

T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MALATYA 1. ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ  
ATIK SUYUNUN AKTİF KARBON, ZEOLİT VE  
OZON KULLANILARAK ARITIMININ  
İNCELENMESİ**

**TUĞBA KILIÇER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MALATYA  
2006**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma Jürimiz tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. Kadim CEYLAN  
Başkan

.....  
Üye

.....  
Üye

.....  
Üye

.....  
Üye

---

Onay

Yukarıda imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım

...../...../.....

Prof. Dr. Ali ŞAHİN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2006/ 19 nolu proje olarak desteklenmiştir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MALATYA 1. ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ ATIK SUYUNUN AKTİF KARBON, ZEOLİT VE OZON KULLANILARAK ARITIMININ İNCELENMESİ

Tuğba Kılıçer

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

84 + ix sayfa

2006

1. Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yunus ÖNAL
2. Danışman: Yrd. Doç. Dr. Canan Akmil BAŞAR

Bu çalışmada GOZn ve NZn115 aktif karbonları, sırasıyla Gölbaşı linyiti ve nohut kabuğundan  $ZnCl_2$  ile kimyasal aktivasyonla üretilmiştir. Deneyde kullanılan aktif karbonların ve zeolitin BET yüzey alanı, gözenek hacimleri, ortalama por çapları gibi gözenek özellikleri  $N_2$  adsorpsiyonunu temel alan t-plot metodu ile karakterize edilmiştir. GOZn ve NZn115 üzerine  $N_2$  adsorpsiyon izotermi Tip1 ve zeolit üzerine  $N_2$  adsorpsiyon izotermi Tip 4' dür. GOZn, NZn115 ve zeolit'in BET yüzey alanları sırasıyla 1075.20, 1270.44 ve  $11.84m^2/g$  olarak tespit edilmiştir. GOZn ve NZn115 kodlu aktif karbonlar, DB2RN boyasının sulu çözeltiden farklı sıcaklıklarda (25, 37 ve  $50^{\circ}C$ ) adsorpsiyonu için kullanılmıştır. DB2RN boyasının GOZn ve NZn115 üzerine adsorpsiyon izotermi deneysel olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar farklı sıcaklıklar için Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm denklemleri kullanılarak incelenmiştir. Adsorpsiyon izotermelerinin Langmuir ve Freundlich modellerinin her ikisine de uyduğu bulunmuştur. Langmuir ve Freundlich izoterm sabitleri farklı sıcaklıklar için tespit edilmiştir.

GOZn ve NZn115 aktif karbonlar üzerine DB2RN boyasını adsorpsiyon kinetiği yalancı ikinci mertebe kinetik model kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, DB2RN boyasını ozonlu veya ozonsuz GOZn, NZn115 üzerine sulu çözeltiden adsorpsiyonunun yalancı ikinci mertebe kinetik modele göre ilerlediğini göstermektedir. Adsorpsiyon aktivasyon enerjisi GOZn ve NZn115 için sırasıyla 22.34 ve  $30.87kJ/mol$  olarak belirlenmiştir. GOZn ve NZn115 üzerine DB2RN boyası adsorpsiyon tipi fiziksel adsorpsiyon olarak tespit edilmiştir.

Bunlara ilaveten sonuçlar, atık su ozonlama işlemi sırasında aktif karbonun varlığının atık su degradasyonunu etkili bir şekilde artışa neden olduğunu göstermektedir. Atık su BOİ ve KOİ değerlerinin aktif karbon varlığında ozonlama işleminde etkili bir şekilde azalmaktadır. Bu çalışma, genel olarak ozon ve aktif karbonun birleştirilmesinin toksik organik bileşiklerin parçalanmasında tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Ozon, Aktif karbon, Zeolit, Adsorpsiyon, Atık Su Arıtımı

## ABSTRACT

MSc. Thesis

Investigation of The Malatya I. Organization Industry Waste Water Purification by  
using Activated Carbon, Zeolite and Ozone

Tuğba Kılıçer

Inonu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Chemistry Engineering

84 + ix pages

2006

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yunus Önal

Cosupervisor: Asst. Prof. Dr. Canan Akmil Başar

In this study, GOZn and NZn115 activated carbons have been prepared from Gölbaşı lignite and chickpea husk by chemical activation with  $ZnCl_2$ , respectively. Pore properties of the activated carbons and zeolit, used in the experiments, such as BET surface area, pore volume, average pore diameter were characterized by t-plot method based on  $N_2$  adsorption isotherm. The  $N_2$  adsorption isotherm on the GOZn and NZn115 is type I and on the zeolit is type IV. The BET surface area of GOZn, NZn115 and zeolit was determined 1075.20, 1270.44 and  $11.84m^2/g$ , respectively.

GOZn and NZn115 coded activated carbons were used to adsorb DB2RN dye from aqueous solution at different temperatures (25, 37 and  $50^\circ C$ ). Adsorption isotherms, DB2RN dye on the GOZn and NZn115 were evaluated experimentally. Results were investigated by using Langmuir and Freundlich equation at different temperatures. It was found that the adsorption isotherm better fit both Langmuir and Freundlich models. Constants Langmuir and Freundlich adsorption isotherm were determined at different temperatures.

The kinetic of adsorption of DB2RN dye on GOZn and NZn115 was investigated by using pseudo second –order kinetic model. Results show that the adsorption DB2RN dye from aqueous solution with ozone and without ozone onto the GOZn and NZ115 proceeds according to the pseudo second-order model. The activation energy ( $E_a$ ) was determined as 22.34 and  $30.87kj/mol$  for GOZn and NZn115, respectively. The adsorption type of the DB2RN dye on the GOZn and NZn115 was defined as physical adsorption.

In addition, results show that the presence of activated carbon during waste water ozonation produced a strongly increase in the wastewater degradation. This study shows generally the combined use of ozone and activated carbon as an attractive option for degradation toxic organic compound. Results show that COD and BOD values of values of waste water decrease effectively in the presence of the activated carbon during waste water ozonation.

KEY WORDS: Ozone, Activated Carbon, Zeolite, Adsorption, Waste Water Treatment

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın her aőamasında bana yön veren, desteğini, bilgisini, tecrübelerini ve yüreğini esirgemeyen ok sevdiğim tez danışman hocalarım, Sayın Yrd. Do. Dr. Yunus ÖNAL'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Canan AKMİL BAŞAR'a

Kimya Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Kadim CEYLAN'a

Tez düzenleme aőamasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Arő. Grv. Çiğdem SARICI ÖZDEMİR'e

Ayrıca hayatımın her safhasında yardımlarını, sevgisini ve sabrını benden esirgemeyen Annem ve Babama

Teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	2
2.1. Ozon.....	2
2.1.1. Ozonun tarihçesi.....	2
2.1.2. Ozon oluşumu.....	4
2.1.3. Ozon gazının kullanım alanları.....	6
2.1.4. Ozon kimyası.....	12
2.1.5. Ozona dayanıklı malzemeler.....	14
2.1.6. Atıksu arıtım sektöründe ozon uygulamaları.....	15
2.2. Atık Su Arıtım Yöntemleri.....	16
2.2.1. Kimyasal yöntemler.....	16
2.2.1.1. Oksidasyon.....	16
2.2.1.2. Kimyasal flokleştirme ve çöktürme yöntemi.....	20
2.2.1.3. Cucurbituril ile arıtım.....	20
2.2.2. Fiziksel yöntemler.....	21
2.2.2.1. Adsorpsiyon.....	21
2.2.2.2. Membran filtrasyonu.....	21
2.2.2.3. İyon değişimi.....	22
2.2.3. Biyolojik yöntemler.....	22
2.2.3.1. Aerobik yöntem.....	23
2.2.3.2. Anaerobik yöntem.....	23
2.2.3.3. Biyosorpsiyon.....	24
2.3. Adsorpsiyon.....	24
2.3.1. Adsorpsiyon çeşitleri.....	25
2.3.1.1. Fiziksel adsorpsiyon.....	25
2.3.1.2. Kimyasal adsorpsiyon.....	25
2.3.1.3. Elektrostatik adsorpsiyon.....	25
2.3.2. Adsorpsiyon denklemleri.....	26
2.3.2.1. Langmiur denklemi.....	26
2.3.2.2. Freundlich denklemi.....	28
2.4. Aktif Karbon.....	29
2.4.1. Aktif karbonun tarihçesi.....	29
2.4.2. Aktif karbon'un genel özellikleri.....	30
2.4.3. Yüzey alanı.....	30
2.4.4. Gözenek büyüklüğü.....	31
2.4.5. Aktif karbon türleri.....	33
2.4.6. Aktivasyon teknikleri.....	34
2.5. Zeolit Nedir?.....	35
2.5.1. Zeolit kullanım alanları.....	37
2.5.1.1. Tarım ve hayvancılık.....	37

2.5.1.2.	Kirlilik kontrolü .....	37
2.5.1.3.	Enerji .....	38
2.5.1.4.	Madencilik ve metalurji .....	38
2.5.1.5.	Diğer kullanım alanları.....	38
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1	Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	39
3.2	GOZn, NZn115 Kodlu Aktif Karbonların ve Zeolitin Hazırlanışı.....	39
3.3	Kullanılan Alet ve Düzenekler.....	40
3.4.	DeneySEL Yöntemler.....	41
3.4.1.	Aktif karbon adsorpsiyonu.....	41
3.4.1.1.	İzoterm çalışmalar .....	41
3.4.1.2.	Kinetik çalışmalar .....	42
3.4.2.	Aktif karbon varlığında ozon ile DB2RN boyasının parçalanması.....	45
3.4.3.	Aktif karbon varlığında ve aktif karbonsuz atık su arıtımı.....	46
3.4.3.1.	Doğal pH çalışması.....	46
3.4.3.2.	Ayarlı pH çalışması.....	46
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	47
4.1.	Üretilen Aktif Karbonların ve Zeolitin Karakterizasyonu.....	47
4.2.	İzoterm Sonuçları.....	49
4.2.1.	GOZn aktif karbonunun sonuçları.....	49
4.2.1.1.	Sıcaklığın boya adsorpsiyonu üzerine etkisi.....	49
4.2.2.	NZn115 aktif karbonunun sonuçları.....	53
4.2.2.1.	Sıcaklığın boyar madde adsorpsiyonu üzerine etkisi.....	53
4.3	Kinetik Sonuçları.....	57
4.3.1	GOZn aktif karbonunun sonuçları.....	57
4.3.1.1.	1 g GOZn aktif karbonunun 400 mg/L DB2RN boyasındaki kinetik çalışması.....	57
4.3.2	NZn115 aktif karbonunun sonuçları.....	60
4.3.2.1.	1 g NZn115 aktif karbonunun 400 mg/L DB2RN boyasındaki kinetik çalışması.....	61
4.4.	Aktif Karbon (GOZn) Varlığında Ozonun Adsorpsiyon Üzerine Etkisi.....	64
4.5.	Aktif Karbon (NZn115) Varlığında Ozonun Adsorpsiyon Üzerine Etkisi....	66
4.6.	Aktif Karbon(GOZn) ve Ozon Varlığında Adsorban Miktarının Adsorpsiyon Üzerine Etkisi.....	69
4.7.	Arıtma Tesisi Atık Suyu Ozon Degredasyonu.....	70
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
5.1.	Sonuçlar.....	72
5.2.	Öneriler.....	73
6.	KAYNAKLAR.....	74
	EKLER.....	78
	ÖZGEÇMİŞ.....	84



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1.	Oksijen ve ozon molekülü.....	2
Şekil 2. 2.	Oksijen molekülünün ozona ve tekrar oksijene dönüşüm.....	4
Şekil 2. 3.	Ozon oksidasyonu düzeneğinin şematik gösterimi.....	5
Şekil 2. 4.	Ozon/UV düzeneğinin şematik gösterimi.....	6
Şekil 2. 5.	Ozonun sterilizasyon özelliği.....	18
Şekil 2. 6.	Aktif karbonun gözenek yapısı.....	31
Şekil 2. 7.	Granüler aktif karbonun gözenek yapısı.....	32
Şekil 2. 8.	Şematik olarak aktif karbon gözenek sistemi.....	33
Şekil 2. 9.	Zeolit ve aktif karbonun şematik gösterimi.....	36
Şekil 2. 10.	Zeolit molekülünün geometrik yapısı.....	37
Şekil 3. 1.	Deneyde kullanılan cam reaktör(a) ve ozon cihazı(b).....	40
Şekil 3. 2.	NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 25 °C sıcaklıkta adsorpsiyon izotermi çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.....	41
Şekil 3. 3.	NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 37 °C sıcaklıkta adsorpsiyon izotermi çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.....	42
Şekil 3. 4.	NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 50 °C sıcaklıkta adsorpsiyon izotermi çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.....	42
Şekil 3. 5.	NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 25 °C sıcaklıkta adsorpsiyon kinetiği çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.....	44
Şekil 3. 6.	NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 37 °C sıcaklıkta adsorpsiyon kinetiği çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.....	44
Şekil 3. 7.	NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 50 °C sıcaklıkta adsorpsiyon kinetiği çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.....	45
Şekil 4. 1.	Zeolitin N <sub>2</sub> adsorpsiyon izotermi.....	48
Şekil 4. 2.	NZn115 ve GOZn aktif karbonlarının N <sub>2</sub> adsorpsiyon izotermi.....	49
Şekil 4. 3.	GOZn aktif karbonu varlığında sıcaklığın DB2RN boyasının adsorpsiyon yüzdesi üzerine etkisi.....	50
Şekil 4. 4.	GOZn aktif karbonuna ait langmuir izotermi.....	51
Şekil 4. 5.	GOZn aktif karbonuna ait freundlich izotermi.....	52
Şekil 4. 6.	NZn115 aktif karbonu varlığında sıcaklığın DB2RN boyasının adsorpsiyon yüzdesi üzerine etkisi.....	54
Şekil 4. 7.	NZn115 aktif karbonuna ait langmuir izotermi.....	54
Şekil 4. 8.	NZn115 aktif karbonuna ait freundlich izotermi.....	56
Şekil 4. 9.	GOZn aktif karbonu varlığında DB2RN boyasının kinetik çalışması.....	57
Şekil 4. 10.	25 °C DB2RN boyasının GOZn aktif karbonu üzerine yalancı ikinci	58

	meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	
Şekil 4. 11.	37°C DB2RN boyasının GOZn aktif karbonu üzerine yalancı ikinci meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	59
Şekil 4. 12.	50°C DB2RN boyasının GOZn aktif karbonu üzerine yalancı ikinci meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	59
Şekil 4. 13.	DB2RN boyasının GOZn üzerine adsorpsiyonu için Arrhenius grafiği.....	60
Şekil 4. 14.	NZn115 aktif karbonu varlığında DB2RN boyasının kinetik alışması.....	61
Şekil 4. 15.	25 °C DB2RN boyasının NZn115 aktif karbonu üzerine yalancı ikinci meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	62
Şekil 4. 16.	37°C DB2RN boyasının NZn115 aktif karbonu üzerine yalancı ikinci meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	62
Şekil 4. 17.	50°C DB2RN boyasının NZn115 aktif karbonu üzerine yalancı ikinci meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	63
Şekil 4. 18.	DB2RN boyasının NZn115 üzerine adsorpsiyonu için Arrhenius grafiği.....	63
Şekil 4. 19.	Aktif karbon (GOZn ) varlığında ozon ilavesini adsorpsiyon üzerine etkisi.....	64
Şekil 4. 20.	1000 mg/L DB2RN boyasının GOZn aktif karbon varlığında ozon değredasyon yalancı ikinci meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	65
Şekil 4. 21.	2000mg/L DB2RN boyasının GOZn aktif karbon varlığında ozon değredasyon yalancı ikinci meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	65
Şekil 4. 22.	Aktif karbon (NZn115) varlığında ozon ilavesinin adsorpsiyon üzerine etkisi.....	67
Şekil 4. 23.	1000mg/L DB2RN boyasının NZn115 aktif karbon varlığında ozon değredasyon yalancı ikinci meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	67
Şekil 4. 24.	2000mg/L DB2RN boyasının GOZn aktif karbon varlığında ozon değredasyon yalancı ikinci meretebe adsorpsiyon kinetiği.....	68
Şekil 4. 25.	2000 mg/L DB2RN boyasının ozon değredasyonun da adsorban miktarının %Ads ye etkisi.....	69

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1.	Ozon ve klorun sudaki etkilerinin karşılaştırması.....	10
Çizelge 2. 2.	Gaz halindeki ozonun farklı ısı derecelerindeki yarılanma ömrü.....	13
Çizelge 2. 3.	Suda çözülmüş haldeki (pH=7) ozonun farklı ısı derecelerindeki yarılanma ömrü.....	13
Çizelge 2. 4.	Su uygulama alanlardaki ozon dozajları ve temas süreleri.....	15
Çizelge 2. 5.	Aktif karbon bileşimi ve temel özellikleri.....	30
Çizelge 2. 6.	Aktif karbonun yüzey alanı ve gözenek sistemi ile ilgili sayısal değerler.....	31
Çizelge 2. 7.	Zeolitin ağır metal analiz sonuçları.....	36
Çizelge 2. 8.	Zeolitin kimyasal analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4. 1.	Adsorbanların yüzey alan, gözenek hacmi ve ortalama gözenek çapları.....	48
Çizelge 4. 2.	25, 37 ve 50 °C de GOZn aktif karbonuna ait langmuir sabitleri ve korelasyon katsayısı.....	51
Çizelge 4. 3.	25,37 ve 50 °C de GOZn aktif karbonuna ait freundlich verileri.....	53
Çizelge 4. 4.	25,37 ve 50 °C de NZn115 aktif karbonuna ait langmuir verileri .....	55
Çizelge 4. 5.	25, 37 ve 50 °C de NZn115 aktif karbonuna ait freundlich verileri.....	56
Çizelge 4. 6.	GOZn aktif karbonu ve 400 mg/L DB2RN boyasının 25, 37 ve 50 °C deki kinetik verileri.....	60
Çizelge 4. 7.	NZn115 aktif karbonu ve 400 mg/L DB2RN boyasının 25, 37 ve 50 °Cdeki kinetik verileri.....	63
Çizelge 4. 8.	Aktif karbon (GOZn ) varlığında ozon ilavesi ile yapılan kinetik çalışmanın verileri.....	66
Çizelge 4. 9.	Aktif karbon (NZn115 ) varlığında ozon ilavesi ile yapılan kinetik çalışmanın verileri.....	68
Çizelge 4. 10.	Arıtma tesisi atık suyu ozon degradasyonun da KOİ ve BOİ değerleri değişimi.....	70

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ozon	O <sub>3</sub>
Oksijen	O <sub>2</sub>
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
EPA	Çevre Koruma Örgütü
IOA	Uluslararası Ozon Birliği
N/A	Mevcut Değil
DB2RN	Astrozon Dark Blue 2RN Tekstil Boyası
dk	Dakika
st	Saat
L	Litre
g	Gram
mg	Miligram
°C	Santigrad Derece
rpm	Dakikadaki karıştırma hızı

## 1. GİRİŞ

Artan kentleşme ve endüstri, çevre kirliliği için en önemli iki temel kaynaktır. Bu kaynaklar gaz, sıvı ve katı olmak üzere üç farklı atığı çevreye vermektedir. Katı ve gaz atıkların miktarının sıvı atığa oranla az olması kontrolünü dolayısıyla çevresel etkilerini de azaltmaktadır. Miktarı daha fazla olan atık su dört temel kaynaktan çevreye verilmektedir. Bu kaynaklar evsel, endüstriyel, tarımsal ve olağan dışı yağmur akımlarıdır. Bunlar içerisinde endüstriyel atık su gerek kirlilik gerekse arıtım açısından önemli bir yere sahiptir. Sıvı atık miktarının fazla olması hem arıtımı hem de kontrolünü zorlaştırmaktadır. Buna bağlı olarak sıvı atık arıtım teknolojisi ve uygulamaları bilimsel ve teknolojik olarak büyük önem arz etmektedir. Günümüzde atık su arıtımında biyolojik ve kimyasal arıtım en yaygın kullanılan arıtım teknolojisidir. Bunun yanında membran uygulaması, ozon kullanımı alternatif olarak hem bilimsel hem de teknolojik uygulamalara birer örnektir.

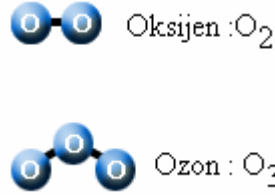
Ozonun bu tür çalışmalarda kullanılmasının temel nedeni, oksidasyon potansiyelinin (2.07 V) diğerlerine oranla oldukça yüksek olmasıdır. Ozonun yüksek oksidasyon potansiyeline sahip olması birçok organik bileşiklerin parçalanmasına olanak sağlar. Bu bileşikler içerisinde boyar maddeler önemli bir yere sahiptir. Bunun yanında ozonun en önemli etkisi zararlı bakterilerin yok edilmesi üzerinedir. Son yıllarda kirlilik gideriminde ozon ile birlikte aktif karbon kullanımı oldukça önemli bir arıtım prosesi olarak öne çıkmaktadır. Bu kombinasyonda aktif karbon, ozon toksik bileşenleri parçalayabilirliğini yüksek oksidatif yüzeyleri sayesinde artırmaktadır. Böylece prosesin arıtım verimi artmaktadır.

Aktif karbon günümüzde endüstride kullanılan en önemli adsorban olup atık olarak bulunan karbon içeren maddelerden elde edilir. Aktif karbon polimerik, tarımsal ve petrol kökenli olmak üzere 3 temel kaynaktan fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleri ile elde edilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada tarımsal kökenli aktif karbonlar  $ZnCl_2$  kullanılarak kimyasal aktivasyon ile elde edilmişlerdir. Aktif karbonla ve yalnızca ozon ile boya parçalanması çalışılmıştır. Ayrıca başka bir adsorban olan zeolit varlığında ozon parçalanması incelenmiş ve KOİ(Kimyasal Oksijen İhtiyacı) – BOİ(Biyolojik Oksijen İhtiyacı) değerleri ölçülmüştür.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1.Ozon

Ozon(O<sub>3</sub>) üç oksijen atomundan oluşan bir kimyasal bileşiktir. İki atomlu normal atmosferik oksijenin (O<sub>2</sub>), çok yüksek enerji taşıyan bir şeklidir. Şekil 2.1’de O<sub>2</sub> ve O<sub>3</sub> molekülleri görülmektedir. O<sub>3</sub> oda sıcaklığında renksiz, karakteristik kokusu olan bir gazdır(fırtınalı havalardan sonra, yüksek yerlerde veya deniz kıyısında hissedilir). İsmi Yunanca "koklamak" anlamına gelen ozein’den gelir. Alman kimyacı Christian Friedrich Schönbein (1799–1868) tarafından 1840 yılında keşfedilmiştir. Zemin seviyelerine yakın yerlerde 10 milyon hava partikülü başına bir partikül O<sub>3</sub> derişimlerinde duman şeklinde bulunur. 2000 metre yükseklikte, çok daha azalarak 0.03 – 0.04 ppm seviyelerine düşer. Çok güçlü okside etme ve çok etkili dezenfekte etme özelliği sayesinde, dünya çapında içme suyu sağlayan arıtma tesislerinde mikrop öldürücü olarak kullanılır [1].



Şekil 2. 1. Oksijen ve ozon molekülü [1].

#### 2.1.1 Ozonun tarihçesi

**1781:** Van MARUM adında bir kimyager elektrik kıvılcımları geçen bir havada ozon gazını fark etti.

**1840:** Alman kimyacı Christian Fredrick Schönbein tarafından ozon adı verildi.

**1856:** Ameliyathane dezenfeksiyonunda kullanıldı.

**1860:** Monaco'da suların ozonla temizlenmesine başlandı. Ozonun, bakteri ve virüsleri öldürmenin yanı sıra sudaki koku ve kötü tadı da ortadan kaldırdığı görüldü.

**1886:** Ozon hakkında ilk deneyler Fransa'da başladı.

**1893:** Dezenfektan olarak ozonu kullanan ilk içme suyu işletmesi Hollanda da kuruldu.

**1900:** Nicola Tesla, ilk ozon jeneratörünün patentini aldı. 1902'de H.J. Clarke ozonun anemi, kanser, diyabet, influenza ve morfin zehirlenmesinde kullandı.

**1902–1903–1906:** Almanya ve Fransa'da ozon su işletme fabrikaları kuruldu.

**1909:** Etlerin soğuk depolanması için yiyecek koruyucu olarak kullanıldı.

**1915:** Dr. Albert Wolf, 1. Dünya Savaşı sırasında kangren ve yaraları ozonla tedavi etti.

**1926:** Dr. Otto Warburg Berlin'de kanserin hücre düzeyinde oksijen azlığından meydana geldiğini bildirip, bu saptaması ile 1931 ve 1944 Nobel ödüllerini aldı. Bu alanda arka arkaya 2 kez ödül alan tek kişi olarak tarihe geçti.

**1939:** Meyvelerin depolanmasında maya ve küfün yayılmasını önlediği bulundu.

**1950:** Avrupa genelinde havuz işletmelerinde kullanılmaya başlandı.

**1957:** Dr. J. Hansler kendi medikal ozon jeneratör patentini aldı.

**1960'lar:** Binlerce laboratuvar ve üniversite araştırmaları başladı.

**1961:** Hans Wolf'ün tanıttığı majör ve minör otohemoterapi teknikleri kullanılmaya başlandı.

**1970'ler:** Tekstil sektöründe hem ağartmada hem de atıksu prosesinde yerini aldı.

**1973:** Uluslararası Ozon Birliği (IOA) kuruldu. Ozon havuzculuğun geleceği olarak gösterildi.

**1977:** Dr. Renate Viebahn ozonun vücuttaki etkilerini teknik olarak açıkladı.

**1979:** Dr. George Freibott ilk AIDS hastasını ozonla tedaviye aldı.

**1980:** Dr. Horst Kief, ozonla AIDS tedavisinde başarı kazandığını öne sürdü.

**1980'ler:** ABD de 50 yıldır kullanılmakta olan klorun, üniversite ve kliniklerde yapılan araştırmalar sonucu su arıtımında kullanıldığında, bilinen bir kanserojen olan kloroform ürettiği ve havuz suyundaki idrar ve terle karıştıındaysa ciddi göz yakıcılar olarak bilinen kloraminler ürettiği açıklanmıştır. Bu açıklamalardan sonra EPA (Çevre Koruma Örgütü) içme suları, yüzme havuzları ve atık sularda kullanılan klora alternatif olacak etkili bir çare bulunmasını istedi. Ozon ve klor karşılaştırıldıktan sonra EPA ozonu klora bir alternatif olarak kabul etti.

**1982:** Ozonun şişelenmiş suda kullanılması için FDA, GRAS deklarasyonunu yayınladı ve ozonu güvenli ilan etti.

**1990:** ABD Gıda Birliği ozona "Genel Olarak Güvenilebilir"(GRAS) onayını verdi. Ozon diğer kullanım alanlarında da güvenle kullanılmaya başlandı.

**1992:** Ozon, 1992'den bu yana da Rusya'da yanık tedavilerinde kullanılıyor.

**1994:** Tıp sektörü ozonu dezenfektan olarak kabul etti.

**1997:** IEP (Endüstri Birliği Paneli) ozonun GRAS ve FDA şartlarına uygun olduğunu ilan etti. Düzenleyiciler daha sonra ozonun kullanımının kontrolünü ekledi.

**1999:** USDA (Amerika Birleşik Devletler Tarım Dairesi) etler için kullanılan ozon protokolünü reddetti ve FDA bulunan yerlerde "diğer bütün kullanımlar için FAP (Yiyecek Katkı Maddesi Dilekçesi) ile düzenlenmeli" kararını içeren 1982 GRAS su deklarasyonuna dava açtı.

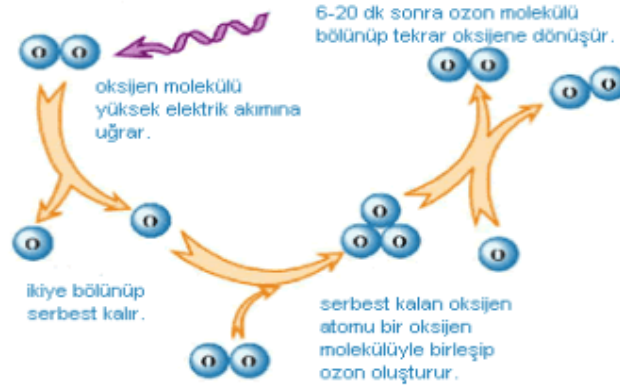
**2000:** FAP ozonun hem sulama hem de havalandırmada kullanım tanımları hazırlandı. FDA dilekçe teklifinin altı ay içerisinde onay alacağını açıkladı. FDA ve USDA ozona onay verdi. Ozon, EPA tarafından DBPR gibi iyi huylu ve itaatkâr ilan edildi.

**2005:** Ozon jeneratörleri günümüzde pek çok sektörde kabul görmüş olup güvenle kullanılmaktadır [2].

### 2.1.2.Ozon oluşumu

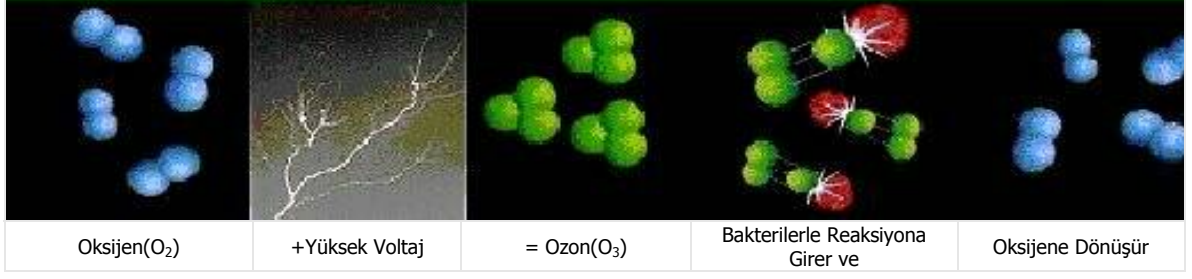
Ozon doğada doğal bir şekilde oluşmasının yanı sıra, oksijen molekülünün oldukça kararsız iki oksijen atomuna parçalanmasına dayanan çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilirler. Şekil 2.2’de de görüldüğü gibi oksijen atomları parçalanmadan sonra ozonu oluşturmak üzere oksijen molekülü ile reaksiyona girerler. Bu parçalanma işlemi iki şekilde gerçekleştirilebilir; Corona Discharge yöntemi kullanılan ozon jeneratörleri ve UV ozon jeneratörleri:

#### Corona Discharge ozon jeneratörleri



Şekil 2. 2. Oksijen molekülünün ozona ve tekrar oksijene dönüşümü [2].



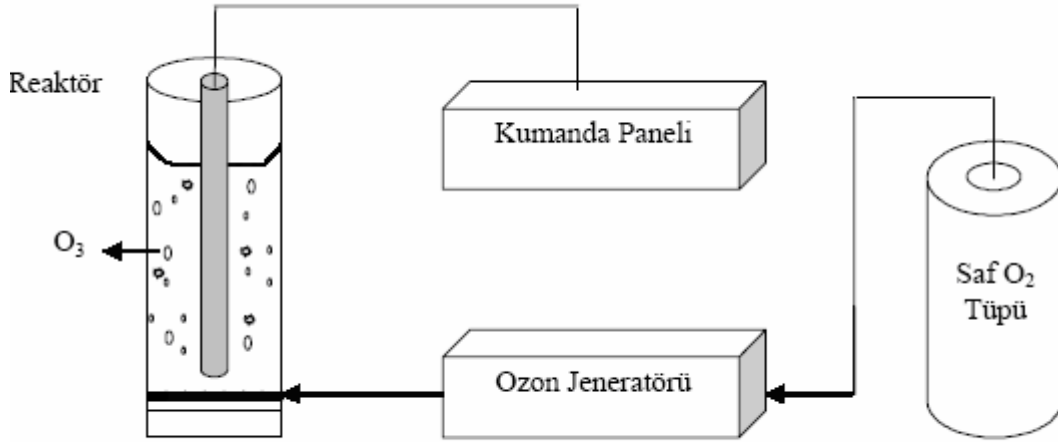


**Şekil 2. 3.** Ozonun sterilizasyon özelliği [3].

Corona Discharge yönteminde ise sabit elektrik akımı verilerek elektronları hızlandırmak suretiyle oksijen çift bağının bozulması sağlanmaktadır. Bu şekilde parçalanmış oksijen molekülleri ozonu oluşturmak üzere Şekil 2.3’de de görüldüğü üzere diğer oksijen molekülleriyle birleşir ve ortam dezenfeksiyonunu sağlamak üzere ortamdaki bakterilerle reaksiyona girer daha sonra tekrar oksijene dönüşür. Corona discharge yöntemiyle çok daha yüksek miktarlarda ozon üretimi mümkündür. Aynı zamanda diğer ozon üretim yöntemine göre daha ekonomiktir. Corona discharge yöntemiyle üretilen ozon jeneratörlerinde harcanan elektrik enerjisinin %5’i ozon üretiminde kullanılmaktadır. Harcanan elektrik enerjisinin büyük bölümü ısı ve önemsiz miktarda ışık enerjisi olarak serbest kalmaktadır. Bu nedenle Corona discharge yöntemiyle ozon üretiminde jeneratörü ısıdan koruyabilmek amacıyla iyi bir soğutma işlemi yapılmalıdır.

### **Ultraviyole ozon jeneratörleri**

Şekil 2.4’de Ozon/UV düzeneğinin şematik gösterimi verilmektedir. Ultraviyole ozon jeneratörleri ile ozon oluşturmak için 220 nm’den kısa dalga boyunda ışın veren UV lambalarının etrafından hava geçirilerek ozon üretimi yapılmaktadır. Bu yöntemle elde edilen ozon gazı verimi oldukça düşüktür. Bu nedenle su uygulamalarında kullanılması ekonomik olmamaktadır. Yüksek gaz akımında ve düşük konsantrasyon altında UV ile havadan ozon üretiminde 1 kg kuru ozon üretimi için 44 kW/h elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2. 4. Ozon/UV düzeneğinin şematik gösterimi [4].

### 2.1.3. Ozon gazının kullanım alanları

**Suların dezenfeksiyonunda:** Ozonun içme sularında kullanım amaçları:

- İstenmeyen tat, koku ve rengin giderilmesi
- Sulardan ağır metallerin giderilmesi
- Suların dezenfeksiyonu
- Dezenfektanların yan ürünlerinin giderilmesi
- Doğal organik maddelerin, ozonla oksidasyonları sonucu biyolojik olarak bozunma oranlarının yükseltilmesi

Geçen 15 yıl içinde ozonlamanın koagülasyon, flokülasyon, ve katı sıvı ayırımındaki etkileri üzerinde çalışma ve bunlara bağlı uygulamalar, önemli ölçüde artmıştır. Başta Almanya ve Fransa olmak üzere Avrupa'da bazı ülkelerde, ozon ile ilgili çalışmalar oldukça gelişmiştir. Avrupa'ya nazaran Amerika'da, yakın tarihlerde içme sularının dezenfeksiyonu, dezenfeksiyon artıkları ve dezenfektan yan ürünleri ile ilgili yasal düzenlemelerinde ki değişikliklerle birlikte ozon kullanımı artmıştır.

## **Gıda endüstrisinde**

- a) Gıda ile temas eden suların dezenfeksiyonunu sağlar.
- b) Gıdaların depolanma ve raf ömrünü uzatır.
- c) Depo ve üretim alanlarında küf, mantar gelişimini engeller.
- d) Gıda işletmelerinde dezenfeksiyon amaçlı kimyasal kullanımını azaltır.
- e) Kısa sürede dezenfeksiyon sağlar, gıda üzerinde artık ve kalıntı bırakmaz.

**Tekstil endüstrisinde:** Kot ve kumaş ağartma, renk giderimi, atıksu geri kazanımı

**Balık üretim çiftlikleri, akvaryumlarda:** Suların dezenfeksiyonu, balık hastalıklarının önlenmesi

**Et, balık, tavuk işleme tesislerinde:** İşlenmiş et, balık, tavuk ürünlerinin raf ömrünün uzatılması

**Otel, hastane ve yüzme havuzlarında:** Suların dezenfeksiyonu, Legionella ve diğer hastalık yapıcı bakterilerin etkisiz hale getirilmesi

**Yemek fabrikalarında:** Yıkama sularının dezenfeksiyonu, gıdaların depolama ömrünün artırılması, koku giderimi

**Tat ve koku gideriminde:** Sulardaki koku ve tat kaynağı ya tabii olarak bulunan organik maddelerden ya da sentetik organik bileşiklerden meydana gelmektedir. Bitkilerin çürümeleri, bakteriyel metabolik işlemlerle yüzey sularında tadın bozulmasına sebep olmaktadır. Ozon bu bileşikleri okside ettiğinden suyun tadında hissedilir derecede düzelmeye sebep olur. Yeraltı ve yüzeysel sulardaki tat ve koku kaynaklarından birisi olan hidrojen sülfid de ozonlama ile sülfat anyonuna okside olması, suyun tat ve kokusunda iyileşmeye neden olur. Koku özelliği, yüksek elektron dansiteli sülfid, amin ve olefin gibi fonksiyonel grup maddelerle birlikte meydana gelmektedir. Ozon bu fonksiyonel grupları, kokusuz olan oksijenli gruplara okside etmektedir. Örneğin, dimetil sülfid, dimetil sülfoksit; trialkil aminler N-oksitlere okside edilir. Sülfid iyonlarına nazaran organik sülfidlerin sülfonlar, sülfoksitler ve sülfonik asitlere oksidasyonu daha yavaş gerçekleşir. Ozonlamanın devamı halinde bu moleküllerin organik karbon bağları okside olacaktır.

Koku giderimiyle ilgili ozon jeneratörü kullanan başlıca sanayi kolları; süt ve süt ürünleri işletmeleri, ilaç fabrikaları, balık işleme fabrikaları, kauçuk fabrikaları, yağ fabrikaları, kâğıt ve kimyasal madde fabrikalarıdır.

**Renk giderimi:** Yüzeysel sular genellikle bünyelerinde doğal olarak bulunan humik, fulvik, tannik asitler gibi organik maddelerle renklenirler. Bu tip bileşikler, bitkisel maddelerin parçalanmasından ve genellikle fenol benzeri bileşiklerin birikimi sonucu meydana gelir. Bu tip renk değişikliklerine neden olan çeşitli konjuge çift bağlı bileşikler, ozon oksidasyonu yoluyla kolaylıkla giderilebilirler. Sadece bir çift bağın parçalanması, genellikle molekülün renk özelliklerini bozmaya yeterlidir. Göl sularında renk gidermek için gerekli ozon doz seviyesi genellikle 2 – 4 mg/L dir.

**Bulanıklık giderimi:** Sulardaki bulanıklık, kimyasal oksidasyon ve elektrik nötralizasyonu ile birlikte uygulanan ozonlama suretiyle giderilebilir. Bulanıklığa neden olan koloidal partiküller, negatif yüklü partiküller halinde çözünmemiş şekilde bulunurlar. Bu partiküller öncelikle ozon ile nötralize olur, daha sonra yüzeylerinde meydana gelen organik materyalin oksidasyonu ile ozon, diğer koloidal maddeleri de tahrip eder.

**Endüstriyel atık suların kontrolü, dezenfeksiyonu ve atık su arıtımında ozon uygulaması:** Biyolojik olarak parçalanamayan endüstri atıkları, ozon işlemi ile parçalanır duruma getirilmektedir. İlk endüstriyel ozon atık su uygulanması, uçaklardan boyaların çıkarılmasında kullanılan solüsyonlardaki fenol ve siyanid'in oksidasyonudur. Ozon ile fenol oksidasyonu uygulamaları, kağıt fabrikalarında, kok kömürü işletmelerinde, yağ rafinerisinde, ve diğer thermoplastik reçine üretiminde kullanılmaktadır. Ozonun diğer bir kullanım sahası, siyanid içeren atıklardan siyanid'in okside edilerek toksik olmayan siyanid iyonu elde etmek ve bunu takiben bu iyonu CO<sub>2</sub> ve nitrat anyonlarına dönüştürmektir. Ozon bu suretle siyanid içeren boya maddeleri, fotoğraf ve maden atıklarının işleminde kullanılmaktadır. Bu işlemlerde diğer ağır metallerin redüksiyonu da meydana gelir. Ozon ve UV radyasyonu kombinasyonu, demir- siyanid komplekslerini ve glisin palmitik asit, gliserin, etil alkol ve asetik asit gibi diğer bileşiklerin de tahrip edilmesinde kullanılır. Diğer yandan tabii boya etkinliği gösteren tanninler ve ham kağıt maddelerindeki renkler veya diğer sentetik renkler ve organik boyaların renkleri de ozon ile giderilmektedir.

Ozonun flotasyonu kolaylaştırma özelliği, sudaki katı maddelerin uzaklaştırılmasında etkin rol oynar. Sularda tabii olarak bulunan demir (Ferro) iyonu, ozon ile ferric duruma okside edilir. Ferric katyon, solüsyondan koagülant ferric hidroksit olarak çökeler. Sudaki herhangi bir süspanse katı madde, ferric hidroksit ile koagüle olur ve sonuçta hava veya oksijen gibi taşıyıcı gaz vasıtasıyla ozon kontak tankının su yüzeyinde bir matrix tabaka oluşturur. Bu katı maddelerden meydana gelen tabaka ve ferric hidroksit ozon kontak tankının yüzeyinde bir köpük oluşturur. Bu tabakanın yüzeyden kolaylıkla alınabilir özellikte olması, filtreleme masraflarını minimuma inmesini sağlar. Arıtma işlemlerinde ozonun klora karşı avantajları Çizelge 2.1'de verilmektedir. Ozonun klora nazaran bir avantajı da suyun pH'ını değiştirmemesidir.

Ozonun geniş çapta kullanıldığı sahalardan birisi de, ikinci derecede veya biyolojik olarak işlem görmüş atık suların dezenfeksiyonudur. Ozon, büyük rezervuarlara veya içinde canlıların bulunabileceği yerlere akan atık suların temizlenmesinde geniş çapta kullanılmaktadır. Bu tür sularda klora nazaran ozon ile dezenfeksiyonun avantajları; ozon bütün virüsleri klordan daha etkin şekilde ortadan kaldırdığı gibi, sularda yaşayan canlıların klordan büyük zarar görmesinin aksine, ozonlama ile suyun bir yandan da oksijence zenginleşmesi sağlandığından, suların doğal dengesinin korunmasıdır. Ozon bu tip sular için etkili dezenfeksiyon sağlarken diğer taraftan da rengi ve bulanıklığı giderir, kimyasal oksijen ihtiyacını azaltır. Genellikle ozon ilk kimyasal arıtımla, biyolojik arıtım arasında kullanılmaktadır. Bu şekildeki uygulamalarda gerekli miktar, 50 mg/L ile 300–350 mg/L'dir. Bazı durumlarda bu miktarın 500 mg/L'ye yükseldiği de görülmektedir. Eğer ozon kullanımı iki aşamada gerçekleşiyor ve iki biyolojik arıtım öncesinde uygulanıyorsa, gerekli miktar, 150 – 200 mg/L'ye düşmektedir. Ozonla arıtmadan öncelikle beklenen karbon çift bağlarının kırılmasıdır. Diğer yandan bu aşamada kısmi flokülasyon ve biyolojik arıtım yükünün azaltılması gibi avantajları da vardır. İlk kimyasal arıtım sonrası ve biyolojik arıtım öncesi uygulandığında KOİ miktarında % 40 – 50 oranında düşme kaydedilmiştir. Diğer yandan ozon kullanımının avantajları arasında; kullanılan kimyasal sarf malzemenin miktarında % 25 azalma ve çamur miktarında % 15 azalma görülmektedir.

**Çizelge 2. 1.** Ozon ve klorun sudaki etkilerinin karşılaştırması [2].

SUDAKİ ETKİLERİ	KLOR	OZON
Oksidasyon potansiyelleri (Volt)	1.36	2.07
Dezenfeksiyon: Bakteri	Orta	Çok iyi
Virüs	Orta	Çok iyi
Çevre dostu	Hayır	Evet
Renk giderimi	İyi	Çok iyi
Kanserojen oluşumu	Olası	Yok
Organizma oksidasyonu	Orta	Yüksek
Mikro folükülasyon	Yok	Orta
pH Etkisi	Değişken	Düşürür
Su yarı ömrü	2-3 Saat	20 Dak.
İşletme riski: Deri toksitlenmesi	Yüksek	Orta
Solunum toksitlenmesi	Yüksek	Yüksek
Çözünürlük	Düşük	Yüksek
Kurulum maliyeti	Düşük	Yüksek
Aylık kullanım maliyeti	Orta-Yüksek	Düşük

**Su ve meşrubat şişeleme işletmeleri:** Şişelenmiş sularda yosun ve bakteri gelişimini önler. Şişe sularının raf ömrünü uzatır.

**Üniversiteler ve araştırma kurumları:** Ar-Ge çalışmalarında

**Nitrit amonyak gideriminde:** Sularda bazı bakteriyolojik faaliyetler sonucu veya doğal olarak bulunabilen nitrit, ozon ile kolaylıkla okside olarak nitrate dönüşürken, amonyağın ozonla oksidasyon sonucu giderilmesi oldukça zordur. Bir sulu çözeltideki amonyağın oksidasyonu, sistemin pH'ına ve diğer oksit olabilir maddelerin varlığına bağlıdır. Atık sularda bulunan organik maddelerin reaksiyon hızı; ozon ve amonyak arasındaki reaksiyon hızından daha büyük olduğundan, suda eğer ozon-reaktif organikler mevcut ise amonyağın okside olması oldukça güçtür. Amonyağın ozon ile oksidasyonun da pH'ın rolü önemlidir. Reaksiyon dengesi, pH 7- 9'dan fazla olan sularda serbest amonyak tarafına doğru saptığından, belirli bir oksidasyon gözlenir. Amonyak ozon ile oksitlendiğinde, önce nitrite daha sonra nitrate yükseltgenir. Gerekli ortam sağlandığında, amonyağın önce nitrit daha sonra nitrate dönüşmesi için gerekli ozon miktarı; 1g amonyak için 3.05 g O<sub>3</sub>' dür.

**Siyanid giderimi:** Siyanid (HCN), siyanat (KCN) ve tiyosyanat (SCN) gibi nitrojen anyonları, ozonla kolaylıkla okside olurlar. Düşük veya yüksek pH larda, siyanat iyonları, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve nitrojen oluşturmak üzere hidrolize olurlar. Siyanid'ın ozon oksidasyonu; ticarete metal cilalama, altın ocakları ve boya endüstrisinde kullanılan suların işlemlerinde kullanılır [2].

**Pestisit gideriminde:** Tarımda kaçınılmaz olarak kullanılan pestisitleri(zirai ilaç atıkları) yapılarına göre aşağıdaki şekilde gruplandırmak mümkündür.

Organik fosforlu ve karbonatlı pestisitler

Organik klorlu pestisitler

Birinci gruptaki pestisitler, sularda en yaygın rastlanabilen pestisitlerdir. Ancak bu gruptaki pestisitlerin suda çözünebilir oluşu ve ayrıca hızlı hidrolize olabilmeleri nedeniyle, sulu ortamlarda yarı ömürleri bir kaç hafta gibi oldukça kısadır. İkinci gruptaki organik klorlu pestisitler ise, tarımda en yaygın olarak kullanılmış olan ve kalıcı özellikleri nedeniyle de çevrede birikim yapan grubu meydana getirirler. DDT, Dieldrin ve endrin gibi organik klorlu pestisitler yüzey sularında en sık bulunan pestisitlerdir. Çoğunlukla yeraltı ve taban sularına geçerler. Pestisitler, ozon ile verdikleri reaksiyona göre farklılıklar gösterirler. Phosalone ve aldrin az miktarda ozon ile kolaylıkla okside olurlar. Malathion ve parathion da ozon ile kolaylıkla oksitlenebilen iki pestisittir. Ancak oluşan ara ürünler, toksik olabilir. Diğer yandan dieldrin, chlordane, lindane, DDT, PCBs, PCP ve endosulfan, normal ozonlama şartlarında O<sub>3</sub> ile düşük seviyelerde oksitlenirler.

**Sağlık sektöründe ozon uygulamaları:** Soluduğumuz hava, yediklerimiz ve içtiğimiz su vasıtasıyla toksinler ve kirletici maddeler vücudumuza girerler ve cildimiz tarafından emilirler. E.P.A. verilerine göre, yiyeceklerimizde 3000'den fazla kimyasal bulunmaktadır ve yetişkinler her yıl 1,81 kg pestisiti tükettikleri gıdalarla almaktadırlar. Doğal ve suni kimyasallar, gıda koruyucuları, ilaç atıkları sağlıklı doku ve hücreleri yok ederler. Bu durum hem birçok hastalığın hem de yaşlanmanın sebebidir. Medikal ozon, bakteri, mantar öldürücü ve virüs çoğalmasını önleyici özelliği nedeniyle, enfekte olmuş yaraların dezenfeksiyonunda, bakteri ve virüslerin sebep olduğu hastalıkların tedavisinde etkindir.

Kan dolaşımını attırma yeteneği sayesinde dolaşım bozukluklarının tedavisinde kullanılır. Düşük dozlarda kullanıldığında, vücut direncini attırır, dolayısıyla bağışıklık sistemi güçlenir. Medikal ozon, hastalıkların tedavisinde diğer tedavilere ek olarak uygulanır, tamamlayıcı tedavi grubuna girer.

### **Endikasyonları**

- a) Virütik hastalıkların tedavisi (hepatitler, uçuklar, zona)
- b) Enfekte yaraların tedavisi (açık yaralar, yanıklar)
- c) Dolaşım bozukluklarının tedavisi (sigara içimi, hiperkolesterolemi)
- d) Kanser tedavisinde bağışıklık sistemi güçlendirici tamamlayıcı tedavi olarak.
- e) Kronik yorgunluk sendromu.
- f) Akne, sedef, dirençli mantar gibi cilt hastalıkları.
- g) Kozmetik olarak yaşlanmaya karşı (anti-aging)koruyucu tedavilerde.
- h) Migren ve multipl skleroz gibi nörolojik hastalıklar.
- i) Göz hastalıkları (yaşa bağlı görme bozuklukları)

### **2.1.4. Ozon kimyası**

#### **Fiziksel ve kimyasal özellikleri**

Özgül ağırlığı(H <sub>2</sub> O=1)	: 2.144
Moleküler ağırlığı	: 48.00 g/mol
Kaynama noktası	: -119.9 °C
Erime noktası	: -192.7°C
Buhar basıncı	: N/A (mevcut değil)
Buhar oranı(BuAc=1)	: N/A
Buhar yoğunluğu(Air=1)	: 1.7 g/L
Sudaki çözünürlüğü (Ağırlık %'si)	: 0.49
Görünüm ve koku	: Renksiz, açık mavi denilebilecek şeffaf (Sıvı Ozon), keskin kokulu bir gazdır.

#### **Kararlılık ve reaktivite:**

Ozon olağan durumlarda, kendiliğinden oksijene dönüştüğünden üretildiği an haricinde ozon ile karşılaşmamaktadır. Çözünme katı yüzeyler ve kimyasal maddeler sayesinde hızlanır. Zararlı polimerizasyon ürünleri oluşturmazlar. Ozon güçlü bir



oksidasyon ajanı olup tüm organik ve inorganik okside edilebilir maddelerle reaksiyona girer. Bazı reaksiyonlar da yüksek derecede yakıcıdır. (Alkalit, benzin ve diğer aromatik bileşenler, lastik, bromin diethyl ether, dinitrogen tetroksit, nitrogen triclorit, hidrogenbromil ve tetrafluorohydrazine) Ozonun karakteristik keskin kokusu düşük konsantrasyonlarda bile algılanabilir (0.02/0.05 mg/L) ve uzun süre direkt solunması durumunda üst ve alt solunum yollarında olumsuz etkileri görülebilir. Çevreye olumsuz bir etkisi yoktur.

### **Farklı ısı derecelerinde O<sub>3</sub> yarılanma ömrü:**

Ozonun farklı ısı derecelerinde yarılanma ömrü gaz halinde veya suda çözünmüş olmasına göre farklılık gösterebilir. Gaz halindeki yarılanma ömrü Çizelge 2.2’de, suda çözünmüş halde (pH=7) yarılanma ömrü ise Çizelge 2.3’de tablo şeklinde verilmiştir [2].

**Çizelge 2. 2.** Gaz halindeki ozonun farklı ısı derecelerindeki yarılanma ömrü [2].

Sıcaklık (°C)	Yarılanma Ömrü
-50	90 gün
-35	18 gün
-25	8 gün
20	3 gün
120	1.5 saat
250	1.5 saniye

**Çizelge 2. 3** Suda Çözünmüş haldeki (pH=7)ozonun farklı ısı derecelerindeki yarılanma ömrü [2].

Sıcaklık (°C)	Yarılanma Ömrü
15	30 dakika
20	20 dakika
25	15 dakika
30	12 dakika
35	8 dakika

## 2.1.5.Ozona dayanıklı malzemeler

### Ozon Gazı

1. Cam
2. Teflon
3. Paslanmaz çelik (300 serisi)

### Sulu Çözeltilerde Çözünmüş Ozon

1. Paslanmaz çelik (300 serisi)
2. PVC
3. Beton
4. Plexiglass
5. Teflon
6. Cam

### Bağlantı Parçaları ve Conta Malzemeleri

1. Paslanmaz çelik (300 serisi)
2. Kalrez
3. Kynar
4. Teflon
5. Viton

**Çizelge 2. 4.** Su uygulama alanlardaki ozon dozajları ve temas süreleri [5].

Uygulama Alanları	Uygulanan Ozon Dozu (mg/L)	Temas Süresi (dakika)
Şişelenmiş Su (Dezenfeksiyon)	0.25 – 1.0	5 – 10
<b>Kullanma Suyu</b>		
Dezenfeksiyon	1.5 – 3.0	5 – 10
Bulanıklık Giderimi/ Mikroflok.	0.5 – 1.5	3 – 10
THM Yapıcıların Giderimi	1.5 – 3.0	5 – 10
Tat ve Koku Giderimi	1.0 – 5.0	5 – 10
Renk Giderimi (tannin-lignin)	2.0 – 10.0	10 – 30
<b>Safılaştırılmış Su</b>		
Toplam Organik Karbon Giderimi	1.0 – 3.0	1
Boruların Sanitasyonu	1.0 – 3.0	5 – 10
<b>Atık Su</b>	5.0 – 15.0	15 – 30
<b>Soğutma Kuleleri</b>	0.1 – 0.4	1

#### 2.1.6. Atıksu arıtım sektöründe ozon uygulamaları

Ozon uygulaması, dünyayı kirleten bazı kimyasalların üretimini azaltacak çok önemli bir yöntemdir.

Mühendisler için tasarım, yatırım ve işletme açısından en geniş kapsamlı çalışma alanı halen atık su arıtma sektörüdür. Ancak şimdiye kadar bu konularda ve özellikle de endüstriyel nitelikli atıksuların arıtılmasında hep ozon dışındaki koagülasyon kimyasalları kullanılmıştır.

Halen ülkemizdeki atıksu arıtma sektöründe yapılan yatırımlar incelendiğinde ozon dışındaki tüm koagülantların kullanıldığı belirgin bir şekilde görülmektedir. Özellikle KOİ değeri yüksek olan atıksularda birkaç koagülant kullanılmaktadır. Bunlar için ayrı ayrı hazırlama, dozajlama, karıştırma sistemleri tasarlanmakta ve ilk yatırım ve işletme maliyeti yüksek tesisler kurulmuş olmaktadır. Ozon gazı, çok yüksek oksitleme kapasitesi nedeniyle kullanılmakta olan birçok koagülantın yerini almaya başlamıştır. Böylelikle ilk yatırım ve işletme maliyeti düşük sistemler tasarlanmıştır.

Ozon gazının atıksu uygulamasında, bir ozon jeneratörü ve temas tankı (yarılanma ömrü kısa olmasından dolayı daha küçük boyutlarda) olması tasarımı için yeterlidir. Bununla birlikte kontrolü diğer kimyasallara nazaran daha kolay olan bir uygulamadır.

Özellikle tekstil, deri ve kâğıt sektörlerinde üretimin belirli aşamalarında kullanılan birçok oksitleyici ve ağartıcı özellik taşıyan kimyasallar yüksek oranlarda kullanılmaktadır. Bu kimyasalların kullanımı yerine ozon gazı ile bu işlemlerin yapılmasıyla atıksu arıtma tesisine gelecek organik yükünde düşürülmesi ve buna bağlı olarak yatırım ve işletme masraflarından çok büyük tasarruflar sağlanacaktır. Çizelge 2.4’de su uygulama alanlardaki ozon dozajları ve temas süreleri verilmektedir. Ayrıca Çizelge 2.4’de görüldüğü gibi su uygulama alanlarındaki ozon dozaj ve temas süreleri ozon uygulamasının gerek atık su alanında gerekse diğer alanlarda yatırım ve işletme masraflarında tasarruf yapılabileceğini göstermektedir. Atıksu arıtımında ozon kullanımına ilişkin yapılan çalışmalar hızla artmaktadır [2].

## **2.2. Atık Su Arıtım Yöntemleri**

Atık su arıtımı aşağıda görüldüğü şekilde gruplandırılabilir.

1. Kimyasal Yöntemler
2. Fiziksel Yöntemler
3. Biyolojik Yöntemler

### **2.2.1. Kimyasal yöntemler**

Atık su arıtımında kullanılan en yaygın kimyasal yöntemler; Oksidasyon, Kimyasal Çöktürme ve Flokülasyon ve Cucurbituril ile arıtım yöntemleridir.

#### **2.2.1.1. 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.

#### **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Fe(II) tuzları (fenton ayırıcı)**

Fenton ayırıcı (Fe(II) tuzlarıyla aktive edilmiş hidrojen peroksit) 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[6]. Atıksuların fenton ayırıcı ile arıtılmasında renk giderildiği gibi organik tuzlarda adsorbe edilebilmektedir. Ayrıca, metal-kompleks türündeki boyalardan kaynaklanan ağır metaller, demir oksitlerle birlikte nötralizasyon basamağında çöktürülebilmektedir. Fenton ayırıcı ile arıtma bu açıdan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılan yöntemlere göre daha avantajlı konumdadır [7]. 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 [8].

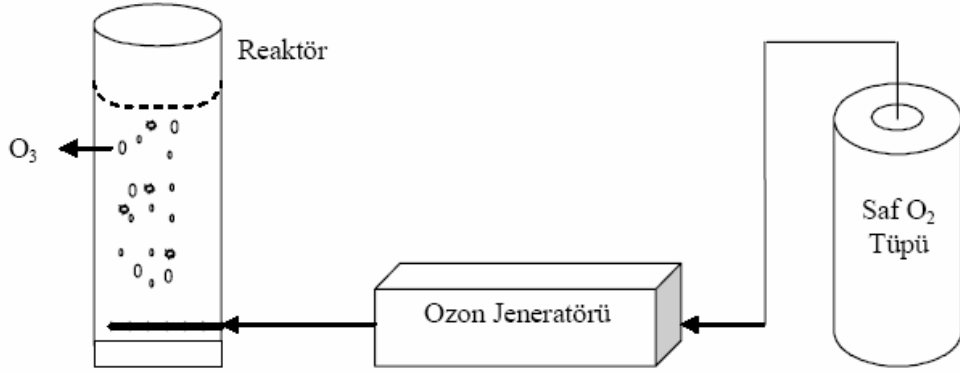
### **Ozon**

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 [9] tarafından yapılan çalışmada 30 dakikalık bir zaman süresince ozonlanan azoik, dispers/sülfür ve reaktif boya içeren atıksularda başarılı bir renk giderimi sağlanırken, Vat boyar maddesi içeren atıksu 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, atıksu arıtma tesisinin yükü azalmaktadır [10]. Yüksek kararsızlığına bağlı olarak oldukça iyi bir yükseltgen olan ozon aynı zamanda tekstil yaş proseslerinden kaynaklanan atıksularda bulunan yüzey aktif maddeler ve taşıyıcılar gibi diğer kirleticilerin giderilmesine de yardımcı olmaktadır. Ozonla oksidasyon, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında da oldukça etkilidir. Boya içeren atıksulara uygulanan dozaj, toplam renge bağlıdır ve giderilecek KOİ bir kalıntı ya da çamur oluşumuna veya toksik ara ürünlerin oluşumuna neden olmaz. Boya içeren atıksuların ozonlanmasında hız sınırlayıcı basamak, ozonun gaz fazından atıksuya olan kütle transferidir. Azo boyar madde içeren atıksuların ozonlama yöntemiyle arıtıldığı bir çalışmada ozon transfer hızının, başlangıç boya konsantrasyonuna, uygulanan ozon dozajlama ve sıcaklığa bağlı olarak arttığı belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda ozonlamanın kimyasal oksijen ihtiyacını %27 ila %87 oranında düşürebildiği ve atıksuyun biyolojik parçalanabilirliğini 11 ila 66 kez arttırabildiği vurgulanmıştır [11]. Diğer önemli

bir avantaj ise ozonun gaz durumunda uygulanabilir olması ve dolayısıyla diğer bazı yöntemlerin aksine atık çamur oluşmamasıdır. Boyalardaki kromofor grupları genellikle konjuge çift bağlı organik bileşiklerdir. Bu bağlar kırılarak daha küçük moleküller oluşturabilir ve renkte azalmaya neden olabilirler. Bu küçük moleküller atıksuyun kanserojenik ya da toksik özelliklerini arttırabilmektedir. Bu durumun önlenmesinde ozonlama ilave bir arıtım metodu olarak da uygulanabilmektedir.

Yarı ömrünün kısa oluşu (tipik olarak 20 dakika) ozonlamanın en büyük dezavantajıdır. Alkali şartlarda ozonun bozunması hız kazandığı için atıksuyun pH'ı dikkatle izlenmelidir. Ozonlama yönteminin diğer bir dezavantajı kısa yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın sürekli olması gerekliliği ve yüksek maliyettir [8].

Atıksuyun ozonlamadaki arıtımı şematik olarak Şekil 2.5'de temsil edilmektedir [4].

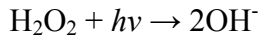


Şekil 2. 5. Ozon oksidasyonu düzeneğinin şematik gösterimi [4].

### Fotokimyasal yöntem

Bu yöntem boya moleküllerini, hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'a dönüştürür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil radikallerinin oluşmasıyla meydana gelir.

Yani, UV ışığı hidrojen peroksiti aktive ederek iki hidroksil radikaline parçalanmasını sağlar.



Böylece organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşir. Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır. Unkroth ve diğerleri [12] tarafından yapılan bir çalışmada civa lambalarının kullanılmasına alternatif

olarak lazer destekli fotokimyasal arıtım önerilmiştir. Ancak yapılan çalışma sonucunda yöntemin enerji verimliliği açısından iyi sonuçlar vermediği görülmüş, yeni ve daha etkili bir radyasyon kaynağının geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Boyar maddenin giderim hızı, UV radyasyonunun şiddetine, pH'a, boyar maddenin yapısına ve boya banyosunun bileşimine bağlıdır [8]. Genellikle, pH 7 olduğunda, UV radyasyon şiddeti yüksek olduğunda, farklı boya sınıfları için farklı değerler alan optimum miktarda hidrojen peroksit uygulandığında ve boya banyosu yükseltgenme potansiyeli peroksitten büyük olan oksitleyici maddeler içermediğinde etkili bir renk giderimi söz konusudur [13]. Boya içeren atıksuların fotokimyasal yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara neden olan organiklerin önemli derecede azaltılmasıdır.

### **Sodyum hipoklorit (NaOCl)**

Renkli atıksuların kimyasal oksidasyonu klorlu bileşiklerle de mümkündür. Bu metot da,  $Cl^+$  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 [13]. Son yıllarda alıcı ortamlardaki olumsuz etkilerinden dolayı boyar madde giderimi için klor kullanımı azalmıştır.

### **Elektrokimyasal yöntem**

Bu yöntem 1990'ların ortalarında geliştirilen yeni bir yöntemdir. Elektrokimyasal bir reaksiyonda yük, elektrot ile iletken sıvı içindeki reaktif türler arasındaki ara yüzeyde transfer olur. Elektrokimyasal reaktör anot, katot, iletken elektrolit ve güç kaynağından oluşmaktadır. Katotta elektron reaksiyona giren türlere geçerek oksidasyon durumunda azalmaya neden olur. Anotta ise yük reaktif türlerden elektroda geçerek oksidasyon durumunu artırır. Oksidasyon ile 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. Organik bileşiklerin elektrokimyasal yöntemlerle arıtımında söz konusu bileşikler anot üzerinde su ve karbondioksite okside olmaktadır. Tekstil boyarmaddesi içeren atıksularının elektrokimyasal olarak arıtıldığı bir çalışmada titanyum/platin anodu kullanılmış ve 18 dakikalık bir aktif arıtım süresinden sonra KOİ, BOİ değerlerinin %80 oranında azaldığı ve renkteki gideriminde aynı oranda arttığı belirlenmiştir [14]. Pelegrini ve diğerleri[15] tarafından yapılan diğer bir çalışmada fotokimyasal yöntemin ardından uygulanan elektrokimyasal yöntemin verimi belirgin olarak arttırdığı belirlenmiştir. Bu kombine prosesin kullanılmasıyla 120 dakikalık bir reaksiyon süresinde C.I. Reaktif Blue 19 boyar maddesinin rengi tamamen giderilmiş ve %50 oranında mineralizasyon sağlanmıştır. Yöntemin en büyük dezavantajı tehlikeli bileşiklerin oluşma olasılığıdır. Naumczyk ve diğerleri [16] tarafından yapılan çalışmada tekstil atıksularının elektrokimyasal arıtımı sürecinde oluşan kloroorganik bileşik miktarlarının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yüksek akım hızlarının renk gideriminde doğrudan bir azalmaya neden olması diğer bir dezavantajdır. Kullanılan elektrik maliyeti diğer yöntemlerdeki kimyasal madde giderleriyle kıyaslanabilir niteliktedir.

### **2.2.1.2. Kimyasal flokleştirme ve çöktürme yöntemi**

Bu yöntemde flokleştirme ve çökelme kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır. Atıksuya katılan kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen flokleştirme ile çözünmüş maddeler ve kolloidler giderilirler. En çok kullanılan kimyasallar arasında,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$  ve kireç sayılabilir. Tünay ve diğerleri [17] tarafından yapılan çalışmada asit boya içeren bir atıksuda kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon ve adsorpsiyon yöntemleri denenmiş ve yöntemler renk giderim verimlilikleri açısından incelenmiştir.

### **2.2.1.3. 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 [8]. 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 [18]. Çoğu kimyasal yöntem gibi bu yöntemde de en büyük dezavantaj maliyettir.

## **2.2.2. Fiziksel yöntemler**

### **2.2.2.1. Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon teknikleri bilinen metotlar için fazla kararlı olan kirleticilerin giderimindeki yüksek verimlilikten dolayı son yıllarda ilgi görmektedir. Adsorpsiyon ekonomik açıdan makul ve yüksek verimlilik sağlayan bir yöntemdir. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok fiziko-kimyasal faktörün etkisi altındadır.

Adsorbsiyonla renk gideriminde en çok kullanılan adsorban aktif karbondur. Aktif karbonla renk giderimi özellikle katyonik, mordant ve asit boyalar için etkiliyken, dispers, direkt, vat ve reaktif boyalar için daha az bir renk giderimi söz konusudur. Metodun performansı kullanılan karbonun tipine ve atıksuyun karakteristiğine bağlıdır. Rejenerasyon ve tekrar kullanım performansta azalmaya neden olurken bu dezavantaj aşırı miktarda aktif karbon kullanılmasıyla giderilebilir.

Ağaç kırıntıları, uçucu kül+kömür karışımı, silika jeller, doğal killer, mısır koçanı gibi malzemeler de, boya gideriminde adsorban olarak kullanılabilir. Bunların ucuz ve elde edilebilir oluşu boyar madde giderimindeki kullanımını ekonomik açıdan cazip kılmaktadır [8].

#### **2.2.2.2. 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 akı 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 membranlar negatif yüzeysel yüklerinden dolayı iyon seçicidirler. Yani, çok değerlikli anyonlar tek değerlikli anyonlara göre daha sıkı tutulurlar. Membranların bu karakteristiğine bağlı olarak boyalı atıksularda bulunan bir kısım yardımcı kimyasal membrandan geçebilmektedir [19]. Yapılan çalışmalar, membran filtrasyonu ile çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir [20]. Ancak yöntem, suyun yeniden kullanımı açısından önemli bir parametre olan çözünmüş katı madde içeriğini düşürmez. 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 [8].

#### **2.2.2.3. 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. Bu şekilde, boyar madde içeren atıksulardaki hem katyonik hem de anyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir. Yöntemin avantajları, rejenerasyonla adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi ve çözünebilir 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 [8].

### **2.2.3. Biyolojik yöntemler**

Biyolojik arıtım, endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Tekstil endüstrisi atıksuları 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 atıksudan 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 atıksularının arıtımı için ideal çözüm olarak kabul edilmektedir.

#### **2.2.3.1. Aerobik yöntem**

Tekstil endüstrisi atıksuları, pH değişimlerine duyarlılığı yüksek olan konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde önemli zorluklara sebep olmaktadır. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok 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 atıksuyun rengini almakta ve renk giderimi sağlanabilmektedir [21].

#### **2.2.3.2. 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. Anaerobik olarak renk gideriminin gerçekleşebilmesi için ilave karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlave karbon metan ve karbondioksite dönüştürülmekte ve elektronlar açığa çıkmaktadır. Bu elektronlar elektron taşıma zincirinden son elektron alıcısına yani azo-reaktif boyaya taşınmakta ve boyayla reaksiyona girerek azo bağındaki azo bağını indirgemektedir. Böylece anaerobik parçalanma sonucunda azo boyar maddelerdeki renkten sorumlu azo bağı kırılmakta ve renk giderimi sağlanmaktadır. Bu olay oksijen tarafından inhibe edilmektedir. Bu nedenle boya atıklarını renksizleştirmek için ilk adım azo köprüsünün indirgenerek parçalandığı anaerobik koşullar altında arıtım olmalıdır [8].

### **2.2.3.3. Biyosorpsiyon**

Kimyasal maddelerin mikrobiyal kütle tarafından adsorpsiyonu biyosorpsiyon olarak ifade edilmektedir. Ölü bakteriler, maya ve mantarlar boyar madde içeren atıksuların renginin giderilmesinde kullanılabilir. Tekstil boyalarının kimyası geniş bir yelpazede değişiklik gösterdiği için mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyanın kimyasına ve mikrobiyal kütlelerin spesifik kimyasına dayanmaktadır. Bu nedenle kullanılan mikroorganizmanın cinsine ve boyaya bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusudur. Boyar madde içeren atıksu çok toksik olduğunda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır [8,22].

### **2.3. Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon işlemi sıvı veya gaz fazda bulunan atom, iyon yada moleküllerin katı fazın yüzeyinde yoğunlaşması ve konsantre olması işlemi olarak tanımlanabilir. Havada veya suda bulunan kirleticilerin aktif karbon üzerine adsorpsiyonu, kirlenmiş olan havanın veya suyun iyileştirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Birikim gösteren maddeye adsorbat, adsorptan katıya adsorban denilmektedir [23].

Çözünmüş bir bileşiğin aktif karbon tarafından adsorpsiyonu üç adımda gerçekleştiği belirtilmektedir;

- a) Film difüzyonu: Adsorplanacak olan çözünmüş moleküller karbon partiküllerinin içine girerek yüzey filmi oluştururlar.

- b) Gözenek difüzyonu: Karbon gözeneklerinden, adsorpsiyon merkezine çözünen moleküllerin göçünü içerir.
- c) Karbon Yüzeylerine Çözünen Moleküllerin Yapışması: Çözünen molekül, karbon gözenek yüzeyine bağlandığında tutunma meydana gelir.

### **2.3.1. Adsorpsiyon çeşitleri**

Aktif karbon üzerinde meydana gelen adsorpsiyonun üç farklı süreçte olabileceği belirtilmektedir.

#### **2.3.1.1. Fiziksel adsorpsiyon**

Eğer adsorpsiyon bir yüzeydeki dengelenmemiş Van Der Waals kuvvetleri yardımıyla gerçekleşiyorsa, buna fiziksel adsorpsiyon denir. Bu tip adsorpsiyon termodinamik anlamda tersinirdir. Düşük adsorpsiyon ısısı ile karakterize edilir ve adsorpsiyonun derecesi sıcaklık yükseldikçe azalır.

#### **2.3.1.2. Kimyasal adsorpsiyon**

Yüzey moleküllerinin değerlik kuvvetleri nedeniyle yüzey üzerinde adsorplanan maddenin monomoleküler tabakası ile bir kimyasal bağın oluşmasından kaynaklanır. Adsorpsiyon yüksek sıcaklık gerektirir ve termodinamik anlamda tersinir değildir. Sıcaklık çok yükselirse fiziksel adsorpsiyon olayı kimyasal adsorpsiyona dönüşebilir.

#### **2.3.1.3. Elektrostatik adsorpsiyon**

Aktif karbon üzerine çözeltilerin adsorplanmasından sorumlu elektriksel çekim kuvvetlerinin etkisi olarak tanımlanır. Ayrıca negatif yüklü karbon partikülleri ile pozitif yüklü adsorplanan moleküller veya iyonlar arasındaki elektriksel çekim difüzyon sırasında ortaya çıkan engelleri azaltır ve bu yüzden de adsorpsiyonun verimliliğini artırır [24].

### 2.3.2. Adsorpsiyon denklemleri

Katı yüzeyindeki fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonu incelemek için birçok denklem türetilmiştir. Bu denklemler sayesinde katının yüzey alanı ve gözenek hacmi bulunabilmektedir. Bu denklemler;

- a) Langmuir denklemi,
- b) Branuer-Emmett-Teller ( B.E.T.) denklemi,
- c) Freundlich denklemi,
- d) Polony denklemi,
- e) Debinin-Radushkevich-Kagener ( D.R.K.) denklemi,
- f) Do Boer – Lippens ( D.L.) denklemi,
- g) Ksılev denklemidir [25]

#### 2.3.2.1. Langmuir denklemi

Amerikalı bir bilim adamı olan Langmuir [26] tarafından türetilmiştir. Langmuir'a göre adsorbanın üst tabakasındaki atomlar adsorpsiyona etki ederler ve çıplak yüzeye çarpan tanecikler hemen yansıtılmayıp bir süre yüzeyde kalırlar. Evvelce örtülmüş bir yüzeye çarpanlar ise hemen yansıtılırlar. Yani adsorpsiyon gerçekleşmiş tek tabaka yüzeyinde ikinci bir adsorpsiyon söz konusu değildir. Langmuir denklemi aşağıda görüldüğü gibi verilmektedir.

$$q_e = \frac{Q_o b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.1)$$

$q_e$ = Denge de adsorplanan madde miktarı (mg/g).

$Q_o$ =Yüzeyin tek tabaka olarak kaplanabilmesi için gerekli miktar (mg/g).

$b$ = Langmuir sabiti (L/mg).

$C_e$ =Adsorban denge konsantrasyonu (mg/L).

$$q_e + bq_e C_e = Q_o b C_e \quad (2.2)$$

$$1 + b C_e = Q_o b C_e / q_e \quad (2.3)$$

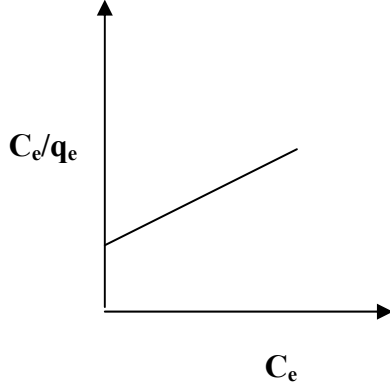
$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_o b} + \frac{C_e}{Q_o} \quad (2.4)$$

Langmuir tipi adsorpsiyon prosesleri aşağıda denklemi verilen  $R_L$  boyutsuz ayırma faktörüne göre sınıflandırılabilir [43].

$$R_L = \frac{1}{1 + b C_o} \quad (2.5)$$

$C_o$ = Başlangıç konsantrasyonu

<b><i>R<sub>L</sub> Değerleri</i></b>	<b><i>İzoterm Tipi</i></b>
$R_L > 1$	Elverişli Olmayan
$R_L = 1$	Lineer
$0 < R_L < 1$	Elverişli
$R_L = 0$	Tersinmez



Denklem de görüldüğü gibi  $C_e/q_e - C_e$  karşı grafiğe geçirildiğinde; Eğim =  $(1/Q_0)$ , Kayma =  $(1/bQ_0)$  olan bir doğru elde edilir

### 2.3.2.2. Freundlich eşitliği

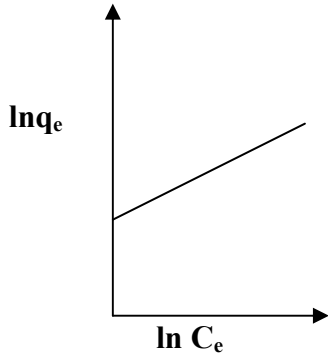
Freundlich eşitliği [27];

$$q_e = k_f \times C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $k_f$  ve  $n$  değerleri her sıcaklık için bir sabittir. Denklem logaritmik ifadesi yazılacak olursa eşitlik;

$$\ln q_e = \ln k_f + \left(\frac{1}{n}\right) \ln C_e \quad (2.7)$$

Yukarıdaki şeklini almaktadır.  $\ln q_e - \ln C_e$  grafiğe geçirildiğinde aşağıda da şekilde verildiği gibi eğimden  $n$  ve kesim noktasından  $k_f$  değerleri bulunur.





## 2.4. Aktif Karbon

Endüstriyel adsorbanlar arasında çevre kirliliğini kontrol amacıyla kullanılan adsorbanlar içinde en önemlisi, yüksek yüzey alanı ve gözenekliliğe sahip aktif karbonlardır. Aktif karbonlar karbon içeren atıkların, fiziksel ve kimyasal aktivasyon yöntemleriyle elde edilirler. Ve bu atıklar

- Tarımsal Kökenli Atıklar :
  - Hindistan Cevizi Kabuğu, Pirinç Kabuğu, Fındık Kabuğu ve Yağ Ürünlerinden elde edilen atıklar vs
- Polimerik Kökenli Atıklar:
  - Pet Atıkları, Atık Araba Lastikleri, PVC vs
- Fosil Kökenli Atıklar:
  - Odun, Turba, Kömür, Kemik vs

olmak üzere 3 genel başlık altında toplanabilir [28].

### 2.4.1. Aktif karbonun tarihçesi

1900' lü yılların başında, şu anki aktif karbon üretiminin temelini oluşturan patentler yayınlanmıştır. Bu patentler, bugün bile hala geçerli olan aktif karbon üretiminin iki temel prensibini açıklamaktadır. Bunlar kimyasal aktivasyon ve gaz aktivasyonudur. 1920 yılından sonra, ilk olarak, aktif kömür su arıtılmasında kullanılmaya başlanmış, fakat yaygın bir kullanım sağlanamamıştır. Ancak, 1927 yılında Almanya'da içme suyundaki klorofenol kokusu büyük problem yarattığından, şehir suyunun hazırlanması sırasında aktif karbon kullanımını da büyük önem kazanmıştır. Aktif karbon, 1929 yılında Hamm Water Works'da granüler formda, bundan bağımsız olarak 1930'da Harrison tarafından Michigan Bay City'de, yine 1929 yılında Spalding tarafından içme suyundaki kokuların uzaklaştırılması amacıyla toz halinde kullanılmıştır. 1932 yılına gelindiğinde Amerika'da 400 fabrika, 1943 yılında ise yaklaşık 1200 fabrika istenmeyen kokuların kontrolünde aktif karbonu kullanmıştır.

#### 2.4.2. Aktif karbon'un genel özellikleri

Aktif karbon, grafitik yapıda ve oldukça geniş iç gözenek yapısı ile karbonlu adsorbanlar ailesini tanımlamada kullanılan genel bir terimdir. Aktif karbonlar, insan sağlığına zararsız, kullanışlı ürünler olup, oldukça yüksek bir gözenekliliğe ve yüzey alanına sahiptirler(100–5000 m<sup>2</sup>/g). Aktif karbonlar, çözültideki molekül ve iyonları gözeneklerinde adsorbe ederler ve bu yüzden adsorban olarak adlandırılırlar [24]. Aktif karbonun bileşimi ve temel özellikleri Çizelge 2.5'de verilmektedir [29].

**Çizelge 2. 5.** Aktif karbon bileşimi ve temel özellikleri [29].

Görünüş	İnce, siyah, hafif toz
Renk Alma Özelliği	Min. 20 g Metilen Mavisi/100 g
Sulu Ekstraktın pH'ı	4–9
Kuru Miktar	Min %90
Kül	Max %5
Demir	Max 750 ppm
Arsenik	Max 2ppm
Kurşun	Max 10 ppm
Bakır	Max 20 ppm
Klorür	Max %0.1
Sülfat	Max %0.1

#### 2.4.3. Yüzey alanı

Aktif karbonun iç yüzeyi(aktifleştirilmiş yüzey) çoğunlukla BET yüzeyi olarak (m<sup>2</sup>/g) ifade edilir. Yüzey alanı azot (N<sub>2</sub>) gazı kullanılarak ölçülür. Su arıtımında kullanılan aktif karbon taneciklerinin iç yüzey alanının yaklaşık 1000 m<sup>2</sup>/g olması istenmektedir. Kirlilik oluşturan maddeler, aktif karbonun yüzeyinde tutulacağından, yüzey alanının büyüklüğü kirliliklerin giderilmesinde oldukça etkili bir faktördür. Prensip olarak, yüzey alanı ne kadar büyükse, adsorpsiyon merkezlerinin sayısının da o kadar büyük olduğu düşünülür. Literatürde bulunan aktif karbonun yüzey alanı ve gözenek sistemi ile ilgili sayısal değerler Çizelge 2.6'da verilmiştir.

**Çizelge 2. 6.** Aktif karbonun yüzey alanı ve gözenek sistemi ile ilgili sayısal değerler [24].

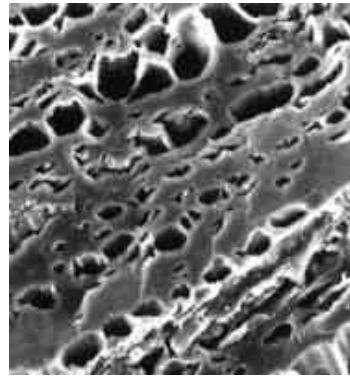
Yüzey alanı:	400–1600 m <sup>2</sup> /g (BET N <sub>2</sub> )
Gözenek hacmi:	>30 m <sup>3</sup> /100g
Gözenek genişliği:	0,3 nm-1000 nm

Karbon taneciğinin yüzeyi gaz, sıvı ve katı maddeleri çeker ve yüzeyde ince bir film tabakası oluşturur, yani adsorbe eder. Aktif karbonun adsorban olarak tercih edilmesinin başlıca iki nedeni vardır. Bunlar;

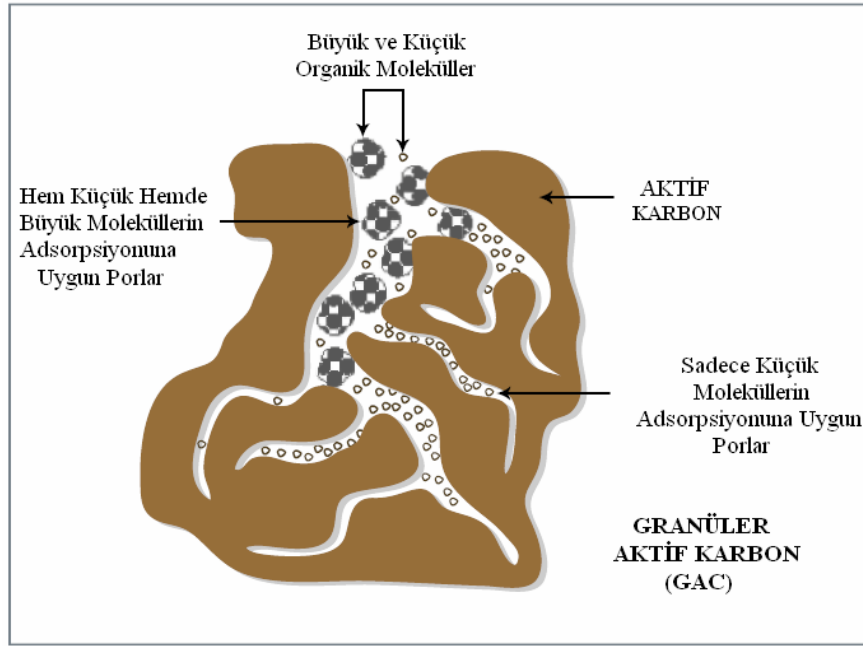
1. Belirli maddeleri çekebilmesi için çekici bir yüzeye,
2. Fazla miktarda maddeyi tutabilmesi için geniş bir yüzeye sahip olmasıdır.

#### 2.4.4. Gözenek büyüklüğü

Kirliliğin giderilmesinde etkili olan diğer bir parametre de gözenek büyüklüğüdür. Gözenek büyüklüğünün belirlenmesi, karbonun özelliklerinin anlaşılmasında oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Gözenekler silindirik veya konik şeklinde olabilir. Aktif karbonun gözenek yapısını gösteren ve Taramalı Elektron Mikroskobu ile çekilen fotoğraf aşağıda Şekil 2.6’da verilmiştir.



**Şekil 2. 6.** Aktif karbonun gözenek yapısı [24].

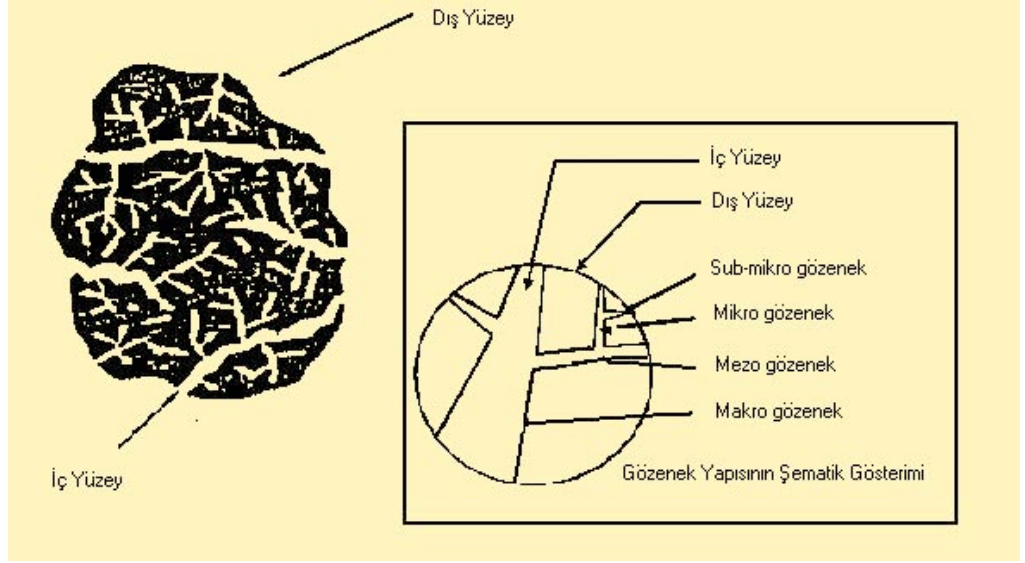


Şekil 2. 7. Granüler aktif karbonun gözenek yapısı [30].

Adsorpsiyon için gözenek yapısı, toplam iç yüzeyden daha önemli bir parametredir. Gözeneklerin büyüklükleri, uzaklaştırılacak olan kirliliklerin tanecik çaplarına uygun olmalıdır. Çünkü karbon ve adsorplanan moleküller arasındaki çekim kuvveti, molekül büyüklüğü gözeneklere yakın olan moleküller arasında daha büyüktür. Şekil 2.7’de granüler aktif karbonun gözenek yapısı görülmektedir.

The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) adsorbanlar için gözenek büyüklüğünü yarıçaplarına göre dörde ayırmıştır;

1. Makro gözenekler( $r > 25$  nm)
2. Mezo gözenekler ( $1 \text{ nm} < r < 25$  nm)
3. Mikro gözenekler( $0,4 \text{ nm} < r < 1$  nm)
4. Submikro gözenekler( $r < 0,4$  nm) olarak sınıflandırılabilirler.



**Şekil 2. 8.** Şematik olarak aktif karbon gözenek sistemi [24].

Adsorpsiyon ve desorpsiyon için önemli olan aktif karbon gözenek sistemi, Şekil 2.8’de şematik olarak gösterilmiştir. Mikro gözenekler iç yüzeyin önemli bir kısmını teşkil ederler (~%95). Makro gözenekler ise adsorpsiyon için nispeten önemli olmamakla birlikte, ancak mikro gözeneklere doğru difüzyonun hızlı olması için iletici olarak gereklidirler. Makro gözenekler molekülün aktif karbon içerisine girmesini, mezo gözenekler daha iç bölgelere doğru taşınmasını sağlarken, mikro gözenekler ise adsorpsiyon olayı için kullanılırlar.

#### **2.4.5. Aktif karbon türleri**

Atık su işlemleri için günümüzde kullanılan en iyi aktif karbonlar çeşitli kömürlerden ve doğal materyallerden elde edilir. Bunlar: taş kömürü, mangal kömürü, turba, linyit, odun, kemik; Hindistan cevizi, fındık ve pirinç kabuğu; meyve çekirdekleri ve yağ ürünleridir. Bu materyallerden elde edilen aktif karbonlar genellikle sert ve yoğundur. Suda bozunmadan uzun süre kullanılabilirler. Aktif karbonlar değişik özelliklere sahip şekillerde üretilirler. Bunlar;

1. Toz halindeki aktif karbonlar,
2. Granüler aktif karbonlar,
3. Pellet halindeki aktif karbonlardır.

Karbonun kimyasal aktivasyonu sonucu, toz haldeki aktif karbonlar elde edilirler. Bu karbonlar, günümüzde atık suların temizlenmesi işlemlerinde en çok kullanılan aktif karbonlardır. Gaz aktivasyonu ile yapılan granüler ürünler ve pelletler daha ziyade gazların saflaştırılmasında kullanılırlar. Ancak granüler haldeki aktif karbonların da atık su işleme sistemlerinde oldukça iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Granüler ve toz haldeki aktif karbonlar organik ve inorganik maddelerin uzaklaştırılmasında mükemmel sonuçlar vermektedir. Bu aktif karbonlar biyolojik olarak işlem görmüş atık suları ve organik kaynaklı endüstriyel atıklar içeren atık suları temizlemek için de yıllardır kullanılmaktadır.

#### **2.4.6. Aktivasyon teknikleri**

Aktif karbon üretimi için, karbonca fakir olmayan tüm maddeler, çeşitli aktifleştirme yöntemleriyle aktifleştirilerek kullanılabilirler. Bu aktifleştirme yöntemleri kimyasal aktivasyon ve gaz aktivasyonu olmak üzere ikiye ayrılır.

##### **Kimyasal aktivasyon**

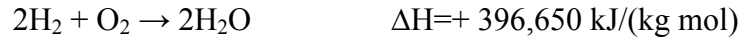
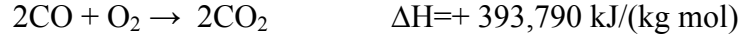
Bu teknik genellikle turba ve odun temel kaynaklı çığ materyallerin aktivasyonu için kullanılır. Çığ materyal çinko klorür, fosforik asit veya potasyum hidroksit ile doyurulur. Daha sonra karbonu aktive etmek için 500–800 °C sıcaklığa kadar ısıtılır. Aktive edilen karbon yıkanır, kurutulur ve öğütülerek toz haline getirilir. Kimyasal aktivasyon sonucu oluşturulan aktif karbonlar, genellikle büyük moleküllerin adsorpsiyonu için kullanılırlar ve oldukça geniş gözenek yapısı sergilerler.

##### **Fiziksel aktivasyonu**

Bu aktivasyon tekniği genellikle kömür ve meyve kabuklarının aktivasyonunda kullanılır. Başlangıç materyali öncelikle karbonizasyon olarak adlandırılan ısı bir işleme tabi tutulur. Bu işlem gözenekleri küçük olan karbonlu bir ürün oluşmasına yardımcı olur. Daha sonra bir inert gaz(N<sub>2</sub>, Ar) atmosferinde ve 800–1100°C sıcaklık aralığında aktivasyon işlemi gerçekleştirilir. Böylece, başlangıçta karbonizasyon ile oluşturulan ara materyal, aşağıda verilen su-gaz reaksiyonu ile gaz fazına dönüştürülerek mevcut gözenekler genişletilir ve sayıları artırılır.



Bu reaksiyon endotermiktir ve reaksiyon için gereken ısı, kısmen oluşan CO ve H<sub>2</sub>'nin yanması ile korunur.



Elde edilen aktif karbon sınıflandırılır ve elenip tozu giderilerek kullanıma hazır hale getirilir. Gaz aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonlar da kimyasal aktivasyondan elde edilenler gibi iyi bir gözenek yapısı sergilerler. Hem sıvı hem de gaz fazdan molekül ve iyonların adsorpsiyonu için etkin bir şekilde kullanılırlar [24].

## 2.5. Zeolit Nedir?

"Zeolit" kelime olarak "Kaynayan Taş" anlamındadır. Isıtıldığında patlayarak dağılması nedeni ile bu isim verilmiştir. Alkali ve toprak alkali metallerin kristal yapıya sahip sulu alümina silikatları olup çerçeve silikatlar grubundadır. İskelet yapılarındaki Si/Al oranlarındaki ve içerdikleri kation cinsi ve miktarlarındaki bazı farklılıklara rağmen; (M<sup>+</sup>, M<sup>+2</sup>) O.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.9SiO<sub>2</sub>. nH<sub>2</sub>O genel formülü ile ifade edilebilirler. Burada M<sup>+</sup> bir alkali kation olup genellikle Na<sup>+</sup> veya K<sup>+</sup>, nadiren de Li<sup>+</sup> olur. M<sup>+2</sup> ise bir toprak alkali kationdur ve genellikle Mg<sup>+2</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup> nadiren de Ba<sup>+2</sup>, Sr<sup>+2</sup> olur. Herhangi bir zeolit kristalinin en küçük yapı birimi SiO<sub>4</sub> veya AlO<sub>4</sub> tetraederleridir. Si ve Al tetraederlerinin oluşturduğu birincil yapı ünitelerinin birleşmesi ile tek ve çift halkalı ikincil yapı üniteleri ve yüksek simetrik parametreler meydana gelir. Bu polieder ve ikincil yapı ünitelerinin üç boyutta değişik şekillerde dizilmesi ile de mikro gözeneklere sahip zeolit iskeleti ortaya çıkar. Poliederler ve bunları birbirine bağlayan ikincil yapı üniteleri arasında yer alan bu mikro gözenekler mikro pencerelerle birleşip bir, iki veya üç boyutlu boşluk sistemleri ve/veya kanalları oluşturur. Boşluk miktarı toplam hacmin %20'si ile %50'si arasındadır. Zeolit minerallerinin en önemli özelliği; bu boşluklar ve bu boşluklara kolayca girebilen ve yer değiştirebilen sıvı ve gaz molekülleri ile toprak alkali iyonlardan ileri gelen "moleküler elek" olmalıdır.

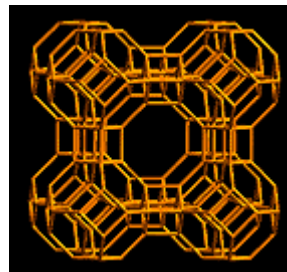
Doğal zeolitin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.7’de, ağır metal analiz sonuçları Çizelge 2.8’de, zeolitin geometrik yapısı Şekil 2.9’da ve aktif karbon ile gözenek düzeninin karşılaştırılması Şekil 2.10’da verilmektedir.

**Çizelge 2. 7.** Doğal zeolitin kimyasal analiz sonuçları [31].

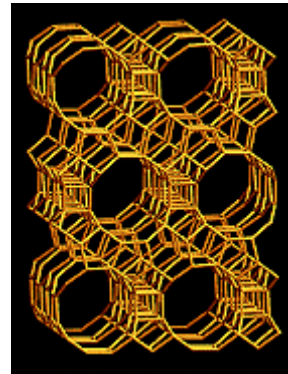
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>71,0%</b>
<b>CaO</b>	<b>3,4%</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>1,7%</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>11,8%</b>
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>2,4%</b>
<b>MgO</b>	<b>1,4%</b>
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>0,4%</b>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>0,10%</b>
<b>Sr</b>	<b>696 ppm</b>
<b>Ba</b>	<b>450 ppm</b>

**Çizelge 2. 8.** Doğal zeolitin ağır metal analiz sonuçları [32].

<b>As</b>	<b>&lt; 50 ppm</b>
<b>Cd</b>	<b>&lt; 5 ppm</b>
<b>Zn</b>	<b>52 ppm</b>
<b>Pb</b>	<b>&lt; 50 ppm</b>
<b>Se</b>	<b>&lt; 50 ppm</b>
<b>Mn</b>	<b>164 ppm</b>
<b>Mo</b>	<b>&lt; 5 ppm</b>
<b>Ni</b>	<b>&lt; 10 ppm</b>
<b>Cr</b>	<b>12 ppm</b>
<b>Cu</b>	<b>&lt; 10 ppm</b>
<b>Co</b>	<b>&lt; 10 ppm</b>
<b>Fe</b>	<b>84 ppm</b>



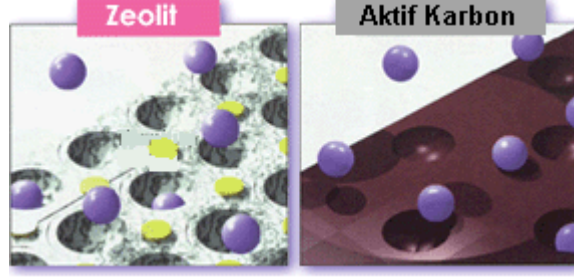
Zeolite A



Zeolite Beta

**Şekil 2. 9.** Zeolit molekülünün geometrik yapısı[33].





Şekil 2. 10. Zeolit ve aktif karbonun şematik gösterimi[33].

### 2.5.1. Zeolit kullanım alanları

Zeolitlerin başlıca kullanım alanları olan iyon değişikliği yapabilme, adsorpsiyon ve buna bağlı elek yapısı, silis içeriği, ayrıca tortul zeolitlerde açık renkli olma, hafiflik, küçük kristallerin gözenek yapısı zeolitlerin çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmasına neden olmuştur.

Son yıllarda önemli bir endüstriyel hammadde durumuna gelen doğal zeolitlerin bu özelliklerinden yararlanılan alanlar 5 bölümde toplanabilir:

- Tarım ve Hayvancılık
- Kirlilik Kontrolü
- Enerji
- Madencilik ve Metalurji
- Diğer Kullanım Alanları

#### 2.5.1.1. Tarım ve hayvancılık

Zeolitli tüfler gübrelerin kötü kokusunu giderilmesi, içeriğini kontrol edilmesi ve asit volkanik toprakların pH'ının yükseltilmesi amacıyla uzun yıllardır kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanları aşağıda verilmiştir:

- a) Gübreleme ve Toprak Hazırlanması
- b) Tarımsal Mücadele
- c) Toprak Kirliliğinin Kontrolü
- d) Besicilik
- e) Organik Atıkların Muamelesi
- f) Su Kültürü

#### 2.5.1.2. Kirlilik kontrolü

Zeolit mineralleri iyon değişirme ve adsorpsiyon özellikleri nedeniyle kirlilik kontrolünde gittikçe artarak kullanılmaktadır. Diğer bir kullanım alanları ise:

a) Radyoaktif Atıkların Temizlenmesi

b) Atık Suların Temizlenmesi: Şehirlerin ve endüstri tesislerinin atık sularında bulunan azot bileşikleri (özellikle amonyum), metal iyonları (Pb, Cd, Fe, Cu, vb.) atıldıkları ortamlarda yeraltı ve yerüstü sularını kirletmekte ve bu ortamların gerek temiz su gerekse kullanma suyu olma özelliklerini yok etmektedir. Ayrıca bu sularda yaşayan balık ve diğer su faunasına toksik etki yapmakta ve bu faunanın beslenmesi için gerekli alglerin üremesini de engellemektedir. Atık sularda bulunan azot ve istenmeyen bazı ağır metal katyonları (örn.  $Pb^{++}$ ), zeolitler tarafından kolaylıkla tutulmaktadır. ABD ve Japonya'da çoğu şehir ve endüstriyel atık suları klinoptilolit kullanılarak temizlenmektedir.

c) Baca Gazlarının Temizlenmesi

d) Petrol Sızıntılarının Temizlenmesi

e) Oksijen Üretimi

f) Çöp Deponi Alanları

### **2.5.1.3. Enerji**

Dünyanın gittikçe büyüyen enerji ihtiyacı, petrol ve kömür yanında, nükleer enerji ve güneş enerjisi gibi kaynaklardan karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu kaynakların enerjiye dönüştürülmesi sırasında doğal zeolitlerden yararlanılmaktadır. Buna bağlı diğer kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

a) Kömürden Enerji Eldesi

b) Doğal Gazların Saflaştırılması

c) Güneş Enerjisinden Faydalanma

d) Petrol Ürünleri Üretimi

### **2.5.1.4. Madencilik ve metalürji**

a) Maden Yataklarının Aranması

b) Metalürji

### **2.5.1.5. Diğer kullanım alanları**

a) Kağıt Endüstrisi

b) İnşaat Sektörü

c) Sağlık Sektörü

d) Deterjan Sektörü [34]

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Bu çalışmada adsorban olarak Gölbaşı linyitinden(GOZn) ve nohut kabuğundan (NZn115) Merck firmasına ait  $ZnCl_2$  kullanılarak kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbonlar ile Hekimhan yöresinden alınan Zeolit kullanılmıştır. Boyar madde olarak Malatya 1.Organize Sanayi Bölgesine ait arıtma tesisine en çok deşarj yapan fabrikaların Tekstil fabrikaları olduğu göz önünde bulundurularak Tekstil Fabrikalarına ait DB2RN(Astrozon Dark Blue 2RN) kodlu boya kullanılmıştır. Atık su olarak Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisi giriş atık suyu kullanılmıştır. Numunelerin pH ını ayarlarken asitlendirmek için seyreltik HCl ve bazikleştirmek için seyreltik NaOH kullanılmıştır. Su kullanımının gerekli olduğu yerlerde demineralize su kullanılmıştır.

#### 3.2. GOZn, NZn115 Kodlu Aktif Karbonların ve Zeolitın Hazırlanışı

Adıyaman Gölbaşı yöresinden temin edilen linyit örneği öğütülüp 20mesh elekten elendikten sonra kurutulmuştur. GOZn kodlu aktif karbonun üretimi için başlangıç materyali olarak kurutulan bu linyit örneği ve NZn115 kodlu aktif karbonun üretimi için nohut kabuğu kullanılmıştır.

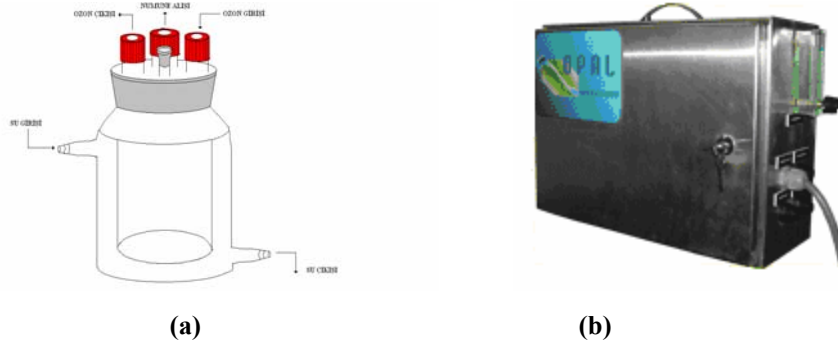
Aktivasyonun ilk basamağında başlangıç materyalleri (linyit ve nohut kabuğu)  $ZnCl_2$  ile 1:1 oranında karıştırıldıktan sonra karışım su ilavesi ile iyice yoğrulmuştur. Karışım  $110^{\circ}C$ 'de kurutulduktan sonra impregne edilen örnek hazır hale getirilmiştir.

Aktivasyonun ikinci basamağında, impregne edilen örnek kuartz küvetlere konularak borusal akım reaktörde (i.d:60mm)  $N_2$  atmosferinde( $100ml/dk$ )  $10^{\circ}C/dk$  ısıtma hızında  $500^{\circ}C$  olan aktivasyon sıcaklığına getirilerek bu sıcaklıkta 1saat ısıtma işlemine tabii tutulmuştur. Aktivasyondan sonra, aktive edilmiş örnekler  $N_2$  atmosferinde oda koşullarına soğutulmuştur. Aktive edilmiş örnek  $AgNO_3$  ile Cl reaksiyonu vermeyinceye kadar sıcak saf su ile yıkanmıştır. Yıkanan örnek  $110^{\circ}C$ 'de kurutulduktan sonra aktif karbon örnekleri deneylerin ileriki kısımlarında kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

Hekimhan yöresinden alınan zeolit öğütüldükten sonra elenmiş ve -20 +40mesh fraksiyon deneylerde kullanılmıştır.

### 3.3. Kullanılan Alet ve Düzenekler

GOZn' nin ve NZn115' in hazırlanmasında borusal fırın kullanılmıştır. Numunelerin kurutulmasında Nüve FN500 tipi sirkülasyonlu etüv kullanılmıştır. Ozon jeneratörü olarak 600x600x300 boyutlarında 3L/dk oksijen akış hızında 3 g/saat ( $O_3$ ) ozon üreten OG 3 Model Opal Ozon Jeneratörü kullanılmıştır. BET yüzey alanı tayinleri Tristar 3000 Micromeritics cihazında yapılmıştır. Oda sıcaklığında yapılan adsorpsiyon işlemlerinde IKA-WERKE markalı karıştırıcı, 37<sup>0</sup>C ve 50 <sup>0</sup>C çalışmalarında Clifton markalı su banyosu kullanılmıştır. Numune miktar ölçümlerinde Denver Instrument tipi analitik terazi ve pH ölçümlerinde Hanna Instruments HI 221 Calibration Check Microprocessor pH Meter kullanılmıştır. Numune spektro ve konsantrasyon ölçümlerinde Shimadzu 2100S marka UV Spektrometresi kullanılmıştır. Numunelerin KOİ değerlerinin ölçümlerinde Hach Marka DRB 200 Isı Reaktörü ve Hach Marka DR 2500 spektrofotometre kullanılmıştır. Numunelerin BOD ölçümlerinde ise EnoLab BOİ 80 Oxitoplu İnkübatör kullanılmıştır. Şekil 3.1'de verilen cam reaktör ve ozon jeneratörü deney düzeneği olarak kullanılmıştır.



**Şekil 3. 1.** Deneyde kullanılan cam reaktör(a) ve ozon cihazı(b).

### 3.4. Deneysel Yöntemler

#### 3.4.1. Aktif karbon adsorpsiyonu

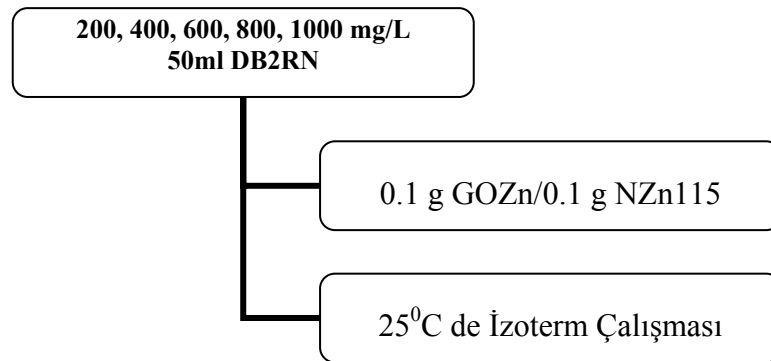
##### 3.4.1.1. İzoterm çalışmalar

Bu çalışmada NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın farklı konsantrasyon ve sıcaklıklardaki adsorpsiyon izotermi incelenmiştir.

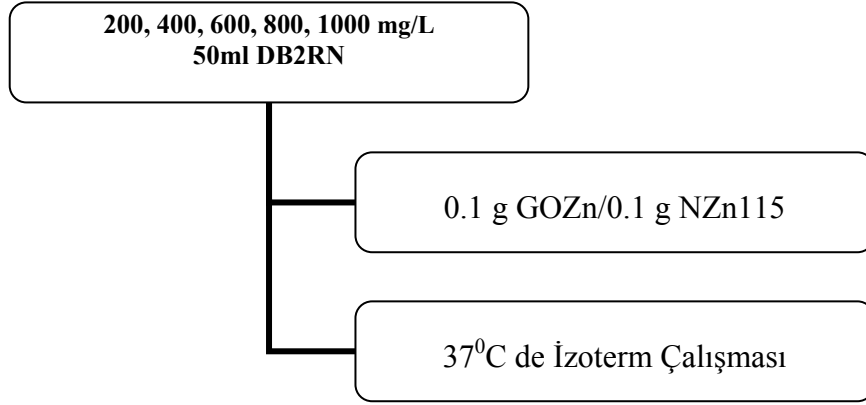
200, 400, 600, 800 ve 1000 mg/L DB2RN kodlu boyar maddeden 50 ml lik hazırlanan çözeltilere 0.1 g NZn115 aktif karbon ilave edilerek karıştırma hızı 400 rpm olan karıştırıcıda 1 st çalışılmıştır. Bu çalışmalar 25 °C, 37 °C ve 50 °C’de tekrarlanmıştır.

Yine 200, 400, 600, 800 ve 1000 mg/L DB2RN kodlu boyadan 50 ml’lik hazırlanan çözeltilere 0.1 g GOZn aktif karbon ilave edilerek karıştırma hızı 400 rpm olan karıştırıcıda 1 st çalışılmıştır. Bu çalışmalar 25 °C, 37 °C ve 50 °C’de tekrarlanmıştır.

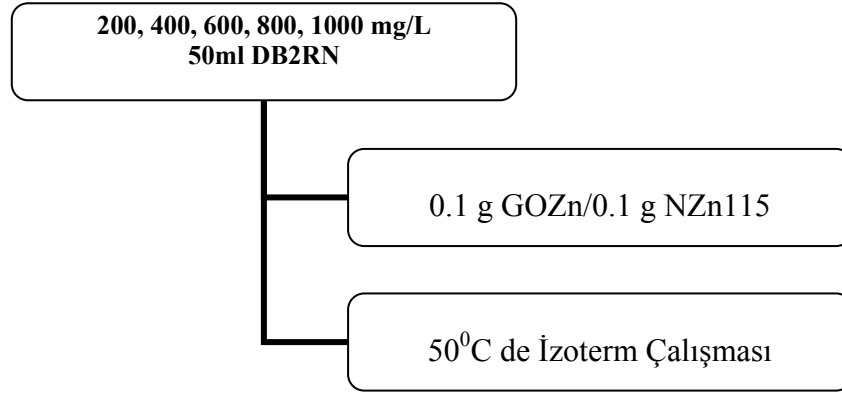
NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 25 °C, 37 °C ve 50 °C sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermi çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de sırasıyla verilmektedir.



**Şekil 3. 2.** NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 25 °C sıcaklıkta adsorpsiyon izotermi çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.



**Şekil 3. 3.** NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 37 °C sıcaklıkta adsorpsiyon izotermi çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.



**Şekil 3. 4.** NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 50 °C sıcaklıkta adsorpsiyon izotermi çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.

#### 3.4.1.2. Kinetik çalışmalar

Tezin bu kısmında NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine adsorpsiyon kinetiği incelenmiştir.

400 mg/L 500 ml hazırlanan DB2RN boya çözeltisine 1 g NZn115 ilave edilerek karıştırma hızı 400 rpm olan karıştırıcıda 25 °C, 37 °C ve 50 °C sıcaklıklarda ve çözelti doğal pH'sında adsorpsiyon kinetik deneyler yapılmıştır.

Yine 400 mg/L 500 ml hazırlanan DB2RN kodlu boyaya 1 g GOZn ilave edilerek karıştırma hızı 400 rpm olan karıştırıcıda 25 °C, 37 °C ve 50 °C sıcaklıklarda ve çözelti doğal pH'sında deneyler yapılmıştır.

%Ads değeri aşağıda verildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$\%Ads = \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100 \quad (3.1)$$

$C_o$ =Başlangıç çözelti konsantrasyonu

$C_t$ = t anındaki çözelti konsantrasyonu

%Ads= Yüzde adsorplanan boya miktarı

Gram başına adsorplanan madde miktarı (adsorpsiyon kapasitesi) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{W} \quad (3.2)$$

$q_e$ = Denge de adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$C_o$ = Başlangıç sıvı konsantrasyonu (mg/L)

$C_e$ = Denge deki sıvı konsantrasyonu(mg/L)

$V$ = Çözelti hacmi(ml)

$W$ = Adsorban miktarı(g)

Kinetik çalışmalarda kullanılan yalancı ikinci mertebe kinetik denklemi aşağıda verildiği gibidir.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3.3)$$

Burada;

$t$ = Adsorpsiyon temas süresi(dk)

$q_t$ = t anında adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$k_2$ = İkinci derece hız sabiti (g/mg dk)

Aktivasyon enerjisinin hesaplanması için kullanılan Arrhenius denklemi aşağıda verilmiştir.

$$k_2 = k_0 \times e^{\frac{-E_a}{RT}} \quad (3.4)$$

$$\ln k_2 = \ln k_0 - \frac{Ea}{RT} \quad (3.5)$$

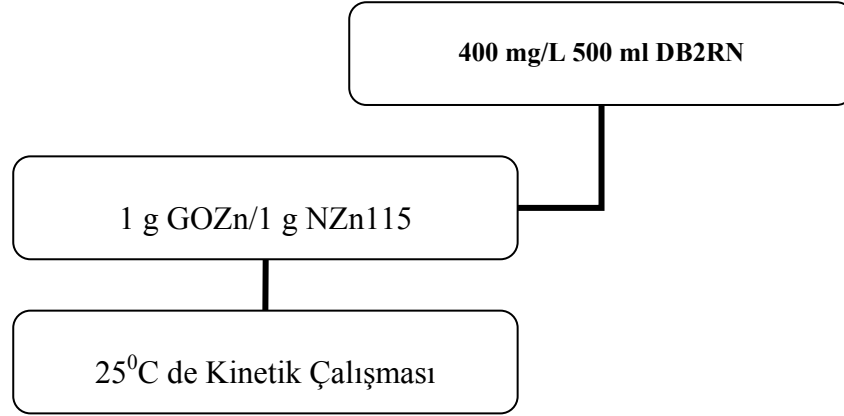
$k_0$ = Arrhenius sabiti

$Ea$ = Aktivasyon enerjisi( kJ/mol)

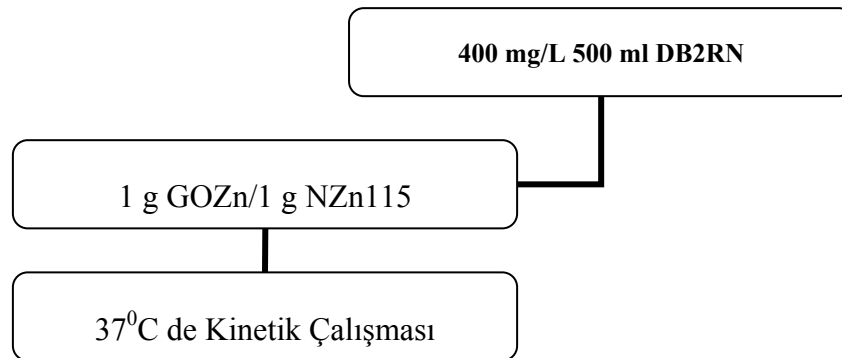
$T$ = Sıcaklık (K)

$R$ = İdeal gaz sabiti (8.314 J/mol K)

NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 25 °C, 37 °C ve 50 °C sıcaklıklarda adsorpsiyon kinetiği çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de sırasıyla verilmektedir.

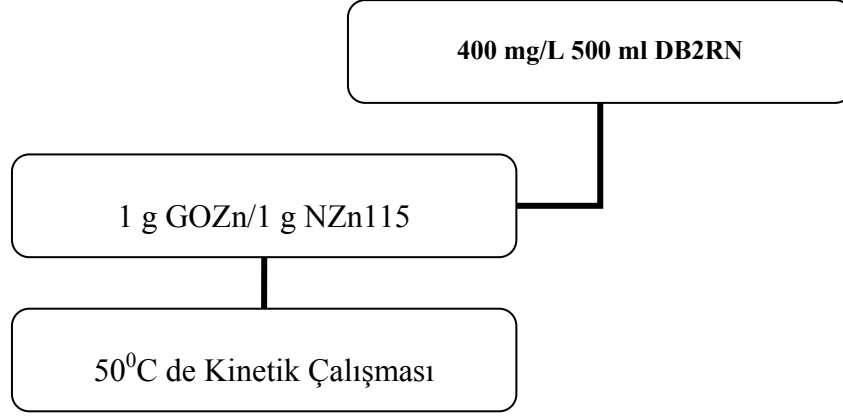


**Şekil 3.5.** NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 25 °C sıcaklıkta adsorpsiyon kinetiği çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.



**Şekil 3.6.** NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 37 °C sıcaklıkta adsorpsiyon kinetiği çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.





**Şekil 3. 7.** NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonlar kullanılarak DB2RN kodlu boyanın bu aktif karbonlar üzerine 50 °C sıcaklıkta adsorpsiyon kinetiği çalışmalarında izlenen deneysel akış şeması.

### 3.4.2. Aktif karbon varlığında ozon ile DB2RN boyasının parçalanması

#### 2000 mg/L Boya Konsantrasyonunda Yapılan Çalışmalar:

Bu çalışmada NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonların varlığında 2000 mg/L deki DB2RN kodlu boyanın ozon parçalanması incelenmiştir.

Çalışmanın ilk kısmında aktif karbon miktarının boyanın ozon ile parçalanmasına etkisini görmek için, 2000 mg/L konsantrasyonda hazırlanan DB2RN kodlu boyadan 250 ml üzerine 0.05, 0.1, 0.25, 0.5 g GOZn aktif karbonundan ilave edilerek, 3 L/dk ozon akış hızında ve 400 rpm karıştırma hızında kullanılan her bir aktif karbon miktarı için kinetik çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında aktif karbon türünün etkisini görmek amacıyla, 2000 mg/L DB2RN kodlu boyadan 250 ml alınarak 0.25 g NZn115 aktif karbonundan alınarak 3 L/dk ozon akış hızında ve 400 rpm karıştırma hızında kinetik çalışmalar yapılmıştır.

#### 1000 mg/L Boya Konsantrasyonunda Yapılan Çalışmalar:

Çalışmanın bu kısmında NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonların varlığında boya konsantrasyonunun boya giderimi üzerine etkisini görmek amacıyla 1000 mg/L konsantrasyonunda DB2RN kodlu boyasının ozon ile parçalanması incelenmiştir.

1000 mg/L hazırlanan DB2RN kodlu boyadan 250 ml alınarak 0.25 g GOZn aktif karbonundan alınarak 3 L/dk ozon akış hızında ve 400 rpm karıştırma hızında kinetik çalışılmıştır.

Yine 1000 mg/L hazırlanan DB2RN kodlu boyadan 250 ml alınarak 0.25 g NZn115 aktif karbonundan alınarak 3 L/dk ozon akış hızında ve 400 rpm karıştırma hızında kinetik çalışılmıştır.

### **3.4.3. Aktif karbon varlığında ve aktif karbonsuz atık su arıtımı**

#### **3.4.3.1. Doğal pH çalışması**

**1. İşlem:** Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisinden alınan giriş suyunun hiçbir işleme tabi tutulmadan KOİ, BOİ değerleri ve giriş suyunun pH değeri ölçülmüştür.

**2. İşlem:** Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisinden alınan giriş suyunun ozon ile degradasyonundan sonra KOİ, BOİ değerleri ve pH değeri ölçülmüştür.

**3. İşlem:** Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisinden alınan giriş suyunun adsorban varlığında ozon ile degradasyonundan sonra KOİ, BOİ değerleri ve pH değeri ölçülmüştür.

#### **3.4.3.2. Ayarlı pH çalışması**

**1. İşlem:** Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisinden alınan giriş suyunun pH ı ayarlanarak, ozon ile degradasyonundan sonra KOİ, BOİ değerleri ve pH değeri ölçülmüştür.

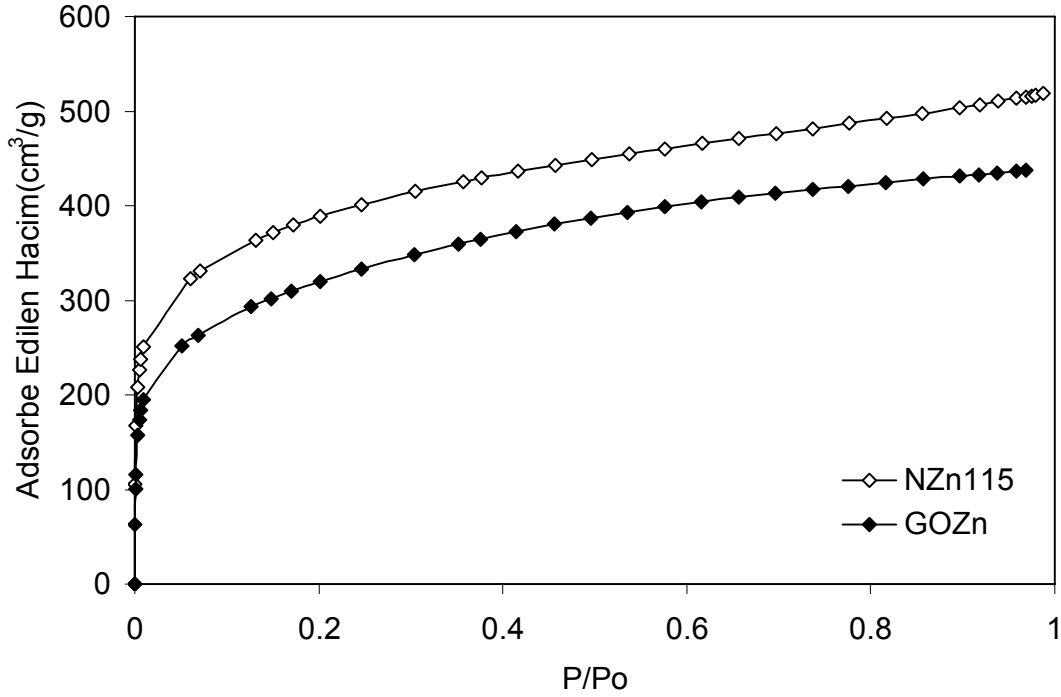
**2. İşlem:** Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisinden alınan giriş suyunun pH ı ayarlanarak adsorban varlığında ozon ile degradasyonundan sonra KOİ, BOİ değerleri ve pH değeri ölçülmüştür.

## 4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Üretilen Aktif Karbonların ve Zeolitin Karakterizasyonu

Adsorpsiyon izotermi adsorbanların karakterizasyonunda genel olarak; yüzey alanı, gözenek hacmi ve gözenek yapısı (mikro, mezo ve makro) hakkında bilgi elde etmek için, adsorbanın yüzey kimyasının değerlendirilmesi, adsorpsiyon prosesi ile ilgili bilgilerin elde edilmesi yanında ayırma ve saflaştırma proseslerinde aktif karbon ile ilgili verilerin saptanmasında temel bilgiler vermektedir. Adsorpsiyon çalışmalarında 6 farklı adsorpsiyon izotermine rastlanmaktadır. İzotermin şekli adsorbanın kimyasal yapısı yanında temelde gözenek yapısı ile ilişkilidir. Aynı zamanda izotermin elde edilmesinde kullanılan denklem ve denklemin geçerli olduğu P/P<sub>0</sub> değerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [35,36].

Şekil 4.1’de GOZn ve NZn115 kodlu aktif karbonların N<sub>2</sub> adsorpsiyon BET izotermi verilmektedir. Her iki aktif karbonun izoterm tipinin Tip 1 olduğu görülmektedir. Tip 1 izotermine mikroporlu adsorbanlarda rastlanmaktadır[35, 37]. Adsorbanların yüzey alan (S, m<sup>2</sup>/g), gözenek hacmi(V, cm<sup>3</sup>/g), ortalama gözenek çapı(d<sub>ort</sub>, nm) değerleri Çizelge 4.1’de verilmektedir. NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonların toplam yüzey alanları(S<sub>BET</sub>) sırasıyla, 1270.44 ve 1075.20 m<sup>2</sup>/g olarak tespit edilmiştir. NZn115 kodlu aktif karbonun mikro alan yüzdesi %39.40 ve GOZn kodlu aktif karbonun mikro alan yüzdesi %26.79 dur. NZn115 ve GOZn kodlu aktif karbonların external yüzey alanlarının (mezo) %değerleri ise sırasıyla 60.59 ve 73.21 olarak değişmektedir. Çizelge 4.1’de verilen ortalama gözenek çapı değerlerine bakıldığında mikro gözeneklerin dışında kalan gözenekler(mezo) çaplarının mikro gözenek değerlerine yakın olduğu ve örneklerin düşük çaplara sahip mezo gözeneğe sahip olduğu sonucuna varılmaktadır. Böylece yüzey alan yüzdeleri açısından, aktif karbonların mezo gözenek yüzdeleri yüksek olsa bile mezo gözenek çapları düşük olduğu için örnekler mikro gözenekli adsorbanların verdiği Tip 1 izotermine uyan bir izoterm vermektedir.



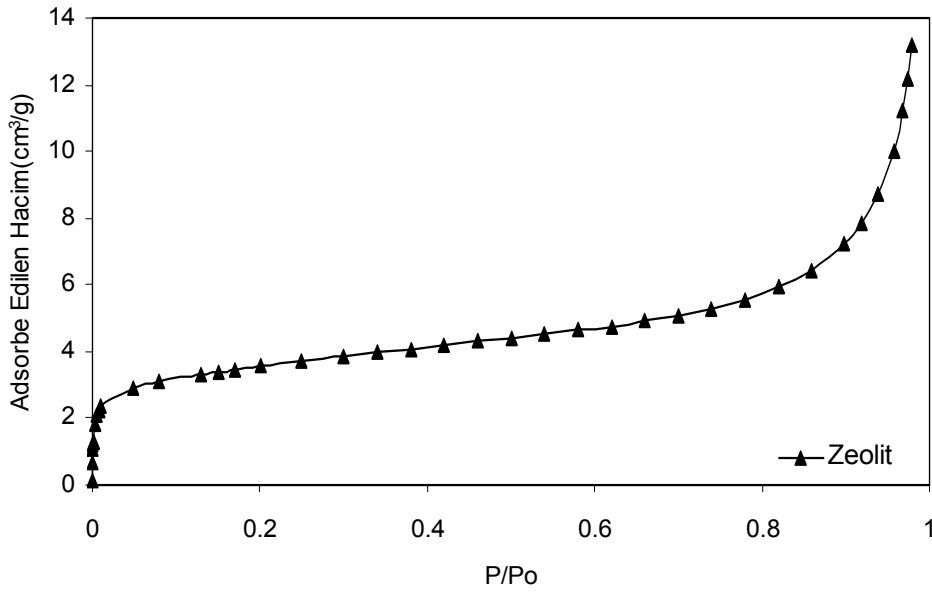
Şekil 4. 1. NZn115 ve GOZn aktif karbonlarının N<sub>2</sub> adsorpsiyon izotermi.

Çizelge 4. 1. Adsorbanların yüzey alan, gözenek hacmi ve ortalama gözenek çapları.

Örnekler	S <sub>BET</sub> (m <sup>2</sup> /g)	S <sub>mic</sub> (m <sup>2</sup> /g)	S <sub>ext</sub> (m <sup>2</sup> /g)	V <sub>Toplam</sub> (cm <sup>3</sup> /g)	V <sub>mic</sub> (cm <sup>3</sup> /g)	d <sub>ort</sub> ( BET yönt) (nm)	d <sub>ort</sub> ( BJH yönt) (nm)
NZn115	1270.44	500.598	769.8404	0.799870	0.263109	2.5184	3.4619
GOZn	1075.20	288.092	787.1117	0.678738	0.149368	2.5251	3.0805
Zeolit	11.8421	3.7768	8.0653	0.020413	0.001990	6.8950	14.230

Şekil 4.2’de Zeolit örneğinin N<sub>2</sub> adsorpsiyon BET izotermi verilmektedir. Zeolitin, N<sub>2</sub> adsorpsiyon BET izotermi adsorpsiyon tipleri içinde Tip 4’de uymaktadır. Tip 4 izotermi mikro ve mezo gözeneklere sahip katıların karakteristik izotermidir [38]. Tip 4 izotermide adsorpsiyon ilk basamağında Tip 2 izotermine benzer bir gidişat sergiler daha sonra mezo gözeneklerin duvarlarında tek ve çok tabakalı adsorpsiyon meydana gelmektedir. Çizelge 4.1’de zeolitin BET yüzey alanı 11.8421 m<sup>2</sup>/g olarak verilmektedir. Zeoliti mikro ve mezo alan yüzdesi sırasıyla %31.89 ve %68.10 olarak tespit edilmiştir. Ortalama gözenek çapı değerlerinin büyük olması da zeolitin mikro ve

mezo gözenekler içerdiğini desteklemektedir. Böylece Tip 4 izoterminin tespit edilmiş olması ortalama gözenek çapı değerleri ile de doğrulanmaktadır.



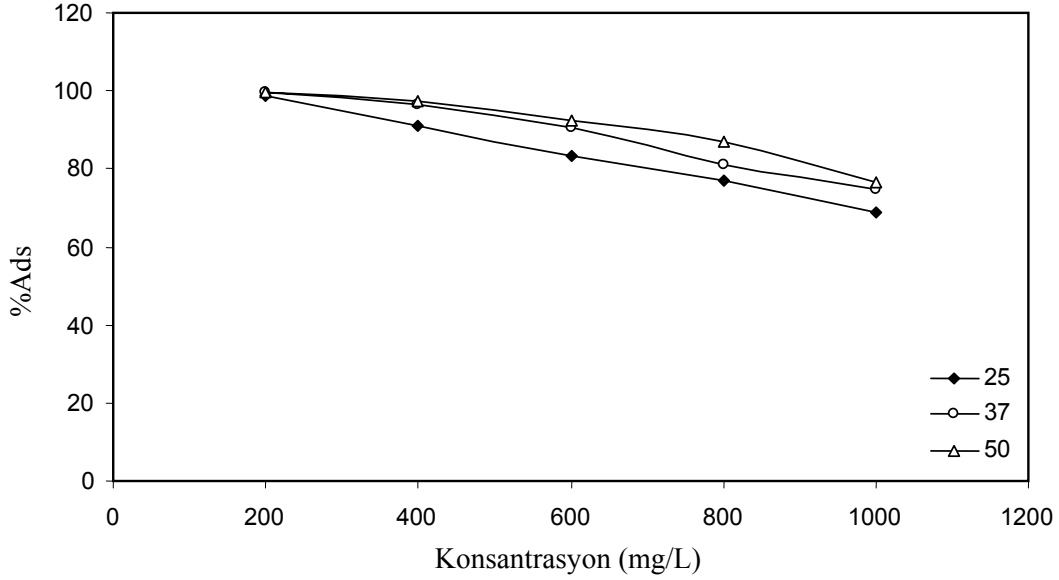
Şekil 4. 2. Zeolitin N<sub>2</sub> adsorpsiyon izotermi.

## 4.2. İzoterm Sonuçları

### 4.2.1. GOZn Aktif karbonunun sonuçları

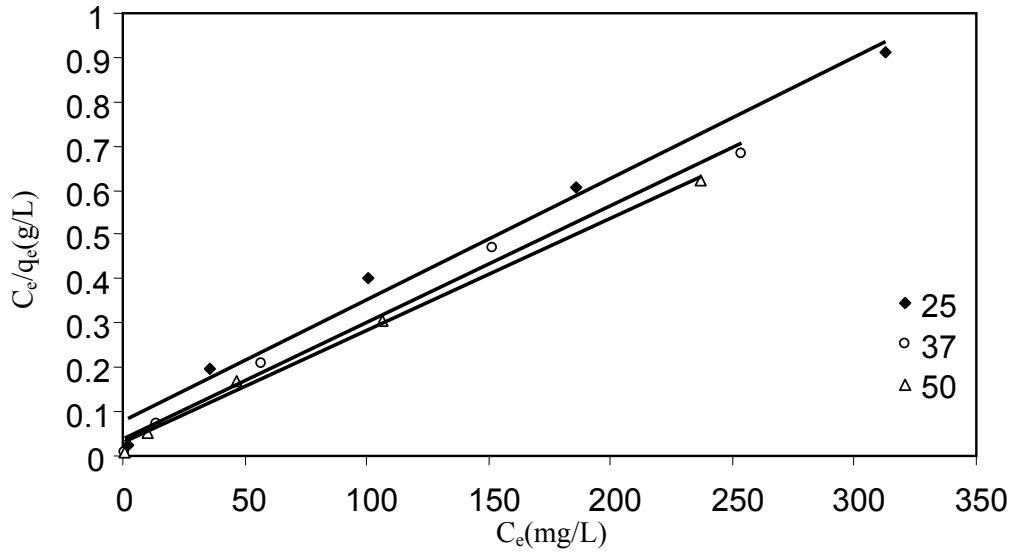
#### 4.2.1.1. Sıcaklığın boya adsorpsiyonu üzerine etkisi

Bu çalışmada 200, 400, 600, 800 ve 1000 mg/L DB2RN boyasının 0.1 g GOZn aktif karbonunun 1 saatlik adsorpsiyonu izoterm çalışması incelenmiştir. Farklı konsantrasyon değerleri ile yapılan bu çalışmada adsorpsiyon sıcaklığının adsorpsiyon yüzdesi üzerine etkisi Şekil 4.3'de verilmektedir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi sabit sıcaklıkta konsantrasyon artışı ile % Ads değerlerinde bir azalma ve sıcaklık artışı ile %Ads değerlerinde artma tespit edilmiştir. Sıcaklığın artması ile adsorpsiyon yüzdelilerindeki artış boya moleküllerinin hızlarındaki artış ile açıklanırken, adsorpsiyonun endotermik olduğu sonucuna varılmasına neden olmaktadır [39, 40].



**Şekil 4. 3.** GOZn aktif karbonu varlığında sıcaklığın DB2RN boyasının adsorpsiyon yüzdesi üzerine etkisi (0.1 g GOZn/ 50 ml çözelti, 400 rpm, doğal çözelti pH'ında 25, 37, 50 °C, adsorpsiyon süresi 1 saat).

Şekil 4.3'de verilen deneysel verilerden yararlanılarak Langmuir izoterminin lineer formu olan denklem 2.4 kullanılarak deneysel verilerin Langmuir izotermine uygunluğu incelenmiş ve bu izoterme ait sabitler tespit edilmiştir.  $C_e$ (mg/L) değerlerine karşılık  $C_e/q_e$ (g/L) çizilmesi ile elde edilen Langmuir izoterm grafiği Şekil 4.4'de verilmektedir. Şekil 4.4'den yararlanılarak doğrunun eğiminden  $Q_0$  ve kesim noktasından b Langmuir sabitleri tespit edilmiştir.  $R_L$  değerleri denklem 2.5 kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.2'de  $Q_0$ , b,  $R_L$  ve  $R^2$  değerleri verilmiştir. Çizelge 4.2'den de görüleceği üzere, korelasyon katsayısı adsorpsiyon prosesinin Langmuir'e uyduğunu göstermektedir. Sıcaklık artışı ile  $Q_0$ (maksimum adsorpsiyon kapasitesi) değerinin 357, 384 ve 400 mg/g değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı ile  $Q_0$  değerindeki artış adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir [41, 42].  $R_L$  değerlerinin 0-1 aralığında tespit edilmiş olması adsorpsiyonun elverişli olduğu veya bu boya için aktif karbonun etkin bir adsorban olarak kullanılabileceğini göstermektedir [43].



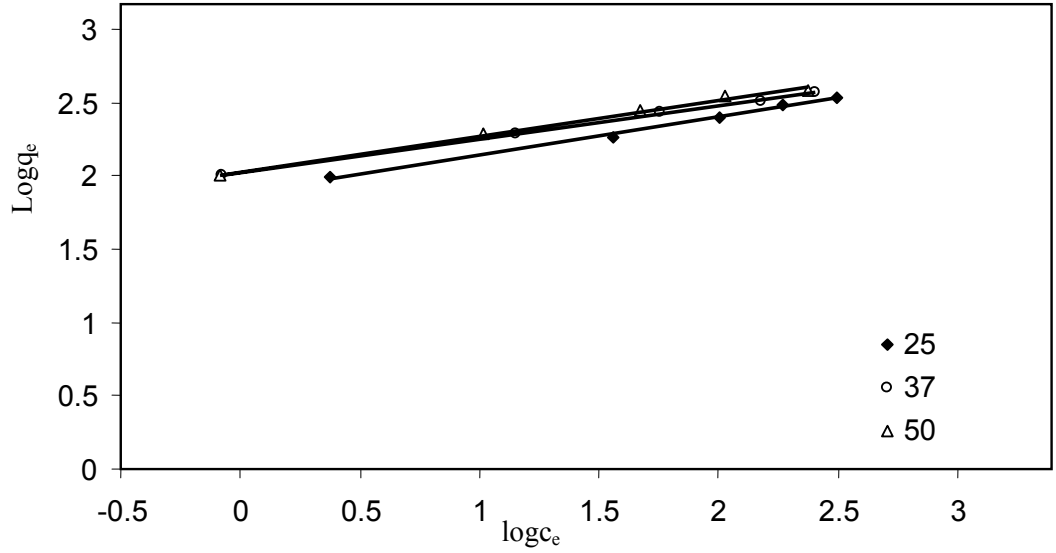
**Şekil 4. 4.** GOZn aktif karbonuna ait Langmuir izotermi (0.1 g GOZn/ 50 ml çözelti, 400 rpm, doğal çözelti pH' ında 25, 37, 50 °C, adsorpsiyon süresi 1 saat).

**Çizelge 4. 2.** 25, 37 ve 50 °C'de GOZn aktif karbonuna ait Langmuir sabitleri ve korelasyon katsayısı.

SICAKLIK(K)	KONSANTRASYON (mg/L)	$R_L$	$Q_o$ (mg/g)	$b$ (L/mg)	$R^2$
298	200	0.121	357.143	0.036	0.9845
	400	0.064			
	600	0.044			
	800	0.033			
	1000	0.027			
310	200	0.065	384.615	0.071	0.9904
	400	0.034			
	600	0.023			
	800	0.017			
	1000	0.014			
323	200	0.053	400.000	0.089	0.9953
	400	0.027			
	600	0.018			
	800	0.014			
	1000	0.011			

Şekil 4.3'de verilen deneysel verilerden yararlanılarak Freundlich izoterminin lineer formu olan denklem 2.7 kullanılarak deneysel verilerin Freundlich izotermine de uygunluğu incelenmiş ve bu izoterme ait sabitler tespit edilmiştir. Log $C_e$  değerlerine karşılık Log $q_e$  çizilmesi ile elde edilen Freundlich izoterm grafiği Şekil 4.5'de verilmektedir. Şekil 4.5'den yararlanılarak doğrunun eğiminden n ve kesim noktasından

$k_f$  Freundlich sabitleri tespit edilmiştir. Çizelge 4.3’de  $n$ ,  $k_f$  ve  $R^2$  değerleri verilmiştir.  $R^2$  değerlerinin 1’e çok yakın çıkması adsorpsiyon prosesinin Freundlich izotermine de uyduğunu göstermektedir. Sıcaklığın artışı ile  $k_f$  (maksimum adsorpsiyon kapasitesi) değerinin 77, 105 ve 107 mg/g değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın artışı ile  $k_f$  değerindeki artış adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir. Çizelge 4.2 ve 4.3’de görüldüğü gibi Freundlich modelinin ve Langmuir modelinin korelasyon katsayısının 0.90’dan yüksek çıkması bize bu çalışmanın her iki izoterme de uyduğunu göstermektedir. Nitekim literatürde her iki izoterm modelinin uygunluğunun tespit edildiği çalışmalar [44, 45] varılmış olan sonucu desteklemektedir.



**Şekil 4. 5.** GOZn aktif karbonuna ait Freundlich izotermi (0.1 g GOZn/ 50 ml çözelti, 400 rpm, doğal çözelti pH’ında 25, 37, 50 °C, adsorpsiyon süresi 1 saat).



**Çizelge 4. 3.** 25,37 ve 50 °C’de GOZn aktif karbonuna ait Freundlich verileri.

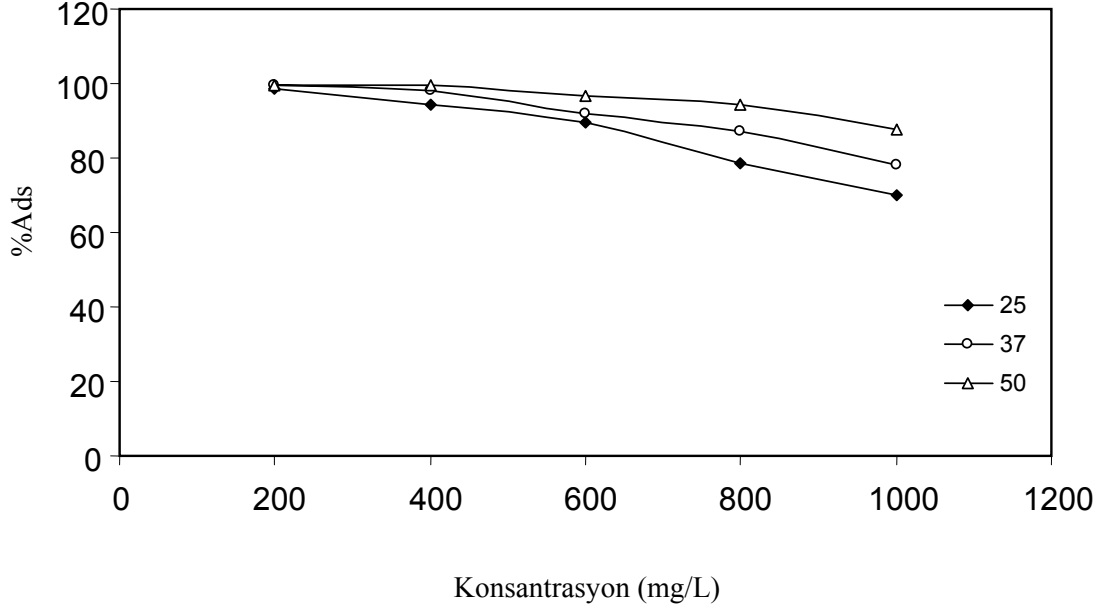
SICAKLIK(K)	KONSANTRASYON (mg/L)	$k_f$ (mg/g)	$n$ (L/mg)	$R^2$
298	200	76.895	3.871	0.9935
	400			
	600			
	800			
	1000			
310	200	104.544	4.349	0.9988
	400			
	600			
	800			
	1000			
323	200	107.275	4.122	0.9944
	400			
	600			
	800			
	1000			

#### 4.2.2.NZn115 aktif karbonunun sonuçları

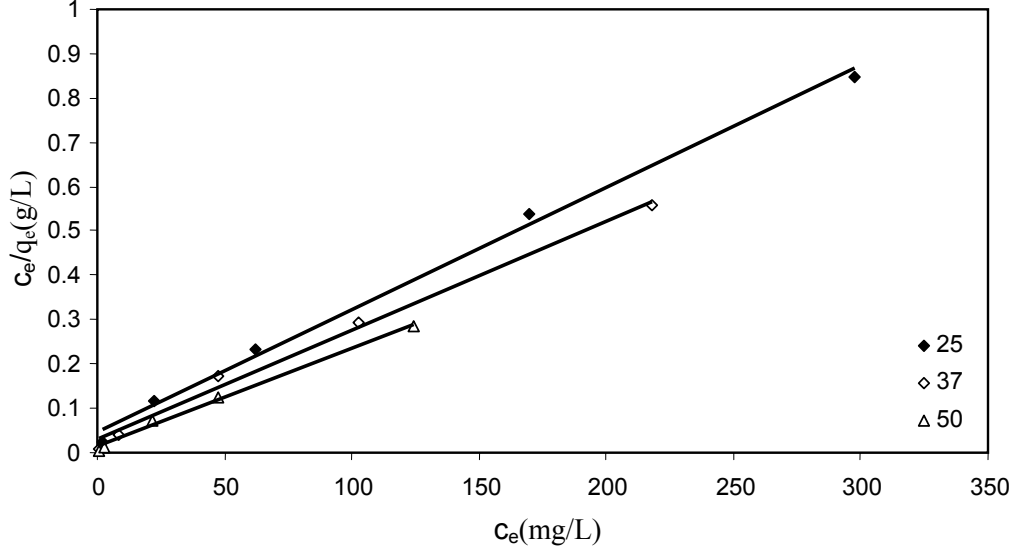
##### 4.2.2.1. Sıcaklığın boyar madde adsorpsiyonu üzerine etkisi

Bu çalışmada 200, 400, 600, 800 ve 1000 mg/L DB2RN boyasının 0.1 g NZn115 aktif karbonunun 1 saatlik adsorpsiyonu izoterm çalışması incelenmiştir. Farklı konsantrasyon değerleri ile yapılan bu çalışmada adsorpsiyon sıcaklığının adsorpsiyon yüzdesi üzerine etkisi Şekil 4.6’da verilmektedir. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi konsantrasyon artışı ile %Ads da GOZn aktif karbon çalışmasına benzer şekilde bir azalış ve sıcaklık etkisi ile %Ads değerlerinde bir artma tespit edilmiştir. GOZn aktif karbonu ile yapılan adsorpsiyon çalışmasına benzer şekilde NZn115 aktif karbonu ile yapılan adsorpsiyon çalışmasının endotermik olduğu görülmektedir.

Şekil 4.6’de verilen deneysel verilerden yararlanılarak Langmuir izoterminin lineer formu olan denklem 2.4 kullanılarak deneysel verilerin Langmuir izotermine uygunluğu incelenmiş ve bu izoterme ait sabitler tespit edilmiştir.  $C_e$ (mg/L) değerlerine karşılık  $C_e/q_e$ (g/L) çizilmesi ile elde edilen Langmuir izoterm grafiği Şekil 4.7’de verilmektedir. Şekil 4.7’den yararlanılarak doğrunun eğiminden  $Q_0$  ve kesim noktasından b Langmuir sabitleri tespit edilmiştir.  $R_L$  değerleri denklem 2.5 kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.4’de  $Q_0$ , b,  $R_L$  ve  $R^2$  değerleri verilmiştir.



**Şekil 4. 6.** NZn115 aktif karbonu varlığında sıcaklığın DB2RN boyasının adsorpsiyon yüzdesi üzerine etkisi (0.1 g NZn115/ 50 ml çözelti, 400 rpm, doğal çözelti pH'ında 25, 37, 50 °C, adsorpsiyon süresi 1 saat).



**Şekil 4. 7.** NZn115 aktif karbonuna ait Langmuir izotermi (0.1 g NZn115/ 50 ml çözelti, 400 rpm, doğal çözelti pH'ında 25, 37, 50 °C, adsorpsiyon süresi 1 saat).

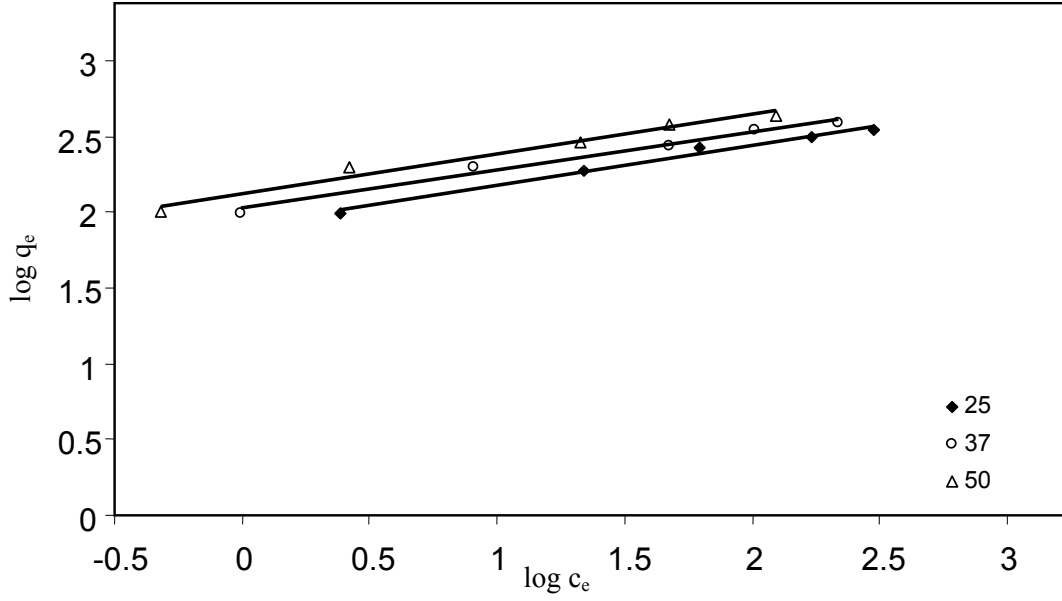
Çizelge 4.4'den de görüleceği üzere korelasyon katsayısı adsorpsiyon prosesimizin Langmuir'e uyduğunu göstermektedir. Sıcaklığın artışı ile  $Q_0$  (maksimum adsorpsiyon kapasitesi) değerinin 370, 400 ve 454 mg/g değerlerinde olduğu tespit

edilmiştir. Sıcaklığın artışı ile  $Q_0$  değerindeki artış adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 4.** 4. 25,37 ve 50 °C’de NZn115 aktif karbonuna ait Langmuir verileri.

SICAKLIK (K)	KONSANTRASYON (mg/L)	$R_L$	$Q_0$ (mg/g)	b (L/mg)	$R^2$
298	200	0.081	370.370	0.057	0.9955
	400	0.042			
	600	0.028			
	800	0.021			
	1000	0.017			
310	200	0.053	400.000	0.089	0.9927
	400	0.027			
	600	0.018			
	800	0.014			
	1000	0.011			
323	200	0.029	454.545	0.164	0.9927
	400	0.015			
	600	0.010			
	800	0.007			
	1000	0.006			

Şekil 4.6’da verilen deneysel verilerden yararlanılarak Freundlich izoterminin lineer formu olan denklem 2.7 kullanılarak deneysel verilerin Freundlich izoterminde uygunluğu incelenmiş ve bu izoterme ait sabitler tespit edilmiştir.  $\log C_e$  değerlerine karşılık  $\log q_e$  çizilmesi ile elde edilen Freundlich izoterm grafiği Şekil 4.8’de verilmektedir. Şekil 4.8’den yararlanılarak doğrunun eğiminden  $n$  ve kesim noktasından  $k_f$  Freundlich sabitleri tespit edilmiştir. Çizelge 4.5’de  $n$ ,  $k_f$  ve  $R^2$  değerleri verilmiştir.  $R^2$  değerlerinin 1 çok yakın çıkması adsorpsiyon prosesinin Freundlich izoterminde uyduğunu göstermektedir. Sıcaklığın artışı ile  $k_f$  (maksimum adsorpsiyon kapasitesi) değerinin 81, 105 ve 133mg/g değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın artışı ile  $k_f$  değerindeki artış adsorpsiyonun endotermik olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4. 8.** NZn115 aktif karbonuna ait Freundlich izoterminin (0.1 g NZn115/ 50 ml çözelti, 400 rpm, doğal çözelti pH'ında 25, 37, 50 °C, adsorpsiyon süresi 1 saat).

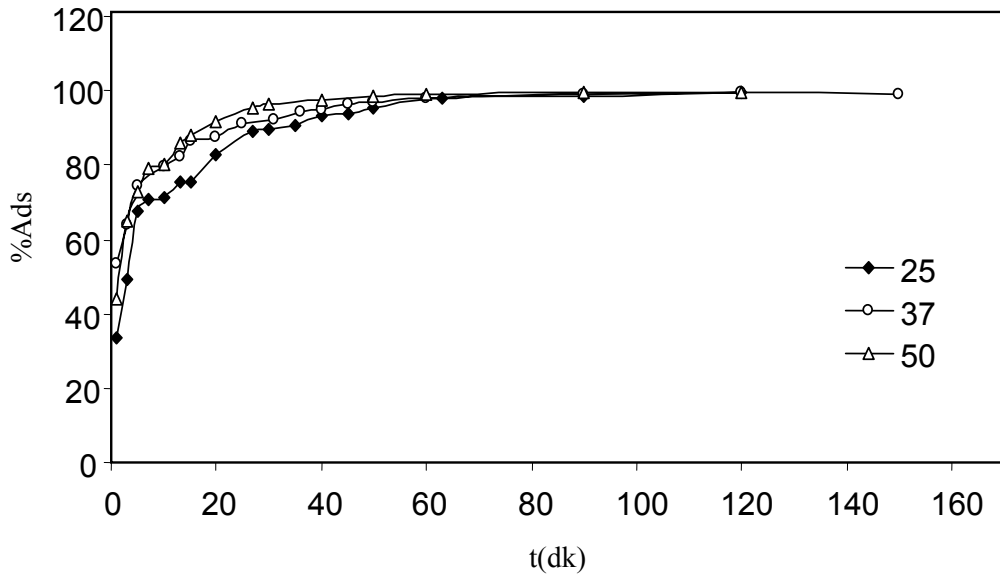
**Çizelge 4. 5.** 25, 37 ve 50 °C'de NZn115 aktif karbonuna ait Freundlich verileri.

SICAKLIK(K)	KONSANTRASYON (mg/L)	k <sub>f</sub> (mg/g)	n (L/mg)	R <sup>2</sup>
298	200	81.115	3.741	0.9865
	400			
	600			
	800			
	1000			
310	200	105.511	3.962	0.9876
	400			
	600			
	800			
	1000			
323	200	133.783	3.868	0.9731
	400			
	600			
	800			
	1000			

### 4.3. Kinetik Sonuçları

#### 4.3.1. GOZn Aktif karbonun sonuçları

500 ml, 400 mg/L konsantrasyonda hazırlanan DB2RN boyasına 1 g GOZn ilave edilerek 25, 37 ve 50 °C sıcaklıklarda kinetik çalışması yapılmıştır. Kinetik çalışmaya ait deneysel verilerden yararlanılarak %Ads üzerine sıcaklığın etkisi incelenmiştir. %Ads değerinin farklı sıcaklıklarda zamanla değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.9'dan görüldüğü üzere her üç sıcaklıkta denge süresi yaklaşık olarak 60dk olarak tespit edilmiştir.

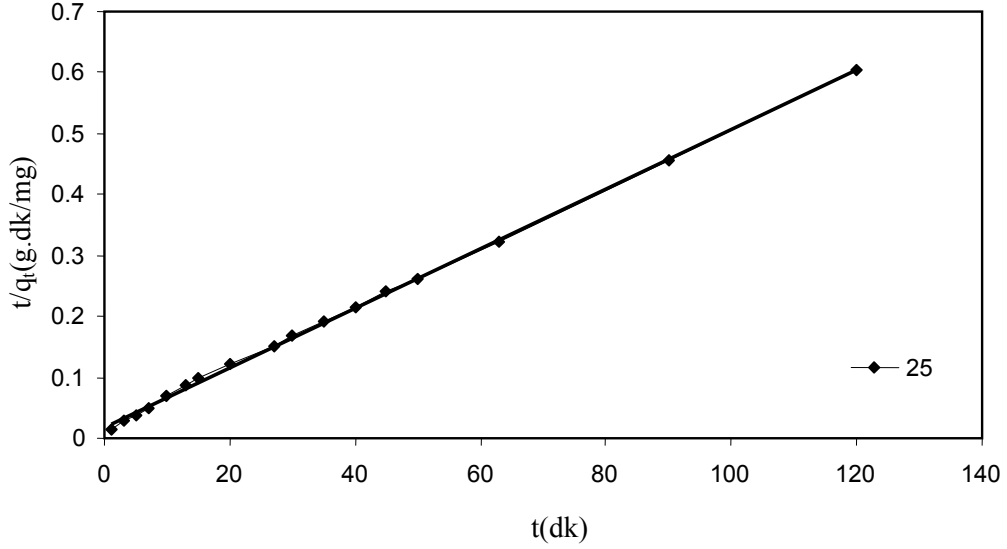


Şekil 4. 9. Sıcaklığın adsorpsiyon yüzdesi üzerine etkisi (1 g GOZn/ 500 ml 400 mg/L DB2RN boya çözeltisi, 400 rpm, doğal çözelti pH'ında 25, 37, 50 °C).

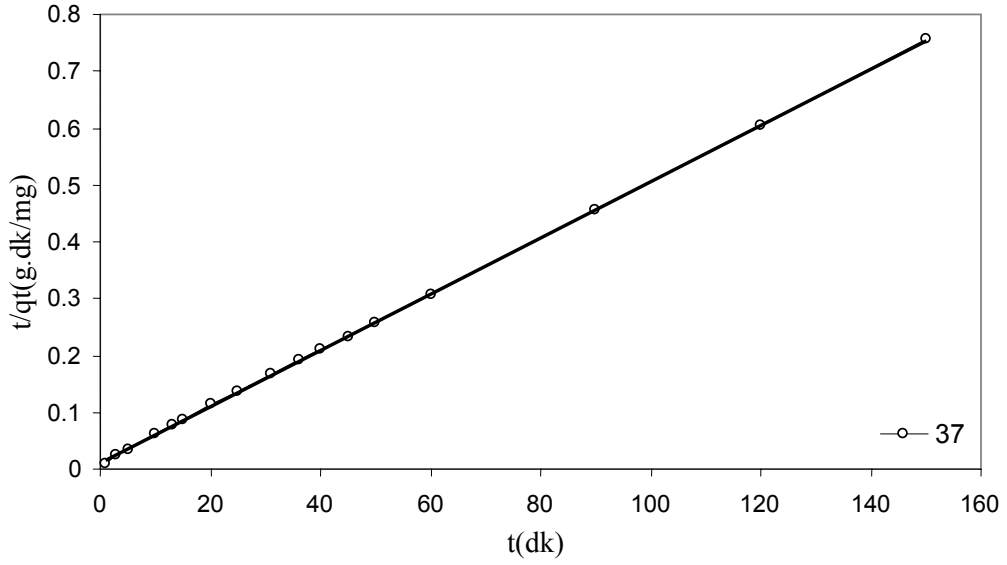
#### 4.3.1.1. 1 g GOZn aktif karbonunun 400 mg/L DB2RN boyasındaki kinetik çalışması

Şekil 4.9'da verilen deneysel verilerden yararlanılarak kinetik verilerin kinetik denklemlere uygunluğu incelenmiştir. Yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetik denklemi kullanılarak, t(dk) karşılık t/qt(g/dk mg) verileri grafiğe alınmıştır. 25, 37 ve 50°C'deki deneysel verilerden yararlanılarak çizilen yalancı ikinci mertebe kinetiğe ait grafikler Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilmiştir. Üç farklı sıcaklık için çizilen bu grafiklerin eğiminden  $q_e$ (mg/g) ve kesim noktasından  $k_2$ (g/mg dk) değerleri hesaplanmıştır. Bulunan  $k_2$  değerlerinden yararlanılarak  $\ln k_2$  karşılık  $1/T$  grafiği oluşturularak Şekil 4.13'de verilmiştir. Şekil 4.13 grafiğinin eğiminden adsorpsiyon

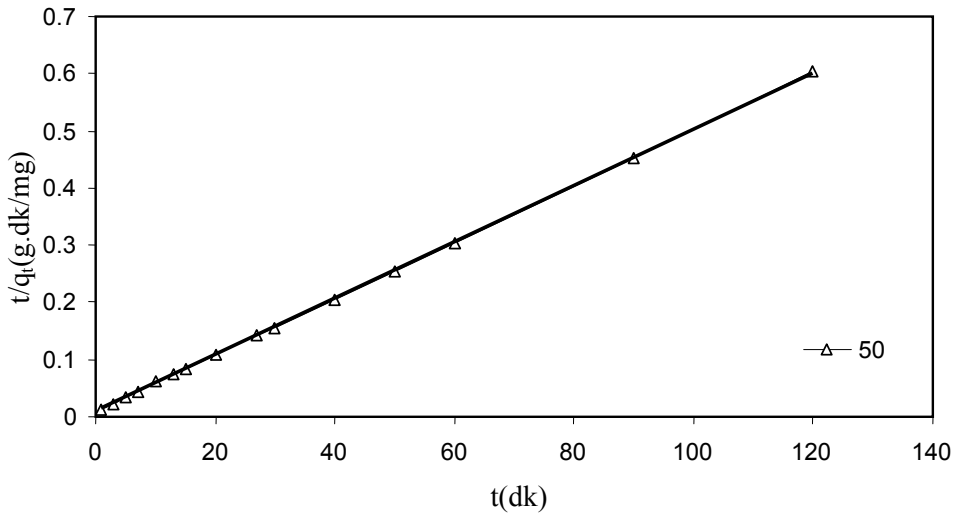
aktivasyon enerjisi ( $E_a$ ) hesaplanmıştır.  $q_e$ ,  $k_2$ ,  $E_a$  ve  $R^2$  değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.6'daki veriler incelendiğinde,  $q_{eden}$ (deneysel olarak bulunan)ve  $q_e$ (grafikten hesaplanan) değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve  $R^2$  korelasyon katsayılarının bire çok yakın olduğu görülmektedir. Buda DB2RN boyasının GOZn üzerine adsorpsiyonun yalancı ikinci mertebeye uyduğunu göstermektedir [46, 47, 48].  $E_a$  değeri 22.34 kJ/mol olarak tespit edilmiştir. Bu değer 42 kJ/mol değerinin altındadır buda adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olduğunu göstermektedir [49, 50]. Sıcaklık artışı ile  $k_2$  hız sabiti değerlerinde artış tespit edilmiştir. Benzer sonuçlara literatürdeki diğer çalışmalarda da rastlanmaktadır [51].



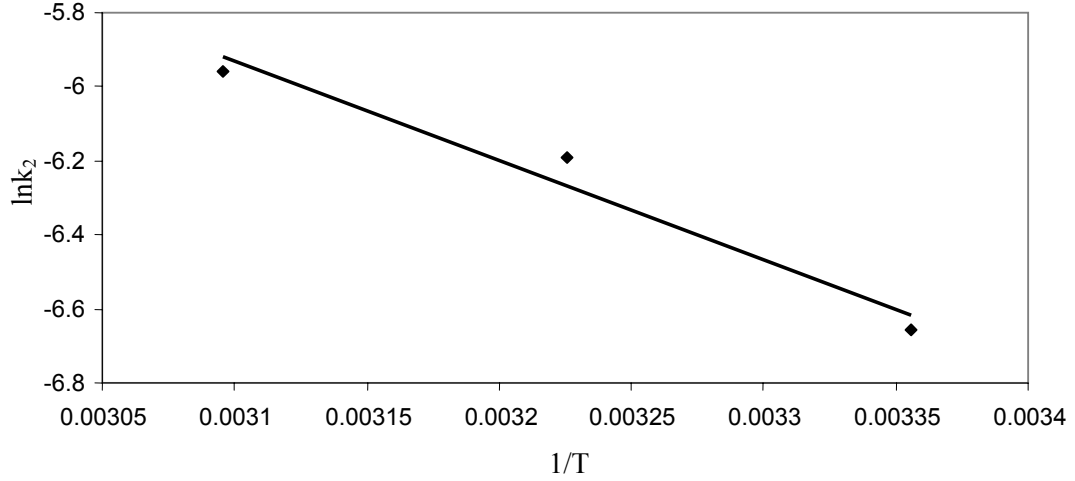
**Şekil 4. 10.** GOZn aktif karbonu üzerine yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetiği (1 g GOZn/ 500 ml 400 mg/L DB2RN boya çözeltisi, 400 rpm, doğal çözelti pH'ında 25 °C).



**Şekil 4. 11.** GOZn aktif karbonu üzerine yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetiği (1 g GOZn/ 500 ml 400 mg/L DB2RN boya çözeltisi, 400 rpm, doğal çözelti pH'ında 37 °C).



**Şekil 4. 12.** GOZn Aktif Karbonu Üzerine Yalancı İkinci Mertebe Adsorpsiyon Kinetiği (1 g GOZn/ 500 ml 400 mg/L DB2RN boya çözeltisi, 400 rpm, doğal çözelti pH'ında 50 °C).



**Şekil 4. 13.** DB2RN boyasının GOZn üzerine adsorpsiyonu için Arrhenius grafiği.

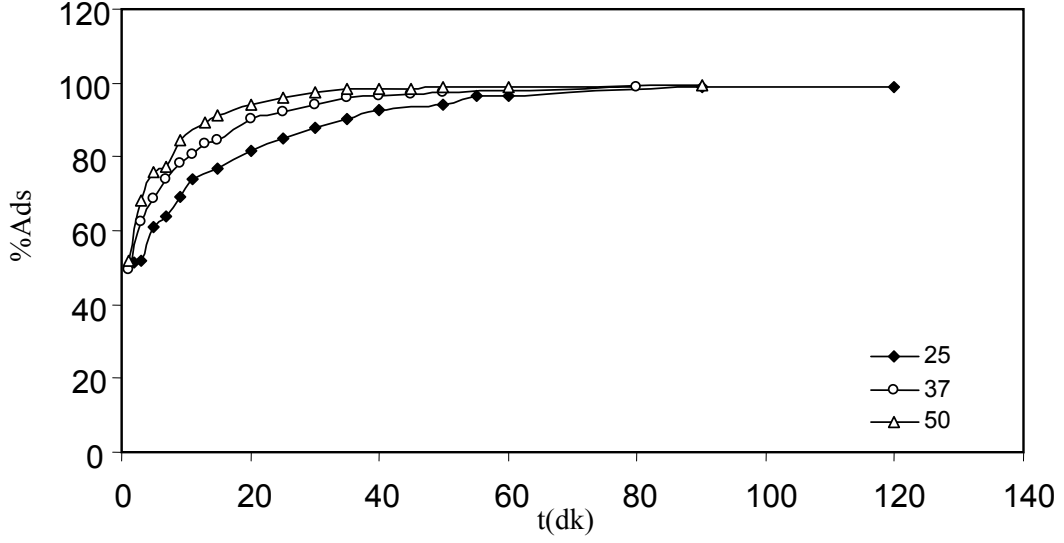
**Çizelge 4. 6.** GOZn aktif karbonu ve 400 mg/L DB2RN boyasının 25, 37 ve 50 °C'deki kinetik verileri.

Konsantrasyon (mg/L)	Sıcaklık (K)	E <sub>a</sub> (kJ/mol)	q <sub>e.den</sub> (mg/g)	İkinci Mertebe Kinetik Denklemi		
				q <sub>e</sub> (mg/g)	k <sub>2</sub> ×10 <sup>3</sup> (g/mg dk)	R <sup>2</sup>
400	298	22.338	198.758	204.082	1.284	0.9993
	310		198.287	204.082	2.050	0.9998
	323		198.785	204.082	2.580	0.9999

#### 4.3.2. NZn115 Aktif karbonun sonuçları

500 ml, 400 mg/L konsantrasyonda hazırlanan DB2RN boyasına 1 g NZn115 ilave edilerek 25, 37 ve 50 °C sıcaklıklarda kinetik çalışması yapılmıştır. Kinetik çalışmaya ait deneysel verilerden yararlanılarak %Ads üzerine sıcaklığın etkisi incelenmiştir. %Ads değerinin farklı sıcaklıklarda zamanla değişimi Şekil 4.14'de verilmiştir. Şekil 4.14'den görüldüğü üzere her üç sıcaklıkta denge süresi GOZn aktif karbonunun kullanıldığı çalışmaya benzer şekilde yaklaşık olarak 60 dk olarak tespit edilmiştir.





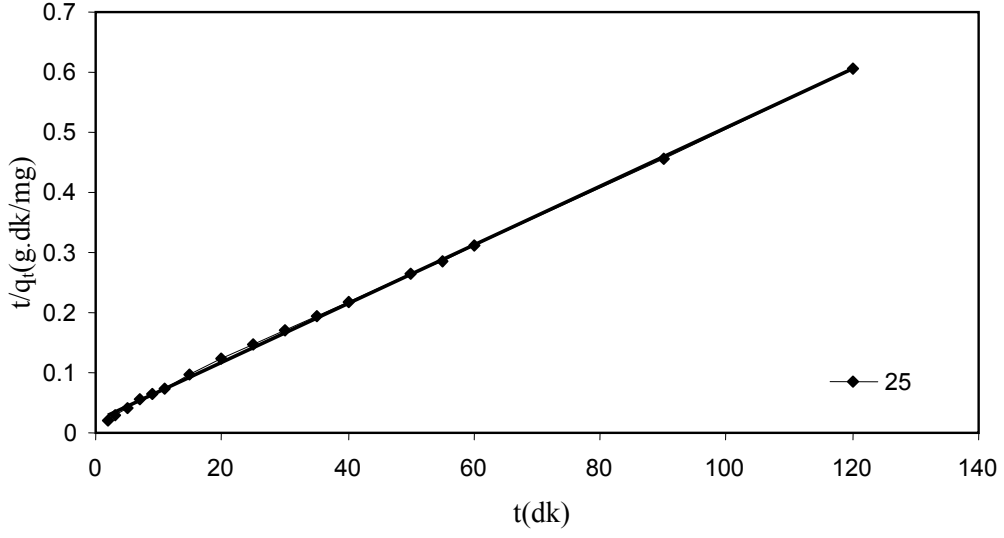
**Şekil 4. 14.** Sıcaklığın adsorpsiyon yüzdesi üzerine etkisi(1 g NZn115/ 500 ml 400 mg/L DB2RN boya çözeltisi, 400 rpm, doğal çözelti pH'ında 25, 37, 50 °C).

#### 4.3.2.1. 1 g NZn115 aktif karbonunun 400 mg/L DB2RN boyasındaki kinetik çalışması

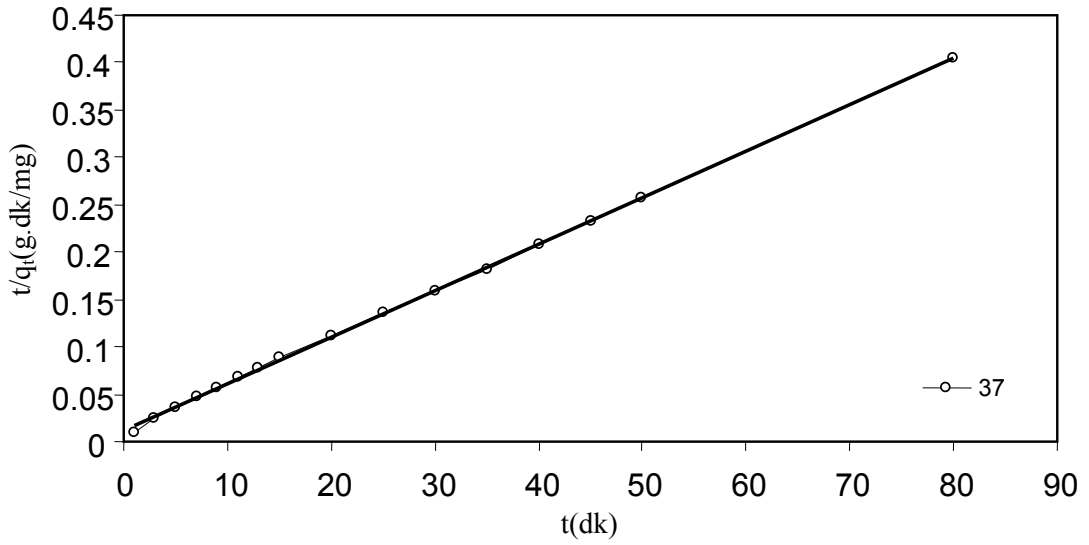
Şekil 4.14'de verilen deneysel verilerden yararlanılarak kinetik verilerin kinetik denklemlere uygunluğu incelenmiştir. Yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetik denklemi kullanılarak, t(dk) karşılık t/qt(g/dk mg) verileri grafiğe alınmıştır. 25, 37 ve 50°C'deki deneysel verilerden yararlanılarak çizilen yalancı ikinci mertebe kinetiğe ait grafikler Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'de sırasıyla verilmiştir.

Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'deki grafiklerin eğim ve kesim noktalarından sırasıyla  $q_e$  ve  $k_2$  değerleri hesaplanmıştır. Bulunan  $k_2$  değerlerinden yararlanılarak DB2RN boyasının NZn115 aktif karbonu üzerine adsorpsiyonu için Arrhenius grafiği çizilmiştir ve Şekil 4.18'de verilmiştir. Grafiğin eğiminden adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 30.87 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bulunan  $q_e$ ,  $k_2$ ,  $E_a$  ve  $R^2$  değerleri Çizelge 4.7'de özetlenmiştir.

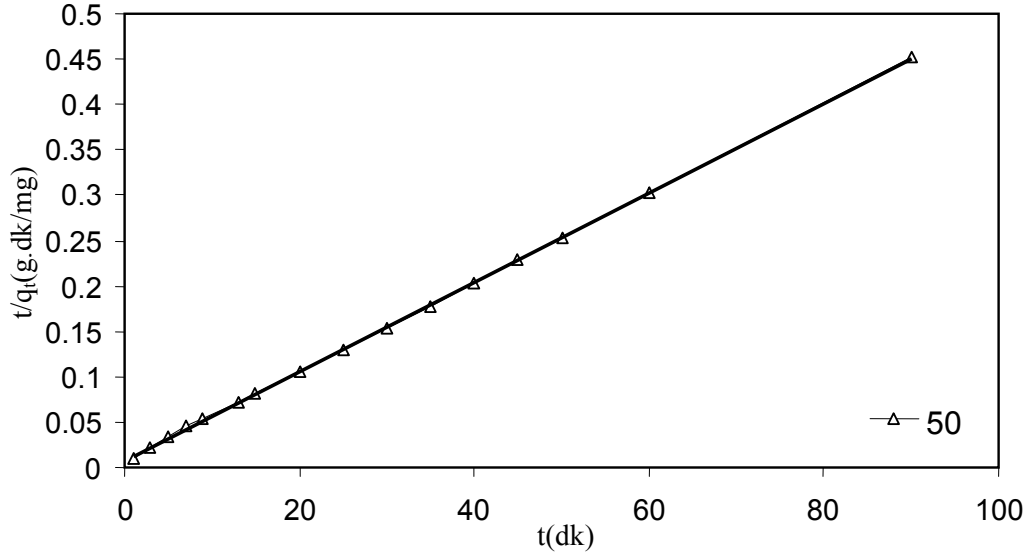
NZn115 kodlu aktif karbonla yapılan adsorpsiyonun kinetik incelemesi sonucunda adsorpsiyonun yalancı ikinci mertebeye uygunluk gösterdiği,  $q_{e,den}$  ve  $q_e$  değerlerinin birbirine yakın değerlerde olması, korelasyon katsayılarının bire yakınlığı ile tespit edilmiştir. Bu adsorpsiyon işleminin de, aktivasyon enerjisinin değerine bağlı olarak fiziksel adsorpsiyon olduğu sonucuna varılmıştır.



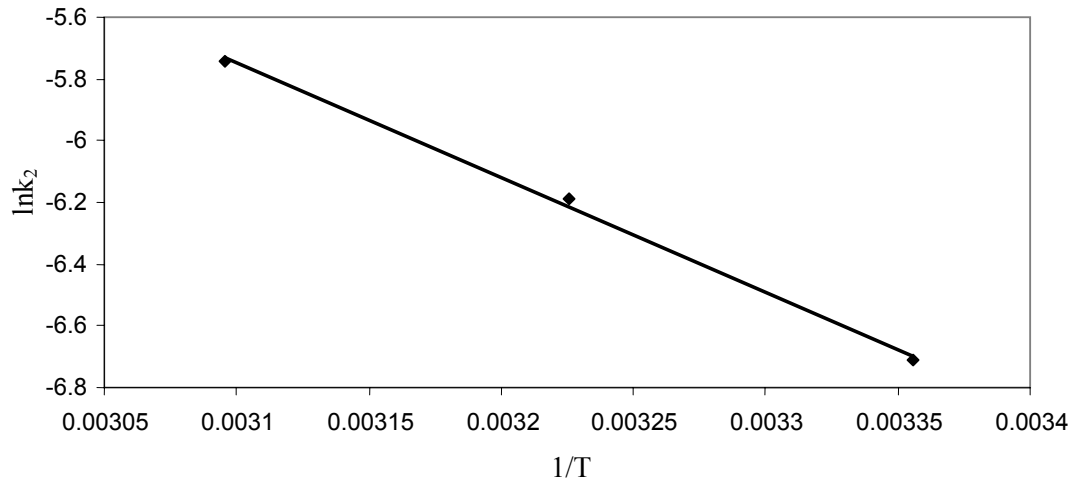
**Şekil 4. 15.** NZn115 aktif karbonu üzerine yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetiği (1 g NZn115/ 500 ml 400 mg/L DB2RN boya çözeltisi, 400 rpm, doğal çözelti pH' ında 25 °C).



**Şekil 4. 16.** NZn115 aktif karbonu üzerine yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetiği (1 g NZn115/ 500 ml 400 mg/L DB2RN boya çözeltisi, 400 rpm, doğal çözelti pH' ında 37 °C).



**Şekil 4. 17.** NZn115 aktif karbonu üzerine yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetiği (1 g NZn115/ 500 ml 400 mg/L DB2RN boya çözeltisi, 400 rpm, doğal çözelti pH' ında 50 °C).



**Şekil 4. 18.** DB2RN boyasının NZn115 üzerine adsorpsiyonu için Arrhenius grafiği.

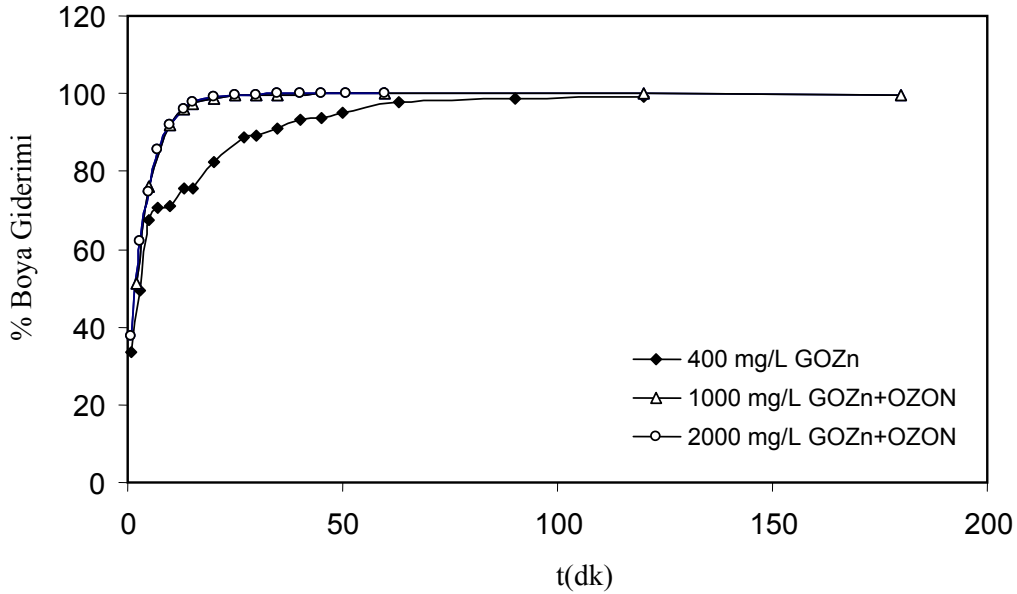
**Çizelge 4. 7.** NZn115 aktif karbonu ve 400 mg/L DB2RN boyasının 25, 37 ve 50 °C'deki kinetik verileri.

Konsantrasyon (mg/L)	Sıcaklık (K)	E <sub>a</sub> (kJ/mol)	q <sub>e.den</sub> (mg/g)	İkinci Mertebe Kinetik Denklemi		
				q <sub>e</sub> (mg/g)	k <sub>2</sub> ×10 <sup>3</sup> (g/mg dk)	R <sup>2</sup>
400	298	30.867	197.589	204.082	1.220	0.9993
	310		197.693	204.082	2.050	0.9995
	323		198.701	204.082	3.200	0.9998

#### 4.4. Aktif Karbon (GOZn) Varlığında Ozonun Adsorpsiyon Üzerine Etkisi

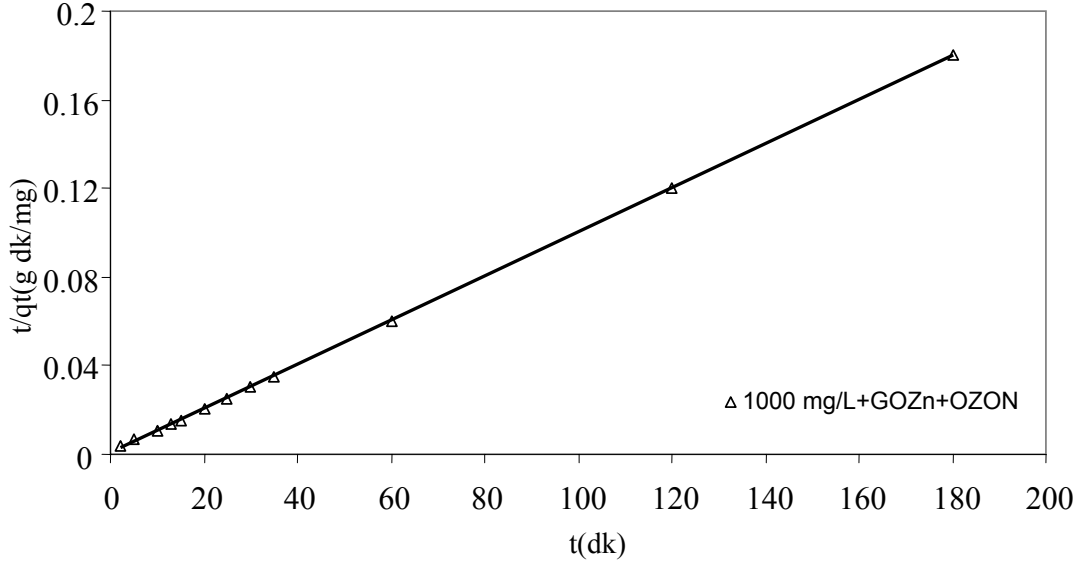
Bu çalışmada 400, 1000 ve 2000 mg/L konsantrasyonlarında hazırlanmış DB2RN boyasına 400 mg/L için 1 g diğer konsantrasyonlar için 0.25 g GOZn aktif karbonu kullanılmıştır. Çalışmanın bu kısmında amaç, 400mg/L konsantrasyonda aktif karbon varlığında boya adsorpsiyonu ve 1000 ve 2000 mg/L konsantrasyonlarında aktif karbon varlığında ozon ilavesi ile boya degradasyonu karşılaştırılmasıdır. Zamanla boya giderim yüzdesi değişimi Şekil 4.19'da verilmiştir.

1000 ve 2000 mg/L olan yüksek konsantrasyon değerlerindeki çalışmada 400 mg/L konsantrasyonuna oranla daha yüksek bir boya giderim yüzdesi Şekil 4.19'da görülmektedir. Buna benzer başlangıç çıkış materyalleri ile üretilen aktif karbonların varlığında gerçekleştirilen ozon degradasyon çalışmalarında aktif karbonun mineral içeriği dolayısıyla ozon degradasyonunu artırıcı yönde etki ettiği rapor edilmektedir [52].

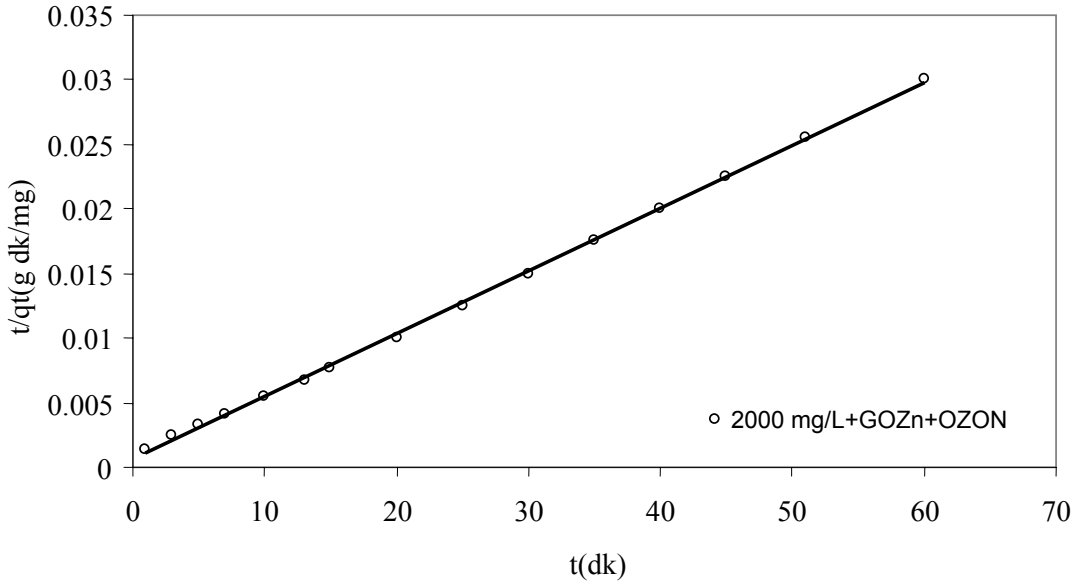


Şekil 4. 19. Aktif karbon (GOZn ) varlığında ozon ilavesinin adsorpsiyon üzerine etkisi.

Şekil 4.19'da verilen deneysel verilerden yararlanılarak 1000mg/L ve 2000mg/L konsantrasyonlar için ikinci derece hız denkleminde ait t karşılık t/qt grafiği oluşturulmuş ve sırasıyla Şekil 4.20 ve 4.21'de verilmiştir. Aktif karbon varlığında ozon ilavesi ile yapılan bu deneylerin kinetik çalışmalarından ozonun varlığı ile kinetik mertebenin değişmediği aktif karbon varlığında ozon degradasyon kinetiğinin de yalancı ikinci mertebeden olduğu görülmektedir.



**Şekil 4. 20.** GOZn aktif karbon varlığında ozon degradasyon yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetiği(1000 mg/L DB2RN boyası/0.25 g GOZn, 3 L/dk Ozon, 400 rpm, doğal pH).



**Şekil 4. 21.** GOZn aktif karbon varlığında ozon degradasyon yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetiği(2000 mg/L DB2RN boyası/0.25 g GOZn, 3 L/dk Ozon, 400 rpm, doğal pH).

1000 ve 2000mg/L boya konsantrasyonlarının GOZn aktif karbonu varlığında ozon ilavesi ile degradasyon kinetiğine ilişkin Şekil 4.20 ve 4.21'den yararlanılarak hesaplanan kinetik değerler Çizelge 4.8'de verilmiştir. qe değerleri birbiri ile uyumlu ve

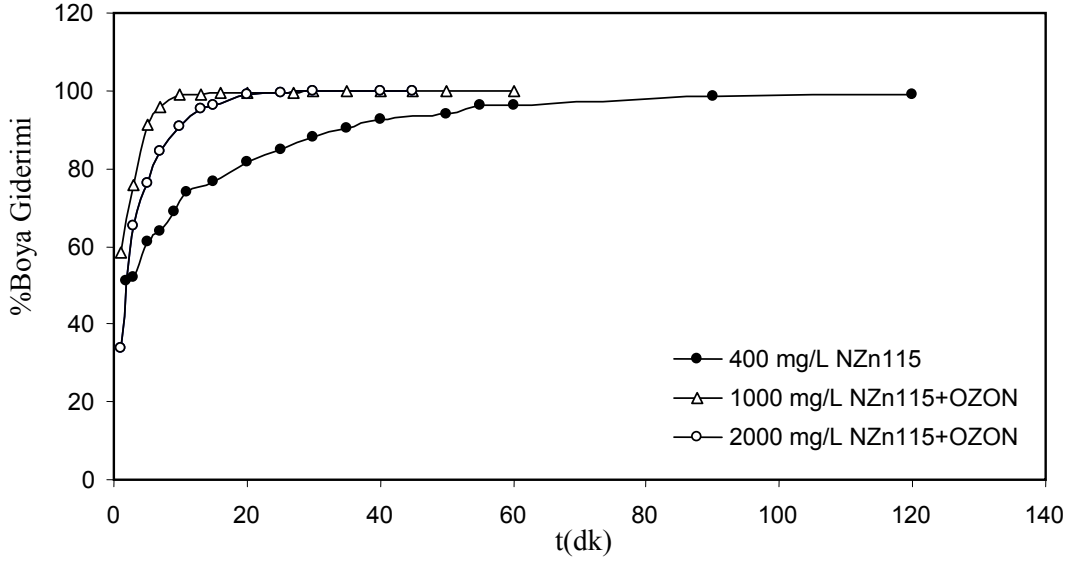
korelasyon katsayılarının bire yakın olması ikinci derece kinetiğe uygunluğu göstermektedir.

**Çizelge 4. 8.** GOZn Aktif karbonu varlığında ozon ilavesi ile yapılan kinetik çalışmanın verileri.

Deney Şartları	Sıcaklık (K)	q <sub>e,den</sub> (mg/g)	İkinci Mertebe		
			q <sub>e,hes</sub> (mg/g)	k <sub>2</sub> ×10 <sup>3</sup> (g/mg.dk)	R <sup>2</sup>
400 mg/L+GOZn	298	198.750	204.081	1.284	0.9993
1000 mg/L+GOZn+OZON		996.962	1000.000	1.430	0.9999
2000 mg/L+GOZn+OZON		1999.402	2000.000	0.410	0.9995

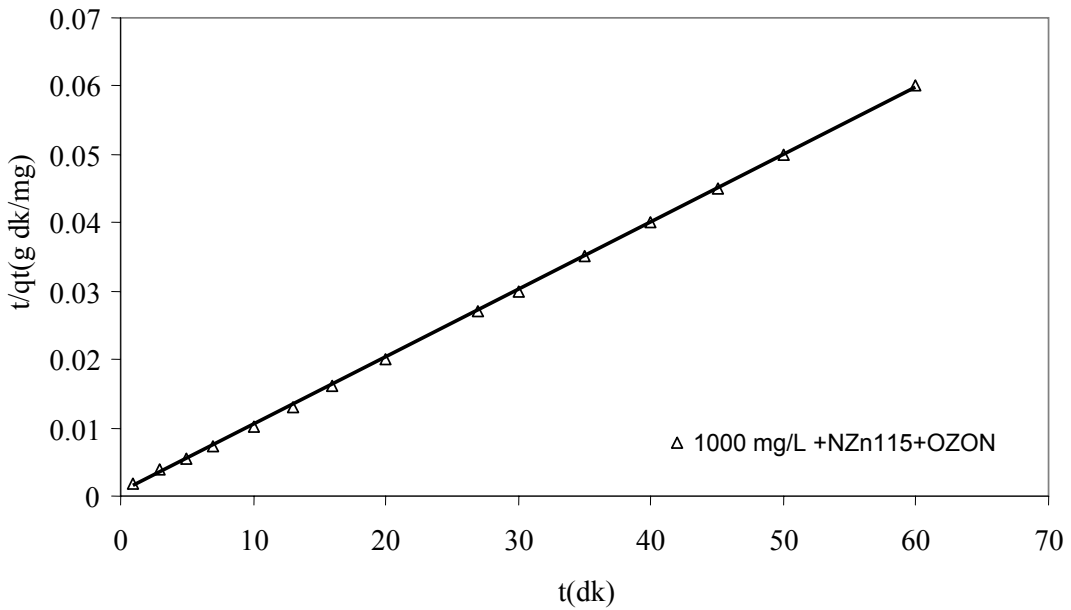
#### 4.5. Aktif Karbon (NZn115) Varlığında Ozonun Adsorpsiyon Üzerine Etkisi

Bu çalışmada 400, 1000 ve 2000 mg/L konsantrasyonlarda hazırlanmış DB2RN boyasına GOZn aktif karbonunda kullanılan aktif karbon miktarına paralel olarak, 400 mg/L için 1 g, 1000 ve 2000 mg/L için 0.25 g NZn115 aktif karbonu kullanılmıştır. Çalışmanın bu kısmında amaç farklı bir aktif karbon(NZn115) kullanıldığında, 400mg/L konsantrasyonda aktif karbon varlığında boya adsorpsiyonu ve 1000 ve 2000 mg/L konsantrasyonlarında aktif karbon varlığında ozon ilavesi ile boya degradasyonu karşılaştırılmasıdır. Zamanla boya giderim yüzdesi değişimi Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.22’den görüldüğü üzere aktif karbon varlığında ozon ilavesi ile elde edilen % boya giderim değerleri çok kısa sürede çok yüksek değerlere ulaşmaktadır [52, 53].

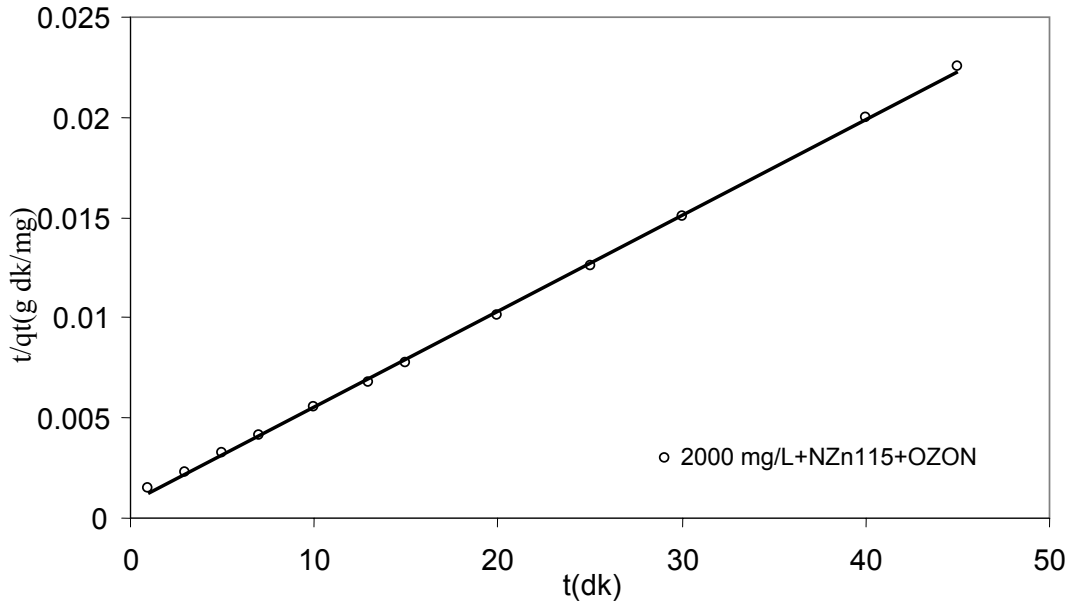


**Şekil 4.22.** N Zn115Aktif karbonu varlığında ozon ilavesinin adsorpsiyon üzerine etkisi.

Şekil 4.22’de verilen deneysel verilerden yararlanılarak 1000mg/L ve 2000mg/L konsantrasyonlar için ikinci derece hız denkleminin ait t karşılık  $t/q_t$  grafiği oluşturulmuş ve sırasıyla Şekil 4.23 ve 4.24’de verilmiştir.



**Şekil 4.23.** N Zn115 aktif karbon varlığında ozon degradesyon yalancı ikinci mertebeye adsorpsiyon kinetiği(1000 mg/L DB2RN boyası/0.25 g N Zn115, 3 L/dk Ozon, 400 rpm, doğal pH).



**Şekil 4. 24.** NZn115 aktif karbon varlığında ozon degradasyon yalancı ikinci mertebe adsorpsiyon kinetiği(2000 mg/L DB2RN boyası/0.25 g NZn115, 3 L/dk Ozon, 400 rpm, doğal pH).

1000 ve 2000mg/L boya konsantrasyonlarının NZn115 aktif karbonu varlığında ozon ilavesi ile degradasyon kinetiğine ilişkin Şekil 4.23 ve 4.24'den yararlanılarak hesaplanan kinetik değerler Çizelge 4.9'da özetlenmiştir.

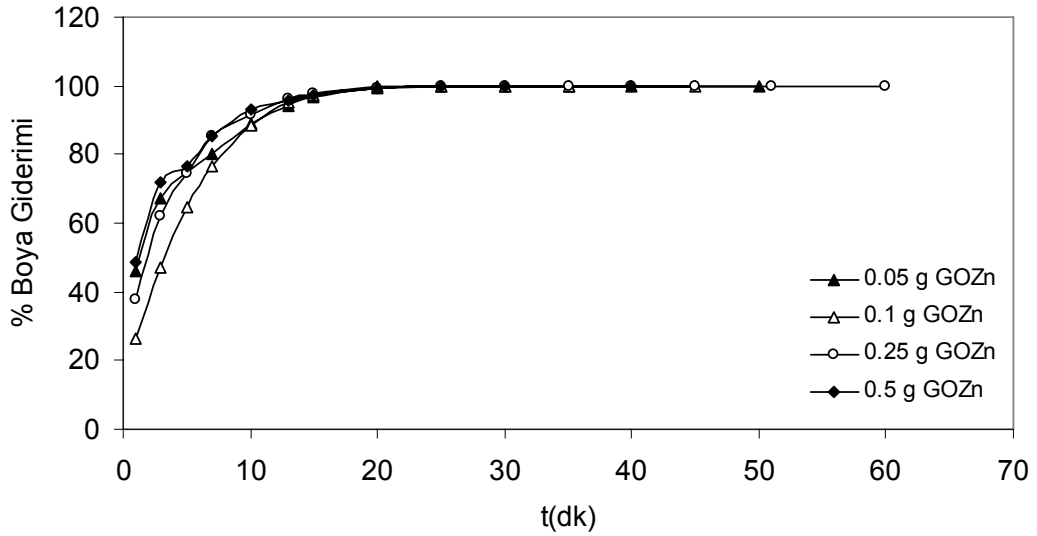
**Çizelge 4. 9.** NZn115 Aktif karbonu varlığında ozon ilavesi ile yapılan kinetik çalışmanın verileri.

Deney Şartları	Sıcaklık (K)	$q_{e,den}$ (mg/g)	İkinci Mertebe		
			$q_{e,hes}$ (mg/g)	$k_2 \times 10^3$ (g/mg.dk)	$R^2$
400 mg/L+NZn115	298	197.589	204.081	1.220	0.9993
1000 mg/L+NZn+OZON		999.589	1000.000	2.000	0.9999
2000 mg/L+NZn+OZON		1999.089	2000.000	0.312	0.9995



#### 4.6. Aktif Karbon(GOZn) ve Ozon Varlığında Adsorban Miktarının Adsorpsiyon Üzerine Etkisi

Bu çalışmada 2000 mg/L hazırlanan DB2RN boyasına farklı miktarlarda GOZn aktif karbonu ilave edilerek yapılan ozon degradasyonun çalışmasında aktif karbon miktarının % boya giderimine etkisi Şekil 4.25’de verilmiştir. Şekil 4.25’den görülmektedir ki 2000mg/L konsantrasyon için adsorban miktarının değişmesi ozon degradasyonunu ile % boya giderimi değerlerini pek fazla değiştirmemektedir.



Şekil 4. 25. 2000 mg/L DB2RN boyasının ozon degradasyonun da adsorban miktarının %Ads ye etkisi.

#### 4.7. Arıtma Tesisi Atık Suyu Ozon Degredasyonu

**Çizelge 4. 10.** Arıtma tesisi atık suyu ozon degredasyonunun da KOİ ve BOİ<sub>5</sub> değerleri değişimi.

ÖLÇÜLEN NUMUNE	KOİ DEĞERİ (mg/L)	BOİ <sub>5</sub> DEĞERİ (mg/L)	KOİ UZAKLAŞTIRMASI %
ARITMA TESİSİ GİRİŞ SUYU pH= 10.79	1143	850	-
ARITMA TESİSİ GİRİŞ SUYU + OZON pH=10.05	579	420	49.35
ARITMA TESİSİ GİRİŞ SUYU + OZON pH=4.90	195	45	82.94
ARITMA TESİSİ GİRİŞ SUYU + OZON + 0.5 g GOZn pH= 10.03	681	400	40.42
ARITMA TESİSİ GİRİŞ SUYU + OZON + 0.5 g GOZn pH= 5.02	186	35	83.73
ARITMA TESİSİ GİRİŞ SUYU + OZON + 5 g ZEOLİT pH= 9.58	756	540	33.86
ARITMA TESİSİ GİRİŞ SUYU + OZON + 5 g ZEOLİT pH= 5.00	232	45	79.70

Bu çalışmada arıtma tesisi giriş suyu ile ozon degradasyonu, aktif karbon varlığında ozon degradasyonu ve zeolit varlığında ozon degradasyonları doğal pH'larında ve ayarlı pH'larında ölçülmüş ve Çizelge 4.10'da özetlenmiştir. Arıtma tesisi giriş atık suyu ile yapılan çalışmada işleme tabi tutulmamış giriş suyunun kirliliği ile doğal pH'sında ozonlanmış suyun kirliliği arasında önemli ölçüde fark gözlenmiştir.

Yine giriş suyunun doğal pH'ında ki kirlilik seviyesiyle ayarlı pH'ındaki kirlilik seviyesi arasında da belirgin bir fark gözlenmiştir. Çizelge 4.10'dan da görüldüğü gibi kirlilik seviyesinin en iyimser değerini veren çalışma aktif karbon varlığında ayarlı pH'da ozon degradasyonudur. Çizelge 4.10'da görüldüğü üzere ozon ve aktif karbon varlığında önemli ölçüde KOİ ve BOİ değerlerinde düşüş görülmektedir. Ancak atık suyun doğal pH'sında fazla düşüş olmaması ozonun bazik gruplarla öncelikli etkileşimi ile açıklanabilir. Ortamda NH<sub>3</sub> varlığının ozonun etkisini önemli ölçüde azaldığı düşünüldüğünde bu beklenen bir sonuçtur. Ortam pH'sı ayarlandığında düşüşün hızlanması ozonun etki mekanizması ile artmasının bir sonucudur. Aktif karbon varlığında her iki değer sadece ozon kullanıldığı durumdan daha düşük çıkması aktif karbonun metal içeriği ve bazik yapısı ile açıklanabilir. Aktif karbon yüzeyindeki OH varlığında radikal transferi hızlanmakta ve katalitik etkide göz önüne alındığında degradasyon hızı artmaktadır. Zeolit kullanılması durumunda sadece ozon kullanılmasına göre her iki değer daha fazla düşmesi yapıdaki OH grupların aktif karbondan daha fazla olması ve katalitik etkinin aktif karbondan daha fazla olması ile açıklanabilir. Ancak KOİ ve BOİ değerinin aktif karbona göre daha yüksek olması ise işlem esnasında atık içerisindeki bileşenlerle aktif karbon, zeolit ve ozon etkileşiminin aktif karbon gözeneklerinde daha fazla olması ile açıklanabilir. Yani aktif karbonun ortamdaki kirletici bileşenleri zeolite göre daha fazla adsorpsiyonu ve bunun sonucu olarak degradasyonunu arttırmaktadır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada DB2RN boyasının GOZn ve NZn115 aktif karbonları kullanılarak, GOZn ve NZn115 aktif karbonları varlığında ozon kullanılarak giderimi incelenmiştir. Ölçümlerde Shimadzu 2100S marka UV Spektrometresi kullanılmıştır. Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesine ait atık su arıtma tesisinden alınan giriş atık suyunun aktif karbon, ozon ve zeolit kullanılarak KOİ ve BOİ değerlerindeki değişimler saptanmıştır. Ve ölçümlerde Hach DRB 200 Isı Reaktörü ve Hach DR 2500 Spektrofotometresi kullanılmıştır. Ayrıca pH da değiştirilerek bu değerlerdeki değişimler incelenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen ve daha ileriki çalışmalar için örnek oluşturabilecek bazı deneysel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1. DB2RN boyasının GOZn ve NZn115 aktif karbonları ile adsorpsiyonu izoterm çalışmalar sonucunda bu iki adsorpsiyon işleminin Langmuir ve Freundlich izotermine uyduğu saptanmıştır. 25, 37 ve 50 °C sıcaklıklarında yapılan çalışmalarda reaksiyonun endotermik olarak gerçekleştiği belirlenmiştir.
2. DB2RN boyasının GOZn ve NZn115 aktif karbonları ile adsorpsiyonu kinetik çalışmalar sonucunda boya ile aktif karbon arasında gerçekleşen reaksiyonun ikinci mertebeden olduğu saptanmıştır. Aktivasyon enerjisi verileri 42 kJ/mol değerinden küçük olduğu için bu adsorpsiyon işleminin fiziksel adsorpsiyona uyduğu görülmüştür.
3. DB2RN boyasının GOZn ve NZn115 aktif karbonları varlığında ozon ile parçalanması incelenmiş ve 1000, 2000 mg/L boya derişimlerinde yapılan çalışmada aktif karbon miktarına bağlı olarak adsorpsiyon değişimi gözlenmiştir. Görülmüştür ki yüksek derişimlerde, düşük miktarda aktif karbon eşliğinde ozon ile parçalanma; düşük derişimlerde yüksek miktarda aktif karbon kullanılarak ozonsuz yapılan işlemlerden çok daha etkin çıkmıştır.
4. Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesine ait Atık Su Arıtma Tesisinden alınan giriş atık suyu örneklerinin işlem yapılmadan önce KOİ ve BOİ değerleri ölçülmüştür. Bu atık suyun ozon ile muamelesi sonunda KOİ ve BOİ ölçümleri tekrarlanmıştır. Bu ölçümlerden atık sudan ozon kullanılarak KOİ giderimi % 49 olarak bulunmuştur.
5. Atık suyun GOZn aktif karbonu ile ozon parçalanması incelenmiş ve bu işlem sonucunda giderimin % 40 olduğu tespit edilmiştir.

6. Atık suyun zeolit ile ozon parçalanması incelenmiş ve bu işlem sonucunda ise giderimin % 33 olduğu saptanmıştır.
7. Atık su için yukarıdaki çalışmaların tekrarı pH değiştirilerek gerçekleştirilmiş ve sonuçta ozon kullanımında % 83 giderim, aktif karbon kullanımında % 84 giderim, zeolit kullanıldığında ise % 80 giderim sağlanmıştır. Bu sonuçlar doğal pH lar ile karşılaştırıldığında pH ın kirlilik gideriminde etkin bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışma sonucunda elde edilen verilere dayanarak ilerleyen denemelerde gerçekleştirilecek çalışmalara yön verecek öneriler aşağıda verilmiştir. Çevre sorunları açısından atık suların kirliliklerinin gelişen teknolojik yöntemler ile giderilerek daha güvenli ve sağlıklı bir deşarj sağlayabilmeleri için -Türkiye deki arıtma tesislerinde kullanılan klasik yöntemlerin çok yeterli olmadığı düşünüldüğünde- aşağıdaki öneriler çok daha fazla önem taşımaktadır.

1. Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesindeki Arıtma Tesisi gibi atık su arıtımı yapan tesislerin aktif karbon varlığında ozon kullanımı; renk ve kirlilik gideriminde etkin olacağından bu ikili sistemin kullanılarak arıtım verimini yükseltilmesi mümkündür.
2. Ayrıca ortam pH sınır değiştirilmesi ile de renk ve kirlilik gideriminde belirgin bir etkinlik sağlanabilir.
3. Bu çalışmalara benzer olarak farklı aktif karbonlar kullanılarak tekstil boyaları ile adsorpsiyon çalışmaları ve ozonun bunlar üzerine etkilerine yönelik çalışmalar yapılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] [www.ozon.com.tr](http://www.ozon.com.tr)
- [2] [www.jocozon.com](http://www.jocozon.com)
- [3] [www.airozone.com/nedir.htm](http://www.airozone.com/nedir.htm)
- [4] K.Kestioğlu, M. Yalılı, B. Naharcı, Yüksek KOİ İçeren Tekstil Atıksularının Fizikokimyasal, Ozon/UV ve Adsorpsiyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin Araştırılması, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, 2005
- [5] [www.opalsu.com.tr](http://www.opalsu.com.tr)
- [6] Kang, S.F. and Chang, H.M. (1997) Coagulation of Textile Secondary Effluents With Fenton's Reagent, *Water Science and Technology*, 36(12), 215–222
- [7] Sewekow, U. (1993) Treatment of Reactive Dye Effluents with Hydrogen Peroxide/Iron(II) Sulphate, *Melliand Textilberichte*, 74, 153–156.
- [8] Robinson, T. McMullan, G. Marchant, R. and Nigam, P. (2001) [Remediation of Dyes in Textile Effluent: A critical Review on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative, *Bioresource Technology*, 77,247–255.
- [9] Strickland, A.F. and Perkins, W.S. (1995) Decolorization of Continuous Dyeing Wastewater by Ozonation, *Textile Chemist and Colorist*, 27(5), 11-15
- [10] Perkins, W.S., Walsh, W.K., Reed I.E. and Namboodri, C.G. (1995) A Demonstration of Reuse of Spent Dye bath Water Following Color Removal with Ozone, *Textile Chemist and Colorist*, 28(1), 31-37
- [11] Wu, J. and Wang, T. (2001) Ozonation of Aqueous Azo Dye In a Semi-Batch Reactor, *Water Research*, 35(4), 1093–1099
- [12] Unkroth, A Wagner, V. and Sauerbrey, R. (1997) Laser-Assisted Photochemical Wastewater Treatment, *Water Science and Technology*, 35(4), 181-188
- [13] Slokar, Y. M. and Marechal, A.M.L. (1998) Methods of Decoloration of Textile Wastewaters, *Dyes and Pigments*,37(4), 335-356
- [14] Vlyssides, A.G. Papaioannou, D. Loizidou, M. Karlis, P.K. and Zorpas, A.A. (2000) Testing an Electrochemical Method for Treatment of Textile Dye Wastewater, *Waste Management*, 20, 569-574
- [15] Pelegrini, R., Zamora, P.P., Andrade, A.R., Reyes, J. and Duran, N. (1999) Electrochemically Assisted Photocatalytic Degredation of Reactive Dyes, *Applied Catalysis B: Environmental*, 22, 83-90

- [16] Naumczyk, J. Szyprkiewicz, L. and Zilio-Grandi, F. (1996) Electrochemical Treatment of Textile Wastewaters, *Water Science and Technology*, 34(11), 17-24
- [17] Tünay, O., Kabdaslı, I., Eremektar, G. ve Orhon, D. (1996) Color Removal From Textile Wastewaters, *Water Science and Technology*, 34(11), 9-16
- [18] Karcher, S. Kornmüller, A. and Jekel, M. (1999) Removal of Reactive Dyes By Sorption/Complexation With Cucurbituril, *Water Science and Technology*, 40(4-5), 425-433
- [19] Machenbach, I. (1998) Membrane Technology for Dyehouse Effluent Treatment, *Membrane Technology*, 96, 7-11
- [20] Rozzi, A., Antonelli, M. and Arcari, M. (1999) Membrane Treatment of Secondary Textile Effluents For Direct Reuse, *Water Science and Technology*, 40(4-5), 409-416
- [21] Willmott, N., Guthrie, J. and Nelson, G. (1998) The Biotechnology Approach to Colour Removal from Textile Effluent, *Journal of the Society of Dyers and Colorists*, 114, 38-41
- [22] O. Kocaer, U. Alkan, Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 2002
- [23] [www.geocities.com/mecakmak/files/adsor.pdf](http://www.geocities.com/mecakmak/files/adsor.pdf)
- [24] Ondokuz Mayıs Üniversitesi Kimya Bölümü Doç. Dr. Ahmet Uyanık
- [25] Y. Sarıkaya, Fizikokimya, Gazi Büro Kitabevi, Ankara, 1993
- [26] Langmuir I. The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum. *J. Am. Chem. Soc.* 40(1918) 1361-1368
- [27] M.M.F. Freundlich *Z. Physc. Chem.* 57 (1906) 385
- [28] Eysel Ve İçme Sularının Arıtımında Aktif Karbon Kullanımı Ve Özellikleri Tuğba Kılıçer-2003 Bitirme Tezi
- [29] W. Hassler, Activated Carbon, Chemical Publishing Company, New York, 1963, pp 200-241
- [30] Adapted from Culp, G.L., and R.L. Culp. *New Concepts in Water Purification*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold Co. 1974
- [31] This report is prepared in 01.07.2005 by General Directorate of Mineral Research and Exploration
- [32] This report is prepared in 04.07.2005 by General Directorate of Mineral Research and Exploration
- [33] [www.zeoliteproducer.com/zeolit.html](http://www.zeoliteproducer.com/zeolit.html)

- [34] [www.teknomin.com.tr/turkce/zeolit\\_b.html](http://www.teknomin.com.tr/turkce/zeolit_b.html)
- [35] J. W. Patrick, Porosity in Carbons, Edward Arnold, London, 1995;
- [36] IUPAC, 1983. International Committee for Characterization and Terminology of Carbon. Carbon 20, 445
- [37] S. Lowell, J. E. Shields, Powder Surface Area and Porosity, Chapman and Hall, London, 1998
- [38] Z. Ryu, J. Zheng, M. Wang, B. Zhang, Carbon 37(1999)1257
- [39] B. Acemioğlu, Journal of Colloid and Interface Science 274 (2004) 371.;
- [40] A. Mittal, L. Krishnan, V.K. Gupta, Separation and Purification Technology 43(2) (2005) 125
- [41] Mohammad Ajmal, Rifagat Ali Khan Rao, Rais Ahmad, Jameel Ahmad, J. of Hazardous Materials B(79)( 2000)117.
- [42] V. K. Gupta, A. Mittal, V. Gajbe, Colloid and Interface Science 284 (2005) 89
- [43] T.W. Weber R.K. Chakravorti, American Institute of Chemical Engineers Journals 20 (1974) 228
- [44] R. Ayyappan, A. Carmalin, K. Swaminathan, S. Sandhya, Removal of Pb(II) from aqueous solution using carbon derived from agricultural wastes, Process Biochemistry 40(2005) 1293-1299;
- [45] Vural Gökmen, Arda Serpen, Equilibrium and Kinetic on the adsorption of dark colored compounds from apple juice using adsorbent resin, J.of food Engineering 53(2002)221-227
- [46] Z. Aksu, Biosorption of reactive dyes by dried activated sludge: equilibrium and kinetic modelling, Biochem. Eng. Journal 7, 2001, 79-84;
- [47] Y.S. Ho, G. McKay, Chem. Eng. J. 70, 1998, 115;
- [48] C. Akmil Başar, Y. Önal, T. Kılıçer, D. Eren, Adsorptions of high concentration malachite green by two activated carbons having different porous structures J. Of hazardous Materials B127, 2005, 73-80
- [49] K.V. Kumar, V. Ramamurthi, S. Sivanesan, Biosorption of Malachite Green, a Cationic Dye Onto Pithophora Sp. A Fresh Water Algae Dyes and Pigments 69, 2006, 102-107;
- [50] H. Nollet, M. Roels, H. Lutgen, H. Van der Meeren, W. Verstraete, Removal of PBCs from waste water using fly ash Chemosphere 53, 2003, 655-665
- [51] Y. Önal, Kinetics of Adsorption of Dyes From Aqueous Solution Using Activated Carbon Prepared Waste Apricot, J. of Hazardous Materials Article in pres

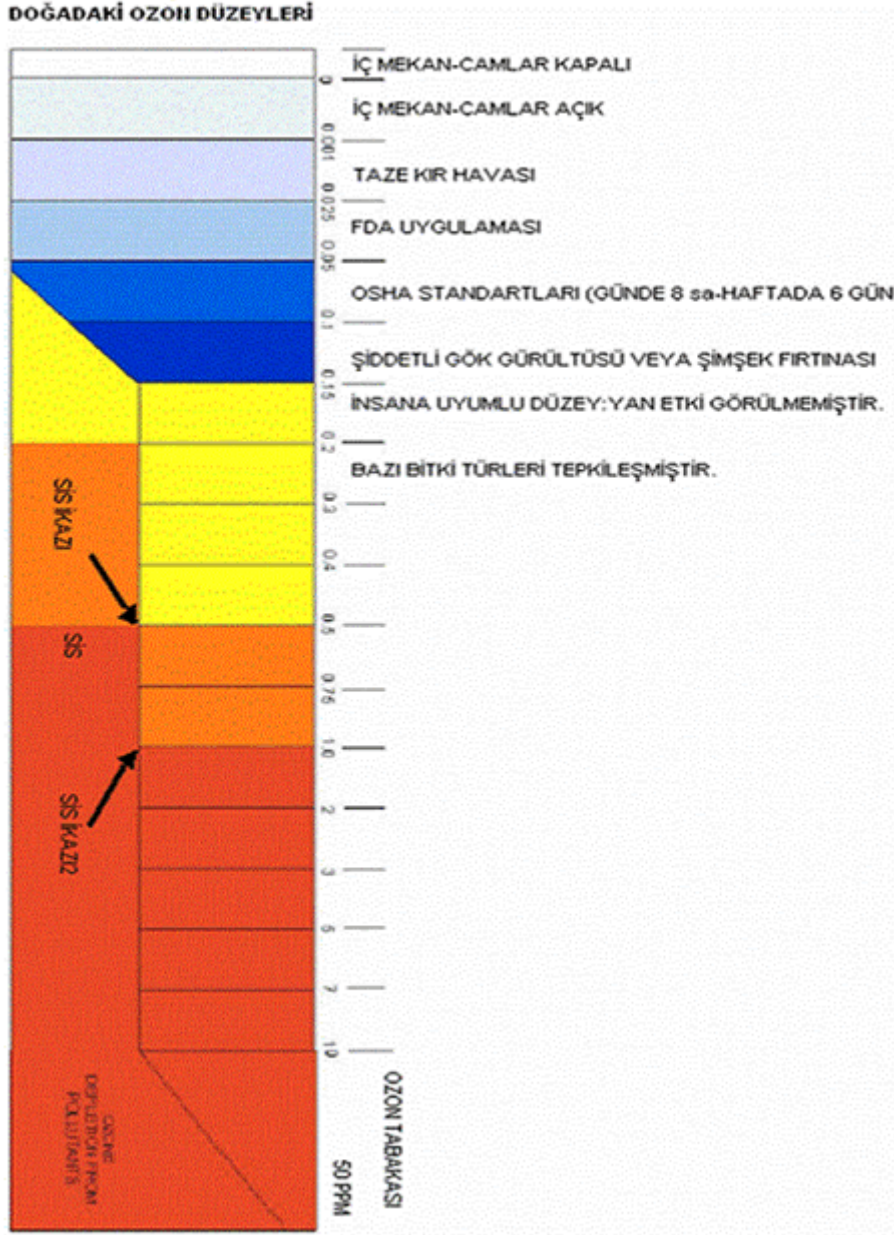


[52]M. Sanchez-Polo, J. Rivera-Utrilla , Ozonation of Naphtalenetrisulphonic Acid in The Presence of Activated Carbons Prepared From Petroleum Coke, Applied Catalysis B:Environmental 67, 2006, 113-120

[53]Hector Valdes, Claudio A. Zaror , Heterogeneous and Homogeneous Catalytic Ozonation Of Benzothiazole Promoted By Activated Carbon : Kinetic Approach, Chemosphere, (2006) Article in pres

# EKLER

## EK1:Ozon Düzey Çizelgesi: [2]



**EK2:Ozona Materyallerin Dayanıklılık Tablosu [2]**

<b>Materyal</b>	<b>Dayanıklılık * (Cole Parmer)</b>	<b>Materyal</b>	<b>Dayanıklılık * (Cole Parmer)</b>
ABS Plastik	B-iyi	Magnezyum	D-zayıf
Acetal (delrin®)	C-orta	Monel	C-orta
Alüminyum	B-iyi	Doğal lastik	D-sert etki
Pirinç	B-iyi	Neoprene	C-orta
Bronz	B-iyi	NORYL®	N/A
Buna-N(nitrile)	D-sert etki	Naylon	D-sert etki
Butyl	A-mükemmel	PEEK	A-mükemmel
Dökme demir	C-orta	Poliakrilit	B-iyi
Chemraz	A-mükemmel	Polikarbonat	A- mükemmel
Bakır	B-iyi	Polipropilen	C-orta
CPVC	A-mükemmel	Polisülfid	B-iyi
Duraklor-51	A-mükemmel	Poliüretan, millable	A- mükemmel
Durlon9000	A-mükemmel	PPS (Ryton®)	N/A
EPDM	A-mükemmel	PTFE (Teflon®)	A- mükemmel
EPR	A-mükemmel	PVC	B-iyi
Epoksi	N/A	PVDF (Kynar®)	A-mükemmel
Etilen-propilen	A-mükemmel	Santopren	A- mükemmel
Flürosilikon	A-mükemmel	Silikon	A- mükemmel
Galvenize çelik	Suda C-iyi  Havada A- mükemmel	Paslanmaz çelik  AISI - 304	B-iyi/ mükemmel
Cam	A-mükemmel	Paslanmaz çelik  AISI - 316	A-mükemmel
Hastelloy-C®	A-mükemmel	Çelik (Hafif, HSLA)	D-zayıf
Hypalon®	A-mükemmel	Titanyum	A-mükemmel
Hytrel®	C-orta	Tygon®	B-iyi
İnconel	A-mükemmel	Vamac	A-mükemmel
Kalrez	A-mükemmel	Viton®	A-mükemmel
Kel-F® (PCTFE)	A-mükemmel	Zink	D-zayıf
LDPE	B-iyi		

A	Mükemmel (Etki Yok)
B	İyi (Az Etki, hafif aşınma veya renk kaybı)
C	Orta (Devamlı kullanım tavsiye edilmez. Yumuşama, güçte azalma, şişme ortaya çıkabilir.)
D	Zayıf (Kullanılmamalı.)
N/A	Bilgi mevcut değil
*	Ozon konsantrasyonları belirtilmemiştir.

**EK3:Ozon Gazının Spesifik Bakteri, Virüs Ve Küflere Etkisi [2]**

Patojenler	Ozon Dozajı (mg/lt)	Temas Süresi (dk)	Giderme Verimi (%)
Aspergillus Niger (Kara dağ)	1,50-2,00		100
Bacillus Bacteria	0,20	0,5	100
Bacillus Anthracis (Besi hayvanlarında insana bulaşıcı anthrax'a yol açar.)		Ozona Hassas.	
Bacillus cereus	0,12	5	100
B.cereus (spores)	2,30	5	100
Bacillus subtilis	0,10	33	90
Bacteriophage f2	0,41	0,16	99,99
Botrydis cinerea	3,80	2	100
Candida bacteria		Ozona Hassas	
Clavibacter michiganense	1,10	5	99,99
Cladosporium	0,10	12,1	100
Clostridium bacteria		Ozona Hassas	
Clostridium Botulinium	0,40 –0,50		100
Coxsackie virüs A9	0,035	0,16	95
Coxsackie virüs B5	0,40	2,5	99,99
Diphtheria pathogen	1,50 –2,00		100
Eberth bacillus	1,50 –2,00		100
Echo virüs 29	1	1	99,99
Enteric virüs	4,10	29	95
Escherichia coli bacteria	0,20	0,5	100
E-coli (temiz suda)	0,25	1,6	99,99
E-coli (atık suda)	2,20	19	99,99
Encephalomyocarditis virüsü	0,10 –0,80	0,5	100
Endamoebic Cysts bacteria		Ozona Hassas	
Entero virüsü	0,10 –0,80	0,50	100
Fusarium Oxysporium f.sp.lycopersici	1,10	10	100
Fusarium oxysporum f.sp. melonogea	1,10	20	99,99
GDVII Virüsü	0,10 –0,80	0,5	100
Hepatitis A Virüsü	0,25	0,033	99,99
Herpes Virüsü	0,10 –0,80	0,5	100
Influenza Virüsü	0,40 –0,50		100

Klebs-Loffler Bacillus	1,50 –2,00		100
Legionella pneumophila	0,32	20	100
Luminescent Basidiomycetes (melanin pigmentsiz)	100	10	100
Mucor piriformis	3,80	2	100
Mycobacterium foruitum	0,25	0,0167	90
Penicillium Bakteri		Ozona Hassas	
Phytophthora parasitica	3,80	2	100
Poliomyelitis Virüsü	0,30 –0,40	3 – 4	99,99
Poliovirüs sürüm1	0,25	1	99,50
Proteus Bakteri		Çok Hassas	
Pseudomonas Bakteri		Çok Hassas	
Rhabdovirüs virüsü	0,10 –0,80	0,5	100
Salmonella Bakteri		Çok Hassas	
Salmonella typhimurium	0,25	1	99,99
Schistosoma Bakteri		Çok Hassas	
Staph epidermidis	0,10	1,7	90
Staphylococci	1,50 –2,00		100
Stomatitis Virüsü	0,10 –0,80	0,5	100
Streptococcus Bakteri	0,20	0,5	100
Verticillium dahliae	1,10	20	99,99
Vesucular Virüsü	0,10 –0,80	0,5	100
Virbrio Kolera Bakteri		Çok Hassas	
Vicia Faba progeny			

**EK4:Çeşitli Dezenfektanların Oksidasyon Potansiyeli [2]**

OKSİDASYON AJANI	OKSİDASYON POTANSİYELİ(VOLT)
Ozon	2.07
Hidrojen peroksit	1.77
Permanganate	1.67
Klorindioksit	1.57
Hipokloris asit	1.49
Klor Gazı	1.36
Hidrojen Bromür	1.33
Oksijen	1.23
Brom	1.09
Hipoklorür	0.94
Klor	0.76
İyot	0.54

## **ÖZGEÇMİŞ**

1980 yılında Erzurum'da doğmuştur. 1998 yılında Turgut Özal Anadolu Lisesinden mezun olmuştur. 1999 yılında İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünü kazanmış ve buradan 2003 yılında mezun olmuştur. 2004 yılında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansa başlamıştır. 2004 yılından bu yana Malatya Çevre ve Gıda Laboratuvarında Kalite Yöneticisi ve Laboratuvar Müdürü olarak görev yapmaktadır.