

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

**KATYONİK BOYARMADDE ATIKLARININ
BİTKİSEL ADSORBANLARLA GİDERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimyager Zehra KONUK

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Murat TEKER

Haziran 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

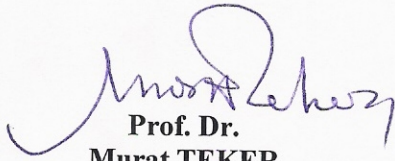
**KATYONİK BOYARMADDE ATIKLARININ
BİTKİSEL ADSORBANLARLA GİDERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

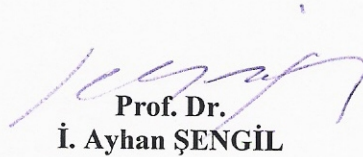
Kimyager Zehra KONUK

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

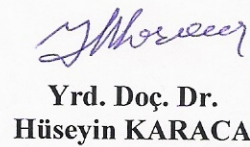
Bu tez 03 / 06 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Murat TEKER

Jüri Başkanı


Prof. Dr.
İ. Ayhan ŞENGİL

Üye


Yrd. Doç. Dr.
Hüseyin KARACA

Üye

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında her zaman yardımcı olan ve bilgilerinden istifade ettiğim değerli hocam Sayın Prof. Dr. Murat TEKER' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları esnasında desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KARACA' ya ve üniversite hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım tüm kimya bölümü hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Üniversite hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim, yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli hocam Kimya Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ali Osman AYDIN' a teşekkürü bir borç bilirim.

İstanbul Üniversitesi Alfred Heilbronn botanik bahçesi bahçe sorumlusu Yrd. Doç. Dr. Erdal ÜZEN' e ve tüm çalışanlarına ilgi ve yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Boyarmadde temini konusunda yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mahmut ÖZACAR' a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteğini esirgemeyen her türlü yardımda sonsuz fedakarlıkta bulunan tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Zehra KONUK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
BÖLÜM 2.	
ADSORPSİYON.....	3
2.1. Adsorplayıcının Özellikleri	3
2.2. Yüzeyin Adsorpsiyona Etkisi	4
2.3. Fiziksel Adsorpsiyon.....	4
2.4. Çözünmüş Maddelerin Solidler Tarafından Adsorpsiyonu	4
2.4.1. Yüzey gerilimdeki değişiklikten ileri gelen adsorpsiyon	4
2.4.2. Elektrostatik kuvvetlerden ileri gelen adsorpsiyon	5
2.5. Adsorpsiyon İzotermi.....	6
2.5.1. Freundlich izotermi.....	6
2.5.2. Langmuir izotermi	7
2.5.3. B.E.T izotermi.....	7
BÖLÜM 3.	
BOYARMADDE	9

3.1. Boyarmaddelerin Genel Özellikleri.....	9
3.1.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması.....	9
3.1.1.1. Boyarmaddelerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması.....	10
3.2. Tekstil Materyallerinin Boyanması	12
3.2.1. Kimyasal bağlar:.....	12
3.2.2. Hidrojen bağları	12
3.2.3. Van der waals kuvvetleri.....	13
3.3. Boyar Maddelerin Ticarete Bulunuşu	13
3.3.1. Firmanın verdiği ad veya marka.....	13
3.3.2. Boyarmaddenin rengini belirten sözcük.....	13
3.3.3. Tamamlayıcı harf ve işaretler.....	13
3.3.3.1. Rengin nüansını belirleyen harfler.....	13
3.3.3.2. Nüans şiddetini gösteren sayılar	14
3.3.3.3. Özel nitelikleri gösteren işaretler	14
3.3.4. Konsantrasyon.....	14
3.4. Boyarmadde Kullanımı ve Boyama.....	15
3.4.1. Bazik boyarmaddelerle boyama.....	15
3.4.2. Bazik boyarmaddelerin özellikleri.....	15
3.4.3. Reaktif boyarmaddelerle boyama.....	16
3.4.4. Doğal ve yapay selülozik elyafın reaktif boyarmaddelerle boyanması.....	17
3.4.5. Proten liflerinin reaktif boyarmaddelerle boyanması.....	18
3.4.6. Poliamid liflerinin reaktif boyarmaddelerle boyanması.....	18
3.4.7. Reaktif boyarmaddelerin özellikleri.....	18
3.5. Çalışılan Boyarmaddeler Hakkında Bilgi.....	19
3.5.1. Metilen mavisi.....	19
3.5.2. Malahit yeşili.....	19
3.5.3. Reaktif sarı 145.....	20
3.6. Atık Sulardan Boyarmadde Giderilmesi İçin Kullanılan Yöntemler	20
3.6.1 Kimyasal yöntemler.....	20
3.6.1.1. Oksidasyon.....	21
3.6.1.2. Kimyasal floklaştırma ve çöktürme yöntemi.....	23

3.6.1.3. Cucurbituril ile arıtım.....	23
3.6.2. Fiziksel yöntemler.....	24
3.6.2.1. Adsorpsiyon.....	24
3.6.2.2. Membran filtrasyonu.....	24
3.6.2.3. İyon değişimi.....	25
3.6.3. Biyolojik yöntemler.....	25
3.6.3.1. Aerobik yöntem.....	26
3.6.3.2. Anaerobik yöntem.....	26
3.6.3.3. Biyosorpsiyon.....	26
BÖLÜM 4.	
SU SÜMBÜLÜ BİTKİSİ.....	28
4.1. Boyama Atık Sularının Karakteristiği.....	32
4.2. Yapay Sulak Alanların Ekolojisi.....	34
4.2.1. Yapay sulak alanların ekolojisi.....	35
4.2.1.1. Bitkiler.....	36
4.2.1.2. Bitkisel biyosistemlere örnekler	38
4.2.3. Farklı bitkiler üzerinde boyarmadde adsorpsiyon kapasitesi.....	42
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL BÖLÜM.....	43
5.1. Kullanılan Cihaz ve Materyaller	43
5.1.1. Kullanılan cihazlar.....	43
5.1.1.1. UV spektrofotometresi.....	43
5.1.1.2. Çalkalayıcı.....	43
5.1.1.3. Hassas terazi.....	43
5.1.2. Kullanılan materyaller	43
5.1.2.1. Malahit yeşili.....	43
5.1.2.2. Metilen mavisi.....	44
5.1.2.3. Reaktif yellow	44
5.1.2.4. Su sümbülü.....	44
5.1.2.5. pH ayarı.....	45

5.2. Su Sümbülü Bitki Köklerinin Adsorpsiyona Hazırlanması	45
5.3. Deneysel alışmaların Yapılışı	45
5.3.1. Konsantrasyon ve sıcaklık ile adsorpsiyonun değişimi	51
5.3.1.1. Malahit yeşili bağlanması üzerine 293k'deki konsantrasyon değişiminin etkisi.....	51
5.3.1.2. Malahit yeşili bağlanması üzerine 313k'deki konsantrasyon değişiminin etkisi.....	52
5.3.1.3. Metilen mavisi bağlanması üzerine 293k'deki konsantrasyon değişiminin etkisi.....	52
5.3.1.4. Malahit yeşili bağlanması üzerine 313k'deki konsantrasyon değişiminin etkisi.....	52
5.3.1.5. Reaktif yellow 145 bağlanması üzerine 293k'deki konsantrasyon değişiminin etkisi.....	53
5.3.1.6. Reaktif yellow 145 bağlanması üzerine 313k'deki konsantrasyon değişiminin etkisi.....	53
5.3.2. Doz ile adsorpsiyonun değişimi	53
5.3.2.1. Malahit yeşili bağlanması üzerine doz etkisi.....	53
5.3.2.2. Metilen mavisi bağlanması üzerine doz etkisi.....	54
5.3.2.3. Reaktif yellow 145 bağlanması üzerine doz etkisi.....	54
5.3.3. Karıştırma hızı ile adsorpsiyonun değişimi	54
5.3.3.1. Malahit yeşili bağlanması üzerine karıştırma hız etkisi.....	55
5.3.3.2. Metilen mavisi bağlanması üzerine karıştırma hız etkisi	55
5.3.3.3. Reaktif yellow 145 bağlanması üzerine karıştırma hız etkisi.....	55
5.3.4. Karıştırma süresi ile adsorpsiyonun değişimi	55
5.3.4.1. Malahit yeşili bağlanması üzerine karıştırma süresinin etkisi.....	55
5.3.4.2. Metilen mavisi bağlanması üzerine karıştırma süresinin etkisi.....	55

5.3.4.3. Reaktif yellow 145 bağlanması üzerine karıştırma süresinin etkisi.....	56
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	57
6.1. Konsantrasyon ve Sıcaklık ile Adsorpsiyonun Değişimi	57
6.2. Doz ile Adsorpsiyonun Değişimi.....	70
6.3. Karıştırma Hızı ile Adsorpsiyonun Değişimi.....	74
6.4. Karıştırma Süresi ile Adsorpsiyonun Değişimi.....	76
BÖLÜM 7.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Co	:Çözeltinin başlangıç konsantrasyonu
Cs	:Çözeltideki son konsantrasyon
pH	:Çözeltideki hidrojen iyonu molar derişimin eksi logaritması derişimin eksi logaritması
UV	:Ultra Viyole ışın Spektrometrisi
B.E.T	:Brunauer, Emmett, Teller
°C	:Santigrad derece
cm ³	:Santimetre küp
dk	:Dakika
g	:Gram
K	:Kelvin
ppm	:Miligram/litre
rpm	:Devir/dakika

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1.	Su Sümbülü genel görünümü.....	28
Şekil4.2.	Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları.....	36
Şekil4.3.	Yapay sulak alanlarda bitki kök bölgesinde oluşabilecek etkileşimler	38
Şekil 5.1.	Malahit Yeşili standart eğrisi.....	46
Şekil 5.2.	Metilen Mavisi standart eğrisi.....	49
Şekil 5.3.	Reaktif Yellow 145 standart eğrisi.....	51
Şekil 6.1.	Malahit Yeşili %Adsorpsiyon - Co grafiği.....	58
Şekil 6.2.	Malahit Yeşili % Adsorpsiyon - Co grafiği.....	59
Şekil 6.3.	Metilen Mavisi %Adsorpsiyon - Co grafiği.....	60
Şekil 6.4.	Metilen Mavisi %Adsorpsiyon - Co grafiği.....	61
Şekil 6.5.	Reaktif Sarı 145 %Adsorpsiyon - Co grafiği.....	62
Şekil 6.6.	Reaktif Sarı 145 %Adsorpsiyon - Co grafiği.....	63
Şekil 6.6.1.	Reaktif Sarı 145 boyarmaddesinin Freundlich izoterminde Log Cs-Log (x/m) eğrisi.....	65
Şekil 6.6.2.	Reaktif Sarı 145 boyarmaddesinin Freundlich izoterminde Log Cs-Log (x/m) eğrisi.....	66
Şekil 6.6.3.	Reaktif Sarı 145 boyarmaddesinin Langmuir izoterminde Cs-Cs(x/m) grafiği.....	67
Şekil 6.6.4.	Reaktif Sarı 145 boyarmaddesinin Langmuir izoterminde Cs-Cs(x/m) grafiği.....	68
Şekil 6.7.	Malahit Yeşili %Adsorpsiyon-doz değişim grafiği.....	71
Şekil 6.8.	Metilen mavisi %Adsorpsiyon-doz değişim grafiği.....	72
Şekil 6.9.	Reaktif Sarı 145 %Adsorpsiyon-doz değişim grafiği.....	73
Şekil 6.10.	Malahit Yeşili Adsorpsiyon-karıştırma hızı değişim grafiği.....	75
Şekil 6.11.	Metilen mavisi Adsorpsiyon-karıştırma hızı değişim grafiği.....	76

Şekil 6.12.	Reaktif Sarı 145 % Adsorpsiyon-karıştırma hızı değişim grafiği...	76
Şekil 6.13.	Malahit Yeşili Adsorpsiyon-karıştırma süresi değişim grafiği.....	77
Şekil 6.14.	Metilen mavisi Adsorpsiyon-karıştırma süresi değişim grafiği.....	78
Şekil 6.15.	Reaktif Sarı 145 % Adsorpsiyon-karıştırma süresi değişim grafiği	79

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Boyahane atık sularının karakterizasyonu.....	32
Tablo 4.2.	Boyama prosesinde kullanılan yardımcı kimyasallar.....	33
Tablo 4.3.	Bitki tiplerinin sınıflandırılması.....	42
Tablo 4.4.	Bitkilerin boyarmadde adsorplaması yönünden sıralaması.....	42
Tablo5.1.	Malahit Yeşili standart çözeltisine ait değerler.....	46
Tablo 5.2.	Metilen Mavisi standart çözeltisine ait değerler.....	47
Tablo 5.3.	Reaktif Yellow 145 standart çözeltisine ait değerler.....	48
Tablo 6.1.	Malahit Yeşili 20 °C ‘de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi.....	55
Tablo 6.2.	Malahit Yeşili 40 °C ‘de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi.....	57
Tablo 6.3.	Metilen Mavisi 20 °C ‘de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi.....	59
Tablo 6.4.	Metilen mavisi 40 °C ‘de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi.....	60
Tablo 6.5.	Reaktif Sarı 145 20 °C ‘de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi.....	61
Tablo 6.6.	Reaktif Sarı 145 40 °C ‘de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi.....	62
Tablo 6.6.1.	293 K ‘de Freundlich izotermi verileri.....	64
Tablo 6.6.2.	313 K ‘de Reaktif Sarı 145 Freundlich izotermi verileri.....	65
Tablo 6.6.3.	Reaktif Sarı 145 293 K’ de Langmuir izoterm verileri.....	67
Tablo 6.6.4.	Reaktif Sarı 145 313 K’ de Langmuir izoterm verileri.....	68
Tablo 6.6.5.	Reaktif Sarı 145 Freundlich İzoterm Verileri	69
Tablo 6.6.6.	Reaktif Sarı 145 Langmuir İzoterm Verileri.....	70
Tablo 6.7.	Malahit Yeşili Adsorpsiyonun doz ile değişimi.....	71

Tablo 6.8.	Metilen Mavisi Adsorpsiyonun doz ile değişimi	72
Tablo 6.9.	Reaktif Sarı 145 Adsorpsiyonun doz ile değişimi	73
Tablo 6.10.	Malahit Yeşili Adsorpsiyonunun karıştırma hızı ile değişimi...	74
Tablo 6.11.	Metilen Mavisi Adsorpsiyonunun karıştırma hızı ile değişimi..	75
Tablo 6.12.	Reaktif Sarı 145 Adsorpsiyonunun karıştırma hızı ile değişimi	76
Tablo 6.13.	Malahit Yeşili Adsorpsiyonunun karıştırma süresi ile değişimi	77
Tablo 6.14.	Metilen Mavisi Adsorpsiyonunun karıştırma süresi ile değişimi.....	78
Tablo 6.15.	Reaktif Sarı 145 Adsorpsiyonunun karıştırma süresi ile değişimi.....	79

ÖZET

Anahtar kelimeler: Katyonik boyarmaddelerin sulu çözeltilerden giderilmesi, adsorpsiyon, su sümbülü.

Boyarmadde çözeltisinden katyonik, reaktif boyarmaddelerin su sümbülü bitki kökü tarafından adsorpsiyonla uzaklaştırılmasında pH, konsantrasyon ve sıcaklık, adsorban dozu, karıştırma süresi, karıştırma hızı değişiminin etkisi araştırıldı.

Malahit yeşili, metilen mavisi, reaktif sarı 145 için uygun adsorpsiyon şartları olarak sırasıyla ; pH= 9-10, pH= 9-10, pH= 5-6, konsantrasyon=2 ppm, 2 ppm, 5 ppm, doz= 0,2 g. karıştırma süresi= 30 dk., karıştırma hızı = 250 rpm olduğu belirlendi.

Konsantrasyon ve sıcaklıkla ilgili deneysel çalışmaların sonuçları Langmuir ve Freundlich izoterm eşitliklerine uygulandı. Freundlich izoterm sabitleri 293 K ve 318 K olmak üzere iki sıcaklıkta hesaplandı. Katyonik boyarmaddeler Freundlich izoterminden, adsorpsiyonun 293 K sıcaklığının lehine olduğu tespit edildi. Aynı zamanda reaktif sarı 145'in Langmuir ve Freundlich izotermine uygun olduğu görüldü.

REMOVAL OF CATIONIC DYE WASTES WITH VEGETABLE SORBENTS

SUMMARY

Keywords: removal of cationic dyes from aqueous solutions, adsorption, water hyacinth.

The effects of pH, concentration, temperature, adsorbent dosage, contact time and shaking rate to adsorption of cationic and reactive dyes in the dye solution by water hyacinth were investigated.

The optimum adsorption conditions of malachite green, methylene blue, reactive yellow 145 were determined as respectively 9-10, 9-10, 5-6 of pH, 2ppm, 2ppm, 5ppm of concentration, 0.2 g of water hyacinth dosage, 30 minute of contact time and 250rpm of shaking rate.

The results of experimental studies concerning concentration and heat were applied to Langmuir and Freundlich isotherm equations. Freundlich isotherm constants were calculated at 293 K and 313 K. Taking Freundlich isotherm into consideration, adsorption was determined to be in favour of 293 K; nevertheless, reactive yellow 145 was found to be appropriate for Langmuir and Freundlich.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Tekstil endüstrisinde boyarmadde atıklarının yeryüzündeki olumsuz etkilerinin giderek artmakta olmasından dolayı su kirliliği kontrolü büyük önem kazanmıştır. Alıcı su kaynaklarına verilen boyarmaddeler organik yük olarak bu kirliliğin bir kısmını oluşturmaktadır; ancak alıcı ortamda çok düşük konsantrasyonlarda boyarmadde bulunması bile hem estetik açıdan hem de sağlık açısından istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle boyarmadde içeren tekstil endüstrisi atık sularından renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır [1,2,3].

Günümüzde boyarmaddelerin giderimi büyük oranda fiziksel ve kimyasal yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemlerin maliyeti oldukça yüksektir ve ortaya çıkan büyük miktardaki konsantre çamurun bertarafı problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle büyük hacimli atık sulardaki boyarmaddelerin etkili ve ekonomik bir şekilde giderilebilmesi için biyolojik sistemler gibi alternatif yöntemlere gereksinim vardır. Tekstil endüstrileri, yaş dokuma prosesleri için çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atık suların özellikleri de farklı olmaktadır [4,5,6,7]. Alıcı sulara verilen renkli atık sular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler.

Ayrıca boyarmaddelerin birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda boyarmadde içeren tekstil endüstrisi atık sularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Ancak kompleks kimyasal yapılarına ve sentetik kökenlerine bağlı olarak, boyarmaddelerin giderilmesi oldukça zor bir işlemdir. Yaptığımız çalışmanın dünya ekonomisine katkıda bulunacağı ve yeryüzünün yaşanabilir olabilmesi açısından faydalı olabileceği söylenebilir.

BÖLÜM 2. ADSORPSİYON

Yoğunlaşabilen gazların bir katı yüzey tarafından tutulduğu, uzun zamandan beri bilinmekteydi. 1777'de Fontana kalsine edilmiş odun kömürünün çeşitli gazları kendi hacminin birkaç katı kadar miktarı adsorpladığını ifade etmiştir. Aynı yıllarda Sheele odun kömürünün ısıtıldığında havayı açığa çıkardığını ve soğutulduğunda tekrar adsorplandığını deneysel olarak kaydetmiştir.

1814 yılında SAUSSURE bir gazdan diğerine, odun kömüründen diğer bir katıya kadar değişen tutma olaylarında, katının bir adsorpsiyon gücü ve bununda katının açıktaki yüzey alanına bağlı olduğunu ifade ederek, 1843' de Mitescherlich tarafından odun kömürünün adsorpsiyonunda gözeneklerinin büyük olduğunu kesin bir şekilde açıklamasına yardımcı olmuştur. Yüzey alanı ve gözeneklilik (gözenek hacmi) sadece odun kömüründe değil, diğer katılarında dahil olduğu geniş bir aralıkta adsorpsiyon olduğunu ifade eder [8,9].

Adsorpsiyon terimi 1881' de Kayser tarafından kullanılmış ve serbest yüzeylerde gazların yoğunlaşması şeklinde ifade etmiştir. 1909 yılında ise Mc Bain adsorpsiyon ve absorpsiyon terimini içine alan "Sorpsiyon" ifadesini kullanmıştır [8,10]. Adsorpsiyon olayı ile absorpsiyon olayı birbirine karıştırılmamalıdır, absorpsiyon olayında, absorblanan madde absorblayıcı maddenin içine doğru yayılır, adsorpsiyonda ise sınır yüzeyinde bir birikme olur. Yüzeyde tutulan bu maddenin uygun koşullarda tekrar serbest hale geçmesine Desorpsiyon denir.

Bir solidin ya da bir likidin sınır yüzeyindeki konsantrasyon değişmesi olayına Adsorpsiyon denir. Konsantrasyonun artması halinde pozitif adsorpsiyon, azalışı halinde ise desorpsiyon olayı meydana gelir [8,11]. Adsorpsiyon olayı maddenin sınır yüzeyinde moleküller arasındaki kuvvetlerin denkleşmemiş olmasından ileri

gelir. Yüzeyde derişimi artmış olan cisme adsorplanmış madde (adsorbat), yüzeyde tutan maddeye ise adsorplayıcı madde (adsorban) isimleri verilir.

Katı yüzeyindeki adsorpsiyonda katının gözenekli olması ara yüzeyi arttıracğından, adsorpsiyon olayı gözenekli katılarda gözenekli olmayanlara oranla çok büyüktür [8,12].

Adsorpsiyon doğadaki iyonik filtrasyon mekanizmaları içinde geniş bir alanda hareket eden ve işlevini yerine getirerek doğanın oto kontrolüne yardımcı olan son derece önemli bir yöntemdir [8,13].

2.1. Adsorplayıcının Özellikleri

Adsorplayıcının ön önemli karakteristiğı onun gözenekliliğidir. Gözenekliliğı, gözeneklerin toplam hacminin dispers sisteminin toplam hacmine oranı olarak verilir. Ancak burada, gözeneklilik kavramı adsorbanın gözenekli olmasını gerektirmez. Gözenekli olmayan partiküller arası boşluklar gözenekliliktir. Partikül boyutuna bağılı olarak yapı makro ya da mikro gözenekli olarak kabul edilir. Gözenek genişliliğı 20 \AA altında olanlar mikro gözenekli $20 - 200 \text{ \AA}$ arasındakiler orta gözenekli, 200 \AA üstünde olanlar makro gözenekli kabul edilir. Gözenekli olamayan partiküllerden meydana gelen adsorban olarak karbon siyahı, kolloidal silika, oksitlerin ve tuzların mikro kristallerinin tanesi (TiO_2 ve BaSO_4 gibi) silikajel, aliminajel, aktif karbon, gözenekli camlar ve zeolitlerdir [8,10].

2.2. Yüzeyin Adsorpsiyona Etkisi

Çok dikkatli bir şekilde temizlenen yüzeyler bile mikroskobik bir hassasiyetle düzgün değıllerdir, bu değışen bölge civarında girinti ve çıkıntılar ile düzensizlik gösterirler. Bu düzensiz bölgeler yüzey kuvvetlerinin dengelenmemiş olmasından dolayı kısmen hassastırlar. Bu bölgelerde katıların yüzey atomları, gaz ya da likit faz etrafındaki moleküller veya atomlarla etkileşebilirler. Aynı şekilde saf kristallerin yüzeylerindeki etki alanları, kristaldeki atomik yapı nedeniyle düzensizdir. Böyle yüzeylerdeki yerler veya aktif merkezler adsorpsiyonu arttırmaktadır [8,13,14].

2.3. Fiziksel Adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyonda adsorplanmış moleküllerin adsorban yüzeyine bağlı tutan kuvvetler, gaz molekülleri arasında var olan Van der Waals kuvvetleri cinsindedir. Seçimliliği azdır ve katının bütün yüzeyini ilgilendirir, adsorpsiyon dengesi iki yönlüdür ve çabuktur [15].

Fiziksel adsorpsiyon solidlerin Aktivasyon enerjisinde büyük miktarda azalmalar mümkün olmadığından dolayı moleküller arası tepkimelerde, katıların katalitik aktiviteleriyle açıklanamaz [8,16].

Yüzey atomlarının tepkimesi ve oluşan serbest radikaller, küçük aktivasyon enerjisine sahiptir ve fiziksel adsorpsiyon burada rol oynayabilir [8,17].

Fiziksel adsorpsiyonda adsorpsiyon ısısı 10 kcal veya daha azdır [8,18]. Gazlarda ise sıvılaşma ısısı mertebesindedir [8,19].

2.4. Çözünmüş Maddelerin Solidler Tarafından Adsorpsiyonu

Çözünmüş maddelerin adsorpsiyonu iki şekilde olur.

2.4.1. Yüzey gerilimdeki değişiklikten ileri gelen adsorpsiyon

Çözünmüş maddelerin çözelti yüzeyinde ve çözelti içindeki dağılımları farklıdır. W.Gibbs' e göre; yüzey gerilimi azaltan cisimlerin sınır yüzeyindeki konsantrasyonları likid içindekinden daha fazladır ve yüzey gerilimi artırılan cisimler için ise daha azdır. Birinci durumda adsorpsiyon pozitifdir [8,20].

Bir cisim, yüksek gerilimli bir çözücüde, düşük yüzey gerilimli bir çözücüye oranla daha kuvvetli adsorplanır. Adsorplanmış bir cismin, kendisine oranla daha kuvvetle adsorplanan bir başka cisim tarafından adsorban yüzeyinden alınabilir [8,9,18].

Gibbs'e göre;

$$S = -\frac{C}{RT} \frac{d\gamma}{dC}$$

denklemleri verilmiştir. Adsorbanın birim kütlesi tarafından adsorplanan madde miktarı çözülmüş maddenin konsantrasyonuna bağlıdır. Adsorban doyduğunda adsorpsiyon durur. Adsorpsiyon kimyasala değişiminin olmadığı olaylarda iki yönlüdür. Adsorpsiyon izotermi ise, gaz adsorpsiyonunkine benzer ve izoterm bağıntıları yaklaşık kullanılabilir, ancak gazın kısmi basıncı yerine çözülmüş maddenin konsantrasyonu yer alır; çözeltilerden adsorpsiyonda, Freundlich ve Langmuir izotermi başarılı sonuçlar vermektedir [8,21]. Freundlich denklemi,

$$\frac{x}{m} = kC^n$$

bağıntısı ile ifade edilmiştir. Langmuir denklemi ise;

$$\frac{C_s}{x/m} = \frac{1}{KX_m} + \frac{C_s}{X_m}$$

Bağıntısı ile ifade edilmiştir.

Çözeltilerde Freundlich izotermi, Langmuir izoterm eşitliğinden daha iyi sonuç verir [8,21]. Freundlich eşitliğinde log x/m ile log C arasında çizilen grafikten ortaya çıkan doğrunun eğimi 1/n, ordinatı kestiği noktada k sabitini verir [8,20].

2.4.2. Elektrostatik kuvvetlerden ileri gelen adsorpsiyon

Farklı kimyasal yapıya sahip iki faz birbiriyle temasta bulunursa iki faz arasında bir elektriksel potansiyel farkı meydana gelir. Bu fark, ara yüzeyin bir tarafını pozitif diğer tarafına diğer tarafına negatif yükleyerek yük ayırması yapar. Eğer fazın birisi

solid diğeri bir elektrolit çözeltide ise bir çok yapıda çift tabaka oluşabilir. Solid yüzeyin pozitif yüklendiği varsayılsa elektrolit çözelti negatif yüke sahip olur. İlk olasılık olarak, negatif yük solid yüzeyden kısa bir δ uzaklığında yer alır. İkinci bir olasılık ise δ uzaklığında negatif yüklü sabit tabakadır. Bu solid yüzeyindeki pozitif yük ile yeterli derecede dengede değildir ve geriye kalan negatif yük difüzyon ile dağılır. Bu şekilde çift tabakanın difüzyon kısmına “Gouy tabakası” denir. Sabit ve difüzyon tabakalar birlikte “Stern çift tabakası” ismini alır.

Çözelti içinde iyonlarla solid yüzey arasındaki çekim kuvveti çift tabakanın özel şekilde yapısını tayin eder. Eğer negatif iyonlar, pozitif solid üzerine özel bir şekilde adsorbe olmamışsa çift tabaka tamamı ile difüzyonlanır.

Birçok solid su ile temas getirildiğinde bir elektrik yük kazanırlar [8,11].

2.5. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorban tarafından sabit sıcaklıkta adsorplanan madde miktarı ile denge basıncı veya konsantrasyonu arasındaki bağıntıya adsorpsiyon izotermi adı verilir [12,14,15]. Adsorpsiyon izotermilerinin en çok kullanılan matematiksel ifadeleri; Freundlich izotermi, Langmuir izotermi ile Brunauer, Emmet ve Teller (B.E.T.) izotermidir. Bu izotermi gaz adsorpsiyonu için çıkartılmıştır. Çözeltilere uygulandığında ifadelerdeki basınç, konsantrasyon (yada aktivite) ile değiştirilir [8,11,17].

2.5.1. Freundlich izotermi

Freundlich izotermilerinde belli miktarda adsorban tarafından adsorplanan gaz miktarı, basınçla hızla artar ve daha sonra katı yüzeyinin gaz molekülleriyle doyması ile daha yavaş bir artış gösterir. Bu değişimi göstermek için şu bağıntı önerilmiştir [8,11].

$$\frac{x}{m} = k.p^{\frac{1}{n}}$$

2.5.2. Langmuir izotermi

Birçok hallerde ve özellikle bir kimyasal adsorpsiyonda bir doymuşluğa varılır. x/m oranı bir limite erişir ki, bu tüm katı yüzeyini kaplayan adsorplanmış gazın bir monomoleküler tabaka oluşturmasına karşılıktır. Oysa Freundlich ifadesi bu sonucu açıklayamaz. Bunun için Irving Langmuir, teorik düşüncelerden hareket ederek, şu bağıntıyı bulmuştur [8,11].

$$\frac{C_s}{x/m} = \frac{1}{x_m \cdot K} + \frac{C_s}{x_m}$$

2.5.3. B.E.T izotermi

Şu varsayımlar kabul edilmektedir;

- I. Katının yüzeyi monomoleküler bir tabaka tarafından kaplanmadan önce bir takım multimoleküler tabakalar oluşur.
- II. Adsorpsiyon dengesi gerçekleştiğinde tabakalardan her biri için bir denge hali meydana gelir.
- III. Birinci tabaka dışında, bağ enerjisinin sorumlu kuvvetleri gazın sıvılaştırmadaki sorumlu kuvvetlerin aynısıdır.

Brunauer, Emmett ve Teller bu varsayımlardan hareket ederek aşağıdaki bağıntıyı bulmuşlardır.

$$V = V_m \cdot \frac{c \cdot P}{(P - P_0) \left[1 + (c - 1) \cdot \frac{P}{P_0} \right]}$$

Bağıntıda V , P basıncında ve T sıcaklığında adsorplanmış olan gazın standart koşullara göre hesaplanmış hacmi; P_0 , T sıcaklığında adsorplanmış cismin doymuş

buhar basıncını; V_m , yüzey unimoleküler tabaka tarafından kaplandığında adsorplanmış gaz hacminin standart koşullardaki değeri(mono tabaka kapasitesi); c de verilen herhangi bir sıcaklıktaki sabit olup yaklaşık olarak şöyledir [8,11].

$$c = e^{[E_1 - E_2]/RT}$$

BÖLÜM 3. BOYARMADDE

Bir tekstil malzemesinin kalıcı olarak renklendirilmesine boyama, renklendiren maddelere ise boyarmadde denilir. Boyarmadde çözeltisi içindeki tekstil malzemesine boyarmaddelerin göçü sonucu boyama gerçekleşir. İnsanlar doğal elyaf olan yünü vb. tekstil malzemelerini tarihin ilk çağlarından bu yana boyamaktadırlar. Kullanılan boyarmaddeler ise bitkilerden, hayvanlardan ve topraktan elde edilmektedir. Bilinen en eski boyarmaddeler indigofera bitkilerin edilen indigo rubai tinotoium'dan elde edilen alizarin , bir tür topraktan elde edilen krom sarısı (PbCrO) schweifurt yeşili (Cu) zencefre (HgS) vs. dir [22,23].

1856 yılında Perkin'in ilk sentetik boyarmadde olan Movein sentezlemesiyle sentetik boyarmaddelerin üretimi başladı ve büyük hızla arttı. Böylece doğal boyarmaddelerin kullanılması büyük ölçüde azalmaya başladı. Kök boyanın temel boyarmaddesi olan alizarin 1868 yılında Grabe ve Lieberman tarafından sentezlendi. Günümüzde sentetik boyarmaddeler yoğun olarak kullanılmakla beraber halı, kilim ve yazma gibi el sanatlarında doğal boyarmaddeler hala uygulama alanı bulmaktadır [22].

3.1.Boyarmaddelerin Genel Özellikleri

3.1.1. Boyarmaddelerin sınıflandırılması

Boyarmaddeler birçok şekilde sınıflandırılabilir. Sınıflandırmaları çözünürlüklerine, kimyasal yapı, boyama özelliklerine, kullanılış yerleri gibi çeşitli karakteristikler göz önüne alınabilir [23,24].

3.1.1.1. Boyarmaddelerin çözünlüklerine göre sınıflandırılması

- Suda çözünen boyarmaddeler

Boyarmadde molekülü en az bir tane tuz oluşturabilen grup taşır. Boyarmaddenin sentezi sırasında kullanılan başlangıç maddeleri suda çözüdürücü grup içermiyorsa, bu grubu boyarmadde molekülüne sonradan eklemek suretiyle çözünlüğü sağlanabilir. Ancak tercih edilen yöntem, boyarmadde sentezinde başlangıç maddelerinin iyonik grup içermesidir. Suda çözünebilir boyarmaddeler tuz teşkil edebilen grubun karakterine göre üçe ayrılır [23,24].

- Anyonik suda çözünen boyarmaddeler

Suda çözünebilir grup olarak en çok sülfonik (-SO⁻) kısmen de karboksilik (-C) asitlerin sodyum tuzlarını içerirler. (-SO⁻ Na ve -COONa) Renk anyonunun mezomerisinde ileri gelir. Boyama özelliklerine göre sınıflandırma yönteminde göreceğimiz asit ve direkt boyarmaddeler bu tipin örnekleridir [23,24].

- Katyonik suda çözünen boyarmaddeler

Moleküldeki çözünlüğü sağlayan grup olarak bir bazik grup (örneğin; -NH asitlerle tuz teşkil etmiş halde bulunur. Asit olarak anorganik asitler (HCl) veya (COOH) gibi organik asitler kullanılır [23,24].

- Zwitter iyon karakterli boyarmaddeler

Bunların molekülünde hem asidik hem de bazik gruplar bulunur ve bir iç tuz oluştururlar. Boyama sırasında bazik veya nötral ortamda anyonik boyarmadde gibi davranış gösterirler [23,24].

- Suda çözünmeyen boyarmaddeler

Tekstil ve diğer alanlarda kullanılan suda çözünmeyen boyarmaddeleri çeşitli gruplara ayırmak mümkündür [23,24].

- Substratta çözünen boyarmaddeler

Suda çok ince süspansiyonları halinde dağıtılarak, özellikle sentetik elyaf üzerine uygulanan dispersiyon boyarmaddeleri bu sınıfa girer [23,24].

- Organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler

Bu sınıfta olan boyarmaddeler her çeşit organik çözücülerde çözünürler. Solvent boyarmaddeleri de denilen bu organik boyarmaddeler lak halinde de uygulanabilir. Matbaa mürekkebi, vaks ve petrol ürünlerinin renklendirilmesinde kullanılır [23,24].

- Geçici çözünürlüğü olan boyarmaddeler

Çeşitli indirgeme maddeleri ile suda çözünebilir hale getirildikten sonra elyafa uygulanabilir. Daha sonra elyaf içinde iken yeniden yükseltgenerek suda çözünemez hale getirilirler Küpe ve kürt boyarmaddeleri bu prensibe göre uygulanırlar [23,24].

- Polikondensasyon boyarmaddeler

Son yıllarda geliştirilen ve elyaf maddelerine uygulanırken veya uygulandıktan sonra birbiri ile veya başka moleküllerle kondense olarak büyük moleküller oluşturan boyarmaddelerdir. Bunlardan Inthion boyarmaddeleri elyaf üzerinde sodyum sülfür ile polimer yapıda disülfürleri oluştururlar [23,24].

- Elyaf içinde oluşturulan boyarmaddeler

İki ayrı elyaf içinde kimyasal bir reaksiyonla oluşturulan boyarmaddeler bu sınıfa girerler. Bunlar suda çözünmeyen pigmentlerdir. Azoik boyarmaddeler ve

ftalosiyaninler bu sınıfa girer [23,24].

- Prigmentler

Elyafa ve diğ er substratlara karşı affinitesi yüksektir [23,24].

3.2. Tekstil Materyallerinin Boyanması

Amorf bölgelere yerleşen boyarmadde molekülleri ile elyafı oluşturan polimer , aşağıda aıklanđıđı Şekilde bağlarla bağlanırlar:

3.2.1. Kimyasal bağlar:

Elyaf boyarmadde molekülleri arasında oluşan en kuvvetli bağlardır. Kovalent , koordinasyon kovalent ve iyonik bağlar olmak üzere   tip bağlanma söz konusudur. Reaktif boyarmaddeler, selülozik ve protein elyaf ile kovalent bağlarla bağlanırlar. Asit ve bazik boyarmaddeler protein ve akrilik elyafa iyonik bağlarla bağlanır. Metal kompleks boyarmaddelerin bir kısmının protein liflerine bağlanmasında koordinasyon kovalent bağlar söz konusudur [23,24].

3.2.2. Hidrojen bağları

Molek l n yapısında oksijen , flour , klor veya azot gibi bir elektronegatif atoma kovalent bağla bağlı bir hidrojen atomu bulunursa, elektronegativiteden dolayı bu kovalent bağ polarlaşır, hidrojen atomunda pozitifleşme görülür. Bu hidrojen atomu ile aynı veya başka molekuldeki bir başka elektronegatif atom arasında polariteden dolayı bir çekim kuvveti meydana delir. Bu Şekilde oluşan çekim kuvvetlerine H-bağı denir. Boyarmaddeler ve elyaf polimerlerinin yapısında bu tür gruplar bulunduğundan elyaf boyarmadde arasında H-bağlarının oluşması da söz konusudur. Direkt, k p, kükürt boyarmaddelerin selülozik elyaf ile yapmış oldukları bağlar hidrojen bağlarıdır.

3.2.3. Van der waals kuvvetleri

Bu bağlar molekül polaritenin sonucu olarak meydana gelerek molekülleri bir arada tutar. Direkt boyarmaddeler , küp, kükürt, boyarmaddeler gidi boyarmaddelerin elyafa bağlanmasında etkilidir.

3.3. Boyar Maddelerin Ticarete Bulunuşu

3.3.1. Firmanın verdiği ad veya marka:

Bu markalar , bazen firmanın adını, bazen boyar madde sınıfını belirleyecek şekilde seçilir. Örneğin, Basacryl, Synacryl gibi markalar akrilik elyaf boyar maddesi olduğunu, Reactone gibi markalarda reaktif boyar madde olduğunu gösterir [3].

3.3.2. Boyarmaddenin rengini belirten sözcük:

boyarmaddenin rengini belirleyen sözcük genellikle firmanın ait olduğu memleketin dilinde verilir. Almanya da üretilen Basacryl Blau, Türkiye de üretilen Tarasid Sarı gibi.

3.3.3. Tamamlayıcı harf ve işaretler:

3.3.3.1. Rengin nüansını belirleyen harfler

Bilindiği gibi renklerin çeşitli nüansları vardır. Absorblanan ışığın dalga boyuna bağlı olarak; örneğin sarı renk, bazen yeşile bazen de kırmızıya kaçabilir. Rengin bu nüansları boyarmaddenin rengini belirleyen sözcüğün ardına konan bazı harflerle belirlenir.

Mavi R: mavi rengin kırmızı nüanslı olduğunu,

Sarı G: sarının yeşil nüanslı olduğunu ,

Mavi G: mavi rengin yeşil nüanslı olduğunu,

Sarı R: sarının kırmızı nüanslı olduğunu ,

Kırmızı B: kırmızının mavi nüanslı olduğunu,
 Kırmızı G: kırmızının sarı nüanslı olduğunu
 Yeşil B: yeşilin mavi nüanslı olduğunu,
 Yeşil G: sarının yeşil nüanslı olduğunu gösterir.
 Örneğin : Remazol Red B(mavi nüanslı kırmızı)

3.3.3.2. Nüans şiddetini gösteren sayılar :

Aynı türdeki boyarmaddelerin aynı nüanstaki farklı boyarmaddelerinin ayırt etmek için nüans şiddetlerinin farklarından yararlanılır. Nüansın şiddeti arttıkça nüansı belirleyen harfin önündeki sayıda artar. Örneğin , kırmızı renkli boyar maddelerin nüans şiddetleri farkları şöyle gösterilebilir [3].

Procion Red B
 Procion Red 3B
 Procion Red 5B
 Procion Red 8B

3.3.3.3. Özel nitelikleri gösteren işaretler :

Bu sınıftaki işaretlerin her firma için değişik anlam ve işaretleri varsa da bazılarının genel anlamları vardır. Örneğin L: ışık haslığının yüksek olduğunu , LL : ışık haslığının çok yüksek olduğunu , F : ince öğütülmüş olduğunu , P: baskıda kullanılabilen boyar madde olduğunu, E: çektirme yöntemiyle boyamaya uygun olduğunu gösterebilir [3].

3.3.4. Konsantrasyon

Boyar maddeler, üretici firmalar tarafından içine dolgu maddeleri katılarak piyasaya verilir. Bu işlem belli bir standardı tutturmak için yapılır. Boyar maddeye, ilave edilecek dolgu maddeleri boyamaya etki etmeyecek yapıda olmalıdır. Bunlar sodyum klorür, sodyum sülfat veya dekstrin gibi maddelerdir. Üretici firma bu dolgu maddelerini belli miktarlarda ilave ederek bir standart tutturur. Boyama reçetelerini

de bu standarda göre verir. Standart boyar maddelerin konsantrasyonu, %100 olarak kabul edilir [3].

3.4. Boyarmadde Kullanımı ve Boyama

3.4.1. Bazik boyarmaddelerle boyama;

Çözelti içinde molekülünün renkli kısmı pozitif yüklü iyon haline geçtiği için bu boyar maddelere katyonik boyarmaddeler de denilir. İlk sentez edildiklerinde yün ve ipeği boyamak için kullanılmış; fakat düşük haslıkları nedeniyle terk edilmiştir.

Akrilik liflerin ortaya çıkması ile bazik boyarmaddelerde önem kazanmıştır. Bu lifler için boyama ve baskıda bugün yalnız bazik boyar maddeler kullanılmaktadır.

Bazik boyarmaddeler , renkli kısmı pozitif yüklü olan tek boyarmadde sınıfıdır. Bu boyarmaddelerde anyon olarak klor iyonu bulunur. Bu anyon boyarmaddenin suda çözünebilmesine yardım eder .

Bazik boyarmaddeler akrilik liflerine zayıf asidik ortamda uygulanırlar. Bunların akrilik liflere karşı substantivileri yüksektir ve dar bir temperatür sınırı içinde boya çekimi iyidir. Düzgün (egal) boyama özelliğinin zayıf oluşundan dolayı, abraş boyamayı önlemek için boyama sırasında dikkatli olunmalıdır. Bu da retarder (geciktirici) kullanımı ve boyama sırasında sıcaklık ayarı ile yapılabilir.

Bazik boyarmaddenin renkli kısmı katyon şeklindedir. Boyarmadde katyonu lifin negatif yüklü olan yüzeyine absorblanır. Böylece lifin negatif yükü nötralleştirilir [3, 22,23].

3.4.2. Bazik Boyarmaddelerin Özellikleri

1. Işık Haslığı: Bazik boyarmadde ile boyanmış veya baskı yapılmış akrilik materyalde ışık haslığı mükemmeldir. Bunların renk haslıkları 6-7 arasındadır. Bu yüksek haslık değerleri akrilik liflerinin suyu az miktarda absorblayabilen hidrofob

yapılarından ve güneş ışığına karşı dayanıklı olmasından ileri gelir. Bu iki faktör, boyarmadde molekülü üzerine güneş ışınlarının etkisini minimuma indirir.

2.Yıkama haslığı : Bazik boyarmaddelerin yıkama haslıkları 4-5 değerindedir. Bu yüksek değerler, akrilik liflerinin bazik boyarmaddelere karşı substantivitesini yüksek oluşu ve polimer sistemin hidrofobik yapısında ileri gelir. Bazik boyar maddeler parlak ve şiddetli renk tonları ile karakterize edilirler.

3.4.3. Reaktif Boyarmaddelerle Boyama

Reaktif boyarmaddeler, elyafı oluşturan polimer molekül ile tam bir kimyasal reaksiyon vererek kovalent bağ ile bağlanan boyarmaddelerdir. Bu boyarmaddeler, doğal ve yapay selülozik lifler ile, doğal protein ve poliamid liflerini boyamakta kullanılır.

Reaktif boyarmaddelerin molekül yapılarında 4 ayrı grup vardır.

- Moleküle renk veren grup (C); genellikle azo ve antrakinon yapısındadır. Asid, direkt ve dispers boyarmaddelerdeki yapıya benzer.
- Moleküle çözünürlük veren grup(S): bu grup çoğunlukla bir veya birkaç sülfon grubudur. Suda çözünebilme özelliği kazandırır.
- Bağ grubu (B): boyarmaddenin kimyasal reaksiyonu sağlayan reaktif grup ile boyarmaddenin renkli kısmı arasında bir köprü görevi gören gruplardır. Sülfonamid , amid vb. yapıda olan bu gruplar, aynı zamanda reaktif grubun reaktivitesini arttırıcı bir rol de oynar.
- Reaktif grup (R): elyaf polimeri ile boyarmadde molekülünün kimyasal olarak bağlanmasını sağlayan gruptur. Yapı bakımından birçok reaktif grup kullanılmasına rağmen bugün için önemli olan üç sınıf sayılabilir.

1. Triazinil grubu içeren boyarmaddeler
2. Vinil-sülfon grubu içeren boyarmaddeler
3. Bu iki grubu aynı boyarmadde molekülünde taşıyarak bifonksiyonel grup içeren boyarmaddeler.

3.4.4. Doğal ve yapay selülozik elyafın reaktif boyarmaddelerle boyanması

Reaktif boyarmaddenin elyafa emdirilmesi direkt boyarmaddelerde yapılan işleme benzer. Bir elektrolit (sodyum klorür veya sodyum sülfat) beraberliğinde reaktif boyarmadde içeren banyoda, materyal reçetede verilen sıcaklık derecesinde bekletilir. Bu işlemle boyarmadde substantif olarak elyaf içlerindeki amorf bölgelere yerleşir. Bundan sonraki işlem boyarmadde ile elyaf polimerini kimyasal reaksiyona sokarak birleştirmektir [3, 22,23].

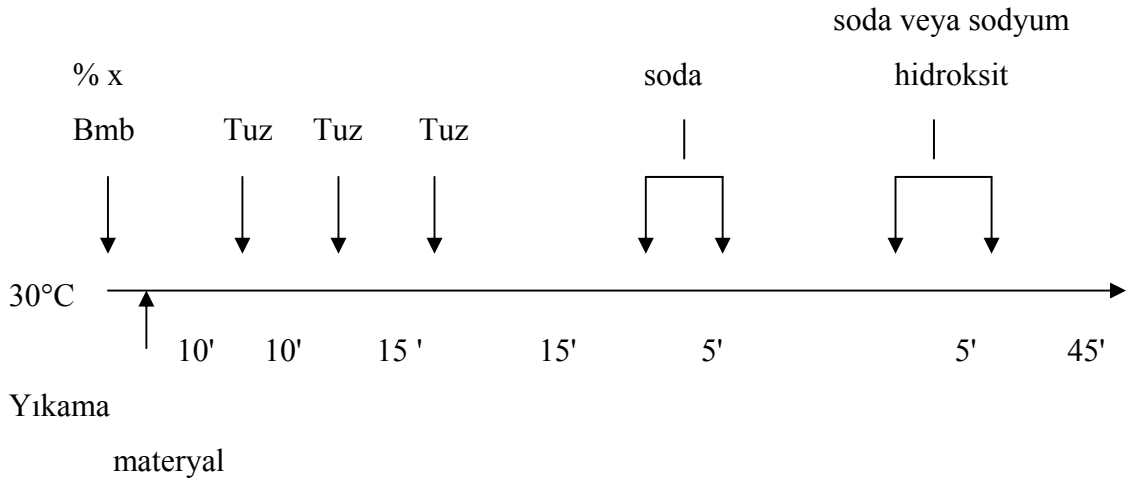
Soğukta boyama yöntemi:

Boyama reçetesi:

% x boyarmadde

25-55g/l tuz

2-10g/l soda veya sodyum hidroksit



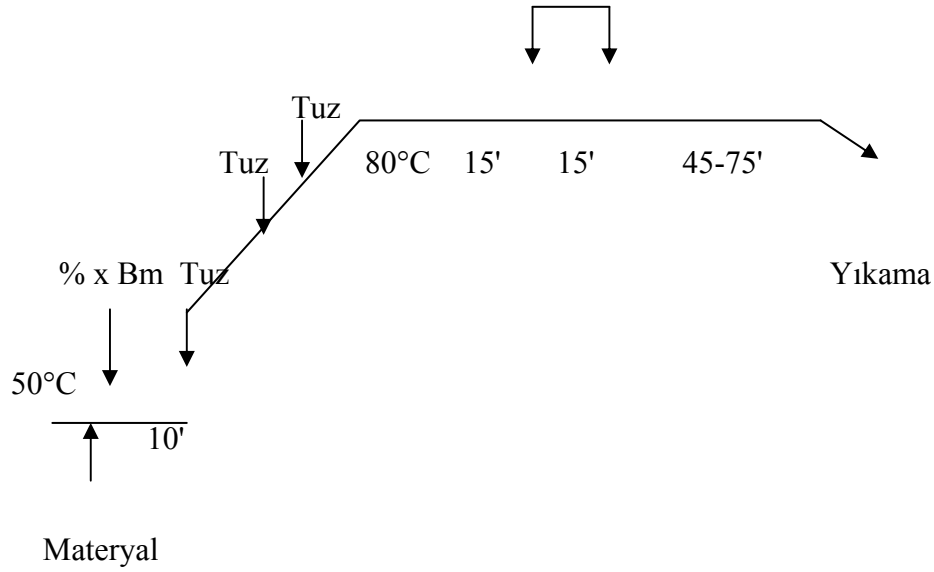
Sıcakta boyama yöntemi:

Boyama reçetesi:

% x boyarmadde

30-90 g/l tuz

10-20 g/l soda



3.4.5. Proten liflerinin reaktif boyarmaddelerle boyanması

Reaktif boyarmaddelerle, protein liflerinin boyanmasında banyo önce asidik ortamda hazırlanır. Elyaf banyo içinde bekletilir. Yavaş bir şekilde sıcaklık yükseltilir.

3.4.6. Poliamid liflerinin reaktif boyarmaddelerle boyanması

Yün ve ipekte olduğu gibi banyo zayıf asidik koşullarda hazırlanır. Bu banyoda nylondan yapılmış materyal bekletilir. Elyaf boyarmadde arasında kovalent bağ oluşumu için sıcaklık yavaş bir şekilde yükseltilirken ; ortam hafifçe bazikleştirilir. Boyama sonunda gerek poliamidlerle gerekse protein liflerinde iyi bir yıkama gereklidir.

3.4.7. Reaktif boyarmaddelerin özellikleri

Reaktif boyarmaddeler, renk serisinin çokluğu yanında, parlak renklere de sahiptir. Parlak renkleri yanında, haslıklarının yüksek olması da bunların tercih edilmesine sebep olur. Günümüzde çoğunlukla kaliteli pamuklu materyallerin boyanmasında kullanılmakta ve bu eğilim giderek artmaktadır.

Işık haslığı : Reaktif boyarmaddelerin ışık haslıkları ortalama 6 değeri ile çok iyidir.

Yıkama haslığı : reaktif boyarmaddelerle boyanmış tekstil materyallerinde yıkama haslığı 4-5 değerindedir. Bu özellik boyarmaddenin elyafa kovelant bağ ile bağlı olmasından ve yıkama koşullarından bu nedenle etkilenmemesinden kaynaklanır.

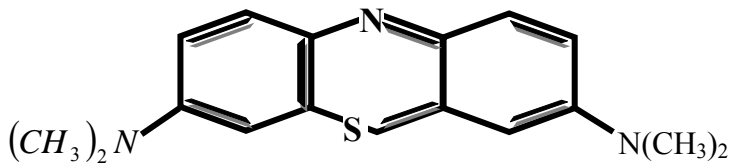
Sürtünme haslığı : reaktif boyarmaddelerin sürtünme haslıkları da yüksektir. Yalnız, boyama sonrasında iyi bir yıkama ve çalkalama yapılmamış materyallerde, elyaf üzerinde kovelant bağ ile bağlanmamış, yalnız fiziksel olarak tutunmuş boyarmadde molekülleri kalmış olacağından sürtünme haslıklarında düşme görülür.

Yükseltgenlere karşı haslık : klor içeren yükseltgenler (çamaşır suyu v.b.) ile hidrojen peroksit gibi ağartıcılara karşı reaktif boyarmaddelerin dayanıklı olduğu görülmüştür [3, 22,23].

3.5. Çalışılan Boyarmaddeler Hakkında Bilgi

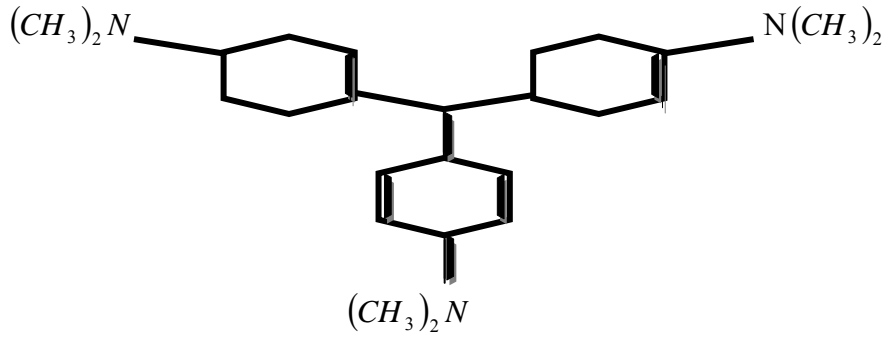
3.5.1. Metilen mavisi

Kapalı formülü $C_{16}H_{18}N_3Cl \cdot 3H_2O$ olan katyonik boyarmaddedir. Çalışmalar esnasında pH 9-10 arasında en uygun adsorpsiyon sağlanmaktadır [4].



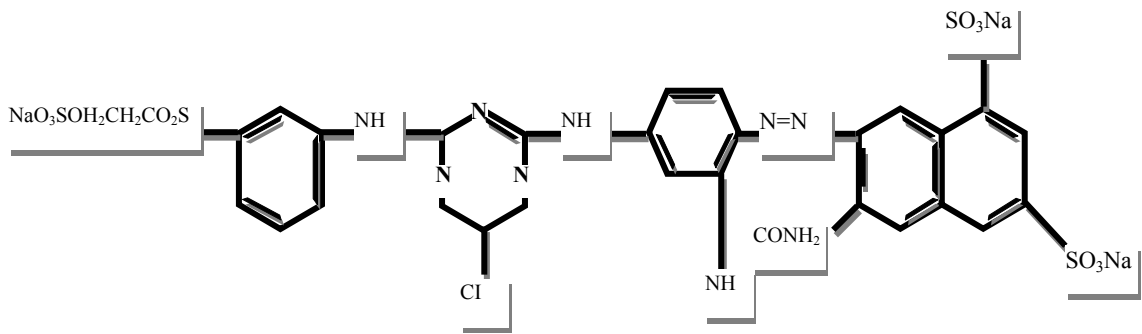
3.5.2. Malahit yeşili

Kapalı formülü $C_{23}H_{25}N_2Cl$ olan bir boyarmaddedir. Benzaldehit ve dimetil anilinden elde edilen malahit yeşili trifenilmetan yapısındadır. Anilin yeşili veya benzaldehit yeşili olarak da bilinir. Sanayide ipek, yün, deri, pamuğu da mordanlandıktan sonra boyamada kullanılır [6].



3.5.3. Reaktif sarı 145

Molekül ağırlığı 1026,2 g/mol olan bir boyarmaddedir [5].



3.6. Atık Sulardan Boyarmadde Giderilmesi İçin Kullanılan Yöntemler

3.6.1 Kimyasal yöntemler

Tekstil atıksularının kimyasal yöntemlerle arıtılması uzun yıllardan beri en çok rağbet gören yöntem olmuştur. Bunun en büyük nedeni şüphesiz atıksu kalitesinde meydana gelen değişikliklerin kullanılan kimyasalda veya uygulanan dozda yapılan değişikliklerle kolayca tolere edilebilir olmasıdır. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında en yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntemler oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemi ve Cucurbituril ile arıtmadır [1].

3.6.1.1. Oksidasyon

Oksidasyon kimyasal yöntemler içinde en yaygın olarak kullanılan renk giderme yöntemidir. Bunun en büyük nedeni uygulanmasının basit oluşudur. Kimyasal oksidasyon sonucu boya molekülündeki aromatik halka kırılarak atıksudaki boyar madde giderilir [1].

- H₂O₂-Fe(II) Tuzları (Fenton ayırıcı)

Fenton ayırıcı (Fe(II) tuzlarıyla aktive edilmiş hidrojen peroksit) biyolojik arıtmayı inhibe edici ya da toksik atıksuların oksidasyonu için çok uygundur. Fenton ayırıcı ile yapılan arıtım ön oksidasyon ve koagülasyon olmak üzere iki adımda gerçekleşir. Yapılan bir çalışmada fenton ayırıcıyla yapılan ön oksidasyon prosesinde renk giderim hızının KOİ giderim hızına göre daha yüksek olduğu ve renk ile KOİ gideriminin büyük bir kısmının ön oksidasyon basamağında gerçekleştiği belirlenmiştir [1].

Atıksuların fenton ayırıcı ile arıtılmasında renk yok edildiği gibi adsorbe olabilir organohalidler de giderilebilmektedir. Ayrıca, metal-kompleks türündeki boyalardan kaynaklanan ağır metaller, demir oksitlerle birlikte nötralizasyon basamağında çöktürülebilmektedir. Fenton ayırıcı ile arıtma bu açıdan H₂O₂ kullanılan yöntemlere göre daha avantajlı konumdadır [1].

KOİ, renk ve toksisite giderimi gibi avantajları yanında prosesin bazı dezavantajları da mevcuttur: Proses floklaşma işlemini de içerdiği için atıksudaki kirleticiler çamura transfer olurlar ve çamur problemi ortaya çıkar [1].

- Ozon

Ozon uygulamaları 70'li yılların başında başlamıştır. Ozonlama ile dikkate değer boyutlarda renk giderimi sağlanabilmektedir. Ozonlama sonucu elde edilen renk giderimi boyanın cinsine göre farklılık göstermektedir. Strickland ve Perkins tarafından yapılan çalışmada 30 dakikalık bir zaman süresince ozonlanan azoik,

dispers/sülfür ve reaktif boya içeren atık sularda başarılı bir renk giderimi sağlanırken, Vat boyar maddesi içeren atık su için aynı başarıyı gösterememiş ve renk giderimi %50 ile sınırlı kalmıştır. Boya banyosu çıkış sularının ozonlandıktan sonra tekrar kullanılabilmesi tesis için kimyasal madde ve su tasarrufu sağlamakta, atık su arıtma tesisinin yükü azalmaktadır. Yüksek kararsızlığına bağlı olarak oldukça iyi bir yükseltgen olan ozon aynı zamanda tekstil yaş proseslerinden kaynaklanan atık sularda bulunan yüzey aktif maddeler ve taşıyıcılar gibi diğer kirleticilerin giderilmesine de yardımcı olmaktadır. [1].

- Fotokimyasal Yöntem

Bu yöntem boya moleküllerini, hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile CO₂ ve H₂O'a dönüştürür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil radikallerinin oluşmasıyla meydana gelir. Yani, UV ışığı hidrojen peroksiti aktive ederek iki hidroksil radikaline parçalanmasını sağlar. $H_2O_2 + h\nu \rightarrow 2OH\cdot$ (1) Böylece organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşir. Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır. Boya içeren atık suların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara neden olan organiklerin önemli derecede azaltılmasıdır [1].

- Sodyum Hipoklorit (NaOCl)

Renkli atıksuların kimyasal oksidasyonu klorlu bileşiklerle de mümkündür. Bu metodda, Cl⁺ ile boya molekülünün amino grubuna etki eder ve azo bağının kırılmasını sağlar. Klor konsantrasyonundaki artışla birlikte renk giderimi de artar. Sodyum hipoklorit ile renk giderimi asit ve direkt boyalar için tatmin edici sonuçlar vermektedir. Reaktif boyaların arıtımı için ise daha uzun zamana ihtiyaç vardır. Metalkompleks boya çözeltileri arıttıktan sonra kısmen renkli kalırken dispers boya çözeltilerinde NaOCl ile renk giderimi gerçekleşmez. Son yıllarda alıcı ortamlardaki olumsuz etkilerinden dolayı boyar madde giderimi için klor kullanımı azalmıştır [1].

- Elektrokimyasal yöntem

Bu yöntem 1990'ların ortalarında geliştirilen yeni bir yöntemdir. Elektrokimyasal bir reaksiyonda yük, elektrod ile iletken sıvı içindeki reaktif türler arasındaki arayüzeyde transfer olur. Elektrokimyasal bir reaktör bir anot, bir katot, bir iletken elektrolit ve güç kaynağından oluşmaktadır. Katotta yük reaksiyona giren türlere geçerek oksidasyon durumunda azalmaya neden olur. Anotta ise yük reaktif türlerden elektroda geçerek oksidasyon durumunu artırır. Oksidasyon durumundaki değişimler türlerin kimyasal özelliklerinin ve formlarının değişmesine yol açar. Boya gideriminde etkili bir şekilde kullanılabilirliği açısından yöntem bazı önemli avantajlara sahiptir. Kimyasal madde tüketimi çok azdır veya yoktur ve çamur oluşumu söz konusu değildir. Oldukça etkili ve ekonomik bir boya giderimi sağlar, renk gideriminde ve dirençli kirleticilerin parçalanmasında yüksek verim gösterir [1].

3.6.1.2. Kimyasal floklaştırma ve çöktürme yöntemi

Bu yöntemde floklaşma ve çökeltme kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır. Atık suya katılan kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen floklaşma ile çözülmüş maddeler ve kolloidler giderilirler. En çok kullanılan kimyasallar arasında, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$ ve kireç sayılabilir. Kimyasal çöktürme deneylerinde makul kimyasal dozlarıyla orta dereceden yüksek dereceye kadar renk giderimi sağlandığı ve kullanılan kimyasallar içinde alumun nispeten daha etkili olduğu görülmüştür. Kimyasal çöktürme yönteminde inşaat masraflarından ziyade işletme masrafları önem taşımaktadır. Özellikle floklaşma maddeleri ve meydana gelen çamurun bertaraf edilmesi, giderlerin önemli bir kısmını teşkil etmektedir [1].

3.6.1.3. Cucurbituril ile arıtım

Cucurbituril glikoluril ve formaldehitten oluşan bir polimerdir. Şeklinin, Cucurbitaceae bitki sınıfının bir üyesi olan balkabağına benzemesinden dolayı bu şekilde isimlendirilmiştir. İsimdeki uril, bu bileşiğin üre monomerini de içerdiğini ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar bileşiğin çeşitli tipteki tekstil boyaları için

oldukça iyi bir sorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Cucurbiturilin aromatik bileşiklerle kompleks oluşturduğu bilinmektedir ve reaktif boyaların adsorpsiyonu için bu mekanizmanın geçerli olabileceği düşünülmektedir. Diğer bir yaklaşım ise giderim mekanizmasının hidrofobik etkileşimlere veya çözünemez cucurbituril-boya-kasyon agregatlarının oluşumuna dayandığı doğrultusundadır. Endüstriyel açıdan uygulanabilir bir proses için sabit yataklı sorpsiyon filtrelerine ihtiyaç vardır. Böylece adsorbanın fiziksel kuvvetlerle yıkanması ve cucurbiturilin kasyonların varlığıyla bozunması engellenebilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar kimyasal mekanizmaların anlaşılması üzerinde yoğunlaşmakta ve proses üzerine pH'nın, sıcaklığın ve hidrolizin etkileri araştırılmaktadır . Çoğu kimyasal yöntem gibi bu yöntemde de en büyük dezavantaj maliyettir [1].

3.6.2. Fiziksel yöntemler

3.6.2.1. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon teknikleri konvansiyonel metodlar için fazla kararlı olan kirleticilerin giderimindeki verimlilikten dolayı son yıllarda ilgi görmektedir. Adsorpsiyon ekonomik açıdan makul bir yöntemdir ve yüksek kalitede ürün oluşumu sağlar. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok fiziko-kimyasal faktörün etkisi altındadır. Adsorpsiyonla renk gideriminde en çok kullanılan yöntem aktif karbon yöntemidir. Aktif karbonla renk giderimi özellikle kationik, mordant ve asit boyalar için etkiliyken, dispers, direkt, vat, pigment ve reaktif boyalar için daha az bir renk giderimi sözkonusudur[1].

3.6.2.2. Membran filtrasyonu

Bu yöntemle boyanın sürekli olarak arıtılması, konsantre edilmesi ve en önemlisi atıksudan ayrılması mümkün olmaktadır. Diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olmasıdır. Ters osmoz membranları çoğu iyonik türler için %90'nın üzerinde verim gösterir ve yüksek kalitede bir permeat eldesi sağlar. Boya banyoları çıkış

sularındaki boyalar ve yardımcı kimyasallar tek bir basamakta giderilmiş olur. Ancak yüksek ozmotik basınç farklılığı ters osmoz uygulamalarını sınırlandırmaktadır. Nanofiltrasyon membranları negatif yüzeysel yüklerinden dolayı iyon seçicidirler. Yani, çok valanslı anyonlar tek valanslı anyonlara göre daha sıkı tutulurlar. Membranların bu karakteristiğine bağlı olarak boyalı atıksularda bulunan bir kısım yardımcı kimyasal membrandan geçebilmektedir. Membran teknolojileri, ayırmadan sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemlerine neden olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanma olasılığı ve yenilenme gerekliliği gibi dezavantajlara da sahiptir [1].

3.6.2.3. İyon değişimi

Boya içeren atıksuların arıtılmasında iyon değiştiricilerin kullanılması henüz yeterince yaygın değildir. Bunun ana nedeni, iyon değiştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan boya sınıfının kısıtlı olduğu düşüncesidir. Yöntemde, atıksu, mevcut değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici reçineler üzerinden geçer. Yöntemin avantajları, rejenerasyonla adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi ve çözünabilir boyaların etkin şekilde giderilebilmesidir. En büyük dezavantaj ise kuşkusuz yöntemin maliyetidir. Organik çözücüler oldukça pahalıdır. Ayrıca iyon değişimi metodu dispers boyalar için pek etkili değildir [1].

3.6.3. Biyolojik yöntemler

Biyolojik arıtım, endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Tekstil endüstrisi atık suları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirmeleri ve her boya için kullanılamıyor olmaları, uygulanmalarının sınırlı olmasına neden olmuştur. Son zamanlarda yapılan çalışmalar birçok boya türünü atık sudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamış ve biyoteknolojik metodları ön plana çıkarmıştır. Yani, teorik olarak biyolojik arıtma sistemleri kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemlerine göre daha az çamur üretmesi, maliyetinin daha düşük olması

veya alıcı ortamlar için zararlı yan ürünlerin oluşmaması gibi özelliklerinden dolayı tekstil endüstrisi atık sularının arıtımı için ideal çözüm olarak kabul edilmektedir [1].

3.6.3.1. Aerobik yöntem

Tekstil endüstrisi atık suları, pH değişimlerine duyarlılığı yüksek olan konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde önemli zorluklara sebep olmaktadır. Endüstriyel atık suların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki bir çok boya bileşiği ya biyolojik olarak çok zor indirgenemekte ya da inert kalmaktadır. Suda iyi çözünen bazik, direkt ve bazı azo boya atıklarının olması durumunda mikroorganizmalar bu tür bileşikleri biyolojik olarak indirgeyememekle birlikte boyanın bir kısmını adsorbe ederek atık suyun rengini almakta ve renk giderimi sağlanabilmektedir. [1].

3.6.3.2. Anaerobik yöntem

Anaerobik arıtımın ilk basamağında asidojenik bakteriler karbonhidratlar, yağlar veya proteinler gibi organikleri düşük moleküler ağırlıklı ara ürünlere dönüştürürler. Bu fermentasyon ürünleri daha sonra asetojenik bakteri tarafından kullanılır ve asetat, karbon dioksit ve moleküler hidrojen açığa çıkar. Son olarak metanojenik bakteriler asetat ve karbondioksiti metana indirgerler. Metan ve karbondioksit içeren biyogaz, anaerobik parçalanma testlerinde parçalanmanın seviyesini belirleme amacıyla kullanılabilir. Boyar maddelerle yapılan anaerobik parçalanma çalışmaları, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan suda çözünebilir reaktif azo boyar maddeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Çift bağlı azot halkasına bağlı bu boyaların aerobik proseslerle arıtılabilirliğinin mümkün olmaması anaerobik arıtmanın ön arıtma olarak kullanılmasını gerektirmektedir [1].

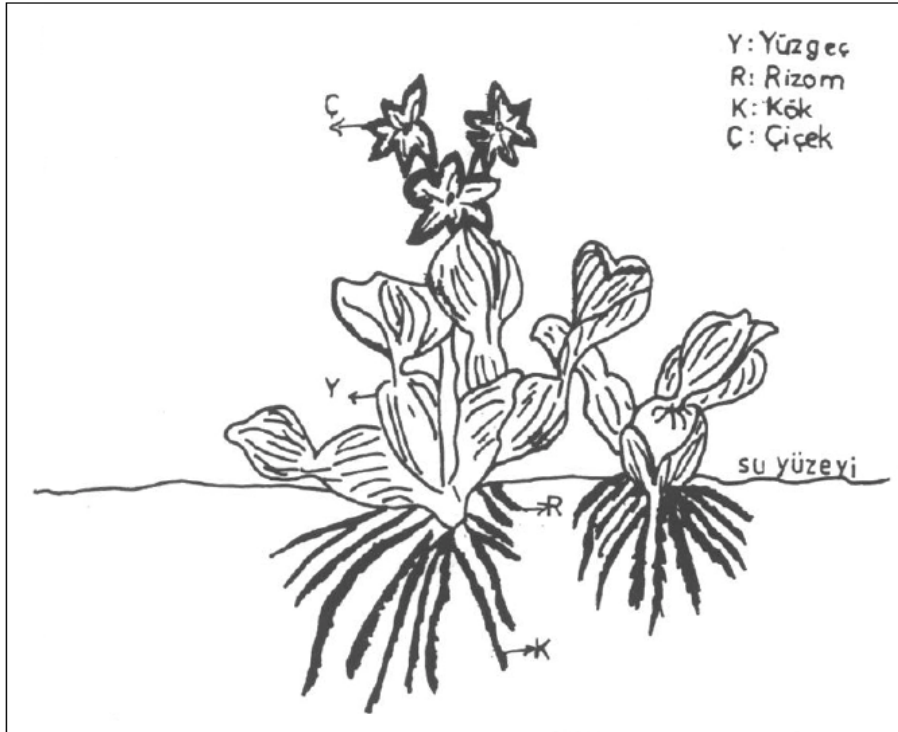
3.6.3.3. Biyosorpsiyon

Kimyasal maddelerin mikrobiyal kütle tarafından adsorpsiyonu veya küttele birikimi biyosorpsiyon olarak ifade edilmektedir. Ölü bakteriler, maya ve mantarlar boyar madde içeren atık suların renginin giderilmesinde kullanılabilir. Tekstil

boyalarının kimyası geniş bir yelpazede değişiklik gösterdiği için mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyanın kimyasına ve mikrobiyal kütlenin spesifik kimyasına dayanmaktadır. Bu nedenle kullanılan mikroorganizmanın cinsine ve boyaya bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusudur. Boyar madde içeren atık su çok toksik olduğunda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır [1].

BÖLÜM 4. SU SÜMBÜLÜ BİTKİSİ

Su sümbülü (*Eichornia crassipes* (Mart) Solms)- water hyacinth su bitkilerinin iki büyük grubundan biri olan amfifitlerden olup, gövdeleri su yüzeyinden bir metre veya daha fazla yüksekliğe uzanan helofit sınıfına girer. Bitki yukarı doğru dönmüş yeşil ve parlak yapraklarla çevrilidir. Yaprakların bazılarında oluşan yüzgeçlerin içleri hava ile dolu olduğundan oldukça hafiftir. Buda bitkiye olağan üstü yüzme yeteneği sağlamaktadır [25,26]. Yaprakların altından çıkan rizomlar 1-2 santim çapında ve bitkinin boyuna göre 1 ile 20 cm olmaktadır. Bu rizomlar, su seviyesinin 1 ile 8 cm altında bulunmakta ve ucundan yeni bir kök ve yaprak oluşturarak vejetatif çoğalmayı sağlamaktadır. Bitkinin genel görünümü şekil 4.1.'de görülür.



Şekil 4.1. Su Sümbülü genel görünümü

Ayrıca tohum ıslahı ile de yapılan çoğalma çalışmaları vardır. Dünyadaki en üretken fotosentetik bitkilerden biri olup ender görünen bir üreme yeteneğine sahiptir. Örneğin, 10 bitkiden 8 ayda tam 655350 bitki oluştuğu saptanmıştır [25,26,27].

Brezilya kökenli olan bu bitki, ilk defa 1844 yılında amerikanın orlean eyaletinde görülmüştür. Sarı beneklerle süslenmiş açık mor renkli çiçeklerinden dolayı bir süs bitkisi görünümündedir. Çok kısa bir zamanda, dünyanın 32 kuzey ve 20 güney paralelleri arasındaki tropikal veya yarı tropikal bölgelerdeki tatlı sulara yayılmıştır.

Biyosistem Harikası Su Sümbülü Umut verici potansiyele sahip biyosistemler arasında en çok dikkat çeken bitki, su sümbülüdür (*Eichornia crassipes*) [27,28]. Çevre, kirliliği ile mücadele etmek ve toplumların hayat kalitesini iyileştirmek amacıyla pahalı teknikler ve prosesler yerine, doğadaki mevcut biyolojik sistemlerin kullanılabilceği düşüncesi son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Dolayısıyla, bugüne kadar faydasız ya da zararlı olarak nitelendirilen bazı bitkisel ve hayvansal canlı sistemlerle yeni kullanım alanları oluşturulmuştur. Bu canlı biyolojik sistemlerin organik maddeleri büyük bir hızla adsorplayıp, nitrat, fosfat ve ağır metalleri uzaklaştırabilme yeteneklerinin olduğu anlaşılmıştır. Bu canlı biyolojik sistemlerin yanı sıra, biyolojik materyallerden elde edilen bazı organik maddelerin de atık suların arıtılmasında göz ardı edilemeyecek bir etkinliğe sahip oldukları saptanmıştır [25,26].

Ilıman ve subtropikal iklimlerde doğal olarak yaşayan bu bitkiye; çok güzel görünüşüne rağmen, hızla büyüüp vejetatif çoğalma ile yayılması ve sonuçta su kanallarını tıkaması nedeniyle 70'li yıllara kadar zararlı bir su otu gözü ile bakılmaktaydı [27,28,29,30].

NASA tarafından Mississippi'de yapılan ön laboratuvar denemeleri, bitkinin evsel atık sulardan organik maddeleri büyük bir hızla absorplayıp metabolize edebildiğini göstermiştir. Bitki, bu atık organik maddeleri, hücre materyali sentezinde kullanır. Durgun suların yüzeyinde yaşayan, gövdesinden çıkarttığı vejetatif uzantılar ve tomurcuklar ile çok büyük bir hızla çoğalan ve tüm su yüzeyini kısa bir süre içinde

kaplayabilen bu bitki, toplandığında günde hektar başına 20-40 ton yaş biyolojik materyal verebilir.

Wolverton ve McDonald, Florida gibi iklimi daha uygun olan bölgelerde bu büyüme hızının, günde bitki yüzey alanının % 15'ine kadar çıkabileceğini göstermiştir. Hesaplamalar, evsel atıklar içeren bir gölü temizleyebilmek için gölün toplam alanının % 30'u kadar bir su sümbülü ekim alanının yeterli olacağını ortaya çıkarmıştır. Florida'daki bu çalışmaların sonuçlarına göre, günde hektar başına 2,2 milyon litre atık su havuza verildiğinde, içerdiği azotlu bileşiklerin % 80 'i ve fosforlu bileşiklerin % 40'ı iki gün içinde bu bitki tarafından atık sudan uzaklaştırabilmektedir [25,26,31].

Su sümbülleri ile yapılan bu çalışmaların ışığında, California'da 6500 nüfuslu bir yerleşme merkezinde doğal biyolojik sistemlerin kullanıldığı bir arıtma tesisi kurulmuştur. 1981 yılından beri kentin tüm atık suları bu yolla arıtılmaktadır. Söz konusu doğal su arıtma sistemi, en büyüğü 0,450 hektar yüzey alanına sahip, üç göletten oluşmaktadır. Göletlerin yüzeyi su sümbülleri ve ona benzer başka bir bitki olan su mercimeği (*Lemna sp.*) ile kaplı bulunmaktadır [25,32,33].

Ayrıca, benzer ortamlarda yaşayan diğer bitkilere oranla, daha yüksek bir azot ve fosfor uzaklaştırma potansiyeli sergiler. Doğal bataklıkların atık su kaynaklarına göre coğrafi konumları ve kullanımlarında ortaya çıkan çevre ve mülkiyet sorunları, atık suların üçüncül arıtılmasında yapay bataklıkların tercih edilmelerine neden olmuştur. Kanada'da Çevre Bakanlığı'nın denetimi altında tasarlanan dört yapay bataklık farklı kaynaklı atık suların arıtılmasında denenmektedir.

Farklı yükleme kapasiteleri, derinlik, bekleme süreleri, ön işlem gereksinimleri, sıvı sirkülasyon düzeni ve alanın geometrisi, yapay bataklıkların tarsım değişkenleridir. Birçok değişkenin elde edilen arıtma veriminden sorumlu olduğu saptanmıştır. Bekleme süresi yazın buharlaşmadan, kışın ise donmadan etkilenmektedir. Yazın derinlik az, akım hızlı; kışın ise derinlik fazla, akım yavaş tutulmaktadır. Yapay göletler ile karşılaştırıldıklarında, 20.000 kişilik bir yerleşme merkezinin atık sularını

artırmak için 40 hektarlık bir yapay gölet gerekirken, 24 hektarlık bir yapay bataklığın yeterli olduğu görülür.

Ayrıca, kışın da arıtma veriminde bir düşme olmadan çalışmaları ve benzer boyuttaki yapay göletlerin maliyetinden iki ya da üç kat daha düşük maliyete sahip olmaları üstünlükleri arasında sayılabilir. Kanada, Listowel' daki yapay bataklıktan elde edilen arıtma derecesi (BOI: 9 mg/1, AKM: 7 mg/1, NH₃: 0,07 mg/1) göletlerden elde edilenlerle aynı mertebededir ve yapılan ön işlemlerle yakından ilgilidir.

Çamur oluşumunu önleyip, oksijen ihtiyacını azaltmak için atık suyun BOI (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) ve AKM (Askıdaki Katı Madde) bakımından bir ön işlemde geçmesi daha olumlu sonuçlar vermektedir. Bu ön işlem kademesi içinde, fosfor da kimyasal yolla indirgenmelidir.

Bu tür endüstriyel çaptaki su arıtma proseslerinde karşılaşılan en büyük sorun, atık sularındaki besin maddelerini kullanarak çoğalan bitkilerin ne şekilde değerlendirileceğidir. Sistemin ekonomik olabilmesi için değerlendirilmeden elde edilecek kârın, toplama ve işleme dahil tüm masrafları karşılayabilecek miktarda olması gerekmektedir [4,25,26,34].

Su sümbülleri kurutulup öğütülerek, mineraller ve protein yönünden zengin bir hayvan yemi elde edilir. Hayvanlarda elde edilen sonuçlar, bu yemin besin değerinin pamuk tohumu veya soya fasulyesine eş değer olduğunu göstermektedir. Fakat, kurumuş materyalin besin değeri ve yem olarak kullanılıp kullanılmayacağı, hem atık suların organik madde ve mineral içeriğine, hem de bitkinin hasadının yapıldığı gelişim evresine bağlı olarak değişir. Genellikle, endüstriyel atık sularda yetiştirilen bitkiler, yüksek metal iyonu içerdikleri için gübre veya hayvan yemi olarak kullanılamazlar. Buna karşılık su sümbüllerinden havasız ortamda fermantasyon yolu ile biyogaz elde edilmesi mümkündür. Hatta son yıllarda yapılan çalışmalar, çok az miktarlarda nikel ve kadmiyum içeren bitkilerden elde edilen biyogazın daha yüksek oranlarda metan gazı içerdiğini göstermiştir [35,36,37,38].

Metal iyonu içeriği çok yüksek olmamak koşulu ile biyogaz tesisinden elde edilen atık madde ise çok iyi organik gübredir. Ayrıca su sümbülü kompostlaştırılıp gübre

olarak kullanıldığında, killi ve kumlu toprakların tarımsal değerini fark edilir derecede artırır. Bu seçeneklerin yanı sıra, yapraklardaki protein ekstrakte edilirse, gıda katkı maddesi olarak kullanılabilir [25,26,39,40].

4.1. Boyama Atık Sularının Karakteristiği

Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama prosesinin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur. Tablo 4.1.'de farklı boyaların kullanıldığı ve farklı elyafların boyandığı boyahane atıksularının karakterizasyonuna ilişkin bazı değerler görülmektedir [1].

Tablo 4.1. Boyahane atık sularının karakterizasyonu

Boya türü	Elyaf çeşidi	Renk ADMI	BOİ, mg/l	TOK, mg/l	AKM, mg/l	ÇKM, mg/l	pH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5.1
1:2 Metal Kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6.8
Bazik	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4.5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6.6
Reaktif, kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11.2
Reaktif, sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9.1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11.8
Dispers, yüksek sic.'ta	Polyester	1245	198	360	76	1700	10.2

ADMI: Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü renk birimi.

BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı

TOK: Toplam Organik Karbon

AKM: Askıda Katı Madde

ÇKM: Çözünmüş Katı Madde

Boyar maddeler genellikle iki ana bileşenden oluşan küçük moleküllerdir: rengi veren kromofor ve boyayı ipliğe bağlayan fonksiyonel grup. Literatürde kimyasal yapısına göre veya uygulandığı ipliğin tipine göre sınıflandırılmış yüzlerce çeşit boya mevcuttur. Boyanın iplik üzerine adsorbe olması tekstil ipliğine ve boyanın tipine

bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Adsorbsiyonun derecesi zaman, sıcaklık, pH ve yardımcı kimyasallar gibi çeşitli faktörlerin de etkisi altındadır.

Boyama prosesinde sıkça kullanılan yardımcı kimyasallar Tablo 4.2.'de listelenmiştir. Tablo 4.2., boyama prosesi çıkış sularında boyar maddeler haricinde çok sayıda farklı bileşiklerin de bulunacağını göstermektedir. Tek bir boyama işlemi için farklı kimyasal sınıftaki boyar maddelerin birlikte kullanılabilir olması çıkış suyu bileşimini daha da karmaşık hale getirmektedir. Boyama prosesi çıkış sularındaki kimyasal yük, prosesin kimyasının yanı sıra boyama işleminin kesikli ya da sürekli olmasına bağlı olarak da farklılıklar göstermektedir [1].

Tablo 4.2. Boyama prosesinde kullanılan yardımcı kimyasallar

Kimyasal Madde	Bileşim	Fonksiyon
Tuzlar	Sodyum klorür Sodyum sülfat	Elyafın zeta potansiyelini nötralize edici, yavaşlatıcı
Asitler	Asetik asit Sülfürik asit	pH kontrolü
Bazlar	Sodyum hidroksit Sodyum karbonat	pH kontrolü
Tamponlar	Fosfat	pH kontrolü
Kompleks yapıcılar	EDTA	Kompleks yapma, yavaşlatıcı
Dispers edici/düzenleyici ve yüzey aktif maddeler	Anyonik, katyonik ve noniyonik	Boyaları dağıtma, boya uygulamasını düzene sokma
Okside edici maddeler	Hidrojen peroksit Sodyum nitrit	Boyaları çözünemez yapma
İndirgeyici maddeler	Sodyum hidrosülfid Sodyum sülfid	Boyalara çözünabilir yapma, reaksiyona girmemiş boyanın uzaklaştırılması
Taşıyıcılar	Fenil fenoller Klorlu benzenler	Adsorbsiyonun artırılması

Parlak renkli olan ve suda çözünebilen reaktif ve asit boyar maddeler konvansiyonel arıtma sistemlerinden etkilenmeden çıktıkları için çevresel açıdan en sorunlu boyalar olarak kabul edilirler. Bu boyaların belediye arıtma sistemlerindeki aerobik gideriminin yetersiz kaldığı bilinmektedir [1,4].

4.2. Yapay Sulak Alanların Ekolojisi

Sulak alanlar, su ile toprak arasındaki geçiş alanlarıdır. Atıksuları arıtmak için inşaa edilmiş yapay sulak alanlar; mikroorganizmalar, hayvanlar, bitkiler ve sucul ortamı çevreleyen ekolojik sistemden oluşan kompleks bütünleşmiş sistemlerdir. Yapay sulak alanlar, atıksu arıtımı için alternatif ve doğal tabanlı bir arıtma yöntemidir. Dünyanın değişik bölgelerinde evsel ve endüstriyel atıksuları ve zirai bölgelerden gelen yüzeysel akışları arıtmak üzere farklı amaçlarla tasarlanmış, değişik tipte ve büyüklükteki yapay sulak alanlar 1950'li yıllardan bu yana etkin olarak kullanılmaktadır.

Yapay sulak alanların en yaygın uygulamalarından birisi, evsel atıksuların birincil ve ikincil arıtımı içindir. Arıtımı sağlayan mekanizmalar temel olarak, fizikokimyasal ve mikrobiyolojik tabanlıdır. Konvansiyonel arıtım sistemleri ile kıyaslandığında yapay sulak alanların besin tutma kapasitesi yüksek, prosesi istikrarlı, işletim şartları basit, enerji ihtiyacı az, yatırım ve işletme maliyetleri düşük ve çamur üretimi yok denecek kadar azdır. Yapay sulak alanlarda bulunan bitkiler, mikroorganizmalar ve toprakla beraber atıksudaki maddeler arasındaki etkileşimler kompleks mekanizmalar olsa da yapay sulak alanların işletimi konvansiyonel sistemlere göre nispeten kolaydır. Ancak yapay sulak alanların tasarımı ve inşası tahmin edilenden daha fazla mühendislik birikimi gerektirir .

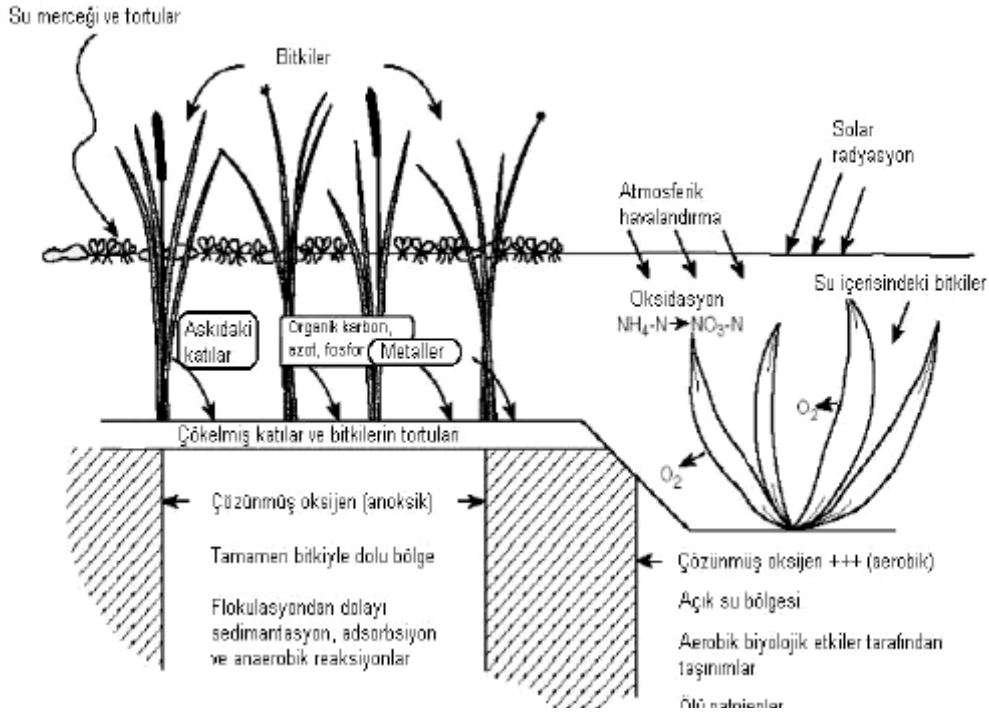
Arıtma amacının yanı sıra, uygun koşullar altında yapay sulak alanlar aşağıdaki fonksiyonları da sağlayabilmektedir [1,2]:

- Su kalitesinin artırılması,
- Rekreasyon amaçlı kullanım,
- Besinlerin dönüşümü,
- Balık ve vahşi yaşam için ortam oluşturma,
- Pasif dinlenme (kuş gözlemi, fotoğrafçılık vs.),
- Aktif dinlenme (avlanma vs.),
- Eğitim ve araştırma,
- Estetik görünüm.

Yapay sulak alanlarda en yaygın olarak kullanılan iki hidrolik konfigürasyon: su akımının serbest bir yüzeye sahip olduğu sulak alanlar ve suyun yüzeyaltı akışlı olduğu sulak alanlardır [1,2,7,8]. Bu makalenin amacı yapay sulak alanlardaki mikroorganizmalar, fauna, flora ve sucul ortamı çevreleyen ekolojik fazların ve bunların arasındaki kompleks ve bütünleşmiş ekolojik ilişkilerin ilgili literatür ışığında irdelenmesidir.

4.2.1. Yapay sulak alanların ekolojisi

Yapay sulak alanlardan yüksek arıtma verimi sağlanabilmesi için sistemi oluşturan birimlerin ve bu birimlerin bütünleşmiş ekolojilerinin iyi kavranması gerekir. Sulak alanların ekolojisini ve karakterini; iklim, akış hidroliği, proses, bitki türleri ve atıksu karakteristikleri (substrat türü ve konsantrasyonu gibi) belirler . Yapay sulak alanlarda uygulanan arıtma mekanizmaları doğal sucul sistemlerde zaten gerçekleşen mekanizmalardır. Doğal sulak alanlar ile yapay sulak alanlar arasındaki temel fark; mühendislik tasarımları sonucu oluşan yapay sulak alanlarda sistem kontrolünün daha fazla olmasıdır. Örneğin, yapay sulak alanlarda su akışı daha kararlı ve kontrollüdür. Buna karşın doğal sulak alanlardaki akış genellikle değişkendir. Dolayısıyla, yapay sulak alanlardaki ekoloji sürekli akıştan dolayı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ve toplam askıda katı madde (TAKM) konsantrasyonlarından ve diğer atıksu bileşenlerinden doğadakinine göre daha yüksek seviyede etkilenebilir [2,12,15]. Ayrıştırıcılar (bakteri, mantar ve aktinomisetler), mineralizasyon ve gazlaştırma ile yapay sulak alanlardaki organik madde gideriminde en önemli rolü oynamaktadırlar. Ayrıca, biyokütle sentezinde ve organik metabolik son ürünlerin üretilmesinden de sorumludurlar. Gerçekleştirdikleri reaksiyon tipine bağlı olarak bu organizmalar genellikle, aerobik, anaerobik veya fakültatif şeklinde sınıflandırılırlar. Ayrıca bu organizmalar, enerji kaynaklarına ve karbon kaynağı olarak kullandıkları kimyasal bileşik tipine göre de sınıflandırılabilirler. Birincil üreticiler, sulak alandaki organik artıkları oluştururlar ve sisteme çözünmüş oksijen verirler. Ayrıca sulak alandaki besinlerin dönüşümü ve gideriminde önemli rol oynarlar. Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda gerçekleşen etkin arıtım mekanizmaları.

4.2.1.1. Bitkiler

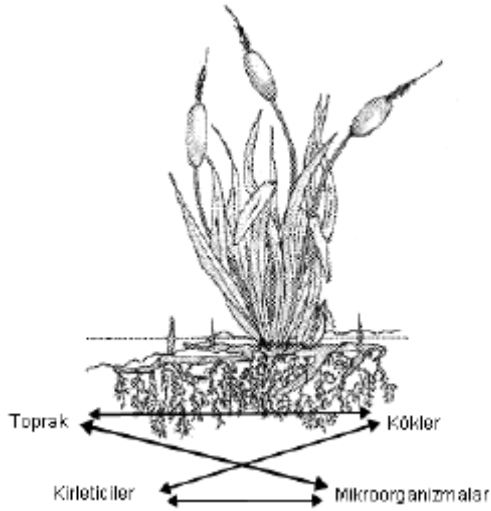
Yapay sulak alanlarda bitki topluluğunun görevi, akımı yönlendirmek ve mikrobiyal büyüme için bir tutunma bölgesi oluşturmaktır. Bitkiler, sızdırmayı azaltmalarının yanında substratların stabilizasyonunu da sağlarlar. Ayrıca, yapay sulak alana estetik bir değer kazandırır. Sulak alanda oluşacak yoğun bir bitki örtüsü, olası rüzgarların sisteme yapabileceği olumsuz etkileri de azaltacaktır. Bitkilerin ölümü sonucu ortaya çıkan artıklardan ortama yayılan organik karbon mikroorganizmalar tarafından besin kaynağı olarak kullanılır [1,2]. Bitkilerin kök bölgelerinde bulunan mikroorganizmaların organik ve inorganik kirleticileri gidermesinde çözülmüş oksijen önemli bir rol oynar. Bitkiler, kök bölgesindeki oksijen varlığında besinleri alırlar ve mikroorganizmalar da oksijen varlığında (aerobik bozundurma için) organik maddeleri parçalarlar [2,11,17,18]. Yapılan araştırmalar sonucu serbest su yüzeyli yapay sulak alanlarda, tipik atıksu kirleticilerinin arıtımı için, bitki hücrelerinin, bitki olmayan hücrelere göre daha verimli olduğu görülmüştür [13, 16, 19, 20]. Bununla beraber, hangi bitki popülasyonlarının arıtma performansını hangi

şartlarda arttırdığı tam olarak ortaya konulamamıştır. Bitki yüzey alanı ile tutunan mikrobiyal popülasyon arasında bir ilişki olduğu düşünülmüş, ancak henüz kanıtlanmamıştır [21]. Yapay sulak alanlarda, bitkinin ilk dikilmesini takiben, bitki toplulukları önemli değişikliklere uğramaktadırlar. Çok az yapay sulak alan, tür kompozisyonlarını ve yoğunluklarını korumaktadır. Bu değişikliklerin çoğu önceden tahmin edilebilse de arıtma performansını etkileyebilmektedir. Sulak alanlara oksijen kazandıran önemli etmenlerden birisi bitkilerdir. Bitkiler fotosentez yoluyla sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artırırılar.

Oksijen, sulak alanlardaki mikroorganizmalar tarafından gerek biyolojik reaksiyonlarda gerekse metabolik reaksiyonlarda kullanılır ve bu yüzden sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu düşmektedir. Kısaca, oksijen talebi oluşturan maddeler; giriş atıksuyundaki organik maddeler, canlı organizmaların depoladığı organik maddeler, sulak alanların yüzeyinde ve tabanında biriken ölü bitkiler, askıda duran perifiton ve plankton ölüleri, girişteki amonyak azotu şeklinde özetlenebilir. Oksijen konsantrasyonu yapay sulak alanların işletiminde göz önüne alınması gereken önemli bir parametredir [2]. Sulak alan bitkileri, yaşam döngüleri için belirli çevre şartlarına gereksinim duyarlar [2,7]. Bu şartlar; çimlenme ile bitki gelişimi, yeterli besin, normal mevsimsel gelişme durumları, bitkinin yaşlanma ve ölüm oranıdır. Diğer tüm bitkiler gibi, sulak alan bitkileri de sağlıklı gelişebilmek için çok sayıda makro ve mikro besinlere ihtiyaç duymaktadırlar.

Evsel atık sularda bu sınırlayıcı besinlerden yeterli miktarda olmasına rağmen, endüstriyel atık sular ve asit maden drenajı gibi diğer atık su tiplerinde bu besinler çoğunlukla yeterli miktarlarda bulunmazlar [41,42,43]. Sulak alan bitkilerinin yaşam döngüsünde azot ve fosfor önemli besinlerdir. Azot ve fosfor, bitkilerin gelişme ve ölüm evrelerinde doğal olarak ortamdan alınıp salınmaktadır [44,45,46]. Ölü biyokütlelerden bozunmayan bitki artıkları, fosfor, metaller ve diğer elementler için depo görevi görmektedir [22]. Saz ve kamış gibi yüksek lignin içeren bazı türlerin çoğu ölü biyokütle olarak kalmakta ve kış mevsimi boyunca çok yavaş bozulmaktadır. Yapay sulak alanlarda aktivitenin gerçekleştiği bölge, çoğunlukla kök bölgesidir (rizosfer) [1,2,47,48].

Bu bölgede; bitkiler, mikroorganizmalar, toprak ve kirleticilerin etkileşimlerinden dolayı fizikokimyasal ve biyolojik prosesler gerçekleşir (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Yapay sulak alanlarda bitki kök bölgesinde oluşabilecek etkileşimler [2].

4.2.1.2. Bitkisel biyosistemlere örnekler

Sulak-bataklık arazide yetişen, halk arasında hasır sazı diye bilinen Typha bitkisi de benzer özelliklere sahiptir. Dayanıklı, çok değişik ortamlarda yaşayabilen ve sürgünlerle çok hızlı çoğalabilen bu bitki, yapay bataklıklar için ideal bir türdür. Yılda oluşan biyo-kütle miktarı ve kök yapısı, bakteriyel faaliyet için geniş bir bitkisel yüzey alan oluşturur.

Ayrıca, benzer ortamlarda yaşayan diğer bitkilere oranla, daha yüksek bir azot ve fosfor uzaklaştırma potansiyeli sergiler. Doğal bataklıkların atık su kaynaklarına göre coğrafi konumları ve kullanımlarında ortaya çıkan çevre ve mülkiyet sorunları, atık suların üçüncül arıtılmasında yapay bataklıkların tercih edilmelerine neden olmuştur. Kanada'da Çevre Bakanlığı'nın denetimi altında tasarlanan dört yapay bataklık farklı kaynaklı atık suların arıtılmasında denenmektedir.

Farklı yükleme kapasiteleri, derinlik, bekleme süreleri, ön işlem gereksinimleri, sıvı sirkülasyon düzeni ve alanın geometrisi, yapay bataklıkların tarsım değişkenleridir. Birçok değişkenin elde edilen arıtma veriminden sorumlu olduğu saptanmıştır. Bekleme süresi yazın buharlaşmadan, kışın ise donmadan etkilenmektedir. Yazın derinlik az, akım hızlı; kışın ise derinlik fazla, akım yavaş tutulmaktadır. Yapay göletler ile karşılaştırıldıklarında, 20.000 kişilik bir yerleşme merkezinin atık sularını arıtmak için 40 hektarlık bir yapay gölet gerekirken, 24 hektarlık bir yapay bataklığın yeterli olduğu görülür [2,40,49].

Uluabat Gölü, Türkiye'deki en geniş nilüfer yataklarına sahip göl olma özelliğine de sahiptir. Büyük ve sığ bir göl olan Uluabat, sucul bitkiler açısından Türkiye'deki en önemli göllerden biridir. Islak çayırlar, söğütler, sucul bitkiler, sazlıklar, nilüfer yatakları, su sümbülleri yaygın olarak görülen bitki türleridir.

Kızılırmak deltası, tarımsal potansiyel bakımından Türkiye'nin en zengin ovalarından birisidir. Göllerde su sümbülleri cinsine ait türler hakimdir.

Türkiye'nin 2004 yılında tanıştığı doğal arıtma tesisleri hızla yaygınlaşmaya başladı. Su Mercimeği ve Su Sümbülü gibi sulak alanda yetişen kamış türü bitkilerin kökleri, doğal arıtma işlevini evsel giderdeki maddeleri alarak yapıyor. Bu yolla varlığını sürdürebilen bitkiler, kanalizasyon atıklarını tarımda kullanılacak kadar temiz hale getiriyor.

Sulak alan bitkileri oldukları için kış mevsiminin sıkıntıya yol açmadığı bitkilerin üst kısmı kurusada, kökleri 4 mevsim işlevini yapmaya devam ediyor. Doğal arıtma sistemlerinde arıtma işlemi 5 gün içerisinde gerçekleşiyor. Atık suyun içerisindeki azot, fosfor ve potasyum gibi maddeler, bitki kökleri ve çakıllar arasındaki mikro organizmalar tarafından parçalanmakta. Kalan su ise koku ve atıktan arındırılmış halde tarımsal sulamaya hazır hale geliyor.

Epey bir zamandır Bursa'nın Eskikaraağaç Köyü'nde uygulanan sistem olumlu sonuçlar vermeye başladı. İl Özel İdaresi, sistemi en az 10 köyde daha uygulamak istiyor. Sistem, Keles ve Orhaneli gibi 5-10 bin nüfuslu küçük ilçe ve beldelerde kolayca uygulanabilme özelliğine sahip olarak gösteriliyor. İl Özel İdaresi, 2007

yılında en az 10 doğal arıtma tesisini daha yatırım programı içerisinde alarak hayata geçirmek istiyor. Projelerin hayata geçirilmesinde ilk hedef, stratejik plan çerçevesinde kanalizasyonu bulunan 218 köyde hayata geçirmek.

Rizosfer, endorizosfer (kök içi) ve ektorizosfer (kök çevresi) olmak üzere 2 kısımda incelenir. Bitki ve mikroorganizmaların etkileşimlerinin de rizosferde olduğu bilinmektedir. Bitkilerin bünyesindeki maddelerin rizosfere geçişi rizo-birikme olarak adlandırılır. Rizo-birikme ürünleri (organik karbon, ölü hücre materyalleri vs.) rizosferde çok sayıda biyolojik prosesin gerçekleşmesine sebep olur. Ortama yayılan organik karbon bileşiklerinin miktarı, fotosentez sonucu elde edilen net ürünün % 10-40'dır [23]. Bitki salgılarının kimyasal kompozisyonları çok değişkendir.

Bitki dokularında bulunan bileşikler genelde kök yoluyla ortama yayılırlar. Örneğin, kökten salgılanan maddeler arasında tanımlanabilenler: tiamin, riboflavin ve piridoksin gibi şeker ve vitaminler, malat, sitrat, amino asitler, benzoik asitler gibi organik asitler ve fenol ve diğer organik bileşiklerdir [1, 2, 7]. Yapay sulak alanlarda en çok kullanılan bitkiler: saz, başak, diğer sazlar, hasırotu, kamış, büyük su kamışdır [2]. Tüm sulak alan bitki türlerini atık su arıtımında kullanmak uygun olmayabilir. Kullanılacak bitki türü devamlı su içinde bulunmayı ve yüksek kirlilik konsantrasyonlarına sahip atık sulara devamlı maruz kalmayı tolere edebilecek nitelikte olmalıdır. Atık su arıtımı için bitki türünün seçimi, sık bir bitki örtüsü oluşturmak kadar önemlidir. İyi büyüme sağlayacağına inanılan birçok bitki türü seçilebilir. Atık su arıtımında kullanılan sulak alanlar için lokal ve yöresel bitki türleri uygulanmalıdır. Çünkü lokal türler bölgenin iklimine, toprağına, diğer bitki ve hayvan topluluklarına adapte olduklarından büyümeleri çok daha hızlı gerçekleşmektedir [2, 7].

Yapay sulak alanlarda bulunan bitki tipleri ve arıtma prosesindeki işlevleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Atık sulardaki yüksek organik yüklemelerden dolayı yapay sulak alanlar organik madde açısından zengindir. Bu yüzden sazlıkların kullanımı iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü, yüksek besin seviyelerini tolere edebilecek yapıdadırlar. Büyük su kamışı ve sazlık bitkileri de, birçok değişik atık suya gösterdikleri yüksek tolerans sayesinde yapay sulak alanlarda sıkça kullanılsalar da

her ikisinin de dezavantajları bulunmaktadır. Büyük su kamışı, oldukça yayılmacı karakterde bir bitkidir. Ayrıca, misk sıçanlarının tercih ettiği besin kaynaklarından birisidir. Büyük su kamışı bitkisinin birçok böcek tarafından tercih edilmesi durumu da göz önüne alındığında zirai alanlarda büyük su kamışı bitkisinin kullanımı iyi bir tercih değildir.

Otsu sulak alan bitkileri, sulak alanların yapısal içerikleri açısından çok önemlidir. Lentiseller (yaprak veya gövdedeki küçük açıklıklar), havanın bitkilere doğru akışına izin verirler. Çeşitli dokular, bitkilerin uzunluğu boyunca gaz dolaşımına sebep olarak bitki köklerine hava sağlarlar. Özel morfolojik gelişme yapıları, köklerin havalandırılmasına yardım eder. Gelişen otsu bitkilerin esas rolleri, yapay sulak alanlarda sedimentasyon ve flokülasyonu arttırmak ve ideal hidrodinamik koşullarda askıda katıların filtrasyonunu sağlamaktır. Ayrıca, yapay sulak alanlardaki bitkiler kış aylarında, su yüzeyini düşük sıcaklıklardan korur, ısı kaybını azaltır ve rüzgarı engellerler [25].

Bazı yüzen sucul bitki türlerinin, özellikle su mercimeğinin, çok yüksek birincil üretim oranları vardır. Bu durum sonucunda, yüksek miktarlarda biyokütle ve elementler serbest su yüzeyli sulak alan ve göletlerin sık bitki örtüsüne sahip bölümlerinde birikirler.

Su sümbülü, tropikal iklimlerde TAKM ve alg giderimini arttırmak için etkilidir. Ancak, güneş ışığını bloke eder ve su/hava ara yüzeyindeki havalandırmayı engelleyip çözünmüş oksijen seviyesini suda azaltır. Bu bitkileri hasat etmenin dezavantajları, sahip oldukları düşük katı oranlarından (tipik olarak ıslak-ağırlık ölçümlerinde %5'ten daha az) kaynaklanmaktadır. Bu durumda kurutma, uzaklaştırmadan öncelikli bir ihtiyaç haline gelir ki, bu da ikincil koku ve su kalitesi problemlerini beraberinde getirir [2,40,49].

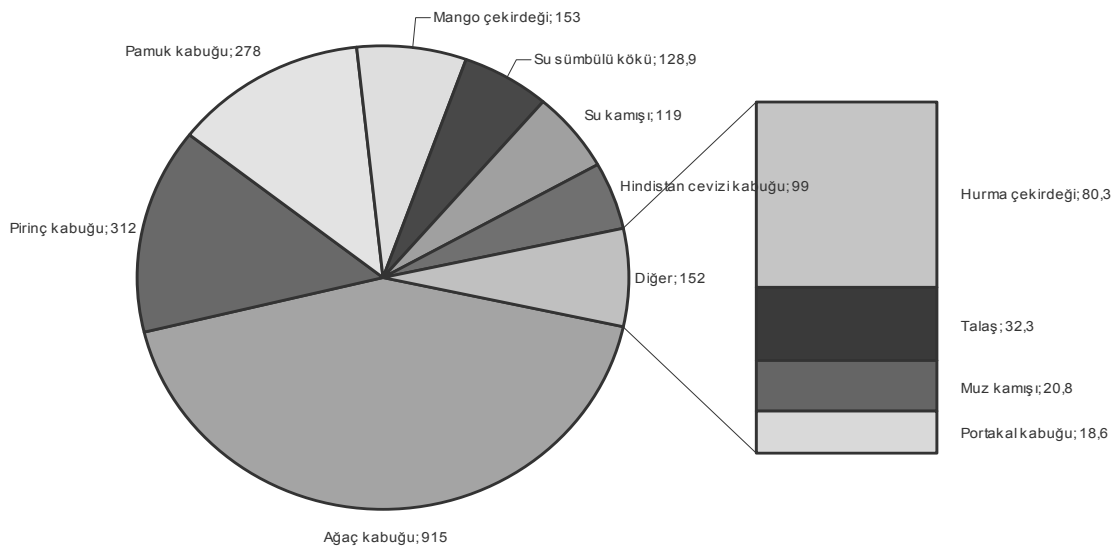
Tablo 4.3. Bitki tiplerinin sınıflandırılması

Bitki tipleri	Genel karakterleri ve örnekler	Arıtma prosesindeki önemi ve fonksiyonları	Habitat için önemi ve fonksiyonları	Dizayn ve işletme durumları
Serbest yüzen sucullar	Kök ve kök benzeri yapılar, yüzen yapraklardan ayrılır. Su dalgaları ile uzaklaşırlar. <i>Su mercimeği.</i>	Ana amacı, besinlerin alımı ve alg gelişmesini geciktirmek. Yoğun yüzücü topluluklar, atmosfere oksijen difüzyonunu sınırlar.	Yoğun yüzücü topluluklar, atmosfere oksijen difüzyonunu sınırlar. Su içindeki bitkiler için güneş ışığını bloke eder. Hayvanlar için sığınak ve yiyecek sağlar.	Su mercimeği isicilci doğal bir türdür. Spesifik dizayn gerektirmez.
Kökü yüzen sucullar	Su alnı yaprakları içerebilir. Yüzücü yapraklarla genellikle dipte kökleri. <i>Niğözer.</i>	Ana amacı, mikrobiyal tutulumu için yapı sağlamak ve gün boyunca suya oksijen bırakmaktır. Yoğun yüzücü topluluklar, atmosfere oksijen difüzyonunu sınırlar.	Yoğun yüzücü topluluklar, atmosfere oksijen difüzyonunu sınırlar. Su içindeki bitkiler için güneş ışığını bloke eder. Hayvanlar için sığınak ve yiyecek sağlar.	Bitki tipine göre, su derinliği dizayn edilmelidir (yüzücü, batık).
Su altı sucullar	Genelde tam olarak su altında, yüzücü yaprakları içerebilir. Kökleri diptedir. <i>Bataklık otu.</i>	Ana amacı, mikrobiyal tutulumu için yapı sağlamak ve gün boyunca suya oksijen bırakmaktır. Yoğun yüzücü topluluklar, atmosfere oksijen difüzyonunu sınırlar.	Hayvanlar için besin ve sığınak sağlar (özellikle balık).	Açık su çabukasında tutma zamanı, alg gelişme süresinden daha kısa olmalıdır.
Gelişen sucullar	Otsu. Kökleri diptedir. Sel ve doygun durumlara karşı toleranslıdır. <i>Su kamışı, saz.</i>	Ana amaç, artırmış flokülasyon ve sedimentasyon sağlamaktır. İkinci amaç, alg gelişmesini geciktirmek için geliştirmektir.	Hayvanlar için sığınak ve yiyecek sağlar. Estetik güzellik sağlar.	Su derinliği, seçilen özel türler için optimum aralıktadır.
Çalıtlık ve fındaklıklar	Otsu, 6 m'den kısa. <i>Çalılık, çoban puskuğu.</i>	Arıtma fonksiyonu sınırlanmıştır.	Hayvanlar (özellikle kuşlar) için sığınak ve yiyecek sağlar. Estetik güzellik sağlar.	Detaylı bilgi mevcut değildir.
Ağaçlar	Otsu, 6 m'den uzun. <i>Akça ağaç, sagar.</i>	Arıtma fonksiyonu sınırlanmıştır.	Hayvanlar (özellikle kuşlar) için sığınak ve yiyecek sağlar. Estetik güzellik sağlar.	Detaylı bilgi mevcut değildir.

4.2.3. Farklı bitkiler üzerinde boyarmadde adsorpsiyon kapasitesi

Mısırdaki yapılan bu araştırma tekstil atık sularının arıtılması ve doğaya kullanılabilir su bırakılması konusunda bitkilerin temizleme özelliğinin çok yüksek olduğunu açıkça ortaya koyar. Bu bitkiler arasında kolay yetişebilen ve ekonomik açıdan işletmeleri rahatlatıcı, ekolojik yapıya fayda sağlayabilen en iyi bitki su sümbülü olduğu ortaya çıkar [4].

Tablo 4.4. Bitkilerin boyarmadde adsorplaması yönünden sıralaması



BÖLÜM 5. DENEYSEL BÖLÜM

5.1. Kullanılan Cihaz ve Materyaller

5.1.1. Kullanılan cihazlar

5.1.1.1. UV spektrofotometresi

UV Shihadzu marka, 2410PC model bir cihaz olup boyarmadde konsantrasyonlarını ölçmek amacıyla kullanılmıştır.

5.1.1.2. Çalkalayıcı

Nüve marka, s1330 model ve 50-250 devir/dakika aralığında çalışabilen mekanik bir çalkalayıcıdır.

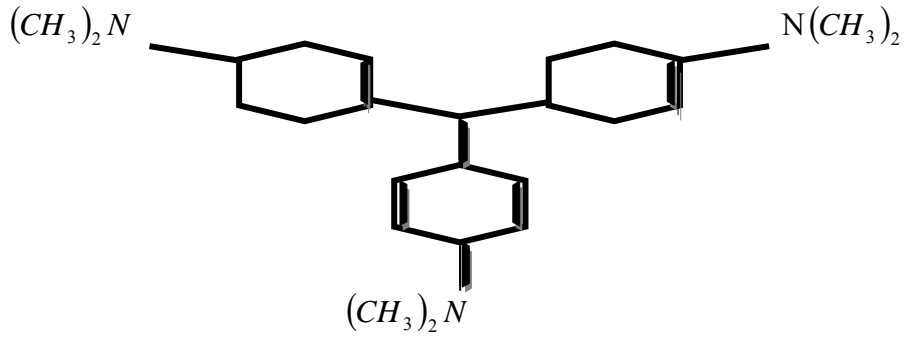
5.1.1.3. Hassas terazi

Tartımlar, Ohaus marka 0,001 mg hassasiyette çalışan terazi ile alındı.

5.1.2. Kullanılan materyaller

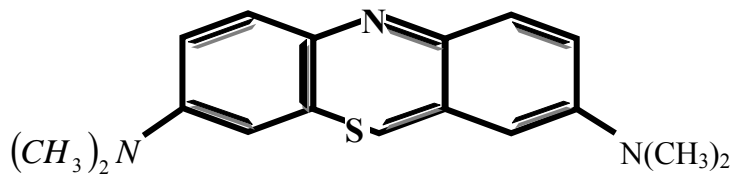
5.1.2.1. Malahit yeşili

Katyonik boyarmadde olan malahit yeşili, 617,3 nm dalga boyunda ölçümleri alındı. Bazik olan bu boyarmadde pH 9-10 arasında çalışıldı.



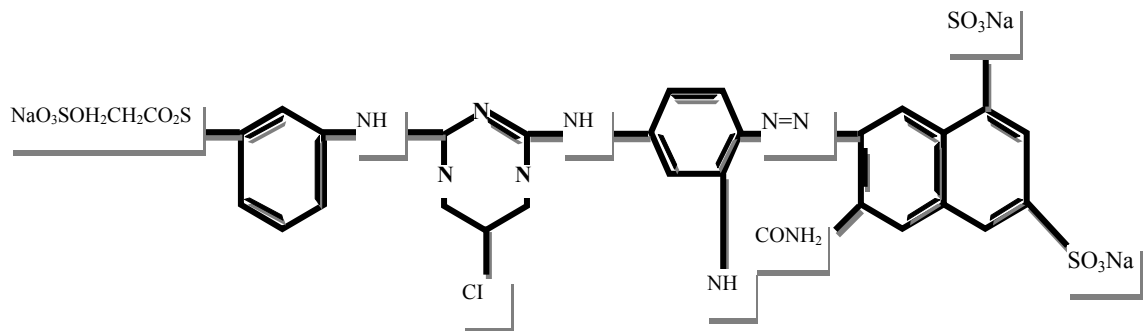
5.1.2.2. Metilen mavisi

Katyonik boyarmadde olan metilen mavisi, 664,8 nm dalga boyunda ölçümleri alındı. Bazik olan bu boyarmadde pH 9-10 arasında çalışıldı.



5.1.2.3. Reaktif sarı 145

Reaktif olan bu boyarmadde ile 419 nm dalga boyunda çalışıldı. Çalışmalar pH 5-6 arasında yapıldı.



5.1.2.4. Su sümbülü

Adsorban olarak kullanılmıştır.

5.1.2.5. pH Ayarı

pH ayarı için 0,1 M HNO₃ ve 0,1 M NaOH tampon çözeltisi hazırlanmıştır. Kullanılan bütün kimyasallar Merck ürünleridir.

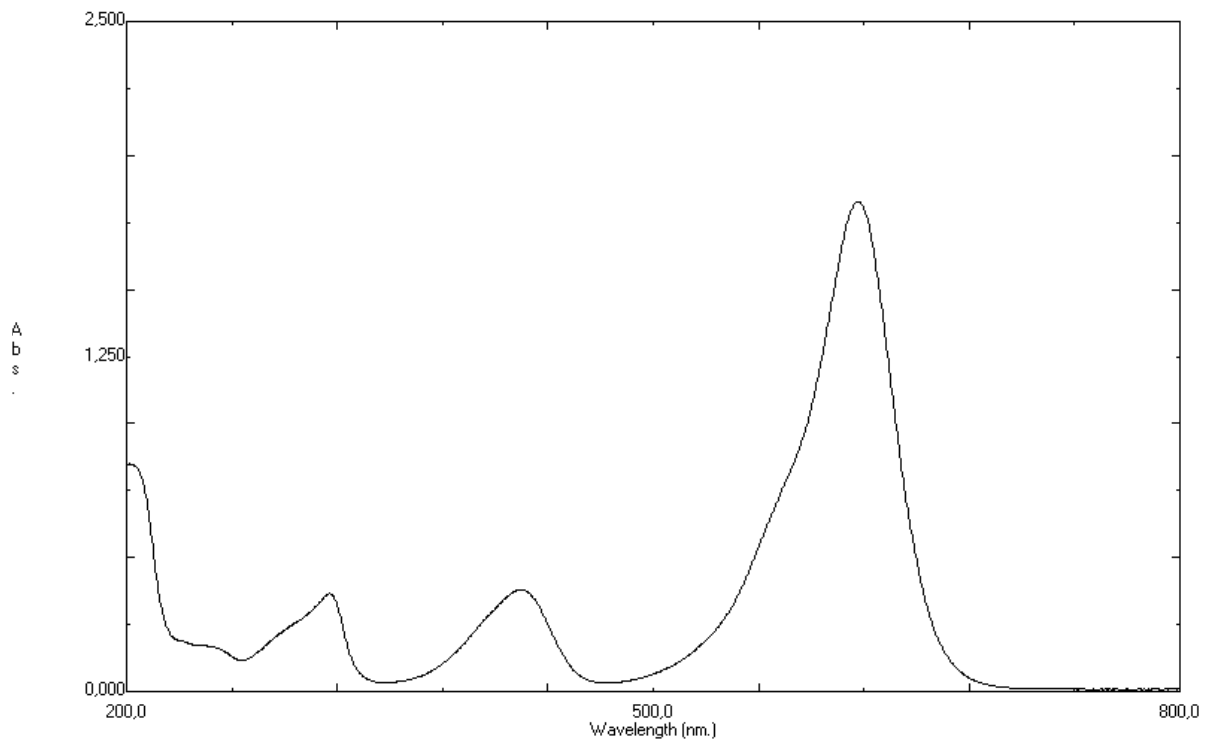
5.2. Su Sümbülü Bitki Köklerinin Adsorpsiyona Hazırlanması

İstanbul Üniversitesi Alfred Heilbronn Botanik Bahçesi seralarında yetiştirilen su sümbülü bitkisinin kökleri yetiştirildikleri yerde kopararak bitkiden ayrılmıştır. Laboratuvara getirilen kökler, üzerlerindeki toprak ve planktonların uzaklaştırılması için çeşme suyuyla iyice yıkanmıştır. Son olarak distile suyla birkaç kere yıkanan kökler 80°C, 48 saat kurulmuştur. Kurutulmuş kökler öğütülerek 300 mikron altı boyutundaki parçacıklar, adsorpsiyon çalışmalarında kullanılacak şekilde hazırlandı.

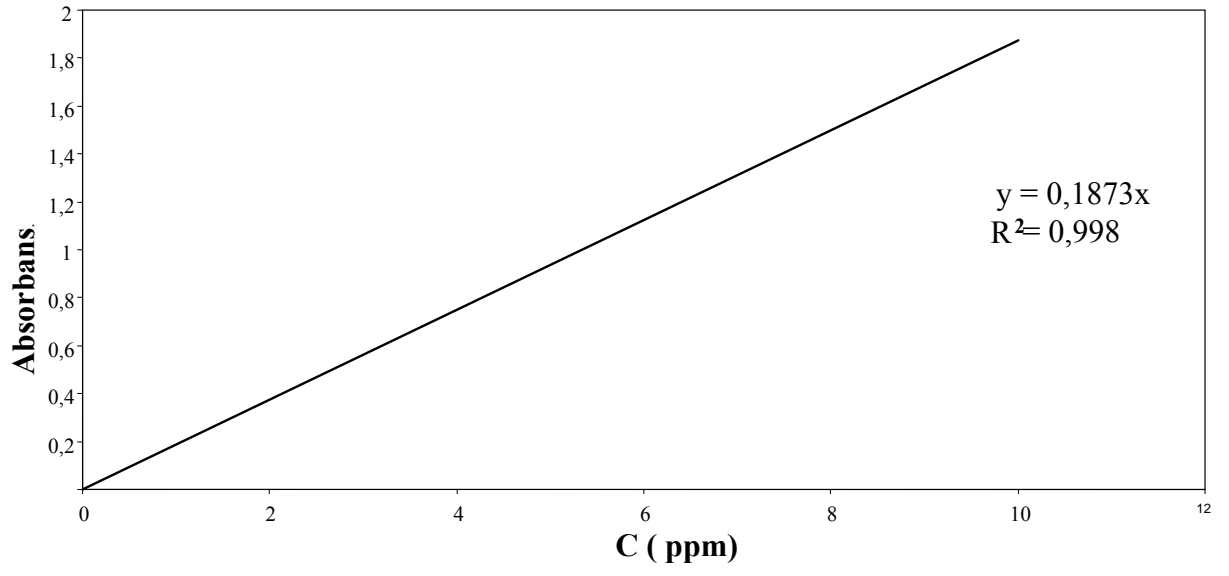
5.3. Deneysel Çalışmaların Yapılışı

Adsorpsiyon deneylerinden önce boyarmadde standart çözeltileri hazırlandı, UV ölçümleri yapıldı. Daha sonra , konsantrasyon, sıcaklık, doz (g adsorban/ml çözelti), karıştırma hızı, karıştırma süresi gibi parametrelerin etkileri incelendi. UV spektrofotometresinde metilen mavisi 664,8nm, malahit yeşili 617,3nm ve reaktif sarı 145 419nm'de konsantrasyona karşılık gelen absorbans değerleri tablo 5.1, tablo 5.2, tablo 5.3'de verildi. Standart eğriler ise şekil 5.1, şekil 5.2, şekil 5.3'de verildi.

Tablo5.1. Malahit Yeşili standart çözeltisine ait değerler

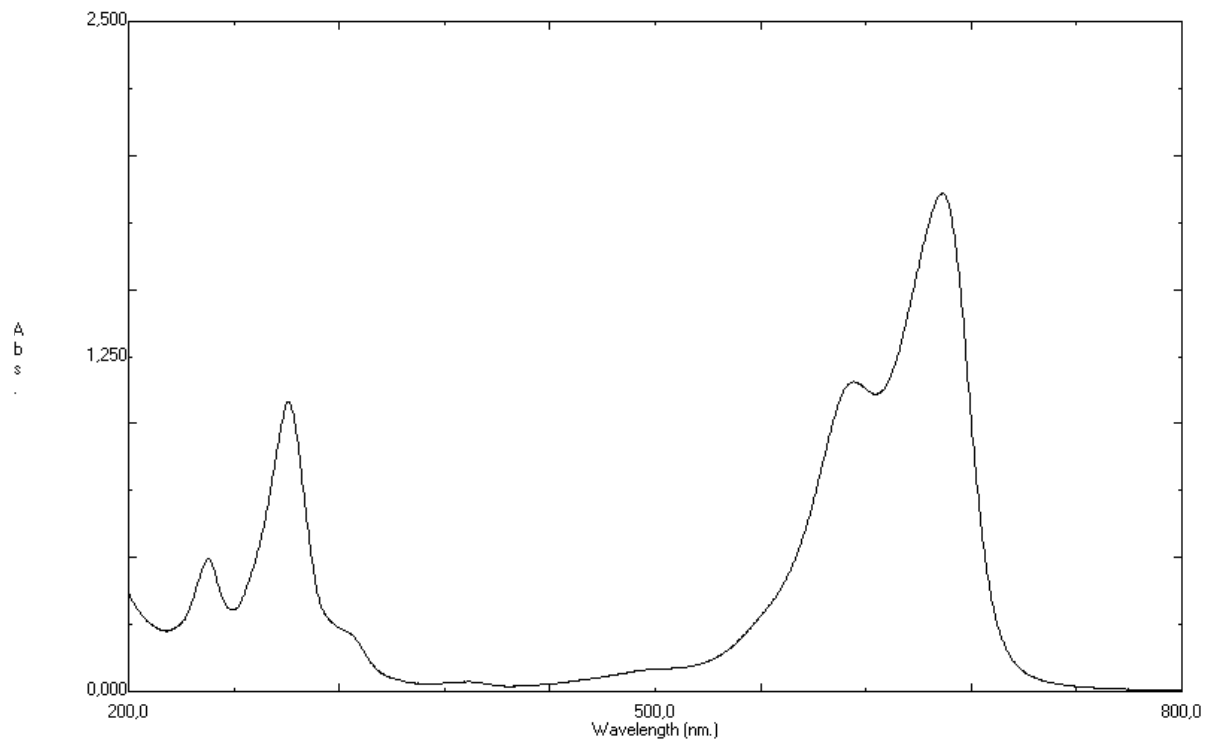


C (ppm)	Absorbans
1	0,173
2	0,383
3	0,518
4	0,707
5	0,947
10	1,898

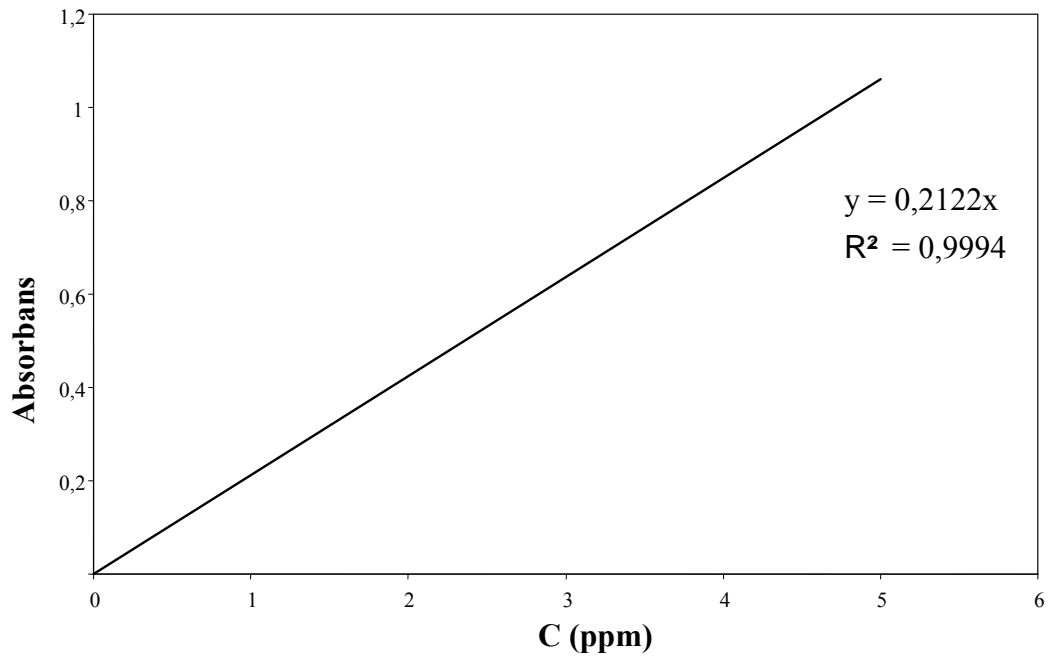


Şekil 5.1. Malahit Yeşili standart eğrisi

Tablo 5.2. Metilen Mavisi standart çözeltisine ait değerler

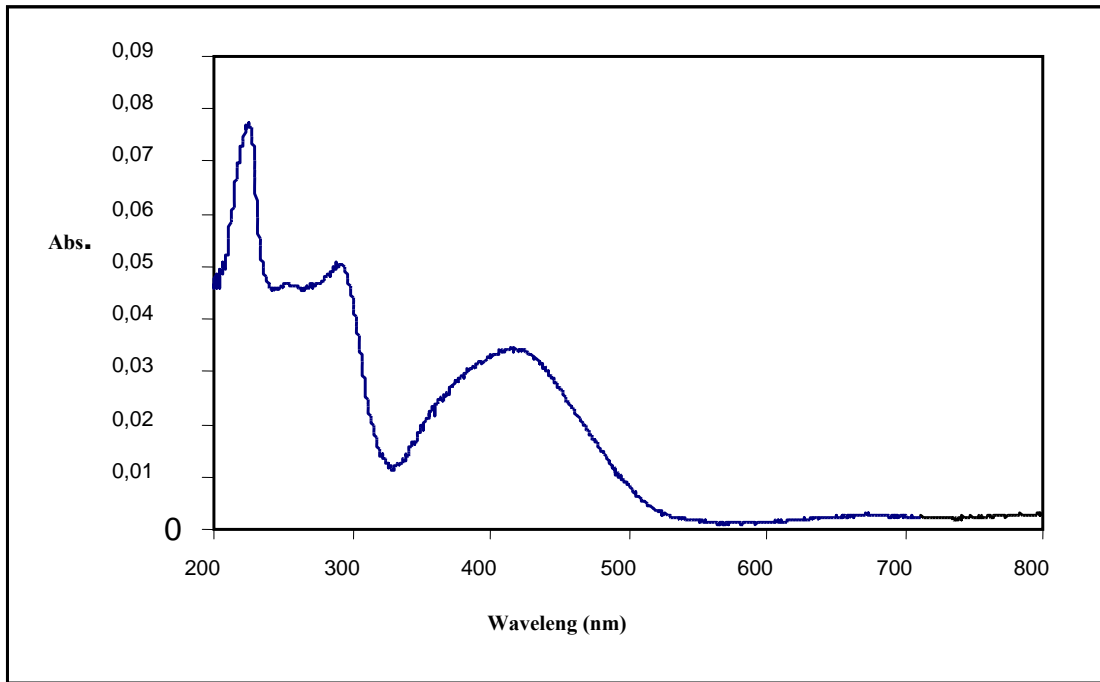


C (ppm)	Absorbans
1	0,197
2	0,423
3	0,625
4	0,856
5	1,066

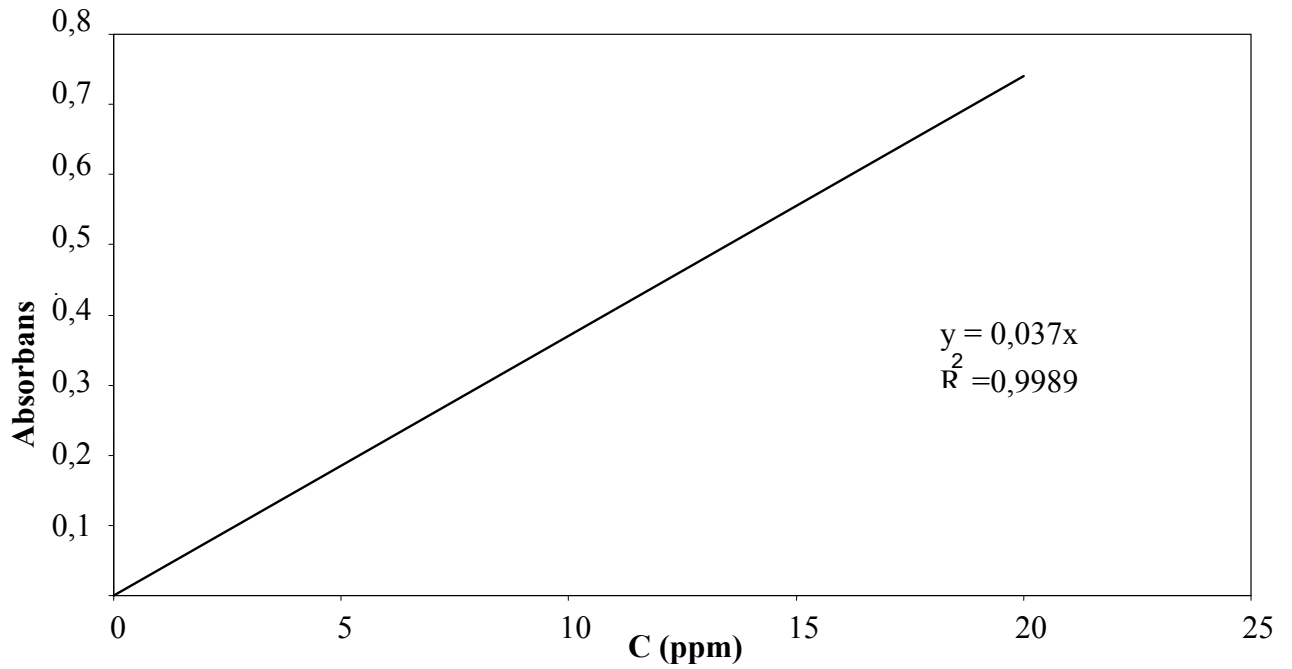


Şekil 5.2. Metilen Mavisı standart eğrisi

Tablo 5.3. Reaktif Sarı 145 standart çözeltisine ait değerler



C (ppm)	Absorbans
1	0,028
2	0,061
3	0,106
4	0,143
5	0,181
6	0,216
10	0,381
20	0,742



Şekil 5.3.Reaktif Sarı 145 standart eğrisi

5.3.1. Konsantrasyon ve sıcaklık ile adsorpsiyonun değişimi

5.3.1.1. Malahit yeşilinin 293 K 'deki adsorpsiyonunun konsantrasyon ile değişimi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,1 gr tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, boyarmadde çözeltileri 50 rpm karıştırma hızı ile 60 dakika boyunca muamele edildi. Süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Farklı konsantrasyonlara karşı adsorpsiyon yüzdesi şekil 6.1.' de ve tablo 6.1.'de verilmektedir.

5.3.1.2. Malahit yeşilinin 313 K 'deki adsorpsiyonunun konsantrasyon ile değişimi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,1 gr tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, boyarmadde çözeltileri 50 rpm karıştırma hızı ile 60 dakika boyunca muamele edildi. Süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Farklı konsantrasyonlara karşı adsorpsiyon yüzdesi şekil 6.2.'de tablo 6.2.'de verilmektedir.

5.3.1.3. Metilen mavisinin 293 K 'deki adsorpsiyonunun konsantrasyon ile değişimi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,1 gr tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, boyarmadde çözeltileri 50 rpm karıştırma hızı ile 60 dakika boyunca muamele edildi. Süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Farklı konsantrasyonlara karşı adsorpsiyon yüzdesi şekil 6.3.' da tablo 6.3.' da verilmektedir.

5.3.1.4. Metilen mavisinin 313 K 'deki adsorpsiyonunun konsantrasyon ile değişimi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,1 gr tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, boyarmadde çözeltileri 50 rpm karıştırma hızı ile 60 dakika boyunca muamele edildi. Süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Farklı konsantrasyonlara karşı adsorpsiyon yüzdesi şekil 6.4.' de tablo 6.4.'de verilmektedir.

5.3.1.5. Reaktif sarı 145 'in 293 K 'deki adsorpsiyonunun konsantrasyon ile değişimi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,5 gr tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 5-6 arasına ayarlanarak 100ml, boyarmadde çözeltileri 50 rpm karıştırma hızı ile 60 dakika boyunca muamele edildi. Süzüldü ve çözeltide kalan

boyarmadde UV' de tayin edildi. Farklı konsantrasyonlara karşı adsorpsiyon yüzdesi şekil 6.5.' de tablo 6.5.' de verilmektedir.

5.3.1.6. Reaktif sarı 145 'in 313 K 'deki adsorpsiyonunun konsantrasyon ile değişimi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,5 gr tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 5-6 arasına ayarlanarak 100ml, boyarmadde çözeltileri 50 rpm karıştırma hızı ile 60 dakika boyunca muamele edildi. Süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Farklı konsantrasyonlara karşı adsorpsiyon yüzdesi şekil 6.6.' da tablo 6.6.'da verilmektedir.

İki farklı sıcaklıkta yapılan konsantrasyonla adsorpsiyonun değişimi çalışmalarında elde edilen veriler Freundlich ve Langmuir izotermine uygulanarak termodinamik parametreler tespit edildi. Freundlich izotermine göre düzenlenen veriler tablo 6.6.1, şekil 6.6.1. ve tablo 6.6.2, şekil 6.6.2.'de gösterildi. Langmuir izotermine göre düzenlenen veriler tablo 6.6.3, şekil 6.6.3. ve tablo 6.6.4, şekil 6.6.4' de gösterildi. Termodinamik veriler ise tablo 6.6.5. ve tablo 6.6.6.'da verilmektedir.

5.3.2. Doz ile adsorpsiyonun değişimi

5.3.2.1. Malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine doz etkisi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0-1 gram arası tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, 3 ppm' lik boyarmadde çözeltileri 50 rpm karıştırma hızında 60 dakika muamele edildi. Bu süre sonunda çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Biyokütle miktarı ile adsorpsiyon yüzdesi arasında çizilen grafik şekil 6.7. ve tablo 6.7.'da verilmektedir.

5.3.2.2. Metilen mavisi adsorpsiyonu üzerine doz etkisi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0-1 gram arası tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, 3 ppm' lik boyarmadde çözeltileri 50 rpm karıştırma hızında 60 dakika muamele edildi. Bu süre sonunda çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Biyokütle miktarı ile adsorpsiyon yüzdesi arasında çizilen grafik şekil 6.8. ve tablo 6.8. 'de verilmektedir.

5.3.2.3. Reaktif sarı 145 adsorpsiyonu üzerine doz etkisi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0-1 gram arası tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 5-6 arasına ayarlanarak 100ml, 10 ppm'lik boyarmadde çözeltileri 50 rpm karıştırma hızında 60 dakika muamele edildi. Bu süre sonunda çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Biyokütle miktarı ile adsorpsiyon yüzdesi arasında çizilen grafik şekil 6.9. ve tablo 6.9. 'da verilmektedir.

5.3.3. Karıştırma hızı ile adsorpsiyonun değişimi

5.3.3.1. Malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine karıştırma hızı etkisi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,1 gram tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, 3 ppm'lik boyarmadde çözeltileri 30 dakika muamele edildi. Bu süre sonunda çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Biyokütle miktarı ile adsorpsiyon yüzdesi arasında çizilen grafik şekil 6.10. ve tablo 6.10.'da verilmektedir.

5.3.3.2. Metilen mavisi adsorpsiyonu üzerine karıştırma hızı etkisi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,1 gram tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, 3 ppm' lik boyarmadde çözeltileri 30 dakika muamele edildi. Bu süre sonunda çözeltiler süzüldü ve çözeltide

kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Biyokütle miktarı ile adsorpsiyon yüzdesi arasında çizilen grafik şekil 6.11. ve tablo 6.11.'de verilmektedir.

5.3.3.3. Reaktif sarı 145 adsorpsiyonu üzerine karıştırma hızı etkisi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,2 gram tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 5-6 arasına ayarlanarak 100ml, 10 ppm' lik boyarmadde çözeltileri 30 dakika muamele edildi. Bu süre sonunda çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Biyokütle miktarı ile adsorpsiyon yüzdesi arasında çizilen grafik şekil 6.12. ve tablo 6.12.'de verilmektedir.

5.3.4. Karıştırma süresi ile adsorpsiyonun değişimi

5.3.4.1. Malahit yeşili adsorpsiyonu üzerine karıştırma süresinin etkisi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,1 gram tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, 2 ppm' lik boyarmadde çözeltileri 200 rpm karıştırma hızı ile muamele edildi. Çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Biyokütle miktarı ile adsorpsiyon yüzdesi arasında çizilen grafik şekil 6.13. ve tablo 6.13.'da verilmektedir.

5.3.4.2. Metilen mavisi adsorpsiyonu üzerine karıştırma süresinin etkisi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,1 gram tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 9-10 arasına ayarlanarak 100ml, 2 ppm' lik boyarmadde çözeltileri 200 rpm karıştırma hızı ile muamele edildi. Çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Biyokütle miktarı ile adsorpsiyon yüzdesi arasında çizilen grafik şekil 6.14. ve tablo 6.14.'de verilmektedir.

5.3.4.3. Reaktif sarı 145 adsorpsiyonu üzerine karıştırma süresinin etkisi

300µm tanecik boyutuna sahip kurutulmuş bitki köklerinden 0,1 gram tartımlar alındı. Başlangıç pH' sı 5-6 arasına ayarlanarak 100ml, 10 ppm'lik boyarmadde çözeltileri 200 rpm karıştırma hızı ile muamele edildi. Çözeltiler süzöldü ve çözeltide kalan boyarmadde UV' de tayin edildi. Biyokötle miktarı ile adsorpsiyon yüzdesi arasında çizilen grafik şekil 6.1. ve tablo 6.15.'de verilmektedir.

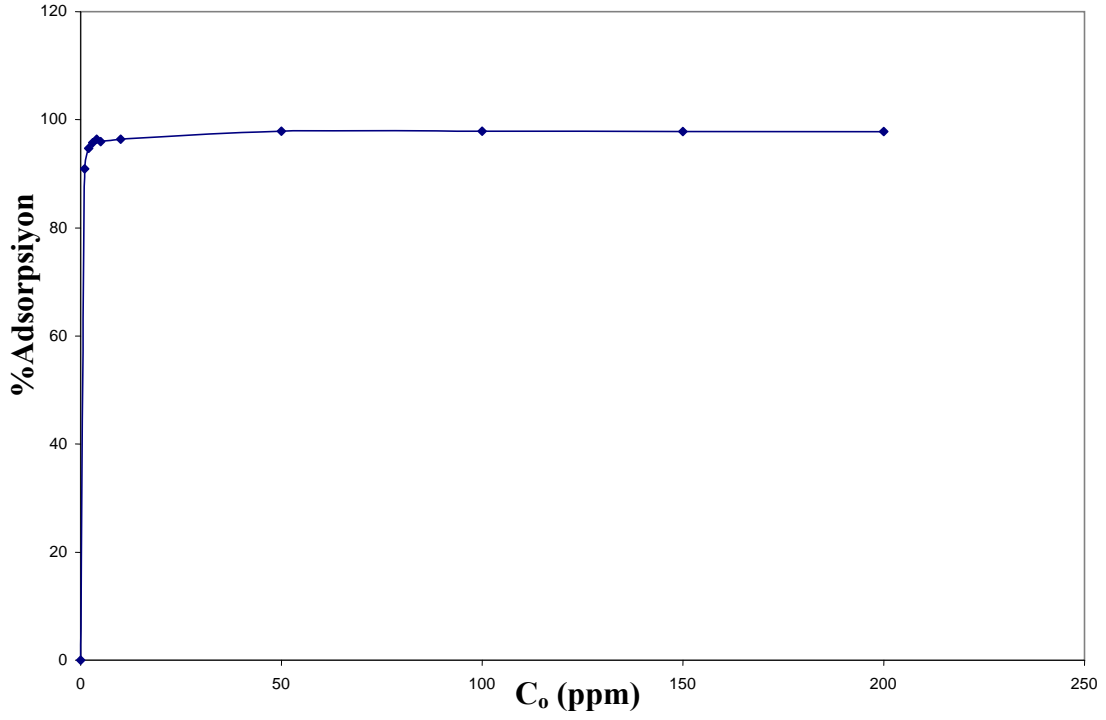
BÖLÜM 6. SONUÇLAR

6.1. Konsantrasyon ve Sıcaklık ile Adsorpsiyonun Değişimi

293 K’ de yapılmış olan bu çalışmada 200 ppm’e kadar olan konsantrasyonda boyarmadde ile su sümbülünün etkileşimi incelendi. Malahit Yeşili için maksimum adsorpsiyon değeri % 90,9- 97,9 arasında olduğu gözlemlendi. Malahit yeşili ile 313 K’ de yapılmış çalışmalarda adsorpsiyonun sıcaklıkla ve konsantrasyonla doğru orantılı olduğu görülmüştür. 313 K’ de maksimum adsorsiyon değeri % 83,9- 99,6 ‘ dir.

Tablo 6.1. Malahit Yeşili 20 °C ‘de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi

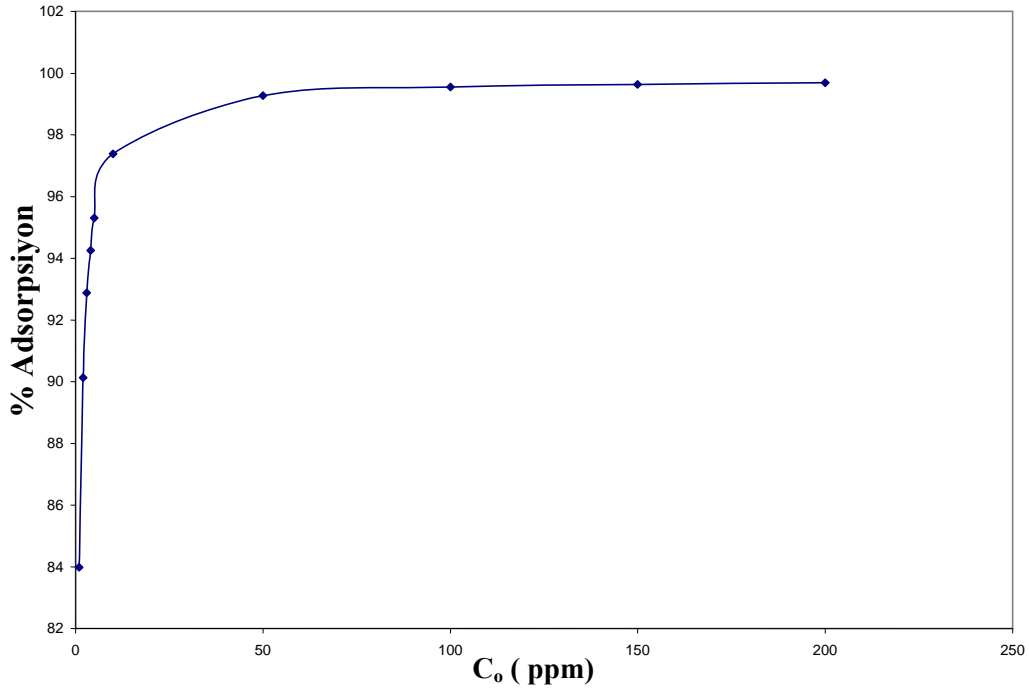
C_o (ppm)	Abs.	C_s (ppm)	%Ads.
0	0	0	0
1	0,017	0,09	90,9
2	0,02	0,10	94,6
3	0,024	0,12	95,7
4	0,027	0,14	96,3
5	0,038	0,20	95,9
10	0,067	0,36	96,4
50	0,196	1,05	97,9
100	0,401	2,14	97,8
150	0,615	3,28	97,8
200	0,825	4,40	97,7



Şekil 6.1. Malahit Yeşili % Adsorpsiyon – C_0 grafiği (293 K sıcaklık, 0,1gr su sümbülü, pH 9-10, karıştırma hızı 50 rpm, karıştırma süresi 60 dakika)

Tablo 6.2. Malahit Yeşili 40 °C ‘de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi

C_0 (ppm)	Abs.	C_s (ppm)	%Ads.
0	0	0	0
1	0,03	0,16	83,9
2	0,037	0,19	90,1
3	0,04	0,21	92,8
4	0,043	0,22	94,2
5	0,044	0,23	95,3
10	0,049	0,26	97,3
50	0,068	0,36	99,2
100	0,084	0,44	99,5
150	0,103	0,54	99,6
200	0,117	0,62	99,6

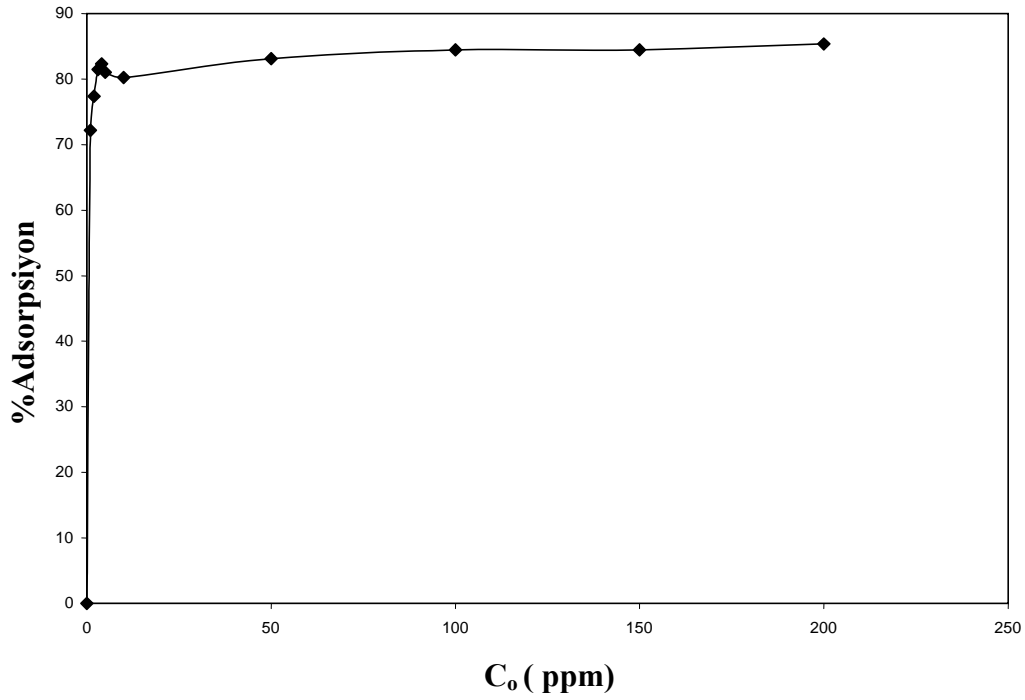


Şekil 6.2. Malahit Yeşili % Adsorpsiyon - C₀ grafiği (413 K sıcaklık, 0,1gr su sümülü, pH 9-10, karıştırma hızı 50 rpm, karıştırma süresi 60 dakika)

Metilen Mavisi için Maksimum adsorpsiyon değeri % 72,1- 85,3 arasında olduğu gözlemlendi. Metilen Mavisi ile 313 K' de yapılmış çalışmalarda adsorpsiyonun arttığı görülmüştür. 313 K' de Maksimum adsorpsiyon değeri % 88,2- 99,0 arasında gözlemlendi.

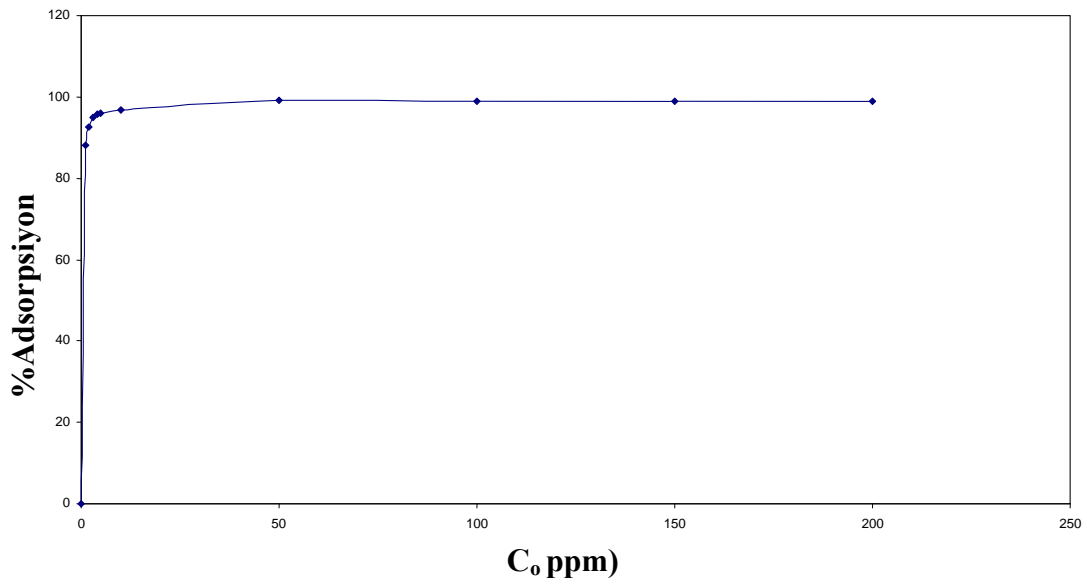
Tablo 6.3. Metilen Mavisi 20 °C 'de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi

C_o (ppm)	Abs.	C_s(ppm)	%Ads.
0	0	0	0
1	0,059	0,27	72,1
2	0,096	0,45	77,3
3	0,118	0,55	81,4
4	0,15	0,70	82,3
5	0,201	0,94	81,0
10	0,42	1,97	80,2
50	1,792	8,44	83,1
100	3,295	15,52	84,4
150	4,96	23,37	84,4
200	6,203	29,23	85,3

şekil 6.3. Metilen Mavisi %Adsorpsiyon - C_o grafiği (293 K sıcaklık, 0,1gr su sũmbũlũ, pH 9-10, karıştırmahızı 50 rpm, karıştırma sũresi 60 dakika)

Tablo 6.4. Metilen mavisi 40 °C 'de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi

C_o (ppm)	Abs.	C_s (ppm)	%Ads.
1	0,025	0,11	88,2
2	0,031	0,14	92,6
3	0,033	0,15	94,8
4	0,037	0,17	95,6
5	0,042	0,19	96,0
10	0,068	0,32	96,7
50	0,096	0,45	99,0
100	0,23	1,08	98,9
150	0,35	1,64	98,9
200	0,43	2,02	98,9

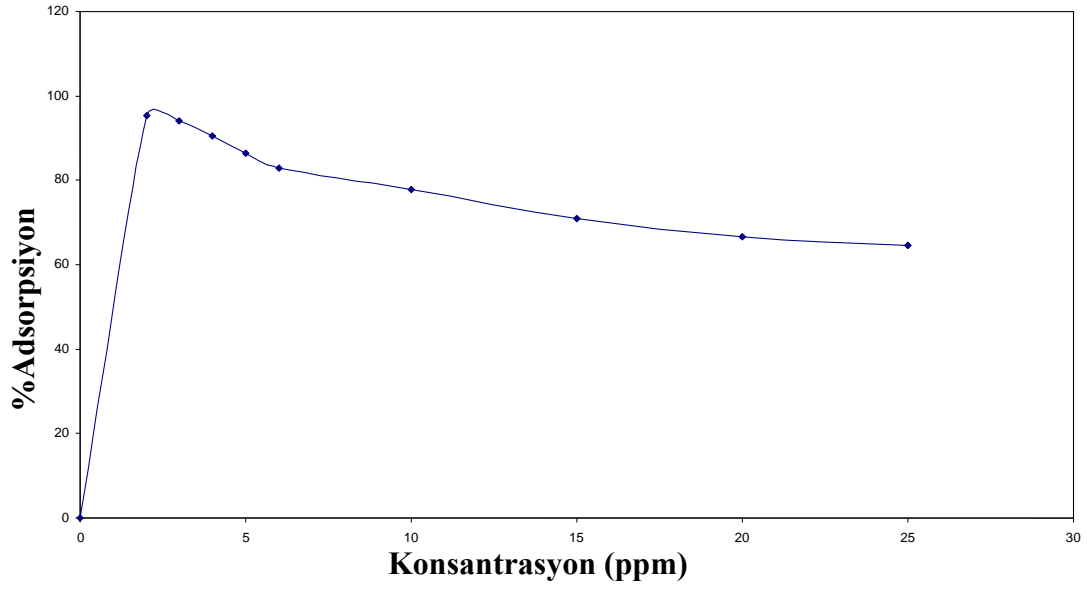


şekil 6.4. Metilen Mavisi % Adsorpsiyon – C_o grafiği (413 K sıcaklık, 0,1gr su sũmbũlũ, pH 9-10, karıştırmahızı 50 rpm, karıştırma sũresi 60 dakika)

Reaktif Sarı 145 için Maksimum adsorpsiyon değeri % 64,5- 95,2 seviyeleri arasında olduğu gözlemlendi. 313 K’ de ise Maksimum adsorpsiyon değeri % 87,4- 90,8 seviyeleri arasında gözlemlendi.

Tablo 6.5. Reaktif Sarı 145 20 °C ‘de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi

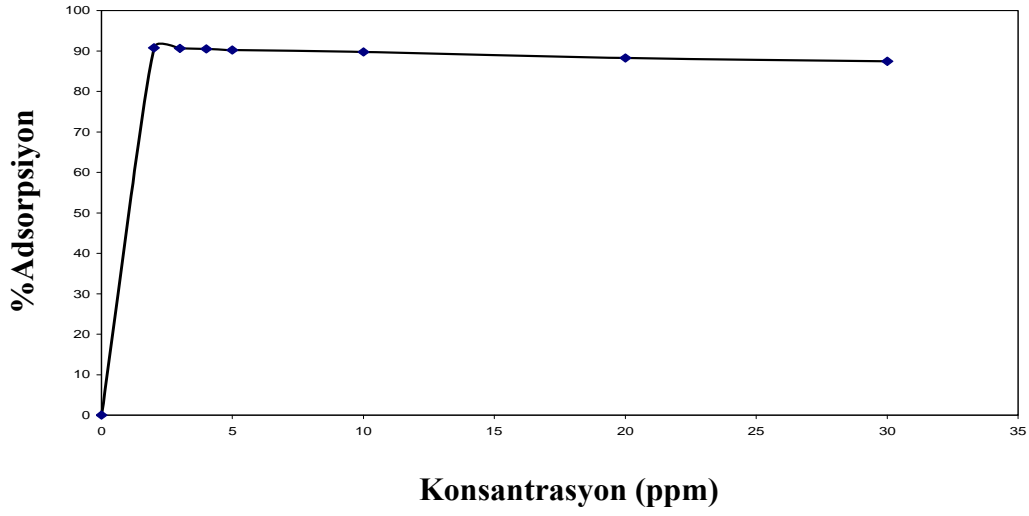
C₀(ppm)	Abs.	C_s(ppm)	%Ads.
2	0,0035	0,09	95,2
3	0,0065	0,18	94,1
4	0,014	0,38	90,5
5	0,025	0,68	86,4
6	0,038	1,03	82,8
10	0,082	2,22	77,8
15	0,162	4,38	70,8
20	0,248	6,70	66,4
25	0,328	8,86	64,5



Şekil 6.5. Reaktif Sarı 145 % Adsorpsiyon – C_s grafiği (293 K sıcaklık, 0,5 gr su sümbülü, pH 5-6, karıştırma hızı 50 rpm, karıştırma süresi 60 dakika)

Tablo 6.6. Reaktif Sarı 145 40 °C 'de adsorpsiyonun konsantrasyon ile değişimi

C_o (ppm)	Abs.	C_s (ppm)	%Ads.
0	0	0	0
2	0,0068	0,18	90,8
3	0,0104	0,28	90,6
4	0,014	0,38	90,5
5	0,018	0,49	90,2
10	0,038	1,03	89,7
20	0,087	2,35	88,2
30	0,139	3,76	87,4

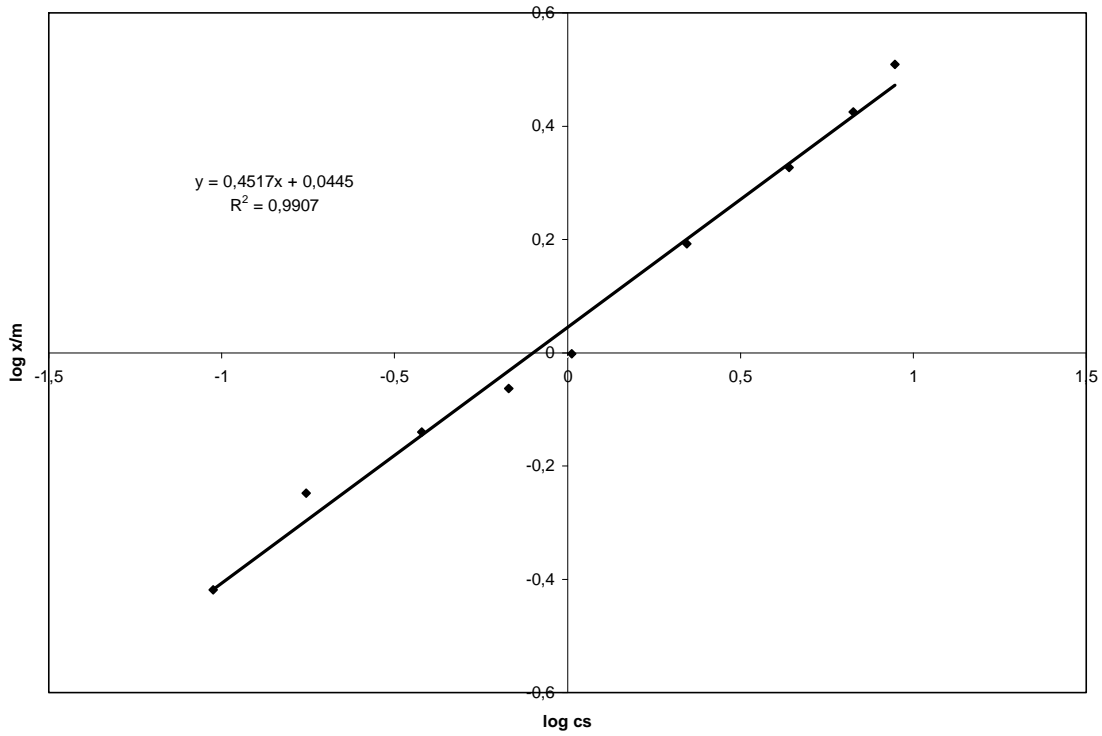


Şekil 6.6. Reaktif Sarı 145 % Adsorpsiyon – C_s grafiği (413 K sıcaklık, 0,5 gr su sümbülü, pH 5-6, karıştırma hızı 50 rpm, karıştırma süresi 60 dakika)

Reaktif Sarı 145 için Freundlich denkleminde $[\log(x/m) = \log k + n \log C_s]$ 20°C için k ve n değerleri regresyon analizi yapılarak hesaplandı.

Tablo 6.6.1. 293 K 'de Freundlich izotermi verileri

$C_0(\text{ppm})$	$\log C_s$	$\log x/m$	x/m
2	-1,024	-0,419	0,381
3	-0,755	-0,248	0,565
4	-0,422	-0,140	0,724
5	-0,17	-0,063	0,865
6	0,0116	-0,002	0,995
10	0,345	0,192	1,557
15	0,641	0,327	2,124
20	0,826	0,425	2,659
25	0,947	0,509	3,227

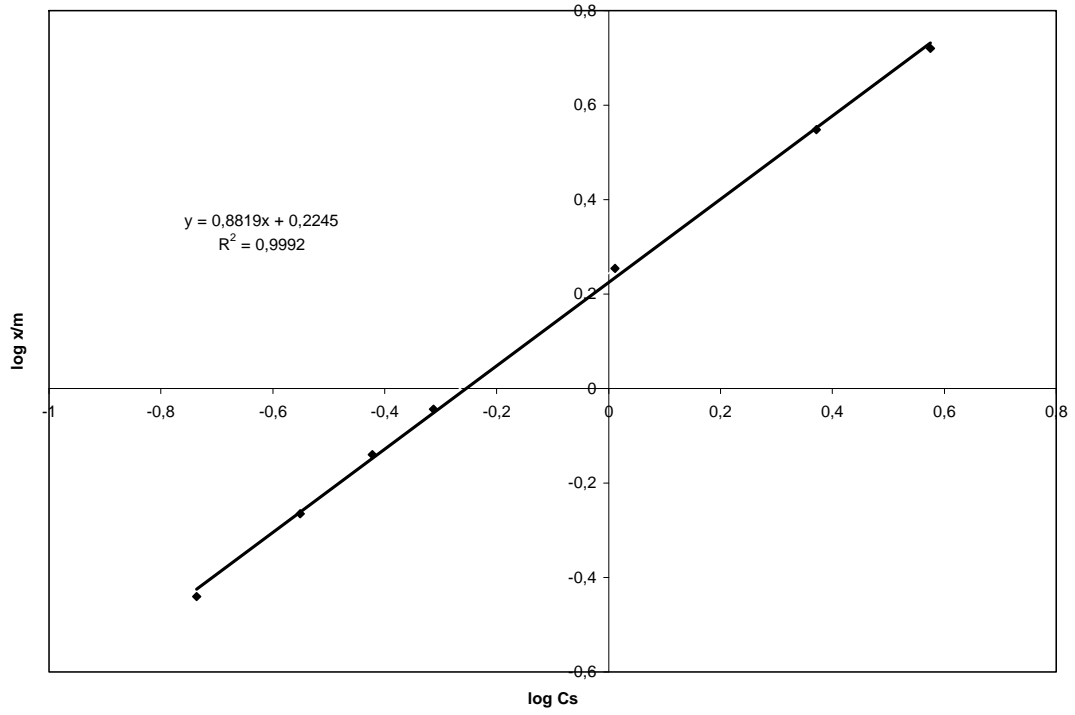


Şekil 6.6.1. Reaktif Sarı 145 boyarmaddesinin Freundlich izoterminde Log C_s - Log (x/m) eğrisi

Reaktif Sarı 145 için Freundlich denkleminde [$\log(x/m) = \log k + n \log C_s$] 40°C için k ve n değerleri regresyon analizi yapılarak hesaplandı.

Tablo 6.6.2. 313 K 'de Reaktif Sarı 145 Freundlich izoterminin verileri

$C_o(\text{ppm})$	$\log C_s$	$\log x/m$	x/m
2	-0,736	-0,44	0,363
3	-0,551	-0,265	0,544
4	-0,422	-0,14	0,724
5	-0,313	-0,044	0,903
10	0,0116	0,254	1,795
20	0,371	0,548	3,530
30	0,575	0,72	5,249

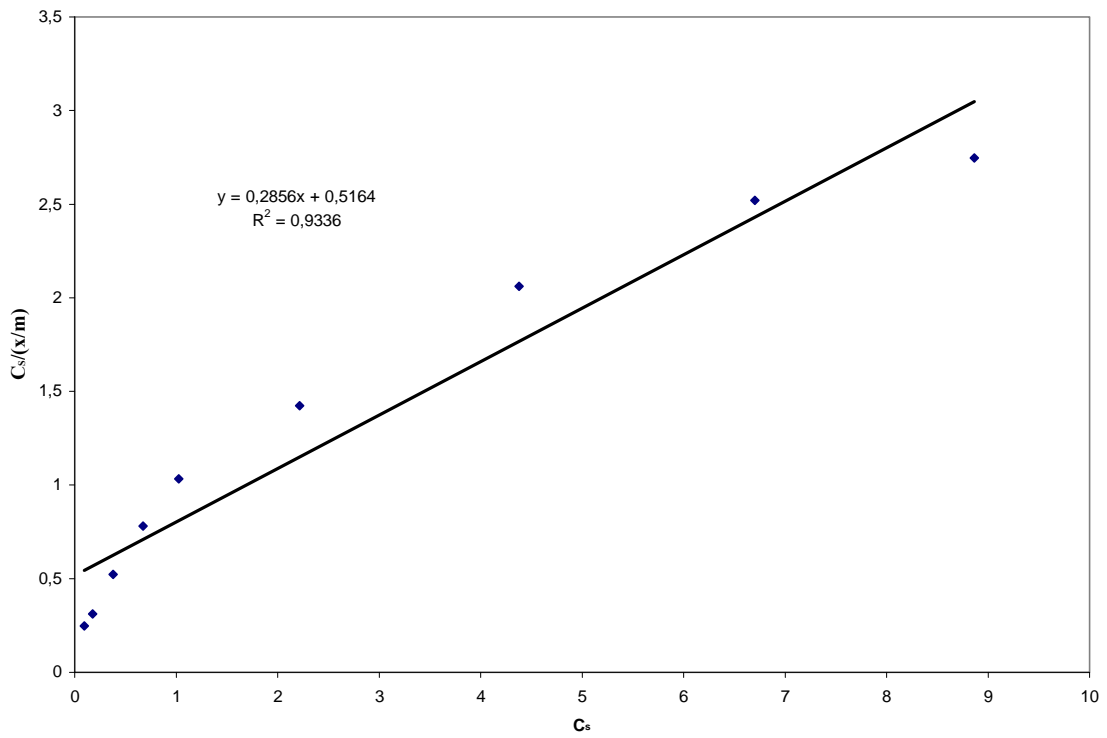


Şekil 6.6.2. Reaktif Sarı 145 boyarmaddesinin Freundlich izoterminde Log C_s -Log (x/m) eğrisi

Daha sonra Langmuir denkleminde $[C_s/(x/m)=1/KX_m+C_s/X_m]$ 293 K ve 313 K 'deki veriler uygulandığında termodinamik değerler hesaplandı.

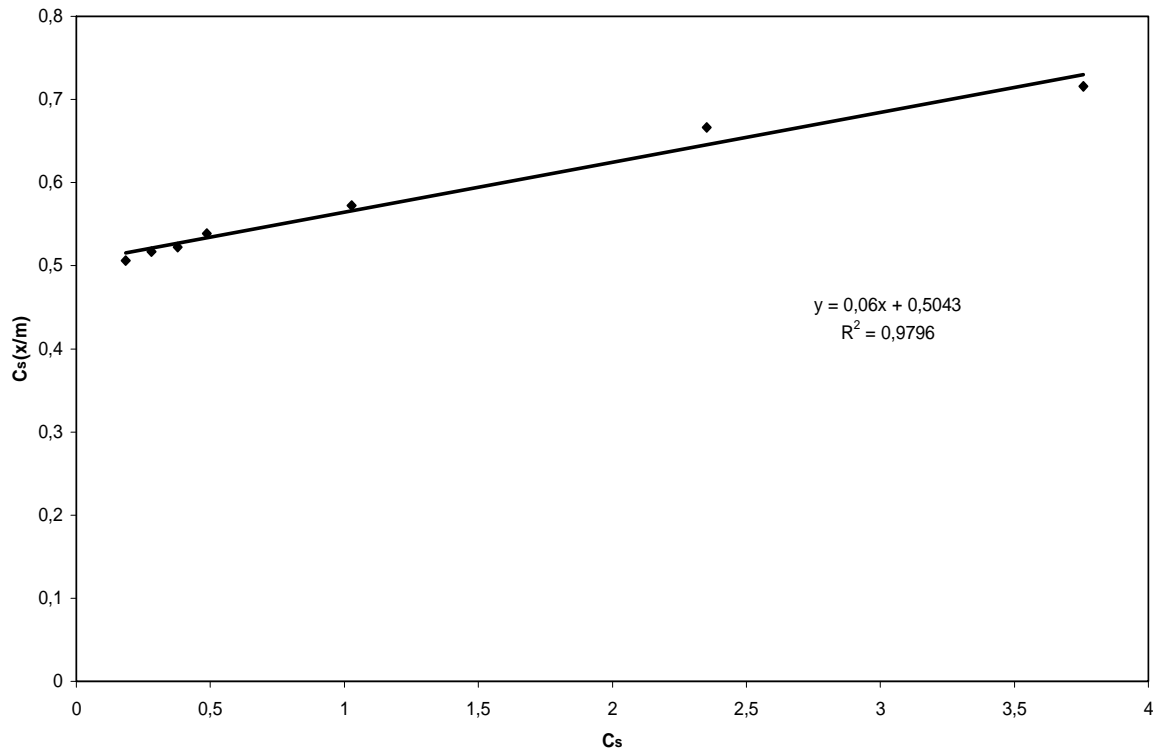
Tablo 6.6.3. Reaktif Sarı 145 293 K' de Langmuir izoterm verileri

C_0 (ppm)	C_s (ppm)	x/m	$C_s/(x/m)$
2	0,095	0,381	0,248
3	0,176	0,565	0,311
4	0,378	0,724	0,522
5	0,676	0,865	0,781
6	1,027	0,995	1,033
10	2,216	1,557	1,424
15	4,378	2,124	2,061
20	6,703	2,659	2,520
25	8,865	3,227	2,747

Şekil 6.6.3. Reaktif Sarı 145 boyarmaddesinin Langmuir izoterminde C_s - $C_s/(x/m)$ grafiği

Tablo 6.6.4. Reaktif Sarı 145 313 K' de Langmuir izoterm verileri

C_0 (ppm)	C_s (ppm)	x/m	$C_s/(x/m)$
2	0,184	0,363	0,506
3	0,281	0,544	0,517
4	0,378	0,724	0,522
5	0,486	0,903	0,539
10	1,027	1,795	0,572
20	2,351	3,530	0,666
30	3,757	5,249	0,716

Şekil 6.6.4. Reaktif Sarı 145 boyarmaddesinin Langmuir izoterminde C_s - $C_s(x/m)$ grafiği

Tablo 6.6.5. Reaktif Sarı 145 Freundlich İzoterm Verileri

	293K	313K
R	0,9907	0,9992
log k	0,0445	0,2245
k	1,108	1,677
n	2,21	1,114

Langmuir izoterm verilerine bakıldığında, $(A = \frac{1}{KX_m}, B = \frac{1}{X_m})$ ' den K, X_m sabitleri hesaplandı ve bu sabitler kullanılarak $\Delta G = -RT \ln K$ eşitliğinden 293 ve 313 K'deki serbest enerji hesaplandı. Clasius-Clapeyron denklemi;

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

yardımla ΔH hesaplandı.

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

Eşitliğinden sıcaklıkla adsorpsiyonun entropi değişimi hesaplandı. Hesaplanan termodinamik değerler tablo 6.6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6.6. Reaktif Sarı 145 Langmuir İzoterm Verileri

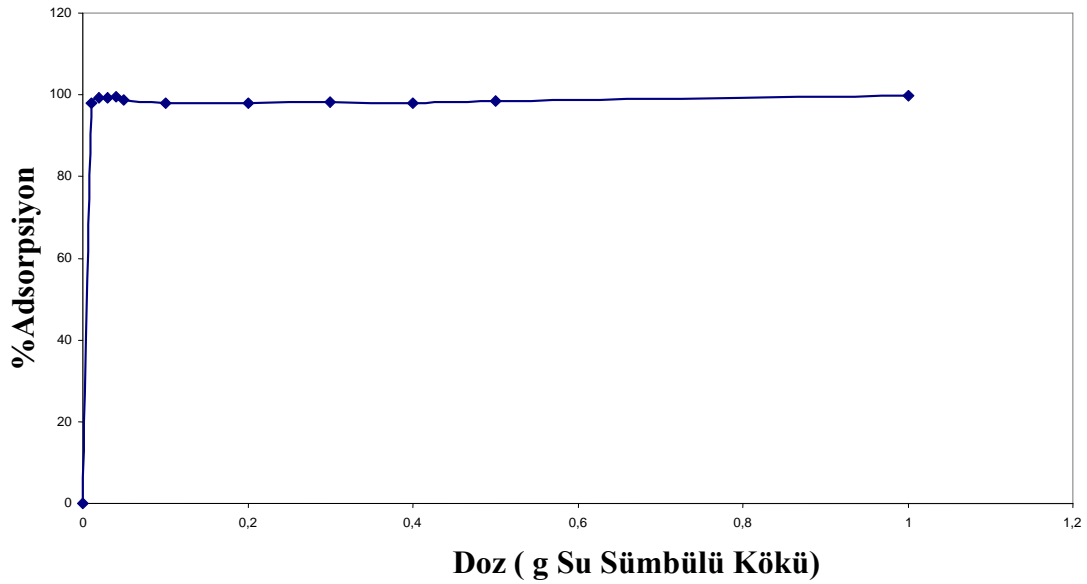
	293K	313K
K (L/mol)	567,58	122,1
-ΔG (Kj/mol)	15,45	12,503
- ΔH (Kj/mol)	58,59	
- ΔS (J/molK)	147,2	147,2

6.3. Doz ile Adsorpsiyonun Değişimi

Doz ile adsorpsiyonun değişimi ile ilgili olarak elde edilen tablo 6.7, tablo 6.8, tablo 6.9 ve şekil 6.7 şekil 6,8 şekil 6.9' daki veriler, boyarmadde adsorpsiyonunun doz artışı ile pek fazla değişmediğini göstermektedir. Malahit Yeşili, Metilen Mavisi, Reaktif Sarı 145 için maksimum adsorpsiyon değerleri sırasıyla; % 97,8- 99,8, % 61,6- 84,9, % 45,6- 72,7 olarak tespit edildi. Bu sonuçlara göre artan su sümbülü miktarı ile adsorpsiyon artmaktadır ancak büyük bir değişim olmamaktadır. Sonuçlar açıkça tablo ve şekillerde verildi.

Tablo 6.7. Malahit Yeşili Adsorpsiyonun doz ile değişimi

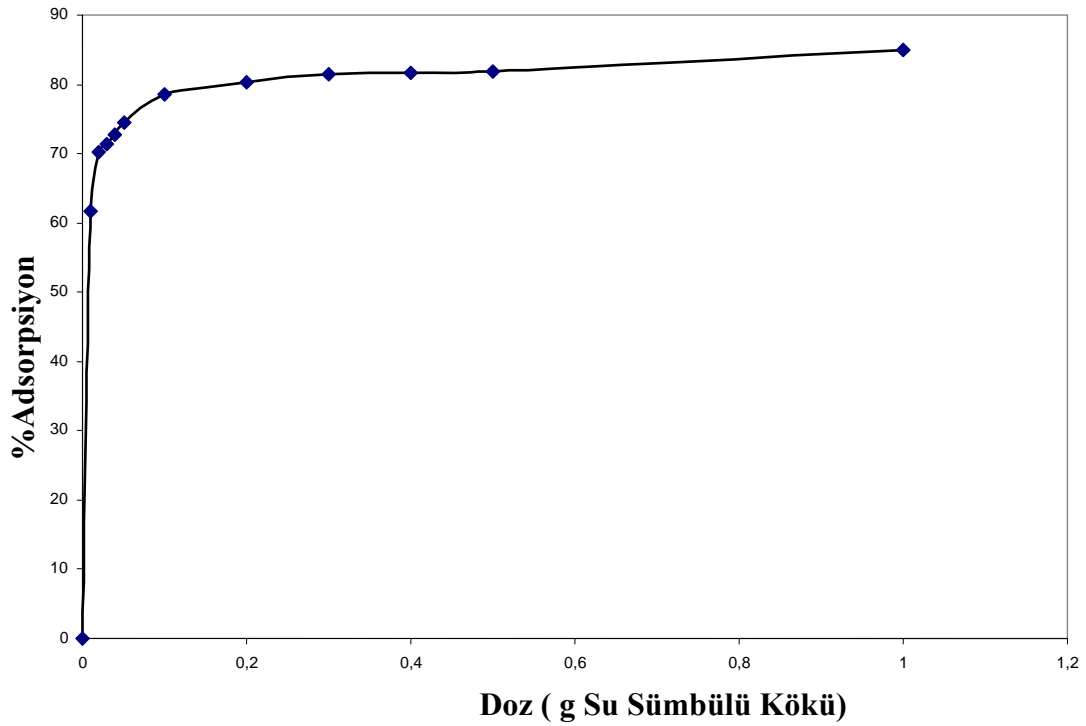
Doz (gr)	Absorbans	C _s (ppm)	%Adsorpsiyon
0,01	0,011	0,059	98,042
0,02	0,004	0,021	99,288
0,03	0,004	0,021	99,288
0,04	0,003	0,016	99,466
0,05	0,007	0,037	98,754
0,1	0,012	0,064	97,864
0,2	0,011	0,059	98,042
0,3	0,01	0,053	98,220
0,4	0,012	0,064	97,864
0,5	0,009	0,048	98,398
1	0,001	0,005	99,822



Şekil 6.7. Malahit Yeşili %Adsorpsiyon-doz değişim grafiği (293 K sıcaklık, 0-1 gr su sümbülü, pH 9-10, boyarmadde çözeltisi konsantrasyonu 3 ppm, karıştırma hızı 50 rpm, karıştırma süresi 60 dakika)

Tablo 6.8. Metilen Mavisi Adsorpsiyonun doz ile değişimi

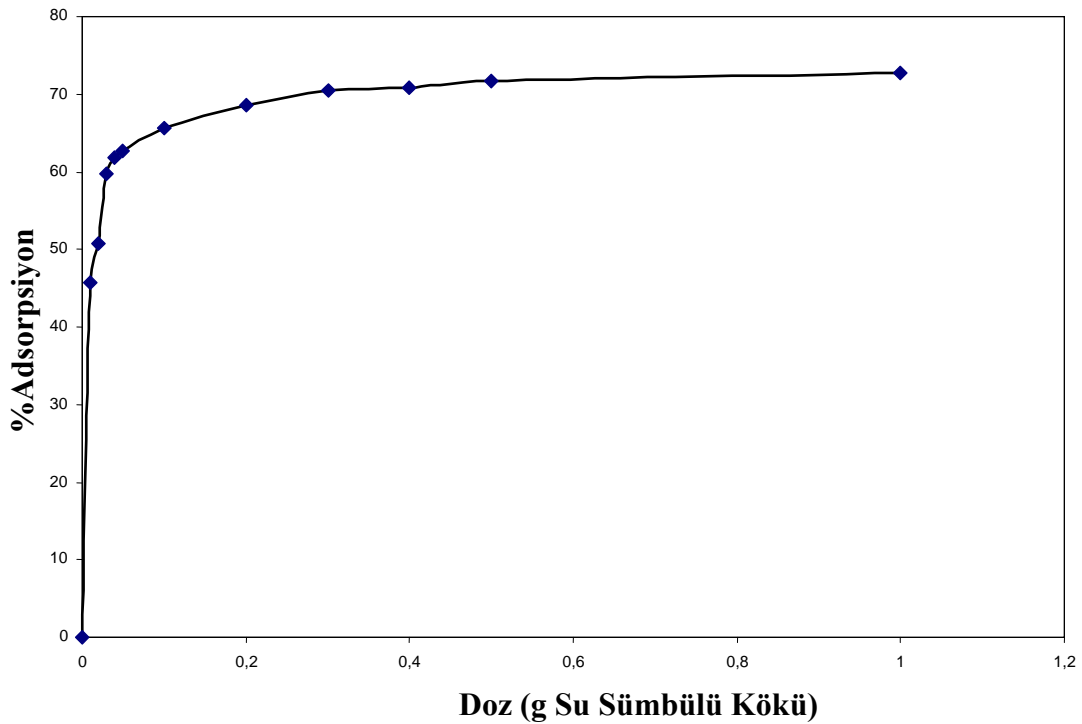
Doz (gr)	Absorbans	C _s (ppm)	%Adsorpsiyon
0	0	0	0
0,01	0,244	1,150	61,671
0,02	0,19	0,895	70,154
0,03	0,182	0,858	71,411
0,04	0,174	0,820	72,667
0,05	0,162	0,763	74,552
0,1	0,137	0,646	78,479
0,2	0,126	0,594	80,207
0,3	0,118	0,556	81,464
0,4	0,117	0,551	81,621
0,5	0,115	0,542	81,935
1	0,096	0,452	84,920



şekil 6.8. Metilen mavisi %Adsorpsiyon-doz değişim grafiği (293 K sıcaklık, 0-1 gr su sümbülü, pH 9-10, boyarmadde çözeltisi konsantrasyonu 3 ppm, karıştırma hızı 50 rpm, karıştırma süresi 60 dakika)

Tablo 6.9. Reaktif Sarı 145 Adsorpsiyonun doz ile değişimi

Doz (gr)	Absorbans	C _s (ppm)	%Adsorpsiyon
0,01	0,201	5,432	45,676
0,02	0,182	4,919	50,811
0,03	0,149	4,027	59,730
0,04	0,141	3,811	61,892
0,05	0,138	3,730	62,703
0,1	0,127	3,432	65,676
0,2	0,116	3,135	68,649
0,3	0,109	2,946	70,541
0,4	0,108	2,919	70,811
0,5	0,105	2,838	71,622
1	0,101	2,730	72,703



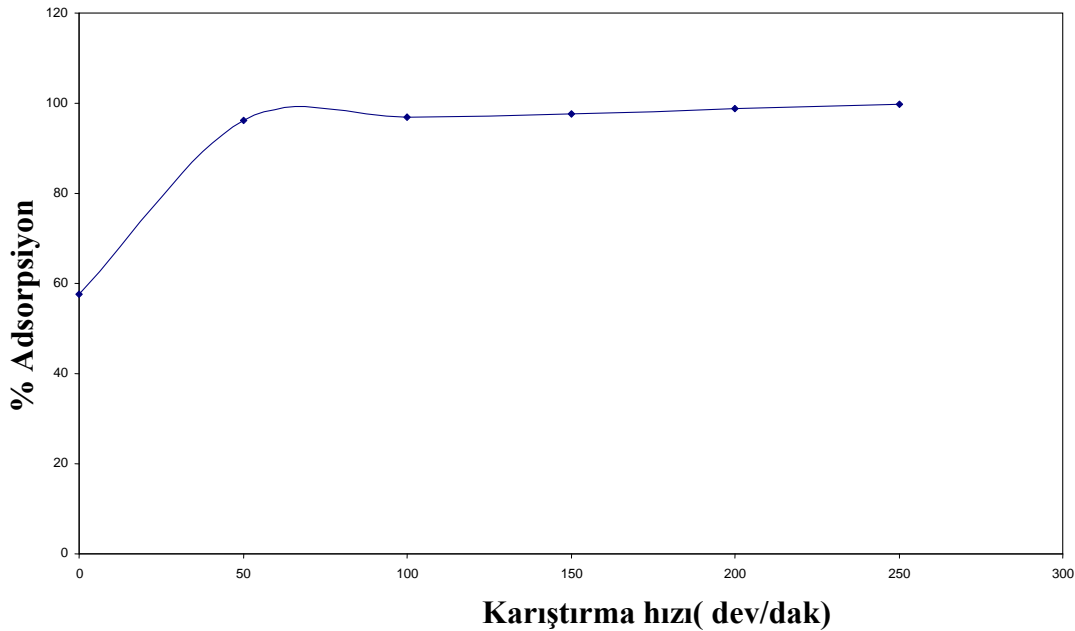
şekil 6.9. Reaktif Sarı 145 %Adsorpsiyon-doz değişim grafiği (293 K sıcaklık, 0-1 gr su sümbülü, pH 5-6, boyarmadde zltisi konsantrasyonu 10 ppm, karıştırma hızı 50 rpm, karıştırma süresi 60 dakika)

6.4. Karıştırma Hızı ile Adsorpsiyonun Değişimi

Karıştırma hızı ile adsorpsiyon değişimine ait veriler tablo 6.10., tablo 6.11., tablo 6.12. ve şekil 6.10., şekil 6.11., şekil 6.12.'de gösterilmektedir. Yapılan bu çalışmada Malahit Yeşili, Metilen Mavisi, Reaktif Yellow 145 boyarmaddeleri adsorpsiyonunun 250 rpm' de en yüksek değerde olduğu görülmektedir.

Tablo 6.10. Malahit Yeşili Adsorpsiyonunun karıştırma hızı ile değişimi

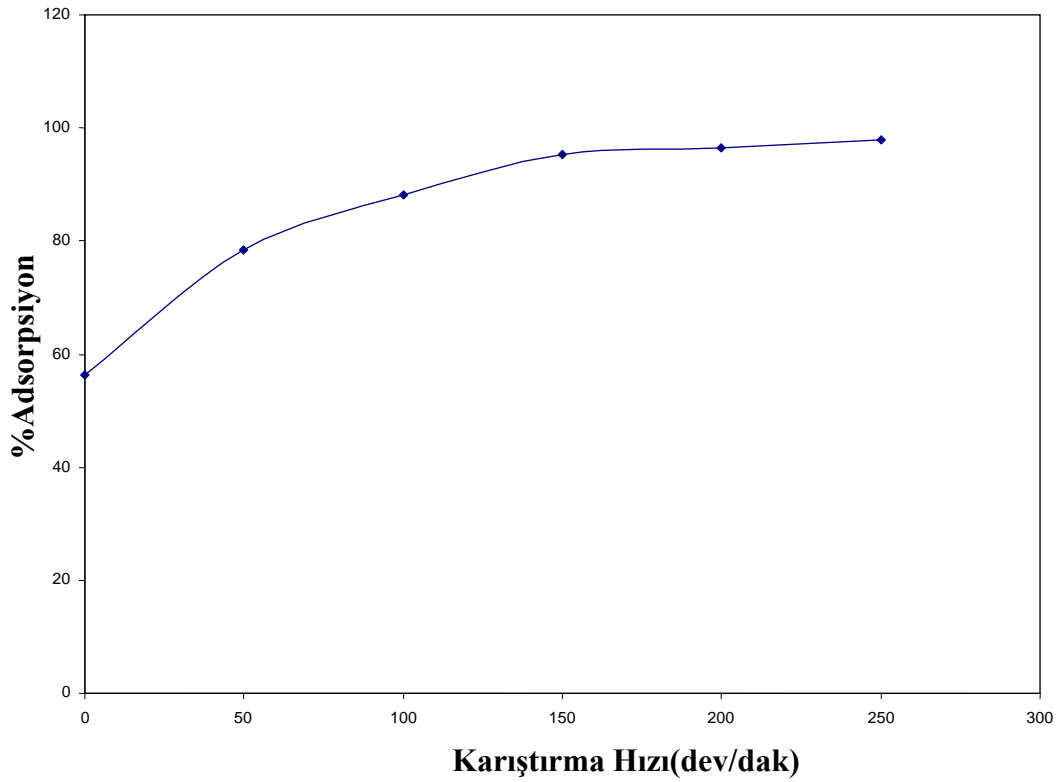
Karıştırma Hızı (dev/dak)	Absorbans	C _s (ppm)	%Adsorpsiyon
0	0,238	1,271	57,644
50	0,022	0,117	96,085
100	0,018	0,096	96,797
150	0,013	0,069	97,686
200	0,007	0,037	98,754
250	0,002	0,011	99,644



Şekil 6.10. Malahit Yeşili Adsorpsiyon-karıştırma hızı değişim grafiği (293 K sıcaklık, 0,1 gr su sümbülü, pH 9-10, boyarmadde çözeltisi konsantrasyonu 3 ppm, karıştırma süresi 30 dakika)

Tablo 6.11. Metilen Mavisi Adsorpsiyonunun karıştırma hızı ile değişimi

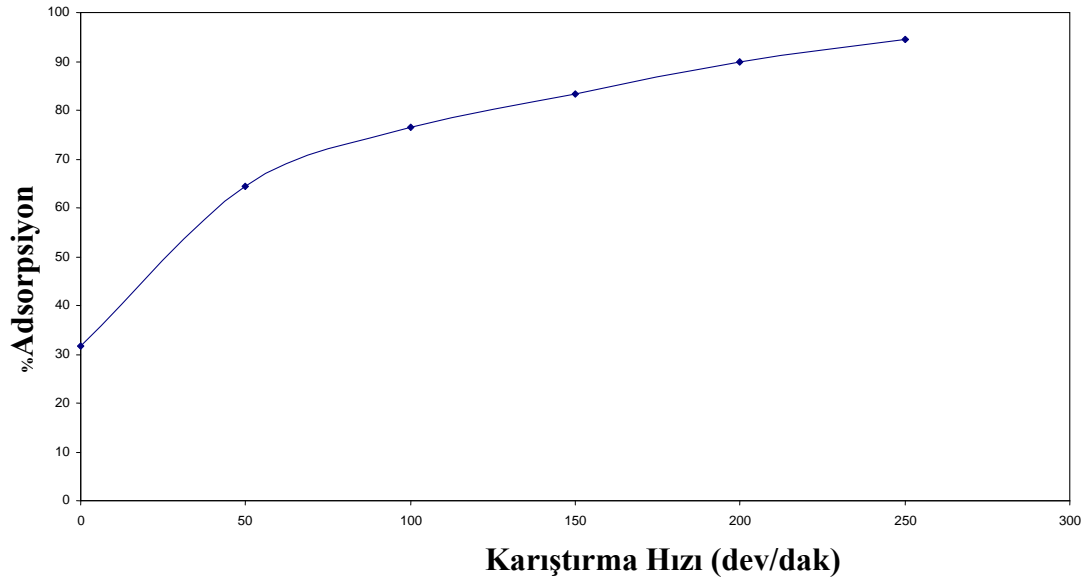
Karıştırma Hızı (dev/dak)	Absorbans	C _s (ppm)	%Adsorpsiyon
0	0,278	1,310	56,331
50	0,137	0,646	78,479
100	0,076	0,358	88,062
150	0,030	0,141	95,287
200	0,022	0,104	96,544
250	0,013	0,061	97,958



Şekil 6.11. Metilen mavisi Adsorpsiyon-karıştırma hızı değişim grafiği (293 K sıcaklık, 0,1 gr su sümbülü, pH 9-10, boyarmadde çözeltisi konsantrasyonu 3 ppm, karıştırma süresi 30 dakika)

Tablo 6.12. Reaktif Sarı 145 Adsorpsiyonunun karıştırma hızı ile değişimi

Karıştırma Hızı (dev/dak)	Absorbans	C _s (ppm)	%Adsorpsiyon
0	0,253	6,838	31,622
50	0,132	3,568	64,324
100	0,087	2,351	76,486
150	0,062	1,676	83,243
200	0,037	1,000	90,000
250	0,02	0,541	94,595



Şekil 6.12. Reaktif Sarı 145 % Adsorpsiyon-karıştırma hızı değişim grafiği(293 K sıcaklık, 0,2 gr su sümbülü, pH 5-6, boyarmadde çözeltisi konsantrasyonu 10 ppm, karıştırma süresi 30 dakika)

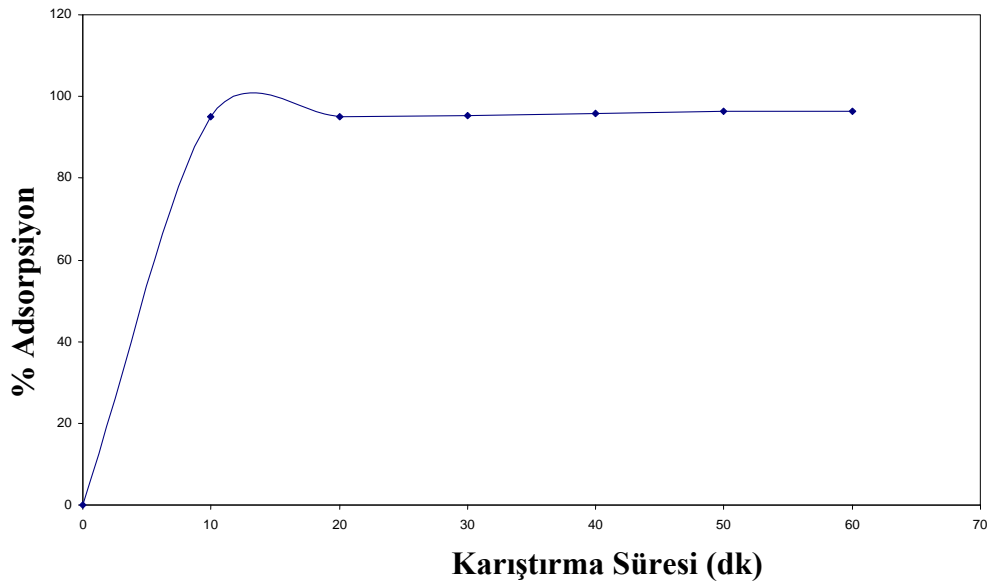
6.5. Karıştırma Süresi ile Adsorpsiyonun Değişimi

Karıştırma süresi ile adsorpsiyonun değişimi ile ilgili olarak yapılan çalışmanın verileri tablo 6.13, tablo 6.14, tablo 6.15 ve şekil 6.13, şekil 6.14, şekil 6.15' de verilmektedir. Malahit Yeşili için 50. dakikadan sonra adsorpsiyon tam anlamıyla

gerçekleştirdiği görüldü. Metilen Mavisi için 40. dakikadan sonra adsorpsiyon uygun düzeye geldiği görüldü. Reaktif Sarı 145 ise 60. dakikada tam anlamıyla adsorpsiyonu gerçekleştirdiği görüldü.

Tablo 6.13. Malahit Yeşili Adsorpsiyonunun karıştırma süresi ile değişimi

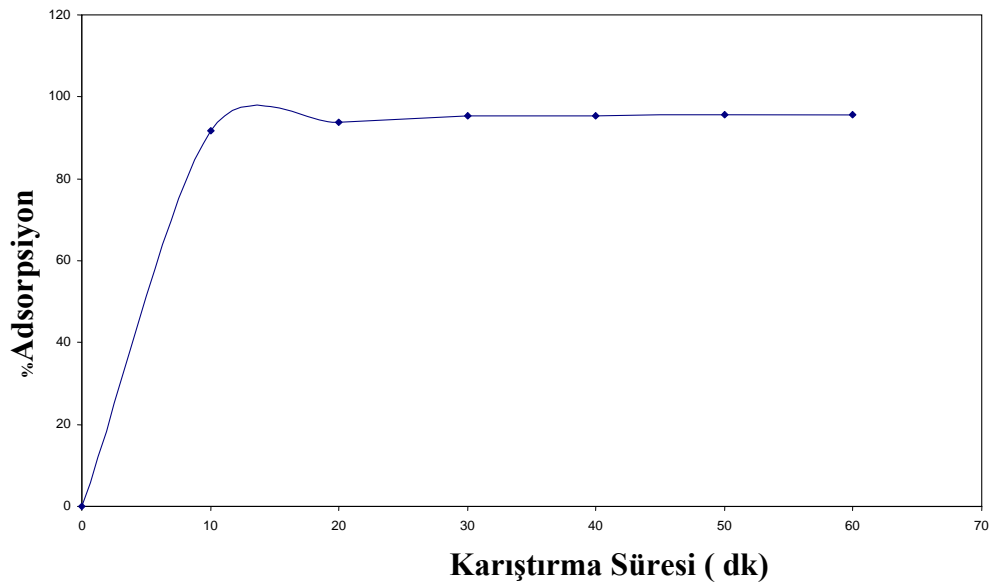
Karıştırma Süresi (dak)	Absorbans	C _s (ppm)	%Adsorpsiyon
0	0	0	0
10	0,019	0,101	94,928
20	0,019	0,101	94,928
30	0,018	0,096	95,195
40	0,016	0,085	95,729
50	0,014	0,075	96,263
60	0,014	0,075	96,263



Şekil 6.13. Malahit Yeşili Adsorpsiyon-karıştırma süresi değişim grafiği (293 K sıcaklık, 0,1 gr su sümbülü, pH 9-10, boyarmadde çözeltisi konsantrasyonu 2 ppm, karıştırma hızı 200 rpm)

Tablo 6.14. Metilen Mavisi Adsorpsiyonunun karıştırma süresi ile değişimi

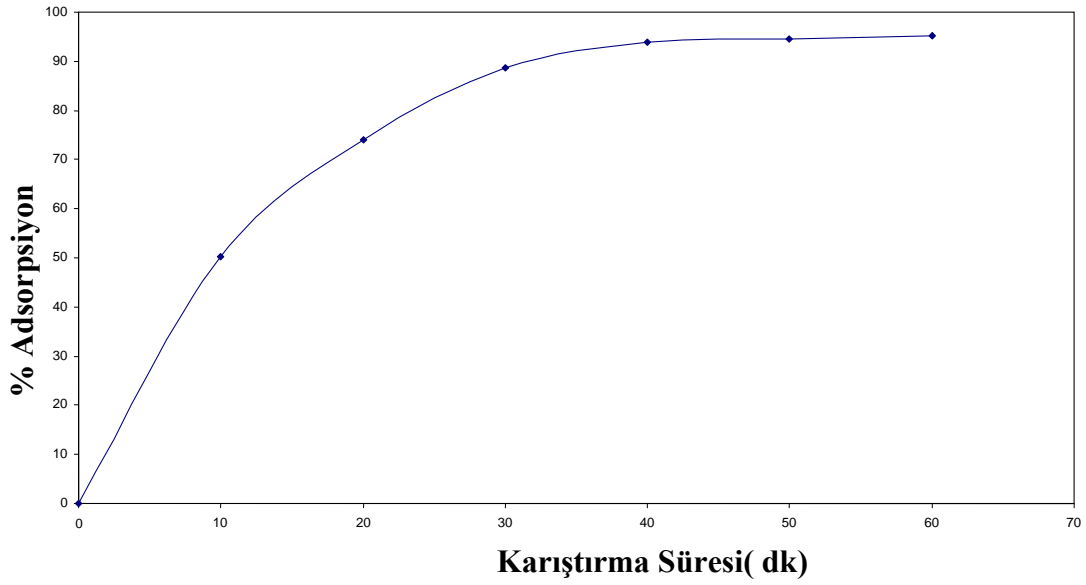
Karıştırma Süresi (dak)	Absorbans	C_s (ppm)	%Adsorpsiyon
0	0	0	0
10	0,035	0,165	91,753
20	0,026	0,123	93,874
30	0,02	0,094	95,287
40	0,02	0,094	95,287
50	0,018	0,085	95,759
60	0,018	0,085	95,759



Şekil 6.14. Metilen mavisi Adsorpsiyon-karıştırma süresi değişim grafiği (293 K sıcaklık, 0,1 gr su sümbülü, pH 9-10, boyarmadde çözeltisi konsantrasyonu 2 ppm, karıştırma hızı 200 rpm)

Tablo 6.15. Reaktif Sarı 145 Adsorpsiyonunun karıştırma süresi ile değişimi

Karıştırma Süresi (dak)	Absorbans	C_s (ppm)	%Adsorpsiyon
0	0	0	0
10	0,184	4,973	50,270
20	0,096	2,595	74,054
30	0,042	1,135	88,649
40	0,023	0,622	93,784
50	0,02	0,541	94,595
60	0,018	0,486	95,135



Şekil 6.15. Reaktif Sarı 145 % Adsorpsiyon-karıştırma süresi değişim grafiği (293 K sıcaklık, 0,1 gr su sümbülü, pH 5-6, boyarmadde çözeltisi konsantrasyonu 10 ppm, karıştırma hızı 200 rpm)

BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Adsorpsiyon üzerine gerçekleştirilen bu çalışmada, sulu ortamdan malahit yeşili, reaktif sarı 145 ve metilen mavisi boyarmaddelerinin adsorpsiyon yöntemi ile uzaklaştırılmasında su sümbülü adsorban olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyona temas süresinin, başlangıç boyarmadde konsantrasyonunun, doz' un, karıştırma hızının ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır.

Yapılan çalışmalardan önce adsorpsiyonun yapılacağı uygun pH aralığı araştırıldı. UV spektrofotometrede yapılan ölçümlerde pH 1-6 arasındaki veriler malahit yeşilinde ve metilen mavisinde türlenme dolayısıyla renklilik veren türlerin adsorpsiyonu olarak tespit edilmiştir. Renksiz yapının adsorpsiyonu hakkında bir veri belirlenememiştir. Ölçüm yöntemine göre adsorpsiyonun malahit yeşili ve metilen mavisi için pH 9-10 aralığı en uygun çalışma aralığı olarak tespit edildi.

Reaktif sarı 145 ile yapılan pH çalışmasında türlenme gözlenmemiştir, adsorpsiyonun maksimum olduğu pH 5-6 arasındaki değerler dikkate alınarak çalışmalar pH 5-6 arasında yapılmıştır.

Katyonik boyarmadde olan malahit yeşili ve metilen mavisi pH 9-10' da düşük dozdaki su sümbülü ile muamele edildiğinde, 250 rpm karıştırma hızı ile 30 dakika kadar kısa sürede 200 ppm'e kadar olan konsantrasyonlardaki boyarmadde çözeltisini % 95-98 adsorpladığı görülmüştür. Katyonik boyarmaddelerle yapılan sıcaklık ile konsantrasyon değişim grafiklerinde sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyon meydana gelmiştir.

Reaktif sarı 145 boyarmaddesi pH 5-6' da, 200 ppm' e kadar olan çözeltilerinde 250 rpm karıştırma hızı ile 30 dakikada düşük dozdaki su sümbülü ile muamele edildikten sonra % 98-99 civarında adsorpsiyon meydana gelmiştir.

Reaktif sarı 145 için uygulanan Langmuir ve Freundlich izotermi bu boyarmaddenin Freundlich izotermine uyduğunu göstermiştir. Termodinamik veriler sonucu K sabitinin 293 K' de daha büyük çıkması adsorpsiyonun düşük sıcaklıklarda daha fazla olduğunu göstermiştir. ΔG değerinin (-) olması reaksiyonun kendiliğinden meydana gelmiştir. ΔH değeri -58,59 olması ekzotermik bir reaksiyon olduğu tespit edilmiştir ki bunun sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyonun azalması, ekzotermik tepkimeye uygun olduğunu göstermiştir. ΔS değerinin (-) olmasından dolayı reaksiyon Gibbs serbest enerjisi yardımıyla kendiliğinden meydana gelmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] KOCAER, F. O., ALKAN, U., Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 2002.
- [2] ÇİFTÇİ, H., KAPLAN, Ş.Ş., KÖSEOĞLU, H., KARAKAYA, E., KİTİŞ, M., Yapay Sulak Alanlarda Atıksu Arıtımı Ve Ekolojik Yaşam, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(1-2), 149-160, 2007.
- [3] KERTMEN, M., Fabrika Atıklarının Neden Olduğu Boyarmadde Kirliliklerinin Biyolojik Adsorbent Kullanılarak Sulu Ortamdan Adsorpsiyon Tekniği İle Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, 2006.
- [4] EL-KHAİARY, M.I., Kinetics And Mechanism Of Adsorption Methylene Blue From Aqueous Solution By Nitric-Acid Treated Water Hyacinth, Journal Of Hazardous Materials, 147, 28-36, 2007.
- [5] GÜL, Ş., ÖZCAN, Ö., ERBATUR, O., Ozonation Of C.I. Reaktive Red 194 And C.I. Reaktive Yellow 145 İn Aqueous Solution İn The Presence Of Granular Activated Carbon, Çukurova Dyes And Pigments, 75, 426-431, 2007.
- [6] SUN, X., WONG, S., LİU, X., GONG, W., BAO, N., GAO, B., ZHANG, H., Biosorption Of Malachite Green From Aqueous Solutions Onto Aerobic Granules: Kinetic On Equilibrium Studies, Bioresource Technology 99, 3475-3483, 2008.
- [7] SORAN, H., Bitkilerin Atıksu Arıtımında Kullanılması, H.Ü. Eğitim Fakültesi Dergisi, Sayı: 9, Sayfa: 261-267, 1992.
- [8] TEKER, M., SALTABAŞ, Ö., İMAMOĞLU, M., Adsorption Of Cobalt By Activated Carbon From The Rice Hull, Journal Of Environmental Science And Health, Part A, Vol. 32(8), 2077-2086, 1997.
- [9] TEKER, M., Adsorpsiyon Ve Yüzey Kimyası, Yls Notları, 1994.
- [10] GREGG, S.J., SİNG, K. S. W., Adsorption Surface Area And Porosity, 2. Ed. Pp. 1-2, 1982.

- [11] BERKEM, A. L., BAYKUT, S. ve BERKEM , M. L., Fizikokimya, İstanbul, 1994.
- [12] WEBER, W. J., Photochemical Process For Water Quality Control, John Miby And Song. Ins. 1972.
- [13] GÜZEL, M. C., Atık Sulardaki Bazı Ağır Metal Bileşiklerinin Adsorpsiyon Yöntemiyle Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bil. Ens., İstanbul, 1993.
- [14] CLARK, A., Theory Of Adsorption And Catalysis, Academic Press, Newyork, 1990.
- [15] OAKLEY, S. M., MELSON, P. O. , WILLIAMSON, K. J., Environ Sci. Tech., Vol. 15, Pp. 474, 1981.
- [16] YOUNG, D. M., CROWELL , A. D., Physical Adsorption Of Gases, Butturworth, Co, Publishers, London, 1936.
- [17] ŞENVAR, C., Kimyasal Kinetik Ve Makromoleküller Marmara Üniversitesi, Yayın No: 435, İstanbul, 1986.
- [18] SHAW, D. J. , Introductions Colloid And Surface Chemistry, Butterworts, Co. Publisher, London, 1996.
- [19] GLASSTON, S., LEWIS, D. , Elements Of Physical Chemistry, 2. Nd. Ed. Macmilan & Co Lrd, London , 1960.
- [20] TEKER, M., İMAMOĞLU, M., SALTABAŞ, Ö., Adsorption Of Copper And Cadmium İons By Activated Carbon From Rice Hulls , Turkish Journal Of Chemistry, Vol. 23(2), 185-192, 1999.
- [21] BREUSCH, F. L., ULUSOY , E., Genel Anorganik Kimya, İ.Ü. Yayınları Sayı: 2234, Fatih Yayınevi Matbaası, İst., 1976.
- [22] GÜRSOY, F., Çamtalaşı Üzerine Asidik, Bazik, Reaktif Boyaların Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- [23] BAŞER, İ., İNANICI, Y., Boyarmadde Kimyası, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul, 1990.
- [24] DEĞMER, J., Boyarmaddelerin Modern Teorilere Göre İncelenmesi, Kader Basımevi, S: 22, 1946.
- [25] SALTABAŞ, Ö., Endüstriyel Atık Sulardan Ağır Metallerin Su Sümbülü İle Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., İstanbul.

- [26] BOYD, C.E., Vascular Aquatic Plants For Mineral Nutrients Removal From Polluted Water , *Economic Botany*, 24, 25-103, 1970.
- [27] E.C.S., The Worldwide Distribution Of The Water Hyacinth , *Hyacinth Journal*, 4, 30-32, 1965.
- [28] PENFOUNDÖ, W.T, EARLE, T. T., The Biology Of The Water Hyacinth In *Ecol. Monogr.*, 18, 447- 472, 1948.
- [29] AKÇİN, G., Water Hyacinth Bitkisinin Tanıtılması, Dördüncü Bilimsel Ve Teknik Çevre Kongresi, İzmir, 1988.
- [30] WOLVERTON, B. C., MCDONALD, R.C., Don't Wastewater Weeds, *New Sciences*, 12, 318- 320, 1976.
- [31] STEWARD, K. K., Nutrient Removal Potentials Of Various Aquatic Plants, *Hyacinth Control Journal*, 8, 34-35, 1970.
- [32] AKÇİN, G., GÜLDEDE, N., AFŞAR, H., BAKOĞLU, M., Su Sümbülü (*Eichharnia Crassipes*) Bitkisinin Besi Maddesi Alımı, Çevre-89 Beşinci Bilimsel Ve Teknik Çevre Kongresi, Adana, 5-9 Haziran 1989.
- [33] JAMİL, K., JAMİL, M. Z., RAO, P. V. R., Et, Al., *Eichhornia Crassipes* (Mart) Solms. In Relation To Ph, *Indian Journal Of Botany*, 8, 2, 156, 158, 1985.
- [34] AKÇİN, G., AFŞAR, H., GÜLDEDE, N., Su Bitkisi İle Su Ortamının pH'sının Düzenlenmesi, Fırat Havzası Birinci Çevre Sempozyumu, Elazığ, 1-6, 13-15 Ekim 1988.
- [35] WOLVERTON, B.C., MCKNOWN, M., Water Hyacinths For Removal Of Phenols From Polluted Water, *Aquatic Botany*, 2, 191-201, 1976.
- [36] VAİDYANATHAN, S., KAVADİA, K.M., RAO, M.G., Et. Al., Removal Of Phenol Using Water Hyacinth In A Continuous Unit, *International Journal Of Enviromental Studies*, 21, 181-191, 1983.
- [37] WİDYANTO, L.S., SOERJAN'S, M., The Effect Of Agricultural, Domestic And Industrial Pollutants On Water Hyacinth, *Proceeding 2nd World Congress, International Resources Association, New Delhi, Iv*, 331-338, 1975.
- [38] WOLVERTON, B.C., MCDONALD, R.C., Water Hyacinth For Upgrading Sewage Lagoon To Meet Advanced Waste Treatment Standards, *Nasa Technical Memorandum Tm-X, 72729*, 1975.
- [39] TRİVEDY, R. K., Water Hyacinth For Pollution Control, Biogas, Paper Pulp, Animal Feed And Manure, *Enviromental Ecology*, 1, 143-193, 1983.

- [40] MARTYN, R. D., SAMUELSON, D. A., Freeman, T.E., Phenol Storing Cell In Water Hyacinth Leaves, *Journal Of Aquatic Plant Management*, 21, 49-53, 1983.
- [41] WOLVERTON, B.C., MCDONALD, R.C., Naturel Processes For Treatment Of Organic Chemical Waste, *The Environmental Professional*, 3, 99-104, 1981.
- [42] DINGES, R., Aquaticplant Systems – An Unconventional Approach To Removal Of Toxic Materials, Presented In The Tenth Water Resources Symposium, Toxic Materials Methods Of Control”, University Of Texas, Austin, Texas, May 4-6, 1982.
- [43] WIDYANTO, L.S., Susilo, H., Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) (Mart. Solm) As Bioagent To Absorb Heavy Metals And Nitrojen In Polluted Waters, First Symposium Of The Asia And Oceania Biochemists, Singapore, April 20-22, 1978.
- [44] FAYED, S.E., ABD-EL-SHAFY, H.J., Accumulation Of Cu, Zn, Cd And Pb By Aquatic Macrophytes, *Environment International*, 11, 77-87, 1985.
- [45] WOLVERTON, B.C., MCDONALD, R.C., GORDONS, J., Water Hyacinth And Alligator Weeds For Final Filtration Of Sewage, Nasa Technical Memorandum Tm-X, 72724, 1975.
- [46] WOLVERTON, B.C., MCDONALD, R.C., Water Hyacinths For Upgrading Sewage Lagoons To Meet Advanced Wastewater Treatment Standards, Part I, Nasa Technical Memorandum Tm-X, 72730, 1976.
- [47] WOLVERTON, B.C., MCDONALD, R.C., Wastewater Treatment And Disposal Of Industrial Wastewaters And Residues, Houston, Texas, April, 26-28, 1977.
- [48] GUPTA, G.C., Potential Application Of Water Hyacinth In Water And Soil Pollution, 17, 199-209, 1982.
- [49] FAKHRY, A. A., BASILY, A.B., HIGAZY, H.M., Technogenic Contamination Of Soil And Plants By Waste Water From ‘Kaha’ Chemical Factory, *Egypt Journal Of Soil Sciences*, 27, 2, 171-179, 1987.

ÖZGEÇMİŞ

Zehra Konuk, 15.10.1984' de İstanbul' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2002 yılında Çemberlitaş Kız Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2002 yılında başladığı SAÜ Kimya bölümünü 2006 yılında bitirdi. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümüne Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2006 itibariyle gıda işletmelerinde mes'ul müdürlük görevi yapmaktadır.