20	40	80	120	180	240	300	360	420
50 mg/L	C_B(mg/L)	50	40.03	34.04	25.63	13.13	7.25	1.89	0.74	1.05	1.05	1.26
	%giderim	0	19.95	31.93	48.73	73.74	85.50	96.22	98.53	97.90	97.90	97.48
	q_t (mg/g)	0	8.31	13.30	20.31	30.73	35.63	40.09	41.05	40.79	40.79	40.62
75 mg/L	C_B(mg/L)	75	63.48	57.14	46.13	32.00	23.69	14.75	8.62	4.99	3.12	2.08
	%giderim	0	15.37	23.82	38.50	57.34	68.42	80.33	88.50	93.35	95.84	97.23
	q_t (mg/g)	0	9.60	14.88	24.06	35.83	42.76	50.21	55.32	58.34	59.90	60.77
100 mg/L	C_B(mg/L)	100	86.25	78.91	64.64	48.48	37.99	28.96	22.46	17.31	14.59	10.91
	%giderim	0	13.75	21.09	35.36	51.52	62.01	71.04	77.54	82.69	85.41	89.09
	q_t (mg/g)	0	11.46	17.58	29.47	42.93	51.68	59.20	64.62	68.91	71.18	74.24
200 mg/L	C_B(mg/L)	200	173.16	159.46	144.33	125.05	112.43	99.82	91.35	87.57	82.88	78.38
	%giderim	0	13.42	20.27	27.84	37.48	43.78	50.09	54.32	56.22	58.56	60.81
	q_t (mg/g)	0	22.37	33.78	46.39	62.46	72.98	83.48	90.54	93.69	97.60	101.35
400 mg/L	C_B(mg/L)	400	357.94	341.96	314.92	288.95	274.24	260.78	252.37	243.53	241.01	238.49
	%giderim	0	10.51	14.51	21.27	27.76	31.44	34.81	36.91	39.12	39.75	40.38
	q_t (mg/g)	0	35.05	48.37	70.90	92.54	104.80	116.02	123.03	130.39	132.49	134.59

Çizlge 8.14 Farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında inaktif kefir taneleri ile Remazol Navy RGB giderimi için zamana karşılık elde edilen boya konsantrasyonu, % boya giderimi ve kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitesi değerleri (C_K=1.2 g/L, T=25°C, pH=2, ÇH= 140 devir/dak)

Zaman (dak)		0	10	20	40	80	120	180	240	300	360	420
50 mg/L	C_B(mg/L)	50	43.15	40.49	34.30	28.99	24.12	19.03	16.15	12.83	9.51	7.97
	%giderim	0	13.70	19.01	31.40	42.03	51.76	61.94	67.69	74.33	80.97	84.07
	q_t(mg/g)	0	5.71	7.93	13.08	17.51	21.57	25.81	28.21	30.98	33.74	35.03
100 mg/L	C_B(mg/L)	100	91.35	87.55	79.11	71.09	66.45	58.44	51.26	48.31	43.67	41.56
	%giderim	0	8.65	12.45	20.89	28.91	33.55	41.56	48.74	51.69	56.33	58.44
	q_t(mg/g)	0	7.21	10.38	17.41	24.09	27.96	34.63	40.62	43.08	46.94	48.70
200 mg/L	C_B(mg/L)	200	190.05	184.70	174.64	164.37	160.95	151.96	146.61	145.32	141.04	136.76
	%giderim	0	4.97	7.65	12.68	17.81	19.53	24.02	26.70	27.34	29.48	31.62
	q_t(mg/g)	0	8.29	12.75	21.13	29.69	32.54	40.03	44.49	45.57	49.13	52.70
400 mg/L	C_B(mg/L)	400	382.00	376.48	370.14	359.13	354.19	344.38	339.67	338.03	333.13	331.70
	%giderim	0	4.50	5.88	7.46	10.22	11.45	13.91	15.08	15.49	16.72	17.08
	q_t(mg/g)	0	15.00	19.60	24.88	34.06	38.18	46.35	50.28	51.64	55.73	56.92

8.5 Kinetik Verilerin Modellenmesi

Çalışmanın bu bölümünde, sulu çözeltilerden Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddelerinin aktif ve inaktif kefir taneleri ile giderimine, çözelti başlangıç pH'ının, sıcaklığın, çalkalama hızının ve başlangıç boyar madde konsantrasyonunun etkisinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneyler sonucunda zamana karşı elde edilen adsorpsiyon kapasitesi değerleri analiz edilmiş (Bölüm 8.1-8.4, Çizelge 8.1-8.14) ve adsorpsiyon kinetiğinin literatürde sıklıkla kullanılan; yalancı birinci mertebe (Eşitlik 5.16), yalancı ikinci mertebe (Eşitlik 5.19), Elovich (Eşitlik 5.28) ve partikül içi difüzyon (Eşitlik 5.20) kinetik modellerine uygunluğu incelenmiştir. Gerçekleştirilen modelleme çalışmaları sonucunda deneysel verilerin yalancı birinci mertebe, yalancı ikinci mertebe ve Elovich kinetik modellerine yüksek oranda uyumluluk gösterdiği görülmüştür. Ancak farklı şartlarda gerçekleştirilmiş olan tüm deneyler için elde edilen model verileri bir bütün olarak değerlendirildiğinde, yalancı birinci mertebe kinetik modelin deneysel verilere diğer modellerden daha yüksek oranda uyumluluk gösterdiği ve Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddelerinin aktif ve inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyon kinetiğinin (inaktif kefir taneleri ile pH 6 ve pH 8 değerlerinde gerçekleştirilen deneyler dışında) yalancı birinci mertebe kinetik model ile ifade edilebileceği belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, yalancı birinci mertebe kinetik modeli için elde edilen model sabitleri (hız sabiti, k_1 ve denge adsorban kapasitesi, qe) ve istatistiksel veriler (standart sapma ve korelasyon katsayısı) Çizelge 8.15-8.18'de sunulmuş ve model denklemin deneysel verilere uygunluğu Şekil 8.15-8.18'de gösterilmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan diğer modeler için elde edilen model sabitleri ve istatistiksel veriler EK-A'da verilmiştir.

Çizelge 8.15 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 1. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**k_1**	**q_e**	**s**	**r**
pH2	0.0278	38.8142	0.6103	0.9991
pH2.5	0.0160	39.4914	0.7714	0.9983
pH3	0.0451	16.2863	0.7219	0.9922
pH3.5	0.0582	11.5665	0.4111	0.9952
pH4	0.0572	10.1480	0.4389	0.9931
pH5	0.0837	8.0303	0.7733	0.9636
pH6	0.0791	6.9042	0.4726	0.9822
pH7	0.0930	8.0998	0.5133	0.9831
pH8	0.0985	7.0409	0.5911	0.9721
Sıcaklık				
18˚C	0.0480	16.7176	1.0907	0.9817
25˚C	0.0451	16.2863	0.7219	0.9922
32˚C	0.0349	17.9394	0.9868	0.9881
39˚C	0.0248	35.0998	0.8767	0.9975
Çalkalama Hızı				
Sabit	0.0109	28.5397	0.6272	0.9972
140 rpm	0.0248	35.0998	0.8767	0.9975
300 rpm	0.0324	33.6686	1.5336	0.9914
Boyar Madde Konsantrasyonu				
50 mg/L	0.0150	41.1104	0.7142	0.9989
75 mg/L	0.0123	58.7745	2.1673	0.9946
100 mg/L	0.0107	73.2763	2.0776	0.9968
200 mg/L	0.0087	102.5532	2.8604	0.9972
400 mg/L	0.0139	112.0718	3.7050	0.9959

Çizelge 8.16 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 1. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**k_1**	**q_e**	**s**	**r**
pH2	0.0255	22.0101	1.6451	0.9755
pH2.5	0.0158	15.5340	0.9412	0.9823
pH3	0.0221	13.3992	1.3421	0.9523
pH4	0.0460	2.5225	0.3182	0.9294
pH6	0.0164	1.2753	0.3335	0.7282
pH8	4.5115	1.2512	0.2304	0.8438
Sıcaklık				
18˚C	0.0184	13.7192	0.5931	0.9918
25˚C	0.0221	13.3992	1.3421	0.9523
32˚C	0.0168	14.9309	0.4582	0.9959
39˚C	0.0197	13.419	0.6161	0.9909
Boyar Madde Konsantrasyonu				
50 mg/L	0.0067	27.5613	0.8422	0.9956
100 mg/L	0.0070	42.6695	2.6318	0.9803
200 mg/L	0.0162	37.6958	2.5418	0.9812
400 mg/L	0.0121	47.9769	1.7366	0.9949

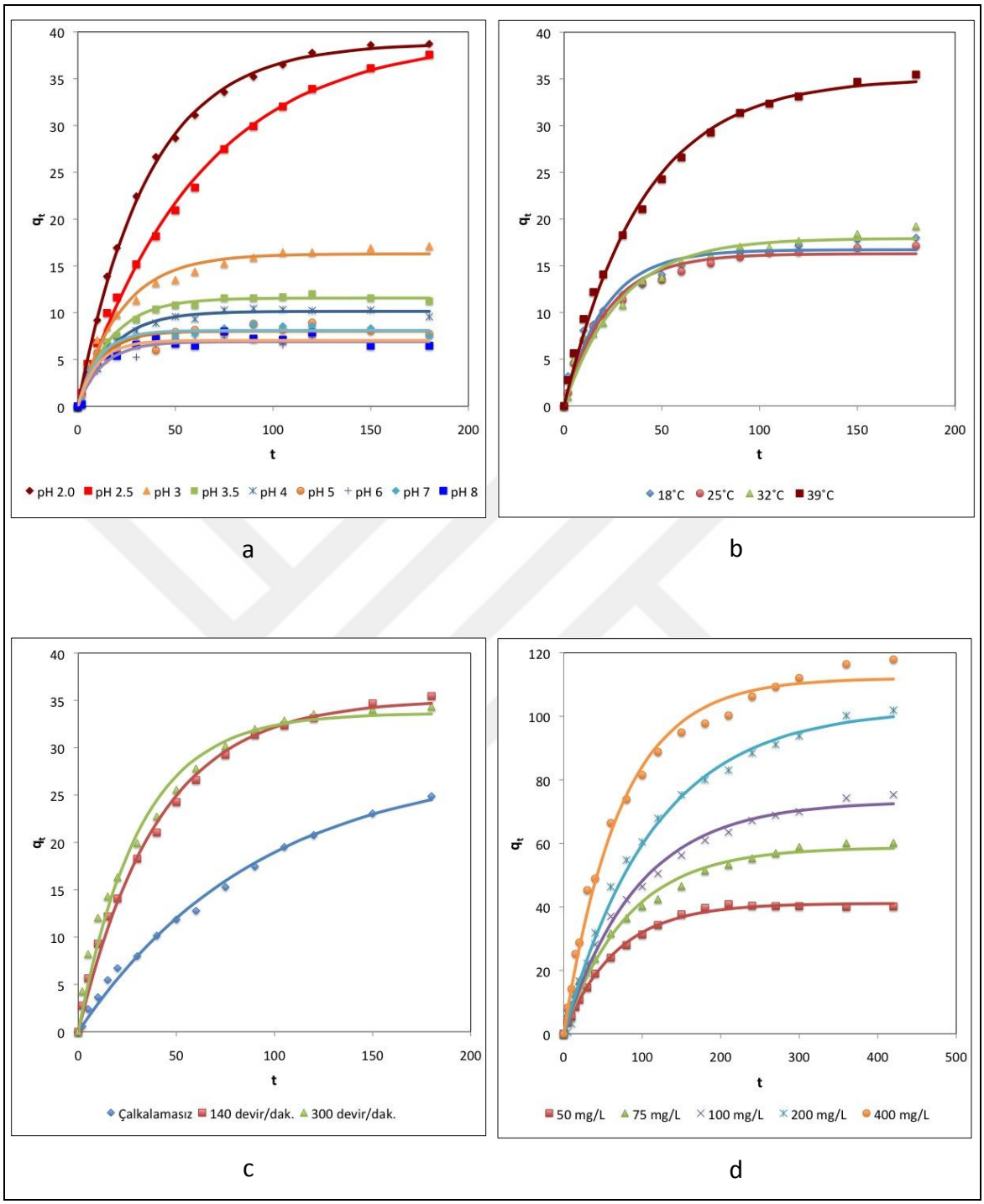
Çizelge 8.17 Remazol Navy RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 1. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**k_1**	**q_e**	**s**	**r**
pH2	0.0263	39.9367	0.8725	0.9981
pH2.5	0.0143	29.9950	1.0343	0.9942
pH3	0.0250	16.2170	1.1072	0.9810
pH3.5	0.0378	11.5656	0.8520	0.9778
pH4	0.0378	11.0054	0.7914	0.9793
pH5	0.0435	8.0923	0.4562	0.9874
pH6	0.0396	6.8282	0.3660	0.9886
pH7	0.0497	6.4849	0.3555	0.9891
pH8	0.0598	4.8527	0.3431	0.9809
Sıcaklık				
18˚C	0.0363	15.5204	1.0143	0.9826
25˚C	0.0250	16.2170	1.1072	0.9810
32˚C	0.0293	16.1751	1.1348	0.9796
39˚C	0.0241	27.7381	1.0280	0.9946
Çalkalama Hızı				
Sabit	0.0122	16.7519	0.9708	0.9808
140 rpm	0.0241	27.7381	1.0280	0.9946
300 rpm	0.0257	26.5153	1.9565	0.9762
Boyar Madde Konsantrasyonu				
50 mg/L	0.0181	40.9876	1.1384	0.9969
75 mg/L	0.0122	58.9286	2.0451	0.9952
100 mg/L	0.0124	69.7073	3.0545	0.9922
200 mg/L	0.0162	92.7633	6.1896	0.9809
400 mg/L	0.0214	123.4172	8.5246	0.9792

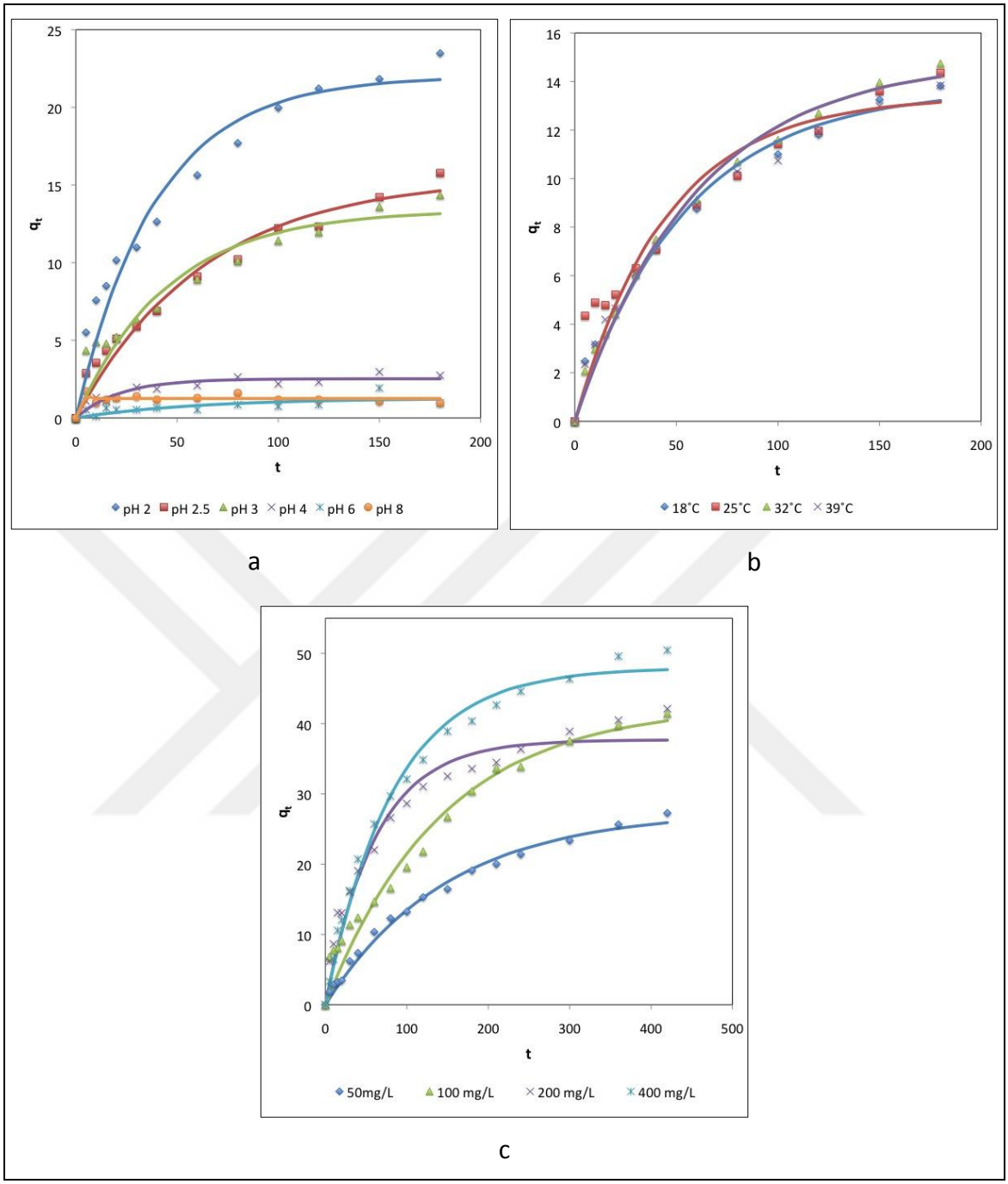
Çizelge 8.18 Remazol Navy RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 1. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**k_1**	**q_e**	**s**	**r**
pH2	0.0266	31.2520	1.7494	0.9869
pH2.5	0.0119	22.3188	0.8509	0.9923
pH3	0.0186	17.2250	0.9280	0.9873
pH4	0.0956	3.9932	0.4647	0.9307
pH6	0.5485	1.1714	0.2371	0.8187
pH8	0.1146	0.0550	0.2028	0.6590
Sıcaklık				
18˚C	0.0260	15.3778	0.8574	0.9869
25˚C	0.0186	17.2250	0.9280	0.9873
32˚C	0.0265	16.1644	0.7997	0.9899
39˚C	0.0297	14.8776	0.9772	0.9817
Boyar Madde konsantrasyonu				
50 mg/L	0.0099	32.8742	2.0170	0.9832
100 mg/L	0.0090	46.6072	2.7159	0.9846
200 mg/L	0.0112	48.3197	3.3129	0.9794
400 mg/L	0.0123	52.4215	4.5461	0.9656

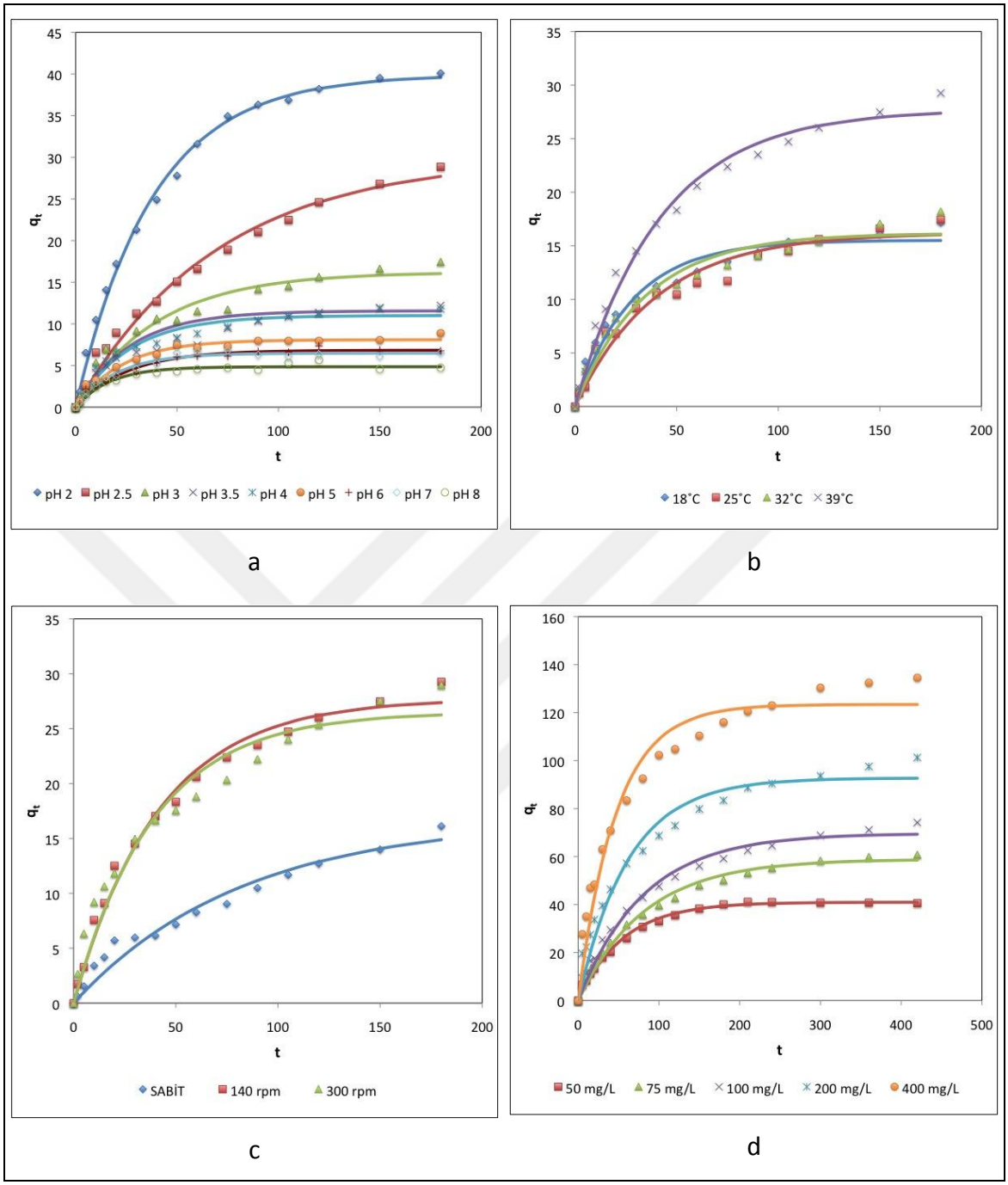
Yalancı birinci mertebe kinetik modeli için elde edilen istatistiksel veriler incelendiğinde, aktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneyleri sonucunda elde edilen tüm kinetik verilerin her iki boyar madde için de 1. mertebe kinetik modele yüksek uygunluk göstertiği görülmektedir. Ancak farklı pH değerlerinde inaktif kefir taneleri ile gerçekleşirilen deneyler sonucunda elde edilen deneysel verilerin kinetik modele uygunluğ pH 3 değerinden sonra zayıfladığı (Çizelge 8.16 ve Çielge 8.18) ve pH 6 ve pH 8 değerinde elde edilen verilerin 1. mertebe kinetik modeline uymadığı görülmektedir. Bu ayrılmanın sebebi alkali ortamda inaktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyonun neredeyse tamamamen durmasıdır (Bkz. Çizelge 8.2 ve 8.4, pH 8 değerinde Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB için elde edilen % giderim değerleri sırasıyla %2.32 ve %1.01'dir).



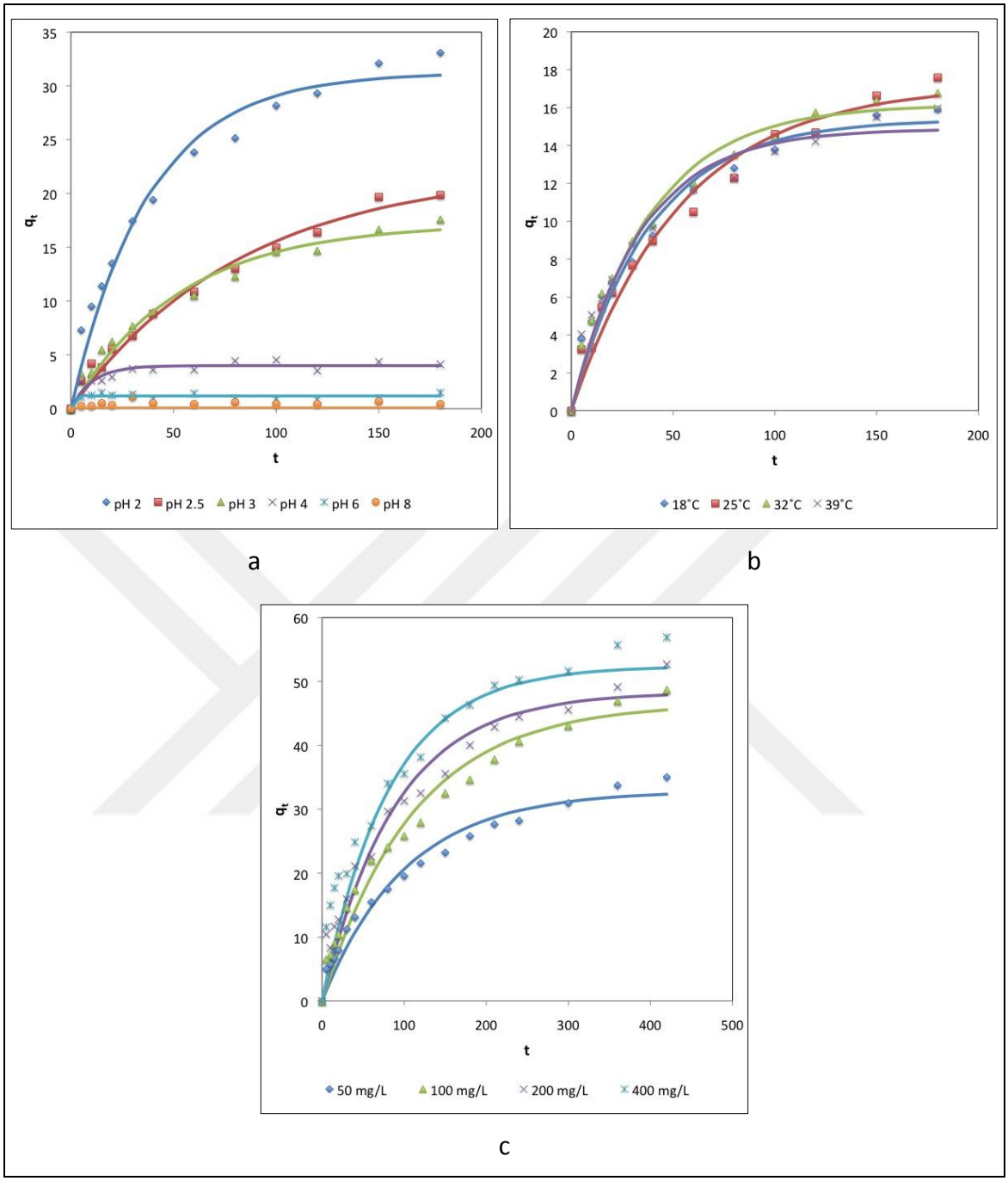
Şekil 8.15 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile (a) farklı pH değerlerinde, (b) farklı sıcaklıklarda, (c) farklı çalkalama hızlarında, (d) faklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında adsorpsiyonu için yalancı 1. mertebe kinetik modelin deneysel verilere uygunluğu (noktalar deneysel verileri, çizgiler model verilerini ifade etmektedir)



Şekil 8.16 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile (a) farklı pH değerlerinde, (b) farklı sıcaklıklarda, (c) faklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, adsorpsiyonu için yalancı 1. mertebe kinetik modelin deneysel verilere uygunluğu (noktalar deneysel verileri, çizgiler model verilerini ifade etmektedir)



Şekil 8.17 Remazol Navy RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile (a) farklı pH değerlerinde, (b) farklı sıcaklıklarda, (c) farklı çalkalama hızlarında, (d) faklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, adsorpsiyonu için yalancı 1. mertebe kinetik modelin deneysel verilere uygunluğu (noktalar deneysel verileri, çizgiler model verilerini ifade etmektedir)



Şekil 8.18 Remazol Navy RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile (a) farklı pH değerlerinde, (b) farklı sıcaklıklarda, (c) faklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında, adsorpsiyonu için yalancı 1. mertebe kinetik modelin deneysel verilere uygunluğu (noktalar deneysel verileri, çizgiler model verilerini ifade etmektedir)

8.6 Adsorpsiyon İzotermi

Bu bölümde, farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında aktif ve inaktif kefir taneleri kullanılarak gerçekleştirilen Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar madde adsorpsiyonu için elde edilen denge verilerinin Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygunluğu araştırılmıştır. Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB'nin sulu çözeltilerden aktif ve inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonunda elde edilen deneysel ve teorik denge verileri sırasıyla Çizelge 8.19-8.21 ve Çizelge 8.20-8.22'de sunulmuştur. Çizelge 8.19-8.22 incelendiğinde, 1. mertebe kinetik modele göre hesaplanan teorik denge adsorpsiyon kapasitesi değerleri ile deneysel denge adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin yüksek oranda örtüştüğü görülmektedir.

Deneysel denge verileri kullanılarak gerçekleştirilen modelleme çalışmaları sonucunda izoterm modelleri için elde edilen denklem katsayıları ve istatistik değerler Çizelge 8.23'de verilmiştir. Çizelge 8.23 incelendiğinde Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerinin hepsi için elde edilen korelasyon katsayılarının yüksek olduğu görülmektedir. Ancak elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonun Temkin izoterm modeline ve inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeline diğer modellerden daha yüksek oranda uyumluluk gösterdiği açıktır. Aktif ve inaktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen boyar madde adsorpsiyonu için elde edilen denge verilerinin ilgili izoterm modellerine uygunluğu grafiksel olarak Şekil 8.19-8.22'de ayrıca gösterilmiştir.

Aktif kefir taneleri ile yapılan adsorpsiyonun Temkin izoterm modeline uygun olması aktif partiküllerin eşit enerji dağılımlı bağlanma bölgelerine sahip olmadığını, inaktif kefir taneleri ile yapılan adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeliyle ifade edilmesi ise inaktif partiküllerde tek katmanlı homojen boyar madde adsorpsiyonunun gerçekleştiğini göstermiştir. Bu durum, Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB'nin aktif ve inaktif kefirlere adsorpsiyonunun sıcaklıktan (Bölüm 8.2) farklı şekilde etkilenmelerini de açıklamaktadır.

Çizelge 8.19 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin sulu çözeltilerden aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen deneysel ve teorik denge verileri

Başlangıç boyar madde konsantrasyonu	**Deneysel**		**Teorik**
	C_e mg/L	**q_e mg/g**	**q_e mg/g**
50 mg/L	1.86	40.12	41.11
75 mg/L	2.79	60.18	58.77
100 mg/L	9.55	75.38	73.28
200 mg/L	77.65	101.96	102.55
400 mg/L	258.47	117.94	112.07

Çizelge 8.20 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin sulu çözeltilerden inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen deneysel ve teorik denge verileri

Başlangıç boyar madde konsantrasyonu	**Deneysel**		**Teorik**
	C_e mg/L	**q_e mg/g**	**q_e mg/g**
50 mg/L	17.27	27.28	27.56
100 mg/L	50.28	41.44	42.67
200 mg/L	149.45	42.13	37.70
400 mg/L	339.43	50.47	47.98

Çizelge 8.21 Remazol Navy RGB boyar maddesinin sulu çözeltilerden aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen deneysel ve teorik denge verileri

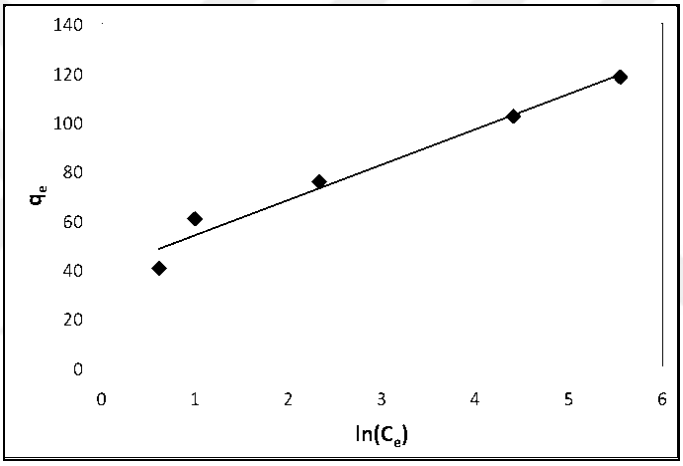
Başlangıç boyar madde konsantrasyonu	**Deneysel**		**Teorik**
	C_e mg/L	**q_e mg/g**	**q_e mg/g**
50 mg/L	1.26	40.62	40.99
75 mg/L	2.08	60.77	58.93
100 mg/L	10.91	74.24	69.71
200 mg/L	78.38	101.35	92.76
400 mg/L	238.49	134.59	123.42

Çizelge 8.22 Remazol Navy RGB boyar maddesinin sulu çözeltilerden inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen deneysel ve teorik denge verileri

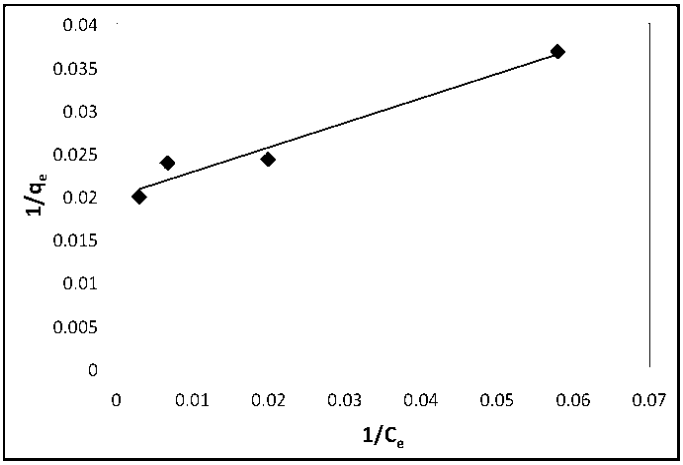
Başlangıç boyar madde konsantrasyonu	**Deneysel**		**Teorik**
	C_e mg/L	**q_e mg/g**	**q_e mg/g**
50 mg/L	7.97	35.03	32.87
100 mg/L	41.56	48.70	46.61
200 mg/L	136.76	52.70	48.32
400 mg/L	331.70	56.92	52.42

Çizelge 8.23 Modelleme çalışmaları sonucunda izoterm modelleri için elde edilen denklem katsayıları ve istatistik değerler

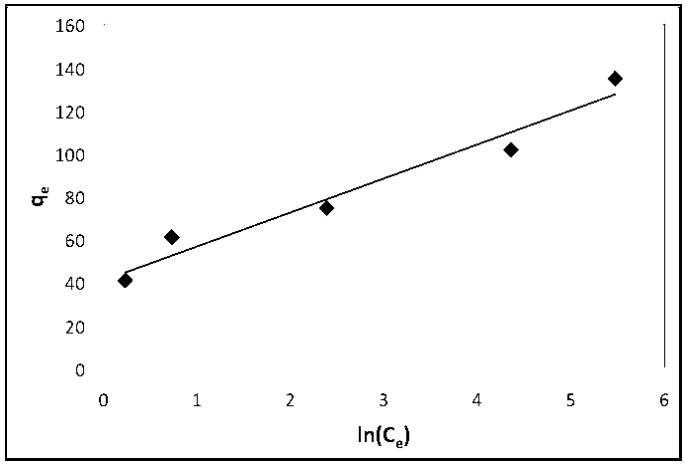
Model		**Remazol Ultra Red RGB**		**Remazol Navy RGB**	
		Aktif Kefir	İnaktif Kefir	Aktif Kefir	İnaktif Kefir
Langmuir	K_L	0.3321	0.0698	0.5054	0.2128
	q_m	109.8901	50.2513	107.5269	55.5556
	r	0.9716	0.9789	0.9615	0.9941
Freundlich	K_F	42.3302	17.3397	44.9657	28.0167
	n	5.0352	5.3648	5.0531	7.8064
	r	0.9575	0.9278	0.9703	0.9676
Temkin	K_T	15.1139	3.9193	12.9721	$5.83x10^{-11}$
	B	14.3960	6.9941	15.8280	0.1667
	b_T	172.1014	354.2374	156.5310	$148.62x10^{2}$
	r	0.9852	0.9426	0.9785	0.9803



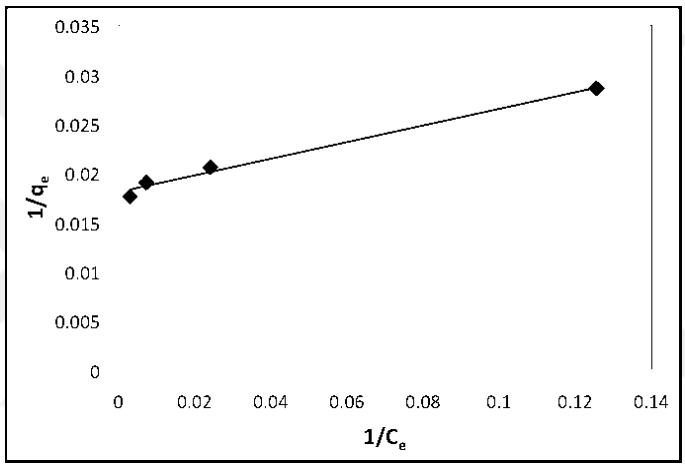
Şekil 8.19 Remazol Ultra Red RGB'nin aktif kefir tanelerine adsorpsiyonunda Temkin İzotermi grafiği



Şekil 8.20 Remazol Ultra Red RGB'nin inaktif kefir tanelerine adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi grafiği



Şekil 8.21 Remazol Navy RGB'nin aktif kefir tanelerine adsorpsiyonunda Temkin İzotermi grafiği



Şekil 8.22 Remazol Navy RGB'nin aktif kefir tanelerine adsorpsiyonunda Langmuir İzotermi grafiği

BÖLÜM 9

SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel atıksuların içerdiği toksikolojik maddelerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve bu konulada son yıllarda artan toplum bilinci araştırmacıların bu alandaki çalışmalarını artırmıştır. Boyar maddeler, endüstriyel atık suların içeriğinde rastlanan pek çok toksik maddeden biridir. Boyar madde içeren atık sular salındıkları yüzey sularında, kimyasal kirliliğin yanında degradasyona karşı dirençleri ve güçlü renklendirme özellikleri sebebi ile görsel kirliliğe de sebep olmaktadırlar.

Bu çalışmada, Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddelerinin biyosorpsiyon ile sulu çözeltilerden giderimi araştırılmıştır. Biosorban olarak aktif ve inaktive edilmiş kefir taneleri kullanılmıştır. Boyar madde giderimine pH (2-8), sıcaklık (18-39˚C), çalkalama hızı (0-140 devir/dak.) ve boyar madde konsantrasyonunun (50-400 mg/L) etkisini incelemek amacıyla biyosorpsiyon deneyleri kesikli sistemde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

1) Boyar madde giderimine başlangıç pH'ının etkisi incelendiğinde, aktif ve inaktif kefir taneleri kullanılarak gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinde her iki boyar madde için, % boyar madde gideriminin azalan pH değeri ile arttığı ve bu artışın özellikle pH 3 değerinden sonra önem kazandığı görülmüştür. Aktif ve inaktif kefir taneleri ile 180 dakikalık adsorpsiyon işlemi sonucunda, maksimum giderim verimi Remazol Ultra Red RGB boyar maddesi için %92.94 ve %56.36, Remazol Navy RGB boyar maddesi için %96.25 ve %79.39 olarak pH 2 değerinde elde edilmiştir. Bu nedenle pH 2 değeri adsorpsiyon için optimum pH değeri olarak seçilmiştir.

2) Boyar madde giderimine sıcaklığın etkisi incelendiğinde, aktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen deneylerde 18-32°C sıcaklık aralığında, boyar madde gideriminde sıcaklık artışına bağlı önemli bir değişim gözlemlenmezken sıcaklığın 32°C'den 39°C'ye yükseltilmesi ile giderim Remazol Ultra Red RGB boyar maddesi için yaklaşık olarak % 94 oranında, Remazol Navy RGB boyar maddesi için yaklaşık olarak % 67 oranında artış göstermiştir. İnaktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen deneylerde sıcaklık 39°C'ye artırıldığında her iki boyar madde için de giderim değerlerinde benzer bir artış gözlemlenmediğinden bu durumun kefirin canlı mikroflorasından kaynaklandığı ve sıcaklık artışı ile kefir bakterileri ya da mayalarının hücre içi ve/veya dışı faliyetlerinde meydana gelen değişikliklerin boyar madde giderimine katkı sağlamış olabileceği söylenebilir.

3) Boyar madde giderimine çalkalama hızının etkisi incelendiğinde, çalkalama kullanıldığında, her iki boyar madde için de adsorpsiyonun daha hızlı gerçekleştiği ancak artan çalkalama hızının adsorpsiyon hızını daha fazla artırmadığı belirlenmiştir.

4) Boyar madde giderimine boyar madde konsantrasyonunun etkisi incelendiğinde, aktif ve inaktif kefir tanelerinin adsorpsiyon kapasitelerinin artan boyar madde ile arttığı, fakat adsorpsiyon hızı ve giderim verimlerinin ise artan boyar madde konsantrasyonu ile azaldığı belirlenmiştir. Aktif ve inaktif kefir taneleri için maksimum kapasite değerleri Remazol Ultra Red RGB giderimi için 117.94 mg/g ve 50.47 mg/g olarak, Remazol Navy RGB giderimi için 134.59 mg/g ve 56.92 mg/g olarak belirlenmiştir.

5) Farklı şartlarda gerçekleştirilen deneylerde aktif ve inaktif kefir tanelerinin verimi karşılaştırıldığında her iki boyar madde için aktif kefir tanelerinin veriminin inaktif kefir tanelerine göre çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

6) Sulu çözeltilerden Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddelerinin aktif ve inaktif kefir taneleri ile giderimi için farklı proses şartlarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen kinetik veriler analiz edilerek modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiş ve Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar maddelerinin aktif ve inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyon kinetiğinin yalancı birinci derece kinetik modeli ile ifade edilebileceği belirlenmiştir.

7) Farklı başlangıç boyar madde konsantrasyonlarında aktif ve inaktif kefir taneleri kullanılarak gerçekleştirilen Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar madde adsorpsiyonu için elde edilen denge verilerinin Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygunluğu araştırılmıştır. Her iki boyar maddenin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonun Temkin izoterm modeli ve inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeli ile ifade edilebileceği saptanmıştır.

Sonuç olarak; boyar madde gideriminde adsorban olarak kefir biyokütlesi ilk defa bu çalışmada kullanılmış ve elde edilen sonuçlar kefir biyokütlesinin boya gideriminde oldukça etkili olduğunu ve adsorban olarak kullanılabileceğini gösterilmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda, Remazol Ultra Red RGB ve Remazol Navy RGB reaktif boyar madde adsorpsiyonunu için uygun proses şartları 25˚C sıcaklık, 140 devir/dak. çalkalama hızı ve pH 2 olarak belirlenmiştir. Belirlenen optiumum proses şarlarında aktif ve inaktif kefir taneleri ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneyleri sonucunda maksimum renk giderimi Remazol Ultra Red RGB için %96.28 ve %65.46, Remazol Navy RGB için %97.48 ve %84.07 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürde farklı biyosorbanlarla gerçekleştirilmiş olan benzer çalışmalarda sunulan sonuçlarla karşılaştırılması EK-B'de ayrıca verilmiştir.

Kullanım sonrasında aktif kefir tanelerinin inaktive olmadıkları ve büyümeye devam ettikleri gözlenmiştir. Bu çalışmanın devamı niteliğinde yapılabilecek olan araştırmalarda kullanılan aktif kefir tanelerinin inkübe edilerek tekrar kullanılabilirliği, farklı boyar madde ve toksik bileşenlerin adsorpsiyonu için biyosorban olarak kullanımı, ayrıca zararlı bileşenler için degradasyon sağlayıp sağlamadığı incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Christie, R., (2007). Environmental Aspects of Textile Dyeing, First Edition, Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

[2] Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D. ve Savelli, H, (2010). Sick Water? The central role of waste- water management in sustainable development: A Rapid Re- sponse Assessment, http://www.grida.no/publications/218, 12 Eylül 2018.

[3] Mona, S., Kaushik, A. ve Kaushik, C.P., (2011). "Biosorption of reactive dye by waste biomass of *Nostoc linckia*", Ecological Engineering, 37:1589–1594.

[4] Drumond Chequer, F.M., Rodrigues de Oliveira, G.A., Anastácio Ferraz, E.R., Carvalho Cardoso, J., Boldrin Zanoni, M.V. ve Palma de Oliveira, D., (2013). "Textile Dyes: Dyeing Process and Environmental Impact", Intech Open, 151-176; Derleyen: Günay, M., (2013). Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing, Intech Open Limited, London.

[5] WBG, (1999). Pollution Prevention and Abatement Handbook 1998 Toward Cleaner Production, Yayın No: 19128, Danver.

[6] O'Mahony, T., Guibal, E. ve Tobin, J.M., (2002). "Reactive dye biosorption by *Rhizopus arrhizus* biomass", Enzyme and Microbial Technology, 31:456–463.

[7] Carr, C., (1995). Chemistry of the Textile Industry, First Edition, Chapman and Hall GmbH, Glasgow.

[8] Lacasse, K. ve Baumann, W., (2005). Textile Chemicals, First Edition, Springer, Berlin.

[9] Puvaneswari, N,, Muthukrishnan, J, ve Gunasekaran, P., (2006). "Toxicity assessment and microbial degradation of azo dyes.", Indian Journal of Experimental Biology, 44: 618-26.

[10] Hatch, K.L., (2003). "Textile Dyes as Allergic Contact Allergens", Arizona, 139-155; Derleyen: Elsner, P., Hatch, K., Wigger-Alberti, W., Textile Dyes and the Skin, (2003). Textiles and the Skin, Karger, Basel.

[11] Mane, V.S., Vijay-Babu, P.V., (2013). "Kinetic and equilibrium studies on the removal of Congo red from aqueous solution using Eucalyptus wood (*Eucalyptus globulus*) saw dust", Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 44: 81-88.

[12] Özacar, M. ve Şengil, A., (2005). “Adsorption of metal complex dyes from aqueous solutions by pine sawdust”, Bioresource Technology, 96: 791-795.

[13] Amela, K., Hassen, M.A. ve Kerroum, D., (2012). “Isotherm and Kinetics Study of Biosorption of Cationic Dye onto Banana Peel”, Energy Procedia,19: 286-295.

[14] Fernandez, M.E., Nunell, G.V., Bonelli, P.R. ve Cukierman, A.L., (2014). “Activated carbon developed from orange peels: Batch and dynamic competitive adsorption of basic dyes”, Industrial Crops and Products, 62: 437-445.

[15] Aguayo-Villarreal, I.A., Ramírez-Montoya, L.A., Hernández-Montoya, V., Bonilla-Petriciolet, A., Montes-Morán, M.A. ve Ramírez-López, E.M., (2013). “Sorption mechanism of anionic dyes on pecan nut shells (*Carya illinoinensis)* using batch and continuous systems”, Industrial Crops and Products, 48: 89-97.

[16] Zhang, Z., O’Hara, I.M., Kent, G.A. ve Doherty, W.O.S., (2013). “Comparative study on adsorption of two cationic dyes by milled sugarcane bagasse”, Industrial Crops and Products, 42: 41-49.

[17] Başer, İ. ve İnanıcı, Y., (1990). Boyar Madde Kimyası, Yayın No: 482, Marmara Üniersitesi Yayınları, İstanbul.

[18] Coman, V., ve Copaciu, F. (2015). “Analysis of Dyes and Inks”, 20: 555-588; Derleyen: Poole, C.F., (2015). Instrumental Thin-Layer Chromatography, Elsevier, Amsterdam.

[19] Clark, M., (2011). “Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes Volume 1”, Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

[20] Cain, J.C. ve Thorpe, J.F., (1905). “The synthetic dyestuffs : and the intermediate products from which they are derived”, First Edition, Charles Griffin and Company Limited, London.

[21] Morris, P.J.T. ve Travis, A.S., (1992). "A History of the International Dyestuff Industry", American Dyestuff Reporter, 81: 11.

[22] Maccoll, A., (1947). “Colour and constitution”, Colour Chemistry, 1: 16-58.

[23] Baer, D.R., (1971). “Cationic Dyes For Synthetic Fibers”, 161-210; Derleyen: Venkatamaran, K., The Chemistry of Synthetic Dyes, Academic Press, New York.

[24] Fort, M. ve Lloyd, L.L., (1919). Chemistry Of Dyestuffs A Manual For Students Of Chemistry And Dyeing, First Edition, Cambridge University Press, Cambridge.

[25] Burkinshaw, S.M., (1995). Chemical Principles of Synthetic Fibre Dyeing, First Edition, Chapman and Hall, Glasgow.

[26] Hunger, K., (2003). Industrial Dyes Chemistry Properties Applications, First Edition, Wiley-VCH, Darmstadt.

[27] Satam, M.A., Raut, R.K. ve Sekar, N., (2013). "Fluorescent azo disperse dyes from 3-(1,3-benzothiazol-2-yl) naphthalen-2-ol and comparison with 2-naphthol analogs", Dyes and Pigments, 96: 192-103.

[28] Husain, K. ve Husain, M., (2011). "Peroxidases as a Potential Tool for the Decolorization and Removal of Synthetic Dyes from Polluted Water", 453-498; Derleyenler: Malik, A. ve Grohmann, E., (2012). Environmental Protection Strategies for Sustainable Development, Springer, Dordrecht.

[29] Kent, J.A., (2012). Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology, 12th edition, Springer US, New York.

[30] Murugesan, K. ve Kalaichelvan, P.T. (2003). "Synthetic Dye Decolorization by White Rot Fungi", Indian Journal of Experimental Biology, 41: 1076-1087.

[31] Lens, P., (2005). Reviews in Environmental Science and Bio/Technology Volume 4, Springer, Dordrecht.

[32] Anjaneyulu, Y., Chary, N.S. ve Raj, D.S.S., (2005). "Decolourization of Industrial Effluents – Available Methods and Emerging Technologies – A Review", Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 4: 245–273.

[33] GRID Arendal, Ratio of Wastewater Treatment, http://www.grida.no/search?query=ratio+of+wastewater+treatment, 12 Eylül 2018.

[34] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2013). Boyar madde İçeren Atıksu Arıtma Tesislerinin İşletilmesine Yönelik El Kitabı, 109G083 No'lu TÜBİTAK KAMAG Projesi, Ankara.

[35] Moore, S.B. ve Ausley, L.W., (2004). "Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, technologies and benefits", Journal of Cleaner Production, 12: 585-601.

[36] Adanur, S., (1995). Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles, First Edition, Technomic Publishing Company, Lancaster.

[37] Kamel, M.M., El-Shishtawy, R.M., Yussef, B.M. ve Mashaly, H., (2005). "Ultrasonic assisted dyeing: III. Dyeing of wool with lac as a natural dye", Dyes and Pigments, 65: 103-110.

[38] Vajnhandl, S. ve Le Marechal, A.M., (2005). "Ultrasound in textile dyeing and the decolouration/mineralization of textile dyes" Dyes and Pigments, 65: 89-101.

[39] Van der Kraan, M., Fernandez Cid, M.V., Woerlee, G.F., Veugelers, W.J.T. ve Witkamp, G.J., (2007). "Dyeing of natural and synthetic textiles in supercritical carbon dioxide with disperse reactive dyes", The Journal of Supercritical Fluids, 40: 470-476.

[40] Güzel, B. ve Akgerman, A., (2000). "Mordant dyeing of wool by supercritical processing", The Journal of Supercritical Fluids, 18: 247-252.

[41] De Giorgi, M.R., Cadoni, E., Maricca, D. ve Piras, A., (2000). "Dyeing polyester fibres with disperse dyes in supercritical CO_2", Dyes and Pigments, 45: 75-79.

[42] Banchero, M. ve Ferri, A., (2005). “Simulation of aqueous and supercritical fluid dyeing of a spool of yarn”, The Journal of Supercritical Fluids, 35: 157-166.

[43] Long, J.J., Xu, H.M., Cui, C.L., Wei, X.C., Chen, F. ve Cheng A.K., “A novel plant for fabric rope dyeing in supercritical carbon dioxide and its cleaner production”, Journal of Cleaner Production, 65: 574-582.

[44] Schrank, S.G, Jose, H.J, Moreira, R.F.P.M. ve Schroder, H.Fr., (2005). “Applicability of Fenton and H2O2/UV reactions in the treatment of tannery wastewaters“, Chemosphere, 60: 644–655.

[45] Knapp, J.S., Newby, P.S. ve Reece, L.P., (1995). “Decolorization of dyes by wood-rotting basidiomycete fungi”, Enzyme Microbiol. Technol., 17: 664-668.

[46] Yıldız Töre, G, Kuru, N., Ubay Çokgör, E. ve Orhon, D, (2004). “Çorlu Deri Organize Sanayi Bölgesi Üretim Profili ve Atıksularının Biyolojik Arıtılabilirlik Esaslı Karakterizasyonu”, SKKD, 14: 16-22.

[47] Satyawali, Y. ve Balakrishnan, M., (2008). “Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: A review”, Journal of Environmental Management, 86: 481-497.

[48] Zhou, Y., Liang, Z. ve Wang, Y., (2008). “Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate”, Desalination, 225: 301–311.

[49] Lee, H. ve Shoda, M., (2008). “Removal of COD and color from livestock wastewater by the Fenton method”, Journal of Hazardous Materials, 153: 1314–1319.

[50] Brennan, T.P., (1978). Recovery and reuse of paint solids from waste water, Drew Chemical Corp, Patent No: US4096061A.

[51] Körbahti, B.K. ve Tanyolaç, A., (2009). “Electrochemical treatment of simulated industrial paint wastewater in a continuous tubular reactor”, Chemical Engineering Journal, 148: 444-451.

[52] Chen, C., Yu, J., Yoza, B.A., Li, Q.X. ve Wang, G., (2015). “A novel “wastes-treat-wastes” technology: Role and potential of spent fluid catalytic cracking catalyst assisted ozonation of petrochemical wastewater”, Journal of Environmental Management, 152: 58-65.

[53] Davarnejad, R., Mohammadi, M. ve Ismail, A.F., (2014). “Petrochemical wastewater treatment by electro-Fenton process using aluminum and iron electrodes: Statistical comparison”, Journal of Water Process Engineering, 3: 18-25.

[54] Siddique, N.I., Abdul Munaim, M.S. ve Zularisam, A.W., (2015). “Feasibility analysis of anaerobic co-digestion of activated manure and petrochemical wastewater in Kuantan (Malaysia)”, Journal of Cleaner Production, 106: 380-388.

[55] Sponza, D.T. ve Öztekin, R., (2011). “Removals of some hydrophobic poly aromatic hydrocarbons (PAHs) and *Daphnia magna* acute toxicity in a

petrochemical industry wastewater with ultrasound in Izmir-Turkey", Separation and Purification Technology, 77: 301-311.

[56] Robinson, T., McMullan, G., Marchant, G. ve Nigam, P., (2001). "Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative", Bioresource Technology, 77: 247-255.

[57] Singh, K. ve Arora, S., (2011). "Removal of Synthetic Textile Dyes From Wastewaters: A Critical Review on Present Treatment Technologies", Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 41: 807-878.

[58] Joshi, M., ve Purwar, R. (2004). "Developments in new processes for colour removal from effluent", Rev. Prog. Color., 34: 58–71.

[59] Crini, G., (2006). "Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review", Bioresource Technology, 97: 1061-1085.

[60] Worch, E., (2012). Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling, First Edition, De Gruyter GmbH, Berlin.

[61] Noll, K.E., Gounaris, V. ve Hou, W.S., (1991). Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control, First Edition, CRC Press, Boca Raton.

[62] Allen, S. ve Koumanova, B., (2005). "Decolourisation of water/wastewater using adsorption", J UnivChemTechnolMetall, 40: 175–92.

[63] Bali, U. ve Karagözoğlu, B., (2007). "Performance comparison of Fenton process, ferric coagulation and H2O2/pyridine/Cu(II) system for decolorization of Remazol Turquoise Blue G-133", Dyes and Pigments, 74: 73-80.

[64] Kim, S.Y., An, J.Y. ve Kim, B.W., (2008). "The effects of reductant and carbon source on the microbial decolorization of azo dyes in an anaerobic sludge process", Dyes and Pigments, 76: 256-263.

[65] Pandey, A., Singh, P., ve Iyengar, L. (2007). "Bacterial decolorization and degradation of azo dyes", International Biodeterioration and Biodegradation, 59: 73–84.

[66] UNEP - Division of Technology, Industry and Economics, Off-site wastewater treatment systems, http://www.unep.or.jp/ietc/publications/freshwater/sb_summary/7.asp, 12 September 2018.

[67] Hue University Dept. of Environmental Sciences, Wastewater Engineering: An Overview, http://www.khoamoitruonghue.edu.vn/courses/EnvTech/WW_overview.pdf, 12 September 2018.

[68] IBB, İstanbul ileri biyolojik arıtma tesisi proses akım şeması, http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/Pages/Haber.aspx?NewsID=20648#.VPNWeihZAws, 12 Eylül 2018.

[69] Leite, A.M., Mayo, B., Rachid, C.T., Peixoto, R.s., Silva, J.T., Paschoalin, V.M. ve Delgado, S., (2012). "Assessment of the microbial diversity of Brazilian kefir grains by PCR-DGGE and pyrosequencing analysis", Food Microbiology, 31: 215-21.

[70] Otles, S. ve Çağındı, Ö., (2003). “Kefir: A Probiotic Dairy-Composition, Nutritional and Therapeutic Aspects”, Pakistan Journal of Nutrition, 2: 54-59.

[71] Arslan, S., (2015). “A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir”, CyTA Journal of Food, 13: 340-345.

[72] Irigoyen, A., Arana, I., Castiella, M., Torre, P. ve Ibáñez, F.C., (2005). “Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage”, Food Chemistry, 90: 613-620.

[73] Sarkar, S., (2008). “Biotechnological innovations in kefir production: A review”, British Food Journal, 110: 283-295.

[74] Garofalo, C., Osimani, A., Milanoviv, V., Aquilanti, L., De Filippis, F., Stellato, G., Di Mauro, S., Turchetti, B., Buzzini, P., Ercolini, D. ve Clementi, F., (2015). “Bacteria and yeast microbiota in milk kefir grains from different Italian regions”, Food Microbiology, 49: 123-33.

[75] Guzel-Seydim, Z., Wyffels, J.T., Seydim, A.C. ve Greene, A.K., (2005). “Turkish kefir and kefir grains: microbial enumeration and electron microscobic observation”, International Dairy Technology, 58: 25-29.

[76] Wang, S.Y., Chen, K.N., Lo, Y.M., Chiang, M.L., Chen, H.C., Liu, J.R. ve Chen, M.J., (2012). “Investigation of microorganisms involved in biosynthesis of the kefir grain”, Food Microbiology, 32: 274-285.

[77] Kooiman, P., (1968). “The chemical structure of kefiran, the water-soluble polysaccharide of the kefir grain”, Carbohydrate Research, 7: 200-211.

[78] Otles, S. ve Çağındı, Ö., (2003). “Kefir: A Probiotic Dairy-Composition, Nutritional and Therapeutic Aspects”, Pakistan Journal of Nutrition, 2: 54-59.

[79] Garrote, G.L., Abraham, A.G. ve G.L. De Antoni, G.L., (1997). “Preservation of Kefir Grains, a Comparative Study”, LWT - Food Science and Technology, 30: 77-84.

[80] Garrote, G., De Antoni, G. ve Abraham, A.G., (1998). “Characteristics of kefir prepared with different grain: milk ratios”, Journal of Dairy Research, 65: 149 – 154.

[81] Schoevers, A. ve Britz, T.J., (2003). “Influence of different culturing conditions on kefir grain increase”, International Journal of Dairy Technology, 56: 183 – 187.

[82] Witthuhn, R.C., Schoeman, T., Cilliers, A. ve Britz, T.J., (2005). “Impact of preservation and different packaging conditions on the microbial community and activity of Kefir grains”, Food Microbiology, 22: 337-344.

[83] Witthuhn, R.C., Schoeman, T. ve Britz, T.J., (2005). “Characterisation of the microbial population at different stages of Kefir production and Kefir grain mass cultivation”, International Dairy Journal, 15: 383-389.

[84] Farnworth, E.R., (2003). “Handbook of Fermented Functional Foods”, First Edition, CRC Press, Boca Raton.

[85] Karatepe, P., Yalçın, H., Patır, B. ve Aydın, I., (2012). "Kefir ve Kefirin Mikrobiyolojisi", Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi, 10: 1-10.

[86] Yagub, M.T., Sen, T.K., Afroze, S. ve Ang, H.M., (2014). "Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review", Advances in Colloid and Interface Science, 209: 172-184.

[87] Irem, S., Khan, Q.M., Islam, E., Hashmat, A.J., Haq, M.A., Afzal, M. ve Mustafa, T., (2013), "Enhanced removal of reactive navy blue dye using powdered orange waste", Ecological Engineering, 58: 399-405.

[88] Yang, Y., Jin, D, Wang, G., Wang, S., Jia, X. ve Zhao, Y., (2011). "Competitive biosorption of Acid Blue 25 and Acid Red 337 onto unmodified and CDAB-modified biomass of Aspergillus oryzae", Bioresource Technology, 102: 7429-7436.

[89] Fogler, S.C., (2005). Elements of Chemical reaction engineering, Fourth Edition, Prentice Hall, Kendalville.

[90] Mohd-Salleh, M.A., Mahmoud, D.K., Abdul-Karim, W.W. ve Idris, A., (2011). "Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review", Desalination, 280: 1-13.

[91] Mahmoud, D.K., Mohd-Salleh, M.A., Karim, W.W., Idris, A. ve Zainal-Abidin, Z., (2012). "Batch adsorption of basic dye using acid treated kenaf fibre char: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies", Chemical Engineering Journal, 181–182: 449-457.

[92] Daneshvar, E., Kousha, M., Sohrabi, M.S., Khataee, A. ve Converti, A., (2012). "Biosorption of three acid dyes by the brown macroalga *Stoechospermum marginatum*: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies", Chemical Engineering Journal, 195–196: 297-306.

[93] Prakash Kumar, B.G., Miranda, L.R. ve Velan, M., (2005). "Adsorption of Bismark Brown dye on activated carbons prepared from rubberwood sawdust (*Hevea brasiliensis*) using different activation methods", Journal of Hazardous Materials, 126: 63-70.

[94] Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R. ve Ahmad, A., (2010). "Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review", Journal of Hazardous Materials, 177: 70-80.

[95] Sing, K.S.W., (1989). "The use of physisorption for the characterization of microporous carbons", Carbon, 27: 5-11.

[96] Iqbal, M., Saeed, A. ve Edyvean, R.G.J., (2013). "Bioremoval of antimony (III) from contaminated water using several plant wastes: Optimization of batch and dynamic flow conditions for sorption by green bean husk (*Vigna radiata*)", Chemical Engineering Journal, 225: 192-201.

[97] Hamzeh, Y., Ashori, A., Azadeh, E. ve Abdulkhani, A., (2012). "Removal of Acid Orange 7 and Remazol Black 5 reactive dyes from aqueous solutions using a novel biosorbent", Materials Science and Engineering: C, 32: 1394-1400.

[98] Pua, F., Sajab, M.S., Chia, C.H., Sarani Zakaria, S., AbdulRahman, I. ve Salit,

M.S., (2013), “Alkaline-treated cocoa pod husk as adsorbent for removing methylene blue from aqueous solutions”, Journal of Environmental Chemical Engineering, 1: 460-465.

[99] Katal, R., Baei, M.S., Rahmati, H.T. ve Esfandian, H., (2012). “Kinetic, isotherm and thermodynamic study of nitrate adsorption from aqueous solution using modified rice husk”, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 18: 295-302.

[100] Ding, D., Zhao, .Y., Yang, S., Shi, W., Zhang, Z., Lei, Z. ve Yang, Y., (2013). “Adsorption of cesium from aqueous solution using agricultural residue – Walnut shell: Equilibrium, kinetic and thermodynamic modeling studies”, Water Research, 47: 2563-2571.

[101] Gorgievski, M., Božić, D., Stanković, V., Štrbac, N. ve Šerbula, S., (2013), “Kinetics, equilibrium and mechanism of Cu^{+2}, Ni^{+2} and Zn^{+2} ions biosorption using wheat straw”, Ecological Engineering, 58: 113-122.

[102] Basu, M., Guha, A.K. ve Ray, L., (2015). “Biosorptive removal of lead by lentil husk”, Journal of Environmental Chemical Engineering, 3: 1088-1095.

[103] Song, J., Zou, W., Bian, Y., Su, F. ve Han, R., (2011). “Adsorption characteristics of methylene blue by peanut husk in batch and column modes”, Desalination, 265: 119-125.

[104] Kamari, A., Yusoff, S.N.M., Abdullah, F. ve Putra, W.P., (2014). “Biosorptive removal of Cu(II), Ni(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions using coconut dregs residue: Adsorption and characterisation studies”, Journal of Environmental Chemical Engineering, 2: 1912-1919.

[105] Feng, N. ve Guo, X., (2012). “Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and zinc by modified orange peel”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 22: 1224-1231.

[106] Iqbal, M., Saeed, A. ve Zafar, S.I., (2009). “FTIR spectrophotometry, kinetics and adsorption isotherms modeling, ion exchange, and EDX analysis for understanding the mechanism of Cd2+ and Pb2+ removal by mango peel waste”, Journal of Hazardous Materials, 164: 161-171.

[107] El-Ashtoukhy, E.S.Z., Amin, N.K. ve Abdelwahab, O., (2007). “Removal of lead (II) and copper (II) from aqueous solution using pomegranate peel as a new adsorbent”, Desalination and the Environment Conference, 22-25 April 2007, Halkidiki, Greece, 162-173.

[108] Wang, S., Boyjoo, Y., Choueib, A. ve Zhu, Z.H., (2005). “Removal of dyes from aqueous solution using fly ash and red mud” Water Research, 39: 129–138.

[109] US EPA, Fly Ash Regulations, http://www.epa.gov/epawaste/conserve/tools/warm/pdfs/Fly_Ash.pdf, 02.04.2015.

[110] Banerjee, S., Sharma, G.C., Chattopadhyaya, M.C. ve Sharma, Y.C., (2014). “Kinetic and equilibrium modeling for the adsorptive removal of methylene blue from aqueous solutions on of activated fly ash (AFSH)”, Journal of

Environmental Chemical Engineering, 2: 1870-1880.

[111] Janos, P., Buchtova, H. ve Ryznarova, M., (2003). “Sorption of dyes from aqueous solu- tions onto fly ash” Water Research, 37: 4938–4944.

[112] Visa, M. ve Chelaru, A.M., (2014). “Hydrothermally modified fly ash for heavy metals and dyes removal in advanced wastewater treatment”, Applied Surface Science, 303: 14-22.

[113] Acemioglu, B., (2004). “Adsorption of Congo red from aqueous solution onto calcium- rich fly ash”, Journal of Colloid Interface Science, 274: 371–379.

[114] Jain, A.K., Gupta, V.K., Bhatnagar, A. ve Suhas, (2003). “A comparative study of adsor- bents prepared from industrial wastes for removal of dyes”, Seperation Science and Technology, 38: 463–481.

[115] Netpradit, S., Thiravetyan, P. ve Towprayoon, S., (2004). “Adsorption of three azo reactive dyes by metal hydroxide sludge: effect of temperature, pH, and elec- trolytes”, J.ournal of Colloid Interface Science, 270: 255–261.

[116] Tor, A. ve Cengeloglu, Y., (2006). “Removal of congo red from aqueous solution by adsorption onto acid activated red mud, Journal of Hazardous Materials, 138: 409-415.

[117] Errais, E., Duplay, J., Elhabiri, M., Khodja, M., Ruben Ocampo, R., Baltenweck-Guyot, R. ve Darragi, F., (2012). “Anionic RR120 dye adsorption onto raw clay: Surface properties and adsorption mechanism”, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 403: 69-78.

[118] Toor, M. ve Jin, B., (2012). “Adsorption characteristics, isotherm, kinetics, and diffusion of modified natural bentonite for removing diazo dye”, Chemical Engineering Journal, 187: 79-88.

[119] Anirudhan, T.S. ve Ramachandran, M., (2015). “Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay): Kinetic and competitive adsorption isotherm”, Process Safety and Environmental Protection, 95: 215-225.

[120] Arellano-Cárdenas, S., López-Cortez, S., Cornejo-Mazón, M. ve Mares-Gutiérrez, J.C., (2013). “Study of malachite green adsorption by organically modified clay using a batch method”, Applied Surface Science, 280: 74-78.

[121] Auta, B., M. ve Hameed, H., (2014). “Chitosan–clay composite as highly effective and low-cost adsorbent for batch and fixed-bed adsorption of methylene blue”, Chemical Engineering Journal, 237: 352-361.

[122] Silva, M.M.F., Oliveira, M.M., Avelino, M.C., Fonseca, M.G., R.K.S., Almeida ve Filho, E.C.S., (2012). “Adsorption of an industrial anionic dye by modified-KSF-montmorillonite: Evaluation of the kinetic, thermodynamic and equilibrium data”, Chemical Engineering Journal, 203: 259-268.

[123] Boucif, F., Marouf-Khelifa, K., Batonneau-Gener, I., Jacques SchottA, J. ve Khelifa, A., (2010). “Preparation, characterisation of thermally treated Algerian dolomite powders and application to azo-dye adsorption”, Powder Technology, 201: 277-282.

[124] Tunali, S., Özcan, A.S., Özcan, A. ve Gedikbey, T., (2006). "Kinetics and equilibrium studies for the adsorption of Acid Red 57 from aqueous solutions onto calcined-alunite", Journal of Hazardous Materials, 135: 141-148.

[125] Dabrowski, A., (2001). "Adsorption – from theory to practice", Advances in Colloid Interface Science, 93: 135–224.

[126] Armagan, B., Ozdemir, O., Turan, M. ve Celik, M.S., (2003). "The removal of reactive azo dyes by natural and modified zeolites" Journal of Chemical Technology Biotechnology, 78: 725–732.

[127] Qiu, M., Qian, C., Xu, J., Wu, J. ve Wang, G., "Studies on the adsorption of dyes into clinoptilolite", Desalination, 243: 286-292.

[128] Hernández-Montoya, V., Pérez-Cruz, M.A., Mendoza-Castillo, D.I., Moreno-Virgen, M.R. ve Bonilla-Petriciolet, A., (2013). "Competitive adsorption of dyes and heavy metals on zeolitic structures", Journal of Environmental Management, 116: 213-221.

[129] Vakili, M., Rafatullah, M., Salamatinia, B., Abdullah, A.Z., Ibrahim, M.H., Tan, K.B., Gholami, Z. ve Amouzgar, P., (2014). "Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: A review", Carbohydrate Polymers, 113: 115-130.

[130] Kumar, M.N.V.R., (2000). "A review of chitin and chitosan applications", Reactive and Functional Polymers, 46: 1-27.

[131] Aksu, Z. ve Karabayır, G., (2008). "Comparison of biosorption properties of different kinds of fungi for the removal of Gryfalan Black RL metal-complex dye", Bioresource Technology, 99: 7730-7741.

[132] Gupta, V.K. ve Suhas, (2009). "Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review", Journal of Environmental Management, 90: 2313-2342.

[133] Akar, T. ve Divriklioglu, M., (2010). "Biosorption applications of modified fungal biomass for decolorization of Reactive Red 2 contaminated solutions: Batch and dynamic flow mode studies", Bioresource Technology, 101: 7271-7277.

[134] Rubin, E., Rodriguez, P., Herrero, R., Cremades, J., Barbara, I. ve Sastre de Vicente, M.E., (2005). "Removal of methylene blue from aqueous solutions using as biosor- bent Sargassummuticum: an invasive macroalga in Europe", Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 80: 291–298.

[135] Wangpradit, R., ve Chitprasert, P., (2014). "Chitosan-coated Lentinus polychrous Lév.: Integrated biosorption and biodegradation systems for decolorization of anionic reactive dyes", International Biodeterioration & Biodegradation, 93: 168–176.

[136] Nacera, Y. ve Aicha, B., (2006). "Equilibrium ve kinetic modelling of methylene blue biosorption by pretreated dead Streptomyces rimosus: effect of temperature", Chemical Engineering Journal, 119: 121–125.

[137] Kim, T.Y., Lee, J.W. ve Cho, S.Y., (2015). "Application of residual brewery yeast for adsorption removal of Reactive Orange 16 from aqueous solution",

Advanced Powder Technology, 26: 267-274.

[138] Mahmoud, M.S., (2016). “Decolorization of certain reactive dye from aqueous solution using Baker’s Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) strain”, HBRC Journal, 12: 88-98.

[139] Elmoubarki, R., Mahjoubi, F.Z., Tounsadi, H., Moustadraf, J., Abdennouri, M., Zouhri, A., El Albani, A. ve Barka, N., (2015). “Adsorption of textile dyes on raw and decanted Moroccan clays: Kinetics, equilibrium and thermodynamics”, Water Resources and Industry, 9: 16-29.

[140] Errais, E., Duplay, J., Darragi, F., M'Rabet, I, Aubert, A., Huber, F. ve Morvan, G., (2011). “Efficient anionic dye adsorption on natural untreated clay: Kinetic study and thermodynamic parameters”, Desalination, 275: 74-81.

[141] Al-Meshragi, M., Ibrahim, H.G. ve Aboabboud, M.M., (2008), “Equilibrium and Kinetics of Chromium Adsorption on Cement Kiln Dust”, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008 WCECS 2008, October 22 - 24, 2008, San Francisco, USA.

[142] Ho, Y.S., (2006). “Review of second-order models for adsorption systems”, Journal of Hazardous Materials, 136: 681-689.

[143] Ho, Y.S., (2004). “Citation review of Lagergren kinetic rate equation on adsorption reactions”, Scientometrics, 59: 171–177.

[144] Ho, Y.S. ve McKay, G., (1999). “Pseudo-second order model for sorption processes”, rocess Biochemistry, 34: 451-465.

[145] Wu, F.C., Tseng, R.L. ve Juang, R.S., (2009). “Initial behavior of intraparticle diffusion model used in the description of adsorption kinetics”, Chemical Engineering Journal, 153: 1-8.

[146] Juang, R.S. ve Chen, M.L., (1997). “Application of the Elovich Equation to the Kinetics of Metal Sorption with Solvent-Impregnated Resins”, Industrial and Engineering Chemistry Research, 36: 813–820.

[147] Wu, J., Zhang, T., Chen, C., Feng, L., Su, X., Zhou, L., Chen, Y., Xia, A. ve Wang, X., (2018). “Spent substrate of *Ganodorma lucidum* as a new bio-adsorbent for adsorption of three typical dyes”, Bioresource Technology, 266: 134-138.

[148] Karim, E., Dhar, K. ve Hossain, T, (2018). “Decolorization of Textile Reactive Dyes by Bacterial Monoculture and Consortium Screened from Textile Dyeing Effluent”, Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, In Press.

[149] Krishnan, J., Kishore, A.A., Suresh, A., Madhumeetha, B. ve Prakash, D.G., (2017). “Effect of pH, inoculum dose and initial dye concentration on the removal of azo dye mixture under aerobic conditions”, International Biodeterioration and Biodegradation, 119: 16-27.

[150] Rusen, Z., Renwu, Z., Xianhui, Z., Song, T., Yingwu, Y., Size, Y. ve Liyi, Y., (2016). “An efficient bio-adsorbent for the removal of dye: Adsorption studies and cold atmospheric plasma regeneration”, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 68: 372-378.

[151] Kumari, S. ve Naraian, R., (2016). “Decolorization of synthetic brilliant green

carpet industry dye through fungal co-culture technology", Journal of Environmental Management, 180: 172-179.

[152] Kousha, M., Tavakoli, S., Daneshvar, E., Vazirzadeh, A. ve Bhatnagar, A., (2015). "Central composite design optimization of Acid Blue 25 dye biosorption using shrimp shell biomass", Journal of Molecular Liquids, 207: 266-273.

[153] Almeida, E.J.R. ve Corso, C.R., (2014). "Comparative study of toxicity of azo dye Procion Red MX-5B following biosorption and biodegradation treatments with the fungi *Aspergillus niger* and *Aspergillus terreus*", Chemosphere, 112: 317-322.

[154] El Haddad, M., Regti, A., Laamari, M.R., Slimani, R., Mamouni, R., El Antri, S. ve Lazar, S., (2014). "Calcined mussel shells as a new and eco-friendly biosorbent to remove textile dyes from aqueous solutions", Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 45: 533-540.

[155] Taha, M., Adetutu, E.M., Shahsavari, E., Smith, A.T. ve Ball, A.S., (2014). "Azo and anthraquinone dye mixture decolourization at elevated temperature and concentration by a newly isolated thermophilic fungus, *Thermomucor indicae-seudaticae*", Journal of Environmental Chemical Engineering, 2: 415-423.

[156] El-Kassas, H.Y.ve Mohamed, L.A., (2014). "Bioremediation of the textile waste effluent by *Chlorella vulgaris*", The Egyptian Journal of Aquatic Research, 40: 301-308.

[157] Khataee, A.R. ve Jannatkhah, F.V.M., (2013). "Biosorption of three textile dyes from contaminated water by filamentous green algal *Spirogyra* sp.: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies", International Biodeterioration & Biodegradation, 83: 33-40.

[158] Saratale, R.G., Gandhi, S.S., Purankar, M.V., Kurade, M.B., Govindwar, S.P., Oh, S.E. ve Saratale, G.D., (2013). "Decolorization and detoxification of sulfonated azo dye C.I. Remazol Red and textile effluent by isolated *Lysinibacillus* sp. RGS", Journal of Bioscience and Bioengineering, 115: 658-667.

[159] Chakraborty, S., Basak, B., Dutta, S., Bhunia, B. ve Dey, A., (2013). "Decolorization and biodegradation of congo red dye by a novel white rot fungus *Alternaria alternata* CMERI F6", Bioresource Technology, 147: 662-666.

[160] Çelekli, A., İlgün, G. ve Bozkurt, H., (2012). "Sorption equilibrium, kinetic, thermodynamic, and desorption studies of Reactive Red 120 on *Chara contraria*", Chemical Engineering Journal, 191: 228-235.

[161] Du, L.N., Wang, L.N., Li, G., Wang, S., Crowley, D.E. ve Zhao, Y.H., (2012). "Biosorption of the metal-complex dye Acid Black 172 by live and heat-treated biomass of *Pseudomonas* sp. strain DY1: Kinetics and sorption mechanisms", Journal of Hazardous Materials, 205–206: 47-54.

[162] Dudu, Ü. ve Dönmez, G., (2012). "Effects of Dodecyl Trimethyl Ammonium Bromide Surfactant on Decolorization of Remazol Blue by a Living *Aspergillus versicolor* Strain", Journal of Surfactants and Detergents, 15: 797–803.

[163] Xin, B., Zhang, Y., Liu, C. ve Chen, S., (2012). "Comparison of specific adsorption capacity of different forms of fungal pellets for removal of Acid Brilliant Red B from aqueous solution and mechanisms exploration", Process Biochemistry, 47: 1197-1201.

[164] Lin, Y., He, X., Han, G., Tian, Q. ve Hu, W., (2011). "Removal of Crystal Violet from aqueous solution using powdered mycelial biomass of *Ceriporia lacerata* P2", Journal of Environmental Sciences, 23: 2055-2062.

[165] Yang, Y., Jin, D., Wang,G., Liu, D., Jia, X. ve Zhao, Y., (2011). "Biosorption of Acid Blue 25 by unmodified and CPC-modified biomass of *Penicillium* YW01: Kinetic study, equilibrium isotherm and FTIR analysis", Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 88: 521-526.

[166] Pajot, H.F., Fariña, J.I. ve Castellanosde Figueroa, L.I., (2011). "Evidence on manganese peroxidase and tyrosinase expression during decolorization of textile industry dyes by *Trichosporon akiyoshidainum*", International Biodeterioration & Biodegradation, 65: 1199-1207.

[167] Gao, J.F., Wang, J.H., Yang, C., Wang, S.Y. ve Peng, Y.Z., (2011). "Binary biosorption of Acid Red 14 and Reactive Red 15 onto acid treated okara: Simultaneous spectrophotometric determination of two dyes using partial least squares regression", Chemical Engineering Journal, 171: 967-975.

[168] Aksu, Z. ve Balibek, E., (2010). "Effect of salinity on metal-complex dye biosorption by *Rhizopus arrhizus*", Journal of Environmental Management, 91: 1546-1555.

[169] Doğar Ç., Gürses, A., Açıkyıldız, M. ve Özkan, E., (2010). "Thermodynamics and kinetic studies of biosorption of a basic dye from aqueous solution using green algae *Ulothrix* sp.", Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 76: 279-285.

[170] Hunter, R.J., (1988). Zeta Potential in Colloid Science: Principles and Applications, Third Edition, Academid Press, Oxford.

[171] Çolak, F., Atar, N. ve Olgun, A., (2009). "Biosorption of acidic dyes from aqueous solution by Paenibacillus macerans: kinetic, thermodynamic and equilibrium studies", Chemical Engineering Journal, 150: 122-130.

EK-A

YALANCI 2. MERTEBE VE ELOVICH KİNETİK MODEL SABİTLERİ VE İSTATİSTİKSEL VERİLER

Çizelge A-1 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**k_2**	**q_e**	**s**	**r**
pH2	0.0002	69.4444	0.0058	0.9948
pH2.5	0.0007	38.4911	0.0080	0.9904
pH3	0.0037	17.9205	0.0033	0.9974
pH3.5	0.0054	13.2961	0.0038	0.9978
pH4	0.0061	11.5835	0.0129	0.9823
pH5	0.0163	8.6281	0.0121	0.9611
pH6	0.0137	7.7101	0.0137	0.9803
pH7	0.0194	8.6133	0.0076	0.9812
pH8	0.0214	7.5873	0.0117	0.9678
Sıcaklık				
18˚C	0.0048	17.6367	0.0057	0.9882
25˚C	0.0037	17.9205	0.0033	0.9974
32˚C	0.0038	18.1750	0.0095	0.9780
39˚C	0.0009	38.7898	0.0034	0.9969
Çalkalama Hızı				
Sabit	0.0009	23.8949	0.0147	0.9912
140 rpm	0.0009	38.7898	0.0034	0.9969
300 rpm	0.0017	34.3855	0.0047	0.9858
500 rpm	0.0015	40.3226	0.0019	0.9966
Boyar Madde Konsantrasyonu				
25 mg/L	0.0019	21.7250	0.0054	0.9954
50 mg/L	0.0003	48.0284	0.0085	0.9927
75 mg/L	0.0005	53.9084	0.0069	0.9834
100 mg/L	0.0003	69.1563	0.0059	0.9893
200 mg/L	0.0014	-9.3197	0.1889	0.9133
400 mg/L	7.23631×10^{-5}	155.1350	0.0023	0.9969

Çizelge A-2 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen Elovich kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	α	β	**s**	**r**
pH2	4.2809	0.1129	2.8938	0.9799
pH2.5	3.1902	0.1279	3.9125	0.9547
pH3	3.5285	0.2776	0.5050	0.9963
pH3.5	2.3566	0.3884	0.8486	0.9796
pH4	2.0051	0.4399	0.8525	0.9738
pH5	2.2480	0.5824	0.8794	0.9527
pH6	1.8517	0.6782	0.8396	0.9425
pH7	2.6754	0.5997	0.8329	0.9549
pH8	2.3729	0.6905	0.9750	0.9222
Sıcaklık				
18˚C	3.5558	0.2815	0.4291	0.9972
25˚C	3.5285	0.2776	0.5050	0.9963
32˚C	2.6928	0.2529	0.8191	0.9918
39˚C	3.9967	0.1321	2.6359	0.9773
Çalkalama Hızı				
Sabit	1.7494	0.2053	3.0109	0.9333
140 rpm	3.9967	0.1321	2.6359	0.9773
300 rpm	5.0403	0.1380	1.8720	0.9873
500 rpm	7.0328	0.1330	2.2417	0.9832
Boyar Madde Konsantrasyonu				
25 mg/L	3.9015	0.2920	2.2878	0.9294
50 mg/L	2.7655	0.1143	4.1524	0.9624
75 mg/L	3.7898	0.0833	5.1580	0.9688
100 mg/L	4.0641	0.0669	7.1783	0.9615
200 mg/L	4.2028	0.0469	12.3959	0.9451
400 mg/L	7.3063	0.0425	9.8405	0.9707

Çizelge A-3 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**k_2**	**q_e**	**s**	**r**
pH2	0.0037	19.3705	0.01234	0.9613
pH2.5	0.0052	11.2714	0.03266	0.9402
pH3	0.0118	9.9681	0.034425	0.8283
pH4	0.0623	2.2999	0.1244	0.8238
pH6	0.1199	0.7205	2.2797	0.3872
pH8	-0.8501	1.1608	0.1386	0.3513
Sıcaklık				
18˚C	0.0045	11.0375	0.03718	0.9462
25˚C	0.0118	9.9681	0.034425	0.8283
32˚C	0.0049	12.8717	0.02896	0.9771
39˚C	0.0038	11.7398	0.02668	0.9731
Boyar Madde Konsantrasyonu				
50 mg/L	0.0011	18.4604	0.03847	0.9663
75 mg/L	0.0013	23.3809	0.03352	0.9138
100 mg/L	0.0027	23.3536	0.02144	0.8602
200 mg/L	0.0011	35.0508	0.007206	0.9856
400 mg/L	0.0002	65.1042	0.004076	0.9984

Çizelge A-4 Remazol Ultra Red RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen Elovich kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**α**	**β**	**s**	**r**
pH2	2.7032	0.2155	1.6252	0.9761
pH2.5	1.3067	0.3302	1.6162	0.9471
pH3	1.6509	0.3739	1.2757	0.957
pH4	0.5293	1.8990	0.2351	0.9621
pH6	0.1475	4.3917	0.3289	0.737
pH8	72.3684	8.5470	0.3879	0.4291
Sıcaklık				
18˚C	1.2133	0.3525	1.3389	0.9579
25˚C	1.6509	0.3739	1.2757	0.957
32˚C	1.1846	0.3258	1.5335	0.9532
39˚C	1.2498	0.3551	1.2258	0.9638
Boyar Madde Konsantrasyonu				
50 mg/L	1.0962	0.2002	3.2559	0.9332
75 mg/L	1.6715	0.1399	4.565	0.9356
100 mg/L	2.1234	0.1374	5.0871	0.9243
200 mg/L	1.6561	0.1717	3.1682	0.9521
400 mg/L	2.9726	0.1018	4.2412	0.9689

Çizelge A-5 Remazol Navy RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**k_2**	**q_e**	**s**	**r**
pH2	0.0007	45.4483	0.0028	0.9971
pH2.5	0.0003	42.0150	0.0184	0.9841
pH3	0.0006	27.2546	0.0323	0.9694
pH3.5	0.0021	14.3761	0.0233	0.9837
pH4	0.0051	11.9346	0.0078	0.9948
pH5	0.0105	8.1689	0.0286	0.9408
pH6	0.0116	6.8399	0.0307	0.9577
pH7	0.0036	9.1954	0.0381	0.9783
pH8	0.0160	5.3706	0.0142	0.9931
Sıcaklık				
18˚C	0.0041	16.0823	0.0073	0.9903
25˚C	0.0006	27.2546	0.0323	0.9694
32˚C	0.0030	16.8407	0.0068	0.9944
39˚C	0.0004	40.9500	0.0094	0.9920
Çalkalama Hızı				
Sabit	0.0013	16.3559	0.0229	0.9894
140 rpm	0.0004	40.9500	0.0094	0.9920
300 rpm	0.0026	24.6002	0.0076	0.9775
500 rpm	0.0018	33.1082	0.0015	0.9986
Boyar Madde Konsantrasyonu				
25 mg/L	0.0032	21.0562	0.9917	0.9834
50 mg/L	0.0009	38.6100	0.9711	0.9431
75 mg/L	0.0006	50.7872	0.9774	0.9553
100 mg/L	0.0006	57.7367	0.9593	0.9241
200 mg/L	0.0007	77.8816	0.9356	0.8754

Çizelge A-6 Remazol Navy RGB boyar maddesinin aktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen Elovich kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	α	β	**s**	**r**
pH2	4.5629	0.1136	2.8978	0.9796
pH2.5	2.2814	0.1751	2.9158	0.953
pH3	1.9094	0.2871	1.183	0.9783
pH3.5	1.4776	0.4027	0.7891	0.9809
pH4	1.7798	0.4127	0.3784	0.9953
pH5	1.4428	0.5622	0.4332	0.9886
pH6	1.1531	0.6704	0.418	0.9851
pH7	1.1819	0.6902	0.6286	0.9653
pH8	1.0370	0.9340	0.4097	0.9727
Sıcaklık				
18˚C	2.5000	0.2959	0.539	0.9951
25˚C	1.9094	0.2871	1.183	0.9783
32˚C	2.2353	0.2876	0.9163	0.9868
39˚C	3.0315	0.1662	2.0078	0.9791
Çalkalama Hızı				
Sabit	1.2349	0.3428	1.6877	0.9408
140 rpm	3.0315	0.1662	2.0078	0.9791
300 rpm	3.4963	0.1810	1.7255	0.9816
500 rpm	5.1047	0.1522	0.962	0.9958
Boyar Madde Kosnantrasyonu				
25 mg/L	4.7629	0.2799	1.8717	0.9553
50 mg/L	3.5435	0.1187	3.4975	0.9712
75 mg/L	3.7450	0.0840	5.3796	0.9662
100 mg/L	4.6190	0.0713	6.1146	0.9683
200 mg/L	8.3149	0.0542	6.2134	0.9808
400 mg/L	13.7067	0.0406	5.8948	0.9901

Çizelge A-7 Remazol Navy RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen yalancı 2. mertebe kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**k_2**	**q_e**	**s**	**r**
pH2	0.0021	28.8517	0.00922	0.9662
pH2.5	0.0024	15.3586	0.03235	0.956
pH3	0.0035	14.0786	0.03473	0.9273
pH4	0.0617	3.9968	0.03703	0.853
pH6	-1.5133	1.0898	0.1906	0.1714
pH8	0.2956	0.5405	0.6646	0.7203
Sıcaklık				
18˚C	0.0049	13.6500	1.1026	0.0211
25˚C	0.0035	14.0786	1.4438	0.0347
32˚C	0.0034	15.5376	1.2211	0.0144
39˚C	0.0053	13.6780	1.0042	0.0184
Boyar Madde Konsantrasyonu				
50 mg/L	0.0019	23.1589	0.0216	0.9235
75 mg/L	0.0023	20.0803	0.0227	0.9290
100 mg/L	0.0013	31.5358	0.0170	0.9227
200 mg/L	0.0018	33.2226	0.0180	0.8275
400 mg/L	0.0016	41.7188	0.0073	0.9346

Çizelge A-8 Remazol Navy RGB boyar maddesinin inaktif kefir taneleri ile adsorpsiyonu için elde edilen Elovich kinetik model sabitleri ve istatistiksel veriler

pH	**α**	**β**	**s**	**r**
pH2	3.7176	0.1480	2.1813	0.9796
pH2.5	1.4157	0.2456	2.5388	0.9298
pH3	1.5614	0.2812	1.6601	0.9588
pH4	1.8314	1.3257	0.4510	0.9349
pH6	27.6350	8.2576	0.3663	0.4621
pH8	0.4303	10.9830	0.2285	0.5318
Sıcaklık				
18˚C	1.8349	0.3031	1.1199	0.9775
25˚C	1.5614	0.2812	1.6601	0.9588
32˚C	1.8978	0.2849	1.1128	0.9803
39˚C	1.9855	0.3117	0.8995	0.9845
Boyar Madde Konsantrasyonu				
50 mg/L	1.9774	0.1600	3.2198	0.9566
75 mg/L	1.6956	0.1769	3.3529	0.9437
100 mg/L	2.5994	0.1145	4.7861	0.9514
200 mg/L	3.2986	0.1078	4.6843	0.9583
400 mg/L	4.6999	0.0995	4.0488	0.9728

EK-B

ÇEŞİTLİ BİYOSORBANLARLA BOYAR MADDE GİDERİMİ ÇALIŞMALARININ DENEYSEL ŞARTLARI VE SONUÇLARI

Çizelge B-1 Literartürde boyar madde gideriminde farklı biyosorbanlarla yapılmış benzer çalışmaların şartları ve sonuçları **(**% Boyar madde giderimi/ adsorpsiyon kapasitesi)

Adsorbat/Adsorban	**Çalışma Şartları**	**Sonuç**	**Kaynak**
Acid Blue 25/*Penaeus indicus* (karides) kabuğu	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 130 mg/L ▪ Tuz konsantrasyonu: 30 g/L ▪ Biyokütle: 0.4 g/L ▪ İşlem süresi: 25 dak. ▪ pH 2 ▪ 25˚C ▪ Çalkalama: 130 devir/dak.	%95.64	[152]
Reactive Orange 16/Atık bira mayası	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 0.1 mmol/L ▪ Biyokütle: 3.5 g/L ▪ pH 3 ▪ 30˚C ▪ İşlem süresi: 48 sa. ▪ Çalkalama: 400 devir/dak.	340 mg/g	[137]
Tekstil endüstrisi atık suyu/*Chlorella vulgaris* (mikroalg)	▪ %17.5 atık su ▪ 10 g/L $NaHCO_3$ ▪ Biyokütle: 1.49 g/L ▪ İşlem süresi: 15 gün	%75.68	[156]

Çizelge B-1 (devamı) Literartürde boyar madde gideriminde farklı biyosorbanlarla yapılmış benzer çalışmaların şartları ve sonuçları **(**% Boyar madde giderimi/ adsorpsiyon kapasitesi)

Adsorbat/Adsorban	**Çalışma Şartları**	**Sonuç**	**Kaynak**
Azure B, Congo Red, Trypan Blue ve Remazol Brilliant Blue R/*Thermomucor indicae-seudaticae* (mantar)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 1000 mg/L ▪ 55˚C ▪ İşlem süresi: 12 sa. ▪ pH 5.86 ▪ Çalkalama: 150 devir/dak.	%74.93	[155]
Azure B, Congo Red, Trypan Blue ve Remazol Brilliant Blue R/*Aspergillus fumigatus* (mantar)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 1000 mg/L ▪ 55˚C ▪ İşlem süresi: 12 sa. ▪ pH 5.86 ▪ Çalkalama: 150 devir/dak.	%44.67	[155]
Rhodamine B/*Edulis mytilus* (midye) kabuğu	▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ Boyar madde konsantrasyonu: 75 mg/L ▪ İşlem süresi: 48 sa. ▪ 50˚C ▪ pH 9	46.67 mg/g	[154]
Alizarin Red S/*Edulis mytilus* (midye) kabuğu	▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ Boyar madde konsantrasyonu: 75 mg/L ▪ İşlem süresi: 48 sa. ▪ 50˚C ▪ pH 4	39.65 mg/g	[154]
Orange II/*Edulis mytilus* (midye) kabuğu	▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ Boyar madde konsantrasyonu: 75 mg/L ▪ İşlem süresi: 48 sa. ▪ 50˚C ▪ pH 6	41.75 mg/g	[154]

Çizelge B-1 (devamı) Literartürde boyar madde gideriminde farklı biyosorbanlarla yapılmış benzer çalışmaların şartları ve sonuçları **(**% Boyar madde giderimi/ adsorpsiyon kapasitesi)

Adsorbat/Adsorban	**Çalışma Şartları**	**Sonuç**	**Kaynak**
Procion Red MX-5B/*Aspergillus niger* (mantar)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 200 mg/L ▪ Biyokütle: 3 g/L ▪ İşlem süresi: 180 dak. ▪ 30˚C ▪ pH 4	%30	[153]
Procion Red MX-5B/*Aspergillus terreus* (mantar)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 200 mg/L ▪ Biyokütle: 3 g/L ▪ İşlem süresi: 180 dak. ▪ 30˚C ▪ pH 4	%98	[153]
Reactive Blue 19, 160 ve 198/*Lentinus polychrous* Lév. (mantar)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 200 mg/L ▪ Biyokütle: 0.2 g/L ▪ İşlem süresi: 360 dak. ▪ Kitosan kaplama: %1 ▪ 30˚C ▪ pH 4 ▪ Çalkalama: 250 devir/dak.	%73.07	[135]
Lysinibacillus sp. RGS/Remazol Red	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 50 mg/L ▪ Biyokütle: 9.8 g/L ▪ İşlem süresi: 360 dak. ▪ 30˚C ▪ pH 7 ▪ Çalkalama: yok	%100	[158]
Acid Orange 7/*Spirogyra sp.* (ipliksi tatlısu algi)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 45 mg/L ▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ İşlem süresi: 60 dak. ▪ 45˚C ▪ pH 4 ▪ Çalkalama: 130 devir/dak.	%54.3	[157]

Çizelge B-1 (devamı) Literartürde boyar madde gideriminde farklı biyosorbanlarla yapılmış benzer çalışmaların şartları ve sonuçları **(**% Boyar madde giderimi/ adsorpsiyon kapasitesi)

Adsorbat/Adsorban	**Çalışma Şartları**	**Sonuç**		**Kaynak**
Basic Red 46/*Spirogyra sp.* (ipliksi tatlısu algi)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 45 mg/L ▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ İşlem süresi: 60 dak. ▪ 45˚C ▪ pH 10 ▪ Çalkalama: 130 devir/dak.	%97		[157]
Basic Blue 3/*Spirogyra sp.* (ipliksi tatlısu algi)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 45 mg/L ▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ İşlem süresi: 60 dak. ▪ 45˚C ▪ pH 10 ▪ Çalkalama: 130 devir/dak.	%91.4		[157]
Acid Brilliant Red B/*The Trichoderma sp*. (ipliksi tatlısu algi)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 45 mg/L ▪ Biyokütle: %5 spor süspansiyonu ▪ İşlem süresi: 72 sa. (büyüyen (B)) 24 sa. (olgun (O) ve inaktif (İ)) ▪ 30˚C ▪ pH 3 ▪ Çalkalama: 120 devir/dak.	B	365 mg/g	[163]
		o	183 mg/g	
		İ	136 mg/g	
Remazol Blue/*Aspergillus versicolor* (mantar)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 100 mg/L ▪ Biyokütle: 0.93 g/L ▪ Yüzey aktif madde: 1 mM DTAB ▪ İşlem süresi: 72 sa. ▪ 25˚C ▪ pH 6 ▪ Çalkalama: 100 devir/dak.	B	66.56 mg/g	[162]
		O	40.2 mg/g	
		İ	27.5 mg/g	

Çizelge B-1 (devamı) Literartürde boyar madde gideriminde farklı biyosorbanlarla yapılmış benzer çalışmaların şartları ve sonuçları

Adsorbat/Adsorban	**Çalışma Şartları**	**Sonuç**	**Kaynak**
Acid Black 172/*Pseudomonas sp.* (bir alg çeşidi)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 100 mg/L ▪ Biyokütle: 0.5 g/L ▪ Isıl muamele: 100˚C ▪ pH 3	2961 mg/g	[161]
Reactive Red 120/*Chara contraria* (makroalg)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 100 mg/L ▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ İşlem süresi: 180 dak. ▪ 30˚C ▪ pH 1 ▪ Çalkalama: 150 devir/dak.	63.01 mg/g	[160]
Reactive Red 198/*Nostoc linckia* (H_2 bioreaktörü atığı)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 100 mg/L ▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ İşlem süresi: 120 dak. ▪ 35˚C ▪ pH 2 ▪ 120 devir/dak.	93.5 mg/g %93.9	[3]
Acid Red 14 ve Reactive Red 15/okara (soya küspesi)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 400 mg/L ▪ Biyokütle: 2 g/L ▪ İşlem süresi: 120 dak. ▪ 20˚C ▪ pH 2 ▪ 120 devir/dak.	%87.25	[167]
Reactive Blue 221, Reactive Red 141 ve Reactive Black *Trichosporon akiyoshidainum* (maya)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 300 mg/L ▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ İşlem süresi: 11 sa. ▪ 26˚C ▪ pH 2 ▪ 250 devir/dak.	%100	[166]

Çizelge B-1 (devamı) Literartürde boyar madde gideriminde farklı biyosorbanlarla yapılmış benzer çalışmaların şartları ve sonuçları

Adsorbat/Adsorban	**Çalışma Şartları**	**Sonuç**	**Kaynak**
Crystal Violet/*Ceriporia lacerata* (mantar)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 200 mg/L ▪ Biyokütle: 0.2 g/L ▪ İşlem süresi: 24 sa. ▪ 20˚C ▪ pH 10 ▪ 250 devir/dak. ▪ İyonik şiddet: 0.01 mol/L $NaNO_3$	239.25 mg/g	[164]
Reactive Red 2/*Agaricus bisporus* (makromantar)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 100 mg/L ▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ İşlem süresi: 90 dak. ▪ 45˚C ▪ pH 2 ▪ 200 devir/dak. ▪ Modifikasyon: %0.05 (STAB)	141.53 mg/g %93.45	[133]
Metilen mavisi/*Ulothrix sp*. (ipliksi yeşil alg)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 90 mg/L ▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ İşlem süresi: 30 dak. ▪ 25˚C ▪ pH 7.9 ▪ 150 devir/dak.	86.1 mg/g	[169]
Yellow RL/*Rhizopus arrhizus* (ipliksi mantar çeşidi)	▪ Boyar madde konsantrasyonu: 100 mg/L ▪ Biyokütle: 1 g/L ▪ İşlem süresi: 24 sa. ▪ 25˚C ▪ pH 2 ▪ 100 devir/dak.	85.4 mg/g %85.4	[168]

Çizelge B-1 (devamı) Literartürde boyar madde gideriminde farklı biyosorbanlarla yapılmış benzer çalışmaların şartları ve sonuçları

Adsorbat/Adsorban	**Çalışma Şartları**	**Sonuç**	**Kaynak**
Remazol Ultra Red RGB/ İnaktif kefir taneleri	▪ pH 2 ▪ 25°C ▪ 2.4 g/L kefir tanesi, ▪ C_{BM}: 100 mg/L (max % giderim), C_{BM}: 400 mg/L (max. kapasite) ▪ t: 180 dak.	%56.36/ 50.47 mg/g	Bu çalışma
Remazol Navy RGB/ İnaktif kefir taneleri	▪ pH 2 ▪ 25°C ▪ 2.4 g/L kefir tanesi, ▪ C_{BM}: 100 mg/L (max % giderim), C_{BM}: 400 mg/L (max. kapasite) ▪ t: 180 dak.	%79.39/ 56.92 mg/g	Bu çalışma
Remazol Navy RGB/ Aktif kefir taneleri	▪ pH 2 ▪ 25°C ▪ 2.4 g/L kefir tanesi, ▪ C_{BM}: 100 mg/L (max % giderim), C_{BM}: 400 mg/L (max. kapasite) ▪ t: 180 dak.	%92.94/ 117.94 mg/g	Bu çalışma
Remazol Navy RGB/ Aktif kefir taneleri	▪ pH 2 ▪ 25°C ▪ 2.4 g/L kefir tanesi, ▪ C_{BM}: 100 mg/L (max % giderim), C_{BM}: 400 mg/L (max. kapasite) ▪ t: 180 dak.	%96.25/ 134.59 mg/g	Bu çalışma

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	: Ali Osman ERDOĞDULAR
Doğum Tarihi ve Yeri	: 06/09/1987
Yabancı Dili	: İngilizce
E-posta	: aliosmanerdogdular@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Lisans	Kimya Mühendisliği	Y.T.Ü.	2010
Lise	Fen-Matematik	Fenerbahçe Lisesi	2005